

(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
2023年11月2日(02.11.2023)



(10) 国際公開番号

WO 2023/209754 A1

(51) 国際特許分類:
H02P 23/14 (2006.01) H02P 29/00 (2016.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2022/018671

(22) 国際出願日: 2022年4月25日(25.04.2022)

(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: ファナック株式会社 (FANUC CORPORATION) [JP/JP]; 〒4010597 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 Yamanashi (JP).

(72) 発明者: 鈴木 真 (SUZUKI Makoto); 〒4010597 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 ファナック株式会社内 Yamanashi (JP).

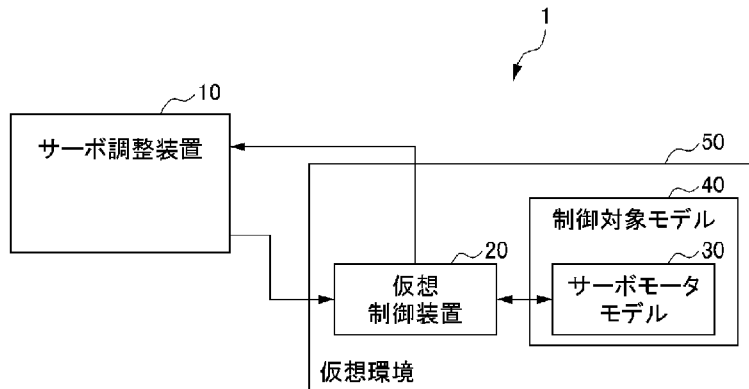
(74) 代理人: 正林 真之, 外 (SHOBAYASHI Masayuki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内 1 - 7 - 1 2 サピアタワー Tokyo (JP).

(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, IT, JM, JO, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS,

(54) Title: SERVO ADJUSTMENT SYSTEM

(54) 発明の名称: サーボ調整システム



10 Servo adjustment apparatus
20 Virtual control apparatus
30 Servomotor model
40 Model to be controlled
50 Virtual environment

(57) Abstract: Provided is a servo adjustment apparatus that is capable of performing automatic servo adjustment with high accuracy and in a short time, without the need for an additional device. A servo adjustment system 1 that adjusts control parameter setting information of a servomotor controlled by a control apparatus of an industrial machine comprises: a servomotor model 30 which is a virtualization of the operation of the servomotor; a virtual control apparatus 20 that executes an evaluation program on the basis of the control parameter setting information to virtually control the servomotor model 30; and a servo adjustment apparatus 10 that determines the control parameter setting information on the basis of virtual feedback information, which is obtained by executing the evaluation program a plurality of times in the virtual control device 20 on the basis of different control parameter setting information.

[続葉有]

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)）

(57) 要約：追加デバイスを必要とせず、高精度且つ短時間で自動的にサーボ調整が可能なサーボ調整装置を提供すること。産業機械の制御装置が制御するサーボモータの制御パラメータ設定情報を調整するサーボ調整システム1であって、サーボモータの動作を仮想化したサーボモータモデル30と、制御パラメータ設定情報に基づいて評価用プログラムを実行することによりサーボモータモデル30を仮想的に制御する仮想制御装置20と、仮想制御装置20で異なる制御パラメータ設定情報に基づいて評価用プログラムを複数回実行することで得られる仮想フィードバック情報に基づいて、制御パラメータ設定情報を決定するサーボ調整装置10と、を備える、サーボ調整システム1である。

明 細 書

発明の名称： サーボ調整システム

技術分野

[0001] 本開示は、サーボ調整システムに関する。

背景技術

[0002] 従来、ゲイン・フィルタ調整、フィードフォワード調整、加減速調整等のサーボモータの制御パラメータ調整（以下、サーボ調整と言う。）技術が知られている。これらのサーボ調整技術では、調整精度の向上とともに調整時間の短縮が求められる。

[0003] ところで、サーボ調整を実行するためには、制御対象となるサーボモータや工作機械を実際に動作させたときのフィードバック情報が必要である。そのため、サーボ調整の実行中においては、制御対象を他の用途で使うことができない。また、制御対象を実際に動作させ、フィードバック情報を取得するための時間は短縮することができない。

[0004] これに対して、工具先端点の動きと指令が一致するようにサーボ調整を実行する技術が提案されている（例えば、特許文献1参照）。また、仮想モデルを利用してサーボ調整を支援する技術が提案されている（例えば、特許文献2参照）。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2006-172149号公報

特許文献2：特開2017-167607号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、特許文献1の技術では、加速度センサ等の追加デバイスが必要となり、コストが嵩む。また、特許文献2の技術では、ユーザがパラメータ値を決定する必要があり、作業負担が大きく操作ミスの原因となる。

[0007] 本開示は、上記に鑑みてなされたものであり、追加デバイスを必要とせず、高精度且つ短時間で自動的にサーボ調整が可能なサーボ調整装置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] 本開示の一態様は、産業機械の制御装置が制御するサーボモータの制御パラメータ設定情報を調整するサーボ調整システムであって、前記サーボモータの動作を仮想化したサーボモータモデルと、前記制御パラメータ設定情報に基づいて評価用プログラムを実行することにより前記サーボモータモデルを仮想的に制御する仮想制御装置と、前記仮想制御装置で異なる前記制御パラメータ設定情報に基づいて前記評価用プログラムを複数回実行することで得られる仮想フィードバック情報に基づいて、前記制御パラメータ設定情報を決定するサーボ調整装置と、を備える、サーボ調整システムである。

発明の効果

[0009] 本開示によれば、追加デバイスを必要とせず、高精度且つ短時間で自動的にサーボ調整が可能なサーボ調整装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]第1実施形態に係るサーボ調整システムの構成を示すブロック図である。

[図2]第1実施形態に係るサーボ調整システムで実行されるサーボ調整処理の手順を示すフローチャートである。

[図3]フィードバック情報生成処理の手順を示すフローチャートである。

[図4]サーボパラメータ情報を示す図である。

[図5]サーボモータモデル情報を示す図である。

[図6]制御対象モデル情報を示す図である。

[図7]指令情報を示す図である。

[図8]モータ摩擦係数を考慮したサーボモータモデル動作情報を示す図である。

[図9]モータ摩擦係数及び送り軸摩擦係数を考慮したサーボモータモデル動作

情報を示す図である。

[図10]パラメータ設定の決定処理の手順を示すフローチャートである。

[図11]パラメータ調整の一例を示す図である。

[図12]第2実施形態に係るサーボ調整システムの構成を示すブロック図である。

[図13]第2実施形態の変形例に係るサーボ調整システムの構成を示すブロック図である。

[図14]第2実施形態に係るサーボ調整システムで実行されるサーボ調整処理の手順を示すフローチャートである。

[図15]パラメータ設定の仮決定処理の手順を示すフローチャートである。

[図16]パラメータ設定パターンの一例を示す図である。

[図17]複数の仮想環境に適用するパラメータ設定の一例を示す図である。

[図18]パラメータ設定の決定処理の手順を示すフローチャートである。

[図19]学習結果の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、本開示の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、第2実施形態及び第3実施形態の説明において、第1実施形態と共通する構成については同一の符号を付し、その説明を適宜省略する。

[0012] [第1実施形態]

第1実施形態に係るサーボ調整システム1は、例えば工作機械等の産業機械の制御装置が制御するサーボモータの制御パラメータ設定情報（以下、パラメータ設定情報と言う。）を調整するシステムである。図1は、第1実施形態に係るサーボ調整システム1の構成を示すブロック図である。図1に示されるように、第1実施形態に係るサーボ調整システム1は、サーボ調整装置10と、仮想制御装置20と、サーボモータモデル30と、制御対象モデル40と、を備える。仮想制御装置20、サーボモータモデル30及び制御対象モデル40は、仮想環境50を構成する。

[0013] サーボ調整装置10及び仮想制御装置20は、それぞれCPU（Central

Processing Unit)等の演算処理手段、各種コンピュータプログラムを格納したHDD (Hard Disk Drive) やSSD (Solid State Drive)等の補助記憶手段、演算処理手段がコンピュータプログラムを実行する上で一時的に必要なとされるデータを格納するためのRAM (Random Access Memory) といった主記憶手段、オペレータが各種操作を行うキーボードといった操作手段、及びオペレータに各種情報を表示するディスプレイといった表示手段等のハードウェアによって構成されるコンピュータである。これらサーボ調整装置10及び仮想制御装置20等は、相互に各種信号を送受信可能となっており、その通信方式は特に限定されない。

[0014] サーボ調整装置10及び／又は仮想制御装置20は、例えば工作機械等の産業機械の制御装置に対応する不図示の数値制御装置(CNC: Computerized Numerical Control))と通信可能に接続されている。後述する本実施形態のサーボ調整に必要なサーボパラメータ情報等は、数値制御装置に記憶されているCNCパラメータの一部であり、この数値制御装置から取得される。また、本実施形態のサーボ調整後のパラメータ設定情報は、この数値制御装置に送信され、実機の制御に利用される。

[0015] サーボ調整装置10は、例えばゲイン・フィルタ調整、フィードフォワード調整、加減速調整等のサーボモータの制御パラメータ調整(以下、サーボ調整と言う。)を実行する。具体的にサーボ調整装置10は、後述の仮想制御装置20において異なるパラメータ設定情報に基づいて評価用プログラムを複数回実行することで得られる仮想フィードバック情報(以下、仮想FB情報と言う。)を取得し、これに基づいてパラメータ設定情報を決定することにより、サーボ調整を行う。調整後のパラメータ設定情報は、仮想制御装置20や数値制御装置に送信される。

[0016] 従って、サーボ調整装置10は、仮想制御装置20から送信される仮想FB情報を取得する不図示の仮想フィードバック情報取得部と、異なるパラメータ設定情報で実行されて得られた複数の仮想FB情報に基づいてパラメータ設定情報を決定する不図示のパラメータ設定決定部と、決定したパラメータ

タ設定情報を仮想制御装置 20 や数値制御装置に送信する不図示のパラメータ設定送信部と、を有している。

[0017] 仮想制御装置 20 は、異なるパラメータ設定情報に基づいて評価用プログラムを複数回実行し、後述のサーボモータモデル 30 に渡す指令情報を生成することにより、サーボモータモデル 30 を仮想的に制御する。またこれにより、仮想制御装置 20 は、後述の工作機械等の制御対象モデル 40 を仮想的に駆動させる。仮想制御装置 20 は、これらサーボモータモデル 30 及び制御対象モデル 40 を仮想的に制御することで得られるフィードバック情報（以下、FB 情報とも言う。）を、サーボ調整装置 10 に送信する。なお、仮想制御装置 20 には、サーボ調整装置 10 から送信される現在のパラメータ設定情報が適用される。

[0018] ここで、評価用プログラムは、一般的に加工時間が長い実際の加工プログラムとは別に、サーボ調整を短時間で効率良く実行可能なように作成されたプログラムである。具体的に評価用プログラムは、例えば、円、四角、角付き四角等の種々の加工形状に応じた軸方向の移動距離や送り速度等を指定するプログラムである。ただし、評価用プログラムの代わりに、ユーザが加工に使用する実際の加工プログラムを評価用プログラムとして使用することも可能である。

[0019] サーボモータモデル 30 は、サーボモータの動作、特性を仮想化したモデルである。即ち、本実施形態の仮想環境 50 は、工作機械等のサーボモータの動作を仮想化したサーボモータモデル 30 を備える。具体的にサーボモータモデル 30 は、非減衰固有角振動数、減衰係数、先行指令時間、モータ慣性、モータ摩擦係数のうち少なくとも 1 つを考慮に入れて仮想化したモデルである。これにより、仮想環境 50 にて実機に近い動作シミュレーションが可能となっており、実機を動作させた場合に近い仮想フィードバック情報（以下、仮想 FB 情報とも言う。）を得ることが可能である。

[0020] 制御対象モデル 40 は、例えば工作機械等の産業機械の動作、特性を仮想化したモデルである。即ち、本実施形態の仮想環境 50 は、工作機械等の産

業機械を仮想化した制御対象モデル40を備える。具体的に制御対象モデル40は、ばね定数、送り軸慣性、送り軸摩擦係数、外乱トルクのうち少なくとも1つを考慮に入れて仮想化したモデルである。これにより、仮想環境50にてより実機に近い動作シミュレーションが可能となっており、実機を動作させた場合により近い仮想FB情報を得ることが可能である。

[0021] このように本実施形態では、仮想制御装置20におけるサーボモータモデル30への指令情報の生成と、サーボモータモデル30及び制御対象モデル40での仮想FB情報の生成は、実時間を必要としないため、サーボ調整の高速実行が可能となっている。

[0022] 次に、本実施形態に係るサーボ調整システム1で実行されるサーボ調整処理の手順について、図2を参照して詳しく説明する。図2は、第1実施形態に係るサーボ調整システム1で実行されるサーボ調整処理の手順を示すフローチャートである。このサーボ調整処理は、例えばサーボ調整装置10に対するユーザからの入力操作等に応じて実行が開始される。

[0023] ステップS11において、仮想制御装置20は、評価用プログラムを解析して実行する。より詳しくは、仮想制御装置20は、仮想制御装置20に現在適用されているサーボモータのパラメータ設定情報（以下、単にパラメータ設定とも言う。）に基づいて、評価用プログラムを実行する。その後、ステップS12に進む。なお、このパラメータ設定は、本フローによるサーボ調整処理により調整され、変更される。

[0024] ステップS12において、仮想制御装置20は、サーボモータへの指令情報を生成する。具体的には、上述のステップS11で仮想制御装置20が評価用プログラムを解析して実行することにより、サーボモータへの指令情報が生成される。その後、ステップS13に進む。

[0025] ステップS13において、仮想制御装置20は、仮想FB情報を生成する。具体的には、ステップS12で生成されたサーボモータへの指令情報に基づいて、仮想制御装置20がサーボモータモデル30及び制御対象モデル40を仮想的に制御して動作させることにより、仮想FB情報を生成する。そ

の後、ステップS 1 4に進む。なお、この仮想F B情報生成処理については、後段で詳述する。

[0026] ステップS 1 4において、仮想制御装置2 0は、上述のステップS 1 3で生成された仮想F B情報をサーボ調整装置1 0に送信する。その後、ステップS 1 5に進む。

[0027] ステップS 1 5において、サーボ調整装置1 0は、仮想制御装置2 0から送信された仮想F B情報を取得する。その後、ステップS 1 6に進む。

[0028] ステップS 1 6において、サーボ調整装置1 0は、取得された仮想F B情報に基づいてパラメータ設定を決定する。その後、ステップS 1 7に進む。なお、このパラメータ設定の決定処理については、後段で詳述する。

[0029] ステップS 1 7において、サーボ調整装置1 0は、上述のステップS 1 6で決定されたパラメータ設定を仮想制御装置2 0に送信する。その後、ステップS 1 8に進む。

[0030] ステップS 1 8において、仮想制御装置2 0は、サーボ調整装置1 0から送信されたパラメータ設定を取得する。今回新たに取得されたパラメータ設定は、仮想制御装置2 0に記憶され、次のサーボ調整処理に適用される。その後、ステップS 1 9に進む。

[0031] ステップS 1 9において、サーボ調整装置1 0は、サーボ調整が終了したか否かを判別する。具体的には、例えばサーボ調整装置1 0が調整パラメータのリストを保持し、このリストの全てのパラメータの調整が終了したか否かに基づいて、サーボ調整が終了したか否かを判別する。また、各パラメータの調整では、異なる仮想F B情報に基づいたパラメータ設定の決定が少なくとも2回以上、即ち複数回行われるまで調整は終了していないと判別され、後述するように例えばパラメータの調整量が1 %以下になったときに調整は終了したと判別する。ただし、ユーザによる判断に基づいて、サーボ調整が終了したか否かを判別してもよい。この判別がN OであればステップS 1 1に戻り、Y E Sであれば本処理を終了する。

[0032] 以上説明したサーボ調整処理によれば、仮想制御装置2 0において異なる

パラメータ設定情報に基づいて評価用プログラムを複数回、解析して実行することで得られる仮想F B情報に基づいて、パラメータ設定情報が決定され、調整されることとなる。

[0033] 次に、上述した図2のステップS 13における仮想F B情報生成処理について、図3～図6を参照して詳しく説明する。ここで、図3は、仮想F B情報生成処理の手順を示すフローチャートである。

[0034] ステップS 21において、仮想制御装置20は、仮想F B情報生成要素にサーボパラメータ情報を追加する。即ち、サーボモータモデル30や制御対象モデル40の有無に関わらず、サーボパラメータ情報が仮想F B情報生成要素に追加される。その後、ステップS 22に進む。

[0035] ここで、仮想F B情報生成要素とは、仮想環境50において仮想F B情報を生成するために必要な情報である。仮想F B情報生成要素として追加されるサーボパラメータ情報は、仮想F B情報生成要素のベースとなるものである。このサーボパラメータ情報は、本実施形態のサーボ調整システム1に通信可能に接続される不図示の数値制御装置(CNC)に記憶されたCNCパラメータに含まれるものであり、数値制御装置から送信されて仮想制御装置20に記憶されている。

[0036] 図4は、サーボパラメータ情報を示す図である。図4に示されるようにサーボパラメータ情報としては、例えば、サーボループゲイン、速度積分ゲイン、速度比例ゲイン、位相補償ゲイン、切削時速度ループゲイン倍率、高速H R V (High Response Vector) 電流制御中ゲイン倍率、速度積分ゲインのシフト量、速度比例ゲインのシフト量、負荷イナーシャ比、アンプ最大トルク、フィードフォワード係数、E G B (電子ギアボックス) 使用時のフィードフォワード係数、速度フィードフォワード係数、切削中のフィードフォワード係数、切削中の速度フィードフォワード係数等が例示される。

[0037] 図3に戻って、ステップS 22において、仮想制御装置20は仮想環境50におけるサーボモータモデル30の有無を判別する。本実施形態のサーボ調整システム1では仮想環境50にサーボモータモデル30を備えるため、

この判別はYESとなり、ステップS23に進む。一方、サーボモータモデル30を備えていない構成とした場合には、この判別はNOとなってステップS26に進み、サーボパラメータ情報を含む仮想FB情報生成要素に基づいて仮想制御装置20が仮想FB情報を生成し、本処理を終了する。

[0038] ステップS23において、仮想制御装置20は、仮想FB情報生成要素にサーボモータモデル情報を追加する。これにより、仮想FB情報生成要素には、サーボパラメータ情報及びサーボモータモデル情報が含まれることとなる。その後、ステップS24に進む。

[0039] ここで、サーボモータモデル情報は、上述のサーボパラメータ情報とは異なりCNCパラメータには含まれず、別途ファイル入力やユーザによる画面操作等からの入力により登録されて、仮想制御装置20に記憶される情報である。図5は、サーボモータモデル情報を示す図である。図5に示されるようにサーボモータモデル情報としては、例えば、非減衰固有角振動数、減衰係数、先行指令時間、モータ慣性、モータ摩擦係数等が例示される。

[0040] 図3に戻って、ステップS24において、仮想制御装置20は仮想環境50における制御対象モデル40の有無を判別する。本実施形態のサーボ調整システム1では仮想環境50に制御対象モデル40を備えるため、この判別はYESとなり、ステップS25に進む。一方、制御対象モデル40を備えていない場合には、この判別はNOとなってステップS26に進み、サーボパラメータ情報及びサーボモータモデル情報を含む仮想FB情報生成要素に基づいて仮想制御装置20が仮想FB情報を生成し、本処理を終了する。この場合、サーボモータモデル情報を含む仮想FB情報生成要素に基づいて仮想FB情報を生成するため、実機を動作させた場合により近い仮想FB情報を生成可能である。

[0041] ステップS25において、仮想制御装置20は、仮想FB情報生成要素に制御対象モデル情報を追加する。これにより、仮想FB情報生成要素には、サーボパラメータ情報、サーボモータモデル情報及び制御対象モデル情報が含まれることとなる。

[0042] ここで、制御対象モデル情報は、上述のサーボモータモデル情報と同様に CNC パラメータには含まれず、別途ファイル入力やユーザによる画面操作等からの入力により登録されて、仮想制御装置 20 に記憶される情報である。図 6 は、制御対象モデル情報を示す図である。図 6 に示されるように制御対象モデル情報としては、例えば、ばね定数、送り軸慣性、送り軸摩擦係数、外乱トルク等が例示される。

[0043] 図 3 に戻って、ステップ S 25 の処理の実行後、ステップ S 26 に進み、サーボパラメータ情報、サーボモータモデル情報及び制御対象モデル情報を含む仮想 FB 情報生成要素に基づいて仮想制御装置 20 が仮想 FB 情報を生成し、本処理を終了する。この場合、サーボモータモデル情報及び制御対象モデル情報を含む仮想 FB 情報生成要素に基づいて仮想 FB 情報を生成するため、実機を動作させた場合にさらに近い仮想 FB 情報を生成可能である。

[0044] 以上説明した本実施形態の仮想 FB 情報生成処理に関して、例えば、指令情報に対するサーボモータモデル動作情報の差分（パルス数差あるいは時間差）であるエラー量を仮想制御装置 20 が計算することにより仮想 FB 情報を生成する例について、図 7 ～図 9 を参照して詳しく説明する。ここで、図 7 は、指令情報を示す図である。図 8 は、モータ摩擦係数を考慮したサーボモータモデル動作情報を示す図である。図 9 は、モータ摩擦係数及び送り軸摩擦係数を考慮したサーボモータモデル動作情報を示す図である。なお、図 8 及び図 9 中、図 7 の指令情報のパルスのハッチングと異なるハッチングの領域のうち、薄いハッチングの領域は指令情報のパルス数よりパルス数が減少した領域を表しており、濃いハッチングの領域は指令情報のパルス数よりパルス数が増加した領域を表している。

[0045] 図 8 に示されるように、サーボモータモデル情報に含まれるモータ摩擦係数を考慮したサーボモータモデル動作情報のパルスは、図 7 に示される指令情報のパルスよりも時間 Δt 分、遅れていることが分かる。これは、サーボモータモデル 30 が有するモータ摩擦係数を考慮に入れると、指令情報に対して、実際にサーボモータモデル 30 が回転／停止するまでには遅れ時間の

ずれ Δt_a が生じるためである。

[0046] また、図9に示されるように、サーボモータモデル情報に含まれるモータ摩擦係数に加えて、制御対象モデル情報に含まれる送り軸摩擦係数も考慮したサーボモータモデル動作情報のパルスは、図7に示される指令情報のパルスよりも、時間 Δt_a よりも大きい時間 Δt_b 分、さらに遅れていることが分かる。これは、サーボモータモデル30が有するモータ摩擦係数と、制御対象モデル40が有する送り軸摩擦係数を考慮に入れると、指令情報に対して、実際にサーボモータモデル30が回転／停止するまでには遅れ時間のずれ Δt_b が生じるためである。

[0047] 従って、例えば時間 t_4 に着目すると、指令情報のパルス数が4であるのに対して、サーボモータモデル30が有するモータ摩擦係数を考慮したサーボモータモデル動作情報のパルス数は3であり、両者の差分であるエラー量1を計算することができる。同様に、サーボモータモデル30が有するモータ摩擦係数と制御対象モデル40が有する送り軸摩擦係数を考慮したサーボモータモデル動作情報のパルス数は2であり、指令情報との差分であるエラー量2を計算することができる。このようにして、指令情報との差分であるエラー量を計算でき、計算されたエラー量に基づいて仮想FB情報を生成可能である。

[0048] 次に、上述した図2のステップS16におけるパラメータ設定の決定処理について、図10及び図11を参照して詳しく説明する。ここで、図10は、パラメータ設定の決定処理の手順を示すフローチャートである。

[0049] ステップS31において、サーボ調整装置10は、サーボ調整の対象であるパラメータ（以下、調整パラメータと言う。）を選択する。サーボ調整装置10は、調整パラメータのリストを予め記憶しており、記憶されたリストの中から調整パラメータを自動的に選択する。あるいは、ユーザからの入力情報に応じて調整パラメータを選択してもよい。その後、ステップS32に進む。

[0050] ここで、調整パラメータとは、前回のサーボ調整処理時に、仮想FB情報

を取得して決定したパラメータ設定から、設定値を変更する対象のパラメータを意味する。本実施形態では、同時に1つのパラメータのみ調整することとする。ただし、これに限定されず、同時に複数のパラメータを調整することも可能である。

[0051] また、調整パラメータは、一度選択されると、通常は予め決められたルール、例えば調整パラメータの調整量が1%以下になるまで調整を継続するルール等に従って、調整が完了したとサーボ調整装置10が判断するまで、選択されたままの状態が維持される。即ち、このパラメータ設定の決定処理は、例えば調整パラメータの調整量が1%以下になるまで繰り返し実行される。ただし、ユーザからの入力情報に応じて調整を強制的に中断し、次の調整パラメータを選択できるようにすることも可能である。

[0052] ステップS32において、サーボ調整装置10は、今回選択された調整パラメータの変更が初めてであるか否かを判別する。具体的にサーボ調整装置10は、各調整パラメータについてパラメータ設定の決定処理が実行された回数を記憶しており、その記憶された情報に基づいて、ステップS31で選択された調整パラメータについてパラメータ設定の決定処理が初めてであるか否かを判別する。この判別がYESであればステップS33に進み、NOであればステップS34に進む。

[0053] ステップS33では、今回選択された調整パラメータの変更は初めてであるため、予め決められたルール1、例えば初期値に対して+10%となるように調整パラメータを変更するルール1に従って、パラメータ設定を決定する。その後、本処理を終了する。

[0054] ステップS34では、今回選択された調整パラメータの変更は初めてではないため、サーボ調整装置10は、仮想制御装置20で生成されて取得された今回の仮想FB情報が前回のパラメータ設定時と比べて良い結果であるか否かを判別する。例えば本実施形態では、指令情報に対する仮想FB情報の差分であるエラー量が、前回のパラメータ設定時と比べて小さい場合には良い結果であると判別し、逆に大きい場合には悪い結果であると判別する。こ

の判別がYESであればステップS35に進み、NOであればステップS36に進む。

[0055] ステップS35では、今回の仮想FB情報が前回のパラメータ設定時と比べて良い結果であるため、予め決められたルール2、例えば、前回のパラメータ設定時と同じ方向に、前回の調整量の80%分の値を前回値に加算する（2回目であれば初期値の+10%に対する80%分加算であるから+8%加算とする）ルール2に従って、パラメータ設定を決定する。その後、本処理を終了する。

[0056] ステップS36では、今回の仮想FB情報が前回のパラメータ設定時と比べて悪い結果であるため、予め決められたルール3、例えば、前回のパラメータ設定時と逆の方向に、前回の調整量の80%分の値を前回値から減算する（2回目であれば初期値の+10%に対する80%分減算であるから-8%減算とする）ルール3に従って、パラメータ設定を決定する。その後、本処理を終了する。

[0057] 図11は、上述したパラメータ調整の一例を示す図である。図11に示されるように、選択された調整パラメータの初期値を例えば300とする。調整パラメータの変更が初めてである場合、ルール1に従って例えば初期値に対して+10%となるように調整すると、調整後の値は330となる。次に、調整パラメータの変更が初めてではなく例えば2回目である場合であって、今回の仮想FB情報が前回のパラメータ設定時と比べて良い結果である場合には、ルール2に従って前回のパラメータ設定時と同じ方向に前回の調整量の80%分の値を前回値に加算して調整すると、調整後の値は354となる。また、調整パラメータの変更が初めてではなく例えば2回目である場合であって、今回の仮想FB情報が前回のパラメータ設定時と比べて悪い結果である場合には、ルール3に従って前回のパラメータ設定時と逆の方向に前回の調整量の80%分の値を前回値から減算して調整すると、調整後の値は306となる。このようにして、例えば調整パラメータの調整量が1%以下になるまでパラメータ設定の決定処理が繰り返し実行される。

[0058] 本実施形態に係るサーボ調整システム 1 によれば、以下の効果が奏される。

[0059] 本実施形態に係るサーボ調整システム 1 では、サーボモータの動作を仮想化したサーボモータモデル 30 と、制御パラメータ設定情報に基づいて評価用プログラムを実行することによりサーボモータモデル 30 を仮想的に制御する仮想制御装置 20 と、仮想制御装置 20 で異なる制御パラメータ設定情報に基づいて評価用プログラムを複数回実行することで得られる仮想 F B 情報に基づいて、制御パラメータ設定情報を決定するサーボ調整装置 10 と、を備える構成とした。

[0060] また本実施形態に係るサーボ調整システム 1 では、好ましくは、産業機械を仮想化した制御対象モデルをさらに備え、サーボ調整装置 10 は、仮想制御装置 20 で仮想的に制御されるサーボモータモデル 30 が制御対象モデル 40 を駆動させることで仮想 F B 情報を取得する構成とした。

[0061] これにより、本実施形態によれば、サーボモータの動作、特性を含んだサーボモータモデル 30 と、産業機械の動作、特性を含んだ制御対象モデル 40 とを利用した仮想環境 50 からの仮想 F B 情報に基づいて自動的にサーボ調整を行うことができ、パラメータ設定を高精度且つ自動で決定することができる。そのため、実機を動作させた場合により近い仮想 F B 情報を生成することができ、実機を動作させた場合により近いサーボ調整が可能である。また、ユーザがパラメータ設定を決定する場合と比べて、ユーザの負担を低減できるとともに、操作ミスを防止することができる。

[0062] また本実施形態によれば、仮想環境 50 を利用したサーボ調整が可能であるため、仮想環境 50 での高速実行により短時間で自動的にサーボ調整が可能である。そのため、実機を必要としないことによる設備のダウンタイムを低減できるとともに、設計段階でのサーボ調整作業が可能である。

[0063] また本実施形態によれば、産業機械の寸法、摩擦、機械剛性等を正確に反映した仮想環境 50 を構築することにより、仮想 F B 情報、即ちサーボモータモデルの動作から工具先端点の動きをシミュレーション可能となり、加速

度センサ等の追加デバイスが不要である。

[0064] また本実施形態によれば、仮想FB情報の生成のために、評価用プログラムを仮想制御装置20で実行するため、評価用プログラムを変更することで、異なる指令情報に対する仮想FB情報を容易に得ることが可能である。また、ユーザが加工に使用する実際の加工プログラム（又はその一部）を評価用プログラムとして使用することも可能であり、評価用の軸動作を別途準備する必要がない、また実際に調整したい動作を容易に得ることができる。

[0065] [第2実施形態]

図12は、第2実施形態に係るサーボ調整システム1Aの構成を示すブロック図である。図12に示されるように、第2実施形態に係るサーボ調整システム1Aは、第1実施形態に係るサーボ調整システム1と比べて、機械学習装置60及び学習データメモリ70を備える点において相違し、その他の構成は第1実施形態と共通である。

[0066] 機械学習装置60は、サーボ調整装置10A及び仮想制御装置20と同様に、CPU等の演算処理手段、各種コンピュータプログラムを格納したHDDやSSD等の補助記憶手段、演算処理手段がコンピュータプログラムを実行する上で一時的に必要とされるデータを格納するためのRAMといった主記憶手段、オペレータが各種操作を行うキーボードといった操作手段、及びオペレータに各種情報を表示するディスプレイといった表示手段等のハードウェアによって構成されるコンピュータである。機械学習装置60及び学習データメモリ70は、サーボ調整装置10Aや仮想制御装置20と相互に各種信号を送受信可能となっており、その通信方式は特に限定されない。

[0067] 機械学習装置60は、仮想環境50からの仮想FB情報を、サーボ調整装置10Aを介して取得し、取得された仮想FB情報に基づいて機械学習によりサーボ調整を実行する。即ち、第1実施形態では複数の異なるパラメータ設定に基づいて得られた仮想FB情報を基に、予め決められたルールに従ってサーボ調整装置10が制御パラメータ設定情報を決定する構成であるのに対して、本実施形態では機械学習装置60を利用した機械学習により制御パ

ラメータ設定情報を決定するものである。

[0068] 学習データメモリ 70 は、この機械学習装置 60 で実行された学習結果を含む機械学習データを取得し、登録する。学習結果には、例えばサーボモータモデルへの指令情報に対する仮想 FB 情報の差分である上述のエラー量に応じた良否判断結果が含まれる。この学習結果については、後段で詳述する。

[0069] なお、学習データメモリ 70 に登録された機械学習データは、仮想環境 50 と、いずれも不図示のサーボモータ、工作機械、数値制御装置等から構成される実環境との間で共有される。これにより、より効率的な機械学習によるサーボ調整の実行が可能となり、より高精度且つ短時間でのサーボ調整が実現可能である。

[0070] ここで、機械学習装置 60 で実行される機械学習としては、特に限定されず、教師あり学習、教師無し学習、強化学習等が例示される。中でも、例えば特開 2018-180764 号公報に記載の強化学習と同様の強化学習を、本実施形態の機械学習装置 60 に好ましく適用することができる。

[0071] 具体的には、機械学習装置 60 は、例えばサーボ調整の対象である制御パラメータ設定情報のパラメータ（例えばパラメータ a_i 、 b_j ($i, j \geq 0$) とする) を強化学習するように構成される。より具体的には、機械学習装置 60 は、パラメータ a_i 、 b_j の値、仮想制御装置 20 が評価用プログラムを実行することで取得される仮想 FB 情報、及びサーボモータモデル 30 への指令情報等を状態 s として、この状態 s に係るパラメータ a_i 、 b_j の調整を行動 a とする、Q 学習 (Q-learning) を行うように構成される。当業者にとって周知のように、Q 学習では、ある状態 s のとき、取り得る行動 a の中から、価値 $Q(s, a)$ の最も高い行動 a を最適な行動として選択する。これにより、最適な制御パラメータ設定情報が選択可能である。より詳細な内容については、特開 2018-180764 号公報に記載されているため、ここではその詳細な説明を省略する。

[0072] また、図 13 は、第 2 実施形態の変形例に係るサーボ調整システム 1B の

構成を示すブロック図である。図 13 に示されるように、第 2 実施形態の変形例に係るサーボ調整システム 1 B は、第 2 実施形態に係るサーボ調整システム 1 A と比べて、複数の仮想環境 5 1, 5 2, . . . 5 0 n を備える点と、サーボ調整装置 1 0 B が複数環境管理部 1 1 を備える点において相違し、その他の構成は第 2 実施形態と共通である。

[0073] 複数の仮想環境 5 1, 5 2, . . . 5 0 n のそれぞれは、第 1 実施形態及び第 2 実施形態の仮想環境 5 0 と同一の構成である。即ち、複数の仮想環境 5 1, 5 2, . . . 5 0 n のそれぞれは同一の構成を備える。そのため、仮想制御装置 2 1, 2 2, . . . 2 0 n はいずれも同一の構成であることに加えて、サーボモータモデル 3 1, 3 2, . . . 3 0 n はいずれも同一の構成であるとともに制御対象モデル 4 1, 4 2, . . . 4 0 n もいずれも同一の構成である。このため、複数の仮想環境で同一の工作機械のモデル及びサーボモータモデルを仮想的に動作させることにより、仮想 F B 情報を並行して取得することが可能であり、機械学習を並行して行うことができるため高速学習が可能となっている。

[0074] サーボ調整装置 1 0 B が備える複数環境管理部 1 1 は、複数の仮想環境 5 1, 5 2, . . . 5 0 n に適用する制御パラメータ設定情報を管理する。より詳しくは、複数環境管理部 1 1 は、複数の仮想環境 5 1, 5 2, . . . 5 0 n に送信するパラメータ設定を管理する。即ち、複数環境管理部 1 1 は、いずれのパラメータを、あるいは後述するいずれのパラメータ設定パターンを、いずれの仮想環境で実行するのかを管理する。

[0075] これにより、それぞれの仮想環境 5 1, 5 2, . . . 5 0 n で異なるパラメータ設定で評価用プログラムを実行し、仮想 F B 情報を取得することが可能となっている。また、これにより、複数の仮想環境 5 1, 5 2, . . . 5 0 n から学習データとして仮想 F B 情報を集めて機械学習を同時に行い、得られた学習結果を学習データメモリ 7 0 に登録し、これを複数の仮想環境 5 1, 5 2, . . . 5 0 n 間で共有することにより、より高速な機械学習が可能となっている。

- [0076] 次に、第2実施形態に係るサーボ調整システム1Aで実行されるサーボ調整処理について、図14を参照して詳しく説明する。ここで、図14は、第2実施形態に係るサーボ調整システム1Aで実行されるサーボ調整処理の手順を示すフローチャートである。このサーボ調整処理は、例えばサーボ調整装置10Aに対するユーザからの入力操作等に応じて実行が開始される。なお、第2実施形態の変形例に係るサーボ調整システム1Bで実行されるサーボ調整処理も図14に示される手順と同様である。
- [0077] ステップS51において、サーボ調整装置10Aはパラメータ設定を仮決定する。その後、ステップS52に進む。なお、このパラメータ設定の仮決定処理については、後段で詳述する。
- [0078] ステップS52において、サーボ調整装置10Aは、上述のステップS51で仮決定したパラメータ設定を仮想環境50の仮想制御装置20に送信する。その後、ステップS53に進む。
- [0079] ステップS53において、仮想制御装置20は、サーボ調整装置10Aで仮決定されて送信されたパラメータ設定を取得する。その後、ステップS54に進む。
- [0080] ステップS54からステップS58は、第1実施形態に係るサーボ調整処理のステップS11からステップS15にそれぞれ対応しており、同様の処理が実行される。即ち、本実施形態では、サーボ調整装置10Aで仮決定されたパラメータ設定に基づいて、仮想制御装置20で評価用プログラムを解析して実行することにより、仮想FB情報を生成する。その後、ステップS59に進む。
- [0081] ステップS59において、機械学習装置60は、サーボ調整装置10Aから送信されて取得された複数の異なる制御パラメータ設定情報に基づいた仮想FB情報に基づいて機械学習を実行し、学習結果を生成する。その後、ステップS60に進む。
- [0082] ステップS60において、学習データメモリ70は、機械学習装置60にて機械学習されて得られた学習結果を取得し、取得した学習結果をデータメ

モリに登録する。その後、ステップS 6 1に進む。

[0083] ステップS 6 1において、サーボ調整装置1 0 Aは、機械学習装置6 0による機械学習が完了したか否かを判別する。この判別がY E SであればステップS 6 2に進み、N OであればステップS 5 1に戻る。

[0084] ステップS 6 2において、サーボ調整装置1 0 Aはパラメータ設定を決定する。その後、ステップS 6 3に進む。なお、このパラメータ設定の決定処理については、後段で詳述する。

[0085] ステップS 6 3及びステップS 6 4は、第1実施形態に係るサーボ調整処理のステップS 1 7及びステップS 1 8にそれぞれ対応しており、同様の処理が実行される。ステップS 6 4の実行後、本処理を終了する。

[0086] 次に、上述のステップS 5 1におけるパラメータ設定の仮決定処理について、図1 5を参照して詳細に説明する。ここで、図1 5は、パラメータ設定の仮決定処理の手順を示すフローチャートである。

[0087] ステップS 7 1において、サーボ調整装置1 0 Aは、初回のみ、対象パラメータの設定パターンを生成する。より詳しくは、機械学習装置6 0による機械学習により最適値を求める対象とする1つ以上のパラメータ、即ちサーボ調整の対象であるパラメータ（調整パラメータ）を決定し、評価用プログラムを実行するパラメータの設定パターンを生成する。その後、ステップS 7 2に進む。

[0088] ここで、図1 6は、パラメータ設定パターンの一例を示す図である。図1 6に示されるように、例えば2つのパラメータX, Yのそれぞれについて、最小値、最大値及びステップ値を規定することにより、二次元の設定パターンを生成する。図1 6に示すパラメータ設定パターンは一例であり、二次元に限定されるものではなく、三次元の設定パターンであってもよい。なお、この設定パターンは、サーボ調整装置1 0 Aが自動的に決定する。ただし、ユーザがこのパラメータ設定パターンを決定できるようにしてもよい。

[0089] 図1 5に戻って、ステップS 7 2において、サーボ調整装置1 0 Aは、仮想環境が複数あるか否かを判別する。第2実施形態に係るサーボ調整システ

ム 1 A では、仮想環境としては仮想環境 5 0 の 1 つであり、この判別は N O であるため、ステップ S 7 3 に進む。一方、第 2 実施形態の変形例に係るサーボ調整システム 1 B では、仮想環境としては仮想環境 5 1, 5 2, . . . 5 0 n のように複数あり、この判別は Y E S であるため、ステップ S 7 4 に進む。

[0090] ステップ S 7 3 では、第 2 実施形態のように仮想環境を 1 つのみ有する場合であるため、サーボ調整装置 1 0 A は、例えば図 1 6 に示されるパラメータ設定パターンに基づいて、仮想環境 5 0 に適用するパラメータ設定を仮決定し、本処理を終了する。

[0091] ステップ S 7 4 では、第 2 実施形態の変形例のように仮想環境を複数有する場合であるため、サーボ調整装置 1 0 B が備える複数環境管理部 1 1 は、例えば図 1 6 に示されるパラメータ設定パターンに基づいて、複数の仮想環境 5 1, 5 2, . . . 5 0 n のそれぞれに適用するパラメータ設定を仮決定し、本処理を終了する。

[0092] ここで、図 1 7 は、複数の仮想環境に適用するパラメータ設定の一例を示す図である。図 1 7 に示されるパラメータ設定は、図 1 6 に示されるパラメータ X, Y からなる二次元のパラメータ設定パターンを 4 分割し、仮想環境 1 ~ 4 のそれぞれに適用したものである。第 2 実施形態の変形例に係るサーボ調整システム 1 B では、n 個の仮想環境を有するため、図 1 6 に示されるパラメータ X, Y からなる二次元のパラメータ設定パターンを n 分割し、各仮想環境 5 1, 5 2, . . . 5 0 n のそれぞれに適用してもよい。あるいは、対象とするパラメータが多い場合には、仮想環境 5 1 ではパラメータ X とパラメータ Y、仮想環境 5 2 ではパラメータ N とパラメータ M、といった具合に各仮想環境で全く異なるパターンを振り分けて仮想 F B 情報を取得し、機械学習させる構成としてもよい。

[0093] 次に、上述のステップ S 6 2 におけるパラメータ設定の決定処理について、図 1 8 を参照して詳細に説明する。ここで、図 1 8 は、パラメータ設定の決定処理の手順を示すフローチャートである。

- [0094] ステップS 8 1において、サーボ調整装置 1 0 Aは、学習データメモリ 7 0に登録された学習結果から、最も良い判断結果が得られるパラメータ設定を決定する。判断の基準としては、例えばサーボモータモデルへの指令情報に対する仮想 F B 情報の差分であるエラー量に応じた良否判断結果が挙げられる。その後、本処理を終了する。
- [0095] ここで、図 1 9 は、学習結果の一例を示す図である。図 1 9 に示されるように、具体的な良否判断結果としては、例えば各パラメータ設定についてエラー量が小さいものから順に、「最も良い」、「とても良い」、「良い」、「可」、「不可」といった判断結果が挙げられる。図 1 9 に示される例では、パラメータ X が 1 6 0、パラメータ Y が 3 5 のパラメータ設定が最も良い判断結果となっているため、サーボ調整装置 1 0 A は、このパラメータ設定に決定をする。
- [0096] なお、実際の運用では、仮想環境で決定した最適値が実環境でも完全に一致するとは限らない。そのため、例えば上述の「最も良い」と「とても良い」と判定された範囲に限定して、実環境で再度、機械学習を行うことが好ましい。
- [0097] 本実施形態に係るサーボ調整システム 1 A, 1 B によれば、以下の効果が奏される。
- [0098] 本実施形態に係るサーボ調整システム 1 A では、仮想 F B 情報を用いて制御パラメータ設定情報を機械学習する機械学習装置 6 0 をさらに備え、サーボ調整装置 1 0 A が機械学習装置 6 0 による学習結果に基づいて制御パラメータ設定情報を決定する構成とした。
- [0099] これにより、仮想環境 5 0 におけるサーボモータモデル 3 0 の仮想的な制御により得られる仮想 F B 情報に基づいて、機械学習装置 6 0 による機械学習を利用したサーボ調整を実行することができる。従って本実施形態によれば、より高精度且つ短時間でサーボ調整を自動的に実行することが可能である。
- [0100] また本実施形態に係るサーボ調整システム 1 B では、仮想制御装置 2 1,

2 2, . . . 2 0 n と、サーボモータモデル 3 1, 3 2, . . . 3 0 n と、制御対象モデル 4 1, 4 2, . . . 4 0 n と、を有する仮想環境 5 1, 5 2, . . . 5 0 n を複数備える構成とした。また、サーボ調整装置 1 0 B が複数の仮想環境 5 1, 5 2, . . . 5 0 n に適用する制御パラメータ設定情報を管理する複数環境管理部 1 1 を有し、機械学習装置 6 0 が複数の仮想環境 5 1, 5 2, . . . 5 0 n から得られる仮想 F B 情報を用いて制御パラメータ設定情報を機械学習する構成とした。

[0101] これにより、複数の仮想環境 5 1, 5 2, . . . 5 0 n で、制御対象モデル 4 1, 4 2, . . . 4 0 n 及びサーボモータモデル 3 1, 3 2, . . . 3 0 n を同時に並行して仮想的に動作させることにより、仮想 F B 情報を同時に並行して取得することが可能である。従って本実施形態によれば、仮想 F B 情報に基づいた機械学習をより高速で実行可能であり、さらに高精度且つ短時間でのサーボ調整を自動的に実行することが可能である。

[0102] なお、本開示は上記態様に限定されるものではなく、本開示の目的を達成できる範囲での変形、改良は本開示に含まれる。

[0103] 例えば上記実施形態では、産業機械として工作機械を例に挙げて説明したが、これに限定されない。本開示は、サーボモータを備えるロボット等の他の産業機械にも適用可能である。

[0104] また、例えば上記実施形態では、仮想環境 5 0 が制御対象モデル 4 0 を備える構成としたが、これに限定されない。制御対象モデル 4 0 を備えていない仮想環境であっても、本開示を適用可能である。

[0105] また、例えば上記第 2 実施形態の変形例では、仮想環境 5 1, 5 2, . . . 5 0 n がいずれもサーボモータモデル 3 1, 3 2, . . . 3 0 n と制御対象モデル 4 1, 4 2, . . . 4 0 n とを有する構成としたが。これに限定されない。複数の仮想環境のうち少なくともいずれかがサーボモータモデルや制御対象モデルを備える構成とし、他の仮想環境がサーボモータモデルや制御対象モデルを備えていない構成としてもよい。

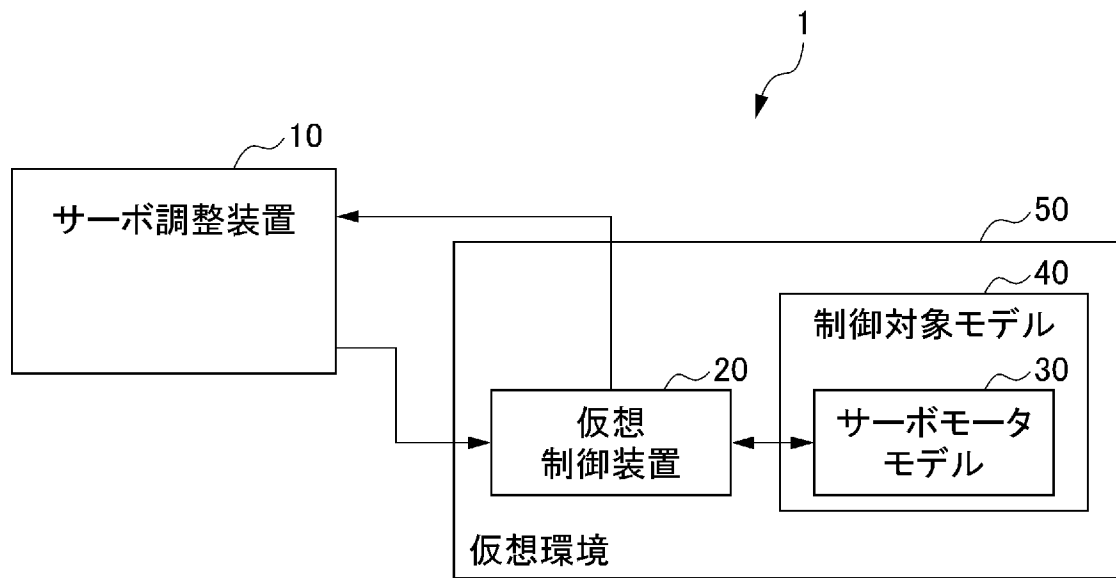
符号の説明

- [0106] 1, 1 A, 1 B サーボ調整システム
1 0, 1 0 A, 1 0 B サーボ調整装置
1 1 複数環境管理部
2 0, 2 1, 2 2, 2 0 n 仮想制御装置
3 0, 3 1, 3 2, 3 0 n サーボモータモデル
4 0, 4 1, 4 2, 4 0 n 制御対象モデル
5 0, 5 1, 5 2, 5 0 n 仮想環境
6 0 機械学習装置
7 0 学習データメモリ

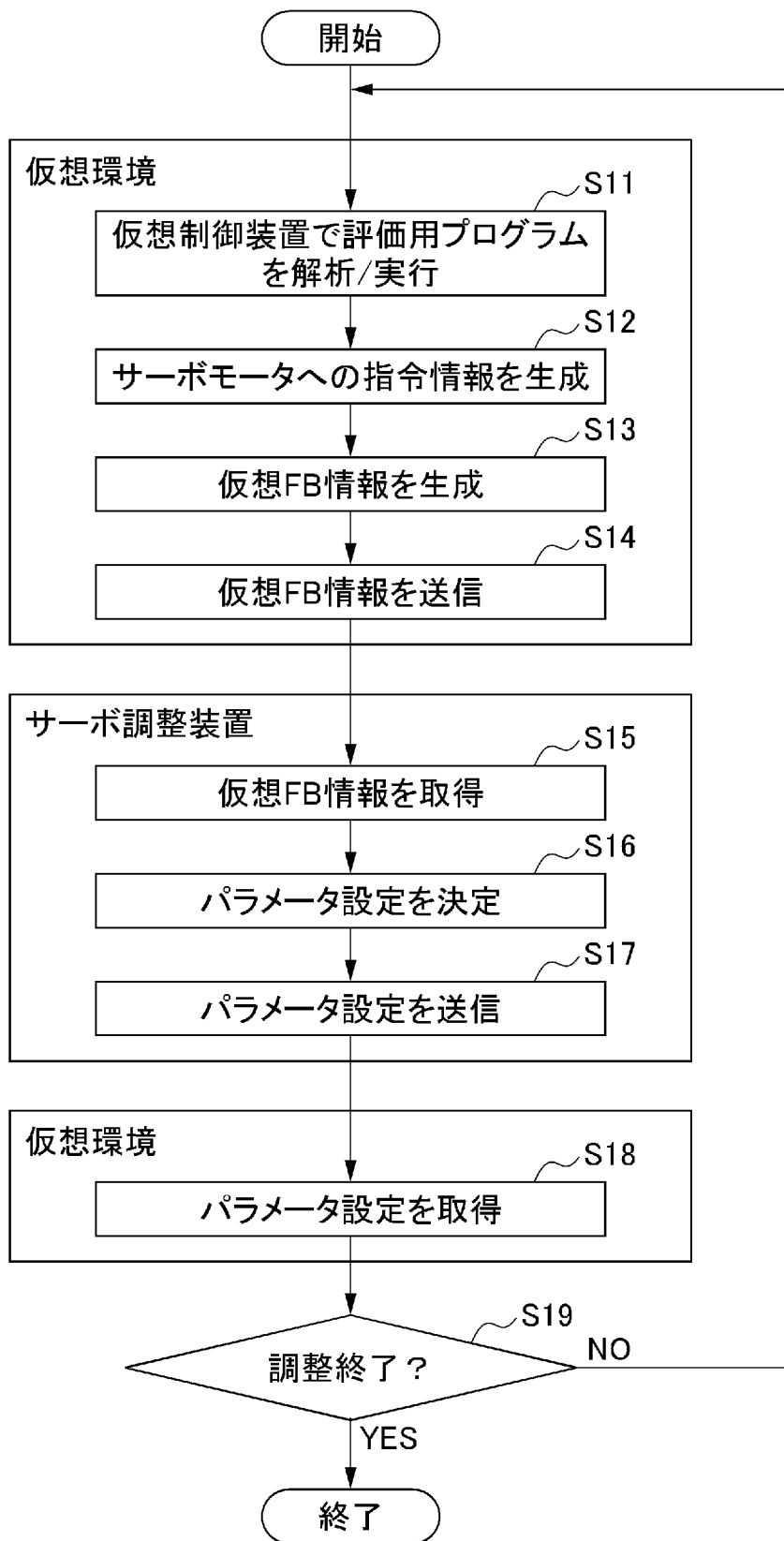
請求の範囲

- [請求項1] 産業機械の制御装置が制御するサーボモータの制御パラメータ設定情報を調整するサーボ調整システムであって、
- 前記サーボモータの動作を仮想化したサーボモータモデルと、
- 前記制御パラメータ設定情報に基づいて評価用プログラムを実行することにより前記サーボモータモデルを仮想的に制御する仮想制御装置と、
- 前記仮想制御装置で異なる前記制御パラメータ設定情報に基づいて前記評価用プログラムを複数回実行することで得られる仮想フィードバック情報に基づいて、前記制御パラメータ設定情報を決定するサーボ調整装置と、を備える、サーボ調整システム。
- [請求項2] 前記産業機械を仮想化した制御対象モデルをさらに備え、
- 前記サーボ調整装置は、前記仮想制御装置で仮想的に制御される前記サーボモータモデルが前記制御対象モデルを駆動させることで前記仮想フィードバック情報を取得する、請求項1に記載のサーボ調整システム。
- [請求項3] 前記仮想フィードバック情報を用いて前記制御パラメータ設定情報を機械学習する機械学習装置をさらに備え、
- 前記サーボ調整装置は、前記機械学習装置による学習結果に基づいて前記制御パラメータ設定情報を決定する、請求項1又は2に記載のサーボ調整システム。
- [請求項4] 前記仮想制御装置と、前記サーボモータモデルの少なくとも1つと、を有する仮想環境を複数備え、
- 前記サーボ調整装置は、前記複数の仮想環境に適用する前記制御パラメータ設定情報を管理する複数環境管理部を有し、
- 前記機械学習装置は、前記複数の仮想環境から得られる前記仮想フィードバック情報を用いて前記制御パラメータ設定情報を機械学習する、請求項3に記載のサーボ調整システム。

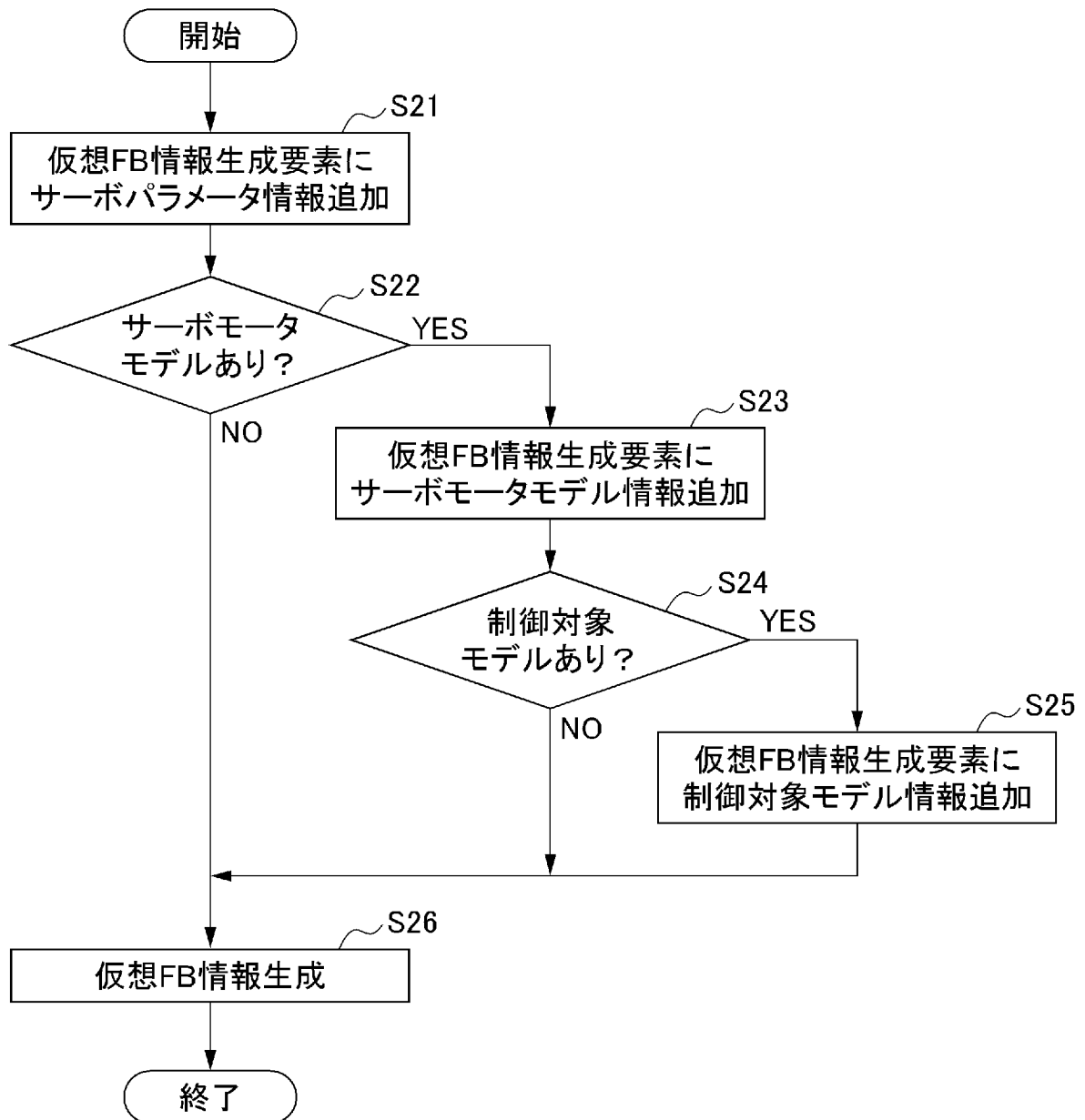
[図1]



[図2]



[図3]



[図4]

サーボパラメータ情報

名称
サーボループゲイン
速度積分ゲイン
速度比例ゲイン
位相補償ゲイン
切削時速度ループゲイン倍率
高速HRV電流制御中ゲイン倍率
速度積分ゲインのシフト量
速度比例ゲインのシフト量
負荷イナーシャ比
アンプ最大トルク
フィードフォワード係数
EGB使用時のフィードフォワード係数
速度フィードフォワード係数
切削中のフィードフォワード係数
切削中の速度フィードフォワード係数

[図5]

サーボモータモデル情報

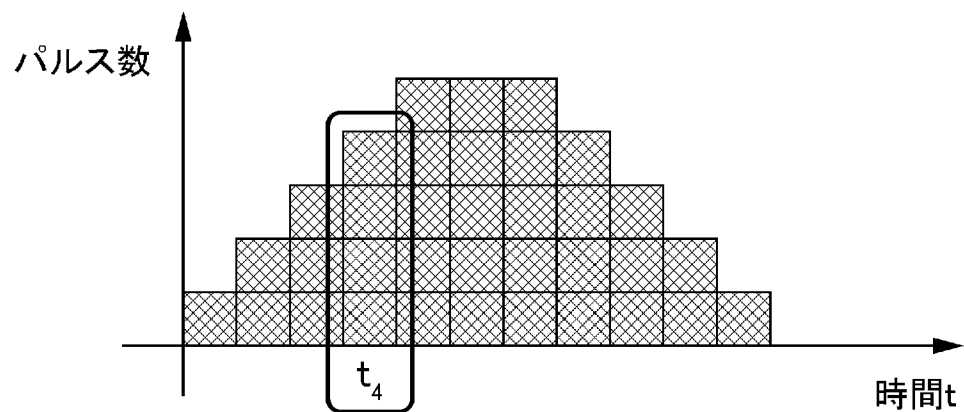
名称
非減衰固有角振動数
減衰係数
先行指令時間
モータ慣性
モータ摩擦係数

[図6]

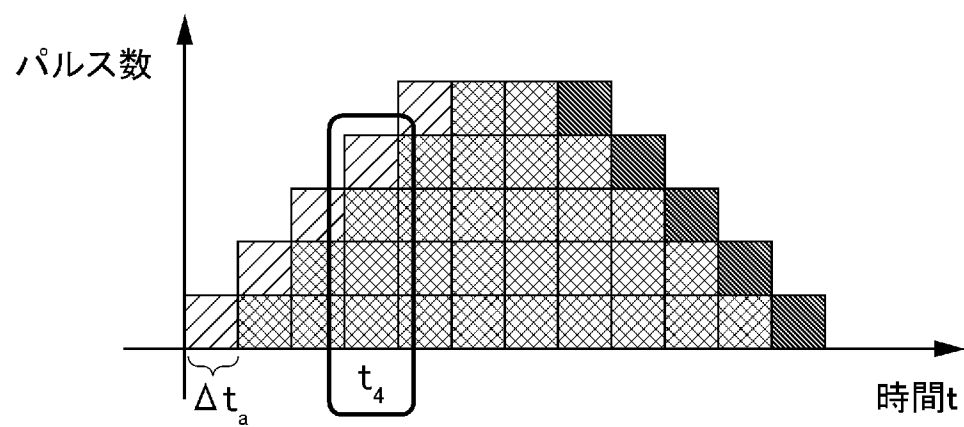
制御対象モデル情報

名称
ばね定数
送り軸慣性
送り軸摩擦係数
外乱トルク

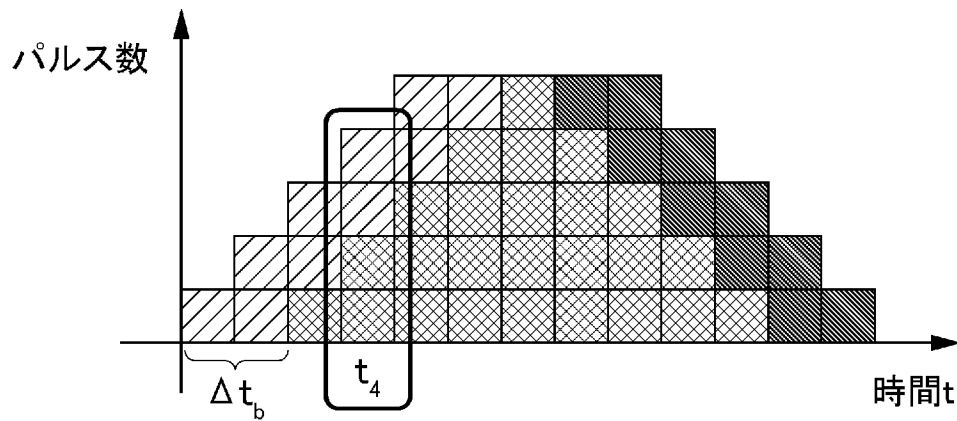
[図7]



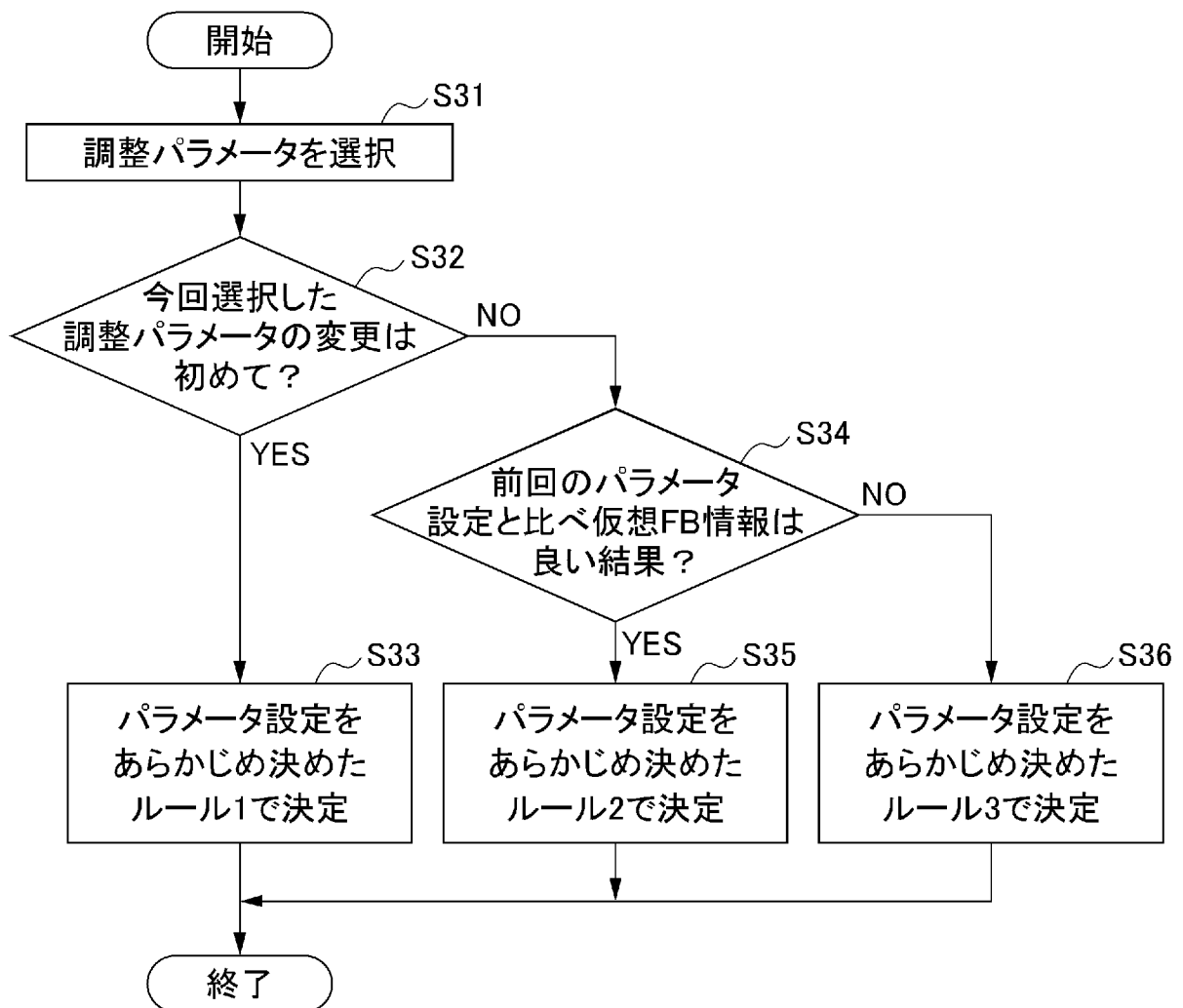
[図8]



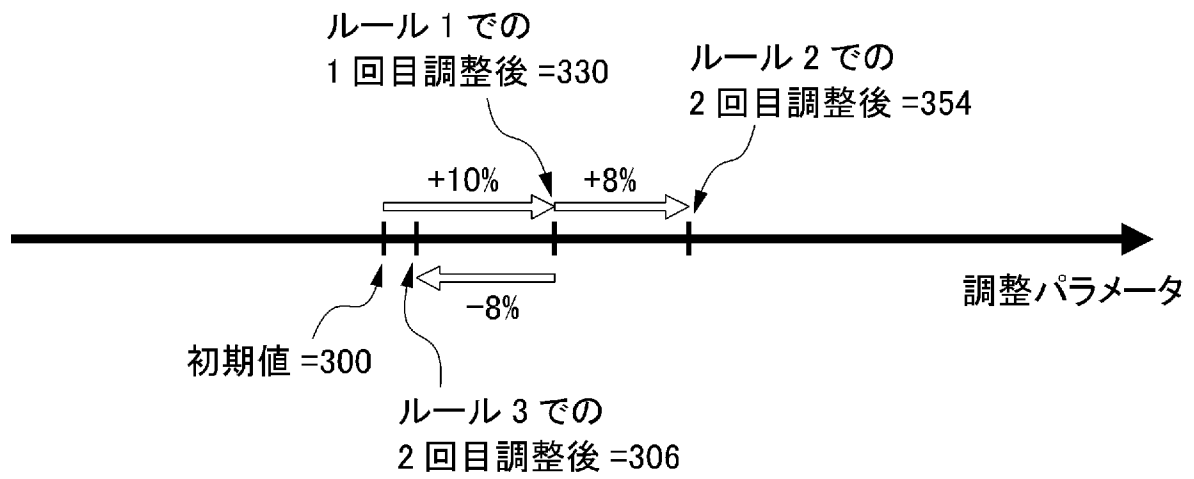
[図9]



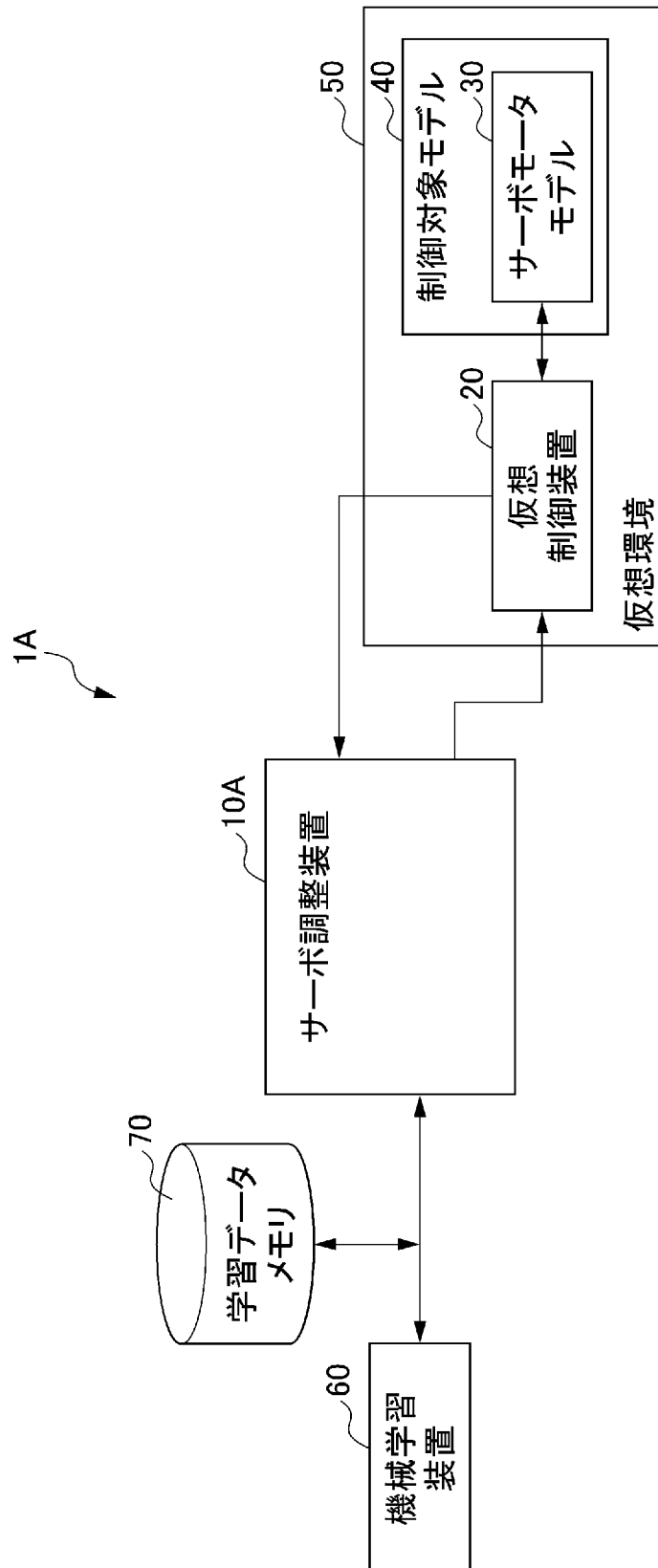
[図10]



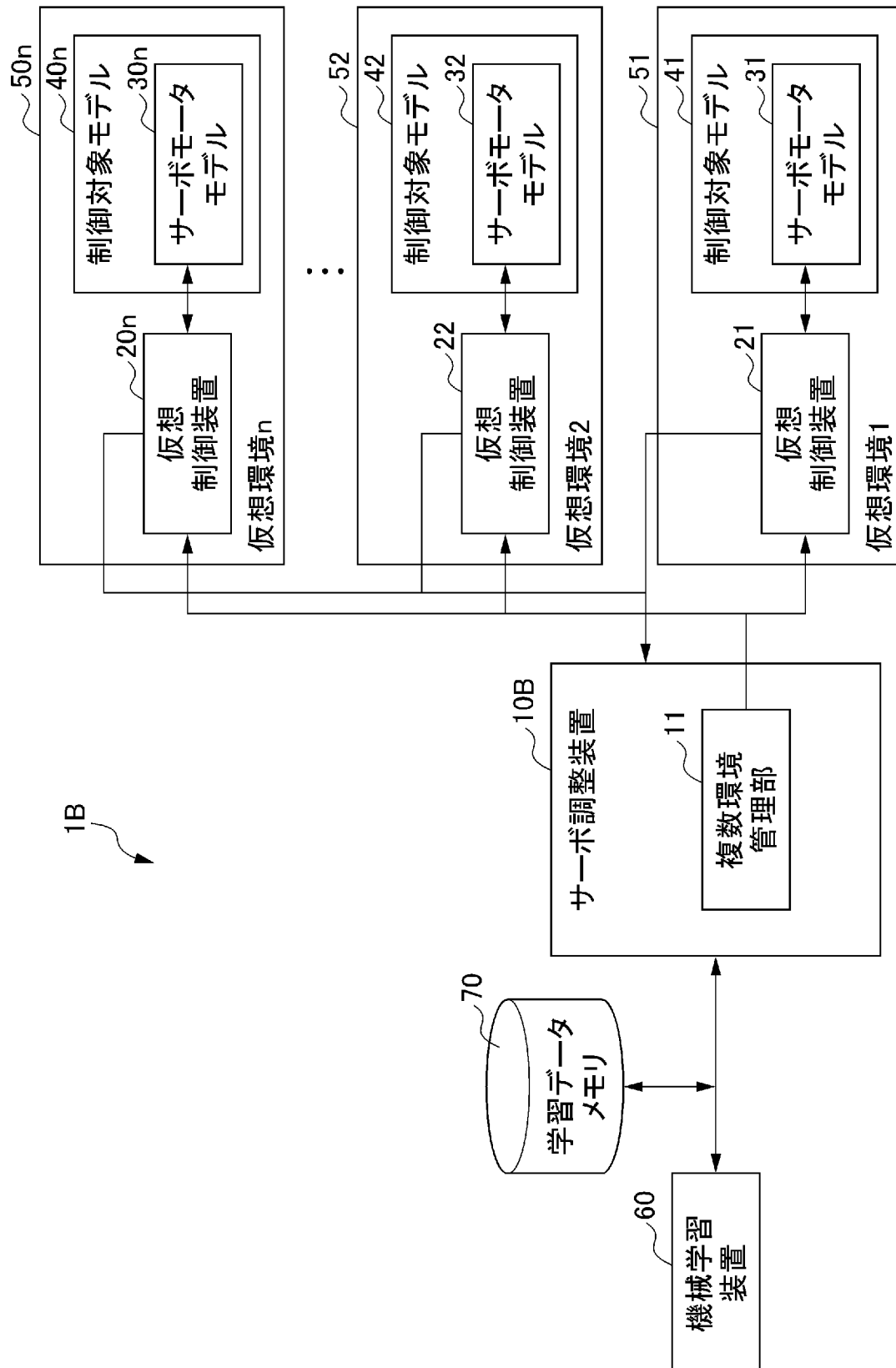
[図11]



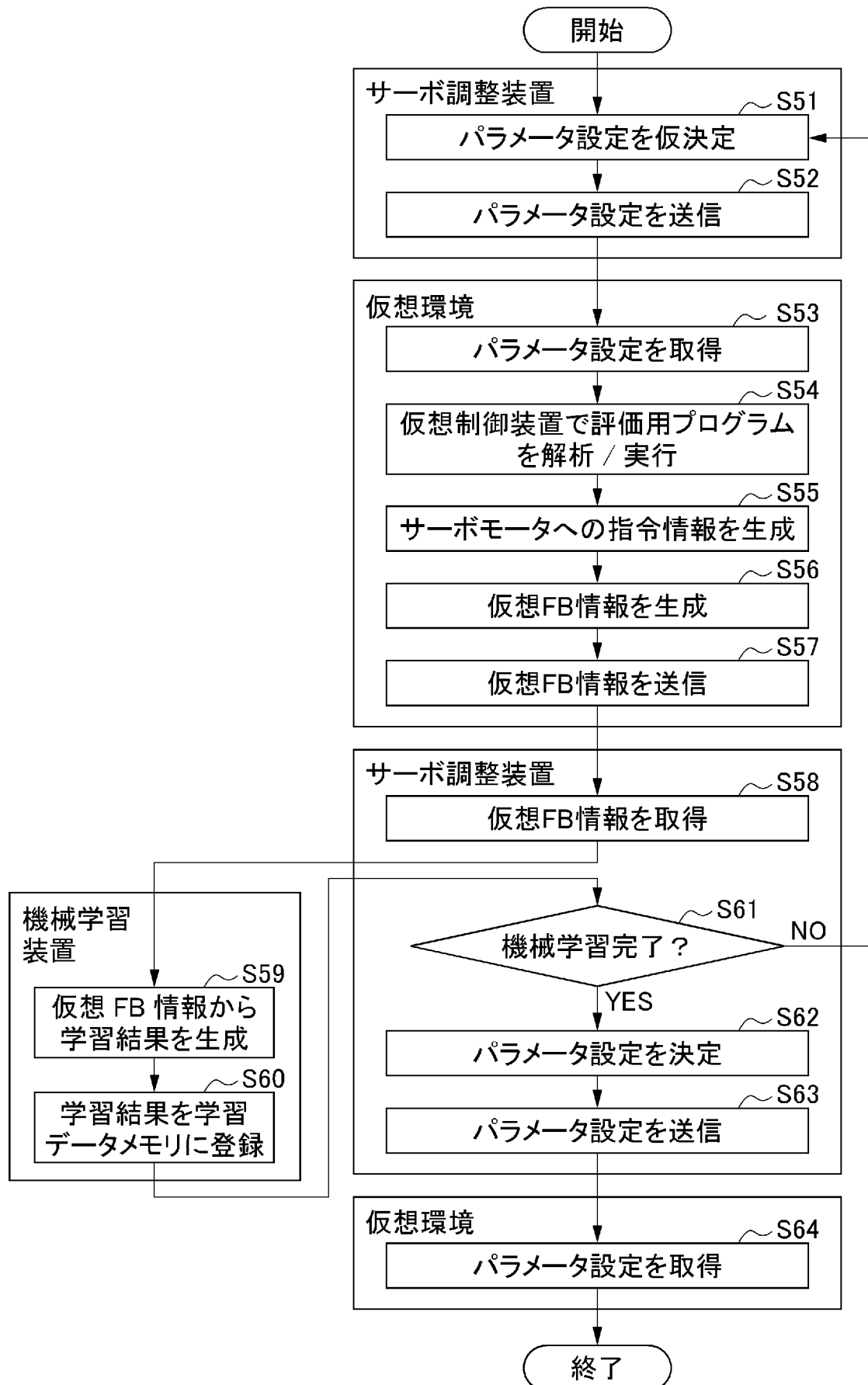
[図12]



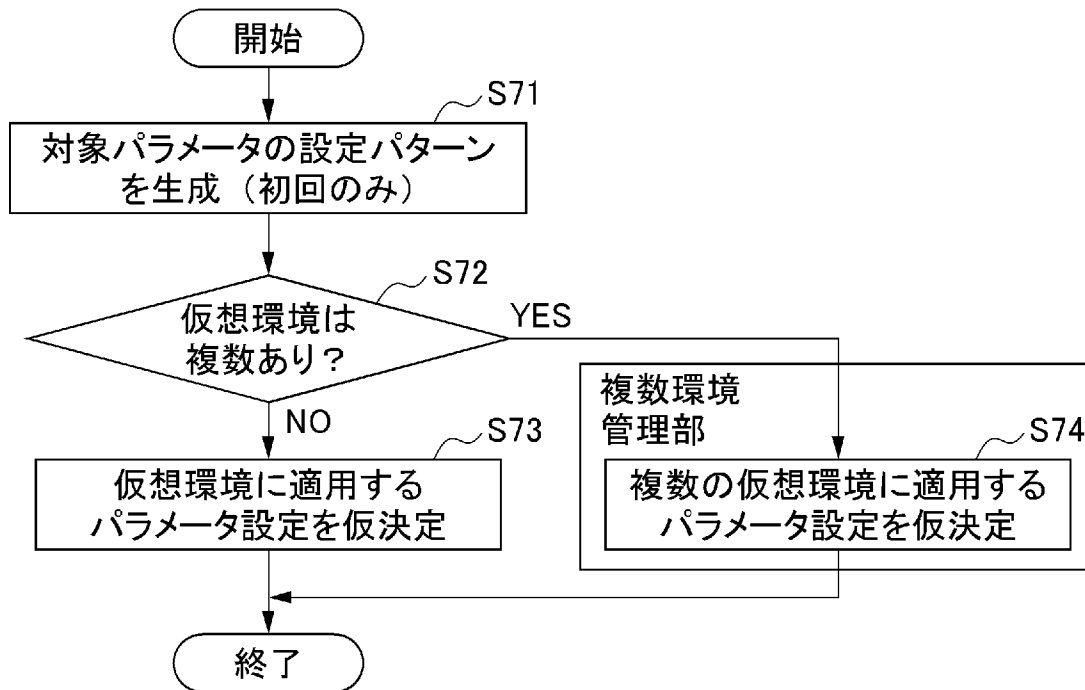
[図13]



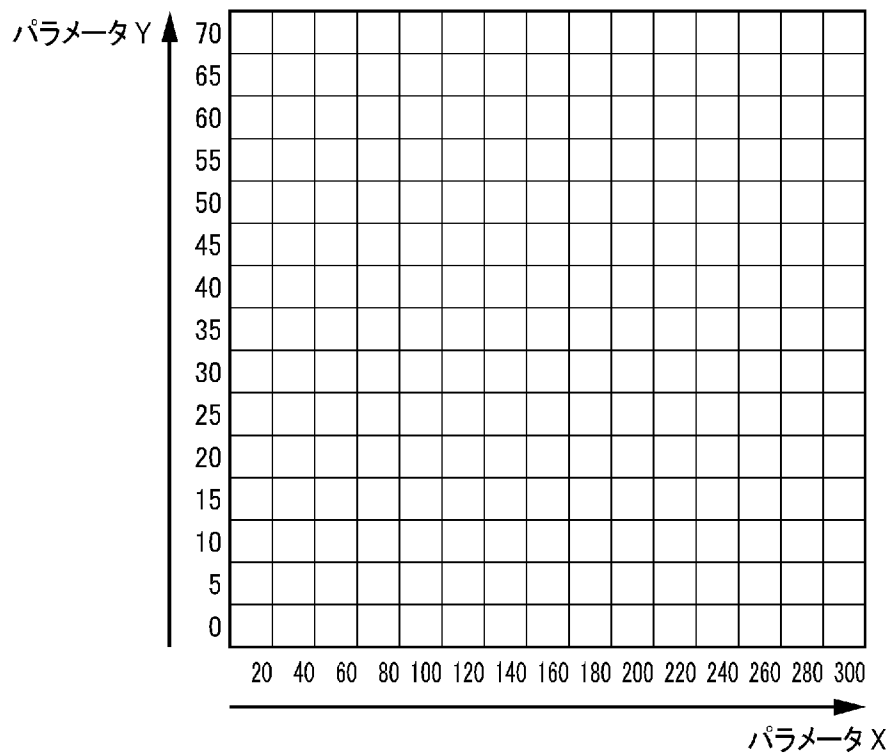
[図14]



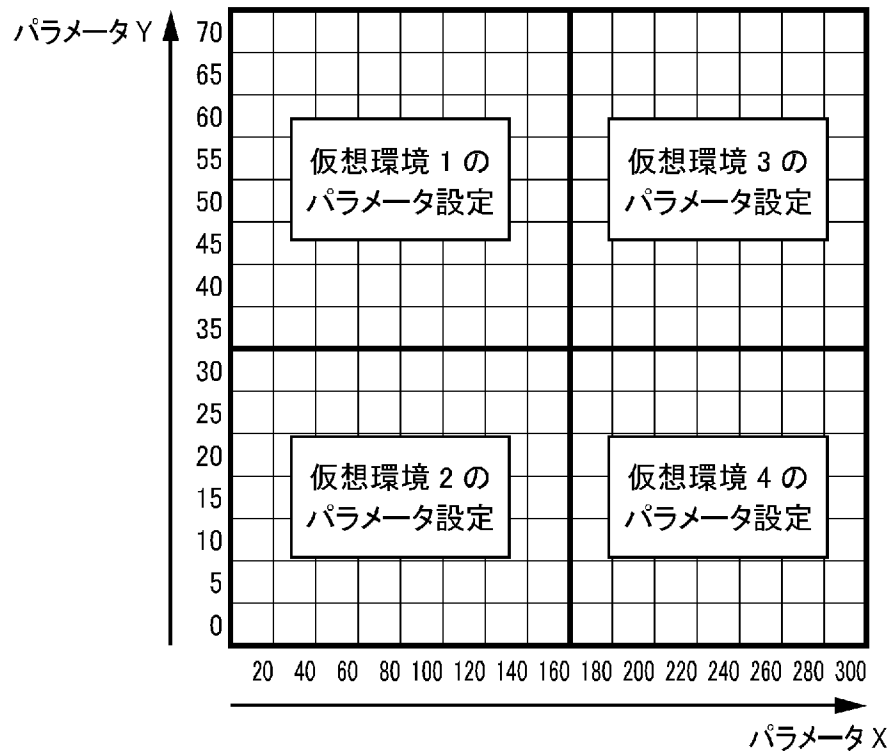
[図15]



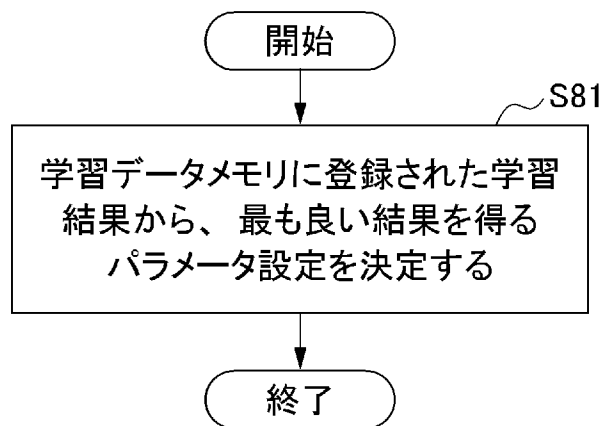
[図16]



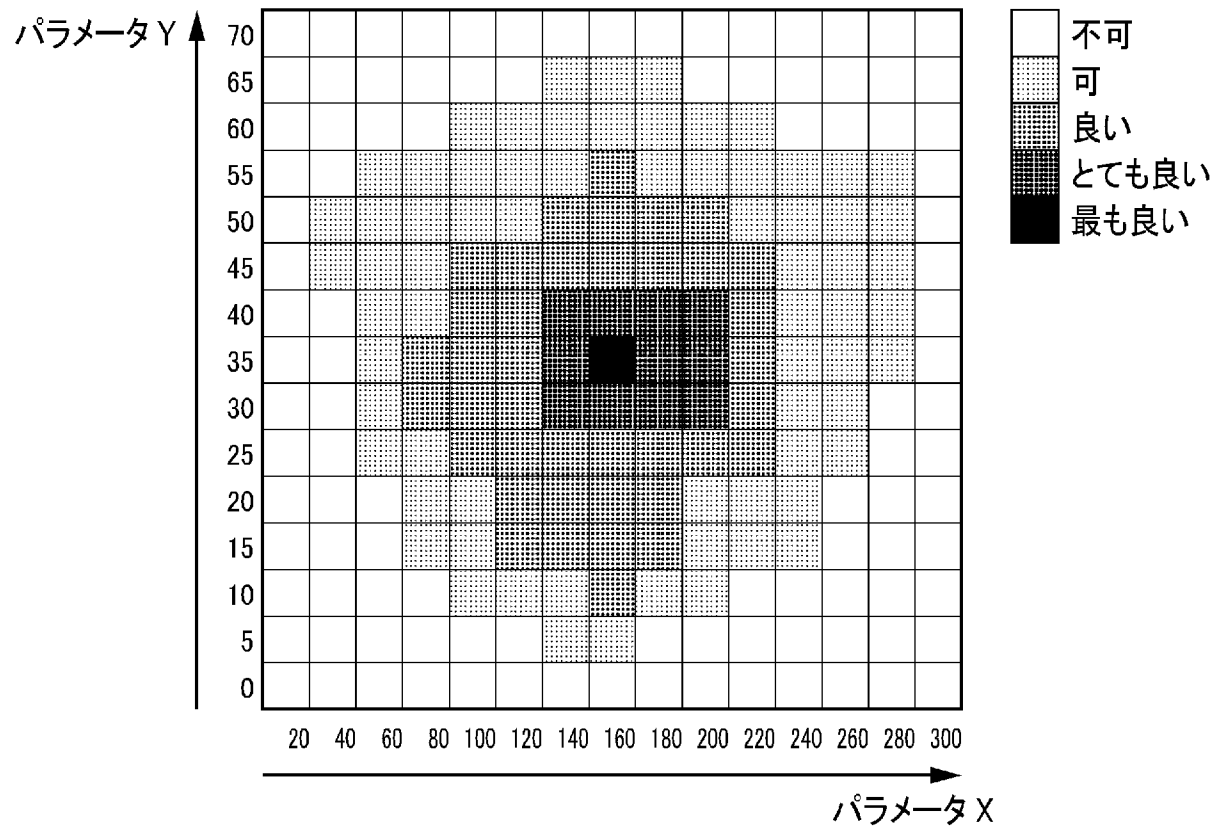
[図17]



[図18]



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/018671

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H02P 23/14 (2006.01)i; H02P 29/00 (2016.01)i FI: H02P23/14; H02P29/00 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) H02P23/14; 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 1971-2022 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)											
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>JP 6961130 B1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 05 November 2021 (2021-11-05) paragraphs [0011]-[0222], fig. 1-14</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="height: 200px;"></td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X	JP 6961130 B1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 05 November 2021 (2021-11-05) paragraphs [0011]-[0222], fig. 1-14	1-4			
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.									
X	JP 6961130 B1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 05 November 2021 (2021-11-05) paragraphs [0011]-[0222], fig. 1-14	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 14 June 2022		Date of mailing of the international search report 28 June 2022									
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.									

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/018671

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 6961130 B1	05 November 2021	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H02P 23/14(2006.01)i; H02P 29/00(2016.01)i FI: H02P23/14; H02P29/00										
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）） H02P23/14; 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2022年</td> </tr> </table> 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）			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2022年
日本国実用新案公報	1922 - 1996年									
日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2022年									
C. 関連すると認められる文献										
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号								
X	JP 6961130 B1（三菱電機株式会社）05.11.2021（2021 - 11 - 05） 段落[0011]-[0222], 図1-14	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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献										
国際調査を完了した日 14.06.2022		国際調査報告の発送日 28.06.2022								
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 池田 貴俊 3V 9256 電話番号 03-3581-1101 内線 3357								

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2022/018671

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 6961130 B1	05.11.2021	(ファミリーなし)	