(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6月22日(22.06.2023)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2023/112082 A1

(51) 国際特許分類:
H02P 29/00 (2016.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2021/045769

(22) 国際出願日： 2021年12月13日(13.12.2021)

(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:三菱電機株式会社(**MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者:▲辻▼川 孝輔(**TSUJIKAWA, Kosuke**); 〒1008310 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 Tokyo (JP). 池田 良一(**IKEDA, Ryoichi**); 〒1008310 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 Tokyo (JP).

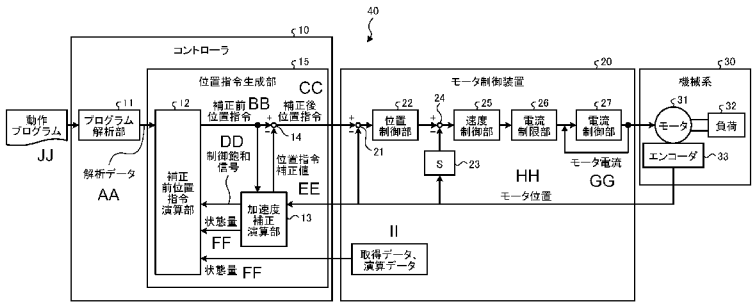
(74) 代理人:高村 順(**TAKAMURA, Jun**); 〒1000013 東京都千代田区霞が関3丁目8番1号 虎の門三井ビルディング 弁理士法人酒井国際特許事務所 Tokyo (JP).

(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, 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,

(54) **Title:** CONTROLLER, CONTROL SYSTEM, LEARNING DEVICE, AND INFERENCE DEVICE

(54) 発明の名称： コントローラ、制御システム、学習装置および推論装置

[図1]



10Controller
11Program analysis unit
12Pre-correction position command calculation unit
13Acceleration correction calculation unit
15Position command generation unit
20Motor control device
22Position control unit
25Speed control unit
26Current limit unit
27Current control unit
30Mechanical system
31Motor
32Load
33Encoder
AA Analyzed data
BB Pre-correction position command
CC Post-correction position command
DD Control saturation signal
EE Position command correction value
FF State quantity
GG Motor current
HH Motor position
II Acquired data and calculation data
JJ Operation program

(57) **Abstract:** A controller (10) outputs a position command to a motor control device (20) that supplies current to a motor (31) to control the operation thereof. The controller (10) comprises: a program analysis unit (11) for analyzing an operation program that specifies the path of an object to be driven by the operation of the motor (31) and outputting analyzed data; and a position command generation unit (15) having a machine model for calculating an acceleration that can be output by the motor (31), generating the position command on the basis of the analyzed data and the machine model, and updating the machine model when a control input to the motor (31) exceeds a preset control input limit and is saturated.

WO 2023/112082 A1

[続葉有]

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, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：モータ（３１）に電流を供給して動作を制御するモータ制御装置（２０）に対して位置指令を出力するコントローラ（１０）であって、モータ（３１）の動作によって駆動する駆動対象の経路を規定する動作プログラムを解析し、解析データを出力するプログラム解析部（１１）と、モータ（３１）が出力可能な加速度を算出する機械モデルを有し、解析データおよび機械モデルに基づいて位置指令を生成し、モータ（３１）に対する制御入力が予め設定された制御入力制限を超えて飽和した場合は機械モデルを更新する位置指令生成部（１５）と、を備える。

明　細　書

発明の名称 ：

コントローラ、制御システム、学習装置および推論装置

技術分野

[0001]　本開示は、モータの動作を制御するモータ制御装置に接続されるコントローラ、制御システム、学習装置および推論装置に関する。

背景技術

[0002]　従来、追従制御を行うサーボモータの制御装置が知られている。一般的なサーボモータの制御において、外部から入力された位置指令値および速度指令値に追従するようＰＩＤ（Proportional Integral Differential）制御を行う制御装置が公知である。このような制御装置では、サーボモータの保護を目的として制御入力に制限が設けられている。そのため、制御入力に制限が設けられている制御装置は、制御入力の制限を超えるような移動指令が与えられると、制御入力の飽和が生じた際に、出力応答にオーバーシュートを生じるワインドアップ現象によって位置指令、速度指令などに追従できず、オーバーシュートなどの制御性能の劣化、制御系の不安定化などを引き起こすことがある。このような性能劣化の防止対策として、特許文献１には、制御入力の制限に対する飽和対策として、モータへの制御入力に制限を有する制御対象に対して、制御入力が制限を受けることを予測して位置偏差に補正を行うことで、制御入力の飽和を防止する技術が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開２０１０－１７８５０９号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004]　一般的に、工作機械において、モータ制御装置に接続される上位制御装置であるコントローラは、モータの駆動対象の経路を決定するプログラム、例

えば、Ｇコードプログラムなどに基づいて位置指令を生成している。しかしながら、上記従来の技術によれば、モータ制御装置は、コントローラから入力された位置指令と、検出されたモータ位置との差分である位置偏差に対して、ワインドアップ現象の防止を目的として補正を実施している。そのため、モータ制御装置がこのような補正を実施した場合、モータの駆動対象は、コントローラが想定している経路と異なる経路を通る動作をしてしまう、という問題があった。また、上記従来の技術によれば、制御入力の飽和が生じるような指令を出力することを防止するものではないため、位置指令に基づいた予想動作と実動作とが乖離してしまう、という問題があった。このような場合、事前に位置指令に基づいて動作時間、経路などを予測していても、良好な結果を得ることができない。

[0005] 本開示は、上記に鑑みてなされたものであって、制御入力の飽和による制御性能の劣化を抑制しつつ、モータ制御装置に対する位置指令を生成する際に使用する機械モデルを飽和状況に基づいて更新するコントローラを得ることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示は、モータに電流を供給して動作を制御するモータ制御装置に対して位置指令を出力するコントローラである。コントローラは、モータの動作によって駆動する駆動対象の経路を規定する動作プログラムを解析し、解析データを出力するプログラム解析部と、モータが出力可能な加速度を算出する機械モデルを有し、解析データおよび機械モデルに基づいて位置指令を生成し、モータに対する制御入力が予め設定された制御入力制限を超えて飽和した場合は機械モデルを更新する位置指令生成部と、を備えることを特徴とする。

発明の効果

[0007] 本開示のコントローラは、制御入力の飽和による制御性能の劣化を抑制しつつ、モータ制御装置に対する位置指令を生成する際に使用する機械モデルを飽和状況に基づいて更新することができる、という効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]実施の形態１に係る制御システムの構成例を示す図

[図2]実施の形態１に係るコントローラが備える補正前位置指令演算部の構成例を示す図

[図3]実施の形態１に係るコントローラの補正前位置指令演算部が備える加減速処理部による加減速処理前の移動量の例を示す図

[図4]実施の形態１に係るコントローラの補正前位置指令演算部が備える加減速処理部による加減速処理後の移動量の例を示す図

[図5]実施の形態１に係るコントローラの補正前位置指令演算部が備える加減速処理部が保持するモータ特性モデルの例を示す図

[図6]実施の形態１に係るコントローラが備える加速度補正演算部の構成例を示す図

[図7]実施の形態１に係るコントローラの加速度補正演算部が加速度を補正した場合の移動量の差異の例を示す図

[図8]実施の形態１に係るコントローラにおける制御入力の飽和による制御性能の劣化を抑制する動作を示すフローチャート

[図9]実施の形態１に係るコントローラの補正前位置指令演算部が備える加減速処理部において制御飽和信号がＯＮのときの状態量から算出したモータトルクをモータ特性としてプロットしたイメージを示す図

[図10]実施の形態１に係るコントローラにおける機械モデルを飽和状況に基づいて更新する動作を示すフローチャート

[図11]実施の形態１に係るコントローラを実現するハードウェアの構成例を示す図

[図12]実施の形態２に係る制御システムの構成例を示す図

[図13]実施の形態２に係るコントローラが備える加速度補正演算部の構成例を示す図

[図14]実施の形態３に係る制御システムの構成例を示す図

[図15]実施の形態３に係るコントローラが備える加速度補正演算部の構成例

を示す図

[図16]実施の形態４に係るコントローラに適用される学習装置の構成例を示す図

[図17]実施の形態４に係る学習装置のモデル生成部で用いられるニューラルネットワークの例を模式的に示す図

[図18]実施の形態４に係る学習装置の学習処理を示すフローチャート

[図19]実施の形態４に係るコントローラに適用される推論装置の構成例を示す図

[図20]実施の形態４に係る推論装置の推論処理を示すフローチャート

[図21]実施の形態４において学習装置および推論装置をコントローラの外部に設置した場合の例を示す図

[図22]実施の形態４において学習装置および推論装置をコントローラの内部に設置した場合の例を示す図

発明を実施するための形態

[0009] 以下に、本開示の実施の形態に係るコントローラ、制御システム、学習装置および推論装置を図面に基づいて詳細に説明する。

[0010] 実施の形態１．

図１は、実施の形態１に係る制御システム４０の構成例を示す図である。制御システム４０は、コントローラ１０と、モータ制御装置２０と、を備える。本実施の形態において、コントローラ１０は、制御入力の飽和による制御性能の劣化を抑制すること、およびモータ制御装置２０に対する位置指令を生成する際に使用する機械モデルを飽和状況に基づいて更新することを特徴とする。以下、それぞれの特徴について説明する。まず、制御入力の飽和による制御性能の劣化を抑制することについて説明する。ここで、制御入力の飽和とは、予め設定された制御入力制限を超えることを意味する。

[0011] 図１に示すように、コントローラ１０は、モータ制御装置２０に接続されている上位制御装置である。コントローラ１０は、モータ制御装置２０に位置指令を出力する。モータ制御装置２０は、位置指令に基づいてモータ３１

に電流を供給することで、モータ３１の動作を制御する。モータ３１には、モータ３１のモータ位置を検出するエンコーダ３３、およびモータ３１の動作によって駆動する駆動対象としての負荷３２が接続されている。モータ３１および負荷３２をまとめて機械系３０と表記する。機械系３０は、工作機械などを構成する負荷３２を駆動する駆動軸を備えている。以降の説明において、駆動軸のことを単に軸と称する。例えば、コントローラ１０が工作機械などにおいて複数の軸の動作を制御する場合、モータ３１およびモータ制御装置２０は軸毎に用意される。実施の形態１では、コントローラ１０が１つのモータ制御装置２０および１つの機械系３０を対象にする場合について説明する。なお、図１に示すように、エンコーダ３３を機械系３０に含めてもよい。

[0012] モータ制御装置２０は、コントローラ１０から取得した補正後位置指令に基づいてモータ３１を駆動（動作）する。図１に示すように、モータ制御装置２０は、位置偏差演算部２１と、位置制御部２２と、速度演算部２３と、速度偏差演算部２４と、速度制御部２５と、電流制限部２６と、電流制御部２７と、を備える。

[0013] 位置偏差演算部２１は、コントローラ１０から取得した補正後位置指令とエンコーダ３３で検出されたモータ３１のモータ位置との位置偏差を演算する。位置制御部２２は、位置偏差演算部２１で演算された位置偏差に基づいて、モータ３１に対する速度指令を生成する。速度演算部２３は、エンコーダ３３で検出されたモータ３１のモータ位置を微分することでモータ３１の速度を演算する。速度偏差演算部２４は、位置制御部２２で生成された速度指令と速度演算部２３で演算されたモータ３１の速度との速度偏差を演算する。速度制御部２５は、速度偏差演算部２４で演算された速度偏差に基づいて、モータ３１に対する電流指令を生成する。電流制限部２６は、速度制御部２５で生成された電流指令に対して、モータ３１を保護するために規定されたモータ最大電流Ｉｍａｘ以下になるように制限を行い、制限後電流指令を出力する。電流制限部２６は、電流指令がモータ最大電流Ｉｍａｘ以上の

場合に電流指令に対して電流制限を行い、電流指令がモータ最大電流Ｉｍａｘ未満の場合は電流指令に対して電流制限を行わずにそのまま出力する。電流制御部２７は、制限後電流指令、およびフィードバックされたモータ電流Ｉに基づいて、モータ３１に対してモータ電流Ｉを生成して出力する。

[0014] コントローラ１０の構成および動作について詳細に説明する。図１に示すように、コントローラ１０は、プログラム解析部１１と、補正前位置指令演算部１２と、加速度補正演算部１３と、位置指令演算部１４と、を備える。なお、補正前位置指令演算部１２、加速度補正演算部１３、および位置指令演算部１４によって位置指令生成部１５を構成している。

[0015] プログラム解析部１１は、外部から入力された動作プログラムを解析し、解析結果を解析データとして出力する。動作プログラムは、指令ブロックを複数含んで構成される。動作プログラムとは、例えば、モータ３１の動作によって駆動する駆動対象である負荷３２の動作の経路を規定するプログラムである。動作プログラムによって規定される負荷３２の動作の経路を指令経路と表記する。解析データとは、指令ブロック毎の各軸の移動量、指令送り速度、指令情報など各軸の移動に必要な情報である。指令情報は、例えば、Ｇコードである。

[0016] 位置指令生成部１５は、モータ３１が出力可能な加速度を算出する機械モデルを有し、解析データおよび機械モデルに基づいて位置指令を生成する。また、位置指令生成部１５は、モータ３１に対する制御入力が予め設定された制御入力制限を超えて飽和した場合は機械モデルを更新する。以下、位置指令生成部１５の動作について、補正前位置指令演算部１２、加速度補正演算部１３、および位置指令演算部１４の動作として詳細に説明する。

[0017] 補正前位置指令演算部１２は、モータ３１が出力可能な加速度を算出する機械モデルを有し、解析データおよび機械モデルに基づいて、補正前位置指令を演算する。具体的には、補正前位置指令演算部１２は、プログラム解析部１１から取得した解析データに基づいて補間データを生成し、補間データに基づいてモータ３１を加減速駆動させるための補正前位置指令を生成する

。図２は、実施の形態１に係るコントローラ１０が備える補正前位置指令演算部１２の構成例を示す図である。補正前位置指令演算部１２は、補間データ生成部１２１と、加減速処理部１２２と、を備える。

[0018] 補間データ生成部１２１は、プログラム解析部１１から取得した解析データに基づいて補間データを生成する。補間データは、１制御周期分の移動量を表すデータに加え、目標速度などの速度計算値の生成に用いる情報を含む。

[0019] 加減速処理部１２２は、補間データ生成部１２１から取得した補間データと、後述する状態量とを入力とし、機械モデル１２３を用いて加減速処理を行い、モータ３１が出力可能なトルクの範囲で加減速駆動させるための軸毎の１制御周期分の移動量を積算した補正前位置指令を演算する。機械モデル１２３は、モータ３１が出力可能なトルク－速度特性を示すモータ特性モデル１２４、および駆動対象となる負荷３２の情報で構成された負荷モデル１２５を含む。

[0020] 図３は、実施の形態１に係るコントローラ１０の補正前位置指令演算部１２が備える加減速処理部１２２による加減速処理前の移動量の例を示す図である。図４は、実施の形態１に係るコントローラ１０の補正前位置指令演算部１２が備える加減速処理部１２２による加減速処理後の移動量の例を示す図である。図３および図４において、横軸は時間を示し、縦軸は移動量を示す。移動量は、位置指令の１制御周期分の変化量にあたり、速度指令に相当する。図３は補間データに相当するものであり、図４は補正前位置指令に相当するものである。図４に示すように、加減速処理部１２２による加減速処理後の移動量では、図３に示す加減速処理前の移動量と比較して、加速区間および減速区間において１制御周期あたりの移動量が小さくなっているため、必要な移動量を移動するための時間が長くなる。

[0021] 補正前位置指令演算部１２の加減速処理部１２２が保持する機械モデル１２３のモータ特性モデル１２４は、図５に示すようにモータ３１が出力可能な最大トルクに対する回転数の変化を示すものである。図５は、実施の形態

１に係るコントローラ１０の補正前位置指令演算部１２が備える加減速処理部１２２が保持するモータ特性モデル１２４の例を示す図である。一般的に、モータ特性モデル１２４では、モータ３１に流すモータ最大電流Ｉｍａｘから決定される最大トルクＴｍａｘ０、およびモータ回転数と比例して増加するモータ逆起電力とモータ３１に印加可能な最大電圧とから決定される低減トルクＴｒの小さい方が、モータ３１が出力可能なトルク、すなわち出力最大トルクＴｍａｘとなる。図５に示す太線が出力最大トルクＴｍａｘとなる。一般的に、モータ制御において制御入力の飽和が発生する条件では、制御入力である電流指令が制限された場合、最大トルクＴｍａｘ０が出力最大トルクＴｍａｘとなり、制御入力であるモータ３１に印加する電圧指令が制限された場合、低減トルクＴｒが出力最大トルクＴｍａｘとなる。以降の説明において、制御入力である電流指令が制御入力制限を超えるため制限された場合をトルク飽和と称し、制御入力であるモータ３１に印加する電圧指令が制御入力制限を超えるため制限された場合を電圧飽和と称する。これらは、制御入力の飽和の一例である。

[0022] 図２の説明に戻る。図２に示すように、加減速処理部１２２が保持する機械モデル１２３に含まれる負荷モデル１２５には、負荷イナーシャＪ、ワーク情報、摩擦トルクＴ１、偏荷重トルクＴ２などの情報が含まれる。ワーク情報には、例えば、ワークの重量、ワークの形状などの情報が含まれる。ワークとは、コントローラ１０が工作機械の動作を制御する場合における工作機械の加工対象である。

[0023] 次に、加減速処理部１２２が補正前位置指令を演算する方法について説明する。ここで、モータ制御における前提として、制御入力の飽和を起こすことなくモータ３１を駆動させるためには、モータトルクＴｍを出力最大トルクＴｍａｘ以下にする必要がある。モータトルクＴｍは、負荷３２に作用する出力トルクＴｏｕｔ、および外乱として作用する外乱トルクＴｄから式（１）のように算出できる。

[0024] Ｔｍ＝Ｔｏｕｔ＋Ｔｄ …（１）

[0025] 式（１）において、Ｔｍはモータトルク［Ｎｍ］であり、Ｔｏｕｔは出力トルク［Ｎｍ］であり、Ｔｄは外乱トルク［Ｎｍ］である。ここでの外乱トルクＴｄは、摩擦トルクＴ１、および偏荷重トルクＴ２から式（２）のように算出できる。

[0026] Ｔｄ＝Ｔ１＋Ｔ２ …（２）

[0027] 式（２）において、Ｔ１は摩擦トルク［Ｎｍ］であり、Ｔ２は偏荷重トルク［Ｎｍ］である。次に、角加速度αは、出力トルクＴｏｕｔ、および負荷イナーシャＪから式（３）のように算出できる。

[0028] α＝Ｔｏｕｔ／Ｊ …（３）

[0029] 式（３）において、Ｊは慣性モーメントである負荷イナーシャ［ｋｇ／ｍ^2］である。すなわち、機械モデル１２３が持つ情報が駆動対象と一致しているという前提下において、加減速処理部１２２は、モータトルクＴｍを出力最大トルクＴｍａｘ以下になるように、モータ特性モデル１２４および負荷モデル１２５に基づいて角加速度αを決定すれば、制御入力の飽和を起こすことのない補正前位置指令を演算することができる。例えば、加減速処理部１２２は、出力最大トルクＴｍａｘ＝最大トルクＴｍａｘ０となる範囲では最大トルクＴｍａｘ０になるように角加速度αを決定し、出力最大トルクＴｍａｘ＝低減トルクＴｒとなる範囲では低減トルクＴｒになるように角加速度αを決定することで、出力最大トルクＴｍａｘでの加減速を実現することができる。

[0030] 次に、加速度補正演算部１３は、モータ３１に対する制御入力が飽和したか否かを判定し、制御入力が飽和したと判定した場合は制御飽和信号をＯＮにして出力し、制御入力が飽和していないと判定した場合は制御飽和信号をＯＦＦにして出力する。さらに、加速度補正演算部１３は、制御飽和信号に基づいて、補正前位置指令を補正するための位置指令補正値を演算する。具体的には、加速度補正演算部１３は、補正前位置指令演算部１２から取得した補正前位置指令、およびエンコーダ３３から取得したモータ位置を用いて、補正前位置指令を補正するための位置指令補正値を演算する。図６は、実

施の形態１に係るコントローラ１０が備える加速度補正演算部１３の構成例を示す図である。加速度補正演算部１３は、モデル出力部１３１と、モデル位置偏差演算部１３３と、比較部１３４と、位置指令補正値演算部１３５と、を備える。

[0031] モデル出力部１３１は、補正前位置指令演算部１２で演算された補正前位置指令を入力とし、位置制御部、速度制御部、電流制御部などを含むモータ制御モデル１３２を用いてモータ３１のモデル位置を算出する。ここで、モータ制御モデル１３２は、モータ制御装置２０を模擬したものであり、制御入力の飽和が生じずにモータ３１を制御した場合のモータ位置をモデル位置として出力する。図６に示すモータ制御モデル１３２において、モータ、負荷、およびエンコーダで表される機械系に相当する部分が、図２に示す機械モデル１２３のモータ特性モデル１２４に相当するモデルである。したがって、制御入力の飽和が生じない条件かつ理想的なモータ制御モデル１３２であれば、後述するモデル位置偏差演算部１３３で演算されるモデル位置とモータ位置とのモデル位置偏差は０となる。一方、制御入力の飽和が生じた場合、モデル位置とモータ位置とは乖離するため、補正前位置指令とモータ位置との偏差である位置ドループは拡大することとなり、同様にモデル位置偏差も拡大する。したがって、加速度補正演算部１３は、モデル位置偏差を監視することで、制御入力の飽和を判定することができる。また、前述のとおり、制御入力の飽和は主にトルク飽和または電圧飽和によるものであることから、モータ加速度を下げることでモータトルクＴｍを低減でき、制御入力の飽和を解消することができる。なお、モデル出力部１３１は、モータ特性モデル１２４に相当するモデルの情報について、補正前位置指令演算部１２からモータ特性モデル１２４の情報を取得してもよく、後述するように補正前位置指令演算部１２がモータ特性モデル１２４を更新した場合は更新後のモータ特性モデル１２４の情報を取得してもよい。

[0032] モデル位置偏差演算部１３３は、モデル出力部１３１で算出されたモデル位置と、エンコーダ３３で検出されたモータ３１のモータ位置との偏差を演

算し、モデル位置偏差として出力する。

[0033] 比較部１３４は、モデル位置偏差演算部１３３で演算されたモデル位置偏差と規定された閾値とを比較し、モデル位置偏差が閾値以上の場合、何かしら制御入力の飽和が生じたと判定し、制御飽和信号をＯＮとして出力する。一方、比較部１３４は、モデル位置偏差が閾値未満の場合、制御入力の飽和は生じていないと判定し、制御飽和信号をＯＦＦとして出力する。なお、比較部１３４で使用される閾値については、固定値であってもよいし、可変値であってもよい。固定値の場合、コントローラ１０の生産者または使用者などが予め設定しておく。可変値の場合、例えば、図６に示すモータ制御モデル１３２において演算された補正前位置指令とモデル位置との位置偏差に対して規定された係数を乗算したものを閾値として使用してもよい。比較部１３４で使用される閾値は、制御入力制限の一例である。

[0034] 位置指令補正値演算部１３５は、比較部１３４から取得された制御飽和信号、エンコーダ３３から取得したモータ位置、および補正前位置指令演算部１２から取得した補正前位置指令に基づいて、位置指令補正値を演算する。具体的には、位置指令補正値演算部１３５は、制御飽和信号がＯＮとなると、補正後の加速度である補正後指令加速度、すなわち補正後位置指令の１制御周期分の変化量が減少するように、補正前位置指令を補正するための位置指令補正値を算出して出力する。このとき、位置指令補正値演算部１３５は、補正後指令加速度を０にするように補正してもよいし、時定数を持って段階的に減少するように補正してもよい。いずれの場合も、前述のモデル位置偏差は拡大せず減少するように作用する。制御飽和信号がＯＮとなり、位置指令補正値演算部１３５の制御によってモデル位置偏差が減少して閾値以下となった場合、比較部１３４は、制御入力の飽和が解消されたと判定し制御飽和信号をＯＦＦとして出力する。この場合、位置指令補正値演算部１３５は、制御飽和信号がＯＦＦとなると、制御飽和信号がＯＮの場合と比較して、補正後指令加速度を上昇させるような位置指令補正値を算出して出力する。

[0035] 一例として、位置指令補正値演算部１３５が、制御飽和信号がＯＮの場合は補正後指令加速度が０となるように位置指令補正値を制御し、制御飽和信号がＯＦＦの場合は補正後指令加速度が補正前の加速度である補正前指令加速度相当で加速するように位置指令補正値を制御する場合について説明する。図７は、実施の形態１に係るコントローラ１０の加速度補正演算部１３が加速度を補正した場合の移動量の差異の例を示す図である。図７において、横軸は時間を示し、縦軸は移動量を示す。また横軸では、制御飽和信号のＯＮ／ＯＦＦのタイミングを示している。

[0036] 加速度補正演算部１３では、モータ３１が出力最大トルクＴｍａｘを超える加速度となる補正前位置指令が入力されると、求められるトルク、すなわち加速度に対して、モータトルクＴｍが過少となるため制御入力の飽和が発生する。このとき、制御入力の飽和時には出力最大トルクＴｍａｘが出力されることとなる。加速度補正演算部１３は、制御入力が飽和するとモデル位置偏差が拡大するので制御飽和信号をＯＮにする。加速度補正演算部１３は、補正後の加速度である補正後指令加速度が０となるように位置指令補正値を補正する。そのため、次第に制御入力の飽和が解消されてモデル位置偏差が減少する。加速度補正演算部１３は、モデル位置偏差が閾値以下になると制御飽和信号をＯＦＦとし、再び元の加速度相当になるように位置指令補正値を制御する。このような制御下では、加速度補正演算部１３において、加減速中はモデル位置偏差が閾値前後に制御されながら制御飽和信号がＯＮ／ＯＦＦを繰り返す動きとなる。そのため、コントローラ１０は、過剰な制御飽和によるワインドアップ現象によるオーバーシュートなどの制御性能の劣化を抑制しつつ、出力最大トルクＴｍａｘでの加減速が可能となる。

[0037] このように、加速度補正演算部１３は、補正前位置指令に基づいてモータ制御装置２０がモータ３１を制御した場合のモデル位置を生成し、モデル位置と検出されたモータ３１のモータ位置との偏差であるモデル位置偏差が規定された閾値以上の場合、制御入力が飽和したと判定して制御飽和信号をＯＮにして出力する。加速度補正演算部１３は、モデル位置偏差が閾値未満の

場合、制御入力が飽和していないと判定して制御飽和信号をＯＦＦにして出力する。

[0038] 加速度補正演算部１３は、制御飽和信号をＯＮにして出力する場合は補正後指令加速度が減少するように補正前位置指令を補正する位置指令補正値を出力する。その後、加速度補正演算部１３は、制御飽和信号をＯＦＦにして出力する場合は制御飽和信号をＯＮにして出力したときの補正後指令加速度から増加するように位置指令補正値を変更する。

[0039] 位置指令演算部１４は、補正前位置指令演算部１２から取得した補正前位置指令と、加速度補正演算部１３から取得した位置指令補正値とを用いて、モータ制御装置２０に対する位置指令として補正後位置指令を演算し、モータ制御装置２０に出力する。位置指令演算部１４は、位置指令補正値を用いて補正前位置指令を補正することで、補正後位置指令を演算する。

[0040] 以上のように、コントローラ１０は、モータ制御装置２０に特別な処理を追加することなく、モータ３１の駆動対象の経路を維持したまま、制御入力の飽和による制御性能の劣化を抑制することができる。

[0041] ここまでの動作を、フローチャートを用いて説明する。図８は、実施の形態１に係るコントローラ１０における制御入力の飽和による制御性能の劣化を抑制する動作を示すフローチャートである。コントローラ１０において、プログラム解析部１１は、動作プログラムを解析し（ステップＳ１）、解析データを出力する。補正前位置指令演算部１２の補間データ生成部１２１は、解析データから補間データを生成する（ステップＳ２）。補正前位置指令演算部１２の加減速処理部１２２は、補間データと状態量とを入力とし、機械モデル１２３を用いて加減速処理を行い、補正前位置指令を演算する（ステップＳ３）。加速度補正演算部１３の比較部１３４は、モデル位置偏差演算部１３３で演算されたモデル位置偏差と規定された閾値とを比較し、制御入力が飽和したか否かを判定する（ステップＳ４）。比較部１３４は、判定結果に応じて制御飽和信号をＯＮまたはＯＦＦにして出力する（ステップＳ５）。加速度補正演算部１３の位置指令補正値演算部１３５は、制御飽和信

号、モータ位置、および補正前位置指令に基づいて、位置指令補正値を演算する（ステップＳ６）。位置指令演算部１４は、補正前位置指令と位置指令補正値とを用いて補正後位置指令を演算する（ステップＳ７）。位置指令演算部１４は、補正後位置指令をモータ制御装置２０への位置指令として出力する。

[0042] 次に、機械モデル１２３を飽和状況に基づいて更新する、すなわち制御入力の飽和結果に基づいて機械モデル１２３を更新することについて説明する。

[0043] まず、機械モデル１２３の入力である状態量は、モータ位置、機械端位置、モータ速度、機械端速度、モータ加速度、機械端加速度、モータ電流Ｉ、トルク情報、モデル位置、負荷イナーシャ推定値、供給電圧のうち少なくとも１つを含んでいる。モータ位置および機械端位置をまとめて位置情報と称し、モータ速度および機械端速度をまとめて速度情報と称し、モータ加速度および機械端加速度をまとめて加速度情報と称することがある。機械端とは、モータ制御装置２０の駆動対象である機械系３０において、モータ３１が回転することによって負荷３２の全部または一部が動く場合の規定された部位である。負荷イナーシャ推定値の推定方法は、動作プログラムの実行中に推定されるものであれば任意の手法が採用可能である。例えば、加減速中のトルクと加速度との比から算出する手法、逐次最小２乗法を使う手法などが採用可能である。これらの状態量は、モータ制御装置２０または加速度補正演算部１３によって演算されたデータでもよいし、モータ制御装置２０が備える図示しない外部センサなどによって計測されて取得されたデータでもよい。

[0044] 加減速処理部１２２は、加速度補正演算部１３から取得した制御飽和信号と、モータ制御装置２０および加速度補正演算部１３のうち少なくとも一方から取得した状態量とに応じて、モータ特性モデル１２４および負荷モデル１２５で構成された機械モデル１２３を更新する。加減速処理部１２２は前述の方法で補正前位置指令を演算していることから、制御飽和信号がＯＮの

場合には、機械モデル１２３が持つ情報と実際の機械系３０の状態との間に差異があることになる。同様に、制御入力に飽和が発生する条件であるため、モータ３１は出力最大トルクＴｍａｘを出力していることになる。モータ３１が出力するトルクは、状態量であるモータ電流Ｉ、およびモータ３１に応じて予め設定されたトルク定数から、式（４）のように算出できる。

[0045] Ｔｍ＝Ｋｔ×Ｉ …（４）

[0046] 式（４）において、Ｔｍはモータトルク［Ｎｍ］であり、Ｉはモータ電流［Ａ］であり、Ｋｔはトルク定数［Ｎｍ／Ａ］である。図９は、実施の形態１に係るコントローラ１０の補正前位置指令演算部１２が備える加減速処理部１２２において制御飽和信号がＯＮのときの状態量から算出したモータトルクＴｍをモータ特性としてプロットしたイメージを示す図である。制御入力の飽和は、主にトルク飽和または電圧飽和であると説明したが、状態量からそれぞれ下記のとおり判定が可能である。判定においては、閾値として、式（４）から出力最大トルクＴｍａｘに相当するモータ最大電流Ｉｍａｘに対してバラつきを考慮して僅かに小さいモータ電流閾値Ｉｔｈを用いる。加減速処理部１２２は、制御飽和信号がＯＮのときにモータ電流Ｉ≧モータ電流閾値Ｉｔｈの場合はトルク飽和と判定し、制御飽和信号がＯＮのときにモータ電流Ｉ＜モータ電流閾値Ｉｔｈの場合は電圧飽和と判定することができる。トルク飽和は、指令によるモータトルクＴｍ≧最大トルクＴｍａｘ０と考えることができる。一方、電圧飽和は、制御入力が飽和している条件においては指令によるモータトルクＴｍ＜最大トルクＴｍａｘ０の場合となる。

[0047] したがって、加減速処理部１２２がトルク飽和と判定した場合、前述の式（１）～式（３）から負荷イナーシャＪ、または摩擦トルクＴ１、または偏荷重トルクＴ２に差異が発生していると考えられる。そのため、加減速処理部１２２は、状態量に基づいて負荷モデル１２５の負荷イナーシャＪ、または摩擦トルクＴ１、または偏荷重トルクＴ２を更新することができる。ここで、加減速処理部１２２は、更新する負荷モデル１２５の情報について、ワーク情報に応じて決定してもよい。また、加減速処理部１２２は、状態量と

しての負荷イナーシャ推定値を元に更新してもよい。一方、加減速処理部１２２が電圧飽和と判定した場合、低減トルクＴｒに差異が発生していると考えられる。低減トルクＴｒは、モータ３１に印加可能な電圧、すなわち供給電圧により変化するため、加減速処理部１２２は、状態量のモータ速度および供給電圧に紐づいたデータとし、モータ特性モデル１２４における低減トルクＴｒを更新することができる。

[0048] このように、補正前位置指令演算部１２は、取得した制御飽和信号がＯＮの場合、制御飽和信号がＯＮのときのコントローラ１０およびモータ制御装置２０およびモータ３１のうち少なくとも１つの動作状態を示す状態量に基づいて、機械モデル１２３を更新する。また、補正前位置指令演算部１２は、機械モデル１２３としてモータ特性モデル１２４および負荷モデル１２５を有する。補正前位置指令演算部１２は、取得した制御飽和信号がＯＮのときにモータ電流Ｉが規定された値であるモータ電流閾値Ｉｔｈ以上の場合、制御飽和信号がＯＮのときの状態量に基づいて負荷モデル１２５を更新する。補正前位置指令演算部１２は、取得した制御飽和信号がＯＮのときにモータ電流Ｉが規定された値であるモータ電流閾値Ｉｔｈ未満の場合、制御飽和信号がＯＮのときの状態量に基づいてモータ特性モデル１２４を更新する。つまり、位置指令生成部１５は、モータ３１が出力可能な加速度を算出する機械モデル１２３を有し、解析データおよび機械モデル１２３に基づいて位置指令を生成し、モータ３１に対する制御入力が予め設定された制御入力制限を超えて飽和した場合は機械モデル１２３を更新するように動作する。また、位置指令生成部１５は、モータ３１に対する制御入力が飽和したか否かを判定し（ステップＳ４）、制御入力が飽和したと判定した場合は、飽和したときのコントローラ１０およびモータ制御装置２０およびモータ３１のうち少なくとも１つの動作状態を示す状態量に基づいて、機械モデル１２３を更新するように動作する。

[0049] なお、加減速処理部１２２は、制御飽和信号がＯＦＦの場合にも機械モデル１２３を更新してもよい。例えば、加減速処理部１２２は、機械モデル１

２３から算出された移動指令と紐づいたモデルとしてのモータトルクＴｍと、モータ電流Ｉから算出されたモータトルクＴｍとを比較したトルク偏差が規定された値以上ある場合、負荷モデル１２５に誤差があると判定できる。この場合、トルク飽和の場合と同様、負荷イナーシャＪ、または摩擦トルクＴ１、または偏荷重トルクＴ２に差異が発生していると考えられる。そのため、加減速処理部１２２は、状態量に基づいて負荷モデル１２５の負荷イナーシャＪ、または摩擦トルクＴ１、または偏荷重トルクＴ２を更新することができる。ここで、加減速処理部１２２は、更新する負荷モデル１２５の情報について、ワーク情報に応じて決定してもよい。また、加減速処理部１２２は、状態量としての負荷イナーシャ推定値を元に更新してもよい。このように、補正前位置指令演算部１２は、取得した制御飽和信号がＯＦＦであり、かつ機械モデル１２３から算出されたモータトルクＴｍとモータ電流Ｉから算出されたモータトルクＴｍとの偏差であるトルク偏差が規定された値以上の場合、状態量に基づいて、機械モデル１２３を更新する。具体的には、補正前位置指令演算部１２は、機械モデル１２３としてモータ特性モデル１２４および負荷モデル１２５を有し、機械モデル１２３として負荷モデル１２５を更新する。

[0050] 以上のように、コントローラ１０は、制御入力の飽和時の状態量に基づいて機械モデル１２３を更新することで、常に機械モデル１２３を実際の機械系３０の状態に則した最適なものとすることができる。ここで、コントローラ１０は、更新した機械モデル１２３について、位置指令の生成に限定するものではなく、プログラムに基づいた動作時間予測、経路予測、加工予測など機械モデル１２３を使用した別のアプリケーションに用いてもよい。

[0051] ここまでの動作を、フローチャートを用いて説明する。図１０は、実施の形態１に係るコントローラ１０における機械モデル１２３を飽和状況に基づいて更新する動作を示すフローチャートである。コントローラ１０において、補正前位置指令演算部１２の加減速処理部１２２は、制御飽和信号および状態量を取得する（ステップＳ１１）。加減速処理部１２２は、制御飽和信

号がＯＮか否かを判定する（ステップＳ１２）。制御飽和信号がＯＮの場合（ステップＳ１２：Ｙｅｓ）、加減速処理部１２２は、機械モデル１２３を更新する（ステップＳ１３）。制御飽和信号がＯＦＦの場合（ステップＳ１２：Ｎｏ）、加減速処理部１２２は、トルク偏差が規定された値以上か否かを判定する（ステップＳ１４）。トルク偏差が規定された値以上の場合（ステップＳ１４：Ｙｅｓ）、加減速処理部１２２は、機械モデル１２３を更新する（ステップＳ１３）。トルク偏差が規定された値未満の場合（ステップＳ１４：Ｎｏ）、加減速処理部１２２は、動作を終了する。

[0052] 次に、実施の形態１のコントローラ１０を実現するハードウェア構成について説明する。図１１は、実施の形態１に係るコントローラ１０を実現するハードウェアの構成例を示す図である。図１１には、コントローラ１０のプログラム解析部１１、補正前位置指令演算部１２、加速度補正演算部１３、および位置指令演算部１４を、プロセッサ６３とメモリ６４とを有する処理回路６１によって実現する場合の構成例を示す。

[0053] プロセッサ６３は、ＣＰＵ（Central Processing Unit）である。プロセッサ６３は、演算装置、マイクロプロセッサ、マイクロコンピュータ、またはＤＳＰ（Digital Signal Processor）でもよい。メモリ６４は、例えば、ＲＡＭ（Random Access Memory）、ＲＯＭ（Read Only Memory）、フラッシュメモリ、ＥＰＲＯＭ（Erasable Programmable Read Only Memory）、ＥＥＰＲＯＭ（登録商標）（Electrically Erasable Programmable Read Only Memory）といった、揮発性あるいは不揮発性の半導体メモリである。

[0054] メモリ６４には、プログラム解析部１１、補正前位置指令演算部１２、加速度補正演算部１３、および位置指令演算部１４として動作するためのプログラムが格納される。このプログラムをプロセッサ６３が読み出して実行することにより、プログラム解析部１１、補正前位置指令演算部１２、加速度補正演算部１３、および位置指令演算部１４を実現することが可能である。なお、メモリ６４に格納される、プログラム解析部１１、補正前位置指令演

算部１２、加速度補正演算部１３、および位置指令演算部１４として動作するためのプログラムは、例えば、ＣＤ（Compact Disc）－ＲＯＭ、ＤＶＤ（Digital Versatile Disc）－ＲＯＭなどの記憶媒体に書き込まれた状態でユーザ等に提供される形態であってもよいし、ネットワークを介して提供される形態であってもよい。また、プロセッサ６３は、演算結果などのデータをメモリ６４の揮発性メモリに出力する。または、プロセッサ６３は、演算結果などのデータを、メモリ６４の揮発性メモリを介して補助記憶装置に出力することによってデータを保存する。

[0055] 入力部６２は、コントローラ１０に対する入力信号を外部から受信する回路である。入力部６２は、例えば、動作プログラム、モータ位置、状態量などを受信する。出力部６５は、コントローラ１０で生成した信号を外部へ出力する回路である。出力部６５は、例えば、補正後位置指令を出力する。

[0056] 図１１は、汎用のプロセッサ６３およびメモリ６４によりプログラム解析部１１、補正前位置指令演算部１２、加速度補正演算部１３、および位置指令演算部１４を実現する場合のハードウェアの例であるが、プロセッサ６３およびメモリ６４の代わりに専用の処理回路でプログラム解析部１１、補正前位置指令演算部１２、加速度補正演算部１３、および位置指令演算部１４を実現してもよい。すなわち、専用の処理回路でプログラム解析部１１、補正前位置指令演算部１２、加速度補正演算部１３、および位置指令演算部１４を実現してもよい。ここで、専用の処理回路は、単一回路、複合回路、ＡＳＩＣ（Application Specific Integrated Circuit）、ＦＰＧＡ（Field Programmable Gate Array）、またはこれらを組み合わせた回路である。なお、プログラム解析部１１、補正前位置指令演算部１２、加速度補正演算部１３、および位置指令演算部１４の一部をプロセッサ６３およびメモリ６４で実現し、残りを専用の処理回路で実現してもよい。

[0057] 以上説明したように、本実施の形態によれば、コントローラ１０は、モータ３１の駆動対象の経路を維持したまま、制御性能の劣化を抑制するとともに、実際の機械系３０の状態に則した最適な機械モデル１２３に更新するこ

とができる。また、コントローラ１０は、機械モデル１２３に基づいて位置指令を決定することで、最適な加速度または時定数でモータ３１を動作させることができ、余分なトルクマージンを持つことなく常にモータ３１が出力可能な最大トルクで加減速動作が可能であるため、サイクルタイムの短縮を実現できる。また、コントローラ１０は、動作プログラムに基づいて予め動作予測をする場合も、更新された機械モデル１２３を用いることで、誤差の少ない良好な結果を得ることが可能となる。

[0058] 実施の形態２.

実施の形態１では、コントローラ１０に接続されるモータ制御装置２０が１つの場合について説明した。ここで、上位制御装置であるコントローラには、複数のモータを同時に制御できるものがある。ただし、コントローラが複数のモータを同時に補間制御する場合、個別に補正を実施するとモータ同士の補間を取ることができなくなってしまう。実施の形態２では、コントローラに接続されるモータ制御装置が複数あり、コントローラが複数のモータを同時に制御する場合について説明する。

[0059] 図１２は、実施の形態２に係る制御システム４０ａの構成例を示す図である。制御システム４０ａは、コントローラ１０ａと、モータ制御装置２０ａ，２０ｂと、を備える。コントローラ１０ａは、モータ制御装置２０ａ，２０ｂに接続されている上位制御装置である。モータ制御装置２０ａには機械系３０ａが接続され、モータ制御装置２０ｂには機械系３０ｂが接続されている。図１２に示すように、モータ制御装置２０ａは、位置偏差演算部２１ａと、位置制御部２２ａと、速度演算部２３ａと、速度偏差演算部２４ａと、速度制御部２５ａと、電流制限部２６ａと、電流制御部２７ａと、を備える。また、モータ制御装置２０ｂは、位置偏差演算部２１ｂと、位置制御部２２ｂと、速度演算部２３ｂと、速度偏差演算部２４ｂと、速度制御部２５ｂと、電流制限部２６ｂと、電流制御部２７ｂと、を備える。機械系３０ａには、モータ３１ａ、負荷３２ａ、およびエンコーダ３３ａが含まれる。また、機械系３０ｂには、モータ３１ｂ、負荷３２ｂ、およびエンコーダ３３

ｂが含まれる。モータ制御装置２０ａ，２０ｂは、実施の形態１のモータ制御装置２０と同様の構成のため、詳細な説明は省略する。機械系３０ａ，３０ｂは、実施の形態１の機械系３０と同様の構成のため、詳細な説明は省略する。

[0060] コントローラ１０ａの構成および動作について詳細に説明する。図１２に示すように、コントローラ１０ａは、プログラム解析部１１と、補正前位置指令演算部１２ａと、加速度補正演算部１３ａと、位置指令演算部１４ａ，１４ｂと、を備える。なお、補正前位置指令演算部１２ａ、加速度補正演算部１３ａ、および位置指令演算部１４ａ，１４ｂによって位置指令生成部１５ａを構成している。

[0061] プログラム解析部１１は、図１に示す実施の形態１のプログラム解析部１１と同様の動作を行う。

[0062] 補正前位置指令演算部１２ａは、プログラム解析部１１から取得した解析データに基づいて補間データを生成し、補間データに基づいてモータ３１ａ，３１ｂを加減速駆動させるための補正前位置指令ａ，ｂを演算する。補正前位置指令演算部１２ａは、２つのモータ３１ａ，３１ｂに対する補正前位置指令ａ，ｂを演算することになるが、補正前位置指令ａおよび補正前位置指令ｂを演算する個々の動作は、図１および図２に示す実施の形態１の補正前位置指令演算部１２の動作と同様である。そのため、補正前位置指令演算部１２ａの詳細な動作の説明については省略する。

[0063] 加速度補正演算部１３ａは、補正前位置指令演算部１２ａから取得した補正前位置指令ａ，ｂ、エンコーダ３３ａから取得したモータ位置ａ、およびエンコーダ３３ｂから取得したモータ位置ｂを用いて、補正前位置指令ａを補正するための位置指令補正値ａを演算し、補正前位置指令ｂを補正するための位置指令補正値ｂを演算する。図１３は、実施の形態２に係るコントローラ１０ａが備える加速度補正演算部１３ａの構成例を示す図である。加速度補正演算部１３ａは、モデル出力部１３１ａ，１３１ｂと、モデル位置偏差演算部１３３ａ，１３３ｂと、比較部１３４ａ，１３４ｂと、位置指令補

正値演算部１３５ａと、を備える。モデル出力部１３１ａは、モータ制御モデル１３２ａを保持する。モデル出力部１３１ｂは、モータ制御モデル１３２ｂを保持する。モデル出力部１３１ａ，１３１ｂ、モデル位置偏差演算部１３３ａ，１３３ｂ、および比較部１３４ａ，１３４ｂの動作は、図６に示す実施の形態１のモデル出力部１３１、モデル位置偏差演算部１３３、および比較部１３４の動作と同様のため、詳細な説明については省略する。

[0064] 位置指令補正値演算部１３５ａは、補正前位置指令ａ，ｂに対する位置指令補正値ａ，ｂを演算する。このとき、位置指令補正値演算部１３５ａは、比較部１３４ａ，１３４ｂから出力される制御飽和信号ａ，ｂのＯＲ、すなわち論理和をとって位置指令補正値ａ，ｂを演算する。位置指令補正値演算部１３５ａは、複数のモータ３１ａ，３１ｂのうち少なくとも１つにおいて制御入力の飽和があった場合、全てのモータ３１ａ，３１ｂを対象にして、補正後位置指令ａ，ｂの１制御周期分の変化量が減少するように、補正前位置指令ａ，ｂを補正するための位置指令補正値ａ，ｂを算出して出力する。

[0065] なお、本実施の形態では、コントローラに接続されるモータ制御装置が２つの場合について説明したが、コントローラに接続されるモータ制御装置が３つ以上になっても同様の制御が可能である。具体的には、位置指令補正値演算部１３５ａに相当する構成が、３つ以上の制御飽和信号の論理和をとることで、本実施の形態と同様の制御を実現できる。

[0066] このように、制御システム４０ａでは、コントローラ１０ａは各々が異なるモータ３１ａ，３１ｂに電流を供給して動作を制御する複数のモータ制御装置２０ａ，２０ｂに接続され、複数のモータ３１ａ，３１ｂが補間されて制御されている。加速度補正演算部１３ａは、何れかのモータ３１ａ，３１ｂについての制御飽和信号をＯＮにして出力する場合、モータ３１ａ，３１ｂ同士の補間動作を維持しつつ補正後の加速度である補正後指令加速度が減少するように、補間動作する複数のモータ３１ａ，３１ｂに対する位置指令補正値を出力する。その後、加速度補正演算部１３ａは、補間動作する複数のモータ３１ａ，３１ｂについての制御飽和信号をＯＦＦにして出力する場

合、モータ３１ａ，３１ｂ同士の補間動作を維持しつつ制御飽和信号をＯＮにして出力したときの補正後指令加速度から増加するように、補間動作する複数のモータ３１ａ，３１ｂに対する位置指令補正値を変更する。

[0067] 実施の形態２のコントローラ１０ａのハードウェア構成は、図１１に示す実施の形態１のコントローラ１０のハードウェア構成と同様である。

[0068] 以上説明したように、本実施の形態によれば、コントローラ１０ａは、複数のモータ制御装置２０ａ，２０ｂに接続され、複数のモータ３１ａ，３１ｂを対象にして補間動作する場合でも、モータ３１ａ，３１ｂの駆動対象の経路を維持したまま、制御入力の飽和による制御性能の劣化を抑制することができ、実施の形態１のときと同様の効果を得ることができる。

[0069] 実施の形態３．

実施の形態３では、モータ制御装置が、電流指令に対して電流制限中の場合に電流制限中であることを示す電流制限信号を出力する場合について説明する。

[0070] 図１４は、実施の形態３に係る制御システム４０ｃの構成例を示す図である。制御システム４０ｃは、コントローラ１０ｃと、モータ制御装置２０ｃと、を備える。コントローラ１０ｃは、モータ制御装置２０ｃに接続されている上位制御装置である。モータ制御装置２０ｃには機械系３０が接続されている。図１４に示すように、モータ制御装置２０ｃは、位置偏差演算部２１と、位置制御部２２と、速度演算部２３と、速度偏差演算部２４と、速度制御部２５と、電流制限部２６ｃと、電流制御部２７と、を備える。

[0071] 電流制限部２６ｃは、図１に示す実施の形態１の電流制限部２６と同様の機能を有するとともに、電流制限を行った場合に電流制限を行ったことを示す電流制限信号をコントローラ１０ｃに出力する機能を有する。電流制限中は制御飽和と見なすことができる。例えば、電流制限部２６ｃは、電流制限を行った場合に電流制限信号をＯＮにして出力し、電流制限を行わなかった場合に電流制限信号をＯＦＦにして出力する。

[0072] 図１４に示すように、コントローラ１０ｃは、プログラム解析部１１と、

補正前位置指令演算部１２ｃと、加速度補正演算部１３ｃと、位置指令演算部１４と、を備える。なお、補正前位置指令演算部１２ｃ、加速度補正演算部１３ｃ、および位置指令演算部１４によって位置指令生成部１５ｃを構成している。図１５は、実施の形態３に係るコントローラ１０ｃが備える加速度補正演算部１３ｃの構成例を示す図である。加速度補正演算部１３ｃは、モデル出力部１３１と、モデル位置偏差演算部１３３と、比較部１３４と、位置指令補正値演算部１３５ｃと、論理和演算部１３６と、を備える。

[0073] 論理和演算部１３６は、比較部１３４から取得した制御飽和信号とモータ制御装置２０ｃの電流制限部２６ｃから取得した電流制限信号との論理和を演算する。論理和演算部１３６は、制御飽和信号および電流制限信号の少なくとも１つがＯＮの場合は制御飽和信号ｃをＯＮにして出力し、制御飽和信号および電流制限信号がともにＯＦＦの場合は制御飽和信号ｃをＯＦＦにして出力する。

[0074] 位置指令補正値演算部１３５ｃは、実施の形態１の位置指令補正値演算部１３５と取得する信号が異なるが、制御飽和信号ｃがＯＮまたはＯＦＦの場合の動作は、実施の形態１の位置指令補正値演算部１３５の動作と同様である。

[0075] このように、加速度補正演算部１３ｃは、モータ制御装置２０ｃからモータ３１への制御入力である電流指令が規定された値以上か否かを示す電流制限信号を取得し、電流指令が規定された値以上であることを示す電流制限信号を取得した場合は制御飽和信号ｃをＯＮにして出力する。加速度補正演算部１３ｃは、電流指令が規定された値未満であることを示す電流制限信号を取得した場合かつモデル位置偏差が規定された閾値未満の場合は制御飽和信号ｃをＯＦＦにして出力する。

[0076] 補正前位置指令演算部１２ｃは、実施の形態１の補正前位置指令演算部１２と取得する信号が異なるが、制御飽和信号ｃがＯＮまたはＯＦＦの場合の動作は、実施の形態１の補正前位置指令演算部１２の動作と同様である。

[0077] 実施の形態３のコントローラ１０ｃのハードウェア構成は、図１１に示す

実施の形態１のコントローラ１０のハードウェア構成と同様である。

[0078] 以上説明したように、本実施の形態によれば、コントローラ１０ｃは、制御飽和の判定に電流制限信号を用いることとした。コントローラ１０ｃは、トルク飽和条件において、モデル位置偏差の拡大によって制御飽和信号がＯＮとなるより早期に制御入力の飽和を検出することができる。

[0079] 実施の形態４．

実施の形態４では、機械モデル１２３を機械学習する学習装置および推論装置について説明する。ここでの機械モデル１２３は、モータ特性モデル１２４および負荷モデル１２５で構成されており、主に図２に示す加減速処理部１２２で、補間データに基づいてモータ３１が出力可能なトルクの範囲で加減速駆動させるための補正前位置指令の演算に用いられる。モータ特性モデル１２４は、主にトルク－速度特性であり、供給電圧、動作速度などに応じて出力可能なトルクの算出に用いられる。負荷モデル１２５は、主にワーク情報、摩擦トルクＴ１、偏荷重トルクＴ２などの情報から、モータ３１に対する負荷イナーシャＪの算出に用いられる。

[0080] ＜学習フェーズ＞

図１６は、実施の形態４に係るコントローラ１０に適用される学習装置７０の構成例を示す図である。学習装置７０は、データ取得部７１と、モデル生成部７２と、学習済モデル記憶部７３と、を備える。ここでのモデルとは、主に図２に示す加減速処理部１２２にある、モータ３１が出力可能なトルクの範囲で加減速駆動させるための補正前位置指令の演算に用いられる機械モデル１２３である。なお、図１６では、学習済モデル記憶部７３が学習装置７０の外部にあるが、学習済モデル記憶部７３を学習装置７０の内部に含めてもよい。

[0081] データ取得部７１は、コントローラ１０から、学習用データとして取得情報および機械状態を取得する。取得情報には、制御入力の制御飽和信号、コントローラ１０およびモータ制御装置２０およびモータ３１のうち少なくとも１つの動作状態を示す状態量、プログラム情報、およびワーク情報が含ま

れる。機械状態には、モータ特性、負荷イナーシャＪ、摩擦トルクＴ１、および偏荷重トルクＴ２が含まれる。

[0082] モデル生成部７２は、データ取得部７１から出力される取得情報、および教師データである機械状態の組み合わせに基づいて作成される学習用データを用いて、取得情報を学習する。すなわち、モデル生成部７２は、コントローラ１０の取得情報、および機械状態から、機械モデル１２３に含まれる最適な負荷モデル１２５を推論するための学習済モデルを生成する。ここで、学習用データは、取得情報、および機械状態を互いに関連付けたデータである。

[0083] モデル生成部７２が用いる学習アルゴリズムは教師あり学習、教師なし学習、強化学習などの公知のアルゴリズムを用いることができる。一例として、ニューラルネットワークを適用した場合について説明する。モデル生成部７２は、例えば、ニューラルネットワークモデルに従って、いわゆる教師あり学習によって機械モデル１２３を学習する。ここで、教師あり学習とは、入力と結果（ラベル）のデータの組を学習装置７０に与えることで、それらの学習用データにある特徴を学習し、入力から結果を推論する手法をいう。

[0084] ニューラルネットワークは、複数のニューロンからなる入力層、複数のニューロンからなる中間層（隠れ層）、および複数のニューロンからなる出力層で構成される。中間層は、１層、又は２層以上でもよい。

[0085] 例えば、図１７に示すような３層のニューラルネットワークを想定する。図１７は、実施の形態４に係る学習装置７０のモデル生成部７２で用いられるニューラルネットワークの例を模式的に示す図である。

[0086] 図１７に示すような３層のニューラルネットワークであれば、複数の入力が入力層（Ｘ１－Ｘ３）に入力されると、その値に重みＷ１（ｗ１１－ｗ１６）を掛けて中間層（Ｙ１－Ｙ２）に入力され、その結果にさらに重みＷ２（ｗ２１－ｗ２６）を掛けて出力層（Ｚ１－Ｚ３）から出力される。この出力結果は、重みＷ１およびＷ２の値によって変わる。

[0087] 本実施の形態において、ニューラルネットワークは、データ取得部７１に

よって取得される取得情報、教師データの組み合わせに基づいて作成される学習用データに従って、いわゆる教師あり学習により、機械モデル１２３を学習する。

[0088] すなわち、ニューラルネットワークは、入力層に取得情報を入力して出力層から出力された結果が、教師データに近づくように重みＷ１およびＷ２を調整することで学習する。

[0089] モデル生成部７２は、以上のような学習を実行することで学習済モデルを生成し、出力する。

[0090] 学習済モデル記憶部７３は、モデル生成部７２から出力された学習済モデルを記憶する。

[0091] 次に、図１８を用いて、学習装置７０が学習する処理について説明する。図１８は、実施の形態４に係る学習装置７０の学習処理を示すフローチャートである。

[0092] データ取得部７１は、データとして、取得情報および機械状態を取得する（ステップＳ１０１）。なお、データ取得部７１が取得情報および機械状態を同時に取得するものとしたが、これに限定されない。データ取得部７１は、取得情報および機械状態を関連付けて入力できればよいので、取得情報および機械状態をそれぞれ別のタイミングで取得してもよい。

[0093] モデル生成部７２は、学習処理を行う（ステップＳ１０２）。具体的には、モデル生成部７２は、データ取得部７１で取得される取得情報および機械状態の組み合わせに基づいて作成される学習用データに従って、いわゆる教師あり学習によって機械モデル１２３を学習し、学習済モデルを生成する。

[0094] 学習済モデル記憶部７３は、モデル生成部７２で生成された学習済モデルを記憶する（ステップＳ１０３）。

[0095] ＜活用フェーズ＞

図１９は、実施の形態４に係るコントローラ１０に適用される推論装置８０の構成例を示す図である。推論装置８０は、データ取得部８１と、推論部８２と、を備える。ここでの推論部８２は、図２に示す加減速処理部１２２

に相当し、学習した機械モデル１２３に基づいて、補正前位置指令を出力する。

[0096] データ取得部８１は、取得情報を取得する。取得情報には、制御入力の制御飽和信号、コントローラ１０およびモータ制御装置２０およびモータ３１のうち少なくとも１つの動作状態を示す状態量、プログラム情報、およびワーク情報が含まれる。

[0097] 推論部８２は、学習済モデル記憶部７３に記憶されている学習済モデルを用いて、データ取得部８１で取得された取得情報から、機械モデル１２３に含まれる負荷モデル１２５を推論する。すなわち、推論部８２は、学習済モデルにデータ取得部８１で取得された取得情報を入力することで、取得情報から推論される機械モデル１２３に含まれる負荷モデル１２５を推論して出力することができる。

[0098] なお、本実施の形態では、コントローラ１０に適用される学習装置７０のモデル生成部７２で学習された学習済モデルを用いて機械モデル１２３を出力するものとして説明したが、別のコントローラ１０に適用される学習装置７０から学習済モデルを取得し、この学習済モデルに基づいて機械モデル１２３を出力するようにしてもよい。

[0099] 次に、図２０を用いて、推論装置８０が機械モデル１２３を推論する処理について説明する。図２０は、実施の形態４に係る推論装置８０の推論処理を示すフローチャートである。

[0100] データ取得部８１は、データとして、取得情報を取得する（ステップＳ１１１）。

[0101] 推論部８２は、学習済モデル記憶部７３に記憶されている学習済モデルに取得情報を入力する（ステップＳ１１２）。推論部８２は、学習済モデルに取得情報を入力することで機械モデル１２３を得る。

[0102] 推論部８２は、データとして、学習済モデルによって得られた機械モデル１２３をコントローラ１０に出力する（ステップＳ１１３）。

[0103] コントローラ１０は、取得した機械モデル１２３を元に補正前位置指令を

出力する（ステップＳ１１４）。

[0104] これにより、学習装置７０および推論装置８０は、制御システム４０から取得できる情報に基づいて、プログラム情報およびワーク状態において変化する要因を機械モデル１２３として出力することができ、容易な動作予測が可能となる。

[0105] なお、本実施の形態では、モデル生成部７２が用いる学習アルゴリズムに教師あり学習を適用した場合について説明したが、これに限られるものではない。学習アルゴリズムについては、教師あり学習以外にも、強化学習、教師なし学習、又は半教師あり学習等を適用することも可能である。

[0106] また、モデル生成部７２は、複数のコントローラ１０に対して作成される学習用データに従って、機械モデル１２３を学習するようにしてもよい。なお、モデル生成部７２は、同一のエリアで使用される複数のコントローラ１０から学習用データを取得してもよいし、異なるエリアで独立して動作する複数のコントローラ１０から収集される学習用データを利用して機械モデル１２３を学習してもよい。また、モデル生成部７２は、学習用データを収集する対象のコントローラ１０を途中で対象に追加してもよいし、途中で対象から除去することも可能である。さらに、あるコントローラ１０について機械モデル１２３を学習した学習装置７０を、これとは別のコントローラ１０に適用し、当該別のコントローラ１０について機械モデル１２３を再学習して更新するようにしてもよい。

[0107] また、モデル生成部７２に用いられる学習アルゴリズムとしては、特徴量そのものの抽出を学習する、深層学習（Deep Learning）を用いることもでき、他の公知の方法、例えば遺伝的プログラミング、機能論理プログラミング、サポートベクターマシンなどに従って機械学習を実行してもよい。

[0108] なお、学習装置７０および推論装置８０は、コントローラ１０の機械モデル１２３を学習するために使用されるが、例えば、ネットワークを介してコントローラ１０に接続され、コントローラ１０とは別個の装置であってもよい。また、学習装置７０および推論装置８０はコントローラ１０に内蔵され

ていてもよい。さらに、学習装置７０および推論装置８０は、クラウドサーバ上に存在していてもよい。図２１は、実施の形態４において学習装置７０および推論装置８０をコントローラ１０の外部に設置した場合の例を示す図である。図２２は、実施の形態４において学習装置７０および推論装置８０をコントローラ１０の内部に設置した場合の例を示す図である。図２１の例では、コントローラ１０と学習装置７０および推論装置８０との間にネットワークが存在していてもよい。また、図２１の例では、学習装置７０および推論装置８０はクラウドサーバ上に存在していてもよい。なお、図２１および図２２の例では、学習装置７０の中に学習済モデル記憶部７３が含まれているものとする。

[0109] このように、コントローラ１０は、実施の形態１の方法で機械モデル１２３を更新してもよいし、実施の形態４のように学習装置７０および推論装置８０を用いて機械モデル１２３を更新してもよい。なお、学習装置７０および推論装置８０をコントローラ１０に適用する場合について説明したが、これに限定されない。学習装置７０および推論装置８０をコントローラ１０ａ，１０ｃに適用することも可能である。

[0110] 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

[0111] １０，１０ａ，１０ｃ コントローラ、１１ プログラム解析部、１２，１２ａ，１２ｃ 補正前位置指令演算部、１３，１３ａ，１３ｃ 加速度補正演算部、１４，１４ａ，１４ｂ 位置指令演算部、１５，１５ａ，１５ｃ 位置指令生成部、２０，２０ａ，２０ｂ，２０ｃ モータ制御装置、２１，２１ａ，２１ｂ 位置偏差演算部、２２，２２ａ，２２ｂ 位置制御部、２３，２３ａ，２３ｂ 速度演算部、２４，２４ａ，２４ｂ 速度偏差演算部、２５，２５ａ，２５ｂ 速度制御部、２６，２６ａ，２６ｂ，２６ｃ

電流制限部、２７，２７ａ，２７ｂ　電流制御部、３０，３０ａ，３０ｂ　機械系、３１，３１ａ，３１ｂ　モータ、３２，３２ａ，３２ｂ　負荷、３３，３３ａ，３３ｂ　エンコーダ、４０，４０ａ，４０ｃ　制御システム、７０　学習装置、７１，８１　データ取得部、７２　モデル生成部、７３　学習済モデル記憶部、８０　推論装置、８２　推論部、１２１　補間データ生成部、１２２　加減速処理部、１２３　機械モデル、１２４　モータ特性モデル、１２５　負荷モデル、１３１，１３１ａ，１３１ｂ　モデル出力部、１３２，１３２ａ，１３２ｂ　モータ制御モデル、１３３，１３３ａ，１３３ｂ　モデル位置偏差演算部、１３４，１３４ａ，１３４ｂ　比較部、１３５，１３５ａ，１３５ｃ　位置指令補正値演算部、１３６　論理和演算部。

請求の範囲

[請求項1] モータに電流を供給して動作を制御するモータ制御装置に対して位置指令を出力するコントローラであって、

前記モータの動作によって駆動する駆動対象の経路を規定する動作プログラムを解析し、解析データを出力するプログラム解析部と、

前記モータが出力可能な加速度を算出する機械モデルを有し、前記解析データおよび前記機械モデルに基づいて前記位置指令を生成し、前記モータに対する制御入力が予め設定された制御入力制限を超えて飽和した場合は前記機械モデルを更新する位置指令生成部と、

を備えることを特徴とするコントローラ。

[請求項2] 前記位置指令生成部は、前記モータに対する制御入力が前記飽和したか否かを判定し、前記制御入力が前記飽和したと判定した場合は、前記飽和したときの前記コントローラおよび前記モータ制御装置および前記モータのうち少なくとも１つの動作状態を示す状態量に基づいて、前記機械モデルを更新する、

ことを特徴とする請求項１に記載のコントローラ。

[請求項3] 前記位置指令生成部は、

前記モータが出力可能な加速度を算出する機械モデルを有し、前記解析データおよび前記機械モデルに基づいて、補正前位置指令を演算する補正前位置指令演算部と、

前記モータに対する制御入力が前記飽和したか否かを判定し、前記制御入力が前記飽和したと判定した場合は制御飽和信号をＯＮにして出力し、前記制御入力が前記飽和していないと判定した場合は前記制御飽和信号をＯＦＦにして出力し、さらに前記制御飽和信号に基づいて、前記補正前位置指令を補正するための位置指令補正値を演算する加速度補正演算部と、

前記補正前位置指令と前記位置指令補正値とを用いて前記位置指令を演算する位置指令演算部と、

を備え、

前記補正前位置指令演算部は、取得した前記制御飽和信号がＯＮの場合、前記制御飽和信号がＯＮのときの前記コントローラおよび前記モータ制御装置および前記モータのうち少なくとも１つの動作状態を示す状態量に基づいて、前記機械モデルを更新する、

ことを特徴とする請求項１または２に記載のコントローラ。

[請求項4] 前記加速度補正演算部は、前記補正前位置指令に基づいて前記モータ制御装置が前記モータを制御した場合のモデル位置を生成し、前記モデル位置と検出された前記モータのモータ位置との偏差であるモデル位置偏差が規定された閾値以上の場合、前記制御入力が前記飽和したと判定して前記制御飽和信号をＯＮにして出力し、前記モデル位置偏差が前記閾値未満の場合、前記制御入力が前記飽和していないと判定して前記制御飽和信号をＯＦＦにして出力する、

ことを特徴とする請求項３に記載のコントローラ。

[請求項5] 前記加速度補正演算部は、前記モータ制御装置から前記モータへの制御入力である電流指令が規定された値以上か否かを示す電流制限信号を取得し、前記電流指令が前記規定された値以上であることを示す前記電流制限信号を取得した場合は前記制御飽和信号をＯＮにして出力し、前記電流指令が前記規定された値未満であることを示す前記電流制限信号を取得した場合かつ前記モデル位置偏差が規定された閾値未満の場合は前記制御飽和信号をＯＦＦにして出力する、

ことを特徴とする請求項４に記載のコントローラ。

[請求項6] 前記加速度補正演算部は、前記制御飽和信号をＯＮにして出力する場合は補正後の加速度である補正後指令加速度が減少するように前記補正前位置指令を補正する前記位置指令補正値を出力し、その後、前記制御飽和信号をＯＦＦにして出力する場合は前記制御飽和信号をＯＮにして出力したときの前記補正後指令加速度から増加するように前記位置指令補正値を変更する、

ことを特徴とする請求項３から５のいずれか１つに記載のコントローラ。

[請求項7] 前記補正前位置指令演算部は、取得した前記制御飽和信号がＯＦＦであり、かつ前記機械モデルから算出されたモータトルクとモータ電流から算出されたモータトルクとの偏差であるトルク偏差が規定された値以上の場合、前記状態量に基づいて、前記機械モデルを更新する、

ことを特徴とする請求項３から６のいずれか１つに記載のコントローラ。

[請求項8] 前記補正前位置指令演算部は、前記機械モデルとしてモータ特性モデルおよび負荷モデルを有し、前記機械モデルとして前記負荷モデルを更新する、

ことを特徴とする請求項７に記載のコントローラ。

[請求項9] 前記補正前位置指令演算部は、前記機械モデルとしてモータ特性モデルおよび負荷モデルを有し、取得した前記制御飽和信号がＯＮのときにモータ電流が規定された値以上の場合、前記制御飽和信号がＯＮのときの前記状態量に基づいて前記負荷モデルを更新し、取得した前記制御飽和信号がＯＮのときに前記モータ電流が規定された値未満の場合、前記制御飽和信号がＯＮのときの前記状態量に基づいて前記モータ特性モデルを更新する、

ことを特徴とする請求項３から７のいずれか１つに記載のコントローラ。

[請求項10] 前記状態量は、モータ位置、前記モータ制御装置の駆動対象である機械系の機械端位置、モータ速度、前記機械系の機械端速度、モータ加速度、前記機械系の機械端加速度、モータ電流、トルク情報、前記加速度補正演算部で算出されるモデル位置、負荷イナーシャ推定値、および前記モータへの供給電圧のうち少なくとも１つを含む、

ことを特徴とする請求項３から８のいずれか１つに記載のコントロ

ーラ。

[請求項11] 各々が異なる前記モータに電流を供給して動作を制御する複数の前記モータ制御装置に接続され、複数の前記モータが補間されて制御され、

前記加速度補正演算部は、何れかの前記モータについての前記制御飽和信号をＯＮにして出力する場合、前記モータ同士の補間動作を維持しつつ補正後の加速度である補正後指令加速度が減少するように、補間動作する複数の前記モータに対する位置指令補正値を出力し、その後、補間動作する複数の前記モータについての前記制御飽和信号をＯＦＦにして出力する場合、前記モータ同士の補間動作を維持しつつ前記制御飽和信号をＯＮにして出力したときの前記補正後指令加速度から増加するように、補間動作する複数の前記モータに対する位置指令補正値を変更する、

ことを特徴とする請求項３から１０のいずれか１つに記載のコントローラ。

[請求項12] 前記制御飽和信号、前記状態量、前記動作プログラムのプログラム情報、およびワーク情報を含む取得情報と、モータ特性、負荷イナーシャ、摩擦トルク、および偏荷重トルクを含む教師データと、を学習用データとして取得するデータ取得部と、

前記学習用データを用いて、前記取得情報から、前記機械モデルに含まれる負荷モデルを推論するための学習済モデルを生成するモデル生成部と、

を備える学習装置、

を備えることを特徴とする請求項３から１１のいずれか１つに記載のコントローラ。

[請求項13] 前記制御飽和信号、前記状態量、前記動作プログラムのプログラム情報、およびワーク情報を取得情報として取得するデータ取得部と、

前記機械モデルに含まれる負荷モデルを推論するための学習済モデ

ルを用いて、前記データ取得部で取得された前記取得情報から負荷モデルを推論する推論部と、

を備える推論装置、

を備えることを特徴とする請求項３から１２のいずれか１つに記載のコントローラ。

[請求項14] 請求項１から１３のいずれか１つに記載のコントローラと、

前記コントローラから取得した位置指令に基づいてモータの位置制御を行うモータ制御装置と、

を備えることを特徴とする制御システム。

[請求項15] モータに電流を供給して動作を制御するモータ制御装置に対して位置指令を出力するコントローラから、前記モータに対する制御入力が予め設定された制御入力制限を超えて飽和したか否かを示す制御飽和信号、前記コントローラおよび前記モータ制御装置および前記モータのうち少なくとも１つの動作状態を示す状態量、前記コントローラに入力される動作プログラムのプログラム情報、およびワーク情報を含む取得情報と、モータ特性、負荷イナーシャ、摩擦トルク、および偏荷重トルクを含む教師データと、を学習用データとして取得するデータ取得部と、

前記学習用データを用いて、前記取得情報から、前記コントローラが有する機械モデルに含まれる負荷モデルを推論するための学習済モデルを生成するモデル生成部と、

を備えることを特徴とする学習装置。

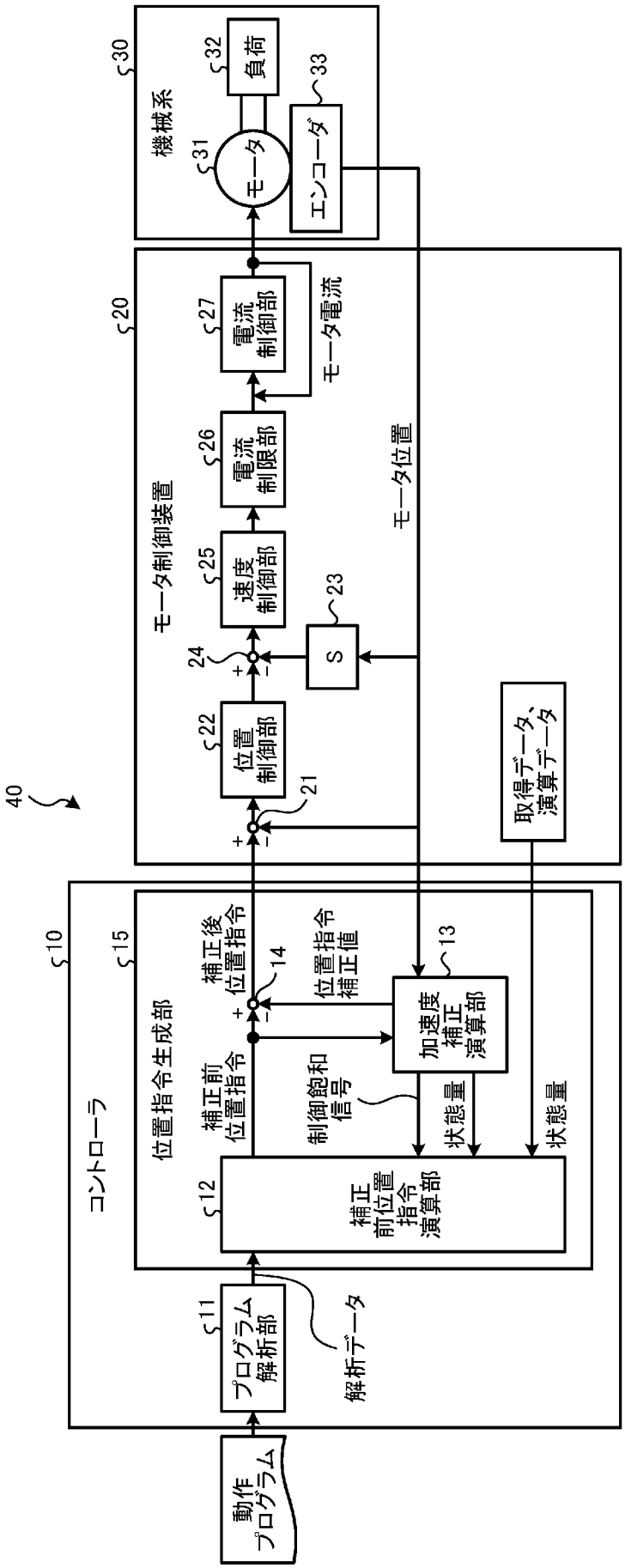
[請求項16] モータに電流を供給して動作を制御するモータ制御装置に対して位置指令を出力するコントローラから、前記モータに対する制御入力が予め設定された制御入力制限を超えて飽和したか否かを示す制御飽和信号、前記コントローラおよび前記モータ制御装置および前記モータのうち少なくとも１つの動作状態を示す状態量、前記コントローラに入力される動作プログラムのプログラム情報、およびワーク情報を取

得情報として取得するデータ取得部と、

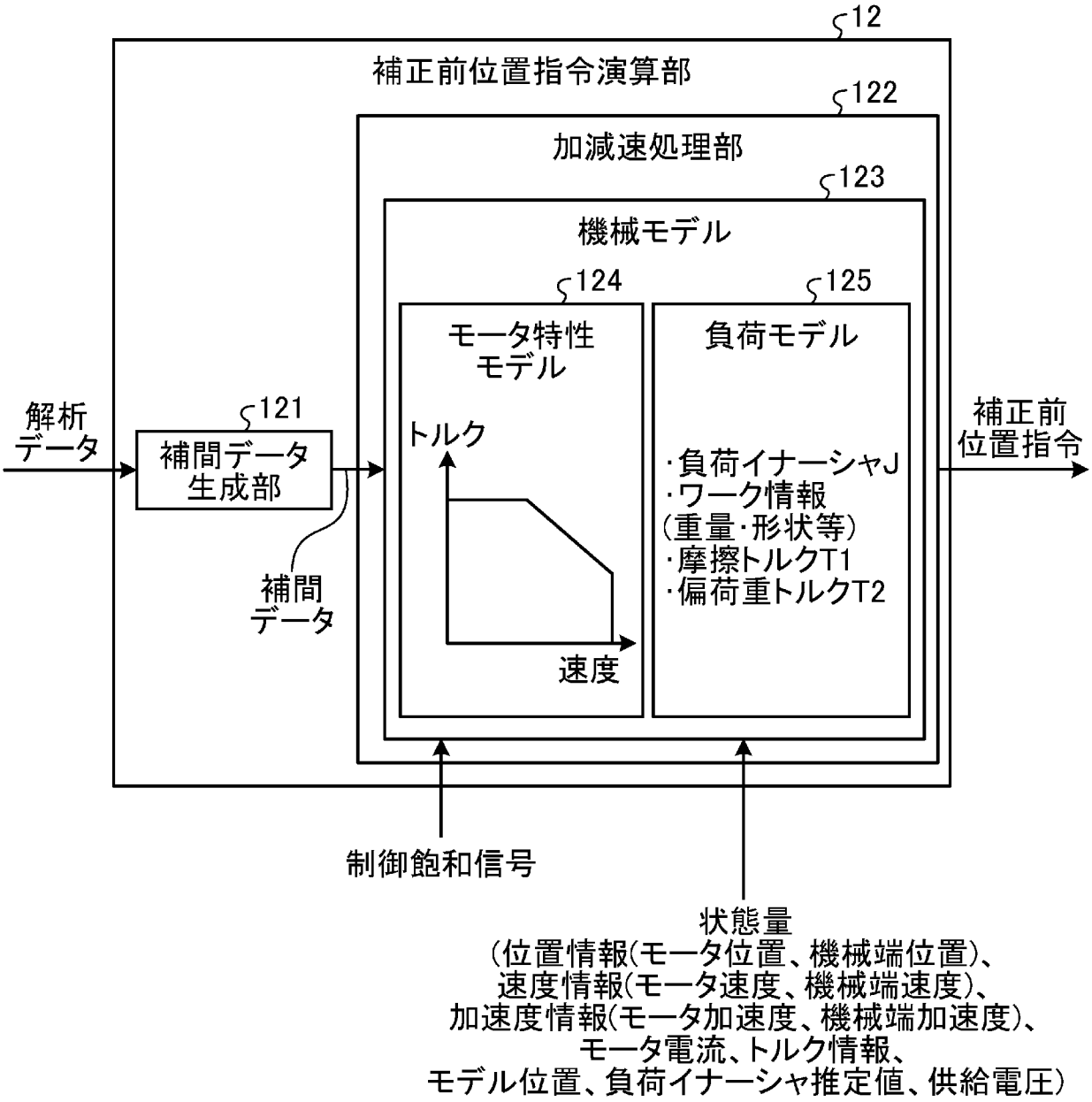
前記コントローラが有する機械モデルに含まれる負荷モデルを推論するための学習済モデルを用いて、前記データ取得部で取得された前記取得情報から負荷モデルを推論する推論部と、

を備えることを特徴とする推論装置。

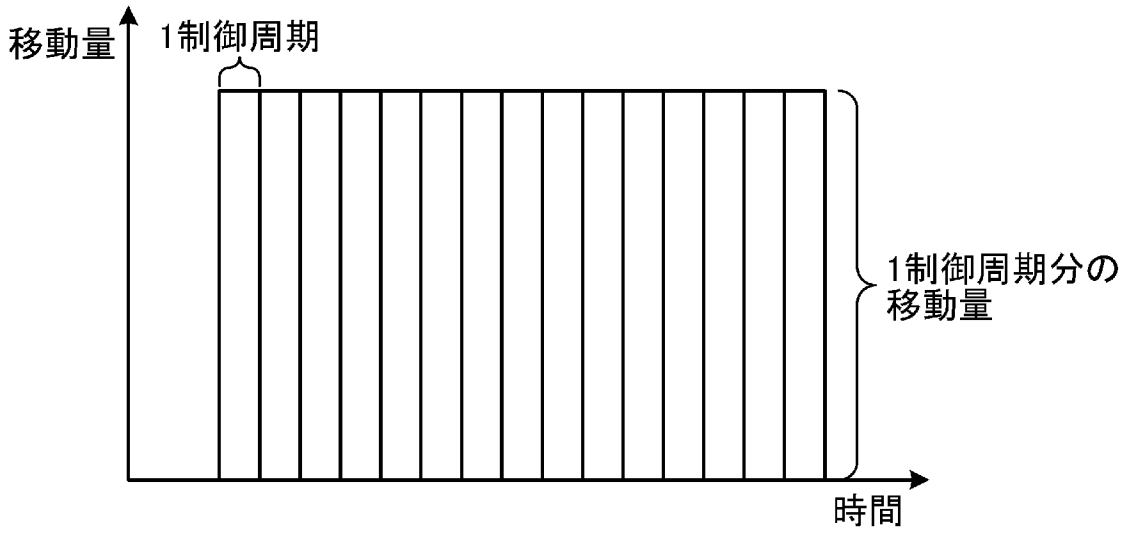
[図1]


40
コントローラ
10
動作プログラム
プログラム解析部
11
解析データ
位置指令生成部
15
補正前位置指令演算部
12
補正前位置指令
補正後位置指令
14
位置指令補正値
加速度補正演算部
13
制御飽和信号
状態量
状態量
モータ制御装置
20
位置制御部
22
21
速度制御部
25
24
S
23
電流制限部
26
電流制御部
27
モータ電流
モータ位置
機械系
30
モータ
31
負荷
32
エンコーダ
33
取得データ、演算データ

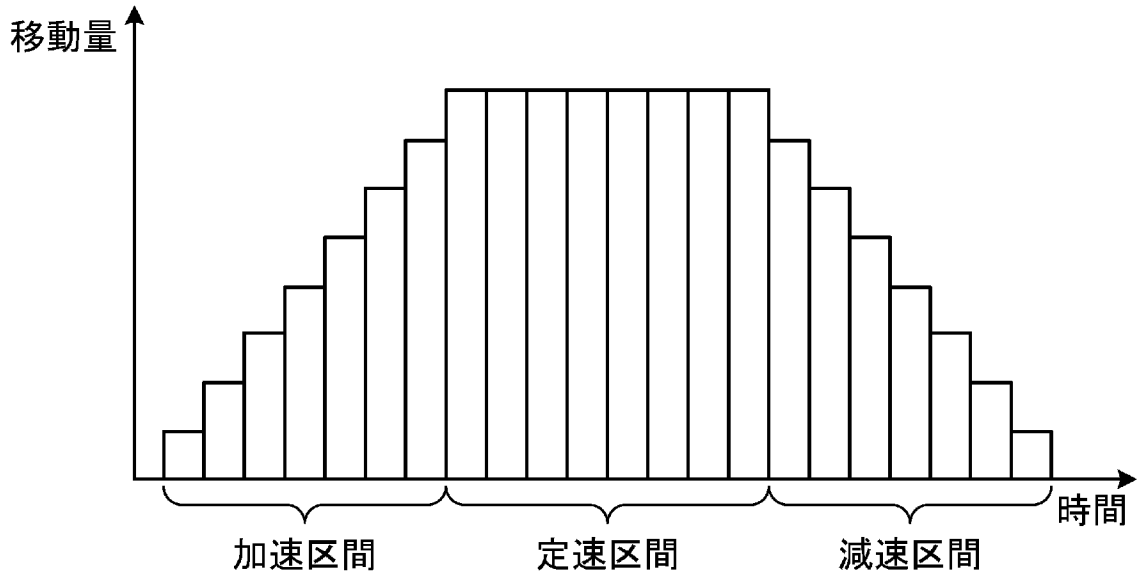
[図2]


12
補正前位置指令演算部
122
加減速処理部
123
機械モデル
124
モータ特性
モデル
トルク
速度
125
負荷モデル
・負荷イナーシャJ
・ワーク情報
(重量・形状等)
・摩擦トルクT1
・偏荷重トルクT2
解析
データ
121
補間データ
生成部
補間
データ
補正前
位置指令
制御飽和信号
状態量
(位置情報(モータ位置、機械端位置)、
速度情報(モータ速度、機械端速度)、
加速度情報(モータ加速度、機械端加速度)、
モータ電流、トルク情報、
モデル位置、負荷イナーシャ推定値、供給電圧)

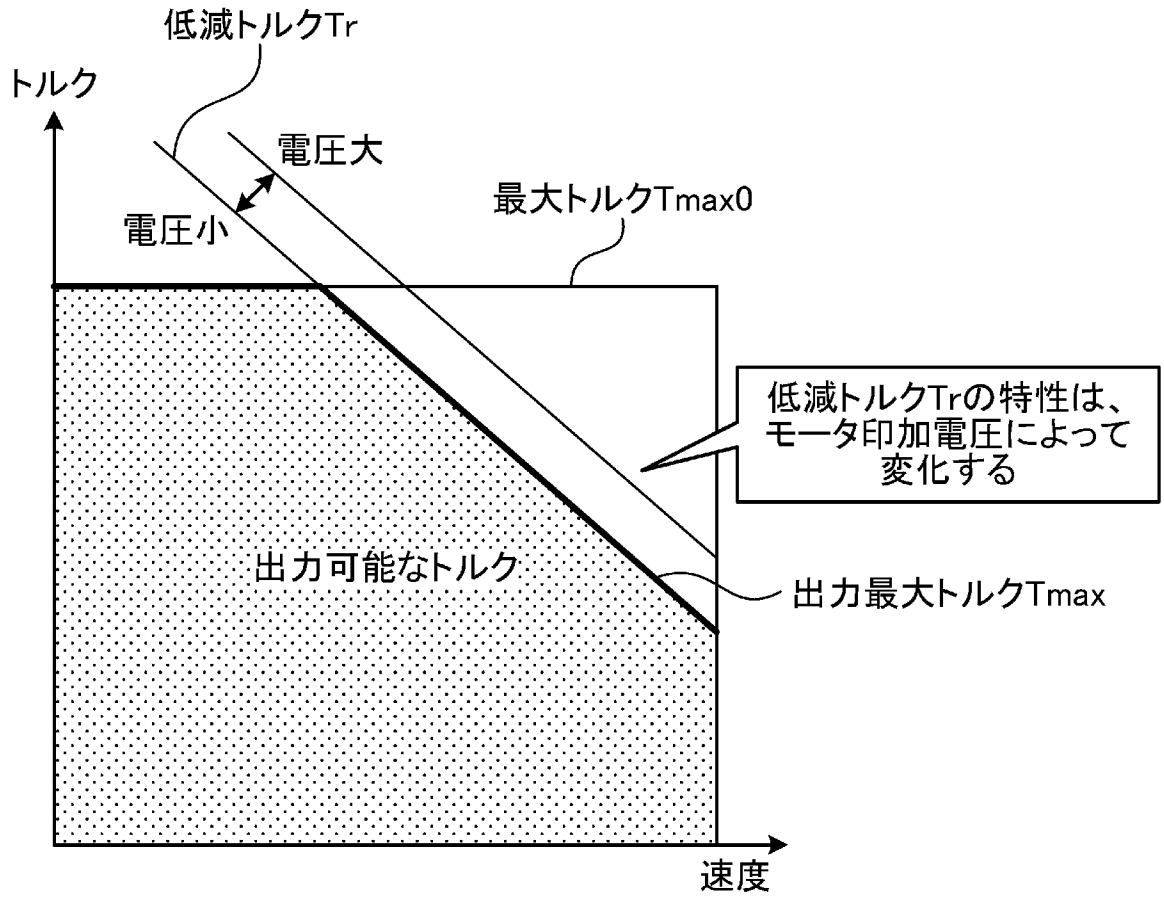
[図3]



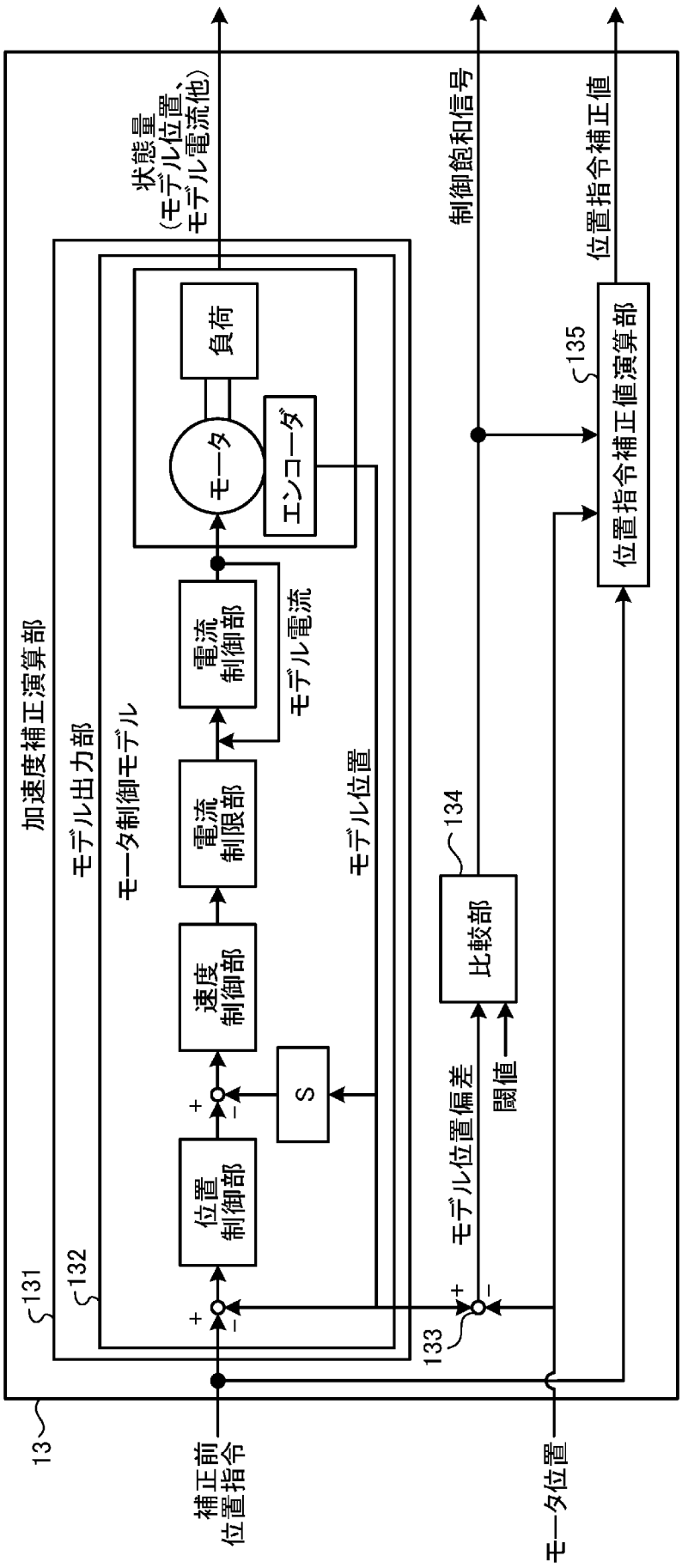
[図4]



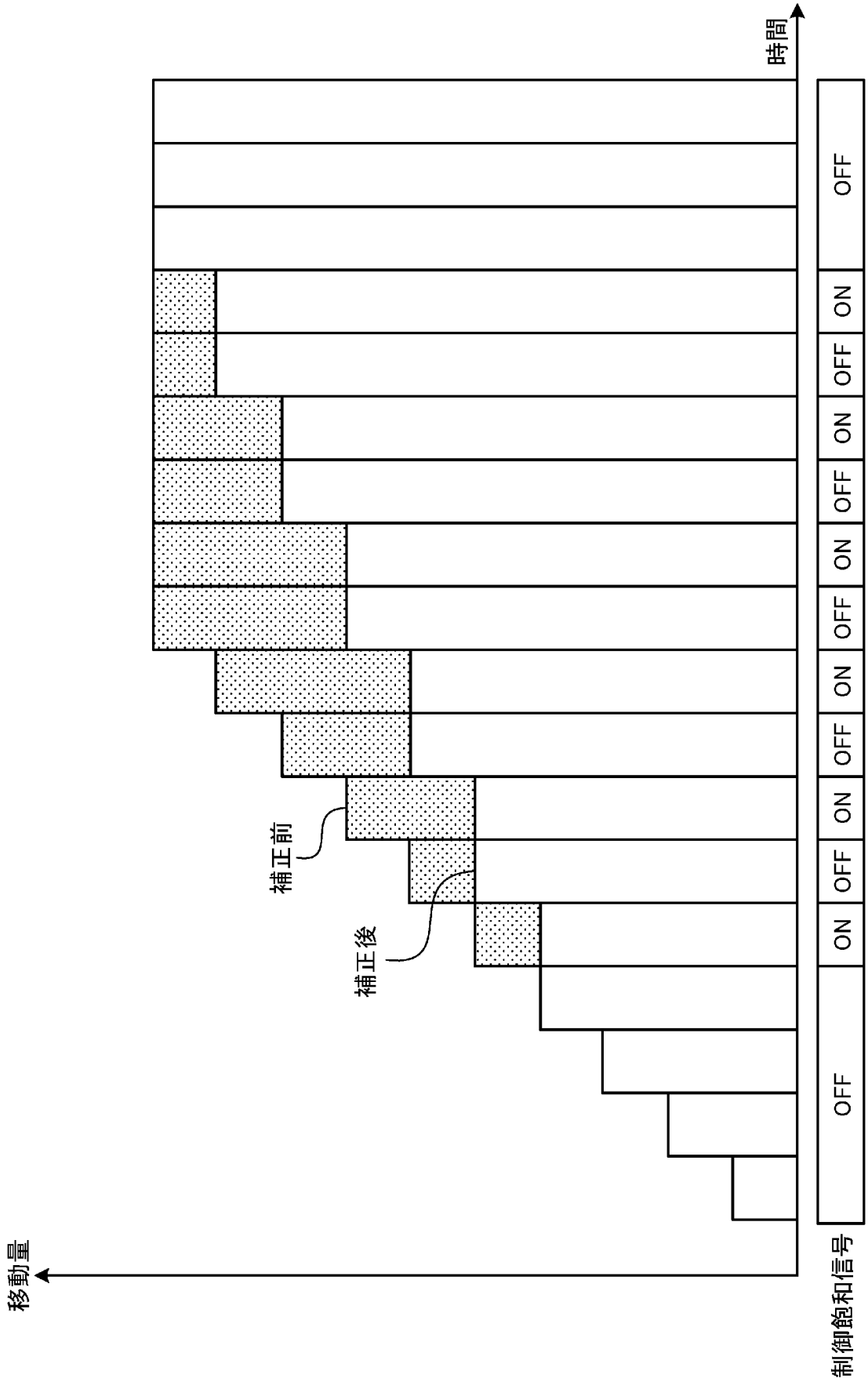
[図5]


低減トルクTr
トルク
電圧大
電圧小
最大トルクTmax0
低減トルクTrの特性は、
モータ印加電圧によって
変化する
出力可能なトルク
出力最大トルクTmax
速度

[図6]


13
加速度補正演算部
131
位置制御部
+
−
S
速度制御部
電流制限部
モデル出力部
132
モータ制御モデル
電流制御部
モデル電流
モデル位置
負荷
モータ
エンコーダ
状態量
(モデル位置、モデル電流他)
補正前位置指令
133
+
−
モデル位置偏差
134
比較部
閾値
制御飽和信号
135
位置指令補正値演算部
位置指令補正値
モータ位置

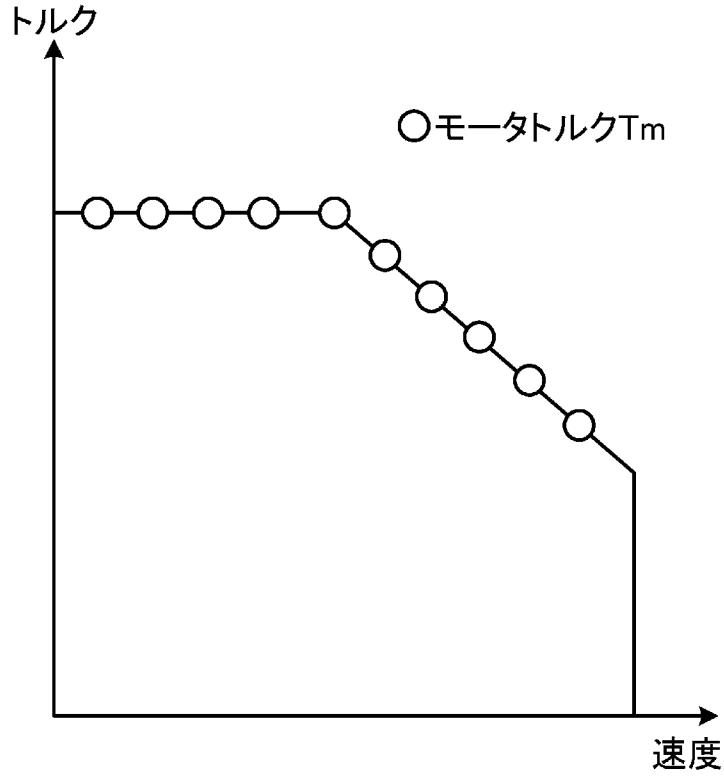
[図7]



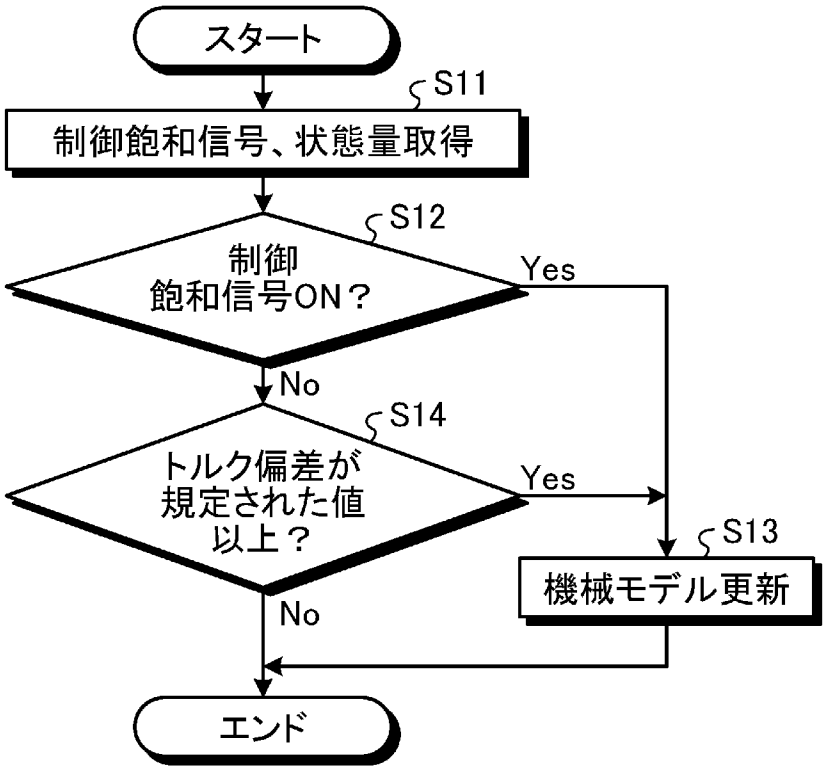
[図8]


スタート
S1
動作プログラム解析
S2
補間データ生成
S3
補正前位置指令演算
S4
制御入力飽和判定
S5
制御飽和信号出力
S6
位置指令補正値演算
S7
補正後位置指令演算
エンド

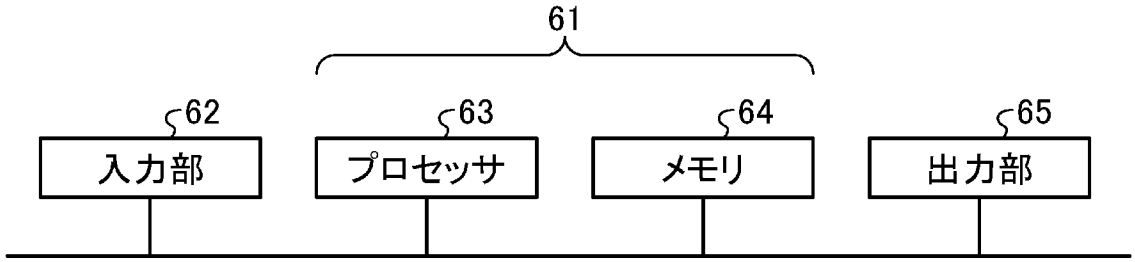
[図9]


トルク
モータトルクTm
速度

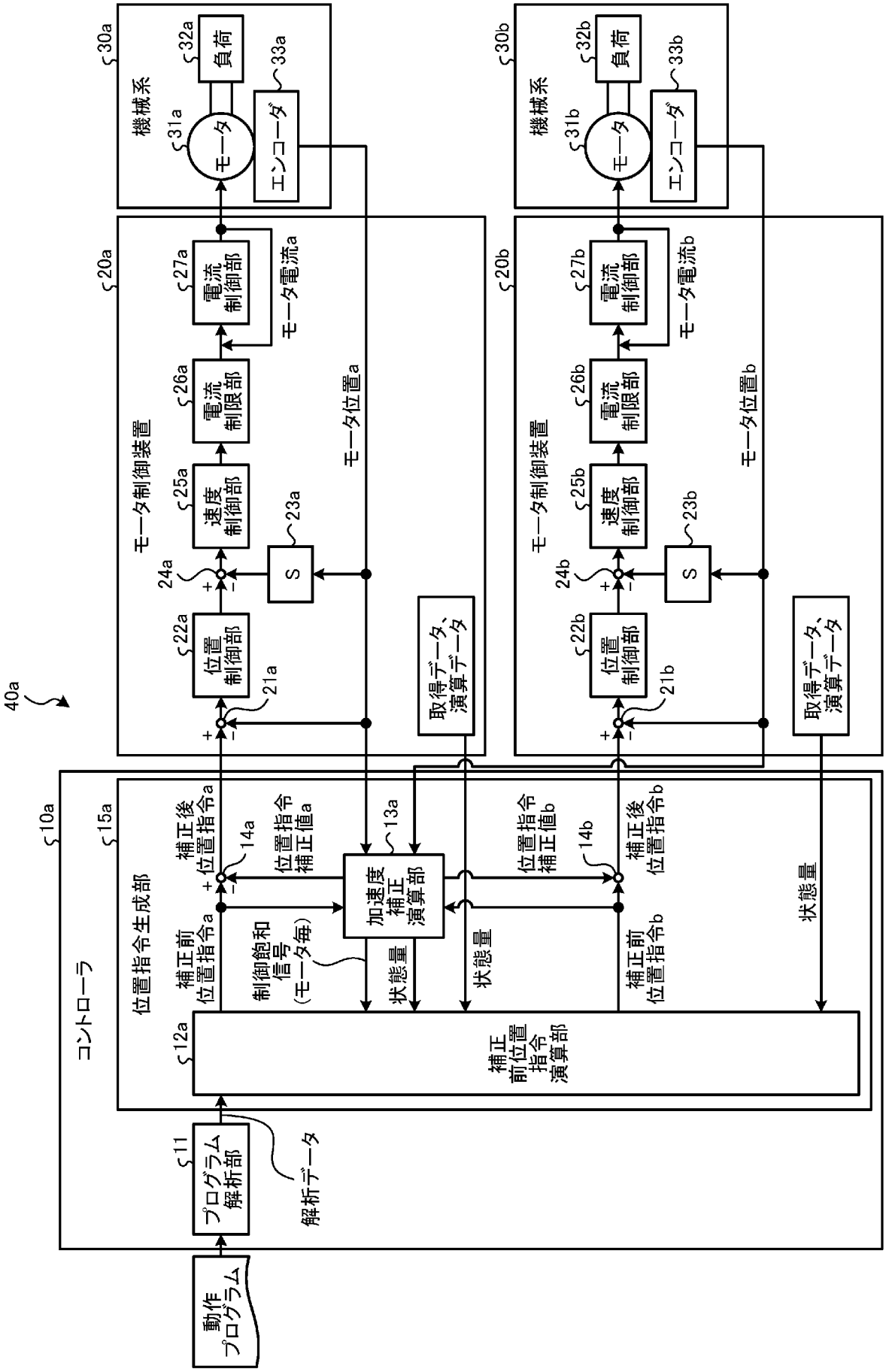
[図10]


スタート
S11
制御飽和信号、状態量取得
S12
制御
飽和信号ON？
Yes
No
S14
トルク偏差が
規定された値
以上？
Yes
S13
機械モデル更新
No
エンド

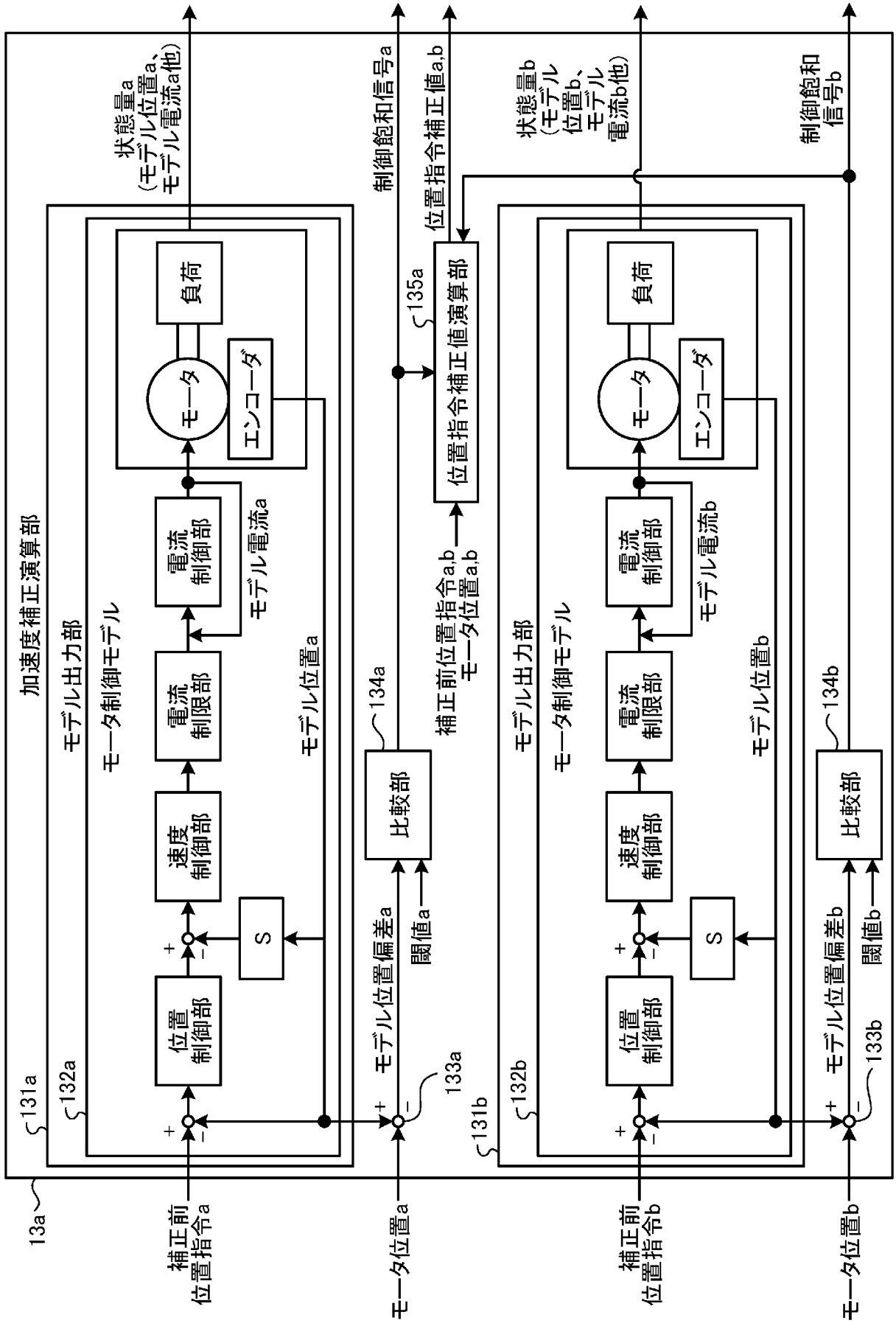
[図11]



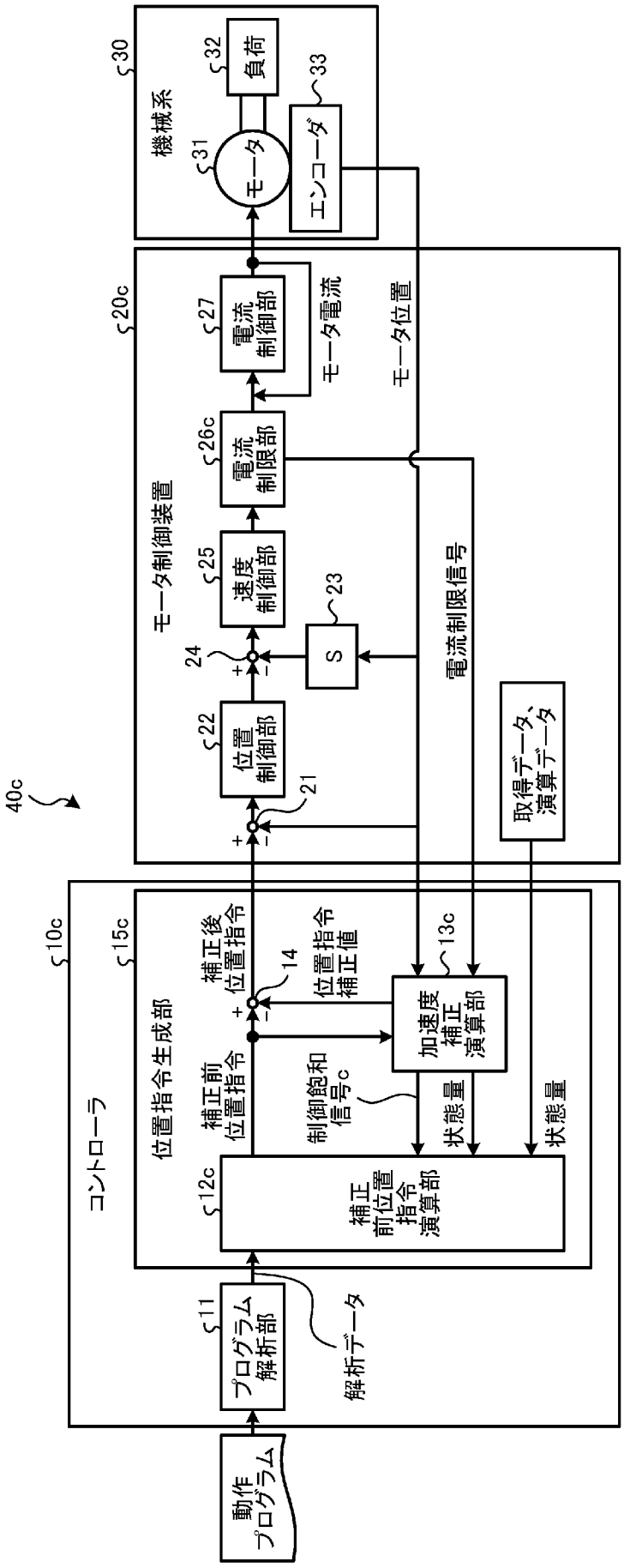
[図12]


40a
動作プログラム
コントローラ
10a
プログラム解析部
11
解析データ
位置指令生成部
15a
補正前位置指令a
補正後位置指令a
14a
位置指令補正値a
加速度補正演算部
13a
制御飽和信号(モータ毎)
状態量
位置指令補正値b
14b
補正後位置指令b
補正前位置指令b
補正前位置指令演算部
12a
取得データ、演算データ
モータ制御装置
20a
位置制御部
22a
速度制御部
25a
電流制限部
26a
電流制御部
27a
モータ電流a
モータ位置a
S
23a
21a
24a
機械系
30a
モータ
31a
負荷
32a
エンコーダ
33a
モータ制御装置
20b
位置制御部
22b
速度制御部
25b
電流制限部
26b
電流制御部
27b
モータ電流b
モータ位置b
S
23b
21b
24b
機械系
30b
モータ
31b
負荷
32b
エンコーダ
33b

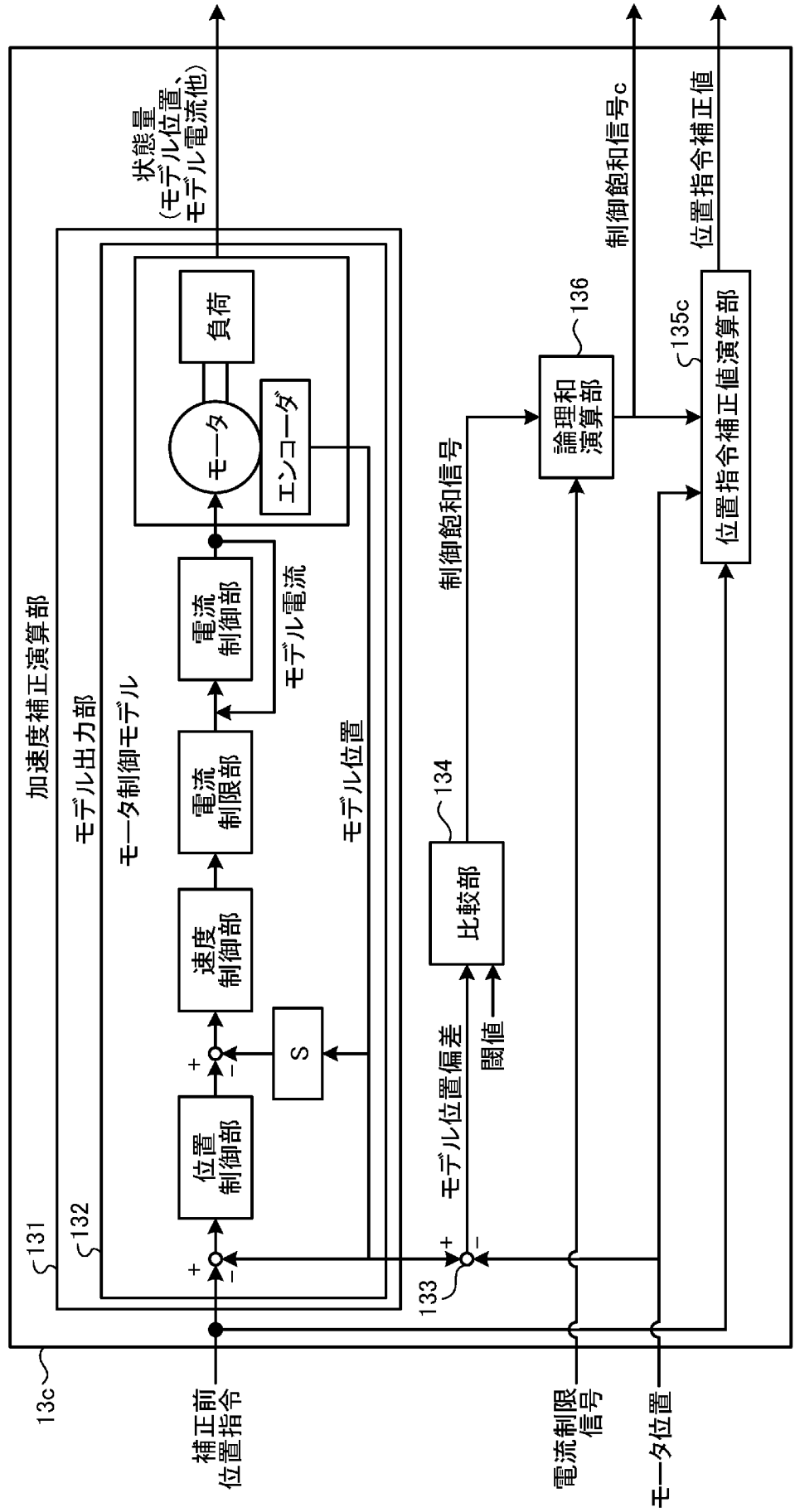
[図13]


加速度補正演算部
モデル出力部
モータ制御モデル
位置制御部
速度制御部
電流制限部
電流制御部
モデル電流a
モデル位置a
モータ
エンコーダ
負荷
状態量a
(モデル位置a、モデル電流a他)
制御飽和信号a
位置指令補正値a,b
位置指令補正値演算部
補正前位置指令a,b
モータ位置a,b
モデル位置偏差a
閾値a
比較部
S
モデル位置偏差b
閾値b
状態量b
(モデル位置b、モデル電流b他)
制御飽和信号b
補正前位置指令a
モータ位置a
補正前位置指令b
モータ位置b
13a
131a
131b
132a
132b
133a
133b
134a
134b
135a

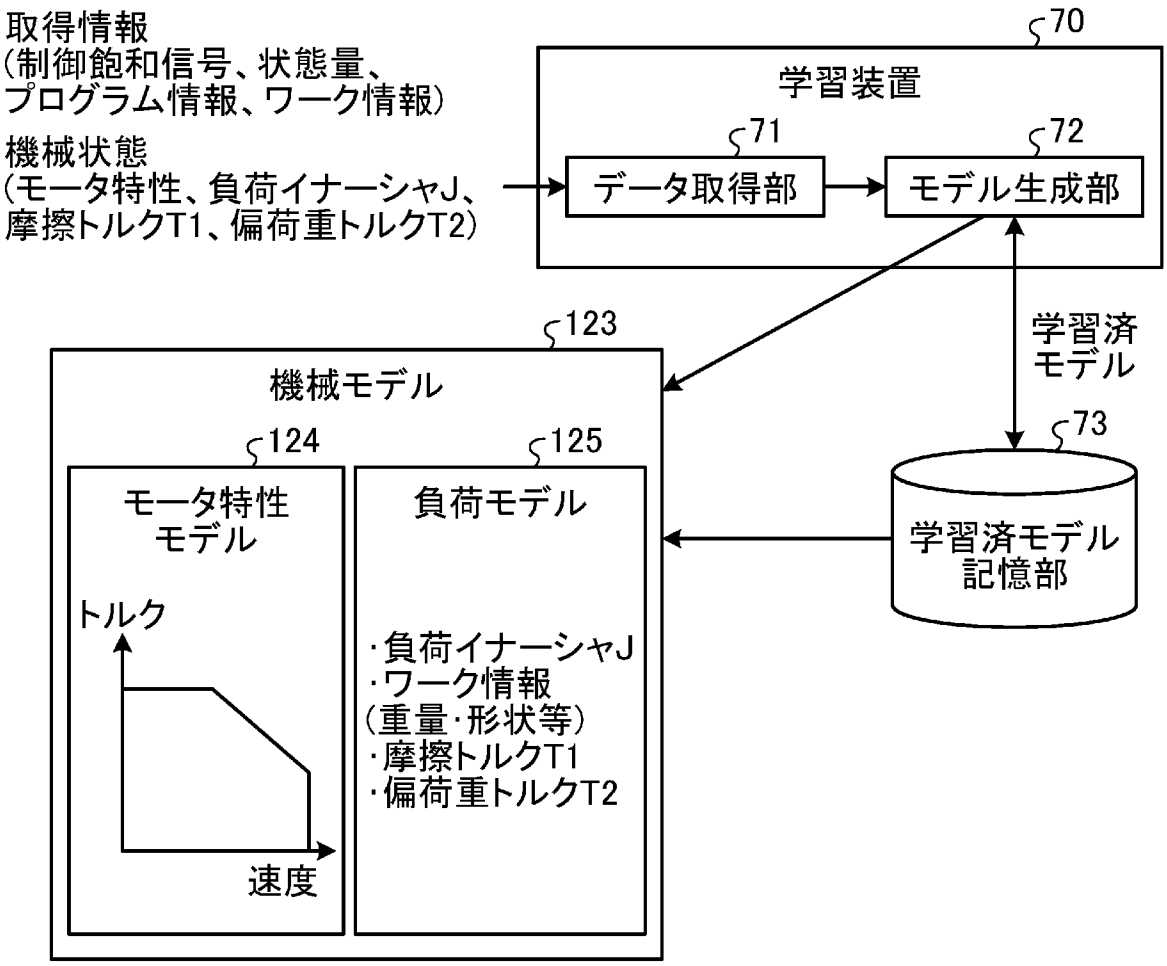
[図14]


40c
10c
コントローラ
15c
位置指令生成部
11
プログラム解析部
解析データ
動作プログラム
12c
補正前位置指令演算部
補正前位置指令
補正後位置指令
14
位置指令補正値
制御飽和信号c
13c
加速度補正演算部
状態量
状態量
20c
モータ制御装置
22
位置制御部
21
24
25
速度制御部
23
S
26c
電流制限部
27
電流制御部
モータ電流
モータ位置
電流制限信号
取得データ、演算データ
30
機械系
31
モータ
32
負荷
33
エンコーダ

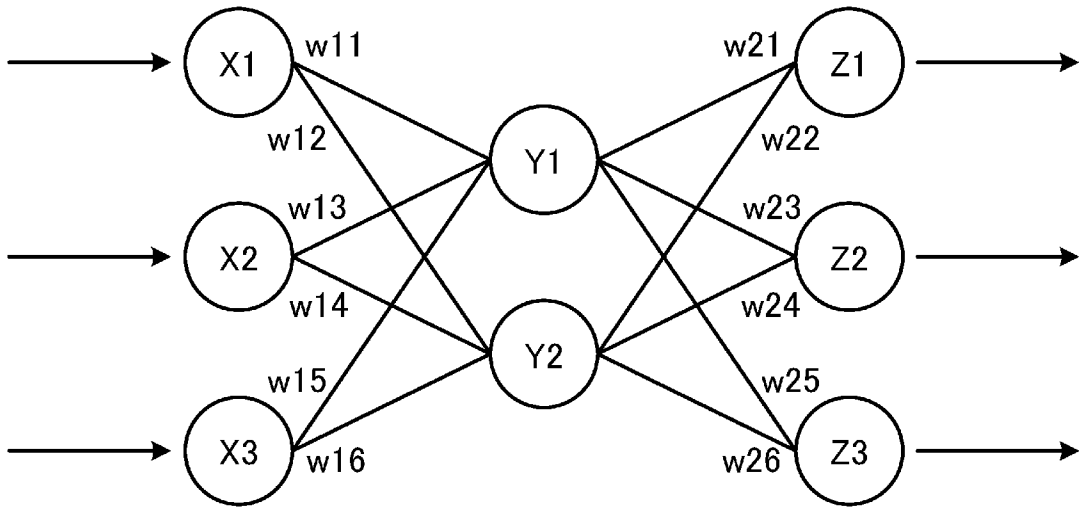
[図15]


13c
加速度補正演算部
131
モデル出力部
132
モータ制御モデル
位置制御部
速度制御部
電流制限部
電流制御部
モデル電流
負荷
モータ
エンコーダ
S
モデル位置
状態量
(モデル位置、モデル電流他)
補正前位置指令
133
モデル位置偏差
134
比較部
閾値
制御飽和信号
論理和演算部
136
制御飽和信号c
135c
位置指令補正値演算部
位置指令補正値
電流制限信号
モータ位置

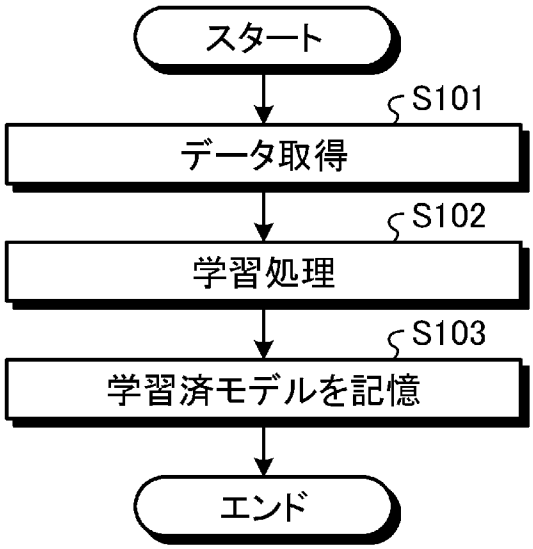
[図16]


取得情報
(制御飽和信号、状態量、
プログラム情報、ワーク情報)
機械状態
(モータ特性、負荷イナーシャJ、
摩擦トルクT1、偏荷重トルクT2)
70
学習装置
71
データ取得部
72
モデル生成部
学習済
モデル
123
機械モデル
124
モータ特性
モデル
トルク
速度
125
負荷モデル
・負荷イナーシャJ
・ワーク情報
(重量・形状等)
・摩擦トルクT1
・偏荷重トルクT2
73
学習済モデル
記憶部

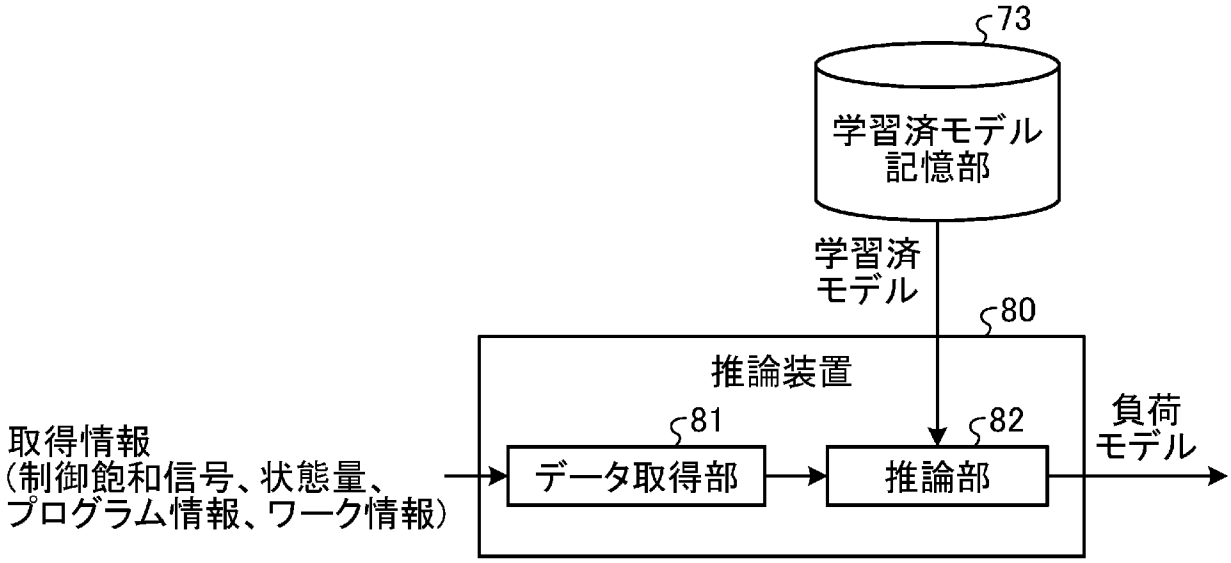
[図17]


X1
X2
X3
Y1
Y2
Z1
Z2
Z3
w11
w12
w13
w14
w15
w16
w21
w22
w23
w24
w25
w26

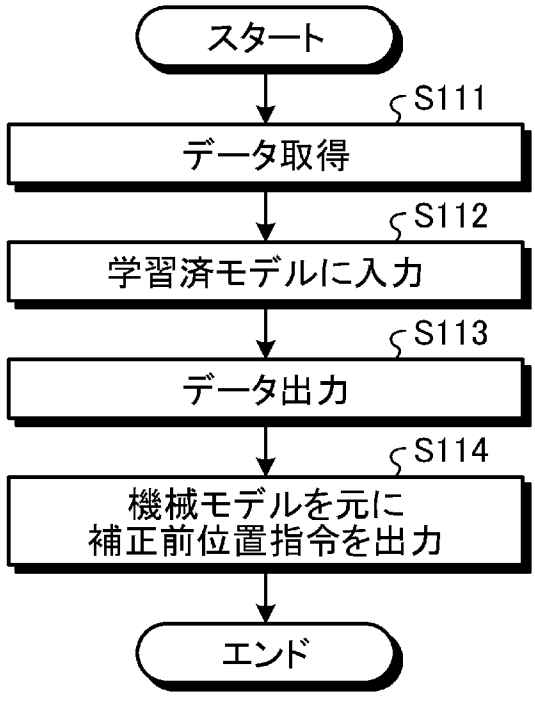
[図18]


スタート
S101
データ取得
S102
学習処理
S103
学習済モデルを記憶
エンド

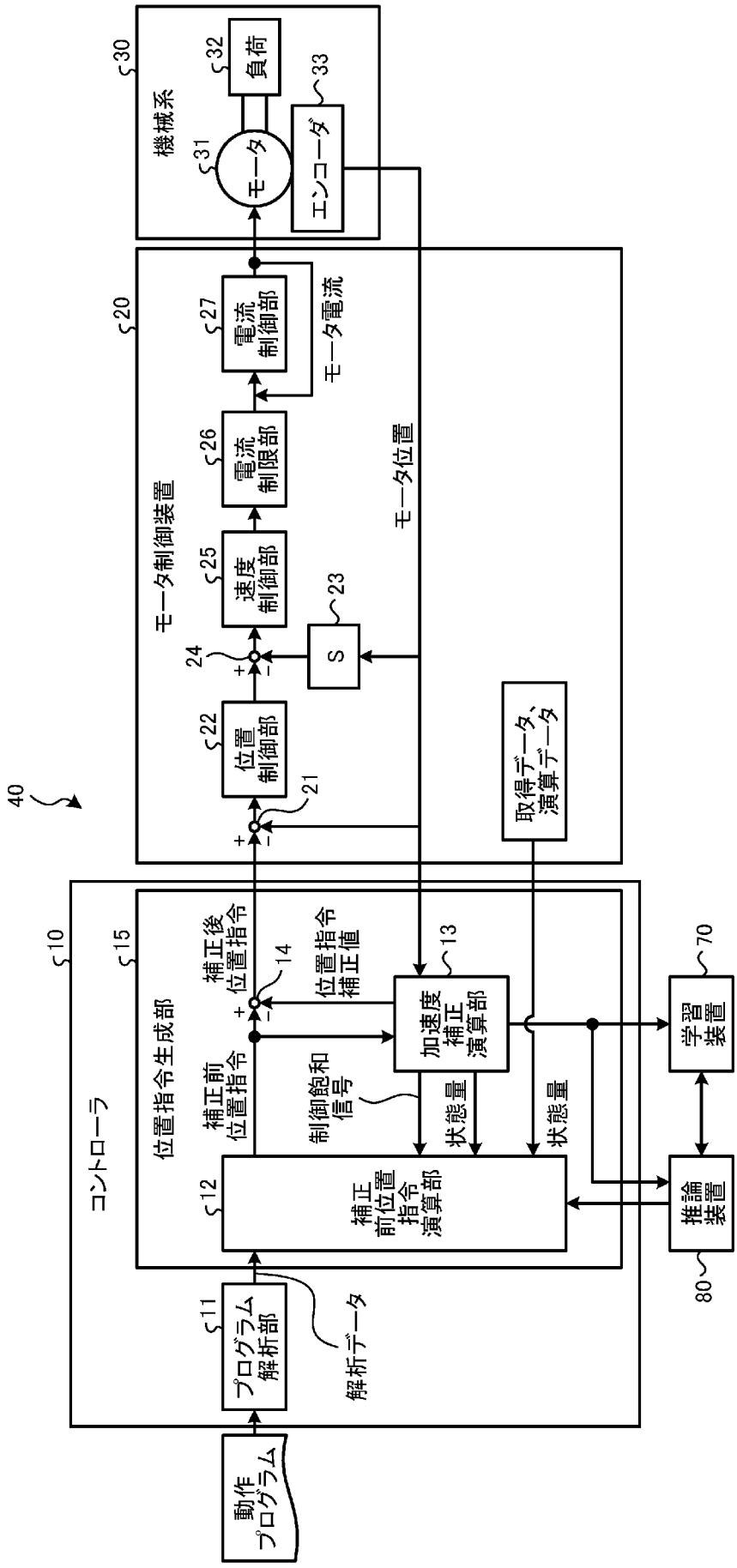
[図19]


73
学習済モデル
記憶部
学習済
モデル
80
推論装置
81
データ取得部
82
推論部
取得情報
(制御飽和信号、状態量、
プログラム情報、ワーク情報)
負荷
モデル

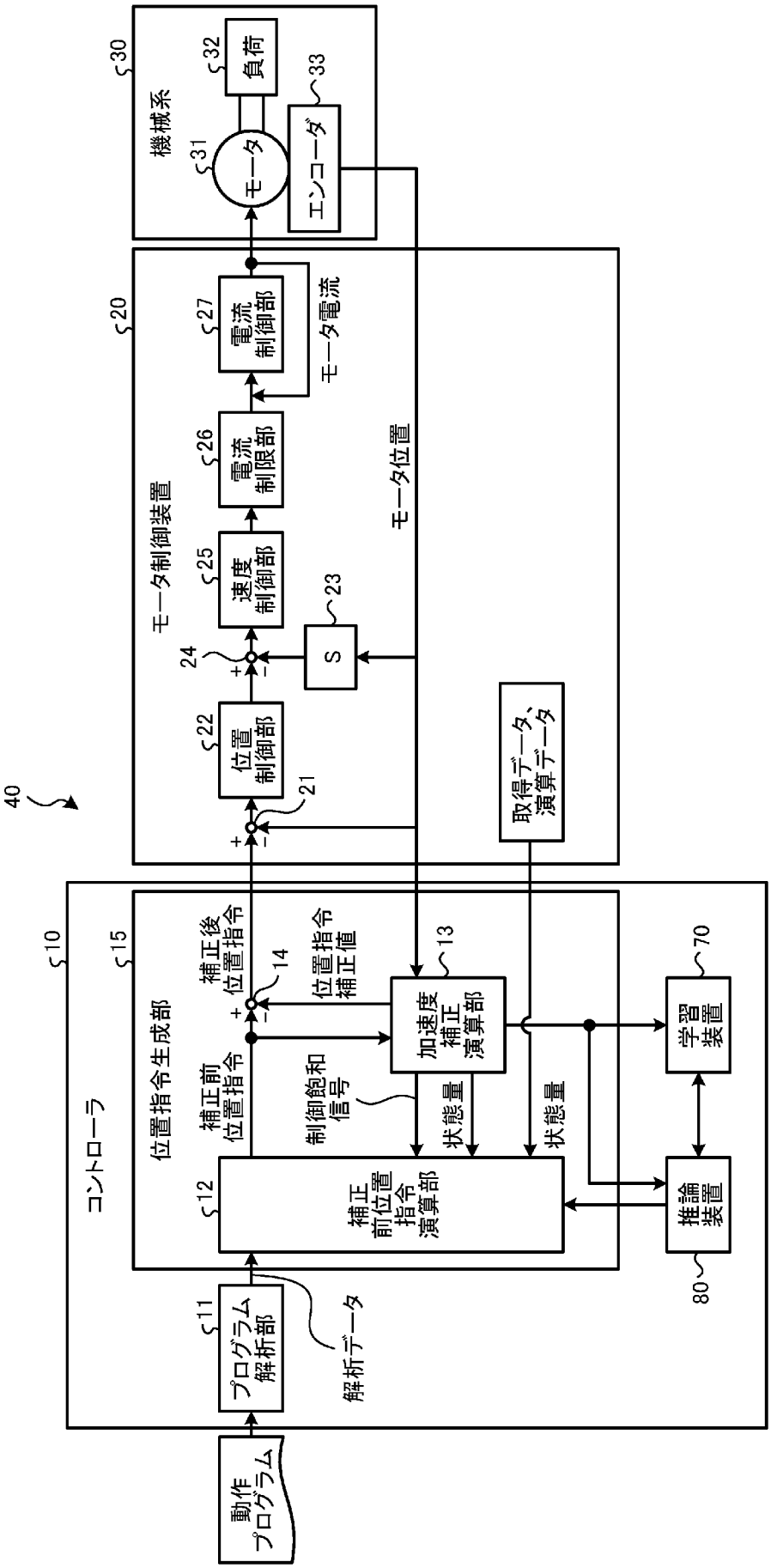
[図20]


スタート
S111
データ取得
S112
学習済モデルに入力
S113
データ出力
S114
機械モデルを元に
補正前位置指令を出力
エンド

[図21]


40
30
機械系
32
負荷
31
モータ
33
エンコーダ
20
モータ制御装置
27
電流制御部
モータ電流
26
電流制限部
25
速度制御部
24
23
S
22
位置制御部
21
モータ位置
取得データ、演算データ
10
コントローラ
15
位置指令生成部
補正後位置指令
14
位置指令補正値
13
加速度補正演算部
70
学習装置
補正前位置指令
制御飽和信号
状態量
状態量
12
補正前位置指令演算部
推論装置
80
11
プログラム解析部
解析データ
動作プログラム

[図22]


40
動作プログラム
コントローラ
10
プログラム解析部
11
解析データ
位置指令生成部
15
補正前位置指令
補正後位置指令
補正前位置指令演算部
12
14
位置指令補正値
加速度補正演算部
13
制御飽和信号
状態量
状態量
学習装置
70
推論装置
80
モータ制御装置
20
位置制御部
22
速度制御部
25
電流制限部
26
電流制御部
27
モータ電流
モータ位置
S
23
24
21
機械系
30
モータ
31
負荷
32
エンコーダ
33
取得データ、演算データ

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2021/045769

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P 29/00(2016.01)i
FI: 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)

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

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2019-181635 A (FANUC LTD) 24 October 2019 (2019-10-24) paragraphs [0016]-[0103], fig. 1-14	1-2, 14
A		3-13, 15-16
A	JP 10-138186 A (TOYOTA MOTOR CORP) 26 May 1998 (1998-05-26) entire text, all drawings	1-16
A	JP 2018-173777 A (FANUC LTD) 08 November 2018 (2018-11-08) entire text, all drawings	1-16

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

☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
20 January 2022	**01 February 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/JP2021/045769

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2019-181635 A	24 October 2019	US 2019/0317469 A1 paragraphs [0030]-[0130], fig. 1-14 CN 110390402 A	
JP 10-138186 A	26 May 1998	(Family: none)	
JP 2018-173777 A	08 November 2018	US 2018/0284702 A1 entire text, all drawings CN 108693833 A	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2021/045769

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H02P 29/00(2016.01)i
FI: 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））

H02P29/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２２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

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	JP 2019-181635 A (ファナック株式会社) 24.10.2019 (2019-10-24) 段落００１６－０１０３、図１－１４	1-2,14
A		3-13,15-16
A	JP 10-138186 A (トヨタ自動車株式会社) 26.05.1998 (1998-05-26) 全文、全図	1-16
A	JP 2018-173777 A (ファナック株式会社) 08.11.2018 (2018-11-08) 全文、全図	1-16

☐ 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	国際調査報告の発送日
20.01.2022	01.02.2022

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）
島倉　理 3V 4131
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/JP2021/045769

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2019-181635 A	24.10.2019	US 2019/0317469 A1 段落００３０－０１３０、 図１－１４ CN 110390402 A	
JP 10-138186 A	26.05.1998	（ファミリーなし）	
JP 2018-173777 A	08.11.2018	US 2018/0284702 A1 全文、全図 CN 108693833 A	