

(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
2020年1月9日(09.01.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/008634 A1

(51) 国際特許分類:

G05B 19/4155 (2006.01) B23B 31/00 (2006.01)
B23B 15/00 (2006.01) B23Q 17/00 (2006.01)

機株式会社内 Tokyo (JP). 石田 泰一(ISHIDA, Taichi); 〒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).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/025747

(22) 国際出願日: 2018年7月6日(06.07.2018)

(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:加藤 勇太(KATO, Yuta); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電

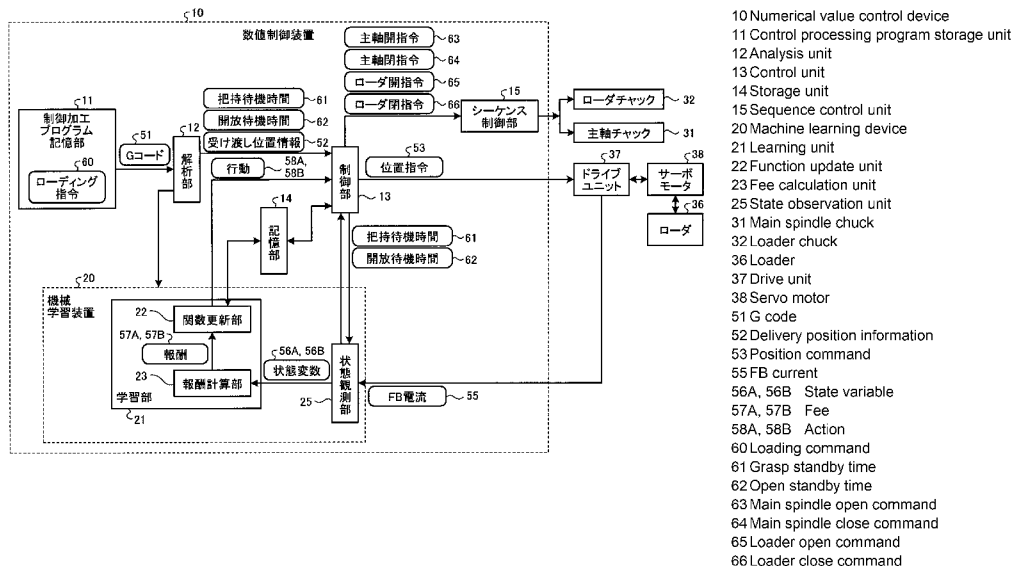
(74) 代理人:高村 順(TAKAMURA, Jun); 〒1000013 東京都千代田区霞が関3丁目8番1号 虎の門三井ビルディング 特許業務法人酒井国際特許事務所 Tokyo (JP).

(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, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) Title: MACHINE LEARNING DEVICE, NUMERICAL VALUE CONTROL DEVICE, MACHINE TOOL, AND MACHINE LEARNING METHOD

(54) 発明の名称: 機械学習装置、数値制御装置、工作機械および機械学習方法

[図2]



(57) Abstract: This machine learning device (20) learns a standby time for at least one of grasping of a workpiece (40) by a main spindle chuck (31) and releasing of the workpiece (40) by a loader chuck (32) during delivery of the workpiece (40) between the loader chuck (32), which grabs and sends the workpiece (40), and the main spindle chuck (31), which grabs and receives the workpiece (40), the machine learning device (20) comprising: a state observation unit (25) that observes, as state variables (56A, 56B), the standby time and an FB current (55) from a drive unit (37) that causes the

MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告(条約第21条(3))

loader chuck (32) to move; and a learning unit (21) that learns the standby time for shortening the delivery time of the workpiece (40) according to a data set created on the basis of the state variables (56A, 56B).

(57) 要約: ワーク(40)を掴んで送るローダチャック(32)と、ワーク(40)を掴んで受け取る主軸チャック(31)との間のワーク(40)の受け渡し中の主軸チャック(31)によるワーク(40)の把持およびローダチャック(32)によるワーク(40)の開放の少なくとも一方に対する待機時間を学習する機械学習装置(20)が、待機時間と、ローダチャック(32)を移動させるドライブユニット(37)からのFB電流(55)と、を状態変数(56A, 56B)として観測する状態観測部(25)と、状態変数(56A, 56B)に基づいて作成されるデータセットに従って、ワーク(40)の受け渡し時間を短縮する待機時間を学習する学習部(21)と、を備える。

明 細 書

発明の名称：

機械学習装置、数値制御装置、工作機械および機械学習方法

技術分野

[0001] 本発明は、ワークの受け渡し動作を学習する機械学習装置、数値制御装置、工作機械および機械学習方法に関する。

背景技術

[0002] 旋盤等の工作機械において、ワークを掴んで送る側のチャックと、ワークを掴んで受け取る側のチャックとの間におけるワークの受け渡しの動作では、受け取る側のチャックがワークを確実に掴んだ後に、送る側のチャックがワークを開放する必要がある。チャック間で確実にワークを受け渡すために、受け取る側のチャックが閉動作を開始してから送る側のチャックがワークの開放を開始するまでの待機時間を長くすると、ワークの受け渡しに長時間を要する。このため、ワークの受け渡しを短時間で完了することが望まれる。

[0003] 特許文献1に記載のクランプ制御装置は、ワークの受け渡しの際に、ワークを受け取る側のチャックが、ワークの軸を中心に回転揺動しながら閉動作を行い、ワークを受け取る側のチャックがワークを掴むことによってチャックの揺動が停止すると、ワークの把持が完了したと判断して送る側のチャックがワークを開放している。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2016-135523号公報

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、上記特許文献1では、回転揺動しながらワークを掴んでもワークに傷がつかないように低速で閉動作を行う必要があるので、チャックの

閉動作に時間がかかる。そのため、ワークの受け渡しを短時間で完了することができないという問題があった。

[0006] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、ワークの受け渡しを短時間で完了させることができる機械学習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、本発明は、ワークを掴んで送る第1のチャックと、ワークを掴んで受け取る第2のチャックとの間のワークの受け渡し中の第2のチャックによるワークの把持および第1のチャックによるワークの開放の少なくとも一方に対する待機時間を学習する機械学習装置であって、待機時間と、第1のチャックを移動させる駆動機構からのフィードバック電流と、を状態変数として観測する状態観測部と、状態変数に基づいて作成されるデータセットに従って、ワークの受け渡し時間を短縮する待機時間を学習する学習部と、を備えることを特徴とする。

発明の効果

[0008] 本発明にかかる機械学習装置は、ワークの受け渡しを短時間で完了させることができるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]実施の形態にかかる工作システムの構成を示す図

[図2]実施の形態にかかる数値制御装置を備えた制御システムの構成を示す図

[図3]実施の形態にかかる工作システムの動作手順を示すフローチャート

[図4]実施の形態にかかる工作システムにおいて主軸チャックが把持を完了した場合のローダ引き戻し指令量とF B電流との関係を示す図

[図5]実施の形態にかかる工作システムにおいて主軸チャックが把持を完了していない場合のローダ引き戻し指令量とF B電流との関係を示す図

[図6]実施の形態にかかる工作システムにおいてローダチャックが開放を完了している場合のローダ引き戻し指令量とF B電流との関係を示す図

[図7]実施の形態にかかる工作システムにおいてローダチャックが開放を完了していない場合のローダ引き戻し指令量とF B電流との関係を示す図

[図8]実施の形態にかかる数値制御装置のハードウェア構成例を示す図

発明を実施するための形態

[0010] 以下に、本発明の実施の形態にかかる機械学習装置、数値制御装置、工作機械および機械学習方法を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

[0011] 実施の形態

図1は、実施の形態にかかる工作システムの構成を示す図である。図1では、工作システム1を鉛直方向から見た場合を示している。本実施の形態では、鉛直方向がY軸方向であり、ワーク40の移動方向である水平方向がX軸方向およびZ軸方向である場合について説明する。

[0012] 工作システム1は、ワーク40を加工する工作機械2と、工作機械2の動作を制御する制御システム3とを備えている。工作機械2の例は、旋盤、マシニングセンタである。以下では、工作機械2が旋盤である場合について説明する。

[0013] 工作機械2は、回転部35と、第1のチャックであるローダチャック32と、第2のチャックである主軸チャック31と、ワーク40の搬送機構であるローダ36とを備えている。ローダ36は、制御システム3によって動作が制御される。ローダチャック32は、ローダ36に接続されており、ローダ36とともに移動する。ローダチャック32は、被加工物であるワーク40を把持することができる。ローダチャック32の例は、三爪チャック、コレットチャックである。ローダチャック32は、ワーク40の加工を開始する際には、主軸チャック31にワーク40を渡し、ワーク40の加工が完了した後は、主軸チャック31からワーク40を受け取る。

[0014] 回転部35は、主軸であるZ軸を回転軸として回転する。主軸チャック31は、回転部35に接続されており、回転部35とともに回転する。主軸チャック31は、ワーク40を把持することができる。主軸チャック31の例は、三爪チャック、コレットチャックである。ワーク40が加工される際には、主軸チャック31がワーク40を把持した状態で回転部35が回転して

ワーク４０を回転させる。回転部３５の例は、スピンドル機構である。

[0015] 工作機械２は、ワーク４０を回転部３５にロードする際には、ローダチャック３２でワーク４０の一方の端部を掴む。この状態でローダ３６は、Ｘ軸方向のマイナス側に移動し、主軸チャック３１に対向する位置で停止する（ｓ０）。そして、ローダ３６は、Ｚ軸方向のマイナス側に移動する。これにより、ローダ３６は、主軸チャック３１がワーク４０を掴むことができる位置までワーク４０を移動させる（ｓ１）。主軸チャック３１がワーク４０を掴むことができるローダ３６の位置が、所望の受け渡し位置である。工作機械２は、Ｍコードといった補助機能を用いて主軸チャック３１に閉動作の指令を与えて閉動作を開始させ（ｓ２）、閉動作の指令を与えた後、主軸チャック３１がワーク４０の把持を完了すると考えられる時間だけ待つ（ｓ３）。主軸チャック３１がワーク４０の把持を完了すると考えられる時間が、後述する把持待機時間６１である。把持待機時間６１が経過すると、主軸チャック３１によるワーク４０の他方の把持が完了する。

[0016] 第１の待機時間である把持待機時間６１が経過し、さらに主軸チャック３１がワーク４０を掴んだことが確認された後、工作機械２は、ローダチャック３２に開動作の指令を与えて開動作を開始させ（ｓ４）、開動作の指令を与えた後、ローダチャック３２がワーク４０の開放を完了すると考えられる時間だけ待つ（ｓ５）。ローダチャック３２がワーク４０の開放を完了すると考えられる時間が、後述する開放待機時間６２である。第２の待機時間である開放待機時間６２が経過すると、ローダチャック３２によるワーク４０の開放が完了する。開放待機時間６２が経過し、さらにローダチャック３２がワーク４０を開放したことが確認された後、ローダ３６は、Ｚ軸方向のプラス側に移動する。これにより、ローダ３６は、ワーク４０から遠ざかる方向へ退避し（ｓ６）、さらにＸ軸方向のプラス側に移動する。

[0017] 工作機械２は、ワーク４０の加工が完了すると、上述したｓ０からｓ６の処理と逆順の処理によってワーク４０を回転部３５からアンロードする。この場合において、ｓ０からｓ６の各処理自体は、逆方向の処理となる。すな

わち、s 0 および s 6 の処理では、ローダ 3 6 の移動方向は、ロード時とアンロード時とで逆方向になる。また、アンロード時には、ローダチャック 3 2 の閉動作と、主軸チャック 3 1 の開動作とが行われる。

[0018] 具体的には、アンロードの際には、ローダ 3 6 は、X 軸方向のマイナス側に移動し、さらにワーク 4 0 に近づく方向へ移動する。そして、ローダチャック 3 2 は、閉動作を開始し、把持待機時間 6 1 だけ待つ。把持待機時間 6 1 が経過し、ローダチャック 3 2 がワーク 4 0 を掴んだことが確認された後、主軸チャック 3 1 が開動作を開始し、開放待機時間 6 2 だけ待つ。開放待機時間 6 2 が経過し、主軸チャック 3 1 がワーク 4 0 を開放したことが確認された後、ローダ 3 6 は、ワーク 4 0 から遠ざかる方向へ退避し、さらに X 軸方向のプラス側に移動する。

[0019] なお、ワーク 4 0 を回転部 3 5 にロードする際の把持待機時間 6 1 と、ワーク 4 0 を回転部 3 5 からアンロードする際の把持待機時間 6 1 とは、異なる時間であってもよい。また、ワーク 4 0 を回転部 3 5 にロードする際の開放待機時間 6 2 と、ワーク 4 0 を回転部 3 5 からアンロードする際の開放待機時間 6 2 とは、異なる時間であってもよい。ワーク 4 0 を回転部 3 5 にロードする処理と、ワーク 4 0 を回転部 3 5 からアンロードする処理とは同様の処理であるので、以下では、ワーク 4 0 を回転部 3 5 にロードする処理について説明する。

[0020] 工作機械 2 は、ワーク 4 0 を掴む処理、搬送処理などにおいて、機械特有の癖を有している。このため、主軸チャック 3 1 に閉動作の指令を与えてから閉動作が完了するまでの時間、およびローダチャック 3 2 に開動作の指令を与えてから開動作が完了するまでの時間は、工作機械 2 毎に異なる。

[0021] 本実施の形態では、制御システム 3 が備える後述の数値制御 (NC : Numerical Control) 装置 1 0 が、ローダチャック 3 2 が主軸チャック 3 1 へワーク 4 0 を渡そうとする際に用いられる適切な把持待機時間 6 1 および開放待機時間 6 2 を学習する。すなわち、数値制御装置 1 0 が、把持待機時間 6 1 および開放待機時間 6 2 を学習することによって、無駄な待機時間を減らし

、これにより、ワーク４０の受け渡し時間を短縮化する。なお、制御システム３は、把持待機時間６１および開放待機時間６２の一方を学習してもよい。すなわち、制御システム３は、把持待機時間６１および開放待機時間６２の少なくとも一方を学習する。

[0022] つぎに、工作機械２の動作を制御する数値制御装置１０の構成について説明する。図２は、実施の形態にかかる数値制御装置を備えた制御システムの構成を示す図である。制御システム３は、数値制御装置１０と、ドライブユニット３７と、サーボモータ３８とを備えている。図２に示すローダ３６、ローダチャック３２、主軸チャック３１は、工作機械２の構成要素である。

[0023] 数値制御装置１０は、ドライブユニット３７に位置指令５３を送ることによってローダ３６の位置を制御するコンピュータである。数値制御装置１０がドライブユニット３７に送る位置指令５３は、ローダ３６の位置を指定した指令であり、Ｘ軸方向の位置指令とＺ軸方向の位置指令とが含まれている。数値制御装置１０は、ローダチャック３２から主軸チャック３１へのワーク４０の受け渡しを制御するとともに、受け渡しに失敗した場合には、把持待機時間６１および開放待機時間６２を変更して再度の受け渡しを制御する。

[0024] 数値制御装置１０は、把持待機時間６１の後にローダチャック３２をＺ軸方向のプラス側に引き戻し、引き戻し時にサーボモータ３８に送られる電流の電流値に基づいて、適切な把持待機時間６１を学習する。また、数値制御装置１０は、開放待機時間６２の後にローダチャック３２をＺ軸方向のプラス側に引き戻し、引き戻し時にサーボモータ３８に送られる電流の電流値に基づいて、適切な開放待機時間６２を学習する。

[0025] ドライブユニット３７は、サーボモータ３８を駆動することによってローダ３６を移動させる駆動機構である。ドライブユニット３７は、数値制御装置１０からの位置指令５３に基づいて、サーボモータ３８に送る電流値を算出する。ドライブユニット３７は、位置指令５３に対応する電流をサーボモータ３８に送ることによってサーボモータ３８を駆動する。ドライブユニッ

ト 3 7 は、サーボモータ 3 8 に送る電流を示すデータであるフィードバック（F B : Feed-Back）電流 5 5 を数値制御装置 1 0 に送る。

[0026] サーボモータ 3 8 は、ローダ 3 6 に接続されており、ドライブユニット 3 7 からの電流に従ってローダ 3 6 を移動させる。サーボモータ 3 8 は、ローダ 3 6 を X 軸方向に移動させるサーボモータと、ローダ 3 6 を Z 軸方向に移動させるサーボモータとを含んでいる。

[0027] 数値制御装置 1 0 は、制御加工プログラム記憶部 1 1 と、解析部 1 2 と、制御部 1 3 と、記憶部 1 4 と、シーケンス制御部 1 5 と、機械学習装置 2 0 とを備えている。制御加工プログラム記憶部 1 1 は、ワーク 4 0 を加工する際に用いられる制御加工プログラムを記憶する。制御加工プログラムには、ワーク 4 0 を回転部 3 5 にロードするためのローディング指令 6 0 と、ワーク 4 0 を加工するための加工指令と、ワーク 4 0 を回転部 3 5 からアンロードするためのアンローディング指令とが含まれている。図 2 では、ローディング指令 6 0 を図示している。これらの指令のうち、ローディング指令 6 0 およびアンローディング指令が、ワーク 4 0 の受け渡しを行うための専用指令である。ローディング指令 6 0 は、ローダ 3 6 の位置決めを行うための G コード 5 1 として解析部 1 2 に送られる。

[0028] 解析部 1 2 は、制御加工プログラムを解析する。解析部 1 2 は、解析した指令が専用指令であるか否かを判別し、ローディング指令 6 0 といった専用指令である場合には、G コード 5 1 に基づいて、ワーク 4 0 を受け渡す位置を示す受け渡し位置情報 5 2 と、把持待機時間 6 1 と、開放待機時間 6 2 とを生成する。受け渡し位置情報 5 2 は、ローダチャック 3 2 と主軸チャック 3 1 との間のチャック間でワーク 4 0 を受け渡す位置の情報である。具体的には、受け渡し位置情報 5 2 は、ローダ 3 6 の終点である。ワーク 4 0 の初回の受け渡し実行時には、受け渡し動作に用いられる情報が、専用指令の引数によって設定される。

[0029] 専用指令は、下記の（A 1）から（A 9）の指令引数を含んでいる。

（A 1）把持待機時間 6 1

(A 2) 開放待機時間 6 2

(A 3) 把持完了と判定するか否かの基準である基準電流値 C 1

(A 4) 把持の確認動作に用いるローダチャック 3 2 の移動量 L 1

(A 5) 開放完了と判定するか否かの基準である基準電流値 C 2

(A 6) 開放の確認動作に用いるローダチャック 3 2 の移動量 L 2

(A 7) 主軸チャック 3 1 への開閉補助機能の機能番号 X 1, X 2

(A 8) ロータチャック 3 2 への開閉補助機能の機能番号 Y 1, Y 2

(A 9) ワーク 4 0 の受け渡し位置情報 5 2 であるローダ 3 6 の終点

[0030] 上述した (A 1) の把持待機時間 6 1 は、主軸チャック 3 1 に閉動作の指令を与えてから、主軸チャック 3 1 による把持が完了したことの確認動作を行うための指令を与えるまでの待ち時間である。

[0031] (A 2) の開放待機時間 6 2 は、ローダチャック 3 2 に開動作の指令を与えてから、主軸チャック 3 1 が開放を完了したことの確認動作を行うための指令を与えるまでの待ち時間である。

[0032] (A 3) の基準電流値 C 1 は、主軸チャック 3 1 による把持が完了したか否かを判定するための値であり、サーボモータ 3 8 へ送られる電流の F B 電流 5 5 と比較される。本実施の形態の F B 電流 5 5 は、サーボモータ 3 8 のうち、ローダ 3 6 を Z 軸方向に移動させるサーボモータへ送られる電流を示している。基準電流値 C 1 よりも小さな F B 電流 5 5 がサーボモータ 3 8 へ送られるような場合は、主軸チャック 3 1 がワーク 4 0 を掴んでおらず、ローダチャック 3 2 がワーク 4 0 を引き戻してしまう場合である。

[0033] (A 4) の移動量 L 1 は、主軸チャック 3 1 による把持が完了したことを確認するために、ワーク 4 0 を掴んだままのローダチャック 3 2 を Z 軸方向のプラス側に引き戻す距離である。

[0034] (A 5) の基準電流値 C 2 は、ローダチャック 3 2 が開放を完了したか否かを判定するための値であり、サーボモータ 3 8 へ送られる電流の F B 電流 5 5 と比較される。この基準電流値 C 2 よりも大きな F B 電流 5 5 がサーボモータ 3 8 へ送られるような場合は、ローダチャック 3 2 がワーク 4 0 を開

放しておらず、ローダチャック３２がワーク４０を引き戻そうとする場合である。

[0035] (Ａ６)の移動量Ｌ２は、ローダチャック３２による開放が完了したことを確認するために、ローダチャック３２をＺ軸方向のプラス側に引き戻す距離である。

[0036] (Ａ７)の機能番号Ｘ１は、主軸チャック３１への開指令である主軸開指令６３を示す番号であり、機能番号Ｘ２は、主軸チャック３１への閉指令である主軸閉指令６４を示す番号である。また、(Ａ８)の機能番号Ｙ１は、ローダチャック３２への開指令であるローダ開指令６５を示す番号であり、機能番号Ｙ２は、ローダチャック３２への閉指令であるローダ閉指令６６を示す番号である。また、(Ａ９)の受け渡し位置情報５２には、Ｘ座標とＺ座標とが含まれている。

[0037] 解析部１２は、(Ａ１)把持待機時間６１と、(Ａ２)の開放待機時間６２と、(Ａ４)の移動量Ｌ１と、(Ａ６)の移動量Ｌ２と、(Ａ７)の機能番号Ｘ１、Ｘ２と、(Ａ８)の機能番号Ｙ１、Ｙ２と、(Ａ９)の受け渡し位置情報５２とを制御部１３に送る。また、解析部１２は、(Ａ３)の基準電流値Ｃ１と、(Ａ５)の基準電流値Ｃ２とを機械学習装置２０に送る。なお、解析部１２は、専用指令から指令引数の値を取得する場合に限らず、パラメータから指令引数に対応する値を取得してもよい。この場合、指令引数に対応する情報をパラメータとして記憶部１４に格納しておく。

[0038] 制御部１３は、解析部１２から送られてくる受け渡し位置情報５２に従って位置指令５３を生成する。制御部１３は、位置指令５３をドライブユニット３７に送る。また、制御部１３は、ワーク４０の初回の受け渡し時には、解析部１２から送られてくる把持待機時間６１および開放待機時間６２に従って、主軸開指令６３、主軸閉指令６４、ローダ開指令６５、およびローダ閉指令６６を生成し、シーケンス制御部１５に送る。制御部１３は、ソフトウェアタイマによって、把持待機時間６１および開放待機時間６２で指定された時間を計測する。以下の説明では、主軸開指令６３、主軸閉指令６４、

ローダ開指令 65、またはローダ閉指令 66 を開閉指令という場合がある。

[0039] また、制御部 13 は、ワーク 40 の 2 回目以降の受け渡し時には、機械学習装置 20 から与えられる行動 58A、58B に従って、開閉指令を生成する。行動 58A は、次回の把持待機時間 61 であり、行動 58B は、次の開放待機時間 62 である。制御部 13 は、実際に用いた把持待機時間 61 および開放待機時間 62 を機械学習装置 20 に送る。

[0040] 制御部 13 は、解析部 12 から機能番号 X1 が指定された指示を受けた場合には、機能番号 X1 に対応する主軸開指令 63 を生成し、シーケンス制御部 15 に送る。また、制御部 13 は、解析部 12 から機能番号 X2 が指定された指示を受けた場合には、機能番号 X2 に対応する主軸閉指令 64 を生成し、シーケンス制御部 15 に送る。また、制御部 13 は、解析部 12 から機能番号 Y1 が指定された指示を受けた場合には、機能番号 Y1 に対応するローダ開指令 65 を生成し、シーケンス制御部 15 に送る。また、制御部 13 は、解析部 12 から機能番号 Y2 が指定された指示を受けた場合には、機能番号 Y2 に対応するローダ閉指令 66 を生成し、シーケンス制御部 15 に送る。

[0041] 制御部 13 は、主軸チャック 31 を閉動作させた後に、機械学習装置 20 から FB 電流 55 が基準電流値 C1 以上であることを示す通知を受けると、ローダチャック 32 の開動作を開始させる。

[0042] 制御部 13 は、主軸チャック 31 を閉動作させた後に、機械学習装置 20 から FB 電流 55 が基準電流値 C1 よりも小さいことを示す通知を受けると、主軸チャック 31 を開動作させ、その後、主軸チャック 31 の閉動作を再実行させる。

[0043] 制御部 13 は、ローダチャック 32 を開動作させた後に、機械学習装置 20 から FB 電流 55 が基準電流値 C2 以下であることを示す通知を受けると、ローダ 36 の退避動作を開始させる。

[0044] 制御部 13 は、ローダチャック 32 を開動作させた後に、機械学習装置 20 から FB 電流 55 が基準電流値 C2 よりも大きいことを示す通知を受ける

と、シーケンス制御部 15 にローダチャック 32 を閉動作させ、その後、シーケンス制御部 15 にローダチャック 32 の開動作を再実行させる。

[0045] 機械学習装置 20 は、状態観測部 25 と、学習部 21 とを備えている。状態観測部 25 は、解析部 12 から、指令引数のうちの (A3) の基準電流値 C1 と (A5) の基準電流値 C2 とを取得する。

[0046] 状態観測部 25 は、制御部 13 から把持待機時間 61 および開放待機時間 62 を取得し、ドライブユニット 37 から FB 電流 55 を取得する。状態観測部 25 は、主軸チャック 31 によるワーク 40 の把持が完了しているか否かを判定する際には、FB 電流 55 および基準電流値 C1 を用いる。また、状態観測部 25 は、ローダチャック 32 によるワーク 40 の開放が完了しているか否かを判定する際には、FB 電流 55 および基準電流値 C2 を用いる。

[0047] また、学習部 21 が把持待機時間 61 および開放待機時間 62 を学習する際には、状態観測部 25 は、把持待機時間 61 と、把持動作時の FB 電流 55 とを状態変数 56A として観測し、開放待機時間 62 と、開放動作時の FB 電流 55 とを状態変数 56B として観測し、観測結果である状態変数 56A, 56B を学習部 21 に送る。すなわち、状態観測部 25 が学習部 21 に送る状態変数 56A には、把持待機時間 61 および把持動作時の FB 電流 55 が含まれ、状態変数 56B には、開放待機時間 62 および開放動作時の FB 電流 55 が含まれている。

[0048] 把持待機時間 61 が短すぎる場合には、主軸チャック 31 がワーク 40 を把持する前に、ローダチャック 32 がワーク 40 を Z 軸方向のプラス側へ引き戻すので FB 電流 55 は基準電流値 C1 よりも小さくなる。一方、把持待機時間 61 が十分な長さである場合には、主軸チャック 31 がワーク 40 を把持した後に、ローダチャック 32 がワーク 40 を Z 軸方向のプラス側へ引き戻そうとするので FB 電流 55 が基準電流値 C1 以上となる。

[0049] また、開放待機時間 62 が短すぎる場合には、ローダチャック 32 がワーク 40 を開放する前に、ローダチャック 32 がワーク 40 を Z 軸方向のプラ

ス側へ引き戻そうとするのでF B電流55が基準電流値C1よりも大きくなる。一方、開放待機時間62が十分な長さである場合には、ローダチャック32がワーク40を開放した後に、ローダチャック32がワーク40をZ軸方向のプラス側へ引き戻すのでF B電流55が基準電流値C1以下となる。

[0050] したがって、状態観測部25は、主軸チャック31の閉動作中のF B電流55が基準電流値C1よりも小さい場合には、主軸チャック31がワーク40の把持を完了していない、すなわち把持に失敗したと判定する。また、状態観測部25は、ローダチャック32の開動作中のF B電流55が基準電流値C2よりも大きい場合には、ローダチャック32がワーク40の開放を完了していない、すなわち開放に失敗したと判定する。状態観測部25は、把持の判定結果および開放の判定結果を制御部13に送る。

[0051] 学習部21は、状態変数56Aに従って、次回の把持待機時間61である行動58Aを学習し、状態変数56Bに従って、次回の開放待機時間62である行動58Bを学習する。すなわち、学習部21は、主軸チャック31がワーク40の把持を完了できて、且つ把持待機時間61を短くすることができる把持待機時間61と、ローダチャック32がワーク40の開放を完了できて、且つ開放待機時間62を短くすることができる開放待機時間62を学習する。

[0052] 具体的には、学習部21は、把持待機時間61と把持動作時のF B電流55とを含んだ状態変数56Aに基づいて作成されるデータセットに従って、行動58Aを学習する。また、学習部21は、開放待機時間62と開放動作時のF B電流55とを含んだ状態変数56Bに基づいて作成されるデータセットに従って、行動58Bを学習する。学習部21は、関数更新部22と、報酬計算部23とを備えている。

[0053] 報酬計算部23は、状態変数56Aに基づいて報酬57Aを計算し、状態変数56Bに基づいて報酬57Bを計算する。すなわち、報酬計算部23は、把持待機時間61および把持動作時のF B電流55に基づいて、把持動作の報酬57Aを計算し、開放待機時間62および開放動作時のF B電流55

に基づいて、開放動作の報酬 57B を計算する。報酬計算部 23 は、把持待機時間 61 が短いほど把持動作の報酬 57A を増大させる。また、報酬計算部 23 は、開放待機時間 62 が短いほど開放動作の報酬 57B を増大させる。

[0054] 関数更新部 22 は、行動 58A, 58B を決定するための関数を記憶しており、報酬 57A に基づいて行動 58A を決定するための関数を更新し、報酬 57B に基づいて行動 58B を決定するための関数を更新する。行動 58A, 58B を決定するための関数の例は、後述する行動価値関数 $Q(s_t, a_t)$ である。本実施の形態の関数更新部 22 は、工作機械 2 でワーク 40 の受け渡し動作が繰り返されるたびに、把持待機時間 61 および開放待機時間 62 が短くなるよう、行動価値関数 $Q(s, a)$ を更新する。関数更新部 22 は、更新した行動価値関数 $Q(s, a)$ を用いて行動 58A, 58B を算出する。関数更新部 22 は、算出した行動 58A, 58B を制御部 13 に送り、前回までの学習データ、学習に用いるデータおよびローダ 36 の制御に必要なデータを記憶部 14 に送る。学習データの例は、受け渡しに成功した場合に算出された次回用の把持待機時間 61 および開放待機時間 62 であり、学習に用いるデータの例は、学習部 21 が学習の際に用いる行動価値関数 $Q(s, a)$ である。ローダ 36 の制御に用いるデータの例は、上述した専用指令の (A1) から (A6) である。記憶部 14 は、前回までの学習データ、学習に用いるデータおよび制御部 13 によるローダ 36 の制御に必要なデータを記憶する。なお、行動 58A を決定するための行動価値関数 $Q(s_t, a_t)$ と、行動 58B を決定するための行動価値関数 $Q(s_t, a_t)$ とは、異なる関数であってもよい。

[0055] つぎに、工作システム 1 の動作手順について説明する。図 3 は、実施の形態にかかる工作システムの動作手順を示すフローチャートである。数値制御装置 10 は、ローディング指令 60 を読み出すと、ワーク 40 の受け渡しが初めてである場合、すなわち未学習の場合、上述の (A9) の位置指令 53 で指令された受け渡し位置へのローダ 36 の移動を開始する (ステップ S T

10)。このとき、制御部13は、ドライブユニット37に位置指令53を送る。これにより、ローダチャック32がワーク40を掴んだ状態でローダ36がX軸方向へ移動し、その後、Z軸方向に移動する。

[0056] ワーク40が移動を開始すると、ドライブユニット37は、特定の周期毎にFB電流55を取得して、状態観測部25に送る。これにより、状態観測部25は、FB電流55を監視する。

[0057] 制御部13は、シーケンス制御部15に主軸閉指令64を送り、シーケンス制御部15が主軸チャック31に閉動作を開始させる（ステップST11）。そして、制御部13は、把持待機時間61だけ待つ（ステップST12）。このとき、制御部13は、把持待機時間61を状態観測部25に送る。なお、ワーク40の受け渡しが初めてである場合、すなわち未学習の場合、制御部13は、上述の（A1）の把持待機時間61だけ待つ。ワーク40の2回目以降の受け渡し時には、制御部13は、機械学習装置20から与えられる次の把持待機時間61である行動58Aだけ待つ。

[0058] 把持待機時間61が経過すると、制御部13は、把持の確認動作を実行する（ステップST13）。具体的には、制御部13は、ローダチャック32をZ軸方向のプラス側に移動量L1だけ引き戻すための位置指令をドライブユニット37に送る。状態観測部25は、この時のFB電流55と、基準電流値C1とを含んだ状態変数56Aを学習部21に送る。これにより、学習部21は、状態変数56Aに従って、適切な把持待機時間61を学習する（ステップST14）。ワーク40の把持が失敗である場合、学習部21は、受け渡しに用いた把持待機時間61に対して小さな値の報酬57Aを設定し、ワーク40の把持が成功である場合、学習部21は、受け渡しに用いた把持待機時間61に対して大きな値の報酬57Aを設定する。そして、学習部21は、把持動作の報酬57Aが最大となるよう、次の把持待機時間61である行動58Aを決定する。

[0059] すなわち、数値制御装置10は、ある設定の把持待機時間61でワーク40の受け渡しを実行させてみて、把持の動作確認で把持が成功した場合には

、もっと短い把持待機時間 6 1 を設定し、把持の動作確認で把持が失敗した場合には、もっと長い把持待機時間 6 1 を設定する。数値制御装置 1 0 は、これらの設定処理を繰り返して学習し、学習した結果を利用して、本番の製品加工の受け渡し時には最適な把持待機時間 6 1 で受け渡しを行うようにする。このように、数値制御装置 1 0 は、把持待機時間 6 1 が減っていくように、把持待機時間 6 1 を学習していく。数値制御装置 1 0 は、本番の製品加工を実行する前に把持待機時間 6 1 を学習してもよいし、本番の製品加工を実行する際に把持待機時間 6 1 を学習してもよい。また、数値制御装置 1 0 は、本番の製品加工を実行する前と本番の製品加工を実行する際との両方で把持待機時間 6 1 を学習してもよい。

[0060] また、状態観測部 2 5 は、把持の確認動作を実行した際の F B 電流 5 5 が、基準電流値 C 1 以上であるか否かを判定する（ステップ S T 1 5）。F B 電流 5 5 が基準電流値 C 1 よりも小さい場合（ステップ S T 1 5、N o）、制御部 1 3 は、主軸開指令 6 3 を主軸チャック 3 1 に送ることによって主軸チャック 3 1 を開かせる（ステップ S T 1 6）。

[0061] この後、工作システム 1 は、ステップ S T 1 1 から S T 1 5 の処理を繰り返す。そして、F B 電流 5 5 が基準電流値 C 1 以上になると（ステップ S T 1 5、Y e s）、制御部 1 3 は、シーケンス制御部 1 5 にローダ開指令 6 5 を送り、シーケンス制御部 1 5 がローダチャック 3 2 に開動作を開始させる（ステップ S T 2 1）。そして、制御部 1 3 は、開放待機時間 6 2 だけ待つ（ステップ S T 2 2）。このとき、制御部 1 3 は、開放待機時間 6 2 を状態観測部 2 5 に送る。なお、ワーク 4 0 の受け渡しが初めてである場合、すなわち未学習の場合、制御部 1 3 は、上述の（A 2）の開放待機時間 6 2 だけ待つ。ワーク 4 0 の 2 回目以降の受け渡し時には、制御部 1 3 は、機械学習装置 2 0 から与えられる次の開放待機時間 6 2 である行動 5 8 B だけ待つ。

[0062] 開放待機時間 6 2 が経過すると、制御部 1 3 は、開放の確認動作を実行する（ステップ S T 2 3）。具体的には、制御部 1 3 は、ローダチャック 3 2

をZ軸方向のプラス側に移動量L 2だけ引き戻すための位置指令をドライブユニット3 7に送る。状態観測部2 5は、この時のF B電流5 5と、基準電流値C 2とを含んだ状態変数5 6 Bを学習部2 1に送る。これにより、学習部2 1は、状態変数5 6 Bに従って、適切な開放待機時間6 2を学習する（ステップS T 2 4）。ワーク4 0の開放が失敗である場合、学習部2 1は、受け渡しに用いた開放待機時間6 2に対して小さな値の報酬5 7 Bを設定し、ワーク4 0の開放が成功である場合、学習部2 1は、受け渡しに用いた開放待機時間6 2に対して大きな値の報酬5 7 Bを設定する。そして、学習部2 1は、開放動作の報酬5 7 Bが最大となるよう、次の開放待機時間6 2である行動5 8 Bを決定する。

[0063] すなわち、数値制御装置1 0は、ある設定の開放待機時間6 2でワーク4 0の受け渡しを実行させてみて、開放の動作確認で開放が成功した場合には、もっと短い開放待機時間6 2を設定し、開放の動作確認で開放が失敗した場合には、もっと長い開放待機時間6 2を設定する。数値制御装置1 0は、これらの設定処理を繰り返して学習し、学習した結果を利用して、本番の製品加工の受け渡し時には最適な開放待機時間6 2で受け渡しを行うようにする。このように、数値制御装置1 0は、開放待機時間6 2が減っていくように、開放待機時間6 2を学習していく。数値制御装置1 0は、本番の製品加工を実行する前に開放待機時間6 2を学習してもよいし、本番の製品加工を実行する際に開放待機時間6 2を学習してもよい。また、数値制御装置1 0は、本番の製品加工を実行する前と本番の製品加工を実行する際との両方で開放待機時間6 2を学習してもよい。

[0064] また、状態観測部2 5は、開放の確認動作を実行した際のF B電流5 5が、基準電流値C 2以下であるか否かを判定する（ステップS T 2 5）。F B電流5 5が基準電流値C 2よりも大きい場合（ステップS T 2 5、N o）、制御部1 3は、ローダ閉指令6 6をローダチャック3 2に送ることによってローダチャック3 2を閉じさせる（ステップS T 2 6）。

[0065] この後、工作システム1は、ステップS T 2 1からS T 2 5の処理を繰り返す。

返す。そして、F B 電流 5 5 が基準電流値 C 2 以下になると（ステップ S T 2 5、Y e s）、制御部 1 3 は、ローダ 3 6 を Z 軸方向のプラス側に退避させる（ステップ S T 3 0）。これにより、専用指令のシーケンスが完了する。

[0066] なお、機械学習装置 2 0 は、把持待機時間 6 1 および開放待機時間 6 2 の学習を、毎回の受け渡しにて行う必要はない。機械学習装置 2 0 は、ワーク 4 0 の受け渡しに対し、特定回数に 1 回の割合で把持待機時間 6 1 および開放待機時間 6 2 を学習すればよい。機械学習装置 2 0 は、報酬 5 7 A, 5 7 B、把持待機時間 6 1 または開放待機時間 6 2 の変更量に応じて、学習頻度を変更してもよい。

[0067] なお、機械学習装置 2 0 は、ワーク 4 0 が主軸チャック 3 1 からローダ 3 6 へアンロードされる際にも、ワーク 4 0 がローダ 3 6 から主軸チャック 3 1 にロードされる場合と同様の処理によって把持待機時間 6 1 および開放待機時間 6 2 を学習する。

[0068] ここで学習部 2 1 による行動 5 8 A, 5 8 B の学習処理について説明する。学習部 2 1 に用いる学習アルゴリズムは、何れの学習アルゴリズムであってもよい。ここでは、学習アルゴリズムに、強化学習（Reinforcement Learning）を適用した場合について説明する。強化学習は、ある環境内における行動主体であるエージェントが、状態変数 5 6 A, 5 6 B で示される現在の状態を観測し、観測結果に基づいて取るべき行動 5 8 A, 5 8 B を決定するというものである。エージェントは、行動 5 8 A, 5 8 B を選択することで環境から報酬 5 7 A, 5 7 B を得て、一連の行動 5 8 A, 5 8 B を通じて報酬 5 7 A, 5 7 B が最も多く得られるような方策を学習する。強化学習の代表的な手法として、Q 学習（Q-Learning）および T D 学習（TD-Learning）が知られている。例えば、Q 学習の場合、行動価値関数 $Q(s, a)$ の一般的な更新式（行動価値テーブル）は、以下の式（1）で表される。すなわち、行動価値テーブルの一例は、式（1）の行動価値関数 $Q(s, a)$ である。

[0069]

[数1]

$$Q(s_t, a_t) \leftarrow Q(s_t, a_t) + \alpha (r_{t+1} + \gamma \max_a Q(s_{t+1}, a) - Q(s_t, a_t)) \quad \dots(1)$$

[0070] 式(1)において、 s_t は時刻 t における環境を表し、 a_t は時刻 t における行動を表す。行動 a_t により、環境は s_{t+1} に変わる。 r_{t+1} はその環境の変化によってもらえる報酬57A、57Bを表し、 γ は割引率を表し、 α は学習係数を表す。Q学習を適用した場合、受け渡し動作の次の把持待機時間61および次の開放待機時間62が行動 a_t となる。

[0071] 式(1)で表される更新式は、時刻 $t+1$ における最良の行動 a の行動価値が、時刻 t において実行された行動 a の行動価値 Q よりも大きければ、行動価値 Q を大きくし、逆の場合は、行動価値 Q を小さくする。換言すれば、時刻 t における行動 a の行動価値 Q を、時刻 $t+1$ における最良の行動価値に近づけるように、行動価値関数 $Q(s, a)$ を更新する。それにより、ある環境における最良の行動価値が、それ以前の環境における行動価値に順次伝播していくようになる。

[0072] 報酬計算部23は、把持待機時間61および把持動作時のFB電流55に基づいて、把持動作の報酬57Aを計算し、開放待機時間62および開放動作時のFB電流55に基づいて、開放動作の報酬57Bを計算する。

[0073] 報酬計算部23は、これまで把持に成功した最短の把持待機時間61よりもさらに短い把持待機時間61でFB電流55が基準電流値C1以上となった場合には把持動作の報酬57Aを増大させる。このとき、報酬計算部23は、例えば「1」の報酬57Aを与える。また、報酬計算部23は、これまで開放に成功した最短の開放待機時間62よりもさらに短い開放待機時間62でFB電流55が基準電流値C2以下となった場合には開放動作の報酬57Bを増大させる。このとき、報酬計算部23は、例えば「1」の報酬57Bを与える。

[0074] 一方、報酬計算部23は、FB電流55が基準電流値C1よりも小さい場合には把持動作の報酬57Aを低減させる。このとき、報酬計算部23は、

例えば「－１」の報酬５７Ａを与える。また、報酬計算部２３は、ＦＢ電流５５が基準電流値Ｃ２よりも大きい場合には開放動作の報酬５７Ｂを減少させる。このとき、報酬計算部２３は、例えば「－１」の報酬５７Ｂを与える。

[0075] 報酬計算部２３は、例えば、把持待機時間６１が０であり、かつＦＢ電流５５が基準電流値Ｃ１以上であるときは、把持動作の報酬５７Ａを最大報酬とする。また、報酬計算部２３は、開放待機時間６２が０であり、かつＦＢ電流５５が基準電流値Ｃ２以下であるときは、開放動作の報酬５７Ｂを最大報酬とする。

[0076] 報酬計算部２３は、把持動作時のＦＢ電流５５が基準電流値Ｃ１よりも小さい場合には、把持の失敗とみなすため、把持動作の報酬５７Ａを最小報酬とする。また、報酬計算部２３は、開放動作時のＦＢ電流５５が基準電流値Ｃ２よりも大きい場合には、開放の失敗とみなすため、開放動作の報酬５７Ｂを最小報酬とする。報酬計算部２３は、計算した報酬５７Ａ，５７Ｂを関数更新部２２に送る。

[0077] 関数更新部２２は、報酬計算部２３によって計算された報酬５７Ａに従って行動５８Ａを決定するための関数を更新し、報酬計算部２３によって計算された報酬５７Ｂに従って行動５８Ｂを決定するための関数を更新する。例えばＱ学習の場合、式（１）で表される行動価値関数 $Q(s_t, a_t)$ が、行動５８Ａ，５８Ｂを計算するための関数であり、関数更新部２２によって更新される。

[0078] ここで、ローダ３６の回転軸であるローダ軸に沿ってローダチャック３２をＺ軸方向のプラス側に引き戻す量と、ＦＢ電流５５との関係について説明する。以下、ローダチャック３２への引き戻し量を指定した指令量をローダ引き戻し指令量という。図４は、実施の形態にかかる工作システムにおいて主軸チャックが把持を完了した場合のローダ引き戻し指令量とＦＢ電流との関係を示す図である。図４および後述する図５から図７では、横軸がローダ引き戻し指令量であり、縦軸がＦＢ電流５５である。

[0079] 主軸チャック 3 1 がワーク 4 0 の把持を完了している場合、工作機械 2 がローダチャック 3 2 を引き戻そうとすると、F B 電流 5 5 が増加する。具体的には、ローダチャック 3 2 が停止している状態からローダチャック 3 2 の引き戻しを開始すると、ローダ引き戻し指令量が増加するにしたがって F B 電流 5 5 も増加し、その後、F B 電流 5 5 が基準電流値 C 1 以上の値で一定になる。したがって、F B 電流 5 5 が基準電流値 C 1 以上となる場合には、状態観測部 2 5 は、主軸チャック 3 1 がワーク 4 0 の把持を完了したと判断できる。この場合、報酬計算部 2 3 は、把持待機時間 6 1 が短いほど報酬 5 7 A を増大させる。

[0080] 図 5 は、実施の形態にかかる工作システムにおいて主軸チャックが把持を完了していない場合のローダ引き戻し指令量と F B 電流との関係を示す図である。主軸チャック 3 1 がワーク 4 0 の把持を完了していない場合、工作機械 2 がローダチャック 3 2 を引き戻そうとすると、ローダチャック 3 2 は、小さな力でワーク 4 0 を引き戻すことができる。このため、F B 電流 5 5 は、基準電流値 C 1 よりも小さくなる。したがって、F B 電流 5 5 が基準電流値 C 1 よりも小さいままの場合には、状態観測部 2 5 は、主軸チャック 3 1 がワーク 4 0 の把持を完了していないと判断できる。この場合、報酬計算部 2 3 は、把持待機時間 6 1 の長さにかかわらず、報酬 5 7 A を減少させる。

[0081] 図 6 は、実施の形態にかかる工作システムにおいてローダチャックが開放を完了している場合のローダ引き戻し指令量と F B 電流との関係を示す図である。ローダチャック 3 2 がワーク 4 0 の開放を完了している場合、工作機械 2 がローダチャック 3 2 を引き戻そうとすると、ローダチャック 3 2 の加速に力を要するので F B 電流 5 5 が一時的に上昇する。ローダチャック 3 2 の速度が一定になると、ローダチャック 3 2 がワーク 4 0 を把持していないので、ローダチャック 3 2 の移動にはほとんど力を要せず、F B 電流 5 5 は略 0 となる。この後、ローダチャック 3 2 の引き戻しを終了しようとする、ローダチャック 3 2 の減速に力を要するので F B 電流 5 5 が一時的に上昇する。このように、ローダチャック 3 2 の加速と減速の際には、F B 電流 5

5が一時的に上昇するもののF B電流5 5は、基準電流値C 2以下のままである。したがって、F B電流5 5が基準電流値C 2以下の場合には、状態観測部2 5は、ローダチャック3 2がワーク4 0の開放を完了していると判断できる。この場合、報酬計算部2 3は、開放待機時間6 2が短いほど報酬5 7 Bを増大させる。

[0082] 図7は、実施の形態にかかる工作システムにおいてローダチャックが開放を完了していない場合のローダ引き戻し指令量とF B電流との関係を示す図である。ローダチャック3 2がワーク4 0の開放を完了していない場合、工作機械2がローダチャック3 2を引き戻そうとすると、ローダチャック3 2の加速に力を要するのでF B電流5 5が一時的に上昇する。このとき、ローダチャック3 2は、ワーク4 0を掴んだまま引き戻されるので、ワーク4 0を掴んでいない場合よりも、F B電流5 5が大きくなり、基準電流値C 2よりも大きくなる時間帯がある。したがって、F B電流5 5が基準電流値C 2よりも大きくなる場合には、状態観測部2 5は、ローダチャック3 2がワーク4 0の開放を完了していないと判断できる。この場合、報酬計算部2 3は、開放待機時間6 2の長さにかかわらず、報酬5 7 Bを減少させる。

[0083] このように、機械学習装置2 0が、主軸チャック3 1によってワーク4 0が把持されたか否かの確認を行い、ワーク4 0の把持が完了していない場合には、把持待機時間6 1に従ってワーク4 0の把持を再度実行させるので、把持待機時間6 1の修正を行うことができる。また、機械学習装置2 0が、把持待機時間6 1を学習するので、把持の失敗を防止することができる。また、機械学習装置2 0が、ワーク4 0の把持を再度実行させるとともに、把持の失敗を防止することができるので、工作機械2による生産性が向上する。

[0084] 同様に、機械学習装置2 0が、ローダチャック3 2によってワーク4 0が開放されたか否かの確認を行い、ワーク4 0の開放が完了していない場合には、開放待機時間6 2に従ってワーク4 0の開放を再度実行させるので、開放待機時間6 2の修正を行うことができる。また、機械学習装置2 0が、開

放待機時間 6 2 を学習するので、開放の失敗を防止することができる。また、機械学習装置 2 0 が、ワーク 4 0 の開放を再度実行させるとともに、開放の失敗を防止することができるので、工作機械 2 による生産性が向上する。

[0085] また、機械学習装置 2 0 が、F B 電流 5 5 に基づいて、ワーク 4 0 の把持および開放を判定しているので、ワーク 4 0 の把持および開放を確認するためのカメラといった特別な機構または装置を設ける必要がない。したがって、低コストでワーク 4 0 の把持および開放を確認することができる。

[0086] また、ワーク 4 0 の把持に失敗した場合には、機械学習装置 2 0 が、把持待機時間 6 1 に従ってワーク 4 0 の把持を再度実行させるので、把持待機時間 6 1 が短すぎた場合であっても人手で復旧は行う必要がない。

[0087] また、ワーク 4 0 の開放に失敗した場合には、機械学習装置 2 0 が、開放待機時間 6 2 に従ってワーク 4 0 の開放を再度実行させるので、開放待機時間 6 2 が短すぎた場合であっても人手で復旧は行う必要がない。したがって、ワーク 4 0 を受け渡しに要する時間を短縮することができ、生産性の悪化を抑制できる。

[0088] ここで、数値制御装置 1 0 のハードウェア構成について説明する。図 8 は、実施の形態にかかる数値制御装置のハードウェア構成例を示す図である。

[0089] 数値制御装置 1 0 は、図 8 に示した制御回路 3 0 0、すなわちプロセッサ 3 0 1、メモリ 3 0 2 により実現することができる。プロセッサ 3 0 1 の例は、C P U (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、プロセッサ、D S P (Digital Signal Processor) ともいう) またはシステム L S I (Large Scale Integration) である。メモリ 3 0 2 の例は、R A M (Random Access Memory)、R O M (Read Only Memory) である。

[0090] 数値制御装置 1 0 は、プロセッサ 3 0 1 が、メモリ 3 0 2 で記憶されている、数値制御装置 1 0 の動作を実行するためのプログラムを読み出して実行することにより実現される。また、このプログラムは、数値制御装置 1 0 の手順または方法をコンピュータに実行させるものであるともいえる。メモリ

302は、プロセッサ301が各種処理を実行する際の一時メモリにも使用される。

[0091] なお、数値制御装置10の機能について、一部を専用のハードウェアで実現し、一部をソフトウェアまたはファームウェアで実現するようにしてもよい。また、機械学習装置20を、図8に示した制御回路300によって実現してもよい。

[0092] なお、主軸チャック31が、電動式チャックである場合、主軸チャック31側でもワーク40の把持動作および開放動作を検出することができる。この場合、機械学習装置20は、主軸チャック31側で検出されたFB電流に基づいて、把持待機時間61および開放待機時間62を学習してもよい。

[0093] 本実施の形態では、機械学習装置20が、強化学習を利用して機械学習する場合について説明したが、機械学習装置20は、他の公知の方法、例えばニューラルネットワーク、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。

[0094] このように実施の形態によれば、状態変数56A、56Bに基づいて作成されるデータセットに従って、チャック間におけるワーク40の受け渡し時間を短縮する把持待機時間61および開放待機時間62を学習するので、ワーク40の受け渡しを短時間で完了させることができる。

[0095] 以上の実施の形態に示した構成は、本発明の内容の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、本発明の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

[0096] 1 工作システム、2 工作機械、3 制御システム、10 数値制御装置、11 制御加工プログラム記憶部、12 解析部、13 制御部、14 記憶部、15 シーケンス制御部、20 機械学習装置、21 学習部、22 関数更新部、23 報酬計算部、25 状態観測部、31 主軸チャック、32 ロータチャック、35 回転部、36 ロータ、37 ドライブユニット、38 サーボモータ、40 ワーク、52 受け渡し位置情報

、53 位置指令、55 FB電流、56A, 56B 状態変数、57A, 57B 報酬、58A, 58B 行動、61 把持待機時間、62 開放待機時間、63 主軸開指令、64 主軸閉指令、65 ロータ開指令、66 ロータ閉指令。

請求の範囲

[請求項1] ワークを掴んで送る第1のチャックと、前記ワークを掴んで受け取る第2のチャックとの間の前記ワークの受け渡し中の前記第2のチャックによる前記ワークの把持および前記第1のチャックによる前記ワークの開放の少なくとも一方に対する待機時間を学習する機械学習装置であって、

前記待機時間と、前記第1のチャックを移動させる駆動機構からのフィードバック電流と、を状態変数として観測する状態観測部と、

前記状態変数に基づいて作成されるデータセットに従って、前記ワークの受け渡し時間を短縮する前記待機時間を学習する学習部と、
を備える、

ことを特徴とする機械学習装置。

[請求項2] 請求項1に記載の機械学習装置と、

前記学習部が学習した前記待機時間に基づいて、前記第2のチャックによる前記ワークの把持と前記第1のチャックによる前記ワークの開放とを制御する制御部と、

を備えることを特徴とする数値制御装置。

[請求項3] 前記学習部は、

前記待機時間および前記フィードバック電流に基づいて報酬を計算する報酬計算部と、

前記報酬に基づいて、前記待機時間を決定するための関数を更新する関数更新部と、

を備えることを特徴とする請求項2に記載の数値制御装置。

[請求項4] 学習される前記待機時間は、前記第2のチャックによって前記ワークが把持される際の第1の待機時間であり、

前記報酬計算部は、前記フィードバック電流が第1の基準電流値以上である場合には、学習した第1の待機時間が、これまで学習してきた最短の第1の待機時間よりも短ければ前記報酬を増大させ、前記フ

ィードバック電流が前記第 1 の基準電流値よりも小さい場合には前記報酬を低減させる、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の数値制御装置。

[請求項 5] 前記状態観測部は、前記第 2 のチャックによって前記ワークが把持される際に前記フィードバック電流が前記第 1 の基準電流値よりも小さい場合、前記把持が失敗であると判定し、

前記把持が失敗であると判定されると、前記学習部は前記第 1 の待機時間を学習し、前記制御部は前記学習部が学習した前記第 1 の待機時間で前記把持の再試行を行う、

ことを特徴とする請求項 4 に記載の数値制御装置。

[請求項 6] 学習される前記待機時間は、前記第 1 のチャックによって前記ワークが開放される際の第 2 の待機時間であり、

前記報酬計算部は、前記フィードバック電流が第 2 の基準電流値以下である場合には、学習した第 2 の待機時間が、これまで学習してきた最短の第 2 の待機時間よりも短ければ前記報酬を増大させ、前記フィードバック電流が前記第 2 の基準電流値よりも大きい場合には前記報酬を低減させる、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の数値制御装置。

[請求項 7] 前記状態観測部は、前記第 1 のチャックによって前記ワークが開放される際に前記フィードバック電流が前記第 2 の基準電流値よりも大きい場合、前記開放が失敗であると判定し、

前記開放が失敗であると判定されると、前記学習部は前記第 2 の待機時間を学習し、前記制御部は前記学習部が学習した前記第 2 の待機時間で前記開放の再試行を行う、

ことを特徴とする請求項 6 に記載の数値制御装置。

[請求項 8] 前記関数更新部が、前記報酬に従って、前記関数を示す行動価値テーブルを更新する、

ことを特徴とする請求項 3 から 7 の何れか 1 つに記載の数値制御装

置。

[請求項9] 請求項2から請求項8のいずれか1つに記載の数値制御装置によって制御され、前記駆動機構によって駆動する、
ことを特徴とする工作機械。

[請求項10] ワークを掴んで送る第1のチャックと、前記ワークを掴んで受け取る第2のチャックとの間の前記ワークの受け渡し中の前記第2のチャックによる前記ワークの把持および前記第1のチャックによる前記ワークの開放の少なくとも一方に対する待機時間を学習する機械学習方法であって、

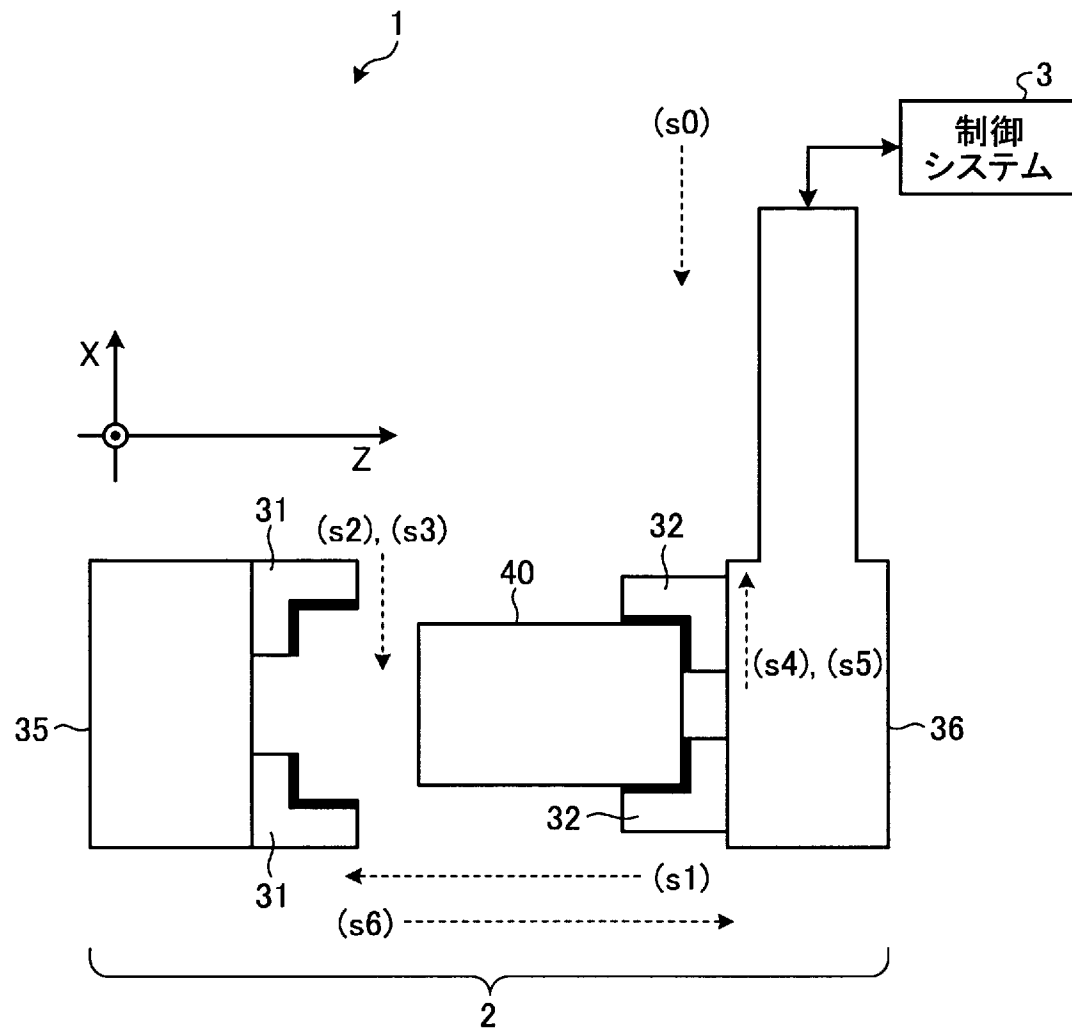
前記待機時間と、前記第1のチャックを移動させる駆動機構からのフィードバック電流と、を状態変数として観測する状態観測ステップと、

前記状態変数に基づいて作成されるデータセットに従って、前記ワークの受け渡し時間を短縮する前記待機時間を学習する学習部ステップと、

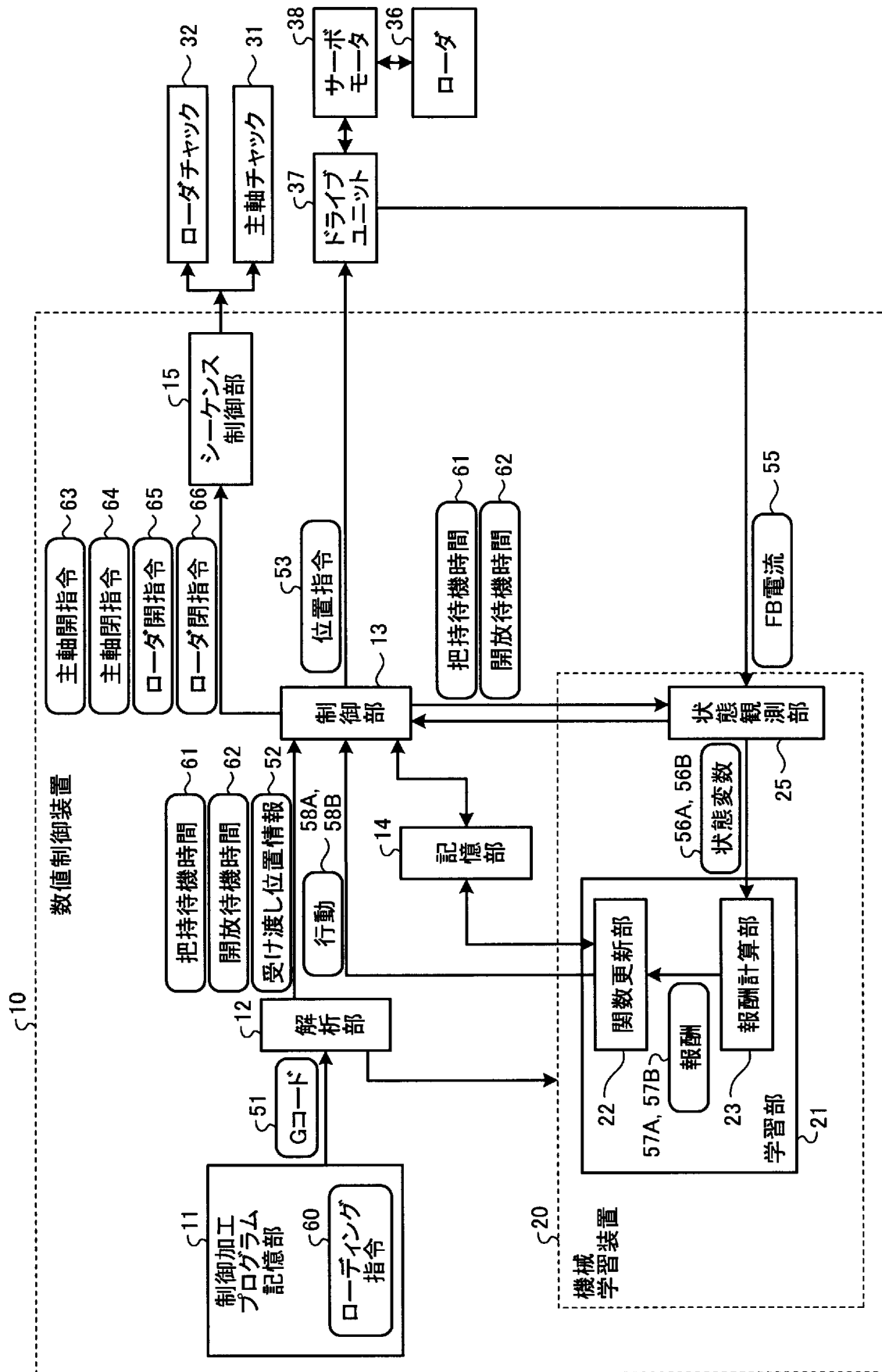
を含む、

ことを特徴とする機械学習方法。

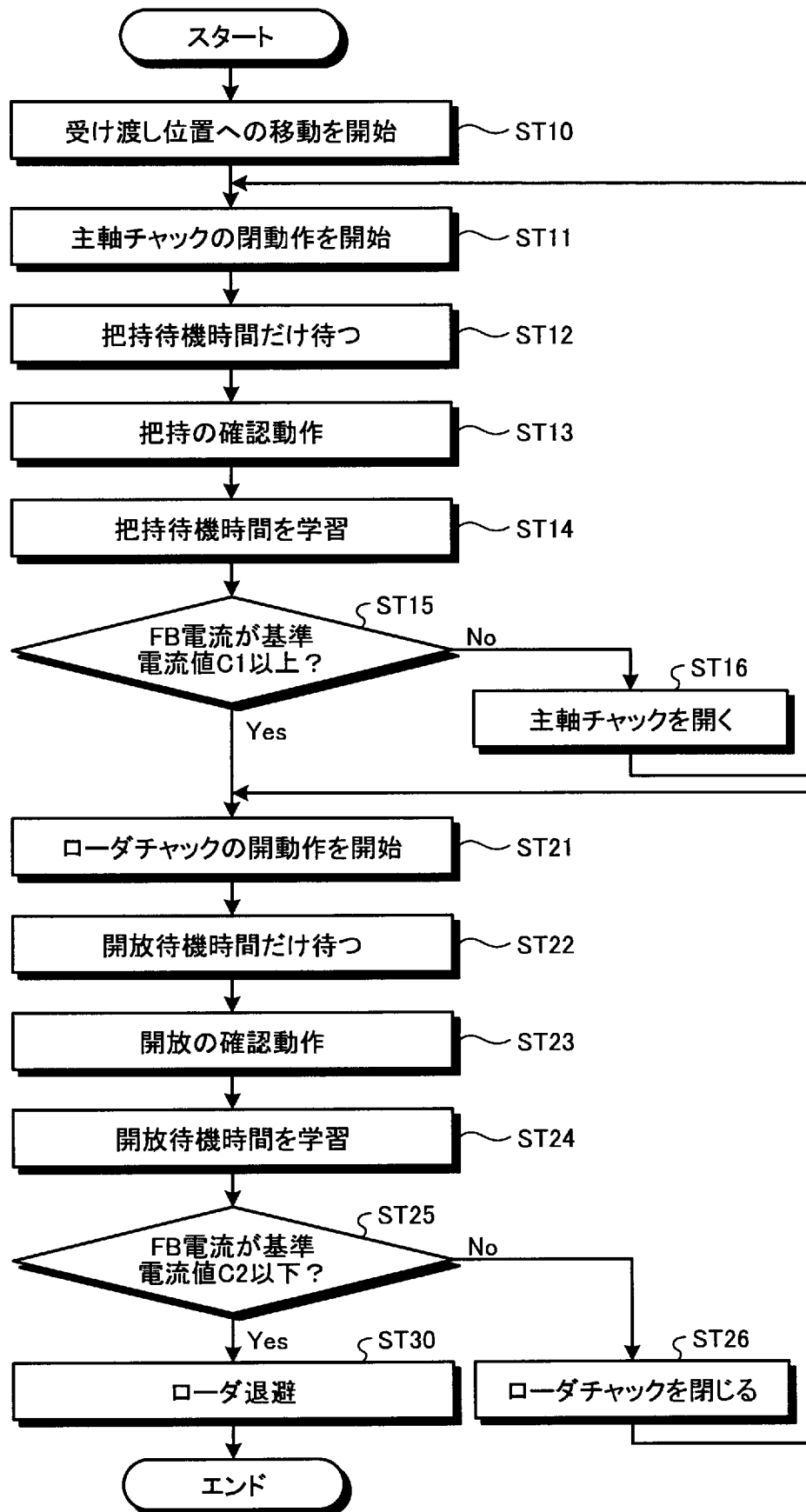
[図1]



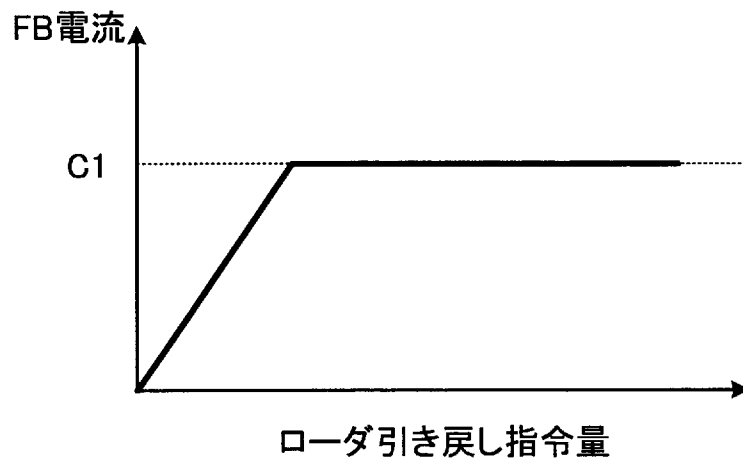
[図2]



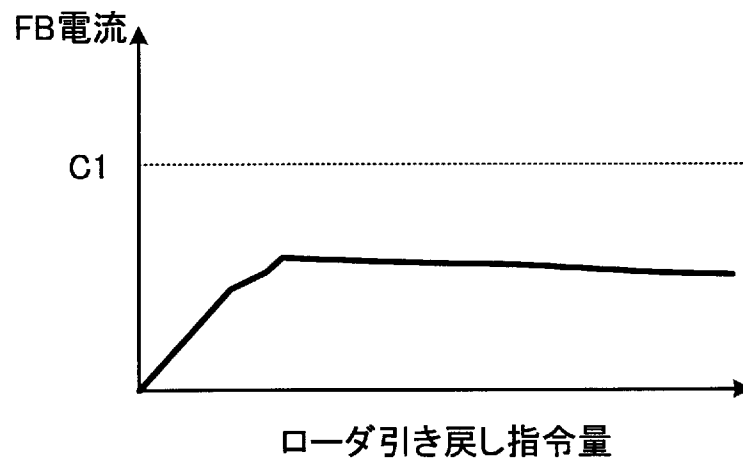
[図3]



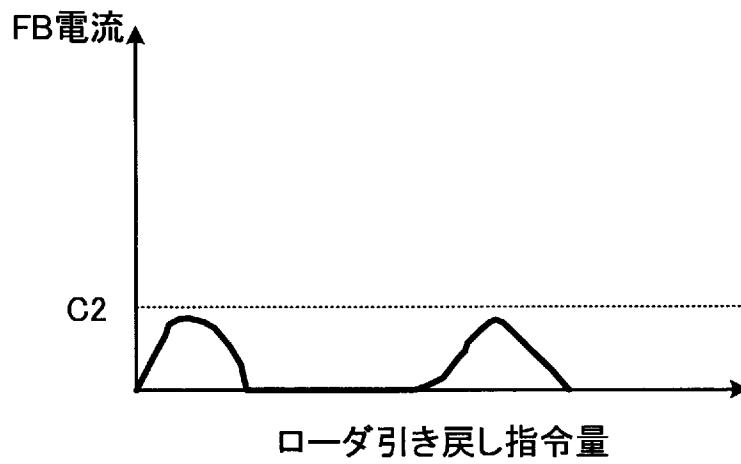
[図4]



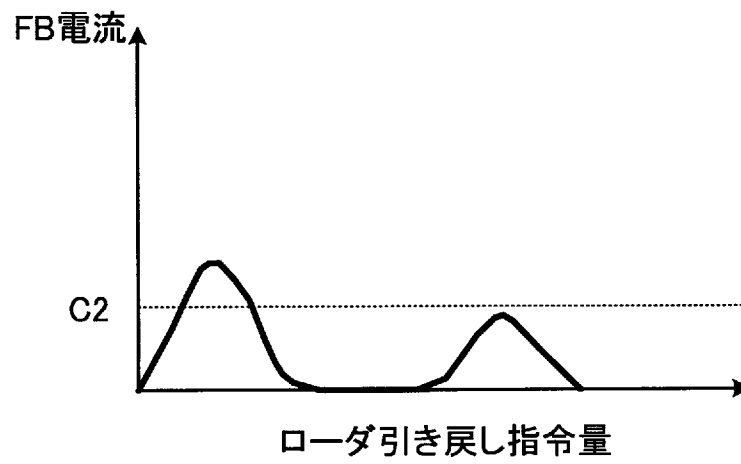
[図5]



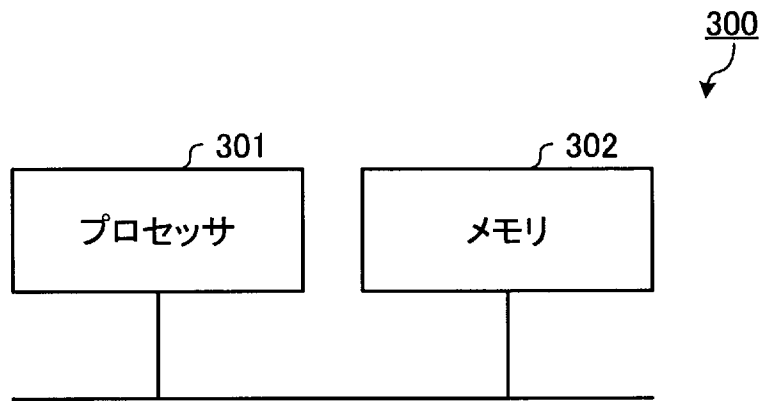
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/025747

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G05B19/4155 (2006.01) i, B23B15/00 (2006.01) i, B23B31/00 (2006.01) i, B23Q17/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. G05B19/4155, B23B15/00, B23B31/00, B23Q17/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2017-107398 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 15 June 2017, entire text, all drawings (Family: none)	1-10
A	WO 2017/077607 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 11 May 2017, entire text, all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2006-159354 A (MURATA MACHINERY LTD.) 22 June 2006, entire text, all drawings (Family: none)	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
14.09.2018

Date of mailing of the international search report
25.09.2018

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/025747

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2016-2601 A (MURATA MACHINERY LTD.) 12 January 2016, entire text, all drawings (Family: none)	1-10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G05B19/4155(2006.01)i, B23B15/00(2006.01)i, B23B31/00(2006.01)i, B23Q17/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G05B19/4155, B23B15/00, B23B31/00, B23Q17/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2017-107398 A（三菱電機株式会社）2017.06.15, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-10
A	WO 2017/077607 A1（三菱電機株式会社）2017.05.11, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-10
A	JP 2006-159354 A（村田機械株式会社）2006.06.22, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-10

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

14.09.2018

国際調査報告の発送日

25.09.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

松田 長親

3U

4032

電話番号 03-3581-1101 内線 3364

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2016-2601 A (村田機械株式会社) 2016. 01. 12, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10