

(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8月31日(31.08.2023)



(10) 国際公開番号

WO 2023/162124 A1

(51) 国際特許分類:
B25J 13/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2022/007841

(22) 国際出願日: 2022年2月25日(25.02.2022)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 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: 白土 浩司 (SHIRATSUCHI, Koji); 〒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). 前

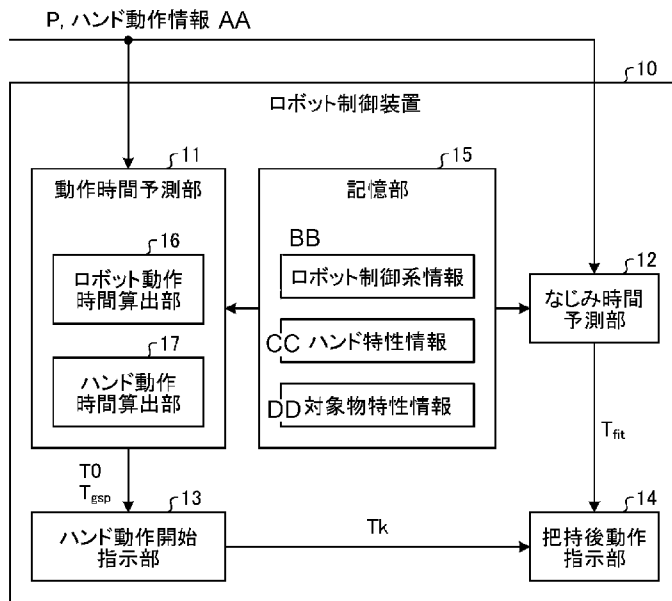
川 清石 (MAEKAWA, Kiyoshi); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

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

(54) Title: ROBOT CONTROL DEVICE, ROBOT CONTROL METHOD, AND ROBOT CONTROL PROGRAM

(54) 発明の名称: ロボット制御装置、ロボット制御方法およびロボット制御プログラム



- 10 Robot control device
- 11 Movement time prediction unit
- 12 Run-in time prediction unit
- 13 Hand movement start instruction unit
- 14 Post-grasping movement instruction unit
- 15 Storage unit
- 16 Robot movement time calculation unit
- 17 Hand movement time calculation unit
- AA P, Hand movement information
- BB Robot control system information
- CC Hand characteristics information
- DD Object characteristics information

(57) Abstract: A robot control device (10) comprises: a movement time prediction unit (11) for predicting a robot movement time, which is the time required for the robot to bring a hand of the robot to a target position, and a hand movement time, which is the time from the point in time that the hand has been instructed to move until the movement whereby the hand grasps an object at the target position is completed; and a hand movement start instruction unit (13) for instructing movement of the hand to start at a timing determined on the basis of the predicted robot movement time and the predicted hand movement time. The movement time prediction unit (11) predicts the robot movement time by means of a calculation that incorporates robot control system information indicating characteristics of the robot control system.

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

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, 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：ロボット制御装置(10)は、ロボットのハンドをロボットが目的位置に到達させるまでに要する時間であるロボット動作時間と、ハンドの動作が指令された時点から目的位置においてハンドが対象物を把持する動作を終えるまでの時間であるハンド動作時間とを予測する動作時間予測部(11)と、予測されたロボット動作時間と予測されたハンド動作時間とに基づいて決定されたタイミングでのハンドの動作開始を指示するハンド動作開始指示部(13)と、を備える。動作時間予測部(11)は、ロボットの制御系の特性を示すロボット制御系情報を組み入れた計算によりロボット動作時間を予測する。

明 細 書

発明の名称：

ロボット制御装置、ロボット制御方法およびロボット制御プログラム

技術分野

[0001] 本開示は、ロボットを制御するロボット制御装置、ロボット制御方法およびロボット制御プログラムに関する。

背景技術

[0002] ロボットの先端部に取り付けられた把持装置すなわちハンドにより物を把持して、把持した物を指定された位置へ搬送するロボットが知られている。このようなロボットは、電気電子分野での組み立て作業または工作機械からの加工物の取り出し作業、食品分野での盛り付け作業、あるいは、物流分野での積み替え作業などに使用される。以下、ハンドによって把持される物を、対象物と称する。ロボットによる搬送作業では、まず、計測装置の使用により認識された対象物の位置、または、プログラムによってあらかじめ指定された位置にロボットが位置決めされる。そして、ハンドが命令を実行することにより、ハンドが動作を開始する。ハンドが対象物を把持してから、あらかじめ指定された待ち時間が経過した後に、ロボットは、次の動作を開始する。かかる一連の把持動作においては、ハンドが命令を実行するタイミング、または待ち時間の長さを最適化することで、ロボットおよびハンドによる把持動作に要する動作時間を短縮することが望まれている。

[0003] 特許文献1には、対象物の位置である目標位置にロボットが到達する前にハンドによる動作を開始させるロボット制御装置が開示されている。特許文献1のロボット制御装置は、ハンドの動作に要する時間であるハンド動作時間よりも目標位置にロボットが到達するまでの移動時間が短くなった時点で、ハンドによる動作を開始させる。具体的には、特許文献1のロボット制御装置は、ロボットを動作させるロボット動作指令を基に、ロボットの現在位置から目標位置までの移動時間を予測し、予測された移動時間とハンド動作

時間とを比較する。特許文献1のロボット制御装置は、予測された移動時間がハンド動作時間よりも短くなった時点で、ハンドへ命令を出力する。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2000-787号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ロボットがハンドを目標位置へ移動させるまでの時間は、ロボット動作指令のみによって決まるのではなく、ロボット制御系の特性に起因するロボットの動作の遅れによって変動する。ロボット制御系の特性による遅れ時間の長さは、ロボットの各軸の速度または加速度によって変動する。ロボットの位置または姿勢によってロボット制御系のパラメータを可変とする場合は、ロボットの位置または姿勢が変わることによって遅れ時間の長さが変動する。ロボット動作指令を基に予測された移動時間には、実際の移動時間に対して誤差が生じることとなる。このため、ハンドの動作を指示するタイミングを決定するためには、熟練者による長時間に及ぶ調整が必要であった。このように、特許文献1に開示されている従来の技術によると、対象物を把持する把持動作に要する時間を短縮するために、ハンドの動作を指示するタイミングを正確に調整することが困難であるという問題があった。

[0006] 本開示は、上記に鑑みてなされたものであって、ロボットおよびハンドによる把持動作に要する時間を短縮するために、ハンドの動作を指示するタイミングを正確に調整可能とするロボット制御装置を得ることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示にかかるロボット制御装置は、ロボットのハンドをロボットが目的位置に到達させるまでに要する時間であるロボット動作時間と、ハンドの動作が指令された時点から目的位置においてハンドが対象物を把持する動作を終えるまでの時間であるハ

ンド動作時間とを予測する動作時間予測部と、予測されたロボット動作時間と予測されたハンド動作時間とに基づいて決定されたタイミングでのハンドの動作開始を指示するハンド動作開始指示部と、を備える。動作時間予測部は、ロボットの制御系の特性を示すロボット制御系情報を組み入れた計算によりロボット動作時間を予測する。

発明の効果

[0008] 本開示にかかるロボット制御装置は、ロボットおよびハンドによる把持動作に要する時間を短縮するために、ハンドの動作を指示するタイミングを正確に調整できるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]実施の形態1にかかるロボット制御装置の構成例を示す図

[図2]実施の形態1にかかるロボット制御装置を含むロボット制御システムの構成例を示す図

[図3]実施の形態1にかかるロボット制御装置の動作時間予測部によって予測されるロボット動作時間について説明するための図

[図4]実施の形態1にかかるロボット制御装置による、ハンドの動作開始の指示とロボットの動作開始の指示とについて説明するための図

[図5]実施の形態1にかかるロボット制御装置の動作手順を示すフローチャート

[図6]実施の形態2にかかるロボット制御装置の構成例を示す図

[図7]実施の形態3にかかるロボット制御装置の構成例を示す図

[図8]実施の形態5にかかるロボット制御装置の構成例を示す図

[図9]実施の形態6にかかるロボット制御装置の構成例を示す図

[図10]実施の形態6にかかるロボット制御装置が有する把持制御パラメータ学習部のうち、学習装置および学習済モデル記憶部を示す図

[図11]実施の形態6における機械学習に使用されるニューラルネットワークの構成例を示す図

[図12]実施の形態6にかかるロボット制御装置が有する把持制御パラメータ

学習部のうち、推論装置および学習済モデル記憶部を示す図

[図13]実施の形態7にかかるロボット制御装置の構成例を示す図

[図14]実施の形態1から7にかかる制御回路の構成例を示す図

[図15]実施の形態1から7にかかる専用のハードウェア回路の構成例を示す図

発明を実施するための形態

[0010] 以下に、実施の形態にかかるロボット制御装置、ロボット制御方法およびロボット制御プログラムを図面に基づいて詳細に説明する。

[0011] 実施の形態1.

図1は、実施の形態1にかかるロボット制御装置10の構成例を示す図である。図2は、実施の形態1にかかるロボット制御装置10を含むロボット制御システム40の構成例を示す図である。

[0012] ロボット制御システム40は、ロボット制御装置10と、ロボット30と、ハンド31とを備える。ハンド31は、ロボット30を構成するアームの先端部に取り付けられている。ロボット制御装置10は、ロボット30を制御する。ロボット制御システム40は、ロボット30およびハンド31の動作によって対象物を把持して、把持した対象物を指定した位置へ搬送する。図2に示すロボット制御システム40は、箱に入れられている対象物を取り出して、箱の外の指定された位置へ対象物を搬送する。

[0013] ロボット制御システム40の周辺機器として、ビジョンセンサといったセンシングデバイスが設置される。センシングデバイスは、対象物の位置を認識する。ロボット制御装置10は、対象物の位置の情報をセンシングデバイスから取得し、取得された情報を基にロボット指令を生成する。ロボット制御装置10は、ロボット30の駆動部へロボット動作指令を送る。駆動部の図示は省略する。駆動部がロボット動作指令に従ってロボット30を駆動することにより、ロボット30は、ロボット動作指令に従って動作する。

[0014] ハンド31は、ハンド制御装置によって制御される。ハンド制御装置の図示は省略する。ハンド31は、ハンド制御装置から送られるハンド動作指令

に従って動作する。ロボット制御システム40は、ハンド制御装置を用いず、ロボット制御装置10がロボット30およびハンド31の双方を制御しても良い。

[0015] 実施の形態1において、ハンド31は、開閉動作を行う2つの可動部を備える。ハンド31は、互いに向かい合う2つの可動部で対象物を掴むことで、対象物を把持する。ハンド31は、各可動部が互いに近づく向きに移動する閉動作によって、対象物を掴む。ハンド31は、対象物を掴んでいる状態から各可動部が互いに離れる向きに移動する開動作によって、掴んでいる対象物を離す。なお、ハンド31は、2つの可動部を備えるものに限られない。ハンド31に備えられる可動部の数は2つに限られず任意であるものとする。また、ハンド31は、可動部を備えるものに限られない。例えば、ハンド31は、吸引力を発生させる部位を備え、当該部位に対象物を吸着させることによって対象物を把持するものであっても良い。なお、以下の説明では、ハンド31の可動部を、指部と称する。

[0016] 図1に示すように、ロボット制御装置10は、動作時間予測部11と、なじみ時間予測部12と、ハンド動作開始指示部13と、把持後動作指示部14と、記憶部15とを備える。また、ロボット制御装置10は、ロボット動作指令を生成する指令生成部を備える。指令生成部の図示は省略する。

[0017] 動作時間予測部11は、ロボット動作時間 T_1 を算出するロボット動作時間算出部16と、ハンド動作時間 T_{gsp} を算出するハンド動作時間算出部17とを備える。ロボット動作時間 T_1 は、ロボット30のハンド31をロボット30が目的位置に到達させるまでに要する時間とする。ハンド動作時間 T_{gsp} は、ハンド31の動作が指令された時点から目的位置においてハンド31が対象物を把持する動作を終えるまでの時間とする。動作時間予測部11は、ロボット動作時間算出部16によりロボット動作時間 T_1 を算出することによって、ロボット動作時間 T_1 を予測する。ロボット動作時間算出部16は、ロボット動作時間 T_1 に基づいてロボット残動作時間 T_0 を算出する。ロボット残動作時間 T_0 は、ロボット30の動作を開始した後の任意の時点から

ロボット30が目的位置に到達させるまでに要する時間である。動作時間予測部11は、ハンド動作時間算出部17によりハンド動作時間 T_{gsp} を算出することによって、ハンド動作時間 T_{gsp} を予測する。

[0018] 動作時間予測部11は、ロボット残動作時間 T_0 の値とハンド動作時間 T_{gsp} の値とをハンド動作開始指示部13へ出力する。ハンド動作開始指示部13は、ロボット動作時間 T_1 の値に基づいて算出されたロボット残動作時間 T_0 の値と、ハンド動作時間 T_{gsp} の値とを用いて、ハンド31の動作を開始させるタイミングを決定する。ハンド動作開始指示部13は、決定されたタイミングでのハンド31の動作開始を、ハンド制御装置に指示する。すなわち、ハンド動作開始指示部13は、予測されたロボット動作時間 T_1 と予測されたハンド動作時間 T_{gsp} とに基づいて決定されたタイミングでのハンド31の動作開始を指示する。また、ハンド動作開始指示部13は、ハンド31の動作開始を指示した時点 T_k を示す情報を把持後動作指示部14へ出力する。

[0019] なじみ時間予測部12は、なじみ時間 T_{fit} を予測する。なじみ時間 T_{fit} は、ハンド31が対象物の把持を開始してからハンド31が対象物になじむまでの時間とする。ハンド31が対象物になじむとは、ロボット30がハンド31を移動させてもハンド31が対象物を把持している状態を維持可能に、ハンド31と対象物との接触が安定することを指す。なじみ時間予測部12は、予測されたなじみ時間 T_{fit} の値を把持後動作指示部14へ出力する。実施の形態1では、ハンド31が対象物を把持した時点からロボット30が次の動作を開始するまでの待ち時間の長さには、予測されたなじみ時間 T_{fit} の長さが設定される。把持後動作指示部14は、ハンド31が対象物の把持を開始した時点から、予測されたなじみ時間 T_{fit} が経過した後に、対象物を把持する動作の次に行われるロボット30の動作を指示する。

[0020] ロボット制御装置10には、対象物の位置 P の情報とハンド動作情報とが入力される。位置 P は、ビジョンセンサ等のセンサを用いて計測される。ロボット制御装置10に入力される位置 P の情報は、対象物が1回把持されるごとに更新される。ハンド動作情報は、対象物を把持するときのハンド31

の動作についての情報である。実施の形態 1 において、ハンド動作情報は、差し込み量 d 、開き幅 w 、および把持力 F_{gsp} の各値を含む。

[0021] 対象物を掴む閉動作が開始される前に、ハンド 31 の先端、すなわち各指部の先端は、対象物の周囲へ差し込まれる。差し込み量 d は、対象物に対する各指部の差し込み度合いを表す。ここでは、対象物の中心位置を基準として、対象物の中心位置に各指部の先端が一致している状態を、 $d = 0$ と定義する。対象物の中心位置に各指部の先端が一致しているとは、差し込み方向における各指部の先端の位置と、差し込み方向における対象物の中心位置とが互いに一致していることを指す。差し込み方向とは、閉動作の前におけるロボット 30 の動作によって各指部が移動する方向である。また、 $d = 0$ であるときに比べて、ハンド 31 における各指部の付け根側に対象物の中心位置がある状態を、 $d > 0$ とする。 $d = 0$ であるときに比べて、対象物の中心位置が各指部の先端側にある状態を、 $d < 0$ とする。開き幅 w は、閉動作の開始時における各指部の先端部同士の間隔である。把持力 F_{gsp} は、ハンド 31 が対象物を把持している状態においてハンド 31 が対象物に及ぼす力である。

[0022] 記憶部 15 は、ロボット制御系情報と、ハンド特性情報と、対象物特性情報とを記憶する。ロボット制御系情報は、ロボット 30 の駆動部を制御するロボット制御系の特性を示す情報である。ロボット制御系情報は、ロボット制御系によるフィードフォワード制御に使用される制御パラメータの値と、ロボット制御系によるフィードバック制御に使用される制御パラメータの値とのうち少なくとも 1 つを含む。ロボット制御系情報に含まれる制御パラメータは、ロボット制御系の応答性を決定するパラメータである。制御パラメータとしては、例えば、PID (Proportional Integral Differential) 制御の P (Proportional) ゲイン、I (Integral) ゲインおよび D (Differential) ゲイン、一次遅れ要素の時定数、または、むだ時間要素のむだ時間といった、制御工学において定義されるパラメータである。なお、ロボット制御系情報に含まれる制御パラメータの種類は、ロボット制御系の構成によっ

て異なる。

[0023] ハンド特性情報は、ハンド31の動作特性を示す情報である。ハンド特性情報は、開閉指令速度の値と、ハンド制御系情報と、機構パラメータの値とのうちの少なくとも1つを含む。開閉指令速度は、ハンド制御装置によって指令される速度であって、ハンド31の開閉動作における各指部の移動速度である。ハンド制御系情報は、ハンド31の開閉を制御するハンド制御系の特性を示す情報である。ハンド制御系情報は、ハンド制御系の制御パラメータの値を含む。

[0024] 機構パラメータとは、ハンド31を駆動するアクチュエータまたは減速機といった要素の位置関係、または、ハンド31の指部における各部位の寸法を表現する値である。あるいは、機構パラメータとは、ハンド31に備え付けられたアクチュエータまたは減速機の減速比を表現する値である。ハンド31に備え付けられたアクチュエータは、モータまたは空気圧アクチュエータである。機構パラメータを使用することによって、ハンド31の位置または各指部の位置を計算することができる。機構パラメータは、ハンド31と対象物とが接触するタイミング、または、ハンド31と対象物の周囲にある物体とが接触するタイミングを計算するために用いられる。

[0025] ハンド31による把持の安定性を高めるために、ハンド31の指部のうち対象物に触れる部分である指腹部には、柔軟な素材が備えられることがある。この場合、指腹部へ対象物の接触が開始されてから対象物の把持が安定するまでには、指腹部の変形によって指腹部に対象物がなじむまでの時間が必要となる。このような指腹部の特性を考慮するために、ハンド特性情報には、ハンド31の指部のうち対象物に触れる部分である指腹部の物性についての情報が含まれても良い。指腹部の物性についての情報は、指腹部の剛性 K_h の値、または、指腹部の粘性 D_h の値などを含む。

[0026] 対象物特性情報は、対象物の物性を示す情報である。対象物特性情報は、対象物の変形についての情報であって、剛性 K_w の値または粘性 D_w の値などを含む。

[0027] 図2に示す位置 P_{get} は、ロボット30の動作によってハンド31の先端を到達させる目的位置とする。ロボット制御装置10には、次に把持する対象物の位置 P の情報が入力される。位置 P_{get} は、対象物の位置 P と差し込み量 d とに基づいて決定される。図2に示す位置 P_{up} は、ハンド31の先端を目的位置へ移動させるためのロボット30の動作を開始する時点におけるハンド31の位置とする。

[0028] ロボット制御システム40の周辺機器であるセンシングデバイスは、対象物を観測した結果を基に、対象物の位置 P と差し込み量 d とを計算する。ここで計算される差し込み量 d は、ハンド31の先端を位置 P_{get} に到達させた状態における差し込み量 d である。ロボット制御装置10の指令生成部は、対象物の位置 P の情報と差し込み量 d とに基づいて、ロボット動作指令を生成する。

[0029] 位置 P_{up} は、位置 P_{get} から上方へ一定の距離だけ離れた位置であって、ユーザが定義可能な位置である。位置 P_{up} と位置 P_{get} との間の距離には、ハンド31の先端が対象物の周辺にある物に触れることが無いような距離が設定される。位置 P_{up} におけるハンド31の姿勢には、位置 P_{get} においてハンド31が取る姿勢と同じ姿勢が設定される。このように、位置 P_{up} 、および位置 P_{up} における姿勢が定義されることによって、位置 P_{up} にハンド31が到達する直前におけるロボット30の動作に関わらず、毎回の把持動作における対象物とハンド31との相対位置関係を同じとすることができる。ロボット30は、対象物とハンド31との相対位置関係が毎回同じであることによって、再現性がある動作を実現できる。ここで生成されるロボット動作指令は、対象物の位置 P と差し込み量 d とに基づいて求まる位置 P_{get} 、および、上述の定義に従って求まる位置 P_{up} について、位置 P_{up} から位置 P_{get} へハンド31を移動させる動作をロボット30に行わせるためのロボット動作指令である。このように、対象物の位置 P の情報と、ハンド動作情報である差し込み量 d の値とを基に、ロボット動作指令が生成される。

[0030] 次に、ロボット制御装置10の動作について説明する。図3は、実施の形

態 1 にかかるロボット制御装置 10 の動作時間予測部 11 によって予測されるロボット動作時間 T_1 について説明するための図である。

[0031] ロボット動作時間 T_1 は、ロボット動作指令に従ってロボット 30 が位置 P_{up} から位置 P_{get} へハンド 31 を移動させる動作を行った場合におけるロボット 30 の動作時間である。ロボット動作時間 T_1 の始点は、ロボット 30 が動作を開始した時点である。ロボット動作時間 T_1 の終点は、ハンド 31 の先端の位置と位置 P_{get} との誤差があらかじめ指定された範囲内となる時点である。ロボット動作時間算出部 16 は、ロボット動作指令を基に、ロボット動作時間 T_1 を算出する。

[0032] 時間 T_a は、ロボット 30 が動作を開始した時点からの経過時間である。ロボット動作時間算出部 16 は、時間 T_a を計測する。ロボット動作時間算出部 16 は、ロボット動作時間 T_1 から時間 T_a を差し引くことによってロボット残動作時間 T_0 を算出する。動作時間予測部 11 は、ロボット残動作時間 T_0 を算出することによって、ハンド 31 の先端が対象物に到達するまでに要する時間を随時把握する。

[0033] ロボット動作時間算出部 16 は、ロボット動作模擬手段を備える。ロボット動作模擬手段は、ロボット動作指令の生成を模擬し、かつ、ロボット制御系の特性に応じたロボット 30 の動作を模擬する。ロボット動作模擬手段は、ロボット制御装置 10 へ入力された対象物の位置 P の情報を取得する。ロボット動作模擬手段は、ロボット制御装置 10 へ入力されたハンド動作情報から差し込み量 d の値を取得する。ロボット動作模擬手段は、対象物の位置 P と差し込み量 d とを基に、ロボット動作指令の生成を模擬する。

[0034] ロボット動作模擬手段は、ロボット制御系の特性に応じたロボット 30 の動作を模擬するためのフィルタ手段を備える。フィルタ手段とは、指令値に対する制御系および機械システムの挙動または応答を模擬し、挙動または応答の様子を表現するための数式モデルである。フィルタ手段には、例えば、伝達関数を用いることができる。フィルタ手段へ指令値が入力されることによって、フィルタ手段は、機械システムのうち当該指令値に従って動く部分

について、当該指令値に応じた動作による変位量、当該指令値に応じた動作における速度の変化量、または、当該指令値に応じた動作における加速度の変化量を求めることができる。

[0035] フィルタ手段は、記憶部 15 に記憶されているロボット制御系情報を基に、ロボット 30 の動作を模擬する。ロボット動作模擬手段は、フィルタ手段にロボット動作指令を通すことによって、ロボット制御系の特性に応じたロボット 30 の動作を模擬する。なお、ロボット動作模擬手段およびフィルタ手段の図示は省略する。

[0036] ロボット動作時間算出部 16 は、ロボット動作模擬手段によりロボット 30 の動作を模擬した結果を基に、ハンド 31 の先端の実際の挙動を予測する。ロボット動作時間算出部 16 は、予測されたハンド 31 の挙動を基にロボット動作時間 T_1 の終点を予測して、ロボット動作時間 T_1 を算出する。このように、ロボット動作時間算出部 16 は、ロボット制御系情報を組み入れた計算によってロボット動作時間 T_1 を算出する。動作時間予測部 11 は、ロボット制御系情報を組み入れた計算によりロボット動作時間 T_1 を予測する。

[0037] ロボット動作時間算出部 16 は、ロボット制御系の特性に応じたロボット 30 の動作をロボット動作模擬手段によって模擬するものに限られない。ロボット動作時間算出部 16 は、ロボット制御系の特性に応じた、ロボット 30 の動作の遅れ時間 T_{rs} を算出するものであっても良い。ロボット動作時間算出部 16 は、ロボット動作指令に示される指令位置とロボット 30 を動作させる速度または加速度とを基に遅れ時間 T_{rs} を算出する近似関数を用いる。複数の動作条件によるロボット制御系の挙動があらかじめシミュレーションされることによって、シミュレーションの結果を基に、近似関数のパラメータの値を同定することができる。近似関数のパラメータの値は、記憶部 15 に記憶されるロボット制御系情報に含められる。ロボット動作時間算出部 16 は、ロボット制御系情報に含まれる近似関数のパラメータの値を基に、近似関数を用いた遅れ時間 T_{rs} の算出を行う。近似関数には、多項式を用いられて

も良く、ニューラルネットワークが用いられても良い。

[0038] ロボット動作時間算出部 16 は、ロボット動作指令に基づいて時間 T_{1c} を算出する。時間 T_{1c} は、位置 P_{up} から位置 P_{get} へハンド 31 を移動させる動作を行った場合におけるロボット 30 の動作時間である。ロボット動作時間算出部 16 は、時間 T_{1c} に遅れ時間 T_{rs} を加算することによって、ロボット動作時間 T_1 を算出する。このように、ロボット動作時間算出部 16 は、ロボット制御系情報を組み入れた計算によってロボット動作時間 T_1 を算出する。すなわち、動作時間予測部 11 は、ロボット制御系情報を組み入れた計算によりロボット動作時間 T_1 を予測する。さらに、ロボット動作時間 T_1 を算出するために使用されるロボット動作指令は、上述するように、対象物の位置 P の情報とハンド動作情報である差し込み量 d の値とを基に生成される。ロボット動作時間算出部 16 は、ロボット制御系情報と、対象物の位置 P の情報と、ハンド動作情報とを組み入れた計算によってロボット動作時間 T_1 を算出するといえる。動作時間予測部 11 は、ロボット制御系情報と、対象物の位置 P の情報と、ハンド動作情報とを組み入れた計算によりロボット動作時間 T_1 を予測するといえる。

[0039] ハンド動作時間算出部 17 は、ハンド動作模擬手段を備える。ハンド動作模擬手段は、ハンド動作指令を模擬し、かつ、ハンド制御系の特性に応じたハンド 31 の動作を模擬する。ハンド動作模擬手段は、ロボット制御装置 10 へ入力されるハンド動作情報から開き幅 w の値を取得する。ハンド動作模擬手段は、記憶部 15 に記憶されているハンド特性情報から、機構パラメータである定数を取得する。ハンド動作模擬手段は、開き幅 w の値に定数を乗算することによって、ハンド 31 のストロークを算出する。ハンド 31 のストロークとは、開動作と閉動作との各々におけるハンド 31 の先端の移動幅とする。ハンド動作模擬手段は、算出したストロークを基に、ハンド動作指令の生成を模擬する。

[0040] ハンド動作模擬手段は、ハンド制御系の特性に応じてハンド 31 の動作を模擬するためのフィルタ手段を備える。フィルタ手段は、記憶部 15 に記憶

されているハンド特性情報のうちのハンド制御系情報を基に、ハンド31の動作を模擬する。ハンド動作模擬手段は、フィルタ手段にハンド動作指令を通すことによって、ハンド制御系の特性に応じたハンド31の動作を模擬する。なお、ハンド動作模擬手段およびフィルタ手段の図示は省略する。

[0041] ハンド動作時間算出部17は、ハンド動作模擬手段によりハンド31の各指部の動作を模擬した結果を基に、時間 T_{gsp_0} を算出する。時間 T_{gsp_0} は、各指部が動作を開始してから、各指部が動作を終えるまでの時間である。ハンド動作時間算出部17は、ハンド動作指令である信号の伝達に要する時間の予測値を時間 T_{gsp_0} に加算することによって、ハンド動作時間 T_{gsp} を算出する。時間 T_{gsp_0} には、模擬された指部の位置と指部の目標位置との差があらかじめ設定された値以下となるまでに経過する時間を採用することができる。

[0042] ここまで、動作時間予測部11が、ハンド動作情報のうち、対象物の位置Pの情報と差し込み量dおよび開き幅wの各値とを用いてロボット動作時間 T_1 とハンド動作時間 T_{gsp} とを予測する例を説明した。動作時間予測部11は、対象物の位置Pの情報と、差し込み量dおよび開き幅wの各値とのうちの一部のみを用いてロボット動作時間 T_1 とハンド動作時間 T_{gsp} とを予測しても良い。動作時間予測部11は、ロボット動作時間 T_1 とハンド動作時間 T_{gsp} との予測において差し込み量dの値を用いなくても良い。

[0043] 上記説明は、把持の直前に対象物の近辺において、ハンド31の各指部の姿勢を固定するとともに、低い速度で直線方向にハンド31を移動させてハンド31を位置決めする場合の例とする。この場合は、差し込み量dを調整することで対象物の重心付近を把持し易くできるなど、把持の安定性を向上させることができる。一方、対象物の近辺に直線軌道を設けず、曲線軌道におけるハンド31の高速移動によってハンド31を位置決めする場合は、ロボット動作時間 T_1 およびハンド動作時間 T_{gsp} の予測に差し込み量dは不要である。また、対象物を吸着させるハンドの場合、ハンド動作時間 T_{gsp} の予測に開き幅wの値は不要である。対象物を吸着させるハンドの場合、ハンド動作時間 T_{gsp} は、信号の伝達に要する時間の予測値とする。

- [0044] 図4は、実施の形態1にかかるロボット制御装置10による、ハンド31の動作開始の指示とロボット30の動作開始の指示とについて説明するための図である。図4には、ハンド31の位置の変化を表すグラフと、ハンド31の開閉状態を表すグラフとを示す。ハンド31の位置の変化を表すグラフにおいて、縦軸はハンド31の位置を表し、横軸は時間Tを表す。ハンド31の開閉状態を表すグラフにおいて、縦軸は開状態または閉状態を表し、横軸は時間Tを表す。
- [0045] 動作時間予測部11は、ロボット残動作時間 T_0 の値とハンド動作時間 T_{gsp} の値とを基に、ロボット残動作時間 T_0 の値が $T_0 < T_{gsp}$ を充足する値に到達したタイミングを検出する。動作時間予測部11は、当該タイミングを検出すると、 $T_0 < T_{gsp}$ を充足するタイミングが到来したことをハンド動作開始指示部13へ伝達する。また、動作時間予測部11は、当該タイミングにおけるロボット残動作時間 T_0 の値と、当該タイミングにおけるハンド動作時間 T_{gsp} の値とをハンド動作開始指示部13へ送る。
- [0046] ハンド動作開始指示部13は、 $T_0 < T_{gsp}$ を充足するタイミングが到来したときに、ハンド31による対象物の把持のための動作、すなわち閉動作の開始をハンド制御装置に指示する。ハンド動作開始指示部13は、閉動作命令をハンド制御装置へ送ることによって、閉動作の開始をハンド制御装置に指示する。ハンド動作開始指示部13による指示に従ってハンド制御装置がハンド31へハンド動作指令を送ることによって、ハンド31は閉動作を開始する。
- [0047] ハンド動作開始指示部13は、時点 T_k を示す情報、例えば、時点 T_k を示す時刻情報を把持後動作指示部14へ送る。時点 T_k は、 $T_0 < T_{gsp}$ を充足した時点であって、ハンド動作開始指示部13がハンド制御装置に閉動作の開始を指示した時点である。さらに、ハンド動作開始指示部13は、ハンド動作時間 T_{gsp} の値と経過時間 T_p の値との差分 $T_{gsp} - T_p$ を、随時、把持後動作指示部14へ送る。
- [0048] 動作時間予測部11は、補正量 ΔT を設定しておき、 $T_0 < T_{gsp}$ を充足する

タイミングの代わりに、 $T_0 < (T_{gsp} - \Delta T)$ を充足するタイミングを検出しても良い。動作時間予測部 11 は、当該タイミングを検出すると、 $T_0 < (T_{gsp} - \Delta T)$ を充足するタイミングが到来したことをハンド動作開始指示部 13 へ伝達する。また、動作時間予測部 11 は、当該タイミングにおけるロボット残動作時間 T_0 の値と、当該タイミングにおけるハンド動作時間 T_{gsp} の値と、補正量 ΔT の値とを、ハンド動作開始指示部 13 へ送る。

[0049] ここで、補正量 ΔT の例について説明する。ここでは、対象物の外形を半径 R_w の球体に近似する。また、対象物は、外力を受けることによって容易に変形するものとする。開状態におけるハンド 31 の開き幅を w 、対象物を把持可能にハンド 31 が閉じた状態におけるハンド 31 の開き幅を w_c とする。ハンド 31 が開状態から閉じる過程における開き幅 w_a が $2R_w$ になった時点でハンド 31 は対象物に接触する。

[0050] $w_a = 2R_w$ の状態からさらにハンド 31 が閉じることによって、ハンド 31 の指部同士が向かい合う方向における対象物の幅が $2R_w$ よりも小さい $2R_{wc}$ となるまで対象物に変形したとする。このとき、対象物とハンド 31 の指部との間には垂直抗力 F_n が発生する。垂直抗力 F_n に対する摩擦力の発生と、指部同士の間における対象物の幾何学的な拘束とによって、ハンド 31 による対象物の把持が可能となる。このように、ハンド 31 が閉じていき、開き幅が $2R_w$ となって指部が対象物に触れる状態となってから、さらにハンド 31 は、開き幅が $2R_{wc}$ になるまで閉じる。この場合、ロボット制御装置 10 は、 $T_0 = 0$ の時点でハンド 31 の開き幅が $2R_{wc}$ となるように、閉動作の開始をハンド制御装置に指示する。これにより、ロボット制御装置 10 は、 $\Delta T > 0$ のときにおいて、ロボット 30 の動作が終了するタイミングで指部を対象物に接触させることができる。また、ロボット制御装置 10 は、ロボット 30 の動作中において対象物に指部を接触させないようにすることで、把持の失敗を低減できる。

[0051] なお、 $T_0 \leq T_{gsp}$ を充足することを初めて検出した時点で閉動作を開始した場合、ロボット 30 の動作中に $w_a < 2R_w$ を充足する状態となる。この場合

、ロボット30の動作中にハンド31の指部が対象物に接触し始めることになるため、把持が失敗することがある。これに対し、補正量 ΔT が適宜設定されることによって、指部が対象物に接触し始めるタイミングを、ロボット30の動作が終わる時点に合わせることができる。すなわち、補正量 ΔT が適宜設定されることによって、 $T_0 = 0$ の時点における開き幅を $2R_w$ とすることができる。これにより、ハンド31による把持の成功率を向上させることができる。

[0052] 上記説明では対象物の外形を球体に近似することとしたが、対象物の外形を直方体に近似することとしても良い。この場合、指部同士が向かい合う方向における対象物の長さ L_w に基づいて補正量 ΔT が適宜設定されることによって、ハンド31による把持の成功率を向上させることができる。

[0053] なじみ時間予測部12は、ハンド特性情報および対象物特性情報の少なくとも一方と、開き幅 w とに基づいてなじみ時間 T_{fit} を算出するための関数を保持する。なじみ時間予測部12は、ハンド特性情報である剛性 K_h の値または粘性 D_h の値と、対象物特性情報である剛性 K_w の値または粘性 D_w の値との少なくとも一方を組み入れた計算により、なじみ時間 T_{fit} を算出する。なじみ時間予測部12は、なじみ時間 T_{fit} の値を把持後動作指示部14へ送る。

[0054] 対象物が変形したとしても変形が不十分である場合、ロボット30の動作による慣性力が対象物に生じ、対象物のうち指部と接触している部分が滑ることによって、対象物がハンド31から抜け落ちることがある。ハンド31の指部のうち指腹部の物性に関わる情報と、対象物の変形に関わる情報との少なくとも一方を計算に組み入れることで、なじみ時間予測部12は、対象物を十分に変形させ得るなじみ時間 T_{fit} を算出することができる。これにより、ハンド31による把持の成功率を向上させることができる。

[0055] なお、実施の形態1において、対象物の変形とは、対象物の全体が変形する場合と、対象物の一部が変形する場合とを含むものとする。対象物のうち、対象物の表面に形成されている突起等のみが変形する場合も、対象物の変形には含まれる。対象物の変形する態様は、特定の態様に限定されないもの

とする。

[0056] 実施の形態 1 において、なじみ時間 T_{fit} を算出するための関数は、開き幅 w 、対象物の剛性 K_w 、およびなじみ時間 T_{fit} の関係を表す表形式のデータベースである。表形式のデータベースは、開き幅 w および剛性 K_w の 2 次元の表に限られず、対象物の種類ごとの開き幅 w およびなじみ時間 T_{fit} の表であっても良い。開き幅 w 、対象物の剛性 K_w 、およびなじみ時間 T_{fit} の関係は、ロボット 30 およびハンド 31 による把持動作を検証することによりあらかじめ求められる。以下、対象物の種類ごとの開き幅 w およびなじみ時間 T_{fit} の表を例として、表の作成について説明する。

[0057] 表を作成するためのデータの取得に際し、互いに異なる大きさの複数の対象物が準備される。複数の対象物の各々について、ハンド 31 によって対象物を把持してロボット 30 により対象物を上昇させる一連の動作の検証により、把持の成否が判定される。具体的には、ハンド 31 が閉動作を開始した時点から時間 $T_{gsp} + T_b$ が経過した時点で対象物の上昇を開始させる動作をロボット 30 に行わせて、把持の成功率が算出される。時間 T_b は、あらかじめ定められた刻み時間だけ 0 秒から徐々に増加させる。互いに T_b を異ならせた各時間 $T_{gsp} + T_b$ についてあらかじめ定められた回数の検証が行われ、把持を成功した回数を基に、各時間 $T_{gsp} + T_b$ についての成功率が算出される。対象物を上昇させた状態でロボット 30 を停止させ、ロボット 30 を停止させた位置で対象物が把持されているか否かが、ビジョンセンサを用いて判定される。

[0058] 対象物が把持されているか否かの判定には、ビジョンセンサの代わりに力覚センサが用いられても良い。力覚センサの出力を基に、把持の成否が判定される。力覚センサは、ロボット 30 のうちハンド 31 との接続部分である手首部に取り付けられる。または、ビジョンセンサの代わりにレーザ変位計を用いて、レーザ変位計による計測結果を基に把持の成否が判定されても良い。

[0059] 算出される成功率があらかじめ定められた閾値以上となるか、または、時

間 T_b があらかじめ定められた上限値 $T_{b\lim}$ に達した場合に、刻み時間ごとの時間 T_b の増加を終了する。作成される表には、時間 T_b の増加を終了した時点における開き幅 w およびなじみ時間 T_{fit} の各値が、互いに対応付けられて書き込まれる。開き幅 w の値には、検証に使用された対象物の幅の値が採用される。なじみ時間 T_{fit} の値には、成功率が閾値以上となった場合における時間 T_b の値が採用される。

[0060] なお、開き幅 w 、剛性 K_w 、およびなじみ時間 T_{fit} の表を作成する場合、開き幅 w をあらかじめ定められた幅 w_0 にしてハンド31が対象物を挟んだときの把持力 F_{gsp} の値を基に、対象物の剛性 K_w の値が導き出される。把持力 F_{gsp} の値は、ロボット制御装置10へ入力されるハンド動作情報から取得される。表には、剛性 K_w の値ごとに、剛性 K_w 、開き幅 w およびなじみ時間 T_{fit} の各値が互いに対応付けられて書き込まれる。

[0061] 開き幅 w が、表に示されている値同士の中間の値である場合、すなわち、対象物の幅が当該中間の値である対象物については、表に示されているなじみ時間 T_{fit} の複数の値の線形補間によって、なじみ時間 T_{fit} が算出される。この場合の線形補間に使用される値は、例えば、当該中間の値の両隣のデータ点である開き幅 w の各値に対応するなじみ時間 T_{fit} の各値である。対象物の剛性 K_w が、表に示されている値同士の中間の値である場合も、当該対象物についてのなじみ時間 T_{fit} は、表に示されているなじみ時間 T_{fit} の複数の値の線形補間によって算出される。この場合の線形補間に使用される値は、例えば、当該中間の値の両隣のデータ点である剛性 K_w の各値に対応するなじみ時間 T_{fit} の各値である。

[0062] 把持後動作指示部14には、なじみ時間 T_{fit} の値が入力される。把持後動作指示部14には、把持動作の開始が指示された時点 T_k を示す情報がハンド動作開始指示部13から入力される。さらに、ハンド動作時間 T_{gsp} の値と経過時間 T_p の値との差分 $T_{gsp} - T_p$ が、ハンド動作開始指示部13から把持後動作指示部14へ随時入力される。

[0063] 把持後動作指示部14は、 $T_{gsp} - T_p = 0$ となった時点からの経過時間とな

じみ時間 T_{fit} とを比較する。把持後動作指示部 14 は、 $T_{gsp} - T_p = 0$ となった時点からの経過時間がなじみ時間 T_{fit} を超えた時点において、対象物を把持した後の次のロボット動作指令の出力を指令生成部に指示する。このようにして、把持後動作指示部 14 は、ハンド 31 が対象物の把持を開始した時点から、予測されたなじみ時間 T_{fit} が経過した後に、ハンド 31 が対象物を把持する動作を終えた次のロボット 30 の動作開始を指示する。ロボット動作指令に従って駆動部がロボット 30 を駆動することにより、ロボット 30 は、対象物を把持した後の次の動作を開始する。

[0064] ロボット動作時間算出部 16 においてロボット動作指令に基づいて時間 T_{1c} を算出する場合は、ロボット制御装置 10 は、以下に説明する処理を行うこととしても良い。上記説明では、ロボット動作時間算出部 16 は、ロボット動作指令に従ってロボット 30 が 1 つの動作を行った場合における時間 T_{1c} を算出した。時間 T_{1c} は、ロボット動作指令に従ってロボット 30 が 1 つの動作を行った場合における動作時間ではなく、ロボット動作指令に従ってロボット 30 が 2 つの連続する動作を行った場合における動作時間の合計であっても良い。ここで、点 P_s から点 P_e までハンド 31 を移動させる動作を 1 つの動作とした場合に、2 つの動作とは、1 つの動作に続いて点 P_e から点 P_{e2} へハンド 31 を移動させる動作とする。2 つの動作により、2 つの連続した軌道 $P_s - P_e$ 、 $P_e - P_{e2}$ においてハンド 31 を移動させる。

[0065] 例えば、ロボット動作指令に従った 2 つの動作によって、点 P_s から対象物の近辺の点 P_e へハンド 31 を移動させた後に、点 P_e から点 P_{e2} へ、差し込み量 d に相当する直線移動をハンド 31 に行わせるとする。この場合、ロボット動作時間算出部 16 は、点 P_s からのハンド 31 の移動を開始させる時点から、点 P_{e2} へのハンド 31 の移動が終了するまでの時間 T_{1c} を算出する。ハンド動作開始指示部 13 は、差し込み量 d に相当する直線移動の開始前か、または、当該直線移動の途中かに関わらず、 $T_0 < T_{gsp}$ を充足した時点 T_k において閉動作命令をハンド制御装置へ送る。

[0066] 次に、ロボット制御装置 10 の動作手順について説明する。図 5 は、実施の形態 1 にかかるロボット制御装置 10 の動作手順を示すフローチャートである。

[0067] ステップ S 1 において、ロボット制御装置 10 は、対象物の位置 P の情報とハンド動作情報とを取得する。ステップ S 2 において、ロボット制御装置 10 は、ハンド動作時間算出部 17 において、ハンド特性情報を組み入れた計算によりハンド動作時間 T_{gsp} を算出する。ステップ S 2 は、ハンド動作時間 T_{gsp} を予測するステップである。

[0068] ステップ S 3 において、ロボット制御装置 10 は、なじみ時間予測部 12 においてなじみ時間 T_{fit} を算出する。ステップ S 3 は、なじみ時間 T_{fit} を予測するステップである。なじみ時間予測部 12 は、ハンド特性情報および対象物特性情報の少なくとも一方と、ハンド動作情報とを組み入れた計算により、なじみ時間 T_{fit} を算出する。

[0069] ステップ S 4 において、ロボット制御装置 10 は、ロボット動作時間算出部 16 において、ロボット残動作時間 T_0 を算出する。動作時間予測部 11 は、ロボット残動作時間 T_0 を算出する前に、ロボット制御系情報と、位置 P の情報と、ハンド動作情報とを組み入れた計算を行うことにより、ロボット動作時間 T_1 を予測する。ロボット動作時間算出部 16 は、ロボット動作時間 T_1 から経過時間である時間 T_a を差し引くことによって、ロボット残動作時間 T_0 を算出する。なお、ステップ S 2 と、ステップ S 3 と、ロボット動作時間 T_1 を予測するステップとの順序は任意とする。ロボット制御装置 10 は、ステップ S 2 と、ステップ S 3 と、ロボット動作時間 T_1 を予測するステップとの各手順のうち 2 つ以上を同時に行っても良い。

[0070] ステップ S 5 において、ロボット制御装置 10 は、動作時間予測部 11 において、 $T_0 < T_{gsp}$ を充足したか否かを判断する。 $T_0 < T_{gsp}$ を充足していない場合（ステップ S 5, No）、ロボット制御装置 10 は、ステップ S 4 へ手順を戻し、再びロボット残動作時間 T_0 を算出する。 $T_0 < T_{gsp}$ を充足した場合（ステップ S 5, Yes）、ロボット制御装置 10 は、ステップ S 6 へ

手順を進める。

- [0071] ステップS 6において、ロボット制御装置1 0は、ハンド動作開始指示部1 3により、ハンド3 1の動作開始をハンド制御装置に指示する。ステップS 6は、予測されたロボット動作時間 T_1 と予測されたハンド動作時間 T_{gsp} とに基づいて決定されたタイミングでのハンド3 1の動作開始を指示するステップである。
- [0072] ステップS 7において、ロボット制御装置1 0は、把持後動作指示部1 4において、把持が開始された時点からなじみ時間 T_{fit} が経過したか否かを判断する。把持が開始された時点からなじみ時間 T_{fit} が経過していない場合（ステップS 7, No）、ロボット制御装置1 0は、ステップS 7の手順を繰り返す。把持が開始された時点からなじみ時間 T_{fit} が経過した場合（ステップS 7, Yes）、ロボット制御装置1 0は、ステップS 8へ手順を進める。
- [0073] ステップS 8において、ロボット制御装置1 0は、把持後動作指示部1 4により、対象物を把持する動作の次に行われるロボット3 0の動作を指示する。ステップS 8は、ハンド3 1が対象物の把持を開始した時点から、予測されたなじみ時間 T_{fit} が経過した後に、対象物を把持する動作の次に行われるロボット3 0の動作を指示するステップである。以上により、ロボット制御装置1 0は、図5に示す手順による動作を終了する。
- [0074] 実施の形態1によると、ロボット制御装置1 0は、ロボット制御系情報を組み入れた計算によりロボット動作時間 T_1 を予測することで、ロボット制御系の特性に起因するロボット3 0の動作の遅れを加味して、ハンド3 1の動作開始を指示するタイミングを調整することができる。ロボット制御装置1 0は、ハンド動作情報を組み入れた計算によりロボット動作時間 T_1 を予測することで、対象物の大きさに応じたハンド3 1の動作の態様を加味して、ハンド3 1の動作開始を指示するタイミングを調整することができる。ロボット制御装置1 0は、ハンド特性情報を組み入れた計算によりハンド動作時間 T_{gsp} を予測することで、ハンド3 1の動作特性を加味して、ハンド3 1の動作開始を指示するタイミングを調整することができる。ロボット制御装置

10は、熟練者による長時間に及ぶ調整が行われなくても、把持動作に要する時間を短縮するために、ハンド31の動作を指示するタイミングを正確に調整することができる。以上により、ロボット制御装置10は、ロボット30およびハンド31による把持動作に要する時間を短縮するために、ハンド31の動作を指示するタイミングを正確に調整することができるという効果を奏する。

[0075] さらに、実施の形態1によると、ロボット制御装置10は、なじみ時間 T_{fit} を予測して、ハンド31が対象物の把持を開始した時点から、予測されたなじみ時間 T_{fit} が経過した後に、把持動作の次に行われるロボット30の動作を指示する。ロボット制御装置10は、把持動作の次の動作開始のタイミングを調整するための試行錯誤が行われなくても、把持動作の次の動作を開始させるタイミングを適切に調整することができる。

[0076] 実施の形態2.

図6は、実施の形態2にかかるロボット制御装置10Aの構成例を示す図である。ロボット制御装置10Aは、実施の形態1で説明した動作時間予測部11と同様の動作時間予測部11Aを備える。また、ロボット制御装置10Aには、実施の形態1で説明したなじみ時間予測部12は備えられていない。実施の形態2では、上記の実施の形態1と同一の構成要素には同一の符号を付し、実施の形態1とは異なる構成について主に説明する。

[0077] 実施の形態2において、把持後動作指示部14は、ハンド31が対象物を把持した時点からロボット30が次の動作を開始するまでの待ち時間 T_w の値を記憶する。待ち時間 T_w の値は、ロボット30の制御のためのプログラムによりあらかじめ指定されている。または、待ち時間 T_w の値は、ロボット制御装置10Aのパラメータ値としてあらかじめ指定されている。待ち時間 T_w は、あらかじめ設定されたなじみ時間 T_{fit} に相当する。

[0078] 待ち時間 T_w には、対象物に応じて互いに異なる時間が設定されても良い。例えば、ある型式のハンド31を使用する場合において、金属製の対象物を把持する場合には待ち時間 T_w として時間 T_{w1} が設定され、樹脂製の対

象物を把持する場合には待ち時間 T_w として時間 $T_w 2$ が設定されることとしても良い。

[0079] 把持後動作指示部 14 は、 $T_{gsp} - T_p = 0$ となった時点からの経過時間と待ち時間 T_w とを比較する。把持後動作指示部 14 は、 $T_{gsp} - T_p = 0$ となった時点からの経過時間が待ち時間 T_w を超えた時点において、対象物を把持した後の次のロボット動作指令の出力を指令生成部に指示する。このようにして、把持後動作指示部 14 は、ハンド 31 が対象物の把持を開始した時点から待ち時間 T_w が経過した後に、対象物を把持する動作の次に行われるロボット 30 の動作開始を指示する。ロボット動作指令に従って駆動部がロボット 30 を駆動することにより、ロボット 30 は、対象物を把持した後の次の動作を開始する。

[0080] 実施の形態 2 によると、ロボット制御装置 10A は、実施の形態 1 の場合と同様に、ロボット 30 およびハンド 31 による把持動作に要する時間を短縮するために、把持動作を指示するタイミングを正確に調整することができる。また、ロボット制御装置 10A は、把持動作の次の動作開始のタイミングを調整するための試行錯誤が行われなくても、把持動作の次の動作を開始させるタイミングを適切に調整することができる。

[0081] 実施の形態 3.

図 7 は、実施の形態 3 にかかるロボット制御装置 10B の構成例を示す図である。ロボット制御装置 10B は、把持制御パラメータ更新部 18 を備える点が、実施の形態 1 にかかるロボット制御装置 10 とは異なる。また、ロボット制御装置 10B は、実施の形態 1 で説明した動作時間予測部 11 とは異なる動作時間予測部 11B と、実施の形態 1 で説明したなじみ時間予測部 12 とは異なるなじみ時間予測部 12B とを備える。実施の形態 3 では、上記の実施の形態 1 または 2 と同一の構成要素には同一の符号を付し、実施の形態 1 または 2 とは異なる構成について主に説明する。

[0082] 把持制御パラメータ更新部 18 には、対象物の位置 P の情報と、ハンド動作情報と、成否情報とが入力される。成否情報は、対象物の把持の成否につ

いての情報である。把持制御パラメータ更新部 18 は、把持制御パラメータを更新させる。把持制御パラメータは、把持動作を制御するためのパラメータである。ここでは、把持制御パラメータは、ハンド動作時間 T_{gsp} およびなじみ時間 T_{fit} であるものとする。把持制御パラメータ更新部 18 は、ロボット 30 およびハンド 31 の動作の検証により把持の成否を判定した結果を示す成否情報を取得する。成否情報としては、前回の把持動作である 1 回の把持動作における把持の成否を判定した結果を示す情報を用いることができる。なお、同じ把持制御パラメータの値を使用して複数回の検証を行った場合には、成否情報は、把持の成功率を示す値とする。以下、同じ把持制御パラメータの値を使用して複数回の検証を行う場合を例に挙げて説明する。

[0083] 把持制御パラメータ更新部 18 には、成否情報と、前回の把持動作におけるハンド動作情報とが入力される。把持制御パラメータ更新部 18 は、新しいハンド動作情報を動作時間予測部 11 へ出力する。新しいハンド動作情報は、次回の把持動作におけるハンド 31 の動作についての更新された情報である。また、把持制御パラメータ更新部 18 は、対象物の位置 P の情報を動作時間予測部 11 B へ出力する。

[0084] 動作時間予測部 11 B は、実施の形態 1 の動作時間予測部 11 と同様に、ロボット動作時間算出部 16 を備える。動作時間予測部 11 B には、実施の形態 1 で説明したハンド動作時間算出部 17 は備えられていない。

[0085] 次に、ロボット制御装置 10 B の動作について説明する。把持制御パラメータの更新を繰り返しながらロボット 30 およびハンド 31 の動作が検証される。実施の形態 3 では、把持制御パラメータ更新部 18 は、ハンド動作時間 T_{gsp} の更新を繰り返しながら検証が行われることによって取得された成否情報に基づいてハンド動作時間 T_{gsp} の値を決定する。また、把持制御パラメータ更新部 18 は、なじみ時間 T_{fit} の更新を繰り返しながら検証が行われることによって取得された成否情報に基づいてなじみ時間 T_{fit} の値を決定する。

[0086] 把持制御パラメータ更新部 18 は、ある決められた刻み幅 T_g でハンド動作時間 T_{gsp} の値を変化させることによるハンド動作時間 T_{gsp} の調整によって、

ハンド動作時間 T_{gsp} を更新する。把持制御パラメータ更新部 18 は、ハンド動作時間 T_{gsp} の更新を繰り返す際における、ハンド動作時間 T_{gsp} の最大値 T_{gsp_max} およびハンド動作時間 T_{gsp} の最小値 T_{gsp_min} を記憶する。また、把持制御パラメータ更新部 18 は、刻み幅 T_g の値を記憶する。なお、ハンド動作時間 T_{gsp} の更新においてハンド動作時間 T_{gsp} の値を変化させる態様は、実施の形態 3 で説明するものに限られず、適宜変更可能であるものとする。

[0087] 把持制御パラメータ更新部 18 は、ある決められた刻み幅 T_f でなじみ時間 T_{fit} の値を変化させることによるなじみ時間 T_{fit} の調整によって、なじみ時間 T_{fit} を更新する。把持制御パラメータ更新部 18 は、なじみ時間 T_{fit} の更新を繰り返す際における、なじみ時間 T_{fit} の最大値 T_{fit_max} およびなじみ時間 T_{fit} の最小値 T_{fit_min} を記憶する。また、把持制御パラメータ更新部 18 は、刻み幅 T_f の値を記憶する。なお、なじみ時間 T_{fit} の更新においてなじみ時間 T_{fit} の値を変化させる態様は、実施の形態 3 で説明するものに限られず、適宜変更可能であるものとする。

[0088] ここで、ハンド動作時間 T_{gsp} の値となじみ時間 T_{fit} の値とを決定する際におけるロボット制御装置 10B の動作について説明する。把持制御パラメータ更新部 18 は、ハンド動作時間 T_{gsp} の値を決定し、その後、なじみ時間 T_{fit} の値を決定する。ロボット制御装置 10B は、なじみ時間 T_{fit} の値を最大値 T_{fit_max} に固定し、かつ、ハンド動作時間 T_{gsp} の値を最小値 T_{gsp_min} から刻み幅 T_g ごとに順次増加させて、ロボット 30 およびハンド 31 の動作を検証する。ロボット制御装置 10B は、かかる検証によって、ハンド動作時間 T_{gsp} の値を決定する。

[0089] 把持制御パラメータ更新部 18 は、ハンド動作時間 T_{gsp} の値を決定するための動作の開始時に、ハンド動作時間 T_{gsp} の値には最小値 T_{gsp_min} を設定し、なじみ時間 T_{fit} の値には最大値 T_{fit_max} を設定する。把持制御パラメータ更新部 18 は、ハンド動作時間 T_{gsp} の値、すなわち最小値 T_{gsp_min} を動作時間予測部 11B へ出力する。把持制御パラメータ更新部 18 は、なじみ時間 T_{fit} の値、すなわち最大値 T_{fit_max} をなじみ時間予測部 12B へ出力する。

- [0090] 実施の形態１の場合と同様に、動作時間予測部１１Ｂは、ロボット動作時間算出部１６において、ロボット制御系情報と、位置Ｐの情報と、ハンド動作情報とを組み入れた計算によってロボット動作時間Ｔ１を算出する。動作時間予測部１１Ｂは、ロボット制御系情報と、位置Ｐの情報と、ハンド動作情報とを組み入れた計算によりロボット動作時間Ｔ１を予測する。ロボット動作時間算出部１６は、ロボット動作時間Ｔ１から経過時間である時間Ｔ_aを差し引くことによって、ロボット残動作時間Ｔ０を算出する。
- [0091] 動作時間予測部１１Ｂは、ロボット残動作時間Ｔ０の値と、入力されたハンド動作時間Ｔ_{gsp}の値とを比較する。実施の形態１の場合と同様に、動作時間予測部１１Ｂは、ロボット残動作時間Ｔ０の値が $T_0 < T_{gsp}$ を充足する値に到達したタイミングを検出する。動作時間予測部１１Ｂは、当該タイミングを検出すると、 $T_0 < T_{gsp}$ を充足するタイミングが到来したことをハンド動作開始指示部１３へ伝達する。また、動作時間予測部１１Ｂは、当該タイミングにおけるロボット残動作時間Ｔ０の値と、当該タイミングにおけるハンド動作時間Ｔ_{gsp}の値とをハンド動作開始指示部１３へ送る。
- [0092] 実施の形態１の場合と同様に、ハンド動作開始指示部１３は、時点Ｔ_kを示す情報、例えば、時点Ｔ_kを示す時刻情報を把持後動作指示部１４へ送る。さらに、ハンド動作開始指示部１３は、動作時間予測部１１Ｂから入力されたハンド動作時間Ｔ_{gsp}の値と経過時間Ｔ_pの値との差分 $T_{gsp} - T_p$ を、随時、把持後動作指示部１４へ送る。
- [0093] 実施の形態１の場合と同様に、動作時間予測部１１Ｂは、補正量ΔＴを設定しておき、 $T_0 < T_{gsp}$ を充足するタイミングの代わりに、 $T_0 < T_{gsp} - \Delta T$ を充足するタイミングを検出しても良い。動作時間予測部１１Ｂは、当該タイミングを検出すると、 $T_0 < T_{gsp} - \Delta T$ を充足するタイミングが到来したことをハンド動作開始指示部１３へ伝達する。また、動作時間予測部１１Ｂは、当該タイミングにおけるロボット残動作時間Ｔ０の値と、当該タイミングにおけるハンド動作時間Ｔ_{gsp}の値と、補正量ΔＴの値とを、ハンド動作開始指示部１３へ送る。

[0094] 実施の形態1の場合と同様に、ロボット制御装置10Bは、 $T_0 = 0$ の時点でハンド31の開き幅が $2R_{wc}$ となるように、ハンド31による閉動作の開始をハンド制御装置に指示する。これにより、ロボット制御装置10Bは、 $\Delta T > 0$ のときにおいて、ロボット30の動作が終了するタイミングで指部を対象物に接触させることができる。また、ロボット制御装置10Bは、ロボット30の動作中において対象物に指部を接触させないようにすることで、把持の失敗を低減できる。

[0095] なじみ時間予測部12Bは、把持制御パラメータ更新部18から入力されたなじみ時間 T_{fit} の値を、そのまま把持後動作指示部14へ出力する。実施の形態1の場合と同様に、把持後動作指示部14には、時点 T_k を示す情報と、ハンド動作時間 T_{gsp} の値と経過時間 T_p の値との差分 $T_{gsp} - T_p$ とが入力される。把持後動作指示部14は、 $T_{gsp} - T_p = 0$ となった時点からの経過時間がなじみ時間 T_{fit} を超えた時点において、対象物を把持した後の次のロボット動作指令の出力を指令生成部に指示する。ロボット動作指令に従って駆動部がロボット30を駆動することにより、ロボット30は、対象物を把持した後の次の動作を開始する。

[0096] ロボット30の動作後に、ロボット30を停止させた位置で対象物が把持されているか否かが、ビジョンセンサを用いて判定される。このように、ハンド31によって対象物を把持してロボット30により対象物を上昇させる一連の動作の検証により、把持の成否が判定される。あらかじめ設定された回数の動作をロボット30とハンド31とに行わせることによって、把持の成功率が算出される。把持制御パラメータ更新部18には、成功率の値を示す把持情報が入力される。

[0097] 成功率があらかじめ設定された閾値以上である場合、把持制御パラメータ更新部18は、ハンド動作時間 T_{gsp} の最小値 T_{gsp_min} に刻み幅 T_g を加算した値を動作時間予測部11Bへ出力する。把持制御パラメータ更新部18は、ハンド動作時間 T_{gsp} の値に刻み幅 T_g を加算することによりハンド動作時間 T_{gsp} を更新する。ロボット制御装置10Bは、更新されたハンド動作時間 T_{gsp} に

ついて、上記説明と同様の動作を繰り返し、成功率の値を取得する。

[0098] 把持制御パラメータ更新部 18 は、成功率が閾値以下となるか、または、ハンド動作時間 T_{gsp} の値が最大値 T_{gsp_max} に到達するまで、ハンド動作時間 T_{gsp} の更新を繰り返すとともに成功率を取得する。把持制御パラメータ更新部 18 は、ハンド動作時間 T_{gsp} の更新と検証とを繰り返す間において成功率が閾値以下となること無く、ハンド動作時間 T_{gsp} が最大値 T_{gsp_max} に到達した場合は、最大値 T_{gsp_max} を、ハンド動作時間 T_{gsp} の値に決定する。把持制御パラメータ更新部 18 は、ハンド動作時間 T_{gsp} の更新と検証とを繰り返す間において成功率が閾値以下となった場合、成功率が閾値以下となった検証の 1 つ前の検証の際に設定されていたハンド動作時間 T_{gsp} の値を、ハンド動作時間 T_{gsp} の値に決定する。

[0099] このようにして、把持制御パラメータ更新部 18 は、ハンド動作時間 T_{gsp} の更新を繰り返しながら検証が行われて取得された成否情報に基づいてハンド動作時間 T_{gsp} の値を決定する。動作時間予測部 11B は、把持制御パラメータ更新部 18 によって成否情報に基づいて決定されたハンド動作時間 T_{gsp} の値を、予測されたハンド動作時間 T_{gsp} の値として出力する。

[0100] 次に、ロボット制御装置 10B は、なじみ時間 T_{fit} の値を決定するための動作を行う。ロボット制御装置 10B は、ハンド動作時間 T_{gsp} の値を、決定された値に固定し、かつ、なじみ時間 T_{fit} の値を最大値 T_{fit_max} から刻み幅 T_f ごとに順次減少させて、ロボット 30 およびハンド 31 の動作を検証する。ロボット制御装置 10B は、かかる検証によって、なじみ時間 T_{fit} の値を決定する。

[0101] 把持制御パラメータ更新部 18 は、なじみ時間 T_{fit} の値を決定する動作の開始時に、なじみ時間 T_{fit} には最大値 T_{fit_max} を設定する。把持制御パラメータ更新部 18 は、なじみ時間 T_{fit} の値、すなわち最大値 T_{fit_max} をなじみ時間予測部 12B へ出力する。ハンド動作時間 T_{gsp} の値を決定する場合と同様に、なじみ時間 T_{fit} の値を決定する場合も、あらかじめ設定された回数の動作をロボット 30 とハンド 31 とに行わせることによって、把持の成功率が算出され

る。把持制御パラメータ更新部 18 には、成功率の値を示す把持情報が入力される。

[0102] 成功率があらかじめ設定された閾値以上である場合、把持制御パラメータ更新部 18 は、なじみ時間 T_{fit} の最大値 T_{fit_max} から刻み幅 T_f を減算した値をなじみ時間予測部 12B へ出力する。把持制御パラメータ更新部 18 は、なじみ時間 T_{fit} の値から刻み幅 T_f を減算することによりなじみ時間 T_{fit} を更新する。ロボット制御装置 10B は、更新されたなじみ時間 T_{fit} について、上記説明と同様の動作を繰り返し、成功率の算出結果を取得する。

[0103] 把持制御パラメータ更新部 18 は、成功率が閾値以下となるか、または、なじみ時間 T_{fit} の値が最小値 T_{fit_min} に到達するまで、なじみ時間 T_{fit} の更新を繰り返すとともに成功率を取得する。把持制御パラメータ更新部 18 は、なじみ時間 T_{fit} の更新と検証とを繰り返す間において成功率が閾値以下となることなく、なじみ時間 T_{fit} の値が最小値 T_{fit_min} に到達した場合は、最小値 T_{fit_min} を、なじみ時間 T_{fit} の値に決定する。把持制御パラメータ更新部 18 は、なじみ時間 T_{fit} の更新と検証とを繰り返す間において成功率が閾値以下となった場合、成功率が閾値以下となった検証の 1 つ前の検証の際に設定されていたなじみ時間 T_{fit} の値を、なじみ時間 T_{fit} の値に決定する。

[0104] このようにして、把持制御パラメータ更新部 18 は、なじみ時間 T_{fit} の更新を繰り返しながら検証が行われて取得された成否情報に基づいてなじみ時間 T_{fit} の値を決定する。なじみ時間予測部 12B は、把持制御パラメータ更新部 18 によって成否情報に基づいて決定されたなじみ時間 T_{fit} の値を、予測されたなじみ時間 T_{fit} の値として出力する。

[0105] ここまで、把持制御パラメータ更新部 18 が、ハンド動作時間 T_{gsp} となじみ時間 T_{fit} とを更新させ、かつ成否情報に基づいてハンド動作時間 T_{gsp} の値となじみ時間 T_{fit} の値とを決定する例を説明した。実施の形態 3 では、把持制御パラメータ更新部 18 は、ハンド動作時間 T_{gsp} の代わりに、ロボット 30 の動作の遅れ時間 T_{rs} を更新させて、成否情報に基づいて遅れ時間 T_{rs} の値を決定しても良い。実施の形態 3 では、把持制御パラメータは、ロボット制御系情報

である遅れ時間 T_{rs} 、および、なじみ時間 T_{fit} であっても良い。

[0106] 把持制御パラメータ更新部18は、遅れ時間 T_{rs} の更新を繰り返しながら検証が行われて取得された成否情報に基づいて遅れ時間 T_{rs} の値を決定する。動作時間予測部11Bは、ロボット動作時間算出部16において、決定された遅れ時間 T_{rs} の値を組み入れた計算によってロボット動作時間 T_1 を算出する。動作時間予測部11Bは、決定された遅れ時間 T_{rs} の値を組み入れた計算によりロボット動作時間 T_1 を予測する。

[0107] 把持制御パラメータ更新部18は、ある決められた刻み幅 T_r で遅れ時間 T_{rs} の値を変化させることによる遅れ時間 T_{rs} の調整によって、遅れ時間 T_{rs} を更新する。把持制御パラメータ更新部18は、遅れ時間 T_{rs} の更新を繰り返す際における、遅れ時間 T_{rs} の最大値 T_{rs_max} および遅れ時間 T_{rs} の最小値 T_{rs_min} を記憶する。また、把持制御パラメータ更新部18は、刻み幅 T_r の値を記憶する。なお、遅れ時間 T_{rs} の更新において遅れ時間 T_{rs} の値を変化させる態様は、実施の形態3で説明するものに限られず、適宜変更可能であるものとする。

[0108] ここで、遅れ時間 T_{rs} の値を決定する際におけるロボット制御装置10Bの動作について説明する。把持制御パラメータ更新部18は、遅れ時間 T_{rs} の値を決定し、その後、なじみ時間 T_{fit} の値を決定する。ロボット制御装置10Bは、なじみ時間 T_{fit} の値を固定の値とし、かつ、遅れ時間 T_{rs} の値を最大値 T_{rs_max} または最小値 T_{rs_min} から刻み幅 T_r で変化させて、ロボット30およびハンド31の動作を検証する。ロボット制御装置10Bは、かかる検証によって、遅れ時間 T_{rs} の値を決定する。

[0109] 把持制御パラメータ更新部18は、遅れ時間 T_{rs} の値を決定するための動作の開始時に、遅れ時間 T_{rs} の値には最大値 T_{rs_max} または最小値 T_{rs_min} を設定する。把持制御パラメータ更新部18は、遅れ時間 T_{rs} の値を動作時間予測部11Bへ出力する。実施の形態1の場合と同様に、ロボット動作時間算出部16は、ロボット動作指令に基づいて時間 T_{1c} を算出する。ロボット動作時間算出部16は、時間 T_{1c} に遅れ時間 T_{rs} を加算することによって、ロボ

ット動作時間 T_1 を算出する。ロボット動作時間算出部 16 は、ロボット 30 が動作を開始した時点からの経過時間である時間 T_a をロボット動作時間 T_1 から差し引くことによってロボット残動作時間 T_0 を算出する。

[0110] 把持制御パラメータ更新部 18 は、成功率が閾値以下となるか、あるいは、遅れ時間 T_{rs} の値が最大値 T_{rs_max} または最小値 T_{rs_min} に到達するまで、遅れ時間 T_{rs} の更新を繰り返すとともに成功率を取得する。このようにして、把持制御パラメータ更新部 18 は、遅れ時間 T_{rs} の更新を繰り返しながら検証が行われて取得された成否情報に基づいて遅れ時間 T_{rs} の値を決定する。動作時間予測部 11B は、決定された遅れ時間 T_{rs} の値を組み入れた計算によりロボット動作時間 T_1 を予測する。

[0111] 実施の形態 3 によると、ロボット制御装置 10B は、ハンド動作時間 T_{gsp} およびなじみ時間 T_{fit} の各々を更新させ、検証により取得された成否情報に基づいてハンド動作時間 T_{gsp} の値となじみ時間 T_{fit} の値とを決定する。または、ロボット制御装置 10B は、ロボット制御系情報である遅れ時間 T_{rs} 、およびなじみ時間 T_{fit} の各々を更新させ、検証により取得された成否情報に基づいて遅れ時間 T_{rs} の値となじみ時間 T_{fit} の値とを決定する。これにより、ロボット制御装置 10B は、把持の成功率を向上させることができ、かつ、ロボット 30 およびハンド 31 による把持動作に要する時間を短縮することができる。

[0112] 実施の形態 3 において、把持制御パラメータ更新部 18 は、補正量 ΔT を更新させ、かつ成否情報に基づいて補正量 ΔT の値を決定しても良い。この場合、把持制御パラメータには、補正量 ΔT が含まれる。把持制御パラメータ更新部 18 は、補正量 ΔT の更新を繰り返しながら検証が行われて取得された成否情報に基づいて補正量 ΔT の値を決定する。把持制御パラメータ更新部 18 は、ある決められた刻み幅で補正量 ΔT の値を変化させることによる補正量 ΔT の調整によって、補正量 ΔT を更新する。動作時間予測部 11B は、ロボット動作時間算出部 16 において、決定された補正量 ΔT の値を組み入れた計算によってロボット動作時間 T_1 を算出する。ロボット制御装置 10B は、成否情報に基づいて補正量 ΔT の値を決定する場合も、ユーザ

によるマニュアルの調整方法に比べて、簡単に把持の成功率を向上させることができ、かつ、ロボット30およびハンド31による把持動作に要する時間を短縮することができる。

[0113] 実施の形態3において、把持制御パラメータ更新部18は、差し込み量 d を更新させ、かつ成否情報に基づいて差し込み量 d の値を決定しても良い。この場合、把持制御パラメータには、差し込み量 d が含まれる。把持制御パラメータ更新部18は、差し込み量 d の更新を繰り返しながら検証が行われて取得された成否情報に基づいて差し込み量 d の値を決定する。把持制御パラメータ更新部18は、ある決められた刻み幅で差し込み量 d の値を変化させることによる差し込み量 d の調整によって、差し込み量 d を更新する。動作時間予測部11Bは、ロボット動作時間算出部16において、決定された差し込み量 d の値を組み入れた計算によってロボット動作時間 T_1 を算出する。ロボット制御装置10Bは、成否情報に基づいて差し込み量 d の値を決定する場合も、ユーザによるマニュアルの調整方法に比べて、簡単に把持の成功率を向上させることができ、かつ、ロボット30およびハンド31による把持動作に要する時間を短縮することができる。

[0114] 実施の形態4.

実施の形態4では、実施の形態3における把持制御パラメータの更新の態様の変形例について説明する。実施の形態4にかかるロボット制御装置10Bの動作は、把持制御パラメータの調整の態様が実施の形態3とは異なる。ここでは、図7を参照して、実施の形態4にかかるロボット制御装置10Bの動作を説明する。実施の形態4では、上記の実施の形態1から3と同一の構成要素には同一の符号を付し、実施の形態1から3とは異なる構成について主に説明する。

[0115] 実施の形態4において、把持制御パラメータは、実施の形態3と同様に、ハンド動作時間 T_{gsp} およびなじみ時間 T_{fit} 、または、ロボット制御系情報である遅れ時間 T_{rs} 、およびなじみ時間 T_{fit} である。把持制御パラメータには、補正量 ΔT または差し込み量 d が含まれても良い。ここでは、把持制御パラメ

ータがハンド動作時間 T_{gsp} およびなじみ時間 T_{fit} である場合を例として説明する。

[0116] 実施の形態3では、ロボット制御装置10Bは、ハンド動作時間 T_{gsp} の値となじみ時間 T_{fit} の値とのうち、一方を固定の値とし、他方を決められた刻み幅 T_g , T_f で変化させることによって、ハンド動作時間 T_{gsp} の更新、またはなじみ時間 T_{fit} の更新を行った。実施の形態4では、ロボット制御装置10Bは、ハンド動作時間 T_{gsp} の値となじみ時間 T_{fit} の値との組み合わせを、粒子群最適化、ベイズ最適化、または、遺伝的アルゴリズムなどの探索手法を用いて探索する。

[0117] 探索に用いられる評価関数には、動作時間の短さを評価する関数が使用される。動作時間は、ロボット30およびハンド31による把持動作に要する時間であって、ロボット30が目的位置への移動を開始してからハンド31が対象物を把持する動作を終えるまでの時間とする。把持に失敗した場合には、評価結果に大きなペナルティが加算される。把持制御パラメータ更新部18は、把持を成功でき、かつ動作時間を短縮できるハンド動作時間 T_{gsp} の値となじみ時間 T_{fit} の値との最適な組み合わせを、評価関数を使用して探索する。把持制御パラメータ更新部18は、探索の回数があらかじめ設定された回数に到達した時点で探索を終了し、それまでの探索において評価関数が最小となったハンド動作時間 T_{gsp} の値となじみ時間 T_{fit} の値との組み合わせを出力する。

[0118] なお、把持制御パラメータが遅れ時間 T_{rs} およびなじみ時間 T_{fit} である場合、把持制御パラメータ更新部18は、把持を成功でき、かつ動作時間を短縮できる遅れ時間 T_{rs} の値となじみ時間 T_{fit} の値との最適な組み合わせを、評価関数を使用して探索する。

[0119] 実施の形態4によると、ロボット制御装置10Bは、把持を成功でき、かつ動作時間を短縮できるハンド動作時間 T_{gsp} の値となじみ時間 T_{fit} の値との最適な組み合わせを、評価関数を使用して探索する。または、ロボット制御装置10Bは、把持を成功でき、かつ動作時間を短縮できる遅れ時間 T_{rs} の値と

なじみ時間 T_{fit} の値との最適な組み合わせを、評価関数を使用して探索する。これにより、ロボット制御装置 10B は、把持の成功率を向上させることができ、かつ、ロボット 30 およびハンド 31 による把持動作に要する時間を短縮することができる。

[0120] 実施の形態 5.

図 8 は、実施の形態 5 にかかるロボット制御装置 10C の構成例を示す図である。ロボット制御装置 10C は、実施の形態 3 で説明した動作時間予測部 11B と同様の動作時間予測部 11C を備える。また、ロボット制御装置 10C には、実施の形態 3 で説明したなじみ時間予測部 12B は備えられていない。実施の形態 5 では、上記の実施の形態 1 から 4 と同一の構成要素には同一の符号を付し、実施の形態 1 から 4 とは異なる構成について主に説明する。

[0121] ロボット制御装置 10C は、実施の形態 3 で説明した把持制御パラメータ更新部 18 とは異なる把持制御パラメータ更新部 18C を備える。実施の形態 5 において、把持制御パラメータは、ハンド動作時間 T_{gsp} または遅れ時間 T_{rs} である。

[0122] 実施の形態 3 の場合と同様に、把持制御パラメータ更新部 18C は、ハンド動作時間 T_{gsp} を更新させ、かつ、成否情報を取得する。把持制御パラメータ更新部 18C は、ハンド動作時間 T_{gsp} の更新を繰り返しながら検証が行われて取得された成否情報に基づいてハンド動作時間 T_{gsp} の値を決定する。または、実施の形態 3 の場合と同様に、把持制御パラメータ更新部 18C は、ロボット制御系情報である遅れ時間 T_{rs} を更新させ、かつ、成否情報を取得する。把持制御パラメータ更新部 18C は、ハンド動作時間 T_{gsp} の更新を繰り返しながら検証が行われることによって取得された成否情報に基づいてハンド動作時間 T_{gsp} の値を決定する。実施の形態 5 において、把持制御パラメータ更新部 18C は、なじみ時間 T_{fit} の更新およびなじみ時間 T_{fit} の値の決定を行わない。

[0123] ハンド動作時間 T_{gsp} の値または遅れ時間 T_{rs} の値を決定するためのロボット制御装置 10C の動作は、実施の形態 3 の場合と同様である、実施の形態 5

によると、ロボット制御装置 10C は、把持の成功率を向上させることができ、かつ、ロボット 30 およびハンド 31 による把持動作に要する時間を短縮することができる。なお、実施の形態 3 または 4 の場合と同様に、把持制御パラメータには、補正量 ΔT または差し込み量 d が含まれても良い。

[0124] 実施の形態 6.

実施の形態 6 では、機械学習により把持制御パラメータの値を決定する例について説明する。図 9 は、実施の形態 6 にかかるロボット制御装置 10D の構成例を示す図である。ロボット制御装置 10D は、把持制御パラメータ学習部 20 を備える。ロボット制御装置 10D には、実施の形態 3 で説明した把持制御パラメータ更新部 18 は備えられていない。ロボット制御装置 10D は、実施の形態 3 で説明した動作時間予測部 11B と同様の動作時間予測部 11D を備える。ロボット制御装置 10D は、実施の形態 3 で説明したなじみ時間予測部 12B と同様のなじみ時間予測部 12D を備える。実施の形態 6 では、上記の実施の形態 1 から 5 と同一の構成要素には同一の符号を付し、実施の形態 1 から 5 とは異なる構成について主に説明する。

[0125] 把持制御パラメータ学習部 20 は、学習装置 21 と、推論装置 22 と、学習済モデル記憶部 23 とを備える。学習装置 21 は、対象物の位置 P とハンド動作情報と把持制御パラメータとの関係であって、把持の成功率があらかじめ設定された閾値以上、かつ、ロボット 30 およびハンド 31 による把持動作に要する時間である動作時間が最短となるときにおける関係を学習する。把持制御パラメータは、ハンド動作時間 T_{gsp} 、なじみ時間 T_{fit} 、および、ロボット制御系情報である遅れ時間 T_{rs} の少なくとも 1 つである。ここでは、対象物の位置 P と、ハンド動作情報と、ハンド動作時間 T_{gsp} 、なじみ時間 T_{fit} 、および遅れ時間 T_{rs} との関係を学習する場合を例として説明する。ハンド動作情報は、差し込み量 d の値、および、開き幅 w の値とする。ハンド動作情報には、開き幅 w の値の代わりに、対象物の幅の値が含まれても良い。

[0126] 学習装置 21 は、対象物の位置 P とハンド動作情報と把持制御パラメータとの関係を示す学習済モデルを生成する。学習済モデル記憶部 23 は、学習

済モデルを記憶する。推論装置 22 は、学習済モデルを使用して、ハンド動作時間 T_{gsp} 、なじみ時間 T_{fit} 、および遅れ時間 T_{rs} の各値を推論する。

[0127] 図 10 は、実施の形態 6 にかかるロボット制御装置 10D が有する把持制御パラメータ学習部 20 のうち、学習装置 21 および学習済モデル記憶部 23 を示す図である。学習装置 21 は、データ取得部 24 およびモデル生成部 25 を備える。データ取得部 24 には、遅れ時間 T_{rs} 、ハンド動作時間 T_{gsp} 、およびなじみ時間 T_{fit} の各値と、位置 P の情報と、ハンド動作情報と、成否情報と、動作時間情報とが入力される。

[0128] 成否情報は、位置 P、差し込み量 d 、および開き幅 w の組み合わせごとに遅れ時間 T_{rs} 、ハンド動作時間 T_{gsp} 、およびなじみ時間 T_{fit} の各値を更新しながら把持動作を検証することによって取得される。実施の形態 6 において、成否情報は、把持の成功率を示す値とする。動作時間情報は、ロボット 30 が目的位置への移動を開始してからハンド 31 が対象物を把持する動作を終えるまでの時間の長さを示す値とする。動作時間は、把持動作を検証する際に計測される。

[0129] データ取得部 24 は、遅れ時間 T_{rs} 、ハンド動作時間 T_{gsp} 、およびなじみ時間 T_{fit} の各値の組み合わせと、位置 P の情報と、ハンド動作情報と、成否情報と、動作時間情報とを使用して、学習用データを作成する。データ取得部 24 は、入力された遅れ時間 T_{rs} 、ハンド動作時間 T_{gsp} 、およびなじみ時間 T_{fit} の各値の組み合わせから、成功率が閾値以上、かつ動作時間が最短となるときの組み合わせを抽出する。データ取得部 24 は、位置 P の情報と、ハンド動作情報と、抽出された遅れ時間 T_{rs} 、ハンド動作時間 T_{gsp} 、およびなじみ時間 T_{fit} の各値の組み合わせとを互いに関連付けた学習用データを作成する。このようにして、データ取得部 24 は、学習用データを取得する。

[0130] モデル生成部 25 は、学習用データを用いて、位置 P およびハンド動作情報から、遅れ時間 T_{rs} 、ハンド動作時間 T_{gsp} 、およびなじみ時間 T_{fit} の各値を推論するための学習済モデルを生成する。学習済モデル記憶部 23 は、生成された学習済モデルを記憶する。

[0131] モデル生成部 25 が用いる学習アルゴリズムとしては、教師あり学習、教師なし学習、または強化学習等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する場合について説明する。モデル生成部 25 は、ニューラルネットワークモデルに従い、いわゆる教師あり学習によって、遅れ時間 T_{rs} 、ハンド動作時間 T_{gsp} 、およびなじみ時間 T_{fit} の各値の組み合わせを学習する。ここで、教師あり学習とは、入力および結果のデータの組を学習装置 21 に与えることで、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である。学習用データは、入力と、入力に対応する結果であるラベルとを含む。位置 P の情報およびハンド動作情報は入力に相当し、遅れ時間 T_{rs} 、ハンド動作時間 T_{gsp} 、およびなじみ時間 T_{fit} の各値はラベルに相当する。

[0132] 図 11 は、実施の形態 6 における機械学習に使用されるニューラルネットワークの構成例を示す図である。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と、複数のニューロンからなる中間層である隠れ層と、複数のニューロンからなる出力層とで構成される。中間層は、1 層、または 2 層以上でも良い。入力層へ入力された複数の値の各々は、重みが乗算されて、中間層へ入力される。中間層へ入力された複数の値の各々は、重みが乗算されて、出力層から出力される。出力層から出力される出力結果は、入力層で乗算される重みの値と、中間層で乗算される重みの値とに従って変化する。

[0133] ニューラルネットワークは、入力層に位置 P の情報およびハンド動作情報を入力して出力層から出力された結果が、遅れ時間 T_{rs} 、ハンド動作時間 T_{gsp} 、およびなじみ時間 T_{fit} の各値に近づくように重みの値を調整することによって、遅れ時間 T_{rs} 、ハンド動作時間 T_{gsp} 、およびなじみ時間 T_{fit} の各値の組み合わせを学習する。モデル生成部 25 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する。モデル生成部 25 は、既に生成された学習済モデルを学習済モデル記憶部 23 から読み出し、学習用データに従った再学習により学習済モデルを更新しても良い。

[0134] 図 12 は、実施の形態 6 にかかるロボット制御装置 10D が有する把持制御パラメータ学習部 20 のうち、推論装置 22 および学習済モデル記憶部 23 を示す図である。推論装置 22 は、データ取得部 26 および推論部 27 を備える。

[0135] データ取得部 26 に位置 P の情報およびハンド動作情報が入力されることによって、データ取得部 26 は、推論用データである位置 P の情報およびハンド動作情報を取得する。推論部 27 は、学習済モデル記憶部 23 から学習済モデルを読み出す。推論部 27 は、学習済モデルへ位置 P の情報およびハンド動作情報を入力することによって、遅れ時間 T_{rs} 、ハンド動作時間 T_{gsp} およびなじみ時間 T_{fit} の各値を出力する。

[0136] 把持制御パラメータ学習部 20 は、遅れ時間 T_{rs} およびハンド動作時間 T_{gsp} の各値を動作時間予測部 11D へ出力する。把持制御パラメータ学習部 20 は、なじみ時間 T_{fit} の値をなじみ時間予測部 12D へ出力する。

[0137] 実施の形態 1 の場合と同様に、ロボット動作時間算出部 16 は、ロボット動作指令に基づいて時間 $T1c$ を算出する。ロボット動作時間算出部 16 は、時間 $T1c$ に遅れ時間 T_{rs} を加算することによって、ロボット動作時間 $T1$ を算出する。ロボット動作時間算出部 16 は、ロボット 30 が動作を開始した時点からの経過時間である時間 Ta をロボット動作時間 $T1$ から差し引くことによってロボット残動作時間 $T0$ を算出する。実施の形態 1 の場合と同様に、動作時間予測部 11D は、ロボット動作時間算出部 16 において、ロボット制御系情報と、対象物の位置 P の情報と、ハンド動作情報とを組み入れた計算によってロボット動作時間 $T1$ を算出する。動作時間予測部 11D は、ロボット制御系情報と、対象物の位置 P の情報と、ハンド動作情報とを組み入れた計算によりロボット動作時間 $T1$ を予測する。

[0138] 動作時間予測部 11D は、ロボット残動作時間 $T0$ の値と、入力されたハンド動作時間 T_{gsp} の値とを比較する。実施の形態 1 の場合と同様に、動作時間予測部 11D は、ロボット残動作時間 $T0$ の値が $T0 < T_{gsp}$ を充足する値に到達したタイミングを検出すると、 $T0 < T_{gsp}$ を充足するタイミングが到来した

ことをハンド動作開始指示部 13 へ伝達する。また、動作時間予測部 11D は、当該タイミングにおけるロボット残動作時間 T_0 の値と、当該タイミングにおけるハンド動作時間 T_{gsp} の値とをハンド動作開始指示部 13 へ送る。

[0139] なお、実施の形態 1 の場合と同様に、動作時間予測部 11D は、補正量 ΔT を設定しておき、 $T_0 < T_{gsp}$ を充足するタイミングの代わりに、 $T_0 < T_{gsp} - \Delta T$ を充足するタイミングを検出しても良い。ロボット制御装置 10D は、 $T_0 = 0$ の時点でハンド 31 の開き幅が $2R_{wc}$ となるように、把持動作の開始をハンド制御装置に指示する。これにより、ロボット制御装置 10D は、 $\Delta T > 0$ のときにおいて、ロボット 30 の動作が終了するタイミングで指部を対象物に接触させることができる。また、ロボット制御装置 10D は、ロボット 30 の動作中において対象物に指部を接触させないようにすることで、把持の失敗を低減できる。

[0140] なじみ時間予測部 12D は、把持制御パラメータ学習部 20 から入力されたなじみ時間 T_{fit} の値を、そのまま把持後動作指示部 14 へ出力する。なお、ハンド動作開始指示部 13 および把持後動作指示部 14 の各々の動作は、実施の形態 1 の場合と同様である。

[0141] 実施の形態 6 では、モデル生成部 25 が用いる学習アルゴリズムに教師あり学習を適用する場合について説明したが、学習アルゴリズムには、教師あり学習以外の学習が適用されても良い。モデル生成部 25 は、強化学習、教師なし学習、または半教師あり学習といった学習アルゴリズムを用いて機械学習を実行しても良い。モデル生成部 25 は、深層学習 (Deep Learning)、遺伝的プログラミング、帰納論理プログラミング、またはサポートベクターマシンといった学習アルゴリズムを用いて機械学習を実行しても良い。

[0142] 実施の形態 6 では、学習装置 21 は、ロボット制御装置 10D に内蔵されている。学習装置 21 は、ロボット制御装置 10D の外部の装置でも良い。学習装置 21 は、ネットワークを介してロボット制御装置 10D に接続される装置でも良く、クラウドサーバ上に存在する装置でも良い。

[0143] 学習装置 21 は、1 つのロボット制御装置 10D について作成された学習

用データに従って把持制御パラメータの値を学習するものに限られない。学習装置 21 は、複数のロボット制御装置 10D について作成された学習用データに従って、把持制御パラメータの値を学習しても良い。学習装置 21 は、同一の場所で使用される複数のロボット制御装置 10D から学習用データを取得しても良く、または、互いに異なる場所で使用される複数のロボット制御装置 10D から学習用データを取得しても良い。学習用データは、複数の場所において互いに独立して稼働するロボット制御装置 10D から取得されても良い。複数のロボット制御装置 10D からの学習用データの取得を開始した後に、学習用データが取得される対象に新たなロボット制御装置 10D が追加されても良い。また、複数のロボット制御装置 10D からの学習用データの取得を開始した後に、学習用データが取得される対象から、複数のロボット制御装置 10D の一部が除外されても良い。

[0144] ある 1 つのロボット制御装置 10D について学習を行った学習装置 21 は、当該ロボット制御装置 10D 以外の他のロボット制御装置 10D についての学習を行っても良い。学習装置 21 は、当該他のロボット制御装置 10D についての再学習によって、学習済モデルを更新することができる。

[0145] 学習装置 21 は、対象物の位置 P と、ハンド動作情報と、ハンド動作時間 T_{gsp} 、なじみ時間 T_{fit} 、および、遅れ時間 T_{rs} の各値のうち少なくとも 1 つとの関係を学習するものであれば良い。推論装置 22 は、学習済モデルを用いて、対象物の位置 P およびハンド動作情報から、ハンド動作時間 T_{gsp} 、なじみ時間 T_{fit} 、および、遅れ時間 T_{rs} の各値のうち少なくとも 1 つを推論する。

[0146] 学習装置 21 へ入力されるハンド動作情報には、差し込み量 d の値、および、開き幅 w の値のうちの少なくとも 1 つが含まれていれば良い。学習装置 21 へ入力されるハンド動作情報には、差し込み量 d の値の代わりに、指定位置にて差し込み量 d によりロボット 30 を動作させる際の速度または加速度の情報が含まれても良い。

[0147] 実施の形態 6 によると、ロボット制御装置 10D は、対象物の位置 P とハンド動作情報と把持制御パラメータとの関係であって、把持の成功率があら

かじめ設定された閾値以上、かつ、ロボット30およびハンド31による把持動作に要する時間である動作時間が最短となるときにおける関係を学習する。ロボット制御装置10Dは、学習済モデルを用いて、対象物の位置Pおよびハンド動作情報から把持制御パラメータの値を推論する。これにより、ロボット制御装置10Dは、把持の成功率を向上させることができ、かつ、ロボット30およびハンド31による把持動作に要する時間を短縮することができる。

[0148] 実施の形態7.

図13は、実施の形態7にかかるロボット制御装置10Eの構成例を示す図である。ロボット制御装置10Eは、実施の形態6にかかるロボット制御装置10Dと同様に、把持制御パラメータ学習部20を備える。ロボット制御装置10Eは、実施の形態6で説明した動作時間予測部11Dと同様の動作時間予測部11Eを備える。また、ロボット制御装置10Eには、実施の形態6で説明したなじみ時間予測部12Dは備えられていない。実施の形態7では、上記の実施の形態1から6と同一の構成要素には同一の符号を付し、実施の形態1から6とは異なる構成について主に説明する。

[0149] 実施の形態7において、把持制御パラメータは、ハンド動作時間 T_{gsp} 、およびロボット制御系情報である遅れ時間 T_{rs} の少なくとも1つである。学習装置21は、対象物の位置Pと、ハンド動作情報と、ハンド動作時間 T_{gsp} および遅れ時間 T_{rs} の各値のうち少なくとも1つとの関係を学習する。実施の形態7において、学習装置21にはなじみ時間 T_{fit} の値は入力されない。推論装置22は、学習済モデルを使用して、ハンド動作時間 T_{gsp} および遅れ時間 T_{rs} の各値を推論する。推論装置22は、なじみ時間 T_{fit} の値の推論を行わない。

[0150] 実施の形態6の場合と同様に、ロボット制御装置10Eは、対象物の位置Pとハンド動作情報と把持制御パラメータとの関係であって、把持の成功率があらかじめ設定された閾値以上、かつ、ロボット30およびハンド31による把持動作に要する時間である動作時間が最短となるときにおける関係を学習する。実施の形態6の場合と同様に、ロボット制御装置10Eは、学習

済モデルを用いて、位置Pおよびハンド動作情報から把持制御パラメータの値を推論する。これにより、ロボット制御装置10Eは、把持の成功率を向上させることができ、かつ、ロボット30およびハンド31による把持動作に要する時間を短縮することができる。

[0151] 次に、実施の形態1から7にかかるロボット制御装置10、10A、10B、10C、10D、10Eを実現するハードウェア構成について説明する。ロボット制御装置10、10A、10B、10C、10D、10Eは、処理回路により実現される。処理回路は、プロセッサがソフトウェアを実行する回路であっても良いし、専用の回路であっても良い。

[0152] 処理回路がソフトウェアにより実現される場合、処理回路は、例えば、図14に示す制御回路である。図14は、実施の形態1から7にかかる制御回路50の構成例を示す図である。制御回路50は、入力部51、プロセッサ52、メモリ53および出力部54を備える。

[0153] 入力部51は、制御回路50の外部から入力されたデータを受信してプロセッサ52に与えるインターフェース回路である。出力部54は、プロセッサ52またはメモリ53からのデータを制御回路50の外部に送るインターフェース回路である。処理回路が図14に示す制御回路50である場合、プロセッサ52がメモリ53に記憶されたロボット制御プログラムを読み出して実行することにより、ロボット制御装置10、10A、10B、10C、10D、10Eの各構成要素が実現される。ロボット制御プログラムは、ロボット制御装置10、10A、10B、10C、10D、10Eの各構成要素に対応するプログラムである。また、プロセッサ52は、演算結果等のデータをメモリ53の揮発性メモリに出力する。メモリ53は、プロセッサ52が実施する各処理における一時メモリとしても使用される。プロセッサ52は、演算結果等のデータをメモリ53に出力して記憶させても良いし、演算結果等のデータを、メモリ53の揮発性メモリを介して補助記憶装置に記憶させても良い。各構成要素において情報を記憶する機能は、メモリ53または補助記憶装置により実現される。

- [0154] プロセッサ52は、CPU (Central Processing Unit、中央処理装置、処理装置、演算装置、マイクロプロセッサ、マイクロコンピュータ、プロセッサ、またはDSP (Digital Signal Processor) ともいう) である。メモリ53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) 等の、不揮発性または揮発性の半導体メモリ、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ミニディスクまたはDVD (Digital Versatile Disc) 等が該当する。
- [0155] 図14は、汎用のプロセッサ52およびメモリ53により各構成要素を実現する場合のハードウェアの例であるが、各構成要素は、専用のハードウェア回路により実現されても良い。図15は、実施の形態1から7にかかる専用のハードウェア回路55の構成例を示す図である。
- [0156] 専用のハードウェア回路55は、入力部51、出力部54および処理回路56を備える。処理回路56は、単回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、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、各構成要素は、制御回路50とハードウェア回路55とが組み合わされて実現されても良い。
- [0157] なお、ロボット制御プログラムは、CD (Compact Disc) -ROM、DVD-ROMなどの記録媒体に格納され、各実施の形態を実現させるために記録媒体が提供されてもよい。
- [0158] 以上の各実施の形態に示した構成は、本開示の内容の一例を示すものである。各実施の形態の構成は、別の公知の技術と組み合わせることが可能である。各実施の形態の構成同士が適宜組み合わせられても良い。本開示の要旨を逸脱しない範囲で、各実施の形態の構成の一部を省略または変更することが可能である。

符号の説明

[0159] 10, 10A, 10B, 10C, 10D, 10E ロボット制御装置、11, 11A, 11B, 11C, 11D, 11E 動作時間予測部、12, 12B, 12D なじみ時間予測部、13 ハンド動作開始指示部、14 把持後動作指示部、15 記憶部、16 ロボット動作時間算出部、17 ハンド動作時間算出部、18, 18C 把持制御パラメータ更新部、20 把持制御パラメータ学習部、21 学習装置、22 推論装置、23 学習済モデル記憶部、24, 26 データ取得部、25 モデル生成部、27 推論部、30 ロボット、31 ハンド、40 ロボット制御システム、50 制御回路、51 入力部、52 プロセッサ、53 メモリ、54 出力部、55 ハードウェア回路、56 処理回路。

請求の範囲

【請求項1】 ロボットのハンドを前記ロボットが目的位置に到達させるまでに要する時間であるロボット動作時間と、前記ハンドの動作が指令された時点から前記目的位置において前記ハンドが対象物を把持する動作を終えるまでの時間であるハンド動作時間とを予測する動作時間予測部と、

 予測された前記ロボット動作時間と予測された前記ハンド動作時間とに基づいて決定されたタイミングでの前記ハンドの動作開始を指示するハンド動作開始指示部と、を備え、

 前記動作時間予測部は、前記ロボットの制御系の特性を示すロボット制御系情報を組み入れた計算により前記ロボット動作時間を予測することを特徴とするロボット制御装置。

【請求項2】 前記動作時間予測部は、前記ロボット制御系情報と、前記対象物の位置の情報と、前記対象物を把持するときの前記ハンドの動作についての情報であるハンド動作情報とを組み入れた計算により前記ロボット動作時間を予測することを特徴とする請求項1に記載のロボット制御装置。

【請求項3】 前記動作時間予測部は、前記ハンドの制御系の特性または前記ハンドを構成する機構の特性を示すハンド特性情報を組み入れた計算により前記ハンド動作時間を予測することを特徴とする請求項1または2に記載のロボット制御装置。

【請求項4】 前記ロボットおよび前記ハンドによる把持動作を制御するための把持制御パラメータである前記ハンド動作時間を更新させ、かつ、前記ロボットおよび前記ハンドの動作の検証により把持の成否を判定した結果を示す成否情報を取得する把持制御パラメータ更新部を備え、

 前記把持制御パラメータ更新部は、前記ハンド動作時間の更新を繰り返しながら前記検証が行われて取得された前記成否情報に基づいて前記ハンド動作時間の値を決定し、

前記動作時間予測部は、前記成否情報に基づいて決定された前記ハンド動作時間の値を、予測された前記ハンド動作時間の値として出力することを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 つに記載のロボット制御装置。

[請求項5] 前記ロボットおよび前記ハンドによる把持動作を制御するための把持制御パラメータである前記ロボット制御系情報を更新させ、かつ、前記ロボットおよび前記ハンドの動作の検証により把持の成否を判定した結果を示す成否情報を取得する把持制御パラメータ更新部を備え、

前記把持制御パラメータ更新部は、前記ハンド動作時間の更新を繰り返しながら前記検証が行われて取得された前記成否情報に基づいて前記ロボット制御系情報を決定し、

前記動作時間予測部は、前記成否情報に基づいて決定された前記ロボット制御系情報を組み入れた計算により前記ロボット動作時間を予測することを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 つに記載のロボット制御装置。

[請求項6] 前記対象物の位置の情報と、前記ハンドの動作についての情報であって前記対象物についての情報に基づいて得られるハンド動作情報と、前記ハンド動作時間および前記ロボット制御系情報の少なくとも 1 つである把持制御パラメータとの関係であって、把持の成功率があらかじめ定められた閾値以上、かつ、前記対象物を把持する把持動作に要する時間である動作時間が最短となるときにおける前記関係を学習する把持制御パラメータ学習部を備えることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 つに記載のロボット制御装置。

[請求項7] 前記ハンドが前記対象物の把持を開始してから前記ハンドが前記対象物になじむまでの時間であるなじみ時間を予測するなじみ時間予測部と、

前記ハンドが前記対象物の把持を開始した時点から、予測された前

記なじみ時間が経過した後に、前記対象物を把持する動作の次に行われる前記ロボットの動作を指示する把持後動作指示部と、を備えることを特徴とする請求項 1 に記載のロボット制御装置。

[請求項8] 前記なじみ時間予測部は、前記ハンドの制御系の特性または前記ハンドの動作特性を示すハンド特性情報、および前記対象物の特性を示す対象物特性情報の少なくとも一方と、前記ハンドの動作についての情報であって前記対象物についての情報に基づいて得られるハンド動作情報とを組み入れた計算により前記なじみ時間を予測することを特徴とする請求項 7 に記載のロボット制御装置。

[請求項9] 前記ロボットおよび前記ハンドによる把持動作を制御するための把持制御パラメータである前記ハンド動作時間および前記なじみ時間の各々を更新させ、かつ、前記ロボットおよび前記ハンドの動作の検証により把持の成否を判定した結果を示す成否情報を取得する把持制御パラメータ更新部を備え、

前記把持制御パラメータ更新部は、前記ハンド動作時間の更新を繰り返しながら前記検証が行われて取得された前記成否情報に基づいて前記ハンド動作時間の値を決定し、かつ、前記なじみ時間の更新を繰り返しながら前記検証が行われて取得された前記成否情報に基づいて前記なじみ時間の値を決定し、

前記動作時間予測部は、前記成否情報に基づいて決定された前記ハンド動作時間の値を、予測された前記ハンド動作時間の値として出力し、

前記なじみ時間予測部は、前記成否情報に基づいて決定された前記なじみ時間の値を、予測された前記なじみ時間の値として出力することを特徴とする請求項 7 または 8 に記載のロボット制御装置。

[請求項10] 前記ロボットおよび前記ハンドによる把持動作を制御するための把持制御パラメータである前記ロボット制御系情報および前記なじみ時間の各々を更新させ、かつ、前記ロボットおよび前記ハンドの動作の

検証により把持の成否を判定した結果を示す成否情報を取得する把持制御パラメータ更新部を備え、

前記把持制御パラメータ更新部は、前記ロボット制御系情報の更新を繰り返しながら前記検証が行われて取得された前記成否情報に基づいて前記ロボット制御系情報を決定し、かつ、前記なじみ時間の更新を繰り返しながら前記検証が行われて取得された前記成否情報に基づいて前記なじみ時間を決定し、

前記動作時間予測部は、前記成否情報に基づいて決定された前記ロボット制御系情報を組み入れた計算により前記ロボット動作時間を予測し、

前記なじみ時間予測部は、前記成否情報に基づいて決定された前記なじみ時間の値を、予測された前記なじみ時間の値として出力することを特徴とする請求項7または8に記載のロボット制御装置。

[請求項11]

前記対象物の位置と、前記ハンドの動作についての情報であって前記対象物についての情報に基づいて得られるハンド動作情報と、前記ハンド動作時間、前記なじみ時間、および前記ロボット制御系情報の少なくとも1つである把持制御パラメータとの関係であって、把持の成功率があらかじめ設定された閾値以上、かつ、前記対象物を把持する把持動作に要する時間である動作時間が最短となるときにおける前記関係を学習する把持制御パラメータ学習部を備えることを特徴とする請求項7または8に記載のロボット制御装置。

[請求項12]

ロボットのハンドを前記ロボットが目的位置に到達させるまでに要する時間であるロボット動作時間を、前記ロボットの制御系の特性を示すロボット制御系情報を組み入れた計算により予測するステップと、

前記ハンドの動作が指令されたときから前記目的位置において前記ハンドが対象物を把持する動作を終えるまでの時間であるハンド動作時間を予測するステップと、

予測された前記ロボット動作時間と予測された前記ハンド動作時間とに基づいて決定されたタイミングでの前記ハンドの動作開始を指示するステップと、を含むことを特徴とするロボット制御方法。

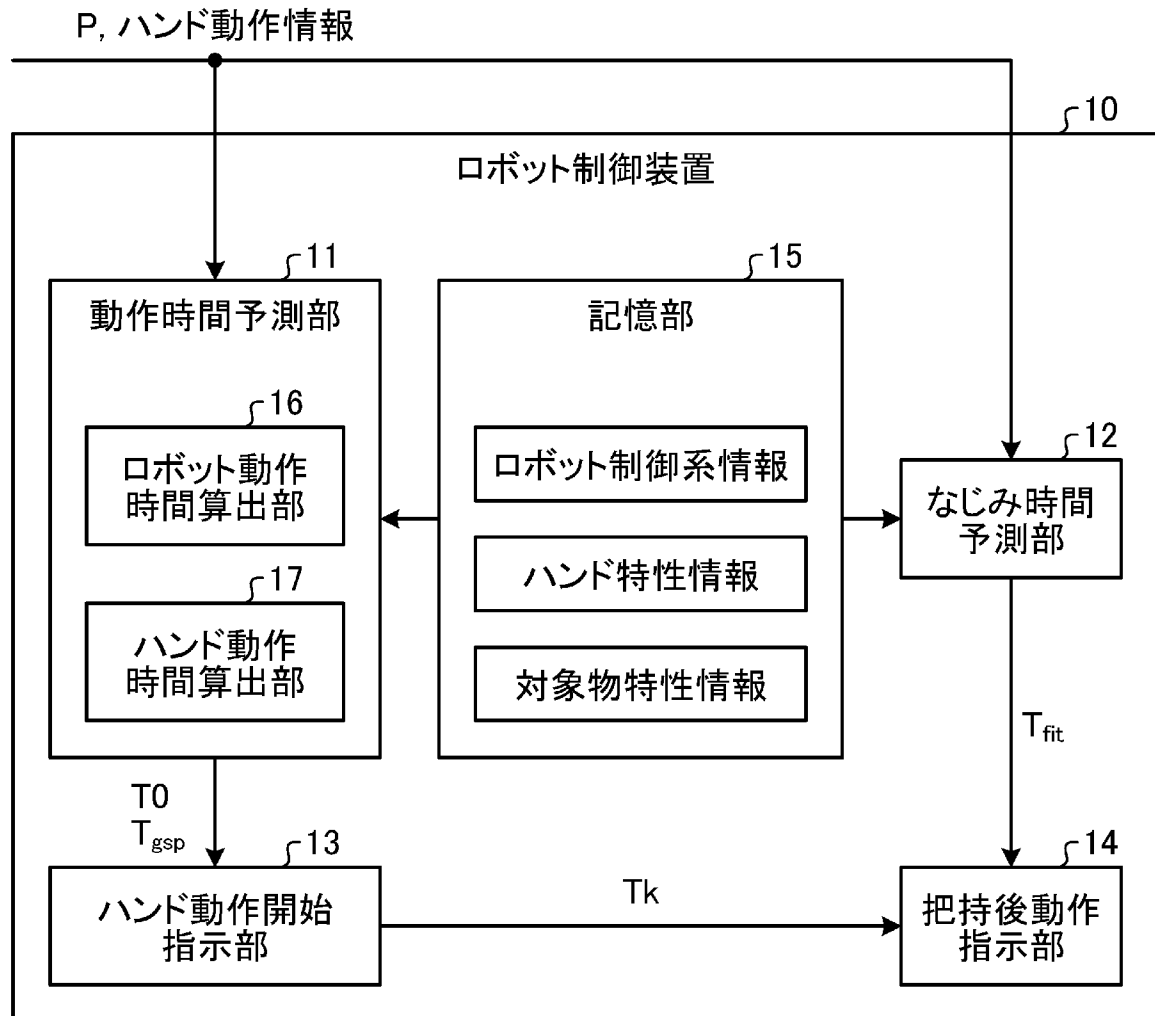
[請求項13]

ロボットのハンドを前記ロボットが目的位置に到達させるまでに要する時間であるロボット動作時間を、前記ロボットの制御系の特性を示すロボット制御系情報を組み入れた計算により予測するステップと、

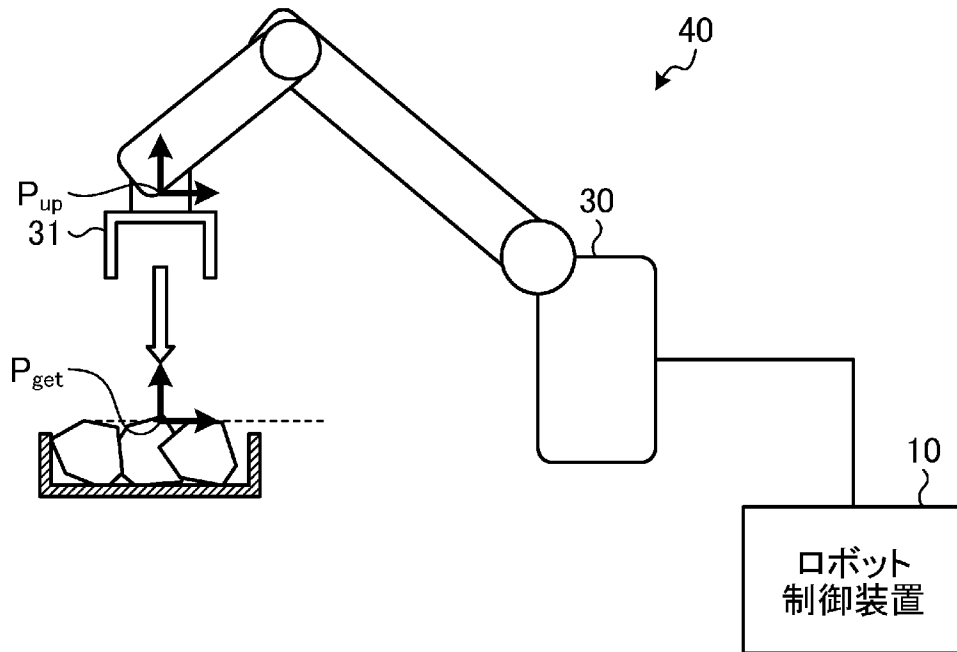
前記ハンドの動作が指令されたときから前記目的位置において前記ハンドが対象物を把持する動作を終えるまでの時間であるハンド動作時間を予測するステップと、

予測された前記ロボット動作時間と予測された前記ハンド動作時間とに基づいて決定されたタイミングでの前記ハンドの動作開始を指示するステップと、をコンピュータシステムに実行させることを特徴とするロボット制御プログラム。

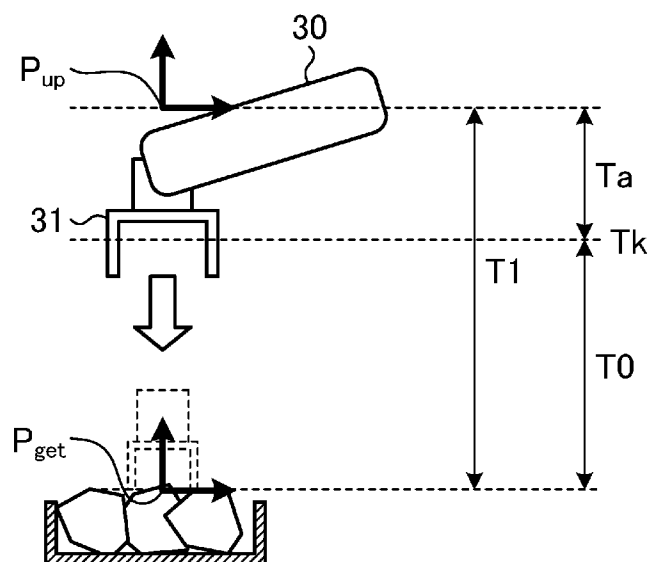
[図1]



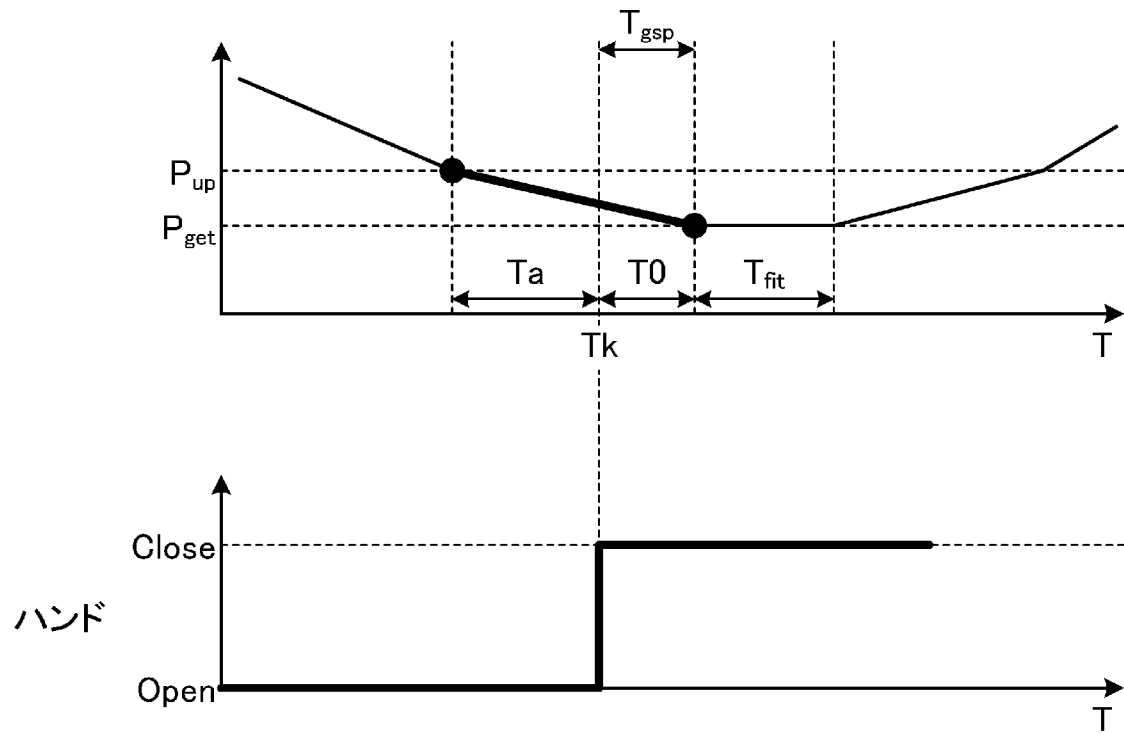
[図2]



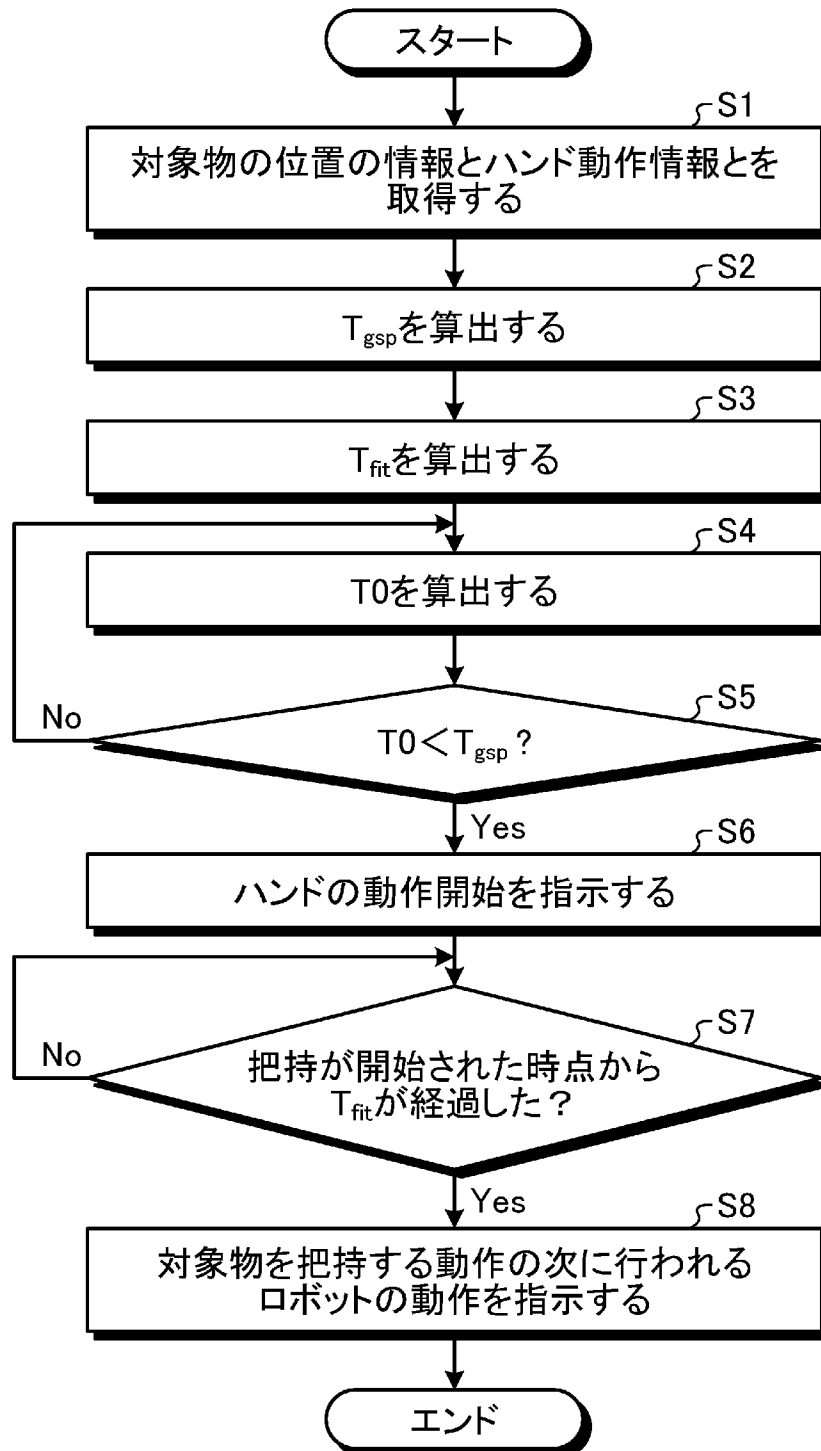
[図3]



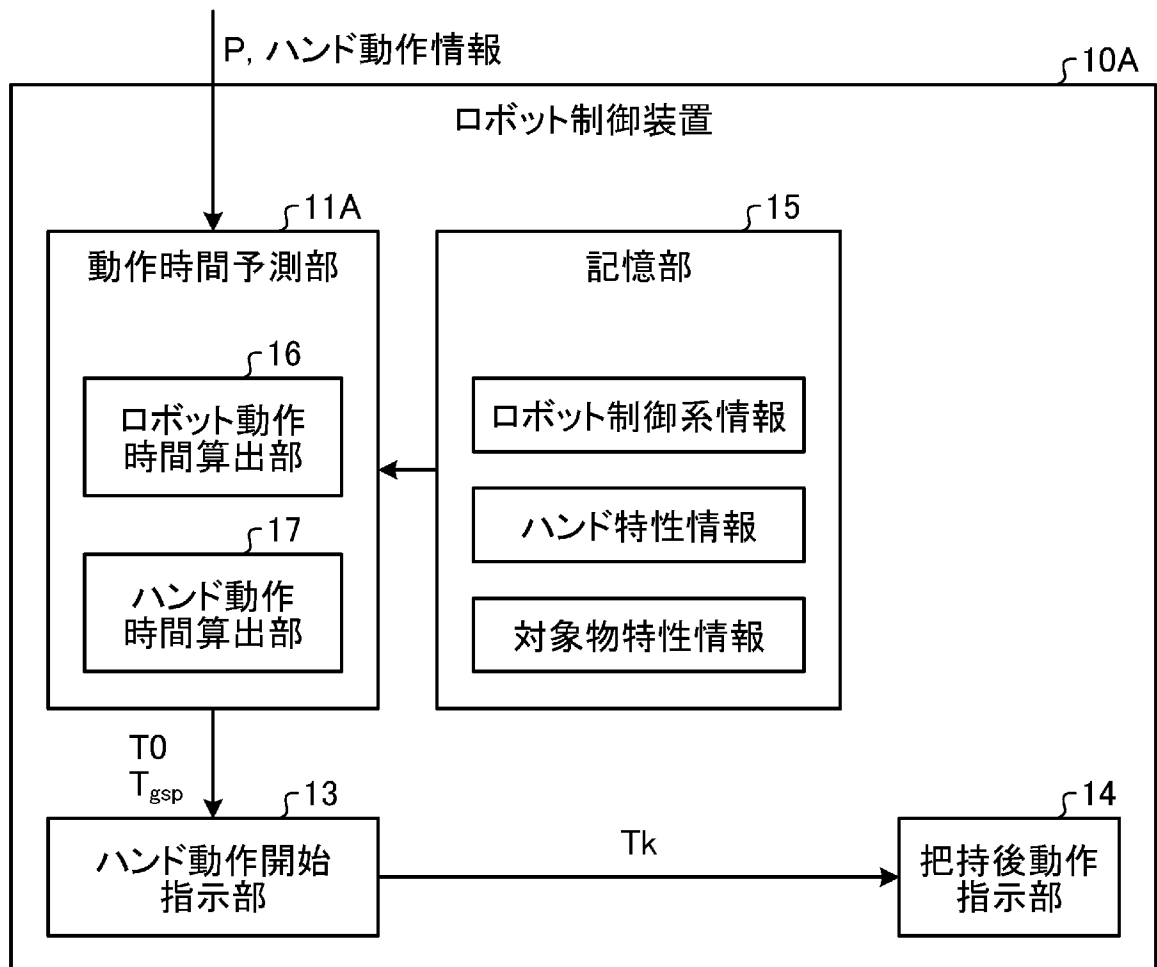
[図4]



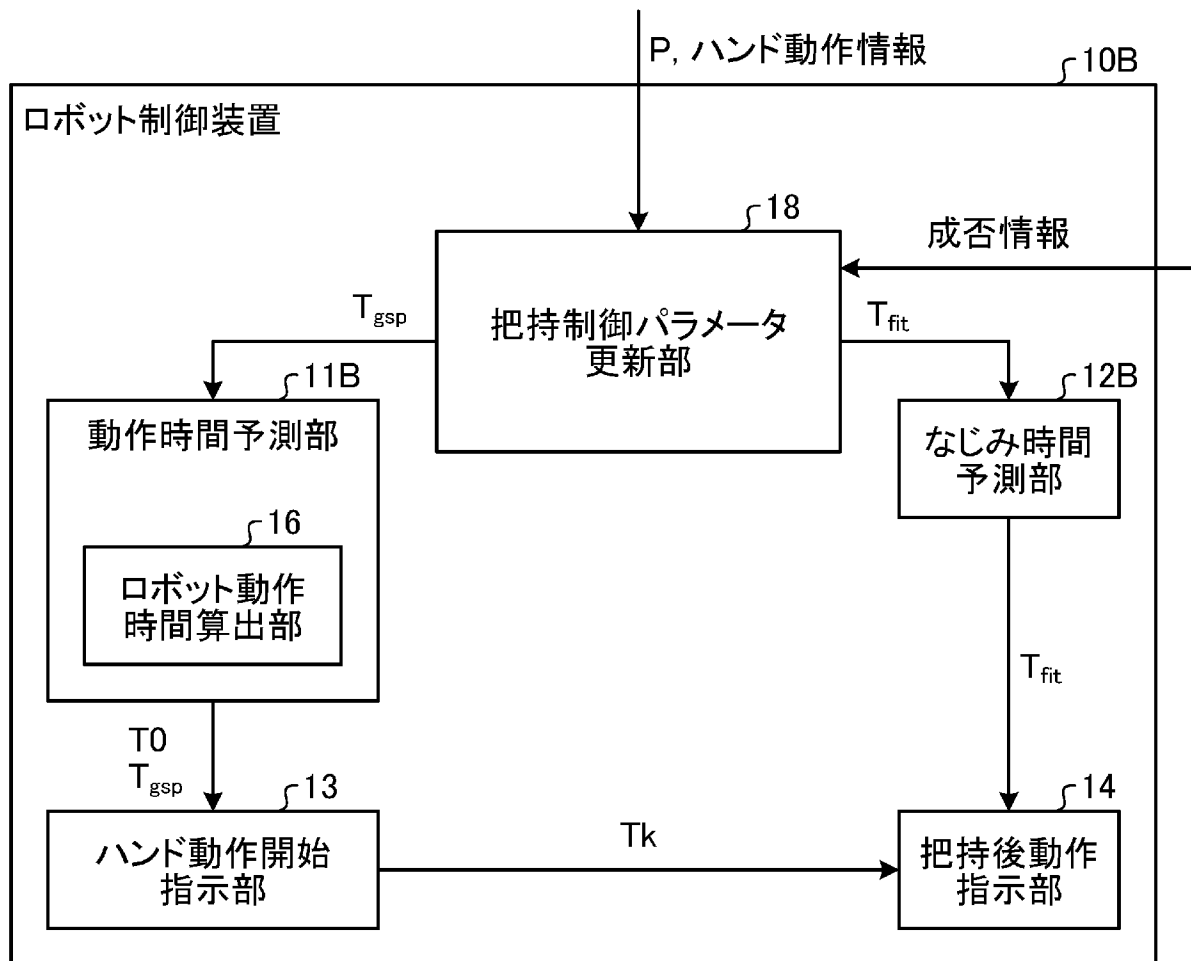
[図5]



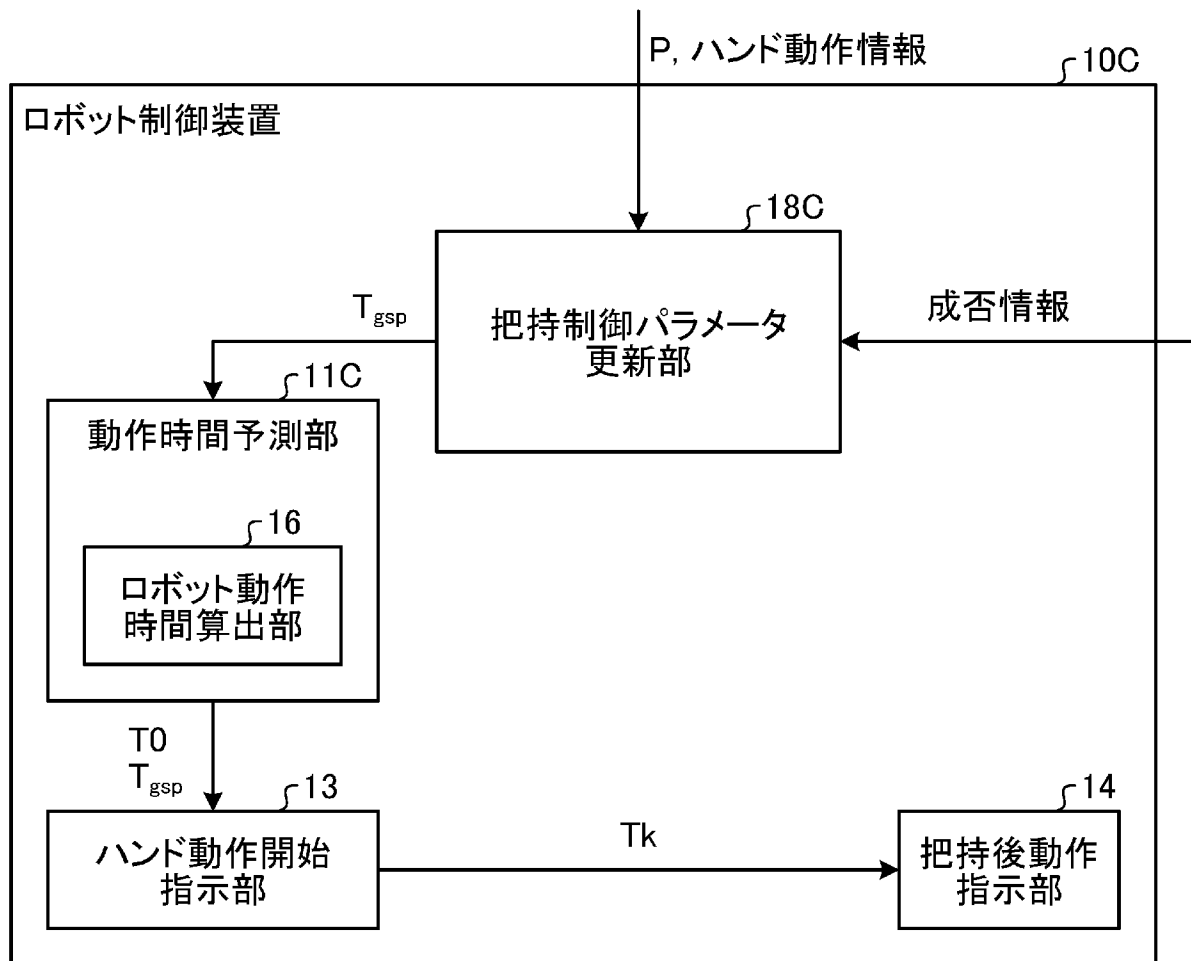
[図6]



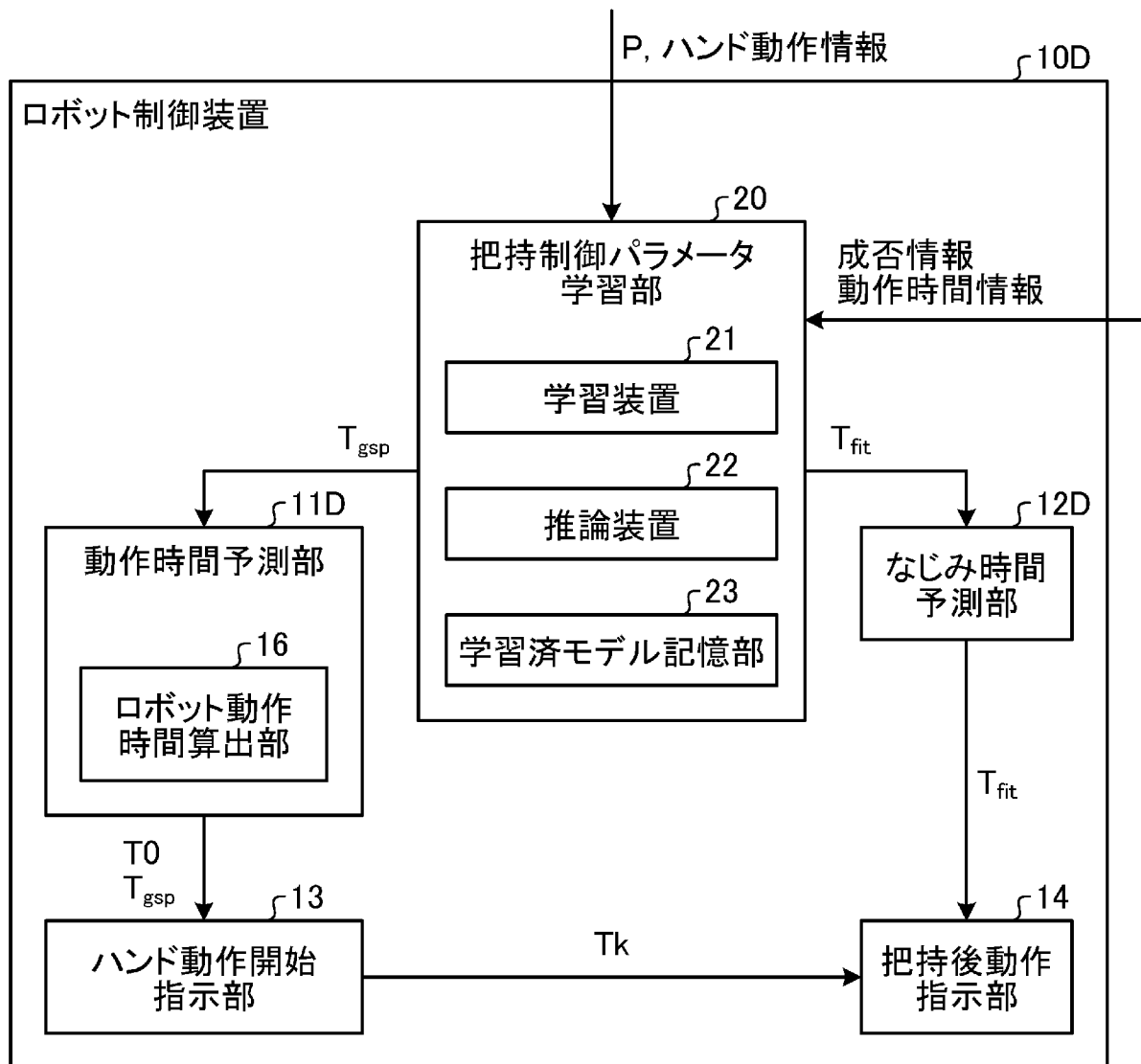
[図7]



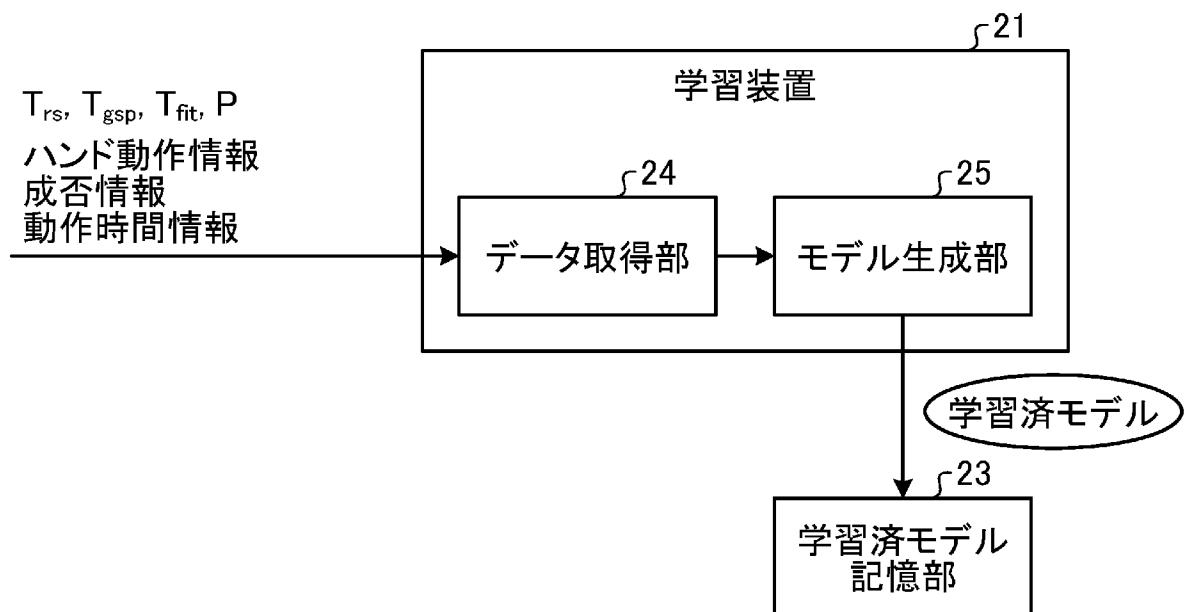
[図8]



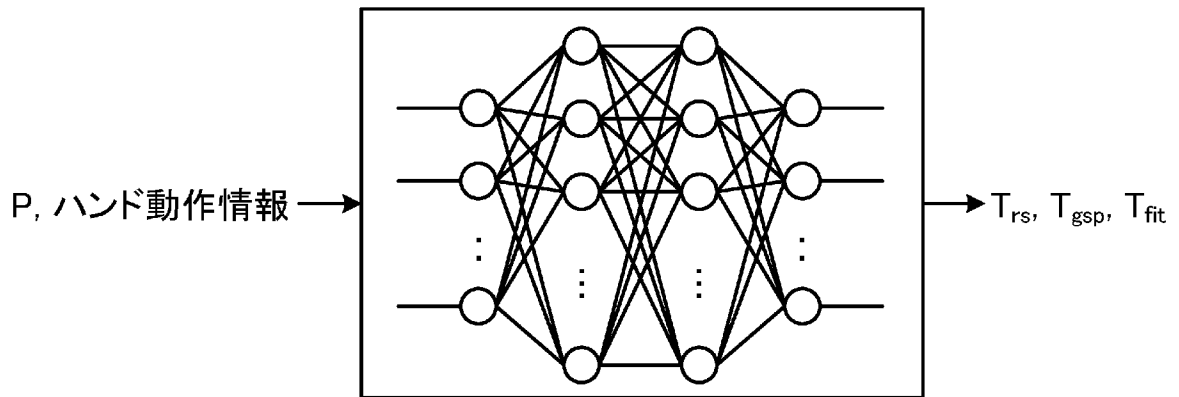
[図9]



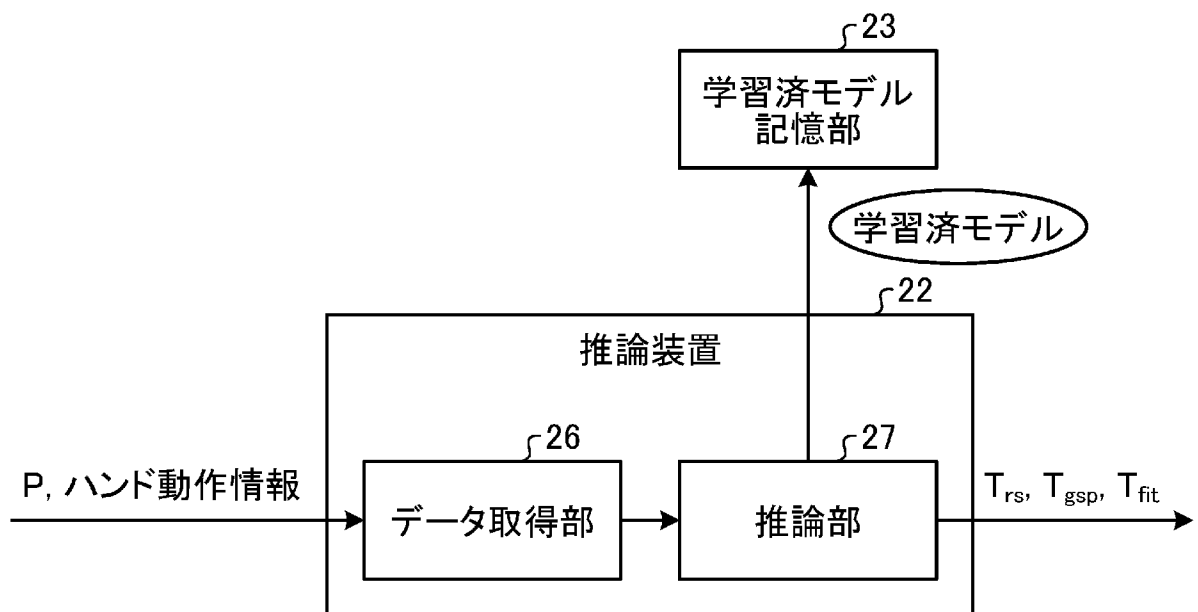
[図10]



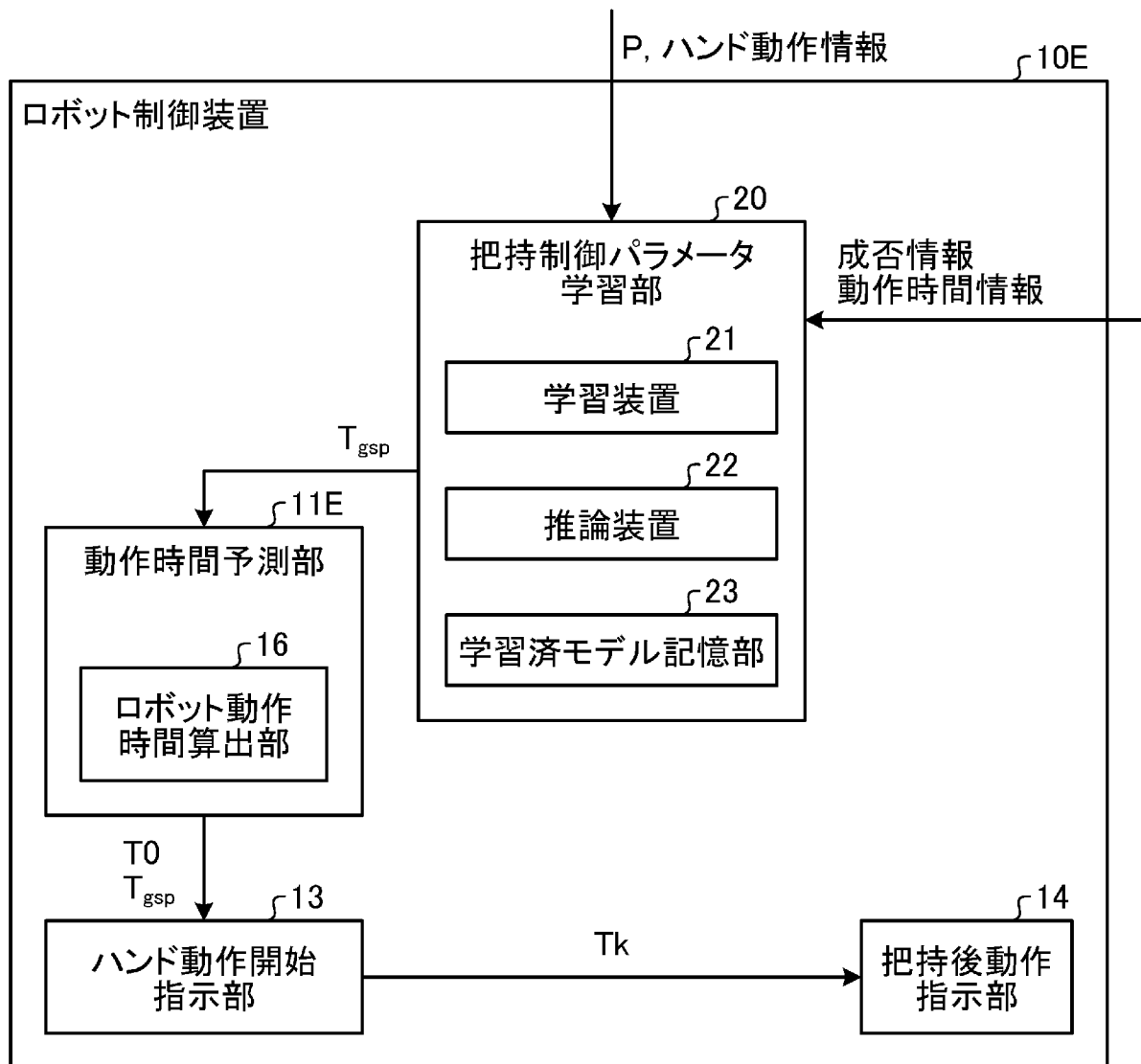
[図11]



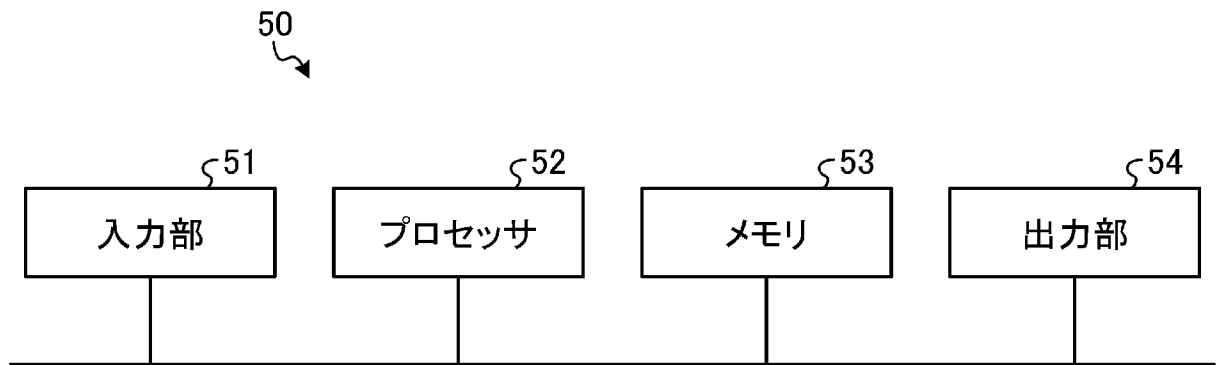
[図12]



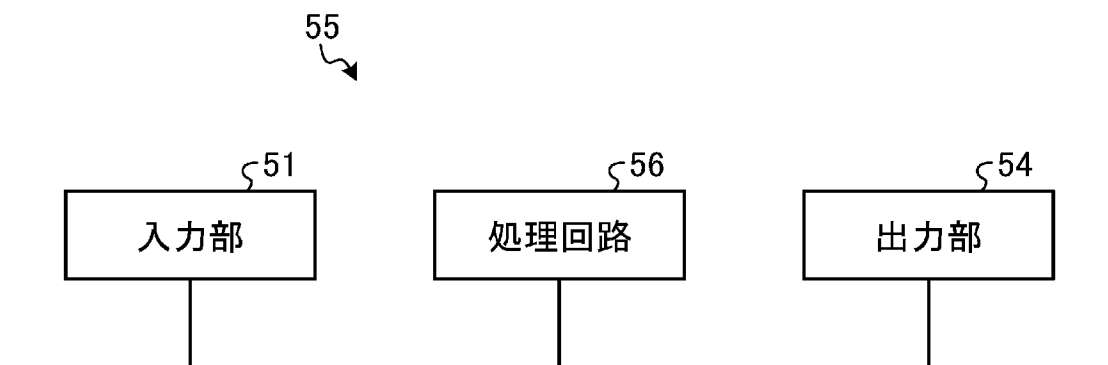
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/007841

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**B25J 13/00**(2006.01)i

FI: B25J13/00 Z

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)

B25J13/00

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.
Y	JP 2015-182145 A (CANON KABUSHIKI KAISHA) 22 October 2015 (2015-10-22) paragraphs [0036]-[0099], fig. 1-7	1-5, 12-13
Y	JP 2020-157398 A (FANUC LTD.) 01 October 2020 (2020-10-01) paragraphs [0015]-[0075], fig. 1-9	1-5, 12-13
A	JP 2015-229205 A (TAIYO TEKKO KK) 21 December 2015 (2015-12-21) entire text, all drawings	1-13
A	JP 2018-167361 A (YASKAWA ELECTRIC MFG. CO., LTD.) 01 November 2018 (2018-11-01) entire text, all drawings	1-13
A	JP 2020-062730 A (CANON KABUSHIKI KAISHA) 23 April 2020 (2020-04-23) entire text, all drawings	1-13
A	JP 2020-129620 A (YAMAHA HATSUDOKI KABUSHIKI KAISHA) 27 August 2020 (2020-08-27) entire text, all drawings	1-13



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

02 May 2022

Date of mailing of the international search report

17 May 2022

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/007841

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2015-182145	A	22 October 2015	(Family: none)	
JP	2020-157398	A	01 October 2020	US 2020/0306957 A1 paragraphs [0021]-[0083], fig. 1-9 DE 102020107385 A1 CN 111730626 A	
JP	2015-229205	A	21 December 2015	(Family: none)	
JP	2018-167361	A	01 November 2018	US 2018/0281190 A1 entire text, all drawings EP 3398730 A1 CN 108687760 A	
JP	2020-062730	A	23 April 2020	(Family: none)	
JP	2020-129620	A	27 August 2020	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B25J 13/00(2006.01)i FI: B25J13/00 Z														
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）） B25J13/00 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2022年</td> </tr> </table> 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2022年	日本国実用新案登録公報	1996-2022年	日本国登録実用新案公報	1994-2022年				
日本国実用新案公報	1922-1996年													
日本国公開実用新案公報	1971-2022年													
日本国実用新案登録公報	1996-2022年													
日本国登録実用新案公報	1994-2022年													
C. 関連すると認められる文献														
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号												
Y	JP 2015-182145 A（キヤノン株式会社）22.10.2015（2015-10-22） 段落[0036]-[0099]，図1-7	1-5，12-13												
Y	JP 2020-157398 A（ファナック株式会社）01.10.2020（2020-10-01） 段落[0015]-[0075]，図1-9	1-5，12-13												
A	JP 2015-229205 A（株式会社T A I Y O）21.12.2015（2015-12-21） 全文、全図	1-13												
A	JP 2018-167361 A（株式会社安川電機）01.11.2018（2018-11-01） 全文、全図	1-13												
A	JP 2020-062730 A（キヤノン株式会社）23.04.2020（2020-04-23） 全文、全図	1-13												
A	JP 2020-129620 A（ヤマハ発動機株式会社）27.08.2020（2020-08-27） 全文、全図	1-13												
☐ 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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“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	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
* 引用文献のカテゴリー	“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													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
国際調査を完了した日 02.05.2022		国際調査報告の発送日 17.05.2022												
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） 白井 卓巳 3U 4550 電話番号 03-3581-1101 内線 3364												

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/007841

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2015-182145	A	22.10.2015	(ファミリーなし)	
JP	2020-157398	A	01.10.2020	US 2020/0306957 A1	
				段落[0021]-[0083], FIGS. 1-9	
				DE 102020107385 A1	
				CN 111730626 A	
JP	2015-229205	A	21.12.2015	(ファミリーなし)	
JP	2018-167361	A	01.11.2018	US 2018/0281190 A1	
				全文、全図	
				EP 3398730 A1	
				CN 108687760 A	
JP	2020-062730	A	23.04.2020	(ファミリーなし)	
JP	2020-129620	A	27.08.2020	(ファミリーなし)	