(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7305061号
(P7305061)

(45)発行日　令和5年7月7日(2023.7.7)

(24)登録日　令和5年6月29日(2023.6.29)

(51)国際特許分類
G05B　13/04　(2006.01)

FI
G05B　13/04

請求項の数　8　（全24頁）

(21)出願番号　特願2022-557233(P2022-557233)
(86)(22)出願日　令和2年10月12日(2020.10.12)
(86)国際出願番号　PCT/JP2020/038475
(87)国際公開番号　WO2022/079761
(87)国際公開日　令和4年4月21日(2022.4.21)
審査請求日　令和4年10月4日(2022.10.4)

(73)特許権者　000006013
三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号
(74)代理人　100118762
弁理士　高村 順
(72)発明者　前川 清石
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号
三菱電機株式会社内
(72)発明者　春尾 七星
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号
三菱電機株式会社内
審査官　松本 泰典

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　パラメータ調整装置およびパラメータ調整方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
制御装置が実機を制御する際に使用する制御パラメータを調整するパラメータ調整装置であって、
前記実機の挙動のシミュレーション結果に基づいて前記制御パラメータを調整する第１パラメータ調整部と、
前記実機の挙動に基づいて前記制御パラメータを調整する第２パラメータ調整部と、
前記第１パラメータ調整部による前記制御パラメータの調整結果である第１の調整結果と前記第２パラメータ調整部による前記制御パラメータの調整結果である第２の調整結果の関係を学習し、前記制御パラメータの決定処理で使用する学習モデルを生成するパラメータ変換関係学習部と、
前記第１の調整結果を前記学習モデルに基づいて変換して前記制御パラメータを生成するパラメータ変換部と、
を備えることを特徴とするパラメータ調整装置。
【請求項２】
制御装置が実機を制御する際に使用する制御パラメータを調整するパラメータ調整装置であって、
前記実機の挙動のシミュレーション結果に基づいて前記制御パラメータを調整する第１パラメータ調整部と、
前記実機の挙動に基づいて前記制御パラメータを調整する第２パラメータ調整部と、

前記第１パラメータ調整部による前記制御パラメータの調整結果である第１の調整結果のうち、前記第２パラメータ調整部が前記制御パラメータを調整する際に前記実機を動作させる動作条件である特定動作条件でのシミュレーション結果に基づく第１の調整結果と、前記第１の調整結果のうち、前記特定動作条件に該当しない動作条件でのシミュレーション結果に基づく第１の調整結果との関係を学習し、前記制御パラメータの決定処理で使用する学習モデルを生成するパラメータ関係学習部と、
前記第２パラメータ調整部による前記制御パラメータの調整結果である第２の調整結果を前記学習モデルに基づいて変換して前記制御パラメータを生成するパラメータ変換部と、
を備えることを特徴とするパラメータ調整装置。
【請求項３】
制御装置が実機を制御する際に使用する制御パラメータを調整するパラメータ調整装置であって、
前記実機の挙動のシミュレーション結果に基づいて前記制御パラメータを調整する第１パラメータ調整部と、
前記実機の挙動に基づいて前記制御パラメータを調整する第２パラメータ調整部と、
前記第１パラメータ調整部による前記制御パラメータの調整結果である第１の調整結果と前記第２パラメータ調整部による前記制御パラメータの調整結果である第２の調整結果とにおいて、前記第１パラメータ調整部および前記第２パラメータ調整部が同じ動作条件で前記制御パラメータを調整したときの前記第１の調整結果と前記第２の調整結果が同等となる場合の、前記第１パラメータ調整部が前記制御パラメータを調整する際の制御仕様値と前記第２パラメータ調整部が前記制御パラメータを調整する際の制御仕様値との関係を学習し、前記制御パラメータの決定処理で使用する学習モデルを生成する仕様変換関係学習部と、
前記第１パラメータ調整部が前記制御パラメータの調整を行う動作条件と、前記学習モデルとに基づいて前記第１パラメータ調整部の制御仕様値を生成する仕様変換部と、
を備え、
前記第１パラメータ調整部は、前記仕様変換部で生成された前記制御仕様値を使用して前記シミュレーション結果に基づく前記制御パラメータの調整を行い、前記制御パラメータを生成する、
ことを特徴とするパラメータ調整装置。
【請求項４】
制御装置が実機を制御する際に使用する制御パラメータを調整するパラメータ調整装置であって、
前記実機の挙動のシミュレーション結果に基づいて前記制御パラメータを調整する第１パラメータ調整部と、
前記実機の挙動に基づいて前記制御パラメータを調整する第２パラメータ調整部と、
を備え、
前記第１パラメータ調整部による前記制御パラメータの調整結果である第１の調整結果および前記第２パラメータ調整部による前記制御パラメータの調整結果である第２の調整結果のうち、少なくとも前記第１の調整結果を用いた学習を行い、前記制御パラメータの決定処理で使用する学習モデルを生成し、
前記学習モデルは前記実機の挙動のシミュレーションで使用される補正モデルであり、
前記第１の調整結果および前記第２の調整結果に基づいて、前記第１の調整結果と前記第２の調整結果の差が小さくなるように前記補正モデルのパラメータを更新する補正モデル学習部、
を備え、
前記第１パラメータ調整部は、前記パラメータの更新が完了した後の前記補正モデルを使用したシミュレーション結果に基づいて前記制御パラメータを生成する、
ことを特徴とするパラメータ調整装置。
【請求項５】

制御装置が実機を制御する際に使用する制御パラメータをパラメータ調整装置が調整するパラメータ調整方法であって、
前記実機の挙動のシミュレーション結果に基づいて前記制御パラメータを調整する第１パラメータ調整ステップと、
前記実機の挙動に基づいて前記制御パラメータを調整する第２パラメータ調整ステップと、
前記第１パラメータ調整ステップにおける前記制御パラメータの調整結果である第１の調整結果と前記第２パラメータ調整ステップにおける前記制御パラメータの調整結果である第２の調整結果の関係を学習し、前記制御パラメータの決定処理で使用する学習モデルを生成する学習モデル生成ステップと、
前記第１の調整結果を前記学習モデルに基づいて変換して前記制御パラメータを生成するパラメータ変換ステップと、
を含むことを特徴とするパラメータ調整方法。
【請求項６】
制御装置が実機を制御する際に使用する制御パラメータをパラメータ調整装置が調整するパラメータ調整方法であって、
前記実機の挙動のシミュレーション結果に基づいて前記制御パラメータを調整する第１パラメータ調整ステップと、
前記実機の挙動に基づいて前記制御パラメータを調整する第２パラメータ調整ステップと、
前記第１パラメータ調整ステップにおける前記制御パラメータの調整結果である第１の調整結果のうち、前記第２パラメータ調整ステップが前記制御パラメータを調整する際に前記実機を動作させる動作条件である特定動作条件でのシミュレーション結果に基づく第１の調整結果と、前記第１の調整結果のうち、前記特定動作条件に該当しない動作条件でのシミュレーション結果に基づく前記第１の調整結果との関係を学習し、前記制御パラメータの決定処理で使用する学習モデルを生成する学習モデル生成ステップと、
前記第２パラメータ調整ステップにおける前記制御パラメータの調整結果である第２の調整結果を前記学習モデルに基づいて変換して前記制御パラメータを生成するパラメータ変換ステップと、
を含むことを特徴とするパラメータ調整方法。
【請求項７】
制御装置が実機を制御する際に使用する制御パラメータをパラメータ調整装置が調整するパラメータ調整方法であって、
前記実機の挙動のシミュレーション結果に基づいて前記制御パラメータを調整する第１パラメータ調整ステップと、
前記実機の挙動に基づいて前記制御パラメータを調整する第２パラメータ調整ステップと、
前記第１パラメータ調整ステップにおける前記制御パラメータの調整結果である第１の調整結果と前記第２パラメータ調整ステップにおける前記制御パラメータの調整結果である第２の調整結果とにおいて、前記第１パラメータ調整ステップおよび前記第２パラメータ調整ステップにおいて同じ動作条件で前記制御パラメータを調整したときの前記第１の調整結果と前記第２の調整結果が同等となる場合の、前記第１パラメータ調整ステップにおいて前記制御パラメータを調整する際の制御仕様値と前記第２パラメータ調整ステップにおいて前記制御パラメータを調整する際の制御仕様値との関係を学習し、前記制御パラメータの決定処理で使用する学習モデルを生成する学習モデル生成ステップと、
前記第１パラメータ調整ステップにおいて前記制御パラメータの調整を行う動作条件と、前記学習モデルとに基づいて、前記シミュレーション結果に基づいて前記制御パラメータを調整する際に使用する制御仕様値を生成する仕様変換ステップと、
前記仕様変換ステップで生成した前記制御仕様値を使用して前記シミュレーション結果に基づく前記制御パラメータの調整を行い、前記制御パラメータを生成する制御パラメー

タ生成ステップと、
を含むことを特徴とするパラメータ調整方法。
【請求項８】
制御装置が実機を制御する際に使用する制御パラメータをパラメータ調整装置が調整するパラメータ調整方法であって、
前記実機の挙動のシミュレーション結果に基づいて前記制御パラメータを調整する第１パラメータ調整ステップと、
前記実機の挙動に基づいて前記制御パラメータを調整する第２パラメータ調整ステップと、
前記第１パラメータ調整ステップにおける前記制御パラメータの調整結果である第１の調整結果および前記第２パラメータ調整ステップにおける前記制御パラメータの調整結果である第２の調整結果のうち、少なくとも前記第１の調整結果を用いた学習を行い、前記制御パラメータの決定処理で使用する学習モデルを生成する学習モデル生成ステップと、
を含み、
前記学習モデルは前記実機の挙動のシミュレーションで使用される補正モデルであり、
前記学習モデル生成ステップでは、前記第１の調整結果および前記第２の調整結果に基づいて、前記第１の調整結果と前記第２の調整結果の差が小さくなるように前記補正モデルのパラメータを更新し、
前記パラメータの更新が完了した後の前記補正モデルを使用したシミュレーション結果に基づいて前記制御パラメータを生成する制御パラメータ生成ステップ、
を含むことを特徴とするパラメータ調整方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本開示は、ロボット、産業機械、工作機械、昇降機、輸送機械などのメカニカルシステムを制御する際の制御パラメータを調整するパラメータ調整装置およびパラメータ調整方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
ロボット、産業機械、工作機械、昇降機、輸送機械などのメカニカルシステムでは、動作時間短縮、精度向上などの高性能化を目的として、メカニカルシステムを制御する制御装置に設定する制御パラメータを調整している。メカニカルシステムの挙動を詳細に再現するシミュレータの実現が困難であるため、制御パラメータの調整は、実際にメカニカルシステムを動作させて必要なデータを収集し、収集したデータに基づいて行われる。高い性能を実現するには、駆動機構の位置、速度、加速度などにより決まる動作条件ごとに、制御パラメータを個別に調整する必要がある。
【０００３】
制御パラメータを調整する従来の方法が特許文献１で開示されている。特許文献１に記載の調整方法では、各動作条件での制御パラメータを調整する際、まず、第１範囲で制御パラメータの値を変更しながらシミュレーションを繰り返し行い制御パラメータの最適値の候補を抽出し、次に、抽出した各候補の近傍である第２範囲内で実機を繰り返し動作させて得られた結果に基づき、制御パラメータの最適値を決定する。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００４】
【文献】特開２０１７－１０２６１９号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
特許文献１に記載の技術によれば、動作条件毎の実機での調整のための試行回数は削減

できるが、実機で調整を行う動作条件の数は削減できない。例えば、停止位置を様々に変動させながら制御パラメータの調整を実機で行う場合、実機の停止位置を高精度に計測する必要があるが、こうした計測を行うためのシステムの設置および測定には時間を要する。そのため、実機で調整を行う動作条件の数が削減できないと、調整時間を短縮できない。

【０００６】

本開示は、上記に鑑みてなされたものであって、実機で制御パラメータの調整を行う動作条件の数を削減できるパラメータ調整装置を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示は、制御装置が実機を制御する際に使用する制御パラメータを調整するパラメータ調整装置であって、実機の挙動のシミュレーション結果に基づいて制御パラメータを調整する第１パラメータ調整部と、実機の挙動に基づいて制御パラメータを調整する第２パラメータ調整部と、第１パラメータ調整部による制御パラメータの調整結果である第１の調整結果と第２パラメータ調整部による制御パラメータの調整結果である第２の調整結果の関係を学習し、制御パラメータの決定処理で使用する学習モデルを生成するパラメータ変換関係学習部と、第１の調整結果を学習モデルに基づいて変換して制御パラメータを生成するパラメータ変換部と、を備える。

【発明の効果】

【０００８】

本開示にかかるパラメータ調整装置は、実機で制御パラメータの調整を行う動作条件の数を削減できるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【０００９】

【図１】実施の形態１にかかるパラメータ調整装置の構成例を示す図

【図２】パラメータ変換関係学習部の構成例を示す図

【図３】実施の形態１にかかるパラメータ調整装置が制御パラメータを調整する動作の一例を示すフローチャート

【図４】パラメータ変換関係学習部の他の構成例を示す図

【図５】実施の形態２にかかるパラメータ調整装置の構成例を示す図

【図６】パラメータ関係学習部の構成例を示す図

【図７】実施の形態２にかかるパラメータ調整装置が制御パラメータを調整する動作の一例を示すフローチャート

【図８】パラメータ関係学習部の他の構成例を示す図

【図９】実施の形態３にかかるパラメータ調整装置の構成例を示す図

【図１０】仕様変換関係学習部の構成例を示す図

【図１１】仕様変換関数学習部の構成例を示す図

【図１２】実施の形態３にかかるパラメータ調整装置が制御パラメータを調整する動作の一例を示すフローチャート

【図１３】実施の形態４にかかるパラメータ調整装置の構成例を示す図

【図１４】補正モデル学習部の構成例を示す図

【図１５】実施の形態４にかかるパラメータ調整装置が制御パラメータを調整する動作の一例を示すフローチャート

【図１６】パラメータ調整装置を実現するハードウェアの一例を示す図

【発明を実施するための形態】

【００１０】

以下に、本開示の実施の形態にかかるパラメータ調整装置およびパラメータ調整方法を図面に基づいて詳細に説明する。

【００１１】

実施の形態１．

図１は、実施の形態１にかかるパラメータ調整装置の構成例を示す図である。本実施の

形態にかかるパラメータ調整装置１は、シミュレーション部２、第１パラメータ調整部３、第２パラメータ調整部４、パラメータ変換関係学習部７およびパラメータ変換部８を備える。第１パラメータ調整部３、第２パラメータ調整部４、パラメータ変換関係学習部７およびパラメータ変換部８はパラメータ決定部３１を構成する。

【００１２】

パラメータ調整装置１は、制御対象実機６を制御する制御装置５の制御パラメータを調整する装置である。制御対象実機６は制御装置５によって制御されるメカニカルシステムであり、産業用ロボット、産業機械、工作機械、昇降機等である。

【００１３】

ここで、本実施の形態では、パラメータ調整装置１は、制御装置５の外部のパーソナルコンピュータもしくはサーバに構築されるものとするがこれに限定するものではない。パラメータ調整装置１は制御装置５の内部に構成されてもよいし、クラウド上に構成してもよい。シミュレーション部２は、制御装置５と組み合わせたときの制御対象実機６の挙動をパーソナルコンピュータなどの仮想環境下で再現するシミュレータである。

【００１４】

第１パラメータ調整部３および第２パラメータ調整部４は、制御装置５の制御パラメータを調整する。制御パラメータの例は、制御対象実機６であるメカニカルシステムの駆動軸を制御するモータのフィードバックゲイン、フィードフォワード制御パラメータ、フィルタパラメータ、指令パラメータ、などである。第１パラメータ調整部３および第２パラメータ調整部４は、これらの制御パラメータの中の少なくとも１つの調整を実施する。

【００１５】

第１パラメータ調整部３は、シミュレーション部２を対象として制御パラメータの調整を行う。具体的には、第１パラメータ調整部３は、制御対象実機６の挙動を再現するシミュレーションをシミュレーション部２に実行させ、シミュレーションの結果に基づいて制御パラメータの調整を行う。一方、第２パラメータ調整部４は、制御装置５および制御対象実機６を対象として制御パラメータの調整を行う。具体的には、第２パラメータ調整部４は、制御装置５を介して制御対象実機６を実際に動作させ、動作結果に基づいて制御パラメータの調整を行う。第１パラメータ調整部３および第２パラメータ調整部４は、それぞれ、調整対象の制御パラメータの値を試行錯誤で変更し、位置決め時間短縮、軌跡精度向上などの目標仕様を満たす制御パラメータの値を探索する。第１パラメータ調整部３および第２パラメータ調整部４は、目標仕様を満たす制御パラメータの値が複数存在する場合は目標仕様を最も満たす制御パラメータの値を探索する。「目標仕様を最も満たす」とは、目標仕様に応じて決める評価関数が最小になることを意味する。例えば、目標仕様が位置決め時間短縮の場合、第１パラメータ調整部３および第２パラメータ調整部４は、最も位置決め時間が短くなる制御パラメータを探索する。第１パラメータ調整部３および第２パラメータ調整部４による制御パラメータの値の探索方法としては、強化学習、粒子群最適化と呼ばれるＰＳＯ（Particle Swarm Optimization）、ベイズ最適化、グリッドサーチ、遺伝的アルゴリズムと呼ばれるＧＡ（Genetic Algorithm）、などを適用する。

【００１６】

第１パラメータ調整部３は、制御パラメータの調整が終了すると、制御パラメータの調整処理で得られる複数の調整結果の一部をパラメータ変換関係学習部７に出力し、残りをパラメータ変換部８に出力する。第２パラメータ調整部４は、制御パラメータの調整が終了すると、調整結果をパラメータ変換関係学習部７および制御装置５に出力する。なお、第１パラメータ調整部３が出力する調整結果は第１の調整結果、第２パラメータ調整部４が出力する調整結果は第２の調整結果である。

【００１７】

パラメータ変換関係学習部７は、第１パラメータ調整部３および第２パラメータ調整部４が特定の同一動作条件下で制御パラメータを調整して得られた、調整後の制御パラメータ同士の関係を学習し、第１パラメータ調整部３で調整された制御パラメータを制御装置５の制御パラメータに変換するための学習モデルを生成する。動作条件は、動作開始地点

および動作終了地点におけるメカニカルシステムの先端部の位置、動作開始地点および動作終了地点における、メカニカルシステムを構成する各軸の位置、設定されている最高速度、など、１つ以上の動作パラメータによって決定される。これらの各動作パラメータの値を変更することで動作条件が変更される。

【００１８】

図２は、パラメータ変換関係学習部７の構成例を示す図である。図２に示すように、パラメータ変換関係学習部７は、ニューラルネットワーク１４を含んで構成される。

【００１９】

パラメータ変換関係学習部７においては、第１パラメータ調整部３がパラメータ調整を行った時の動作条件（以下、学習用動作条件とする）と、学習用動作条件での第１パラメータ調整部３による調整結果すなわち調整後の制御パラメータと、学習用動作条件での第２パラメータ調整部４による調整結果すなわち調整後の制御パラメータと、をニューラルネットワーク１４に入力する。なお、学習用動作条件とは、制御パラメータを調整する際に使用する様々な動作条件の中の一部の動作条件である。ニューラルネットワーク１４は、第１パラメータ調整部３による調整結果および第１パラメータ調整部３が制御パラメータを調整する際に用いた動作条件が入力されると、入力された動作条件での第２パラメータ調整部４による制御パラメータの調整結果を出力するよう、学習を行う。第１パラメータ調整部３および第２パラメータ調整部４による調整結果の例は、比例ゲイン、積分ゲインおよび微分ゲインといったフィードバックゲイン、フィードフォワードパラメータ、指令にかけるフィルタのパラメータ、加減速時間、などである。換言すると、第１パラメータ調整部３および第２パラメータ調整部４が調整する制御パラメータは、比例ゲイン、積分ゲインおよび微分ゲインといったフィードバックゲイン、フィードフォワードパラメータ、指令にかけるフィルタのパラメータ、加減速時間、などである。学習済みのニューラルネットワーク１４は、学習モデルとしてパラメータ変換関係学習部７からパラメータ変換部８に出力される。

【００２０】

パラメータ変換部８は、パラメータ変換関係学習部７で生成された学習モデル（学習済みのニューラルネットワーク１４）を受け取って保持している。パラメータ変換部８は、保持しているニューラルネットワークを利用して、第１パラメータ調整部３から出力される調整後の制御パラメータを、制御装置５が制御対象実機６の制御で実際に使用する制御パラメータに変換する。具体的には、パラメータ変換部８は、第１パラメータ調整部３が制御パラメータを調整した時の動作条件および制御パラメータの調整結果（調整後の制御パラメータ）が第１パラメータ調整部３から出力されるとこれらを受け取り、受け取った動作条件および調整結果を、保持しているニューラルネットワークに入力し、このときのニューラルネットワークの出力を、第１パラメータ調整部３から受け取った動作条件で制御対象実機６を制御する際の制御パラメータとして制御装置５に出力する。パラメータ変換部８が出力する制御パラメータは、第２パラメータ調整部４が制御対象実機６を動作させて調整を行った制御パラメータと同等の制御パラメータとなる。

【００２１】

以上の第１パラメータ調整部３、第２パラメータ調整部４、パラメータ変換関係学習部７およびパラメータ変換部８で構成されるパラメータ決定部３１は、第１パラメータ調整部３が制御パラメータを調整する動作に関する第１の情報と第２パラメータ調整部４が制御パラメータを調整する動作に関する第２の情報との関係を学習した結果に基づいて、複数の動作条件それぞれで制御対象実機６を動作させる際の制御パラメータを動作条件ごとに決定する。本実施の形態においては、第１パラメータ調整部３が特定動作条件で制御パラメータを調整した結果が上記第１の情報に該当し、第２パラメータ調整部４が特定動作条件で制御パラメータを調整した結果が上記第２の情報に該当する。

【００２２】

つづいて、パラメータ調整装置１が制御パラメータを調整する際の全体動作について、図３を用いて説明する。図３は、実施の形態１にかかるパラメータ調整装置１が制御パラ

メータを調整する動作の一例を示すフローチャートである。

【００２３】

パラメータ調整装置１が制御装置５の制御パラメータを調整する場合、まず、第１パラメータ調整部３が、多様な動作条件下で制御パラメータを導出する第１パラメータ調整ステップを実行する（ステップＳ１１）。すなわち、第１パラメータ調整部３は、動作条件を変更しながらシミュレーション部２にシミュレーションを繰り返し実施させ、シミュレーションの結果に基づいて制御パラメータを更新していくことで、それぞれの動作条件で制御対象実機６を動作させる際の適切な制御パラメータを動作条件ごとに導出する。第１パラメータ調整部３は、オーバーシュート量、整定時間などの制御仕様から構成される評価関数が最小となる制御パラメータの値を、ＰＳＯ、ベイズ最適化、強化学習などの手法を用いて探索する。

【００２４】

次に、第２パラメータ調整部４が、特定動作条件下で制御パラメータを導出する第２パラメータ調整ステップを実行する（ステップＳ１２）。すなわち、第２パラメータ調整部４は、上記のステップＳ１１で第１パラメータ調整部３が制御パラメータを導出する際に使用した多様な動作条件の中の一部の動作条件である特定動作条件を使用し、制御装置５を介して制御対象実機６を繰り返し動作させる。そして、第２パラメータ調整部４は、制御対象実機６の動作結果に基づいて制御パラメータを更新していくことで、それぞれの特定動作条件で制御対象実機６を動作させる際の適切な制御パラメータを特定動作条件ごとに導出する。第２パラメータ調整部４は、第１パラメータ調整部３と同様に、ＰＳＯ、ベイズ最適化、強化学習などの手法を用いて、オーバーシュート量、整定時間などの制御仕様から構成される評価関数が最小となる制御パラメータの値を探索する。なお、特定動作条件は上記の学習用動作条件に相当する。

【００２５】

次に、パラメータ変換関係学習部７が、特定動作条件下で導出された制御パラメータ同士の関係を学習して学習モデルを生成する学習モデル生成ステップを実行する（ステップＳ１３）。すなわち、パラメータ変換関係学習部７は、ステップＳ１２で第２パラメータ調整部４が制御パラメータを導出した時の動作条件（特定動作条件）と、ステップＳ１２で第２パラメータ調整部４が導出した制御パラメータと、ステップＳ１１で第１パラメータ調整部３が導出した制御パラメータのうち、特定動作条件下で導出された制御パラメータとの関係を学習することで、パラメータ決定部３１による制御パラメータの決定処理で使用する学習モデルを生成する。より詳細には、パラメータ変換関係学習部７は、第１パラメータ調整部３が導出した制御パラメータ、および、第１パラメータ調整部３が制御パラメータを導出した際の動作条件がニューラルネットワーク１４に入力されると、入力された動作条件下で第２パラメータ調整部４が導出する制御パラメータと同様の制御パラメータを出力するよう、ニューラルネットワーク１４に学習を実施させる。パラメータ変換関係学習部７は、ニューラルネットワーク１４の学習が終了すると、学習済みのニューラルネットワーク１４を学習モデルとしてパラメータ変換部８に出力する。

【００２６】

次に、パラメータ変換部８が、第１パラメータ調整部３で調整された制御パラメータおよび学習結果に基づいて実機の制御パラメータを導出するパラメータ変換ステップを実行する（ステップＳ１４）。すなわち、パラメータ変換部８は、第１パラメータ調整部３から調整後の制御パラメータおよび制御パラメータの調整時に使用した動作条件を受け取り、受け取った制御パラメータおよび動作条件を、パラメータ変換関係学習部７から受け取った学習済みのニューラルネットワーク１４に入力する。そして、パラメータ変換部８は、学習済みのニューラルネットワーク１４から出力される制御パラメータを、制御装置５が制御対象実機６を制御する際の制御パラメータである実機の制御パラメータとして、制御装置５に出力する。

【００２７】

このように、第１パラメータ調整部３がシミュレーション部２を利用したシミュレーシ

ョンにより制御パラメータを調整し、調整後の制御パラメータをパラメータ変換部８が実機の制御パラメータに変換する。そのため、パラメータ調整装置１においては、制御対象実機６を動作させて制御パラメータの調整を行う第２パラメータ調整部４が、制御パラメータの調整に必要な様々な動作条件の中の一部の動作条件について、制御パラメータを導出し、残りの動作条件については、第１パラメータ調整部３がシミュレーションにより導出した制御パラメータをパラメータ変換部８が変換することで、制御装置５が制御対象実機６を制御する際の制御パラメータを導出する。これにより、動作条件を変更しながら制御対象実機６を動作させて制御パラメータを導出する回数を削減することができる。また、制御パラメータの調整に要する時間を削減することができる。なお、上記では第２パラメータ調整部４にて調整を行った一部の動作条件では第２パラメータ調整部４での調整結果を適用する事例を説明したが、第２パラメータ調整部４にて調整を行った動作条件に関しても第１パラメータ調整部３がシミュレーションにより導出した制御パラメータをパラメータ変換部８が変換することで、制御装置５が制御対象実機６を制御する際の制御パラメータを導出しても構わない。

【００２８】

図２に示すパラメータ変換関係学習部７は、ニューラルネットワーク１４が、特定動作条件（学習用動作条件）で第１パラメータ調整部３および第２パラメータ調整部４のそれぞれが制御パラメータを調整して得られる調整結果同士の関係を学習する構成であるが、図４に示す構成としてもよい。図４は、パラメータ変換関係学習部７の他の構成例を示す図である。

【００２９】

図４に示すパラメータ変換関係学習部７は、同じ動作条件で第１パラメータ調整部３および第２パラメータ調整部４が制御パラメータを調整したときの、第２パラメータ調整部４による調整結果と第１パラメータ調整部３による調整結果の差をニューラルネットワーク１４が学習する構成である。図４に示すように、ニューラルネットワーク１４には、第２パラメータ調整部４による調整結果と第１パラメータ調整部３による調整結果の差が入力されるとともに、第１パラメータ調整部３および第２パラメータ調整部４が制御パラメータを調整したときの動作条件が入力される。ニューラルネットワーク１４は、動作条件が入力されると、入力された動作条件で第１パラメータ調整部３および第２パラメータ調整部４が制御パラメータを調整したときの第２パラメータ調整部４による調整結果と第１パラメータ調整部３による調整結果の差を出力するように学習を行う。

【００３０】

図４に示す構成のパラメータ変換関係学習部７は、図２に示す構成のパラメータ変換関係学習部７と同様に、学習済みのニューラルネットワーク１４を学習モデルとしてパラメータ変換部８に出力する。

【００３１】

パラメータ変換部８は、第１パラメータ調整部３が制御パラメータを調整した時の動作条件および制御パラメータの調整結果（調整後の制御パラメータ）を第１パラメータ調整部３から受け取る。パラメータ変換部８は、受け取った動作条件を、保持しているニューラルネットワークに入力し、このときのニューラルネットワークの出力を、第１パラメータ調整部３から受け取った調整後の制御パラメータに加算して、制御対象実機６を制御する際の制御パラメータを生成する。パラメータ変換部８は、生成した制御パラメータを制御装置５に出力する。

【００３２】

以上のように、本実施の形態にかかるパラメータ調整装置１は、図２に示す構成のパラメータ変換関係学習部７および図４に示す構成のパラメータ変換関係学習部７のいずれを適用した場合も、特定動作条件下で第２パラメータ調整部４が制御パラメータを調整して得られた調整結果である調整後の制御パラメータについては、そのまま制御装置５に送信する。一方、第２パラメータ調整部４が制御パラメータの調整を行わない動作条件下の制御パラメータについては、特定動作条件以外の動作条件下で第１パラメータ調整部３が制

御パラメータを調整して得られた調整結果を、パラメータ変換部８が、パラメータ変換関係学習部７で学習したニューラルネットワークを用いて変換することにより導出する。パラメータ変換部８は、導出した制御パラメータを制御装置５に送信する。

【００３３】

本実施の形態にかかるパラメータ調整装置１は、シミュレーションによる制御パラメータの調整結果と実機での制御パラメータの調整結果の関係を学習し、学習結果とシミュレーションによる制御パラメータの調整結果とに基づき、制御対象実機６を動作させて制御パラメータを調整する特定動作条件以外の動作条件の制御パラメータを決定する。そのため、実機を動作させて制御パラメータの調整を行う必要のある動作条件の数を削減し、制御パラメータの調整に要する時間を削減できるという効果が得られる。また、パラメータ調整装置１は、実機を動作させて制御パラメータの調整を行う特定動作条件以外の動作条件の制御パラメータについてもシミュレーションにより適切な値に調整することができる。

【００３４】

実施の形態２．

図５は、実施の形態２にかかるパラメータ調整装置の構成例を示す図である。なお、図５においては、実施の形態１で説明したパラメータ調整装置１（図１参照）と共通の構成要素に同じ符号を付している。また、図５に示す制御装置５および制御対象実機６は図１に示す制御装置５および制御対象実機６と同じものであるため、説明を省略する。本実施の形態では、実施の形態１と異なる構成要素および動作を中心に説明を行う。

【００３５】

実施の形態２にかかるパラメータ調整装置１ａは、実施の形態１にかかるパラメータ調整装置１のパラメータ決定部３１をパラメータ決定部３２に置き換えたものである。パラメータ決定部３２は、第１パラメータ調整部３、第２パラメータ調整部４、パラメータ関係学習部９およびパラメータ変換部１０を備える。

【００３６】

第１パラメータ調整部３は、実施の形態１と同様に、複数の動作条件それぞれについて、制御装置５の制御パラメータを調整する。ここで、複数の動作条件には、基準となる動作条件である第１の動作条件が含まれる。複数の動作条件のうち、第１の動作条件以外の動作条件は第２の動作条件である。第１パラメータ調整部３は、複数の動作条件それぞれについての制御パラメータの調整が終了すると、調整結果をパラメータ関係学習部９に出力する。一方、第２パラメータ調整部４は、第１の動作条件下で制御パラメータの調整を行い、調整結果を制御装置５およびパラメータ変換部１０に出力する。

【００３７】

パラメータ関係学習部９は、第１パラメータ調整部３による制御パラメータの調整結果に基づいて、第１の動作条件での調整結果と、第２の動作条件での調整結果との関係を学習する。パラメータ関係学習部９は、学習動作では、第２パラメータ調整部４が第１の動作条件で制御パラメータを調整した結果から第２の動作条件での制御パラメータの調整結果を導出するための学習モデルを生成する。

【００３８】

図６は、パラメータ関係学習部９の構成例を示す図である。図６に示すように、パラメータ関係学習部９は、実施の形態１で説明したパラメータ変換関係学習部７と同様に、ニューラルネットワーク１４を含んで構成される。

【００３９】

パラメータ関係学習部９においては、第１パラメータ調整部３がパラメータ調整を行った時の第２の動作条件と第１の動作条件の差、および、第２の動作条件での調整結果と第１の動作条件での調整結果の差、をニューラルネットワーク１４に入力する。ニューラルネットワーク１４は、第２の動作条件と第１の動作条件の差が入力されると、第２の動作条件での調整結果と第１の動作条件での調整結果の差を出力するよう、学習を行う。学習済みのニューラルネットワーク１４は、学習モデルとしてパラメータ関係学習部９からパラメータ変換部１０に出力される。

【００４０】
パラメータ変換部１０は、パラメータ関係学習部９で生成された学習モデル（学習済みのニューラルネットワーク１４）を受け取って保持している。パラメータ変換部１０は、保持しているニューラルネットワークを利用して、第２パラメータ調整部４から出力される、第１の動作条件における制御パラメータの調整結果を、制御装置５が制御対象実機６の制御で実際に使用する制御パラメータに変換する。具体的には、パラメータ変換部１０は、第２の動作条件と第１の動作条件の差を、保持しているニューラルネットワークに入力し、このときのニューラルネットワークの出力を、第２パラメータ調整部４から入力された、第１の動作条件での制御パラメータの調整結果に加算し、加算した結果を、第２の動作条件で制御対象実機６を制御する際の制御パラメータとして制御装置５に出力する。パラメータ変換部１０が出力する制御パラメータは、第２パラメータ調整部４が第２の動作条件で制御対象実機６を動作させて調整を行った制御パラメータと同等の制御パラメータとなる。
【００４１】
なお、本実施の形態では、第１パラメータ調整部３のみが制御パラメータの調整を行う第２の動作条件（特定動作条件）が、パラメータ決定部３２が制御パラメータを決定する際に使用する第１の情報に該当する。また、第２パラメータ調整部４が制御パラメータの調整を行う第１の動作条件（特定動作条件に該当しない動作条件）が、パラメータ決定部３２が制御パラメータを決定する際に使用する第２の情報に該当する。
【００４２】
つづいて、パラメータ調整装置１ａが制御パラメータを調整する際の全体動作について、図７を用いて説明する。図７は、実施の形態２にかかるパラメータ調整装置１ａが制御パラメータを調整する動作の一例を示すフローチャートである。
【００４３】
パラメータ調整装置１ａが制御装置５の制御パラメータを調整する場合、まず、第１パラメータ調整部３が、多様な動作条件下で制御パラメータを導出する（ステップＳ１１）。この処理は、実施の形態１で説明した図３のステップＳ１１と同様の処理である。
【００４４】
次に、第２パラメータ調整部４が、特定動作条件下で制御パラメータを導出する（ステップＳ１２）。このステップＳ１２における特定動作条件は、上記の第１の動作条件である。すなわち、第２パラメータ調整部４は、上記のステップＳ１１で第１パラメータ調整部３が制御パラメータを導出する際に使用した多様な動作条件の中の基準の動作条件である第１の動作条件を使用し、制御装置５を介して制御対象実機６を繰り返し動作させる。そして、第２パラメータ調整部４は、制御対象実機６の動作結果に基づいて制御パラメータを更新していくことで、第１の動作条件で制御対象実機６を動作させる際の適切な制御パラメータを導出する。なお、第１の動作条件である特定動作条件は、多様な動作条件の中から任意に選択してよい。
【００４５】
次に、パラメータ関係学習部９が、第１パラメータ調整部３による特定動作条件下での調整結果と、他の動作条件下での調整結果との関係を学習して学習モデルを生成する学習モデル生成ステップを実行する（ステップＳ２１）。具体的には、パラメータ関係学習部９は、第１パラメータ調整部３がパラメータ調整を行った時の特定動作条件以外の動作条件と特定動作条件の差と、第１パラメータ調整部３による特定動作条件以外の動作条件での制御パラメータの調整結果と特定動作条件での制御パラメータの調整結果の差との関係を学習することで、パラメータ決定部３２による制御パラメータの決定処理で使用する学習モデルを生成する。より詳細には、パラメータ関係学習部９は、第１パラメータ調整部３が制御パラメータの調整を行った時の特定動作条件以外の動作条件と特定動作条件の差がニューラルネットワーク１４に入力されると、第１パラメータ調整部３による特定動作条件以外の動作条件での制御パラメータの調整結果と特定動作条件での制御パラメータの調整結果の差を出力するよう、ニューラルネットワーク１４に学習を実施させる。パラメ

ータ関係学習部９は、ニューラルネットワーク１４の学習が終了すると、学習済みのニューラルネットワーク１４を学習モデルとしてパラメータ変換部１０に出力する。

【００４６】

次に、パラメータ変換部１０が、第２パラメータ調整部４で調整された制御パラメータおよび学習結果に基づいて実機の制御パラメータを導出するパラメータ変換ステップを実行する（ステップＳ２２）。すなわち、パラメータ変換部１０は、第２パラメータ調整部４から調整後の制御パラメータおよび制御パラメータの調整時に使用した特定動作条件を受け取り、受け取った特定動作条件と特定動作条件以外の動作条件との差を、パラメータ関係学習部９から受け取った学習済みのニューラルネットワーク１４に入力する。そして、パラメータ変換部１０は、学習済みのニューラルネットワーク１４の出力を、第２パラメータ調整部４から出力された制御パラメータの調整結果に加算し、加算した結果を、制御装置５が制御対象実機６を制御する際の制御パラメータである実機の制御パラメータとして、制御装置５に出力する。

【００４７】

このように、第１パラメータ調整部３がシミュレーション部２を利用したシミュレーションにより制御パラメータを調整し、調整後の制御パラメータをパラメータ変換部１０が実機の制御パラメータに変換する。そのため、パラメータ調整装置１ａにおいては、制御対象実機６を動作させて制御パラメータの調整を行う第２パラメータ調整部４が、制御パラメータの調整に必要な様々な動作条件の中の一部の動作条件である第１の動作条件について、制御パラメータを導出し、残りの動作条件である第２の動作条件については、第１パラメータ調整部３がシミュレーションにより導出した制御パラメータをパラメータ変換部８が変換することで、制御装置５が制御対象実機６を制御する際の制御パラメータを導出する。これにより、動作条件を変更しながら制御対象実機６を動作させて制御パラメータを導出する回数を削減することができる。また、制御パラメータの調整に要する時間を削減することができる。

【００４８】

図６に示すパラメータ関係学習部９は、ニューラルネットワーク１４が、複数の動作条件の中の第２の動作条件での第１パラメータ調整部３による調整結果と第１の動作条件での第１パラメータ調整部３による調整結果の差を学習する構成であるが、図８に示す構成としてもよい。図８は、パラメータ関係学習部９の他の構成例を示す図である。

【００４９】

図８に示すパラメータ関係学習部９は、第１の動作条件での第１パラメータ調整部３による調整結果と第２の動作条件での第１パラメータ調整部３による調整結果の比を算出する除算部１８と、除算部１８が算出した比を学習するニューラルネットワーク１４とを備える。図８に示すように、ニューラルネットワーク１４には、第２の動作条件と第１の動作条件の差が入力されるとともに、第１の動作条件での第１パラメータ調整部３による調整結果と第２の動作条件での第１パラメータ調整部３による調整結果の比が入力される。ニューラルネットワーク１４は、第２の動作条件と第１の動作条件の差が入力されると、第１の動作条件での制御パラメータの調整結果と第２の動作条件での制御パラメータの調整結果の比を出力するように学習を行う。

【００５０】

図８に示す構成のパラメータ関係学習部９は、図６に示す構成のパラメータ関係学習部９と同様に、学習済みのニューラルネットワーク１４を学習モデルとしてパラメータ変換部１０に出力する。

【００５１】

パラメータ変換部１０は、第２パラメータ調整部４が第１の動作条件で制御パラメータを調整した結果を第２パラメータ調整部４から受け取ると、第１の動作条件と第２の動作条件の差を、保持しているニューラルネットワークに入力し、このときのニューラルネットワークの出力を、第２パラメータ調整部４から受け取った調整後の制御パラメータに乗算して、制御対象実機６を制御する際の制御パラメータを生成する。パラメータ変換部１

０は、生成した制御パラメータを制御装置５に出力する。
【００５２】
以上のように、本実施の形態にかかるパラメータ調整装置１ａは、図６に示す構成のパラメータ関係学習部９および図８に示す構成のパラメータ関係学習部９のいずれを適用した場合も、第２パラメータ調整部４が第１の動作条件下で制御パラメータを調整して得られた調整結果である調整後の制御パラメータについては、そのまま制御装置５に送信する。一方、第２パラメータ調整部４が制御パラメータの調整を行わない第２の動作条件下の制御パラメータについては、第２の動作条件下で第１パラメータ調整部３が制御パラメータを調整して得られた調整結果を、パラメータ変換部１０が、パラメータ関係学習部９で学習したニューラルネットワークを用いて変換することにより導出する。パラメータ変換部１０は、導出した制御パラメータを制御装置５に送信する。
【００５３】
本実施の形態にかかるパラメータ調整装置１ａは、基準の動作条件である第１の動作条件でのシミュレーションによる制御パラメータの調整結果と、第２の動作条件でのシミュレーションによる制御パラメータの調整結果との関係を学習し、学習結果と第１の動作条件での実機による制御パラメータの調整結果とに基づき、第２の動作条件の制御パラメータを決定する。そのため、実機で調整を行う必要のある動作条件の数を削減し、制御パラメータの調整に要する時間を削減できるという効果が得られる。また、パラメータ調整装置１ａは、実機を動作させて制御パラメータの調整を行う第１の動作条件以外の第２の動作条件の制御パラメータについてもシミュレーションにより適切な値に調整することができる。
【００５４】
実施の形態３．
図９は、実施の形態３にかかるパラメータ調整装置の構成例を示す図である。なお、図９においては、実施の形態１で説明したパラメータ調整装置１（図１参照）と共通の構成要素に同じ符号を付している。また、図９に示す制御装置５および制御対象実機６は図１に示す制御装置５および制御対象実機６と同じものであるため、説明を省略する。本実施の形態では、実施の形態１と異なる構成要素および動作を中心に説明を行う。
【００５５】
実施の形態３にかかるパラメータ調整装置１ｂは、実施の形態１にかかるパラメータ調整装置１のパラメータ決定部３１をパラメータ決定部３３に置き換えたものである。パラメータ決定部３３は、第１パラメータ調整部３、第２パラメータ調整部４、仕様変換関係学習部１１および仕様変換部１２を備える。
【００５６】
第１パラメータ調整部３は、実施の形態１と同様に、複数の動作条件それぞれについて、制御装置５の制御パラメータを調整する。第１パラメータ調整部３は、複数の動作条件それぞれについての制御パラメータの調整が終了すると、調整後の制御パラメータを制御装置５に出力する。なお、第１パラメータ調整部３は、制御仕様が仕様変換部１２によって適切な値に調整された状態で制御パラメータを調整する。ここで、制御仕様とは、整定時間およびオーバーシュート量といった、制御パラメータの調整の指針となる値のことである。詳細については後述するが、仕様変換部１２は、仕様変換関係学習部１１で生成された学習モデルと、第１パラメータ調整部３が制御パラメータの調整で使用する動作条件とに基づいて、第１パラメータ調整部３が使用する調整後の制御仕様を生成する。
【００５７】
第２パラメータ調整部４は、複数の動作条件の中の一部の動作条件について、実機を用いて制御パラメータの調整を行う。第２パラメータ調整部４は、制御パラメータの調整が完了すると、制御パラメータの調整結果、調整で使用した動作条件および制御仕様を仕様変換関係学習部１１に出力する。第２パラメータ調整部４は、制御パラメータの調整結果については、仕様変換関係学習部１１に加えて制御装置５にも出力する。
【００５８】

仕様変換関係学習部１１は、第１パラメータ調整部３が制御パラメータを調整する際の制御仕様と第２パラメータ調整部４が制御パラメータを調整する際の制御仕様の関係を学習する。具体的には、仕様変換関係学習部１１は、第１パラメータ調整部３および第２パラメータ調整部４が同じ動作条件で制御パラメータを調整した結果が同等となる場合の第１パラメータ調整部３の制御仕様と第２パラメータ調整部４の制御仕様との関係を学習する。仕様変換関係学習部１１は、学習動作では、第２パラメータ調整部４の制御仕様から第１パラメータ調整部３の制御仕様を導出するための学習モデルを生成する。

【００５９】

図１０は、仕様変換関係学習部１１の構成例を示す図である。図１０に示すように、仕様変換関係学習部１１は、制御仕様値学習部１５および仕様変換関数学習部１６を備える。

【００６０】

制御仕様値学習部１５は、第１パラメータ調整部３が制御パラメータを調整する際に使用する制御仕様の値（以下、制御仕様値とする）を調整する。具体的には、制御仕様値学習部１５は、第１パラメータ調整部３による制御パラメータの調整結果と第２パラメータ調整部４による制御パラメータの調整結果とが同等となるよう、第１パラメータ調整部３が使用する制御仕様値を調整する。制御仕様値学習部１５は、以下のようにして第１パラメータ調整部３が使用する制御仕様値を調整する。まず、制御仕様値学習部１５は、第２パラメータ調整部４が制御パラメータの調整で用いた制御仕様値、すなわち、第２パラメータ調整部４から出力される制御仕様の値を初期値として第１パラメータ調整部３に出力する。第１パラメータ調整部３は、制御仕様値学習部１５から入力された制御仕様値を用いて制御パラメータの調整を行い、調整結果を制御仕様値学習部１５に出力する。次に、制御仕様値学習部１５は、第１パラメータ調整部３から出力された調整結果と、第２パラメータ調整部４による調整結果とを比較し、第１パラメータ調整部３による調整結果と第２パラメータ調整部４による調整結果の差が小さくなるように、第１パラメータ調整部３に出力する制御仕様値を更新する。制御仕様値学習部１５は、ＰＳＯ、ＧＡ、ベイズ最適化などを用いて制御仕様値を更新する。更新後の制御仕様値は第１パラメータ調整部３に出力され、第１パラメータ調整部３は更新後の制御仕様値を用いて再度制御パラメータを調整して調整結果を制御仕様値学習部１５に出力する。このような動作を制御仕様値学習部１５は繰り返し実行し、第１パラメータ調整部３による調整結果と第２パラメータ調整部４による調整結果の差が定められた規定値以下になれば、学習を完了し、学習した第１パラメータ調整部３の制御仕様値として、仕様変換関数学習部１６に出力する。

【００６１】

図１１は、仕様変換関数学習部１６の構成例を示す図である。図１１に示すように、仕様変換関数学習部１６は、ニューラルネットワーク１４を含んで構成される。仕様変換関数学習部１６においては、第１パラメータ調整部３の制御仕様値と第２パラメータ調整部４の制御仕様値の差と、第２パラメータ調整部４の動作条件とをニューラルネットワーク１４に入力する。ニューラルネットワーク１４は、動作条件が入力されると第１パラメータ調整部３の制御仕様値と第２パラメータ調整部４の制御仕様値の差を出力するよう、学習を行う。学習済みのニューラルネットワーク１４は、学習モデルとして仕様変換関係学習部１１から仕様変換部１２に出力される。

【００６２】

仕様変換部１２は、仕様変換関係学習部１１で生成された学習モデル（学習済みのニューラルネットワーク１４）を受け取って保持している。また、仕様変換部１２には、第１パラメータ調整部３が制御パラメータを調整する際に使用する動作条件および制御仕様値が入力される。仕様変換部１２は、第１パラメータ調整部３から動作条件および制御仕様値が入力されると、保持しているニューラルネットワークを利用して、入力された動作条件および制御仕様値から、第１パラメータ調整部３が制御パラメータを調整する際に使用する、調整後の制御仕様値を生成する。具体的には、仕様変換部１２は、動作条件を、保持しているニューラルネットワークに入力し、このときのニューラルネットワークの出力を、第１パラメータ調整部３から入力された制御仕様値に加算して、調整後の制御仕様値

を生成する。仕様変換部１２は、調整後の制御仕様値を第１パラメータ調整部３に出力する。第１パラメータ調整部３は、仕様変換部１２から入力される調整後の制御仕様値を用いて制御パラメータを調整し、調整後の制御パラメータを制御装置５に送信する。

【００６３】

なお、本実施の形態では、第１パラメータ調整部３の制御仕様値が、パラメータ決定部３３が制御パラメータを決定する際に使用する第１の情報に該当し、第２パラメータ調整部４の制御仕様値が、パラメータ決定部３３が制御パラメータを決定する際に使用する第２の情報に該当する。

【００６４】

つづいて、パラメータ調整装置１ｂが制御パラメータを調整する際の全体動作について、図１２を用いて説明する。図１２は、実施の形態３にかかるパラメータ調整装置１ｂが制御パラメータを調整する動作の一例を示すフローチャートである。

【００６５】

パラメータ調整装置１ｂが制御装置５の制御パラメータを調整する場合、まず、第２パラメータ調整部４が、特定動作条件下で制御パラメータを導出する（ステップＳ１２）。この処理は、実施の形態１で説明した図３のステップＳ１２と同様の処理である。

【００６６】

次に、仕様変換関係学習部１１が、第２パラメータ調整部４の制御仕様値と、第２パラメータ調整部４による制御パラメータの調整結果とに基づいて、第１パラメータ調整部３の制御仕様値を導出する（ステップＳ３１）。具体的には、仕様変換関係学習部１１の制御仕様値学習部１５が、第２パラメータ調整部４がステップＳ１２で制御パラメータを導出した際の特定動作条件と同じ動作条件にて、第１パラメータ調整部３に制御パラメータの調整を繰り返し実行させ、第１パラメータ調整部３による調整結果が第２パラメータ調整部４による調整結果に近づくよう制御仕様値を更新していくことで、特定動作条件に対応する第１パラメータ調整部３の制御仕様値を導出する。特定動作条件に対応する第１パラメータ調整部３の制御仕様値とは、第１パラメータ調整部３が特定動作条件で制御パラメータを調整する際に使用する制御仕様値である。上述したように、制御仕様値学習部１５は、制御仕様値の更新ではＰＳＯ、ＧＡ、ベイズ最適化などを用いる。

【００６７】

次に、仕様変換関係学習部１１が、動作条件と、第１パラメータ調整部３の制御仕様値と、第２パラメータ調整部４の制御仕様値との関係を学習して学習モデルを生成する学習モデル生成ステップを実行する（ステップＳ３２）。ここでの第１パラメータ調整部３の制御仕様値はステップＳ３１で導出した制御仕様値である。ステップＳ３２では、具体的には、仕様変換関係学習部１１の仕様変換関数学習部１６が、第２パラメータ調整部４の動作条件と、第１パラメータ調整部３の制御仕様値と第２パラメータ調整部４の制御仕様値の差との関係を学習することで、パラメータ決定部３３による制御パラメータの決定処理で使用する学習モデルを生成する。より詳細には、仕様変換関数学習部１６は、動作条件がニューラルネットワーク１４に入力されると、第１パラメータ調整部３の制御仕様値と第２パラメータ調整部４の制御仕様値の差を出力するよう、ニューラルネットワーク１４に学習を実施させる。仕様変換関係学習部１１は、仕様変換関数学習部１６によるニューラルネットワーク１４の学習が終了すると、学習済みのニューラルネットワーク１４を学習モデルとして仕様変換部１２に出力する。

【００６８】

次に、仕様変換部１２が、仕様変換関係学習部１１による学習結果に基づいて第１パラメータ調整部３の制御仕様値を導出する仕様変換ステップを実行する（ステップＳ３３）。具体的には、仕様変換部１２は、第１パラメータ調整部３で制御パラメータを調整する動作条件を取得し、取得した動作条件を、仕様変換関係学習部１１から受け取った学習済みのニューラルネットワーク１４に入力する。そして、仕様変換部１２は、学習済みのニューラルネットワーク１４の出力を、第２パラメータ調整部４の対応する制御仕様値に加算し、加算結果を第１パラメータ調整部３の制御仕様値として第１パラメータ調整部３に

出力する。ここで、学習済みのニューラルネットワーク１４に入力する動作条件はユーザが指定する。すなわち、仕様変換部１２は、動作条件の指定をユーザから受け付け、受け付けた動作条件を学習済みのニューラルネットワーク１４への入力とする。なお、ユーザから指定を受け付ける動作条件は、制御パラメータを調整する際に使用する複数の動作条件のうち、上記のステップＳ１２で第２パラメータ調整部４が制御パラメータを導出する特定動作条件には該当しない動作条件である。また、第２パラメータ調整部４の対応する制御仕様値とは、学習済みのニューラルネットワーク１４に入力する動作条件で第２パラメータ調整部４が制御パラメータを調整する場合に第２パラメータ調整部４が使用する制御仕様値である。この制御仕様値は仕様変換部１２がユーザからの入力を受け付けることで取得してもよいし、仕様変換部１２が第２パラメータ調整部４から該当の制御仕様値を取得してもよい。

【００６９】

次に、第１パラメータ調整部３が、仕様変換部１２で導出された制御仕様値を用いて、実機の制御パラメータを導出する制御パラメータ生成ステップを実行する（ステップＳ３４）。すなわち、第１パラメータ調整部３は、仕様変換部１２で導出された制御仕様値を使用してシミュレーション部２がシミュレーションを実行した結果に基づいて、制御パラメータを導出する。

【００７０】

以上のように、本実施の形態にかかるパラメータ調整装置１ｂは、第２パラメータ調整部４が特定動作条件下で制御パラメータを調整して得られた調整結果である調整後の制御パラメータについては、そのまま制御装置５に送信する。一方、第２パラメータ調整部４が制御パラメータの調整を行わない動作条件下の制御パラメータについては、第１パラメータ調整部３の制御仕様値と、第２パラメータ調整部４の制御仕様値と、動作条件との関係を学習した結果に基づいて導出した制御仕様値を使用して第１パラメータ調整部３が調整を行う。なお、上記では第２パラメータ調整部４が特定動作条件下で制御パラメータを調整して得られた調整結果である調整後の制御パラメータについては、そのまま制御装置５に送信する事例を説明したが、第２パラメータ調整部４が調整した特定動作条件の場合も、第１パラメータ調整部３の制御仕様値と、第２パラメータ調整部４の制御仕様値と、動作条件との関係を学習した結果に基づいて導出した制御仕様値を使用して第１パラメータ調整部３が調整を行っても構わない。

【００７１】

本実施の形態にかかるパラメータ調整装置１ｂは、実機での制御パラメータの調整結果とシミュレーションによる制御パラメータの調整結果の差が規定値以下となるように制御仕様値を変換する仕様変換関係を学習し、学習結果に基づいて、シミュレーションによる制御パラメータの調整で使用する制御仕様値を導出するため、実機での制御パラメータの調整結果と同等の調整結果をシミュレーションによる調整動作で得ることができる。また、実機で調整を行う必要のある動作条件の数を削減し、制御パラメータの調整に要する時間を削減できるという効果が得られる。

【００７２】

実施の形態４．

図１３は、実施の形態４にかかるパラメータ調整装置の構成例を示す図である。なお、図１３においては、実施の形態１で説明したパラメータ調整装置１（図１参照）と共通の構成要素に同じ符号を付している。また、図１３に示す制御装置５および制御対象実機６は図１に示す制御装置５および制御対象実機６と同じものであるため、説明を省略する。本実施の形態では、実施の形態１と異なる構成要素および動作を中心に説明を行う。

【００７３】

実施の形態４にかかるパラメータ調整装置１ｃは、実施の形態１にかかるパラメータ調整装置１のパラメータ決定部３１をパラメータ決定部３４に置き換えたものである。パラメータ決定部３４は、第１パラメータ調整部３、第２パラメータ調整部４および補正モデル学習部１３を備える。本実施の形態では、シミュレーション部２を構成するシミュレー

タが、第１パラメータ調整部３の調整結果と第２パラメータ調整部４の調整結果との差を小さくするための補正モデルを内部に備えるものとする。

【００７４】

第１パラメータ調整部３は、実施の形態１と同様に、複数の動作条件それぞれについて、制御装置５の制御パラメータを調整する。なお、第１パラメータ調整部３が制御パラメータを調整する際に利用するシミュレーション部２が備える補正モデルは補正モデル学習部１３によって生成される。詳細については後述するが、第１パラメータ調整部３は、補正モデル学習部１３が補正モデルを作成するための学習が完了するまでの間は、制御パラメータの調整結果（調整後の制御パラメータ）を補正モデル学習部１３に出力する。第１パラメータ調整部３は、補正モデル学習部１３が補正モデルを作成するための学習が完了した後は、複数の動作条件それぞれについての制御パラメータの調整結果を制御装置５に出力する。

【００７５】

第２パラメータ調整部４は、複数の動作条件の中の一部の動作条件について、実機を用いて制御パラメータの調整を行う。第２パラメータ調整部４は、制御パラメータの調整が完了すると、制御パラメータの調整結果および調整で使用した動作条件を補正モデル学習部１３に出力する。第２パラメータ調整部４は、制御パラメータの調整結果については、補正モデル学習部１３に加えて制御装置５にも出力する。

【００７６】

補正モデル学習部１３は、第１パラメータ調整部３による制御パラメータの調整結果と、第２パラメータ調整部４による制御パラメータの調整結果との関係を学習し、シミュレーション部２を構成する補正モデルを生成する。

【００７７】

図１４は、補正モデル学習部１３の構成例を示す図である。図１３に示すように、補正モデル学習部１３は、補正モデルパラメータ学習部１７を含んで構成される。

【００７８】

補正モデルパラメータ学習部１７は内部に補正モデルのパラメータ（以下、補正モデルパラメータとする）の初期値を記憶しており、以下に示す手順で補正モデルを生成する。まず、補正モデルパラメータ学習部１７は、第２パラメータ調整部４が制御パラメータを調整する際に使用した動作条件を第１パラメータ調整部３に出力して制御パラメータの調整を指示するとともに、記憶している補正モデルパラメータの初期値をシミュレーション部２に出力する。第１パラメータ調整部３は、補正モデルパラメータ学習部１７から入力された動作条件それぞれを使用して制御パラメータの調整を実施し、調整結果を補正モデルパラメータ学習部１７に出力する。第１パラメータ調整部３による制御パラメータの調整が終了すると、補正モデルパラメータ学習部１７は、第２パラメータ調整部４による調整結果と第１パラメータ調整部３による調整結果の差が小さくなるよう、シミュレーション部２に送信する補正モデルパラメータを更新する。補正モデルパラメータ学習部１７は、ＰＳＯ、ＧＡ、ベイズ最適化などを用いて補正モデルパラメータを更新する。次に、補正モデルパラメータ学習部１７は、更新後の補正モデルパラメータをシミュレーション部２に送信するとともに、第１パラメータ調整部３に制御パラメータの再調整を指示する。この指示を受けた第１パラメータ調整部３は制御パラメータの再調整を実施し、調整結果を補正モデルパラメータ学習部１７に出力する。このような動作を補正モデルパラメータ学習部１７は繰り返し実行し、第１パラメータ調整部３による調整結果と第２パラメータ調整部４による調整結果の差が定められた規定値以下になれば、学習を完了し、その時点の補正モデルパラメータを最終的な補正モデルパラメータとしてシミュレーション部２に出力する。

【００７９】

なお、本実施の形態では、第１パラメータ調整部３が特定動作条件で制御パラメータを調整した結果が、パラメータ決定部３４が制御パラメータを決定する際に使用する第１の情報に該当し、第２パラメータ調整部４が特定動作条件で制御パラメータを調整した結果

が、パラメータ決定部３４が制御パラメータを決定する際に使用する第２の情報に該当する。

【００８０】

つづいて、パラメータ調整装置１ｃが制御パラメータを調整する際の全体動作について、図１５を用いて説明する。図１５は、実施の形態４にかかるパラメータ調整装置１ｃが制御パラメータを調整する動作の一例を示すフローチャートである。

【００８１】

パラメータ調整装置１ｃが制御装置５の制御パラメータを調整する場合、まず、第２パラメータ調整部４が、特定動作条件下で制御パラメータを導出する（ステップＳ１２）。この処理は、実施の形態１で説明した図３のステップＳ１２と同様の処理である。

【００８２】

次に、補正モデル学習部１３が、第２パラメータ調整部４による制御パラメータの調整結果と、第２パラメータ調整部４が制御パラメータを調整した時の動作条件と、に基づいて、シミュレーション部２の補正モデルパラメータを更新することで、パラメータ決定部３４による制御パラメータの決定処理で使用する学習モデルを生成する（ステップＳ４１）。このステップＳ４１は学習モデル生成ステップである。すなわち、補正モデル学習部１３は、同じ動作条件下での第１パラメータ調整部３による制御パラメータの調整結果と第２パラメータ調整部４による制御パラメータの調整結果の差が規定値以下となるよう、シミュレーション部２の補正モデルパラメータを探索して決定する。補正モデルパラメータを探索は上述した補正モデルパラメータ学習部１７が行う。

【００８３】

次に、第１パラメータ調整部３が、実機の制御パラメータを導出する制御パラメータ生成ステップを実行する（ステップＳ４２）。すなわち、第１パラメータ調整部３は、ステップＳ４１で内部の補正モデルのパラメータが更新された状態のシミュレーション部２に様々な動作条件でのシミュレーションを実行させ、シミュレーションの結果に基づいて制御パラメータを調整する。第１パラメータ調整部３は、制御パラメータの調整が終了すると、調整結果を制御装置５に出力する。

【００８４】

以上のように、本実施の形態にかかるパラメータ調整装置１ｃは、第２パラメータ調整部４が特定動作条件下で制御パラメータを調整して得られた調整結果である調整後の制御パラメータについては、そのまま制御装置５に送信する。一方、第２パラメータ調整部４が制御パラメータの調整を行わない動作条件下の制御パラメータについては、第１パラメータ調整部３が、実機による制御パラメータの調整結果とシミュレーションによる制御パラメータの調整結果の差が小さくなるようにパラメータを学習済みの補正モデルを備えるシミュレーション部２でのシミュレーション結果に基づいて調整を行う。なお、上記では第２パラメータ調整部４が特定動作条件下で制御パラメータを調整して得られた調整結果である調整後の制御パラメータについては、そのまま制御装置５に送信する事例を説明したが、第２パラメータ調整部４が調整した特定動作条件の場合も、第１パラメータ調整部３が、実機による制御パラメータの調整結果とシミュレーションによる制御パラメータの調整結果の差が小さくなるようにパラメータを学習済みの補正モデルを備えるシミュレーション部２でのシミュレーション結果に基づいて調整を行っても構わない。

【００８５】

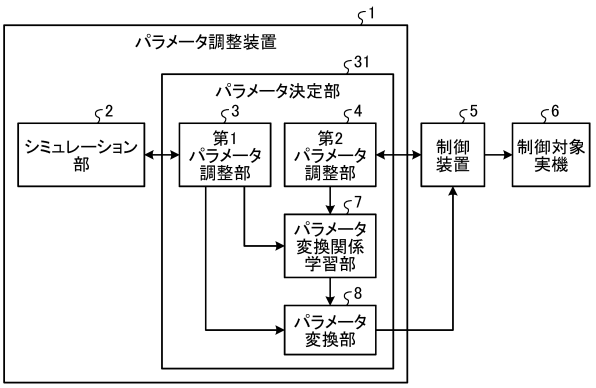
本実施の形態にかかるパラメータ調整装置１ｃは、実機での制御パラメータの調整結果とシミュレーションによる制御パラメータの調整結果が規定値以下となるようにパラメータを調整した補正モデルを使用してシミュレーションを行い、シミュレーション結果に基づいて制御パラメータを調整することが可能であるため、実機で調整を行う必要のある動作条件の数を削減し、制御パラメータの調整に要する時間を削減できるという効果が得られる。また、パラメータ調整装置１ｃは、実機を動作させて制御パラメータの調整を行う特定動作条件以外の動作条件の制御パラメータについてもシミュレーションにより適切な値に調整することができる。

【００８６】
つづいて、上述の各実施の形態にかかるパラメータ調整装置（パラメータ調整装置１，１ａ，１ｂ，１ｃ）のハードウェア構成について説明する。各パラメータ調整装置（パラメータ調整装置１，１ａ，１ｂ，１ｃ）のハードウェア構成は同一であるため、一例として、実施の形態１にかかるパラメータ調整装置１のハードウェア構成について説明する。図１６は、パラメータ調整装置１を実現するハードウェアの一例を示す図である。
【００８７】
実施の形態１にかかるパラメータ調整装置１は、演算装置１０１、記憶装置１０２およびインタフェース回路１０３により実現することができる。演算装置１０１の例は、ＣＰＵ（Central Processing Unit、中央処理装置、処理装置、演算装置、マイクロプロセッサ、マイクロコンピュータ、ＤＳＰ（Digital Signal Processor）ともいう）、システムＬＳＩ（Large Scale Integration）などである。記憶装置１０２の例は、ＲＡＭ（Random Access Memory）、ＲＯＭ（Read Only Memory）、ハードディスクドライブ、ＳＳＤ（Solid State Drive）、着脱可能なメモリデバイス、またはこれらを組み合わせたものである。
【００８８】
パラメータ調整装置１のシミュレーション部２、第１パラメータ調整部３、第２パラメータ調整部４、パラメータ変換関係学習部７およびパラメータ変換部８は、これらの各部として動作するためのプログラムを演算装置１０１が実行することにより実現される。シミュレーション部２、第１パラメータ調整部３、第２パラメータ調整部４、パラメータ変換関係学習部７およびパラメータ変換部８として動作するためのプログラムは記憶装置１０２に予め格納されている。演算装置１０１は、上記のプログラムを記憶装置１０２から読み出して実行することにより、シミュレーション部２、第１パラメータ調整部３、第２パラメータ調整部４、パラメータ変換関係学習部７およびパラメータ変換部８として動作する。
【００８９】
記憶装置１０２は、上記のプログラムを保持するとともに、演算装置１０１が各種処理を実行する際の一時メモリとしても使用される。インタフェース回路１０３は、パラメータ調整装置１が制御装置５との間でデータを送受信する際に使用される。
【００９０】
なお、パラメータ調整装置１の各部として動作するための上記のプログラムは記憶装置１０２に予め格納されているものとしたがこれに限定されない。上記のプログラムは、ＣＤ（Compact Disc）－ＲＯＭ、ＤＶＤ（Digital Versatile Disc）－ＲＯＭなどの記録媒体に書き込まれた状態でユーザに供給され、ユーザが記憶装置１０２にインストールする形態であってもよい。また、上記のプログラムは、インターネットなどのネットワークを介してユーザに提供される形態であってもよい。
【００９１】
なお、上述した各実施の形態では、制御パラメータの調整が必要な複数の動作条件の一部である特定動作条件についての制御パラメータを第２パラメータ調整部４が調整し、残りの動作条件についての制御パラメータを第１パラメータ調整部３が調整することとしたが、全ての動作条件についての制御パラメータを第１パラメータ調整部３が調整するようにしてもよい。すなわち、第２パラメータ調整部４による特定動作条件についての制御パラメータの調整結果は、各実施の形態で説明した学習モデルを生成する学習動作でのみ使用するようにしてもよい。
【００９２】
以上の実施の形態に示した構成は、一例を示すものであり、別の公知の技術と組み合わせることも可能であるし、実施の形態同士を組み合わせることも可能であるし、要旨を逸脱しない範囲で、構成の一部を省略、変更することも可能である。
【符号の説明】
【００９３】

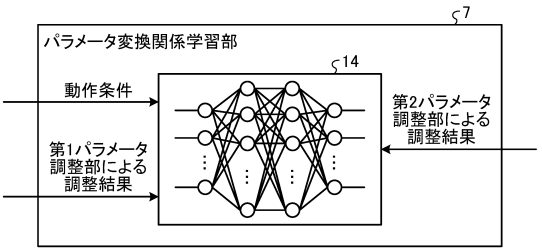
１，１ａ，１ｂ，１ｃ　パラメータ調整装置、２　シミュレーション部、３　第１パラメータ調整部、４　第２パラメータ調整部、５　制御装置、６　制御対象実機、７　パラメータ変換関係学習部、８，１０　パラメータ変換部、９　パラメータ関係学習部、１１　仕様変換関係学習部、１２　仕様変換部、１３　補正モデル学習部、１４　ニューラルネットワーク、１５　制御仕様値学習部、１６　仕様変換関数学習部、１７　補正モデルパラメータ学習部、１８　除算部、３１，３２，３３，３４　パラメータ決定部。

【図面】

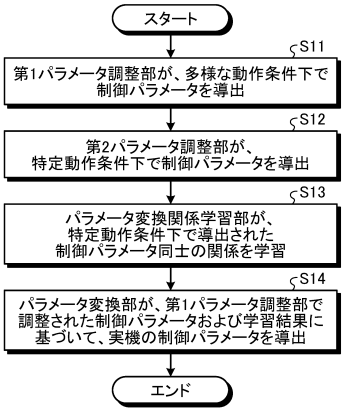
【図１】



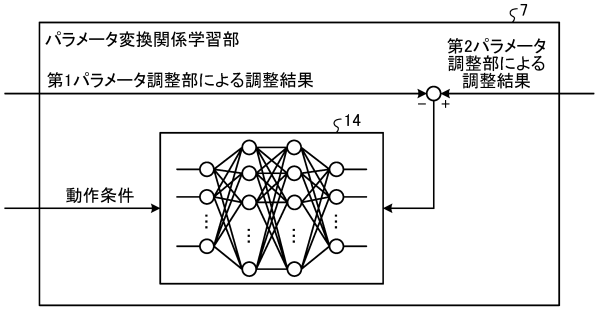
【図２】



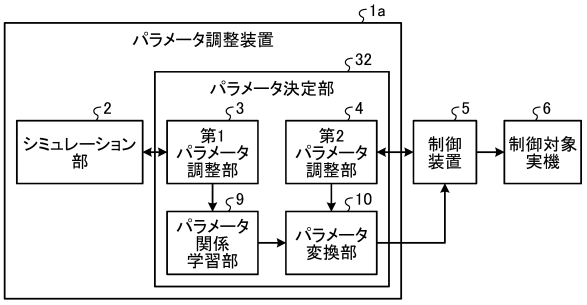
【図３】



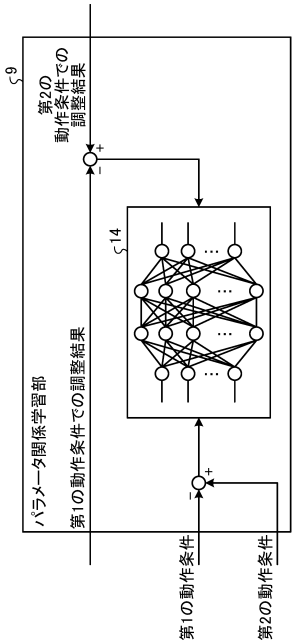
【図４】



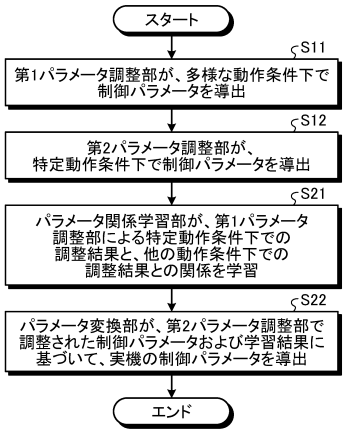
【図５】


1a
パラメータ調整装置
32
パラメータ決定部
2
シミュレーション部
3
第1パラメータ調整部
4
第2パラメータ調整部
5
制御装置
6
制御対象実機
9
パラメータ関係学習部
10
パラメータ変換部

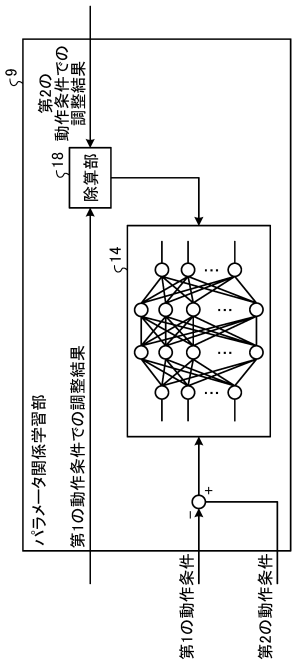
【図６】


9
第2の動作条件での調整結果
14
パラメータ関係学習部
第1の動作条件での調整結果
第1の動作条件
第2の動作条件

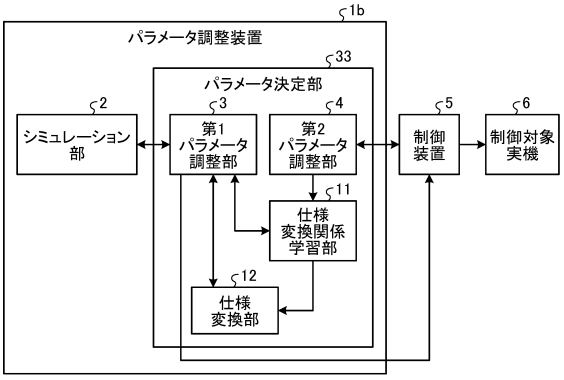
【図７】


スタート
S11
第1パラメータ調整部が、多様な動作条件下で制御パラメータを導出
S12
第2パラメータ調整部が、特定動作条件下で制御パラメータを導出
S21
パラメータ関係学習部が、第1パラメータ調整部による特定動作条件下での調整結果と、他の動作条件下での調整結果との関係を学習
S22
パラメータ変換部が、第2パラメータ調整部で調整された制御パラメータおよび学習結果に基づいて、実機の制御パラメータを導出
エンド

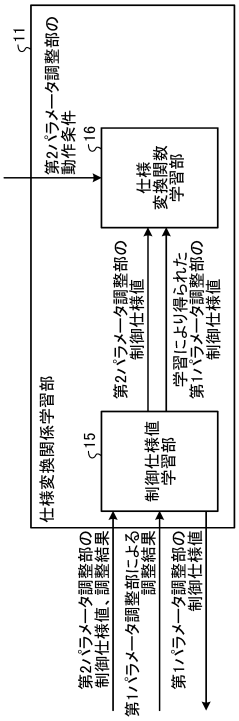
【図８】


9
第2の動作条件での調整結果
18
除算部
14
パラメータ関係学習部
第1の動作条件での調整結果
第1の動作条件
第2の動作条件

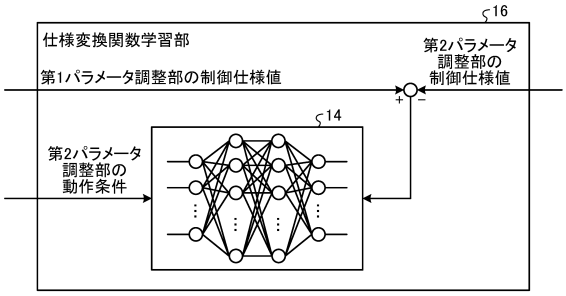
【図９】



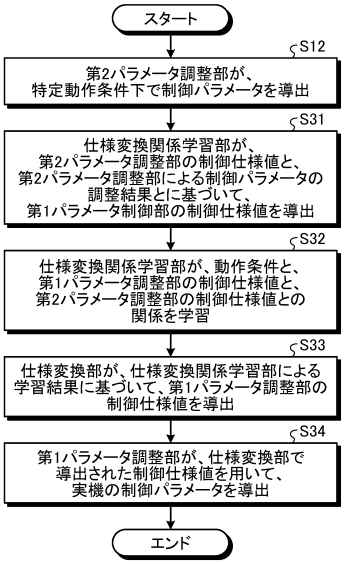
【図１０】



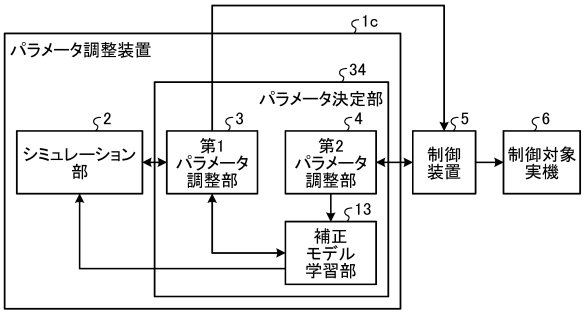
【図１１】



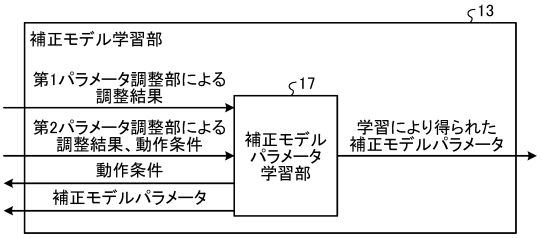
【図１２】



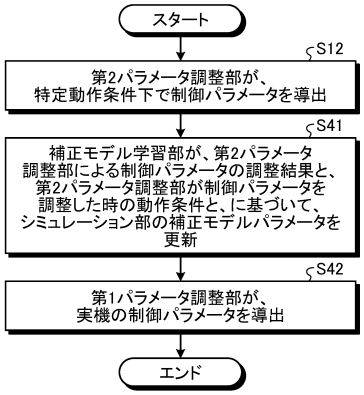
【図１３】



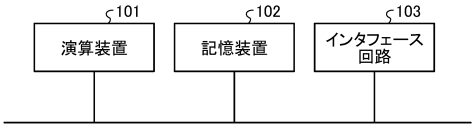
【図１４】



【図１５】



【図１６】



フロントページの続き

(56)参考文献　国際公開第２０２０／２４６００５（WO，Ａ１）
特開２０２０－９５３５２（ＪＰ，Ａ）
特開２０１７－１５７１１２（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０１１／１３６１６０（WO，Ａ１）

(58)調査した分野　(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０５Ｂ　１３／０４