

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

モーション制御の対象である制御対象のモデルを用いて、指令値に対応する前記制御対象の制御量を予測するモデル予測制御装置であって、

連続する複数の動作周期の間で大きさおよび印加のタイミングが同一である外乱が印加されたときの、或る動作周期における制御量の実測値と、前記或る動作周期における前記モデルを用いた制御量の予測値との誤差であるモデル予測誤差を算出する誤差算出部と、

前記誤差算出部により算出された前記或る動作周期における前記モデル予測誤差を用いて、前記或る動作周期より後の動作周期における前記予測値を補正する予測値補正部と、を備えることを特徴とするモデル予測制御装置。

10

【請求項 2】

前記予測値補正部は、前記誤差算出部により算出された所定の回の動作周期における前記モデル予測誤差を用いて、前記所定の回より後の回の動作周期における前記予測値を補正することを特徴とする請求項 1 に記載のモデル予測制御装置。

【請求項 3】

前記予測値補正部は、前記誤差算出部により算出された或る動作周期における前記モデル予測誤差を用いて、前記或る動作周期の次の動作周期における前記予測値を補正することを特徴とする請求項 1 に記載のモデル予測制御装置。

【請求項 4】

前記指令値に、前記予測値補正部により補正された前記予測値が追従するのに必要なトルクを算出するトルク算出部と、

前記トルク算出部により算出されたトルクを、前記制御対象にモーション制御を行う制御系に、前記制御対象のトルク制御に係る指令値として出力するトルク指令部と、をさらに備えることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載のモデル予測制御装置。

20

【請求項 5】

前記指令値に、前記予測値補正部により補正された前記予測値が追従するよう、前記指令値を補正する指令値補正部と、

前記指令値補正部により補正された前記指令値である補正後指令値を、前記制御対象にモーション制御を行う制御系に、前記制御対象の位置制御に係る指令値として出力する位置指令部と、をさらに備えることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載のモデル予測制御装置。

30

【請求項 6】

前記予測値補正部が用いる前記モデル予測誤差について、どの動作周期における前記モデル予測誤差にするかを選択するユーザ操作を受け付ける受付部をさらに備えることを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載のモデル予測制御装置。

【請求項 7】

前記モデル予測誤差の経時変化をユーザに表示する表示制御部をさらに備えることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載のモデル予測制御装置。

【請求項 8】

モーション制御の対象である制御対象のモデルを用いて、指令値に対応する前記制御対象の制御量を予測するモデル予測制御装置の制御方法であって、

連続する複数の動作周期の間で大きさおよび印加のタイミングが同一である外乱が印加されたときの、或る動作周期における制御量の実測値と、前記或る動作周期における前記モデルを用いた制御量の予測値との誤差であるモデル予測誤差を算出する誤差算出ステップと、

前記誤差算出ステップにて算出した前記或る動作周期における前記モデル予測誤差を用いて、前記或る動作周期より後の動作周期における前記予測値を補正する予測値補正ステップと、を含むことを特徴とする制御方法。

40

【請求項 9】

請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載のモデル予測制御装置としてコンピュータを機能

50

させるための情報処理プログラムであって、前記各部としてコンピュータを機能させるための情報処理プログラム。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の情報処理プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、モーション制御の対象である制御対象のモデルを用いて制御量を予測するモデル予測制御装置等に関する。

10

【背景技術】

【0002】

従来、例えば 1 サイクル（動作周期）内のツールとワークとの接触力の変化など、モーション制御の実行において定型的に発生する外乱（定型の外乱）が知られており、この定型の外乱による制御量への影響を抑制する試みが為されている。

【0003】

例えば、下掲の特許文献 1 には、制御用調節部から出力される操作量に基づいてプロセスを制御するプロセス制御装置であって、プロセスを実施したときに制御用調節部から出力される操作量と、プロセスを実施したときに得られる制御量を目標値として求めた操作量と、の差に基づいてプロセスに加わった外乱パターンを推定するプロセス制御装置が記載されている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2004 - 348481 号公報（2004 年 12 月 9 日公開）

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、上述のような従来技術は、定型の外乱の大きさおよび印加（発生）のタイミングを操作量のレベルで推定する演算を、制御のための演算から独立して行う必要があるため、演算負荷が大きくなるという問題がある。

30

【0006】

本発明は、前記の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、モーション制御において、大きさおよび印加のタイミングが同一である外乱による制御量への影響を補償する処理を単純化した制御装置を実現することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記の課題を解決するために、本発明の一態様に係るモデル予測制御装置は、モーション制御の対象である制御対象のモデルを用いて、指令値に対応する前記制御対象の制御量を予測するモデル予測制御装置であって、連続する複数の動作周期の間で大きさおよび印加のタイミングが同一である外乱が印加されたときの、或る動作周期における制御量の実測値と、前記或る動作周期における前記モデルを用いた制御量の予測値との誤差であるモデル予測誤差を算出する誤差算出部と、前記誤差算出部により算出された前記或る動作周期における前記モデル予測誤差を用いて、前記或る動作周期より後の動作周期における前記予測値を補正する予測値補正部と、を備えることを特徴としている。

40

【0008】

前記の構成によれば、前記予測値補正部は、前記或る動作周期より後の動作周期における前記予測値を、前記或る動作周期における前記モデル予測誤差を用いて補正する。つまり、前記モデル予測制御装置は、前記外乱に相当する操作量を推定せずに前記外乱の補償を行う。

50

【 0 0 0 9 】

したがって、前記モデル予測制御装置は、前記外乱による制御量の変化を操作量に変換するための演算処理を実行せずに、前記外乱を補償でき、前記外乱による制御量の変化を補償する処理を単純化することができるという効果を奏する。

【 0 0 1 0 】

好ましくは、前記モデル予測制御装置において、前記予測値補正部は、前記誤差算出部により算出された所定の回の動作周期における前記モデル予測誤差を用いて、前記所定の回より後の回の動作周期における前記予測値を補正する。

【 0 0 1 1 】

前記の構成によれば、前記予測値補正部は、前記所定の回の動作周期における前記モデル予測誤差を用いて、前記所定の回より後の回の動作周期における前記予測値を補正する。

10

【 0 0 1 2 】

ここで、例えば n を自然数として n 回目の動作周期における前記モデル予測誤差を用いて $n + 1$ 回目以降の回の動作周期における前記予測値を補正することが予め分かっているならば、ユーザは、 n 回目の動作周期におけるモーション制御について、再現性が高い周囲環境を予め整備しておくことができる。つまり、前記モデル予測制御装置は、 $n + 1$ 回目以降の回の動作周期における前記予測値を補正するのに好適な前記モデル予測誤差を、 n 回目の動作周期において取得することができる。

【 0 0 1 3 】

したがって、前記モデル予測制御装置は、偶発的に発生する前記誤差を含まない、精度の高い前記所定の回の動作周期における前記モデル予測誤差を用いて、前記所定の回より後の回の動作周期における前記予測値を補正することができるという効果を奏する。

20

【 0 0 1 4 】

したがって、前記モデル予測制御装置は、例えば、本稼動前の調整段階の最後に、再現性が高い周囲環境における前記モデル予測誤差を記憶しておき、記憶した前記モデル予測誤差を用いて、本稼動時の前記予測値を補正することができるという効果を奏する。

【 0 0 1 5 】

好ましくは、前記モデル予測制御装置において、前記予測値補正部は、前記誤差算出部により算出された或る動作周期における前記モデル予測誤差を用いて、前記或る動作周期の次の動作周期における前記予測値を補正することを特徴とする請求項 1 に記載のモデル予測制御装置。

30

(作用効果)

前記の構成によれば、前記予測値補正部は、前記或る動作周期における前記モデル予測誤差を用いて、前記或る動作周期の次の動作周期における前記予測値を補正する。

【 0 0 1 6 】

ここで、前記誤差算出部により前記或る動作周期において前記モデル予測誤差が算出された場合、同様の前記モデル予測誤差が、前記或る動作周期の次の動作周期においても算出される可能性が高いと考えることができる。

【 0 0 1 7 】

したがって、前記モデル予測制御装置は、前記或る動作周期において算出された前記モデル予測誤差と同様の前記モデル予測誤差が算出される可能性の高い、前記或る動作周期の次の動作周期における前記予測値を、前記或る動作周期における前記モデル予測誤差を用いて補正することができるという効果を奏する。

40

【 0 0 1 8 】

好ましくは、前記モデル予測制御装置は、前記指令値に、前記予測値補正部により補正された前記予測値が追従するのに必要なトルクを算出するトルク算出部と、前記トルク算出部により算出されたトルクを、前記制御対象にモーション制御を行う制御系に、前記制御対象のトルク制御に係る指令値として出力するトルク指令部と、をさらに備える。

【 0 0 1 9 】

50

前記の構成によれば、前記トルク算出部は、前記予測値補正部により補正された制御量の予測値が前記指令値に追従するのに必要なトルクを算出し、前記トルク指令部は、前記トルク算出部により算出されたトルクを、前記制御系に、前記制御対象のトルク制御に係る指令値として出力する。

【0020】

したがって、前記モデル予測制御装置は、前記外乱による制御量の変化を操作量に変換するための演算処理を実行せずに、前記指令値に前記制御対象の制御量が追従するためのトルクを、前記制御系に出力することができるという効果を奏する。

【0021】

好ましくは、前記モデル予測制御装置は、前記指令値に、前記予測値補正部により補正された前記予測値が追従するよう、前記指令値を補正する指令値補正部と、前記指令値補正部により補正された前記指令値である補正後指令値を、前記制御対象にモーション制御を行う制御系に、前記制御対象の位置制御に係る指令値として出力する位置指令部と、をさらに備える。

10

【0022】

前記の構成によれば、前記指令値補正部は、前記予測値補正部により補正された制御量の予測値が前記指令値に追従するよう前記指令値を補正し、前記位置指令部は、前記指令値補正部により補正された前記指令値である補正後指令値を、前記制御対象にモーション制御を行う制御系に、前記制御対象の位置制御に係る指令値として出力する。

【0023】

20

したがって、前記モデル予測制御装置は、前記外乱による制御量の変化を操作量に変換するための演算処理を実行せずに、前記指令値に前記制御対象の制御量が追従するよう補正された前記指令値を、前記制御系に出力することができるという効果を奏する。

【0024】

好ましくは、前記モデル予測制御装置は、前記予測値補正部が用いる前記モデル予測誤差について、どの動作周期における前記モデル予測誤差にするかを選択するユーザ操作を受け付ける受付部をさらに備える。

【0025】

前記の構成によれば、前記受付部は、前記予測値補正部が用いる前記モデル予測誤差について、どの動作周期における前記モデル予測誤差にするかを選択するユーザ操作を受け付ける。

30

【0026】

したがって、前記モデル予測制御装置は、前記受付部によって受け付けられたユーザ操作に対応する動作周期における前記モデル予測誤差を用いて、前記ユーザ操作に対応する動作周期より後の動作周期における前記予測値を補正することができるという効果を奏する。

【0027】

ここで、前記ユーザ操作は、1回目の動作周期を指定するものであってもよい。また、前記ユーザ操作は、2回目以降の動作周期における補正に際して、直前の動作周期における前記モデル予測誤差を用いることを指定するものであってもよい。さらに、前記モデル予測制御装置は、前記ユーザ操作において指定された任意の回（例えば、3回目）の動作周期における前記モデル予測誤差を用いて、前記指定された任意の回より後の回（例えば、4回目、5回目、・・・、n回目）の動作周期における前記予測値を補正してもよい。

40

【0028】

好ましくは、前記モデル予測制御装置は、前記モデル予測誤差の経時変化をユーザに表示する表示制御部をさらに備える。

【0029】

前記の構成によれば、前記表示制御部は、前記モデル予測誤差の経時変化をユーザに表示する。

【0030】

50

したがって、前記モデル予測制御装置は、前記モデル予測誤差の経時変化をユーザに表示するので、ユーザが、前記モデル予測制御装置によって表示された前記モデル予測誤差の経時変化（いわゆる、トレンドグラフ）に現れる波形から、外乱の様子を近似的に把握することができるという効果を奏する。

【0031】

上記の課題を解決するために、本発明の一態様に係る制御方法は、モーション制御の対象である制御対象のモデルを用いて、指令値に対応する前記制御対象の制御量を予測するモデル予測制御装置の制御方法であって、連続する複数の動作周期の間で大きさおよび印加のタイミングが同一である外乱が印加されたときの、或る動作周期における制御量の実測値と、前記或る動作周期における前記モデルを用いた制御量の予測値との誤差であるモデル予測誤差を算出する誤差算出ステップと、前記誤差算出ステップにて算出した前記或る動作周期における前記モデル予測誤差を用いて、前記或る動作周期より後の動作周期における前記予測値を補正する予測値補正ステップと、を含むことを特徴としている。

10

【0032】

前記の方法によれば、前記予測値補正ステップは、前記或る動作周期より後の動作周期における前記予測値を、前記或る動作周期における前記モデル予測誤差を用いて補正する。つまり、前記モデル予測制御装置の制御方法は、前記外乱に相当する操作量を推定せずに前記外乱の補償を行う。

【0033】

したがって、前記モデル予測制御装置の制御方法は、前記外乱による制御量の変化を操作量に変換するための演算処理を実行せずに、前記外乱を補償でき、前記外乱による制御量の変化を補償する処理を単純化することができるという効果を奏する。

20

【発明の効果】

【0034】

本発明は、モーション制御において、大きさおよび印加のタイミングが同一である外乱による制御量への影響を補償する処理を単純化することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】本発明の実施形態1に係るコントローラの要部構成を示すブロック図である。

【図2】図1のコントローラを含む制御システムの概要を示す図である。

30

【図3】図1のコントローラが実行するモデル予測制御の概要を説明するための図である。

【図4】図1のコントローラの実行する外乱補償処理の一例を示すフロー図である。

【図5】図1のコントローラが予測値を補正する方法を説明するための図である。

【図6】図1のコントローラが外乱補償処理を実行した場合の効果を説明するための図である。

【図7】図1のコントローラの実行する外乱補償処理の、図4に示すのとは別の例を示すフロー図である。

【図8】印加される外乱が徐々に変化する場合に、図1のコントローラが図7に示す外乱補償処理を実行しなかった場合の位置偏差等の軌跡を示す図である。

40

【図9】印加される外乱が徐々に変化する場合に、図1のコントローラが図7に示す外乱補償処理を実行した場合の位置偏差等の軌跡を示す図である。

【図10】図1のコントローラが表示する予測誤差のトレンドグラフの一例を示す図である。

【図11】本発明の実施形態2に係るコントローラの要部構成を示すブロック図である。

【図12】図11のコントローラを含む制御システムの概要を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0036】

〔実施形態1〕

以下、本発明の実施形態1について、図1から図10に基づいて詳細に説明する。図中

50

同一または相当部分には同一符号を付してその説明は繰返さない。本発明の一態様に係るコントローラ 10（モデル予測制御装置）についての理解を容易にするため、先ず、コントローラ 10 を含む制御システム 1 の概要を、図 2 を用いて説明する。

【0037】

（制御システムの概要）

図 2 は、コントローラ 10 を含む制御システム 1 の概要を示す図である。制御システム 1 は、1 サイクル内（1 動作周期内）において、発生（印加）のタイミングおよび大きさが同一である外乱である「定型の外乱」による制御性能への影響を抑制しようとするものである。特に、コントローラ 10 は、モーション制御において、定型の外乱による制御量への影響を補償する処理（外乱補償処理）を単純化しようとするものである。

10

【0038】

コントローラ 10 は、例えばモデル予測制御（MPC、Model Predictive Control）など予測機構を有する制御方式において、1 サイクル分の予測誤差（モデル予測誤差）を記憶しておき、記憶した 1 サイクル分の予測誤差を利用して、次サイクル以降の予測を補正するものである。コントローラ 10 は、モーション制御に適用され、例えば、加工機械において、1 サイクル内のツール（工具）とワークとの接触力の変化による位置精度への影響を抑制する。コントローラ 10 は、定型の外乱がある場合にも制御性能を維持することができるので、例えば製造物の品質を維持することができる。

【0039】

なお、コントローラ 10 が制御性能への影響を抑制することのできる「定型の外乱」は、1 サイクル内において印加のタイミングおよび大きさが同一である外乱だけでなく、1 サイクル内において印加のタイミングおよび大きさが略同一である外乱も含む。

20

【0040】

制御システム 1 は、（1）例えばプログラマブルコントローラ（PLC、Programmable Logic Controller）であるコントローラ 10 と、（2）上位コントローラであるコントローラ 10 により制御される下位コントローラとしてのサーボドライバ 20 と、（3）サーボドライバ 20 によって制御される制御対象 30（例えば、モータおよびメカ）と、を含んでいる。制御システム 1 において、コントローラ 10 が、位置/速度制御を実行し、予測制御によりサーボドライバ 20 へのトルク指令値を出力する。

【0041】

コントローラ 10 は、モデル予測制御機構を備えるコントローラであって、サーボドライバ 20 に対し、操作量としてのトルク指令値を出力する。コントローラ 10 は、例えば、ユーザ等の外部から目標軌道データ（目標軌道）を受け付け（軌道生成）、受け付けた目標軌道データから制御周期ごとに指令値（指令位置）を生成する。コントローラ 10 は、また、制御対象 30 から、「制御対象 30 の出力である制御量（制御量の実測値）」を、フィードバック情報として取得する。すなわち、コントローラ 10 は、フィードバック速度およびフィードバック位置（フィードバック速度およびフィードバック位置の少なくとも一方）として、制御対象 30 が出力した速度および位置（速度および位置の少なくとも一方）を取得する。

30

【0042】

コントローラ 10 は、制御対象 30（およびサーボドライバ 20）のモデルを内部モデルとして有し、この内部モデルを用いて、生成した指令位置と、「制御対象 30 の出力である制御量」と、に基づいて、サーボドライバ 20 に対し、操作量としてのトルク指令値を出力する。ここで、コントローラ 10 は、制御対象（つまり、制御対象 30 およびサーボドライバ 20）のモデルを用いて制御量を予測するとともに、予測誤差を推定して外乱補償を行う。すなわち、コントローラ 10 は、過去に記憶した（つまり、予め格納しておいた）基準予測誤差を利用して、現在時刻の予測誤差を「推定」する。ここで「推定」とは、サイクル内の時刻を合わせてその時刻の予測誤差を読み取ることと捉えることができる。

40

【0043】

50

コントローラ 10 は、外乱パターンを制御量の次元のままで記憶して利用するため、外乱を推定するための演算を、制御量の算出のための演算とは別途用意する必要がない（ただし、より正確には、コントローラ 10 が記憶するのは、「外乱パターン」ではなく、外乱の情報を含む予測誤差パターンである）。したがって、コントローラ 10 は、制御量の算出のための演算に加えて、外乱を推定するための演算を別途行う装置に比べて演算負荷が小さく、高速制御周期が必要となるモーション制御においては、重要なメリットとなる。

【0044】

サーボドライバ 20 は、コントローラ 10 からのトルク指令値に従って、制御対象 30 についてトルク制御を実行する。

10

【0045】

（コントローラの概要）

これまで図 2 を用いて概要を説明してきた制御システム 1 に含まれるコントローラ 10 について、次に、その構成および処理の内容等を、図 1 等を用いて説明していく。図 1 を参照して詳細を説明する前に、コントローラ 10 についての理解を容易にするため、その概要について以下のように整理しておく。

【0046】

コントローラ 10 は、モーション制御の対象である制御対象 30（およびサーボドライバ 20）のモデルを用いて、指令値に対応する制御対象 30 の制御量を予測するモデル予測制御装置であって、連続する複数の動作周期の間で大きさおよび印加のタイミングが同一である（略同一である）外乱が印加されたときの、或る動作周期における制御量の実測値と、前記或る動作周期における前記モデルを用いた制御量の予測値との誤差であるモデル予測誤差を算出する誤差算出部 104 と、誤差算出部 104 により算出された前記或る動作周期における前記モデル予測誤差を用いて、前記或る動作周期より後の動作周期における前記予測値を補正する予測値補正部 106 と、を備えている。

20

【0047】

前記の構成によれば、予測値補正部 106 は、前記或る動作周期より後の動作周期における前記予測値を、前記或る動作周期における前記モデル予測誤差を用いて補正する。つまり、コントローラ 10 は、前記外乱に相当する操作量を推定せずに前記外乱の補償を行う。

30

【0048】

したがって、コントローラ 10 は、前記外乱による制御量の変化を操作量に変換するための演算処理を実行せずに、前記外乱を補償でき、前記外乱による制御量の変化を補償する処理を単純化することができるという効果を奏する。

【0049】

コントローラ 10 は、前記指令値に、予測値補正部 106 により補正された前記予測値が追従するのに必要なトルクを算出するトルク算出部 102 と、トルク算出部 102 により算出されたトルクを、サーボドライバ 20（制御対象 30 にモーション制御を行う制御系）に、制御対象 30 のトルク制御に係る指令値として出力するトルク指令部 103 と、をさらに備えている。

40

【0050】

前記の構成によれば、トルク算出部 102 は、予測値補正部 106 により補正された制御量の予測値が前記指令値に追従するのに必要なトルクを算出し、トルク指令部 103 は、トルク算出部 102 により算出されたトルクを、サーボドライバ 20 に、制御対象 30 のトルク制御に係る指令値として出力する。

【0051】

したがって、コントローラ 10 は、前記外乱による制御量の変化を操作量に変換するための演算処理を実行せずに、前記指令値に制御対象 30 の制御量が追従するためのトルクを、サーボドライバ 20 に出力することができるという効果を奏する。

【0052】

50

(コントローラの詳細)

コントローラ 10 は、「或るサイクル」において発生した外乱を、当該「或るサイクル」の全期間にわたって計測、記憶し、記憶した前記「或るサイクル」の全期間にわたって計測された外乱を用いて、前記「或るサイクル」より後のサイクルの予測値を補正するものである。以上に概要を説明したコントローラ 10 について、次に、その構成の詳細を、図 1 を用いて説明する。

【0053】

図 1 は、本発明の実施形態 1 に係るコントローラ 10 の要部構成を示すブロック図である。図 1 に示すコントローラ 10 は、指令値生成部 101 と、トルク算出部 102 と、トルク指令部 103 と、誤差算出部 104 と、記憶部 105 と、予測値補正部 106 と、受付部 107 と、表示制御部 108 と、を備える構成である。なお、記載の簡潔性を担保するため、本実施の形態に直接関係のない構成は、説明およびブロック図から省略している。ただし、実施の実情に則して、コントローラ 10 は、当該省略された構成を備えてもよい。上述の指令値生成部 101、トルク算出部 102、トルク指令部 103、誤差算出部 104、予測値補正部 106、受付部 107、および表示制御部 108 などの各機能ブロックは、例えば、CPU (central processing unit) などが、ROM (read only memory)、NVRAM (non-Volatile random access memory) 等で実現された記憶装置 (記憶部 105) に記憶されているプログラムを不図示の RAM (random access memory) 等に読み出して実行することで実現できる。以下、コントローラ 10 における各機能ブロックについて説明する。

10

20

【0054】

指令値生成部 101 は、外部 (例えば、ユーザ) から目標軌道データ (目標軌道) を受け付け (軌道生成)、受け付けた目標軌道データから制御周期ごとに指令値 (指令位置) を生成する。指令値生成部 101 は、生成した指令値 (指令位置) を、トルク算出部 102 に送信する。

【0055】

トルク算出部 102 は、モデル予測制御 (MPC、Model Predictive Control) を実行し、具体的には、制御対象 (つまり、制御対象 30 およびサーボドライバ 20) の内部モデルを用いて未来の状態を予測し、制御対象 30 の未来の出力 (制御量の予測値) ができる限り目標値 (指令値、つまり指令位置) に近づくように操作量を決定する (推定する)。つまり、トルク算出部 102 は、前記内部モデルに基づいて未来の出力 (制御量) の変化を予測し、出力と目標値とができるだけ近づくように入力 (操作量) を決定するものである。

30

【0056】

トルク算出部 102 は、制御対象 (つまり、制御対象 30 およびサーボドライバ 20) の挙動をモデル化した前記内部モデルを含み、前記内部モデルを用いて、各動作周期において制御対象 30 が出力する制御量を予測する。すなわち、トルク算出部 102 は、前記内部モデルを用いて、各動作周期における予測値 (制御量の予測値) を算出する。トルク算出部 102 は、算出した予測値 (予測制御量) を誤差算出部 104 に通知する。

40

【0057】

トルク算出部 102 は、また、予測値補正部 106 から取得する予測補正值 (補正後予測値) が、つまり、予測値補正部 106 により補正された予測値 (制御量の予測値) が、指令値 (指令位置) に追従するのに必要なトルクを、前記内部モデルを用いて算出する。トルク算出部 102 は、算出したトルクを指令トルク (操作量) としてトルク指令部 103 に通知する。

【0058】

トルク指令部 103 は、トルク算出部 102 から通知された指令トルク (操作量) を、サーボドライバ 20 (制御対象 30 にモーション制御を行う制御系) に、制御対象 30 のトルク制御に係る指令値として出力する。

【0059】

50

誤差算出部 104 は、連続する複数の動作周期の間で大きさおよび印加のタイミングが同一である（略同一である）外乱が印加されたときの、或る動作周期における制御対象 30 の出力（制御量の実測値）と、前記或る動作周期における制御量の予測値（予測制御量）との誤差であるモデル予測誤差を算出する。すなわち、誤差算出部 104 は、トルク算出部 102 から通知された「或る動作周期における制御量の予測値（予測制御量）」と、「前記或る動作周期における制御対象 30 の出力（制御量の実測値）」との誤差（前記或る動作周期におけるモデル予測誤差）を算出する。

【0060】

ここで、誤差算出部 104 は、受付部 107 から、受付部 107 が受け付けたユーザ操作において指定されている（選択されている）動作周期を、つまり、ユーザ指定の動作周期を、取得してもよい。そして、誤差算出部 104 は、ユーザ指定の動作周期における制御対象 30 の出力（制御量の実測値）と、ユーザ指定の動作周期における制御量の予測値（予測制御量）と、から、ユーザ指定の動作周期におけるモデル予測誤差を算出してよい。

10

【0061】

誤差算出部 104 は、算出した「前記或る動作周期におけるモデル予測誤差」を記憶部 105 に誤差データ 151 として格納する。誤差算出部 104 は、また、算出した「前記或る動作周期におけるモデル予測誤差」を、表示制御部 108 に通知する。

【0062】

記憶部 105 は、コントローラ 10 が使用する各種データを格納する記憶装置である。なお、記憶部 105 は、コントローラ 10 が実行する（1）制御プログラム、（2）OS プログラム、（3）コントローラ 10 が有する各種機能を実行するためのアプリケーションプログラム、および、（4）該アプリケーションプログラムを実行するときに読み出す各種データを非一時的に記憶してもよい。上記の（1）～（4）のデータは、例えば、ROM（read only memory）、フラッシュメモリ、EPROM（Erasable Programmable ROM）、EEPROM（登録商標）（Electrically EPROM）、HDD（Hard Disc Drive）等の不揮発性記憶装置に記憶される。

20

【0063】

コントローラ 10 は、図示しない一時記憶部を備えていてもよい。一時記憶部は、コントローラ 10 が実行する各種処理の過程で、演算に使用するデータおよび演算結果等を一時的に記憶するいわゆるワーキングメモリであり、RAM（Random Access Memory）などの揮発性記憶装置で構成される。

30

【0064】

どのデータをどの記憶装置に記憶するのかについては、コントローラ 10 の使用目的、利便性、コスト、または、物理的な制約などから適宜決定される。記憶部 105 はさらに誤差データ 151 を格納している。

【0065】

誤差データ 151 は、誤差算出部 104 が算出した前記「或る動作周期におけるモデル予測誤差」の情報であり、誤差算出部 104 によって記憶部 105 に格納される。

【0066】

予測値補正部 106 は、記憶部 105 に格納されている誤差データ 151 を参照して取得した前記「或る動作周期におけるモデル予測誤差」を用いて、トルク算出部 102 が算出した前記「或る動作周期」より後の動作周期における予測値（制御量の予測値、つまり予測制御量）を、補正する。

40

【0067】

予測値補正部 106 は、受付部 107 から、受付部 107 が受け付けたユーザ操作において指定されている（選択されている）動作周期を、つまり、ユーザ指定の動作周期を、取得する。そして、予測値補正部 106 は、誤差データ 151 を参照して、ユーザ指定の動作周期におけるモデル予測誤差を取得する。予測値補正部 106 は、前記「ユーザ指定の動作周期におけるモデル予測誤差」を用いて、トルク算出部 102 が算出した「ユーザ

50

指定の動作周期」より後の動作周期における予測値（制御量の予測値、つまり予測制御量）を、補正する。

【0068】

そして、予測値補正部106は、補正した前記「或る動作周期」より後の動作周期における予測値（制御量の予測値、つまり予測制御量）を、つまり、前記「或る動作周期」より後の動作周期における予測補正值（補正後予測値）を、トルク算出部102に通知する。

【0069】

つまり、予測値補正部106は、「或る動作周期」におけるモデル予測誤差を用いて、前記「或る動作周期」より後の動作周期における予測値（制御量の予測値、つまり予測制御量）を補正する。予測値補正部106は、「或る動作周期」におけるモデル予測誤差から、前記「或る動作周期」より後の動作周期におけるモデル予測誤差を推定すると捉えることもできる。

10

【0070】

受付部107は、予測値補正部106が用いる前記モデル予測誤差について、どの動作周期における前記モデル予測誤差にするかを選択するユーザ操作を受け付ける。受付部107は、ユーザ操作において指定されている（選択されている）動作周期を、つまり、ユーザ指定の動作周期を、予測値補正部106に通知する。

【0071】

ここで、受付部107が受け付けるユーザ操作は、予測値補正部106に、例えば、「1回目」の動作周期におけるモデル予測誤差を用いて、「2回目以降」の動作周期における予測値（制御量の予測値、つまり予測制御量）を補正するよう指示するものであってもよい。また、前記ユーザ操作は、予測値補正部106に、2回目以降の動作周期における予測値の補正に際して、直前の動作周期におけるモデル予測誤差を用いることを指定するものであってもよい。さらに、コントローラ10は、前記ユーザ操作において指定された任意の回（例えば、3回目）の動作周期における前記モデル予測誤差を用いて、前記指定された任意の回より後の回（例えば、4回目、5回目、・・・、n回目）の動作周期における前記予測値を補正してもよい。

20

【0072】

受付部107は、さらに、誤差算出部104が前記「或る動作周期」におけるモデル予測誤差を算出するのに際して利用する前記「或る動作周期」における、制御対象30の出力（制御量の実測値）および制御量の予測値（予測制御量）について、どの動作周期にするかを選択するユーザ操作を受け付けてもよい。受付部107は、ユーザ操作において指定されている（選択されている）動作周期を、つまり、ユーザ指定の動作周期を、誤差算出部104に通知する。

30

【0073】

表示制御部108は、前記モデル予測誤差の経時変化をユーザに表示する。表示制御部108は、例えば、誤差算出部104から、誤差算出部104が算出した前記「或る動作周期」におけるモデル予測誤差を取得して、取得したモデル予測誤差を利用して、前記モデル予測誤差の経時変化をユーザに表示してもよい。表示制御部108は、また、記憶部105に格納されている誤差データ151を参照して、前記モデル予測誤差の経時変化をユーザに表示してもよい。

40

【0074】

（モデル予測制御について）

図3は、コントローラ10が実行するモデル予測制御の概要を説明するための図である。モデル予測制御は、制御対象（制御システム1においては、制御対象30（およびサーボドライバ20））のモデルを使って、参照軌道上のターゲットポイントに制御量を一致させるための未来の操作量（制御システム1においては、サーボドライバ20に与えるトルク指令値）を決定し（推定し）、この処理を毎周期繰り返すものである。なお、参照軌道は、コントローラ10の内部において、仮想的に設定する軌道であり、制御システム1

50

における目標軌道とは異なるものである。図3における目標値SPが、制御システム1における目標軌道に対応する(ただし、図3において目標値SPは一定値としている)。

【0075】

コントローラ10は、図3に示すように、現時刻nにおいて制御量PV(n)を測定し、現時刻の制御量PV(n)を始点として目標値SPに徐々に近づく破線で示す参照軌道を計算する。ここでは、簡単のために、制御ホライズンHuは「1」とする。

【0076】

コントローラ10は、次に、内部モデル(制御対象30(およびサーボドライバ20)のモデル)を用いて、予測ホライズンH後の制御量PVの予測値PV(n+H)が参照軌道に一致するように、現在の時刻nの操作量MV(n)を決定する。

10

【0077】

コントローラ10は、得られた操作量MV(n)を実際にサーボドライバ20に加え、次のサンプリング時刻n+1まではその値を保持する。

【0078】

時刻n+1において制御量PV(n+1)が測定されると、コントローラ10は、改めて時刻t+1を現時刻とみなし、未来の予測値と参照軌道とが、予測ホライズンH後に一致するように操作量を決定し(推定し)、次のサンプリング時刻までその操作量をサーボドライバ20に加える。以下、この手順を繰り返す。

【0079】

次に、制御システム1におけるコントローラ10が実行する予測制御について、詳細に説明する。

20

【0080】

コントローラ10は、上述のように内部モデルを用いて予測制御を行なうものであり、制御システム1において、内部モデルは、サンプリング時間で離散化した次式で表されるN次のARXモデルとしている。なお、制御対象(制御システム1においては、制御対象30(およびサーボドライバ20))のモデルは、ARXモデルに限らず、ステップ応答モデルやその他のモデルを用いてもよい。

【0081】

【数1】

$$Y(n) = -a_1 * Y(n-1) - a_2 * Y(n-2) - \dots - a_N * Y(n-N) + b_1 * U(n-1) + b_2 * U(n-2) + \dots + b_M * U(n-M)$$

30

【0082】

ここで、

Y(n) : 時刻nの内部モデル出力値

U(n) : 時刻nの操作量

a₁ ~ a_N, b₁ ~ b_M : 内部モデルの係数

N, M : 内部モデル次数

である。

【0083】

このARXモデルの決定は、例えば、制御対象(制御システム1においては、制御対象30(およびサーボドライバ20))に対する入出力の時系列データ、すなわち、操作量MVおよび制御量PVの時系列データを予め計測し、最小二乗法等を用いて行われる。

40

【0084】

制御システム1においては、図3の破線で示される参照軌道として、現時刻nでの偏差を、時定数Trで指数関数的に0に近づける軌道を用いている。

【0085】

すなわち、予測ホライズンH後の参照軌道上の目標値R(n+H)は、次式で求めることができる。

$$R(n+H) = SP(n+H) - H * \{SP(n) - PV(n)\},$$

50

$$= \exp(-T_c / T_r)$$

ここで、

$PV(n)$: 時刻 n の制御量

$SP(n)$, $SP(n+H)$: 時刻 n , $n+H$ の目標値

$R(n+H)$: 予測ホライズン H 先の参照軌道上の目標値

T_c : サンプル時間

である。

【0086】

したがって、現時刻 n における制御量 $PV(n)$ からの増分、すなわち、予測ホライズン H 後に、制御量 PV を、参照軌道上の目標値 $R(n+H)$ に一致させるために必要な制御量 PV の増分 (偏差) $P(n+H)$ は、

10

【0087】

【数2】

$$\begin{aligned} \Delta P(n+H) &= SP(n+H) - \lambda H * \{SP(n) - PV(n)\} - PV(n) \\ &= (1 - \lambda H) \{SP(n) - PV(n)\} + SP(n+H) - SP(n) \end{aligned}$$

【0088】

となる。

【0089】

次に、操作量 MV の計算について説明する。

20

【0090】

線形の制御対象の場合、モデル出力の挙動は、次の2つの加算により求めることができる。

【0091】

(1) 自由応答

現在の状態を初期値として、未来の操作量 MV として0が継続する場合の、予測ホライズン H 後のモデル出力 $Y_f(n+H)$ を、上述の ARX モデルの式から繰り返し計算により求める。

【0092】

【数3】

$$\begin{aligned} Y_f(n+1) &= -a_1 * Y(n) - a_2 * Y(n-1) - \dots - a_N * Y(n-N+1) \\ Y_f(n+2) &= -a_1 * Y_f(n+1) - a_2 * Y(n) - \dots - a_N * Y(n-N+2) \\ &\dots \dots \dots \\ Y_f(n+H) &= -a_1 * Y_f(n+H-1) - a_2 * Y_f(n+H-2) - \dots - a_N * Y(n-N+H) \end{aligned}$$

30

【0093】

(2) ステップ応答

初期状態を0として、 $MV = 1$ (100%) のステップ応答における、時刻 H のモデル出力 $S(H)$ を求める。

【0094】

【数4】

$$\begin{aligned} S(1) &= b_1 \\ S(2) &= -a_1 * S(1) + (b_1 + b_2) \\ &\dots \dots \dots \\ S(H) &= -a_1 * S(H-1) - a_2 * S(H-2) - \dots - a_N * S(H-N) + (b_1 + b_2 + \dots + b_M) \end{aligned}$$

40

【0095】

$MV = 1$ (100%) ではなく、一般に $MV(n)$ とすると、時刻 H のステップ応答出力は $MV(n) * S(H)$ となる。

ここで、

50

$MV(n)$: 時刻 n の操作量

$Yf(n+H)$: 予測ホライズン H 後のモデルの自由応答出力

$S(H)$: 時刻 H のモデルのステップ応答出力

である。

【0096】

前項より、時刻 n 以降、操作量 $MV(n)$ を継続した場合、時刻 $n+H$ 時点のモデル出力（制御量の予測値）は次式となる。

$$Y(n+H) = Yf(n+H) + MV(n) * S(H)$$

ここで、 $Y(n)$ からの増分、すなわち、予測ホライズン H 後に期待されるモデル出力の増分 $M(n+H)$ は、

$$M(n+H) = Yf(n+H) + MV(n) * S(H) - Y(n)$$

となる。

【0097】

したがって、予測ホライズン H 後に期待されるモデル出力の増分 $M(n+H)$ が、制御量 PV を予測ホライズン H 後に参照軌道上の目標値とするための上述の制御量 PV の増分 $P(n+H)$ と等しくなるように操作量 MV を求めればよい。すなわち、

$$M(n+H) = P(n+H)$$

となる操作量 MV を求めればよい。

【0098】

ここで、予測補正量 $CH(n)$ を考慮すると、

$$M(n+H) + CH(n) = P(n+H)$$

より、

【0099】

【数5】

$$Yf(n+H) + MV(n) * S(H) - Y(n) + CH(n) = (1 - \lambda H) \{SP(n) - PV(n)\} + SP(n+H) - SP(n)$$

【0100】

$MV(n)$ について解くと、

【0101】

【数6】

$$MV(n) = [(1 - \lambda H) \{SP(n) - PV(n)\} + SP(n+H) - SP(n) - Yf(n+H) + Y(n) - CH(n)] / S(H)$$

【0102】

むだ時間を内部モデルに含めない場合は、前項の MV の算出式を、むだ時間 d を考慮したものに修正する必要がある。

【0103】

そこで、実際のプロセスデータについて、時刻 n の代わりに時刻 $n+d$ とする。

【0104】

【数7】

$MV(n)$

$$= [(1 - \lambda H) \{SP(n+d) - PV(n+d)\} + SP(n+H+d) - SP(n+d) - Yf(n+H) + Y(n) - CH(n)] / S(H)$$

【0105】

ここで、 $PV(n+d)$ の予測値が必要となり、合理的な近似として通常は次の計算式で求める。

$$PV(n+d) = PV(n) + Y(n) - Y(n-d)$$

ここでも、むだ時間 d 間の予測補正量 $Cd(n)$ を考慮すると、

$$PV(n+d) = PV(n) + Y(n) - Y(n-d) + Cd(n)$$

より

【0106】

10

20

30

40

50

【数 8】

$$MV(n) = [(1-\lambda H) \{SP(n+d) - (PV(n) + Y(n) - Y(n-d) + Cd(n))\} + SP(n+H+d) - SP(n+d) - Yf(n+H) + Y(n) - CH(n)] / S(H)$$

【0107】

なお、時刻 n の操作量 $MV(n)$ を計算した後に、次回計算のために、次のモデル出力 $Y(n+1)$ を求めておく。

【0108】

【数 9】

$$Y(n+1) = a1 * Y(n) + a2 * Y(n-1) + \dots + aN * Y(n-N+1) + b1 * MV(n) + b2 * MV(n-1) + \dots + bM * MV(n-M+1)$$

10

【0109】

ただし、 $MV(n)$ は操作量リミット処理後の値を使用する。

【0110】

(外乱補償処理の一例)

図 4 は、コントローラ 10 の実行する外乱補償処理の一例を示すフロー図である。図 4 に示すように、コントローラ 10 (トルク算出部 102) は、モーション制御 n サイクル目 (n は 1 以上の自然数) の予測制御を実行し (S10)、必要があれば、同時に、誤差算出部 104 は、1 サイクル分の予測誤差データを算出し (S30)、算出したモデル予測誤差を記憶部 105 に誤差データ 151 として格納する (S40)。なお、誤差データ 151 として格納されるデータを、「基準予測誤差」と呼ぶ。以下、詳細を説明していく。

20

【0111】

コントローラ 10 は、「 $n+1$ サイクル目以降の制御サイクル」において、モデル予測制御による予測値 (トルク算出部 102 が算出した制御量の予測値) に対し、基準予測誤差を利用して補正を行う。すなわち、予測値補正部 106 は、誤差データ 151 として格納されている「 n サイクル目のモデル予測誤差 (基準予測誤差)」を用いて、 $n+1$ サイクル目以降の予測制御量 (トルク算出部 102 が算出した「 $n+1$ サイクル目以降の動作周期における予測値 (制御量の予測値)」) を補正する。そして、トルク算出部 102 は、予測値補正部 106 により補正された予測値 (制御量の予測値) が、指令値 (指令位置) に追従するのに必要なトルクを、内部モデルを用いて算出する。トルク指令部 103 は、トルク算出部 102 が算出したトルクを、指令トルク (操作量) として、サーボドライバ 20 に出力する (S10、予測制御の実行)。

30

【0112】

なお、初回の制御実行時 (« $n=1$ 」の時の制御実行時) は、基準予測誤差がまだ記憶部 105 に格納されておらず、誤差データ 151 がないので、外乱補償処理を実行しても、実際には予測値は補正されないことになる。

【0113】

コントローラ 10 は、新たな基準予測誤差を記憶するか否かを判定する (S20)。すなわち、受付部 107 は、新たな基準予測誤差を記憶することを指示するユーザ操作を受け付けたか否かを判定する。なお、受付部 107 が、2 回目以降の動作周期における予測値の補正に際して、直前の動作周期におけるモデル予測誤差を用いることを指定するユーザ操作を受け付けている場合にも、受付部 107 は、「新たな基準予測誤差を記憶することを指示するユーザ操作を受け付けている」と判定する。

40

【0114】

受付部 107 が、「新たな基準予測誤差を記憶することを指示するユーザ操作を受け付けている」と判定した場合、つまり、新たな基準予測誤差を記憶する場合 (S20 で Yes)、誤差算出部 104 は、新たな基準予測誤差 (モデル予測誤差) を算出し (S30)

50

、算出した新たな基準予測誤差を記憶部 105 に誤差データ 151 として格納する (S 40)。

【0115】

すなわち、誤差算出部 104 は、前記ユーザ操作において指定された動作周期におけるモデル予測誤差を算出し、算出したモデル予測誤差を記憶部 105 に誤差データ 151 として格納する。例えば、トルク算出部 102 が「n サイクル目」の予測制御を実行すると共に、誤差算出部 104 は、「n サイクル目」における制御対象 30 の制御量の実測値と、「n サイクル目」における予測制御量と、から「n サイクル目」におけるモデル予測誤差を算出する。誤差算出部 104 は、算出した「n サイクル目」におけるモデル予測誤差 (新たな基準予測誤差) を記憶部 105 に誤差データ 151 として格納する。

10

【0116】

そして、予測値補正部 106 は、誤差データ 151 として記憶部 105 に格納されている新たな基準予測誤差を用いて予測値 (制御量の予測値、つまり予測制御量) を補正する (予測補正值 (補正後予測値) を生成する)。トルク算出部 102 は、予測補正值 (補正後予測値) が指令値 (指令位置) に追従するのに必要なトルク (指令トルク) を、前記内部モデルを用いて算出し、トルク指令部 103 は、トルク算出部 102 が算出した指令トルク (操作量) を、サーボドライバ 20 に出力する (予測制御の実行、S 10)。

【0117】

受付部 107 が、「新たな基準予測誤差を記憶することを指示するユーザ操作を受け付けていない」と判定した場合、つまり、新たな基準予測誤差を記憶しない場合 (S 20 で No)、誤差算出部 104 による新たな基準予測誤差の記憶は行われず。予測値補正部 106 は、誤差データ 151 として記憶部 105 に既に格納されている基準予測誤差を用いて予測補正值を生成し、トルク算出部 102 は、当該予測補正值が指令値に追従するのに必要なトルク (指令トルク) を算出する。トルク指令部 103 は、トルク算出部 102 が算出した指令トルクを、サーボドライバ 20 に出力する (予測制御の実行、S 10)。

20

【0118】

図 4 に例示する外乱補償処理は、コントローラ 10 が基準予測誤差を必要とときだけ記憶する (上に示した例では、「モーション制御 n サイクル目における、1 サイクル分の予測誤差データ」を記憶部 105 に誤差データ 151 として格納する) 外乱補償処理である。すなわち、図 4 に例示する外乱補償処理は、指令パターンを変更する場合、および負荷条件を変更する場合など、必要に応じて基準予測誤差を記憶し直す外乱補償処理である。

30

【0119】

図 4 を参照して説明してきたコントローラ 10 の実行する処理 (制御方法) は、以下のように整理することができる。すなわち、コントローラ 10 の実行する処理 (制御方法) は、モーション制御の対象である制御対象 30 のモデルを用いて、指令値に対応する制御対象 30 の制御量を予測するモデル予測制御装置の制御方法であって、連続する複数の動作周期の間で大きさおよび印加のタイミングが同一である (略同一である) 外乱が印加されたときの、或る動作周期における制御量の実測値と、前記或る動作周期における前記モデルを用いた制御量の予測値との誤差であるモデル予測誤差を算出する誤差算出ステップ (S 30) と、前記誤差算出ステップにて算出した前記或る動作周期における前記モデル予測誤差を用いて、前記或る動作周期より後の動作周期における前記予測値を補正する予測値補正ステップ (S 10) と、を含むことを特徴としている。

40

【0120】

前記の方法によれば、前記予測値補正ステップは、前記或る動作周期より後の動作周期における前記予測値を、前記或る動作周期における前記モデル予測誤差を用いて補正する。つまり、コントローラ 10 の制御方法は、前記外乱に相当する操作量を推定せずに前記外乱の補償を行う。

【0121】

したがって、コントローラ 10 の制御方法は、前記外乱による制御量の変化を操作量に変換するための演算処理を実行せずに、前記外乱を補償でき、前記外乱による制御量の変

50

化を補償する処理を単純化することができるという効果を奏する。

【0122】

(予測値の補正方法)

図5は、コントローラ10の予測値補正部106が予測値(トルク算出部102が算出した「或る動作周期における予測値(制御量の予測値、つまり予測制御量)」)を補正する方法を説明するための図である。

【0123】

予測値補正部106は、図3を用いて説明したモデル予測制御のアルゴリズムにおける予測補正量 $Cd(n)$ および $CH(n)$ を求めることにより、トルク算出部102が算出した前記「或る動作周期」より後の動作周期における予測値(制御量の予測値、つまり予測制御量)を、補正する。以下詳細を説明していく。

10

【0124】

なお、以下の説明においては、「 $PE(n)$ 」は「時刻 n の予測誤差」を意味し、「 $PV(n)$ 」は「時刻 n の制御量(制御対象30が出力する制御量の実測値。例えば、フィードバック位置)」を意味している。また、「 $Y(n-d)$ 」は「時刻 $(n-d)$ におけるモデル予測値(トルク算出部102が、制御対象(つまり、制御対象30およびサーボドライバ20)の挙動をモデル化した内部モデルを用いて算出した時刻 $(n-d)$ における制御量の予測値)」を意味し、「 d 」は「むだ時間」を意味している。むだ時間 d は、コントローラ10の制御周期の整数倍である。

20

【0125】

予測値補正部106は、基準予測誤差データの、サイクル内時刻「 n 」、「 $n+d$ 」、「 $n+d+H$ 」における予測誤差 PE を求め、次式により、予測補正量 $Cd(n)$ および $CH(n)$ を算出する。

$$Cd(n) = PE(n+d) - PE(n),$$

$$CH(n) = PE(n+d+H) - PE(n+d)$$

なお、誤差算出部104は、以下の式によりモデル予測誤差 $PE(n)$ を算出し、算出したモデル予測誤差 $PE(n)$ を記憶部105に誤差データ151として格納する。

$$PE(n) = PV(n) - Y(n-d)$$

(基準予測誤差記憶のタイミング指定)

コントローラ10は、予測値補正部106が用いる前記モデル予測誤差について、どの動作周期における前記モデル予測誤差にするかを選択するユーザ操作を受け付ける受付部107を備えている。

30

【0126】

前記の構成によれば、受付部107は、予測値補正部106が用いる前記モデル予測誤差について、どの動作周期における前記モデル予測誤差にするかを選択するユーザ操作を受け付ける。

【0127】

したがって、コントローラ10は、受付部107によって受け付けられたユーザ操作に対応する動作周期における前記モデル予測誤差を用いて、前記ユーザ操作に対応する動作周期より後の動作周期における前記予測値を補正することができるという効果を奏する。

40

【0128】

ここで、前記ユーザ操作は、1回目の動作周期を指定するものであってもよい。また、前記ユーザ操作は、2回目以降の動作周期における補正に際して、直前の動作周期における前記モデル予測誤差を用いることを指定するものであってもよい。さらに、コントローラ10は、前記ユーザ操作において指定された任意の回(例えば、3回目)の動作周期における前記モデル予測誤差を用いて、前記指定された任意の回より後の回(例えば、4回目、5回目、・・・、 n 回目)の動作周期における前記予測値を補正してもよい。

【0129】

受付部107は、例えば、「初回サイクル(1回目の動作周期)」のモデル予測誤差だけを記憶させ、2回目以降の動作周期における予測値の補正には、常に「初回サイクル」

50

のモデル予測誤差を用いるよう指定するユーザ操作を受け付けてもよい。

【0130】

同様に、受付部107は、例えば、新たに「n回目（例えば、5回目）の動作周期」のモデル予測誤差を記憶させ、n+1回目（例えば、6回目の動作周期）以降の動作周期における予測値の補正に前記n回目の動作周期におけるモデル予測誤差を用いるよう指示するユーザ操作を受け付けてもよい。

【0131】

さらに、受付部107は、動作周期毎にモデル予測誤差を記憶させ、或る動作周期におけるモデル予測誤差を用いて、前記或る動作周期の次の動作周期における前記予測値を補正するよう指示するユーザ操作を受け付けてもよい。

10

【0132】

（外乱補償の効果の実証）

前述の通り、受付部107は、予測値補正部106が用いるモデル予測誤差について、どの動作周期におけるモデル予測誤差にするかを選択するユーザ操作を受け付ける。そして、予測値補正部106は、「受付部107が受け付けたユーザ操作において指定されている動作周期（ユーザ指定の動作周期）」におけるモデル予測誤差を用いて、前記「ユーザ指定の動作周期」より後の動作周期における予測値（制御量の予測値、つまり予測制御量）を、補正する（外乱補償）。

【0133】

以下では、外乱の内容に応じて、例えば、印加される外乱が変化しないか、それとも変化するかに応じて、予測値補正部106が、どのタイミング（どの動作周期）におけるモデル予測誤差を用いて予測値（予測制御量）を補正するのが好ましいかを説明する。

20

【0134】

（変化しない外乱の補償）

図6は、コントローラ10が外乱補償処理を実行した場合の効果の説明するための図である。図6に示す例は、「100msで60mm移動する（これが1サイクル）」目標軌道データ（目標軌道）の制御に対し、「時刻40msに、パルス幅4ms、振幅50%のパルス状のトルク外乱」を印加した場合について、コントローラ10が外乱補償処理を実行した場合の効果の説明するための図である。

【0135】

図6に示す例において、コントローラ10は、「時刻40msに、パルス幅4ms、振幅50%のパルス状のトルク外乱」のような定型の外乱（複数の動作周期に亘って、大きさおよび印加のタイミングが変化しない外乱）に対して、1回目に記憶した基準予測誤差を用いて2回目以降の動作周期における予測値を補正する。つまり、定型の外乱については、予測値補正部106が「1回目の動作周期におけるモデル予測誤差」を用いて「2回目以降の動作周期における予測制御量（制御量の予測値）」を補正する（外乱補償）。

30

【0136】

そして、トルク算出部102は、予測値補正部106により補正された予測値（制御量の予測値）が指令値（指令位置）に追従するのに必要なトルクを、制御対象30およびサーボドライバ20の挙動をモデル化した内部モデルを用いて、算出する。

40

【0137】

図6に示すように、外乱補償が有効となっている「2回目の動作周期」において、つまり、予測値補正部106が「1回目の動作周期におけるモデル予測誤差」を用いて予測制御量（制御量の予測値）を補正した「2回目の動作周期」において、前記外乱の制御への影響は抑制されている。例えば、「2回目の動作周期」における位置偏差は、「1回目の動作周期」における位置偏差と異なり、ほとんど「0」で推移している。また、「2回目の動作周期」におけるトルクは、「1回目の動作周期」におけるトルクに比べて変化が穏やかなものとなっており、「1回目の動作周期」におけるような乱高下が無くなっている。つまり、定型の外乱については、予測値補正部106が、所定の回の動作周期（例えば、1回目の動作周期）におけるモデル予測誤差を用いて、前記所定の回より後の回の動作

50

周期における予測値を補正することで、コントローラ 10 は、前記外乱の制御への影響を低減することが可能となる。

【0138】

すなわち、コントローラ 10 において、予測値補正部 106 は、誤差算出部 104 により算出された所定の回の動作周期（例えば、1 回目の動作周期）における前記モデル予測誤差を用いて、前記所定の回より後の回の動作周期における前記予測値を補正する。

【0139】

前記の構成によれば、予測値補正部 106 は、前記所定の回の動作周期における前記モデル予測誤差を用いて、前記所定の回より後の回の動作周期における前記予測値を補正する。

10

【0140】

ここで、例えば n を自然数として n 回目の動作周期における前記モデル予測誤差を用いて $n + 1$ 回目以降の回の動作周期における前記予測値を補正することが予め分かっているならば、ユーザは、 n 回目の動作周期におけるモーション制御について、再現性が高い周囲環境を予め整備しておくことができる。つまり、コントローラ 10 は、 $n + 1$ 回目以降の回の動作周期における前記予測値を補正するのに好適な前記モデル予測誤差を、 n 回目の動作周期において取得することができる。

【0141】

したがって、コントローラ 10 は、偶発的に発生する前記誤差を含まない、精度の高い前記所定の回の動作周期における前記モデル予測誤差を用いて、前記所定の回より後の回の動作周期における前記予測値を補正することができるという効果を奏する。

20

【0142】

したがって、コントローラ 10 は、例えば、本稼動前の調整段階の最後に、再現性が高い周囲環境における前記モデル予測誤差を記憶しておき、記憶した前記モデル予測誤差を用いて、本稼動時の前記予測値を補正することができるという効果を奏する。

【0143】

（変化する外乱の補償）

外乱が徐々に変化するような場合、コントローラ 10 は、毎回、基準予測誤差を記憶し、かつ、直前のサイクルで記憶した基準予測誤差を使用して、予測の補正を行うのが好ましい。ここで、「外乱が徐々に変化するような場合」とは、例えば、発生する（印加される）外乱について、次のような傾向がある外乱をいう。すなわち、 n 回目の制御周期において印加される外乱と $n + 1$ 回目の制御周期において印加される外乱とは、印加のタイミングおよび大きさが類似し、 $n + 1$ 回目の制御周期において印加される外乱と $n + 2$ 回目の制御周期において印加される外乱とは、印加のタイミングおよび大きさが類似する。しかしながら、 n 回目の制御周期において印加される外乱と $n + 2$ 回目の制御周期において印加される外乱とは、印加のタイミングおよび大きさが類似するとは言えないような傾向がある場合を、「外乱が徐々に変化するような場合」と呼ぶことにする。

30

【0144】

図 7 は、コントローラ 10 の実行する外乱補償処理の、図 4 に示すのとは別の例を示すフロー図である。図 4 に例示した外乱補償処理においては、誤差算出部 104 は、「ユーザ指定の回」についてのみ、その回の動作周期におけるモデル予測誤差を算出し、予測値補正部 106 は、「ユーザ指定の回」の動作周期におけるモデル予測誤差を用いて、前記「ユーザ指定の回」より後の回の動作周期における予測値（制御量の予測値、つまり予測制御量）を、補正していた。

40

【0145】

これに対して、図 7 に例示する外乱補償処理においては、誤差算出部 104 は、毎動作周期におけるモデル予測誤差を算出する。つまり、誤差算出部 104 は、動作周期ごとに、その回の動作周期におけるモデル予測誤差を算出する。そして、予測値補正部 106 は、算出されたモデル予測誤差を用いて、次の回の動作周期における予測値（制御量の予測値、つまり予測制御量）を、補正する。

50

【 0 1 4 6 】

すなわち、図 7 に示すように、コントローラ 1 0 (トルク算出部 1 0 2) は、モーション制御 n サイクル目の予測制御を実行し (S 1 1 0)、同時に、誤差算出部 1 0 4 は、1 サイクル分の予測誤差データを算出し (S 1 2 0)、算出したモデル予測誤差を記憶部 1 0 5 に誤差データ 1 5 1 として格納する (S 1 3 0)。以下、詳細を説明していく。

【 0 1 4 7 】

トルク算出部 1 0 2 が「n サイクル目」の予測制御を実行する (S 1 1 0) のと共に、誤差算出部 1 0 4 は、「n サイクル目」における制御対象 3 0 の制御量の実測値と、「n サイクル目」における予測制御量と、から「n サイクル目」におけるモデル予測誤差を算出する (S 1 2 0)。誤差算出部 1 0 4 は、算出した「n サイクル目」におけるモデル予測誤差 (新たな基準予測誤差) を記憶部 1 0 5 に誤差データ 1 5 1 として格納する (S 1 3 0)。

10

【 0 1 4 8 】

「n + 1 サイクル目」の制御サイクルにおいて、予測値補正部 1 0 6 は、誤差データ 1 5 1 として格納されている「n サイクル目」のモデル予測誤差 (基準予測誤差) を用いて、「n + 1 サイクル目」の予測制御量 (トルク算出部 1 0 2 が算出した「n + 1 サイクル目」の動作周期における予測値 (制御量の予測値)) を補正する。そして、トルク算出部 1 0 2 は、予測値補正部 1 0 6 により補正された予測値 (制御量の予測値) が、指令値 (指令位置) に追従するのに必要なトルクを、内部モデルを用いて算出する。トルク指令部 1 0 3 は、トルク算出部 1 0 2 が算出したトルクを、指令トルク (操作量) として、サーボドライバ 2 0 に出力する (S 1 1 0、予測制御の実行)。

20

【 0 1 4 9 】

なお、図 4 に例示した処理と同様に、図 7 に示す処理においても、初回の制御実行時 (「n = 1」の時の制御実行時) は、基準予測誤差がまだ記憶部 1 0 5 に格納されておらず、誤差データ 1 5 1 が無いので、外乱補償処理を実行しても、実際には予測値は補正されないことになる。

【 0 1 5 0 】

「n + 1 サイクル目」の制御サイクルにおいて、誤差算出部 1 0 4 は、「n + 1 サイクル目」における制御対象 3 0 の制御量の実測値と、「n + 1 サイクル目」における予測制御量と、から「n + 1 サイクル目」におけるモデル予測誤差を算出する (S 1 2 0)。誤差算出部 1 0 4 は、算出した「n + 1 サイクル目」におけるモデル予測誤差 (新たな基準予測誤差) を記憶部 1 0 5 に誤差データ 1 5 1 として格納する (S 1 2 0)。

30

【 0 1 5 1 】

図 7 を参照して説明してきたコントローラ 1 0 の実行する処理 (制御方法) は、連続する複数の動作周期の間で大きさおよび印加のタイミングが略同一である外乱が印加されたときの、或る動作周期における制御量の実測値と、前記或る動作周期における前記モデルを用いた制御量の予測値との誤差であるモデル予測誤差を算出する誤差算出ステップ (S 1 2 0) と、前記誤差算出ステップにて算出した前記或る動作周期における前記モデル予測誤差を用いて、前記或る動作周期より後の動作周期における前記予測値を補正する予測値補正ステップ (S 1 1 0) と、を含んでいる。

40

【 0 1 5 2 】

コントローラ 1 0 は、大きさおよび印加 (発生) のタイミングの少なくとも一方が徐々に変化するような外乱に対して、毎回、基準予測誤差として予測誤差を記憶し、かつ直前のサイクルで記憶した予測誤差を基準予測誤差として用いて、予測の補正を行う。

【 0 1 5 3 】

つまり、コントローラ 1 0 において、予測値補正部 1 0 6 は、誤差算出部 1 0 4 により算出された或る動作周期における前記モデル予測誤差を用いて、前記或る動作周期の次の動作周期における前記予測値を補正する。

【 0 1 5 4 】

前記の構成によれば、予測値補正部 1 0 6 は、前記或る動作周期における前記モデル予

50

測誤差を用いて、前記或る動作周期の次の動作周期における前記予測値を補正する。

【0155】

ここで、誤差算出部104により前記或る動作周期において前記モデル予測誤差が算出された場合、同様の前記モデル予測誤差が、前記或る動作周期の次の動作周期においても算出される可能性が高いと考えることができる。

【0156】

したがって、コントローラ10は、前記或る動作周期において算出された前記モデル予測誤差と同様の前記モデル予測誤差が算出される可能性の高い、前記或る動作周期の次の動作周期における前記予測値を、前記或る動作周期における前記モデル予測誤差を用いて補正することができるという効果を奏する。

10

【0157】

大きさおよび印加（発生）のタイミングの少なくとも一方が徐々に変化するような外乱に対して、コントローラ10が図7に例示する外乱補償処理を実行した場合の効果を、以下に図8および図9を用いて説明する。図8および図9に示す例は、共に、「100msで60mm移動する（これが1サイクル）」目標軌道データ（目標軌道）の制御に対し、「時刻40msに、パルス幅4ms、振幅50%のパルス状のトルク外乱」を印加し、モーション制御の2～10回目の制御周期（サイクル）においては、「1サイクル毎に、外乱印加時刻が0.5msだけ前にシフトし、振幅が2%ずつ増え」、最後の11回目の制御周期においては、「外乱の変化が止まり、10回目の制御周期におけるのと同じの外乱が与えられる」点で共通している。なお、図8は、コントローラ10が図7に示す外乱補償処理を実行しなかった場合の位置偏差等の軌跡を示しているのに対して、図9は、コントローラ10が図7に示す外乱補償処理を実行した場合の位置偏差等の軌跡を示している。また、図8と図9とにおいて、1サイクル目の位置偏差およびトルクの軌跡は共通である。前述の通り、初回の制御実行時（「n=1」の時の制御実行時）は、基準予測誤差がまだ記憶部105に格納されておらず、誤差データ151がないので、外乱補償処理を実行しても、実際には予測値は補正されないことになるからである。

20

【0158】

図8は、印加される外乱が徐々に変化する場合に、コントローラ10が図7に示す外乱補償処理を実行しなかった場合の位置偏差等の軌跡を示す図である。図8に示すように、コントローラ10が図7に示す外乱補償処理を実行しない場合、少しずつ位置偏差が拡大している。

30

【0159】

図9は、印加される外乱が徐々に変化する場合に、コントローラ10が図7に示す外乱補償処理を実行した場合の位置偏差等の軌跡を示す図である。図9に示す例においては、図8に示す位置偏差等の軌跡とは対照的に、印加される外乱が変化しても、コントローラ10が位置偏差の拡大を抑制しつつ、印加される外乱の変化が止まると、コントローラ10はほぼ完全に位置偏差の拡大を抑制している。

【0160】

（表示画面の一例）

図10は、コントローラ10が表示する予測誤差のトレンドグラフ（経時変化を示す図）の一例を示す図である。図10に示すように、コントローラ10の表示制御部108は、モデル予測誤差（誤差算出部104が算出し、記憶部105に格納されている誤差データ151）の経時変化をユーザに表示する。

40

【0161】

前記の構成によれば、表示制御部108は、前記モデル予測誤差の経時変化をユーザに表示する。したがって、コントローラ10は、前記モデル予測誤差の経時変化をユーザに表示するので、ユーザが、コントローラ10によって表示された前記モデル予測誤差の経時変化（いわゆる、トレンドグラフ）に現れる波形から、外乱の様子を近似的に把握することができるという効果を奏する。

【0162】

50

表示制御部 108 が予測誤差（モデル予測誤差）のトレンドグラフを表示することにより、ユーザは、1 サイクル（動作周期）内のどの時点で外乱が発生しているかを確認することができる。特に、外乱補償が有効に働いている場合には、制御偏差の乱れのみによっては、外乱発生の様子を確認することが難しくなる。しかしながら、表示制御部 108 が表示する予測誤差のトレンドグラフによって、ユーザは、外乱が発生している時点（タイミング）を容易に確認することができる。

【0163】

〔実施形態 2〕

本発明の他の実施形態について、図 11 および図 12 に基づいて説明すれば、以下のとおりである。なお記載の簡潔性を担保するため、実施形態 1 とは異なる構成（処理の手順及び処理の内容）のみについて説明する。すなわち、実施形態 1 で記載された構成等は、本実施形態にもすべて含まれ得る。また、実施形態 1 で記載した用語の定義も同じである。

10

【0164】

（制御システムの概要）

図 12 は、コントローラ 100 を含む制御システム 2 の概要を示す図である。制御システム 2 は、コントローラ 10 が、位置 / 速度制御を実行し、予測制御によりサーボドライバ 20 へのトルク指令値を出力する制御システム 1 と異なり、コントローラ 100 は予測制御によりサーボドライバ 120 への指令位置を補正し、サーボドライバ 120 が位置 / 速度制御を実行する。すなわち、制御システム 1 においてコントローラ 10 はサーボドライバ 20 にトルク指令値を出力していたのに対し、制御システム 2 においてコントローラ 100 はサーボドライバ 120 に指令位置を出力する。

20

【0165】

コントローラ 100 は、モデル予測制御機構を備えるコントローラであって、サーボドライバ 120 に対し、操作量としての指令位置を出力する。コントローラ 100 は、例えば、ユーザ等の外部から目標軌道データ（目標軌道）を受け付け（軌道生成）、受け付けた目標軌道データから制御周期ごとに指令値（指令位置）を生成する。コントローラ 100 は、また、制御対象 30 から、「制御対象 30 の出力である制御量（制御量の実測値）」を、フィードバック情報として取得する。すなわち、コントローラ 100 は、フィードバック位置として、制御対象 30 が出力した位置を取得する。

30

【0166】

ここで、コントローラ 100 は、サーボドライバ 120 および制御対象 30 のモデルを内部モデルとして有し、この内部モデルを用いて、生成した指令位置と、「制御対象 30 の出力であるフィードバック位置（制御量の実測値）」と、に基づいて、サーボドライバ 120 に対し、操作量としての指令位置を出力する。

【0167】

制御システム 1 においては、サーボドライバ 20 のトルク制御部の特性について、「入力と出力とが略同一である」と見なして、サーボドライバ 20 のモデルは無視することも可能であった。すなわち、コントローラ 10 が用いる内部モデルは、制御対象 30 のみのモデルであっても良かった。

40

【0168】

一方、制御システム 2 では、サーボドライバ 120 が位置制御と速度制御とを実行するため、サーボドライバ 120 のモデルは、制御対象 30 のモデルと同様に重要であり、必須となる。すなわち、コントローラ 100 が用いる内部モデルは、サーボドライバ 120 および制御対象 30 のモデルである。コントローラ 100 は、内部モデルとして、サーボドライバ 120 および制御対象 30 の両方のモデルを必要とする。コントローラ 100 は、サーボドライバ 120 および制御対象 30 の各々のモデルを別個に有していてもよい。ただし、コントローラ 100 は、モデル予測制御を実行する際には、サーボドライバ 120 と制御対象 30 とをひとまとめにした制御対象（サーボドライバ 120 および制御対象 30）全体の特性を表すモデルを必要とする。

50

【 0 1 6 9 】

コントローラ 1 0 0 は、前記内部モデルを用いて制御対象 3 0 の出力する制御量（フィードバック位置）を予測するとともに、予測誤差を推定して外乱補償を行い、つまり、予測した制御量（予測値）を、予め記憶しておいたモデル予測誤差を用いて補正する。そして、コントローラ 1 0 0 は、モデル予測誤差を用いて補正した予測値である予測補正值（補正後予測値）を用いて、サーボドライバ 1 2 0 に出力する補正後指令位置（操作量）を算出する。

【 0 1 7 0 】

サーボドライバ 1 2 0 は、制御対象 3 0 について位置 / 速度制御を実行する。すなわち、サーボドライバ 1 2 0 は、コントローラ 1 0 0 から、指令位置（補正後指令位置）を取得する。サーボドライバ 1 2 0 は、また、制御対象 3 0 から、「制御対象 3 0 の出力である制御量（制御量の実測値）」を、フィードバック情報として取得する。すなわち、サーボドライバ 1 2 0 は、フィードバック速度およびフィードバック位置（フィードバック速度およびフィードバック位置の少なくとも一方）として、制御対象 3 0 が出力した速度および位置（速度および位置の少なくとも一方）を取得する。

10

【 0 1 7 1 】

サーボドライバ 1 2 0 は、コントローラ 1 0 0 から取得した指令位置（補正後指令位置）と、制御対象 3 0 から取得したフィードバック速度およびフィードバック位置の少なくとも一方と、を用いて、制御対象 3 0 について位置 / 速度制御を実行する。

20

【 0 1 7 2 】

（コントローラの概要）

これまで図 1 2 を用いて概要を説明してきた制御システム 2 に含まれるコントローラ 1 0 0 について、次に、その構成および処理の内容等を、図 1 1 を用いて説明していく。図 1 1 を参照して詳細を説明する前に、コントローラ 1 0 0 についての理解を容易にするため、その概要について以下のように整理しておく。

【 0 1 7 3 】

コントローラ 1 0 0（モデル予測制御装置）は、モーション制御の対象である制御対象全体（サーボドライバ 1 2 0 および制御対象 3 0）のモデルを用いて、指令値に対応する制御対象 3 0 の制御量を予測するモデル予測制御装置である。コントローラ 1 0 0 は、制御システム 1 におけるコントローラ 1 0 と同様に、誤差算出部 1 0 4 と、予測値補正部 1 0 6 と、を備えている。

30

【 0 1 7 4 】

コントローラ 1 0 0 は、さらに、前記指令値に、予測値補正部 1 0 6 により補正された前記予測値が追従するよう、前記指令値を補正する指令値補正部 1 1 2 と、指令値補正部 1 1 2 により補正された前記指令値である補正後指令値を、サーボドライバ 1 2 0（制御対象 3 0 にモーション制御を行う制御系）に、制御対象 3 0 の位置制御に係る指令値として出力する位置指令部 1 1 3 と、を備えている。

【 0 1 7 5 】

前記の構成によれば、指令値補正部 1 1 2 は、予測値補正部 1 0 6 により補正された制御量の予測値が前記指令値に追従するよう前記指令値を補正し、位置指令部 1 1 3 は、指令値補正部 1 1 2 により補正された前記指令値である補正後指令値を、サーボドライバ 1 2 0 に、制御対象 3 0 の位置制御に係る指令値として出力する。

40

【 0 1 7 6 】

したがって、コントローラ 1 0 0 は、前記外乱による制御量の変化を操作量に変換するための演算処理を実行せずに、前記指令値に制御対象 3 0 の制御量が追従するように補正された前記指令値を、サーボドライバ 1 2 0 に出力することができるという効果を奏する。

【 0 1 7 7 】

（コントローラの詳細）

以上に概要を説明したコントローラ 1 0 0 について、次に、その構成の詳細を、図 1 1

50

を用いて説明する。

【0178】

図11は、本発明の実施形態2に係るコントローラ100の要部構成を示すブロック図である。図11に示すコントローラ100は、図1に示すコントローラ10のトルク算出部102およびトルク指令部103に代えて、指令値補正部112および位置指令部113を備えている。コントローラ100のトルク算出部102およびトルク指令部103以外の構成については、コントローラ10のトルク算出部102およびトルク指令部103以外の構成と同様なので、詳細は略記する。

【0179】

指令値補正部112は、モデル予測制御を実行し、具体的には、制御対象（つまり、サーボドライバ120および制御対象30）の内部モデルを用いて未来の状態を予測し、制御対象30の未来の出力（制御量の予測値）ができる限り目標値（指令値、つまり指令位置）に近づくように操作量（指令位置）を決定する（推定する）。つまり、指令値補正部112は、前記内部モデルに基づいて未来の出力（制御量）の変化を予測し、出力と目標値とができるだけ近づくように入力（操作量、つまり指令位置）を決定するものである。

10

【0180】

指令値補正部112は、制御対象（つまり、サーボドライバ120および制御対象30）の挙動をモデル化した前記内部モデルを含み、前記内部モデルを用いて、各動作周期において制御対象30が出力する制御量を予測する。すなわち、指令値補正部112は、前記内部モデルを用いて、各動作周期における予測値（制御量の予測値）を算出する。指令値補正部112は、算出した予測値（予測制御量）を誤差算出部104に通知する。

20

【0181】

指令値補正部112は、また、予測値補正部106から取得する予測補正值（補正後予測値）が、つまり、予測値補正部106により補正された予測値（制御量の予測値）が、指令値（指令位置）に追従するのに必要な操作量（補正後指令位置）を、前記内部モデルを用いて算出する。指令値補正部112は、算出した補正後指令位置を操作量として位置指令部113に通知する。

【0182】

位置指令部113は、指令値補正部112から通知された補正後指令位置（操作量）を、サーボドライバ120（制御対象30にモーション制御を行う制御系）に、制御対象30の位置/速度制御に係る指令値として出力する。

30

【0183】

〔ソフトウェアによる実現例〕

コントローラ10および100の制御ブロック（特に、指令値生成部101、トルク算出部102、トルク指令部103、誤差算出部104、記憶部105、予測値補正部106、受付部107、表示制御部108、指令値補正部112、および位置指令部113）は、集積回路（ICチップ）等に形成された論理回路（ハードウェア）によって実現してもよいし、CPU（Central Processing Unit）を用いてソフトウェアによって実現してもよい。

【0184】

後者の場合、コントローラ10および100は、各機能を実現するソフトウェアであるプログラムの命令を実行するCPU、上記プログラムおよび各種データがコンピュータ（またはCPU）で読み取り可能に記録されたROM（Read Only Memory）または記憶装置（これらを「記録媒体」と称する）、上記プログラムを展開するRAM（Random Access Memory）などを備えている。そして、コンピュータ（またはCPU）が上記プログラムを上記記録媒体から読み取って実行することにより、本発明の目的が達成される。上記記録媒体としては、「一時的でない有形の媒体」、例えば、テープ、ディスク、カード、半導体メモリ、プログラマブルな論理回路などを用いることができる。また、上記プログラムは、該プログラムを伝送可能な任意の伝送媒体（通信ネットワークや放送波等）を介して上記コンピュータに供給されてもよい。なお、本発明は、上記プログラムが電子的な伝送

40

50

によって具現化された、搬送波に埋め込まれたデータ信号の形態でも実現され得る。

【0185】

本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせ得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

【符号の説明】

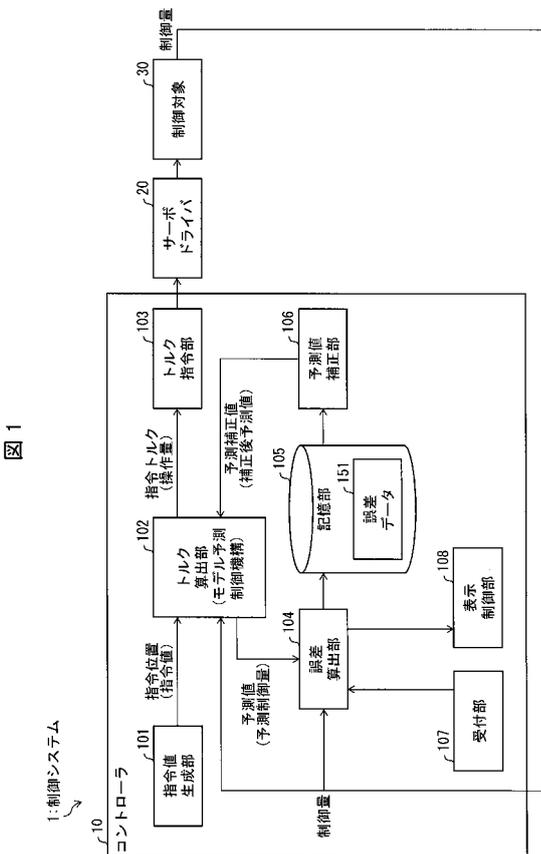
【0186】

- 10 コントローラ (モデル予測制御装置)
- 30 制御対象
- 100 コントローラ (モデル予測制御装置)
- 102 トルク算出部
- 103 トルク指令部
- 104 誤差算出部
- 105 記憶部
- 106 予測値補正部
- 107 受付部
- 108 表示制御部
- 112 指令値補正部
- 113 位置指令部
- 151 誤差データ (モデル予測誤差)
- S10 予測値補正ステップ
- S30 誤差算出ステップ
- S110 予測値補正ステップ
- S120 誤差算出ステップ

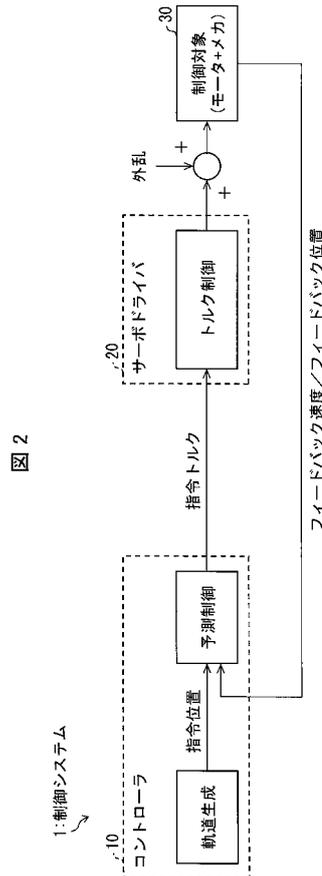
10

20

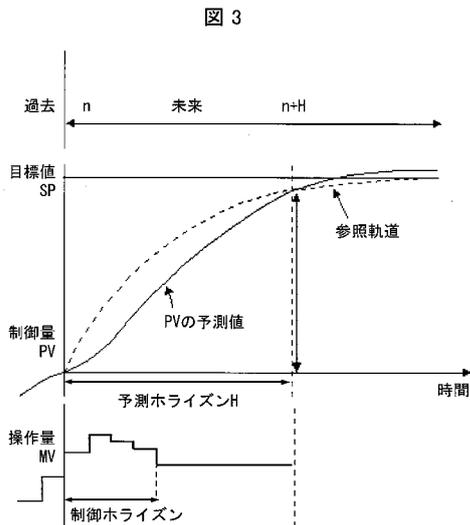
【図1】



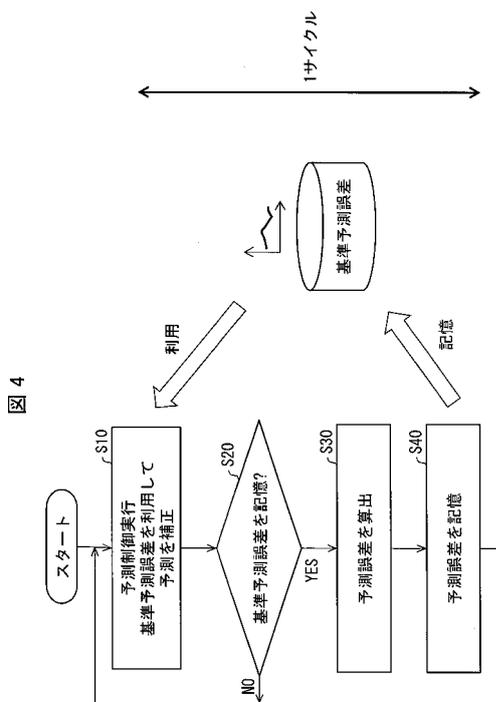
【図2】



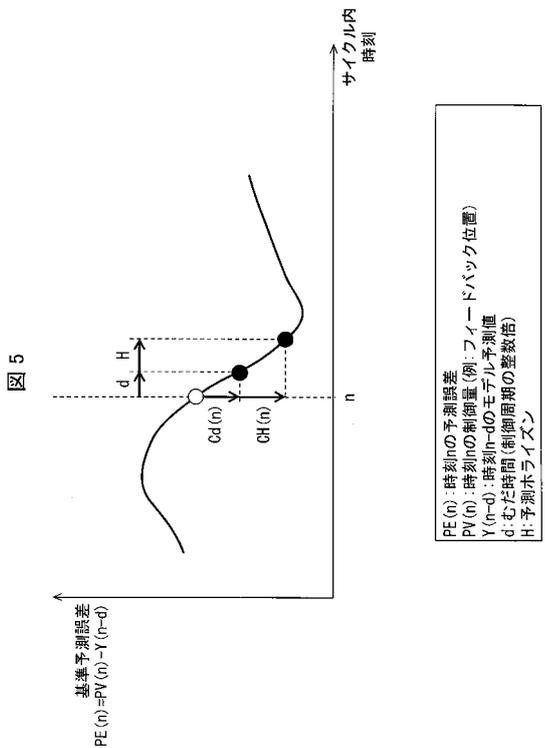
【 図 3 】



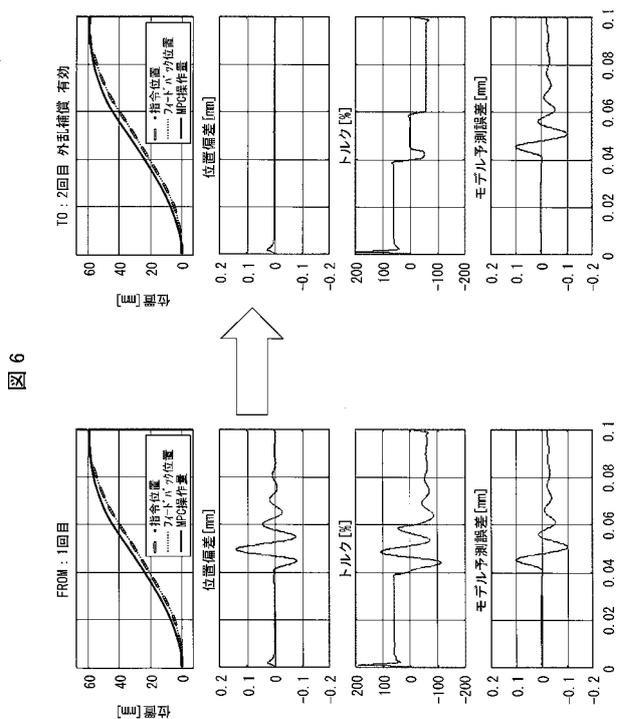
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】

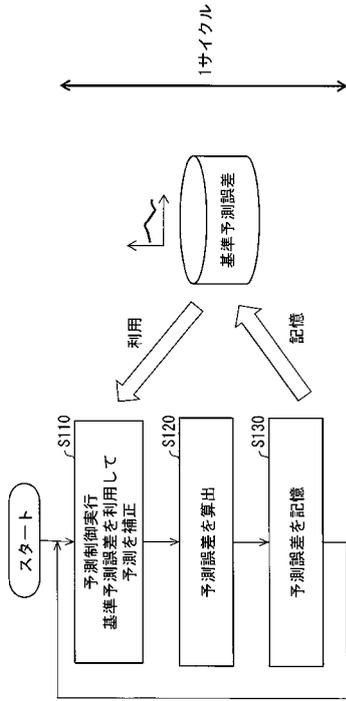


図 7

【 図 8 】

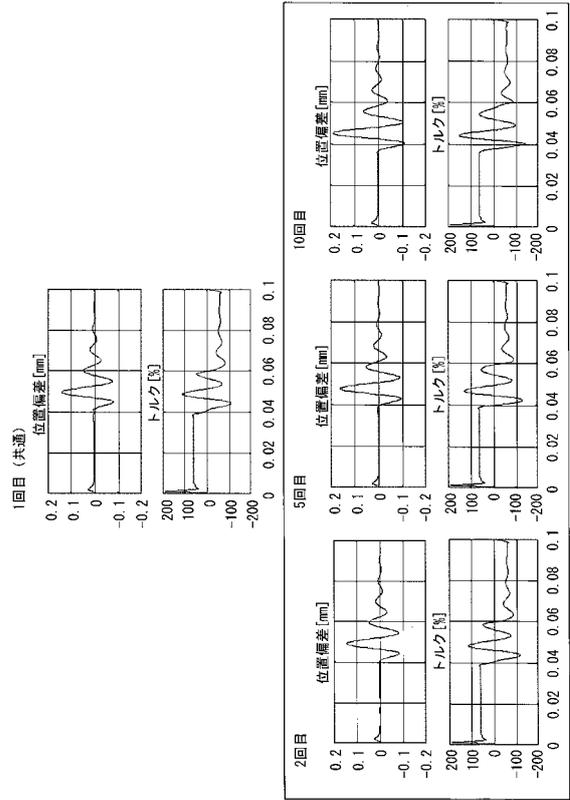


図 8

【 図 9 】

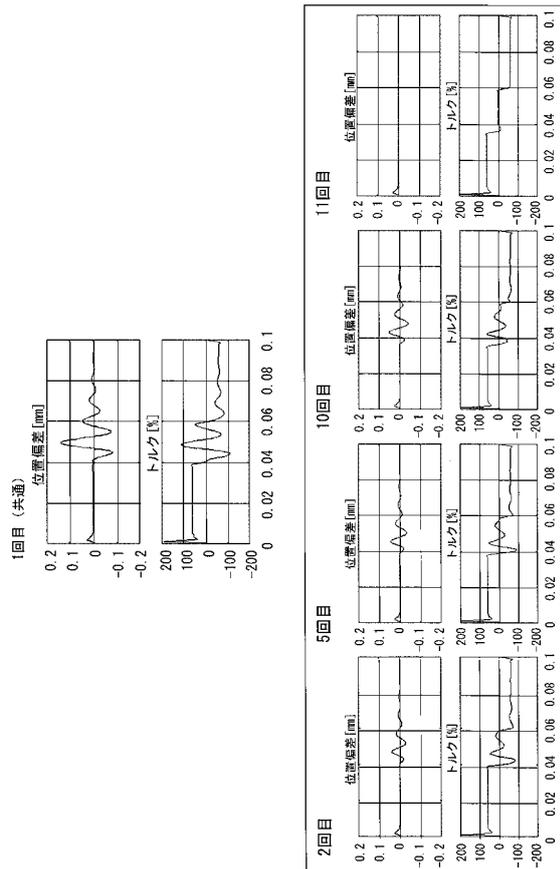


図 9

【 図 10 】

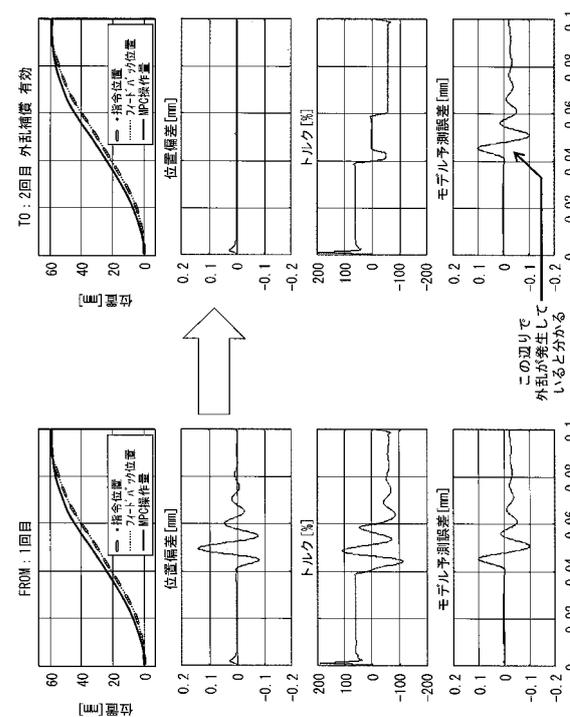


図 10

