

(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
2021年9月16日(16.09.2021)



(10) 国際公開番号

WO 2021/182356 A1

(51) 国際特許分類:
B25J 19/06 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2021/008814

(22) 国際出願日: 2021年3月5日(05.03.2021)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2020-043420 2020年3月12日(12.03.2020) JP

(71) 出願人: ファナック株式会社 (FANUC CORPORATION) [JP/JP]; 〒4010597 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 Yamanashi (JP).

(72) 発明者: 内藤 康広 (NAITOU, Yasuhiro); 〒4010597 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 ファナック株式会社内 Yamanashi (JP).

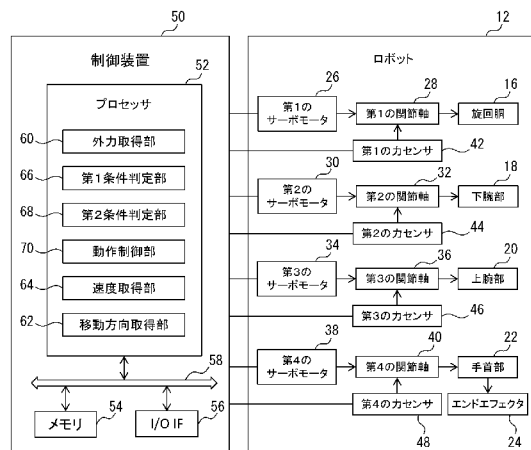
(74) 代理人: 青木 篤, 外 (AOKI, Atsushi et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門一丁目 2 3 番 1 号 虎ノ門ヒルズ森タワー 青和特許法律事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH,

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

(54) 発明の名称: ロボットの制御装置、ロボットシステム、ロボット制御方法

図2



- 12 Robot
- 16 Turning body
- 18 Lower arm portion
- 20 Upper arm portion
- 22 Wrist portion
- 24 End effector
- 26 First servomotor
- 28 First joint shaft
- 30 Second servomotor
- 32 Second joint shaft
- 34 Third servomotor
- 36 Third joint shaft
- 38 Fourth servomotor
- 40 Fourth joint shaft
- 42 First force sensor
- 44 Second force sensor
- 46 Third force sensor
- 48 Fourth force sensor
- 50 Control device
- 52 Processor
- 54 Memory
- 60 External force acquisition unit
- 62 Movement direction acquisition unit
- 64 Speed acquisition unit
- 66 First condition determination unit
- 68 Second condition determination unit
- 70 Operation control unit

(57) Abstract: There is a need for a technology for reliably providing safety of objects around a robot and maintaining work efficiency of the robot. A control device 50 for a robot 12 comprises: an external force acquisition unit 60 which acquires an external force applied to a movable element when the robot 12 is operating; a first condition determination unit 66 which determines whether or not a first condition that an external force exceeding a first threshold value defined in advance has been applied to the movable element is satisfied; a second condition determination unit 68 which determines

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

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

添付公開書類：

一 国際調査報告（条約第21条(3)）

whether or not a second condition that the movable element is moving is satisfied; and an operation control unit 70 which stops the operation of the robot 12 when both of the first condition and the second condition are satisfied and continues the operation of the robot 12 when at least one of the first condition and the second condition is not satisfied.

(57) 要約：従来、ロボットの周囲の物体の安全を確実に確保するとともに、ロボットの作業効率を維持する技術が求められている。ロボット12の制御装置50は、ロボット12が動作しているときに可動要素に加えられた外力を取得する外力取得部60と、予め定めた第1の閾値を超えた外力が可動要素に加えられたという第1条件を満たすか否かを判定する第1条件判定部66と、可動要素が移動しているという第2条件を満たすか否かを判定する第2条件判定部68と、第1条件及び第2条件の双方が満たされたときはロボット12の動作を停止する一方、第1条件及び第2条件の少なくとも一方が満たされていないときはロボット12の動作を継続させる動作制御部70とを備える。

明 細 書

発明の名称：

ロボットの制御装置、ロボットシステム、ロボット制御方法

技術分野

[0001] 本発明は、ロボットの制御装置、ロボットシステム、ロボット制御方法に関する。

背景技術

[0002] 周囲の物体と接触したときに動作を停止させるようにロボットを制御する制御装置が知られている（例えば、特許文献1）

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2015-199174号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 従来、ロボットの周囲の物体（例えば、作業員）の安全を確実に確保するとともに、ロボットの作業効率を維持する技術が求められている。

課題を解決するための手段

[0005] 本開示の一態様において、可動要素を有するロボットの制御装置は、ロボットが動作しているときに可動要素に加えられた外力を取得する外力取得部と、予め定めた第1の閾値を超えた外力が可動要素に加えられたという第1条件を満たすか否かを判定する第1条件判定部と、可動要素が移動しているという第2条件を満たすか否かを判定する第2条件判定部と、第1条件及び第2条件の双方が満たされたときはロボットの動作を停止する一方、第1条件及び第2条件の少なくとも一方が満たされていないときはロボットの動作を継続させる動作制御部とを備える。

[0006] 本開示の他の態様において、可動要素を有するロボットの制御方法は、ロ

ボットが動作しているときに可動要素に加えられた外力を取得し、予め定めた第1の閾値を超えた外力が可動要素に加えられたという第1条件を満たすか否かを判定し、可動要素が移動しているという第2条件を満たすか否かを判定し、第1条件及び第2条件の双方が満たされたときはロボットの動作を停止する一方、第1条件及び第2条件の少なくとも一方が満たされていないときはロボットの動作を継続する。

発明の効果

[0007] 本開示によれば、第1条件及び第2条件の双方を満たした場合は、ロボットの動作を停止させて作業の安全性を確実に確保する一方、第1条件及び第2条件の少なくとも一方を満たさない場合は、ロボットの動作を継続させることで、作業の効率性が低下してしまうのを防止できる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]一実施形態に係るロボットシステムの図である。
[図2]図1に示すロボットシステムのブロック図である。
[図3]ロボット制御方法の一例を示すフローチャートである。
[図4]ロボット制御方法の他の例を示すフローチャートである。
[図5]他の実施形態に係るロボットシステムの図である。
[図6]図5に示すロボットシステムのブロック図である。
[図7]さらに他の実施形態に係るロボットシステムの図である。
[図8]図7に示すロボットシステムのブロック図である。
[図9]ロボット制御方法のさらに他の例を示すフローチャートである。
[図10]図9中のステップS32の一例を示すフローチャートである。
[図11]図9中のステップS34の一例を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、本開示の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、以下に説明する種々の実施形態において、同様の要素には同じ符号を付し、重複する説明を省略する。まず、図1及び図2を参照して、一実施形態に係るロボットシステム10について説明する。ロボットシステム10は、ロボット

１２と、該ロボット１２を制御する制御装置５０とを備える。

[0010] 本実施形態においては、ロボット１２は、垂直多関節型ロボットであって、ロボットベース１４、旋回胴１６、下腕部１８、上腕部２０、手首部２２、及びエンドエフェクタ２４を有する。ロボットベース１４は、ワークセルの床Ａに固定されている。旋回胴１６は、鉛直軸周りに旋回可能となるようにロボットベース１４に設けられている。下腕部１８は、旋回胴１６に水平軸周りに回動可能に設けられている。上腕部２０は、下腕部１８の先端部に回動可能に設けられている。

[0011] 手首部２２は、上腕部２０の先端部に回動可能に設けられ、エンドエフェクタ２４は、手首部２２の先端部に着脱可能に取り付けられている。手首部２２は、エンドエフェクタ２４を、互いに直交する複数の軸周りに回動するように構成されてもよい。エンドエフェクタ２４は、例えば、ロボットハンド、溶接トーチ、切削工具、レーザ加工ヘッド、又は塗料塗布器等であって、ワーク（図示せず）に対して所定の作業（ワークハンドリング、溶接、切削加工、レーザ加工、塗工等）を行う。

[0012] ロボット１２は、第１のサーボモータ２６、第１の関節軸２８、第２のサーボモータ３０、第２の関節軸３２、第３のサーボモータ３４、第３の関節軸３６、第４のサーボモータ３８、及び第４の関節軸４０をさらに有する。第１のサーボモータ２６は、ロボットベース１４に内蔵され、第１の関節軸２８を鉛直軸周りに回動させる。第１の関節軸２８は、旋回胴１６に連結され、第１のサーボモータ２６の回転力を旋回胴１６に伝達させる。

[0013] 第２のサーボモータ３０は、旋回胴１６に設けられ、第２の関節軸３２を水平軸周りに回動させる。第２の関節軸３２は、下腕部１８に連結され、第２のサーボモータ３０の回転力を下腕部１８に伝達させる。第３のサーボモータ３４は、下腕部１８に設けられ、第３の関節軸３６を回動させる。第３の関節軸３６は、上腕部２０に連結され、第３のサーボモータ３４の回転力を上腕部２０に伝達させる。第４のサーボモータ３８は、上腕部２０に設けられ、第４の関節軸４０を回動させる。第４の関節軸４０は、手首部２２に

連結され、第４のサーボモータ３８の回転力を手首部２２に伝達させる。

[0014] これら複数のサーボモータ２６、３０、３４及び３８は、制御装置５０からの指令の下、関節軸２８、３２、３６及び４０をそれぞれ回転させ、これにより、旋回胴１６、下腕部１８、上腕部２０、並びに、手首部２２及びエンドエフェクタ２４をそれぞれ回転させる。したがって、関節軸２８、３２、３６及び４０と、旋回胴１６、下腕部１８、上腕部２０、手首部２２及びエンドエフェクタ２４とは、ロボット１２の可動要素を構成する。

[0015] 本実施形態においては、関節軸２８、３２、３６及び４０に、複数の力センサ４２、４４、４６及び４８がそれぞれ設けられている。力センサ４２、４４、４６及び４８の各々は、トルクセンサである。具体的には、第１の力センサ４２は、第１の関節軸２８に掛かる力（具体的には、トルク）を検出し、第２の力センサ４４は、第２の関節軸３２に掛かる力（具体的には、トルク）を検出する。

[0016] また、第３の力センサ４６は、第３の関節軸３６に掛かる力（具体的には、トルク）を検出し、第４の力センサ４８は、第４の関節軸４０に掛かる力（具体的には、トルク）を検出する。第１の力センサ４２、第２の力センサ４４、第３の力センサ４６、及び第４の力センサ４８は、検出した力（トルク）の検出データを、制御装置５０にそれぞれ送信する。

[0017] 制御装置５０は、プロセッサ５２、メモリ５４、及びＩ／Ｏインターフェース５６を有するコンピュータである。プロセッサ５２は、ＣＰＵ又はＧＰＵ等を有し、バス５８を介してメモリ５４及びＩ／Ｏインターフェース５６に通信可能に接続されている。プロセッサ５２は、メモリ５４及びＩ／Ｏインターフェース５６と通信しつつ、後述する制御装置５０の各種機能を実現するための演算を行う。

[0018] メモリ５４は、ＲＡＭ又はＲＯＭ等を有し、各種データを一時的又は恒久的に記憶する。メモリ５４は、ロボット１２に所定の作業を実行させるための作業プログラムＷＰを予め格納している。作業プログラムＷＰは、作業のためにエンドエフェクタ２４を位置決めすべき教示点の位置データ、該教示

点へエンドエフェクタ 24 を位置決めするための命令文、並びに、2つの教示点間の移動軌跡及び移動速度の情報を含むコンピュータプログラムである。この作業プログラム WP は、例えば、エンドエフェクタ 24 を教示点に順に位置決めする動作をロボット 12 に教示することによって、構築され得る。

[0019] I/O インターフェース 56 は、例えば、イーサネット（登録商標）ポート、USB ポート、光ファイバコネクタ、又は HDMI（登録商標）端子等を有し、プロセッサ 52 の指令の下、外部機器とデータを無線又は有線で通信する。本実施形態においては、サーボモータ 26、30、34 及び 38 と、力センサ 42、44、46 及び 48 とは、I/O インターフェース 56 に通信可能に接続されている。

[0020] プロセッサ 52 は、メモリ 54 に格納された作業プログラム WP に従って、I/O インターフェース 56 を介して各サーボモータ 26、30、34 及び 38 へ指令を送信し、ロボット 12 に所定の作業を実行させるべく該ロボット 12（具体的には、可動要素）を動作させる。また、プロセッサ 52 は、ロボット 12 が動作しているときに力センサ 42、44、46 及び 48 が検出した検出データを、I/O インターフェース 56 を介して取得し、メモリ 54 に記憶する。

[0021] 次に、図 3 を参照して、制御装置 50 が実行するロボット制御フローの一例について説明する。図 3 に示すフローは、プロセッサ 52 が、オペレータ、上位コントローラ、又はコンピュータプログラム（例えば、上述の作業プログラム WP）から、自動作業開始指令を受け付けたときに、開始される。

[0022] ステップ S1 において、プロセッサ 52 は、ロボット 12 の動作を開始する。具体的には、プロセッサ 52 は、作業プログラム WP に従って各サーボモータ 26、30、34 及び 38 へ指令を送信し、ロボット 12 の可動要素によってエンドエフェクタ 24 を各教示点へ移動させつつ、該エンドエフェクタ 24 によってワークに対する作業を行う一連の動作を開始する。

[0023] ステップ S2 において、プロセッサ 52 は、ロボット 12 の可動要素に加

えられた外力の取得を開始する。具体的には、プロセッサ52は、第1の力センサ42、第2の力センサ44、第3の力センサ46、及び第4の力センサ48から検出データを連続的（例えば、周期的）に取得する。

[0024] 一方、プロセッサ52は、検出データを取得する毎に、ロボット12の質量と、該ロボット12が動作することによって生じる慣性力とに起因して第1の力センサ42、第2の力センサ44、第3の力センサ46、及び第4の力センサ48に作用する力（本稿では「内力」として言及する）をそれぞれ算出する。これら内力は、ロボット12の各可動要素の質量、ロボット12の姿勢、及びロボット12の各可動要素の移動速度を、既知の運動力学方程式に代入することによって、算出できる。

[0025] そして、プロセッサ52は、第1の力センサ42の検出データ（すなわち、第1の関節軸28に掛かるトルク）から、該第1の力センサ42に作用する内力の成分を減算することによって、第1の関節軸28に加えられた外力トルク $E T_1$ を算出する。同様に、プロセッサ52は、第2の力センサ44、第3の力センサ46、及び第4の力センサ48の検出データ（すなわち、第2の関節軸32、第3の関節軸36、及び第4の関節軸40に掛かるトルク）から、対応する内力の成分をそれぞれ減算することによって、第2の関節軸32、第3の関節軸36、及び第4の関節軸40に加えられた外力トルク $E T_2$ 、 $E T_3$ 、及び $E T_4$ をそれぞれ算出する。

[0026] このようにして、プロセッサ52は、力センサ42、44、46、48の検出データに基づいて、外力トルク $E T_n$ （ $n=1, 2, 3, 4$ ）を取得する。したがって、本実施形態においては、プロセッサ52は、ロボット12が動作しているときに可動要素（関節軸28、32、36、40）に加えられた外力（外力トルク） $E T_n$ を取得する外力取得部60（図2）として機能する。

[0027] ステップS3において、プロセッサ52は、ロボット12の可動要素の移動情報の取得を開始する。具体的には、プロセッサ52は、移動情報として、第1の関節軸28の移動方向 $M D_1$ 及び移動速度 $M V_1$ 、第2の関節軸32

の移動方向 MD_2 及び移動速度 MV_2 、第3の関節軸36の移動方向 MD_3 及び移動速度 MV_3 、並びに、第4の関節軸40の移動方向 MD_4 及び移動速度 MV_4 を取得する。

[0028] 一例として、サーボモータ26、30、34及び38（又は、関節軸28、32、36及び40）に、回転検出器（エンコーダ、又はホール素子等）がそれぞれ設けられる。これら回転検出器は、サーボモータ26、30、34及び38（又は、関節軸28、32、36及び40）の回転位置（又は回転角度）をそれぞれ検出し、位置フィードバックFBとして、制御装置50へ送信する。プロセッサ52は、回転検出器からの位置フィードバックFBに基づいて、移動方向 MD_n 及び移動速度 MV_n （ $n=1, 2, 3, 4$ ）を取得できる。

[0029] 他の例として、プロセッサ52は、各サーボモータ26、30、34及び38へ送信する指令（位置指令、速度指令等）から、移動方向 MD_n 及び移動速度 MV_n を取得してもよい。さらに他の例として、プロセッサ52は、作業プログラムWPを解析し、該作業プログラムWPに含まれる教示点の位置データ、命令文、移動軌跡又は移動速度等の情報から、移動方向 MD_n 及び移動速度 MV_n を取得してもよい。このように、本実施形態においては、プロセッサ52は、可動要素（関節軸28、32、36、40）の移動方向 MD_n を取得する移動方向取得部62（図2）、及び、可動要素の移動速度 MV_n を取得する速度取得部64として機能する。

[0030] なお、本実施形態においては、移動方向 MD_n は、第 n の関節軸28、32、36、40の回転方向を示し、移動速度 MV_n は、第 n の関節軸28、32、36、40の回転速度（回転数）を示す。プロセッサ52は、このステップS3の開始後、上述のステップS2にて外力トルク ET_n を取得するのと同期して（具体的には、同時に）、移動情報（移動方向 MD_n 及び移動速度 MV_n ）を取得してもよい。

[0031] ステップS4において、プロセッサ52は、第 n の関節軸28、32、36、40を特定する番号「 n 」を、「1」にセットする。ステップS5にお

いて、プロセッサ52は、予め定めた閾値 α_n （第1の閾値）を超えた外力トルク $E T_n$ が第 n の関節軸28、32、36又は40に加えられたという第1条件を満たすか否かを判定する。

[0032] ここで、本実施形態においては、プロセッサ52は、第 n の関節軸28、32、36又は40の移動方向 $M D_n$ とは反対の方向の外力トルク $E T_n$ が閾値 α_n を超えたときに、第1条件を満たしたと判定する。以下、このステップS4の開始時点において、 $n=3$ にセットされていた場合について説明する。

[0033] この場合、プロセッサ52は、直近に取得した、第3の関節軸36に加えられた外力トルク $E T_3$ の方向が、該外力トルク $E T_3$ と同期して取得された第3の関節軸36の移動方向 $M D_3$ とは反対であり、且つ、外力トルク $E T_3$ の大きさが閾値 α_3 を超えたか否かを判定する。プロセッサ52は、外力トルク $E T_3$ の方向が移動方向 $M D_3$ とは反対であり、且つその大きさが閾値 α_3 を超えた場合に、第3の関節軸36について第1条件を満たす（すなわち、YES）と判定し、ステップS6へ進む。

[0034] 一方、外力トルク $E T_3$ の大きさが閾値 α_3 よりも小さい場合、又は、外力トルク $E T_3$ が移動方向 $M D_3$ に作用している場合は、プロセッサ52は、第3の関節軸36について第1条件を満たしていない（すなわち、NO）と判定し、ステップS7へ進む。このように、本実施形態においては、プロセッサ52は、閾値 α_n を超えた外力 $E T_n$ が可動要素（第 n の関節軸28、32、36又は40）に加えられたという第1条件を満たすか否かを判定する第1条件判定部66（図2）として機能する。

[0035] ステップS6において、プロセッサ52は、第 n の関節軸28、32、36又は40が移動しているという第2条件を満たすか否かを判定する。具体的には、プロセッサ52は、直近のステップS5で第1条件を判定したときの外力トルク $E T_n$ と同期して取得された、第 n の関節軸28、32、36又は40の移動速度 $M V_n$ が、予め定めた閾値 β_n （第2の閾値）を超えたときに、第2条件を満たすと判定する。

- [0036] 仮に、このステップS 6の開始時点で $n = 3$ にセットされていたとすると、プロセッサ5 2は、直近のステップS 5で第1条件を判定したときの外力トルク $E T_3$ と同期して取得された、第3の関節軸3 6の移動速度 $M V_3$ が閾値 β_3 を超えたときに、第3の関節軸3 6について第2条件を満たす（すなわち、Y E S）と判定する。プロセッサ5 2は、Y E Sと判定した場合はステップS 1 0へ進む。
- [0037] 一方、移動速度 $M V_3$ が閾値 β_3 よりも小さい場合は、プロセッサ5 2は、第3の関節軸3 6について第2条件を満たさない（すなわち、N O）と判定し、ステップS 7へ進む。このように、本実施形態においては、プロセッサ5 2は、可動要素（第 n の関節軸2 8、3 2、3 6又は4 0）が移動しているという第2条件を満たすか否かを判定する第2条件判定部6 8（図2）として機能する。
- [0038] なお、プロセッサ5 2は、このステップS 6において、第 n の関節軸2 8、3 2、3 6又は4 0の加速度 a_n が、予め定めた閾値 γ_n を超えた場合に、第2条件を満たすと判定してもよい。この加速度 a_n は、例えば、直近のステップS 5で第1条件を判定したときの外力トルク $E T_n$ と同期して取得された移動速度 $M V_n$ を時間微分することによって、求めることができる。
- [0039] ステップS 7において、プロセッサ5 2は、第 n の関節軸2 8、3 2、3 6、4 0を特定する番号「 n 」を、「1」だけインクリメントする（ $n = n + 1$ ）。ステップS 8において、プロセッサ5 2は、第 n の関節軸2 8、3 2、3 6、4 0を特定する番号「 n 」が、「5」以上であるか否かを判定する。この数「5」は、ロボット1 2の関節軸2 8、3 2、3 6、4 0の総数+1の数である。
- [0040] プロセッサ5 2は、 $n = 5$ である場合にY E Sと判定し、ステップS 9へ進む一方、 $n \leq 4$ である場合にN Oと判定し、ステップS 5へ戻る。こうして、プロセッサ5 2は、ステップS 6又はS 8でY E Sと判定するまで、ステップS 5～S 8をループし、各々の関節軸2 8、3 2、3 6及び4 0について第1条件及び第2条件を満たすか否かを順次判定する。

- [0041] ステップS 9において、プロセッサ5 2は、ロボット1 2の一連の動作が終了したか否かを判定する。例えば、プロセッサ5 2は、作業プログラムW P及び位置フィードバックF Bの情報に基づいて、ロボット1 2の動作が終了したか否かを判定できる。プロセッサ5 2は、ロボット1 2の動作が終了した（すなわち、Y E S）と判定した場合は、ロボット1 2を停止して、図3に示すフローを終了する。一方、プロセッサ5 2は、ロボット1 2の動作が終了していない（すなわち、N O）と判定した場合は、ステップS 4へ戻る。そして、プロセッサ5 2は、ステップS 6又はS 9でY E Sと判定するまで、ステップS 4～S 9をループする。
- [0042] 一方、ステップS 6でY E Sと判定した場合、ステップS 10において、プロセッサ5 2は、ロボット1 2の動作を停止する。一例として、プロセッサ5 2は、全てのサーボモータ2 6、3 0、3 4及び3 8へ停止指令を送信し、これらサーボモータ2 6、3 0、3 4及び3 8の動作を同時に停止させ、これにより、ロボット1 2の動作を停止させる。
- [0043] 他の例として、各々のサーボモータ2 6、3 0、3 4及び3 8には、該サーボモータ2 6、3 0、3 4及び3 8の出力シャフト（又は、関節軸2 8、3 2、3 6及び4 0）を制動するブレーキ機構が設けられる。そして、プロセッサ5 2は、これらブレーキ機構を作動させることにより、サーボモータ2 6、3 0、3 4及び3 8の出力シャフト（又は、関節軸2 8、3 2、3 6及び4 0）の回転動作を停止させ、以って、ロボット1 2を緊急停止させてもよい。
- [0044] ステップS 11において、プロセッサ5 2は、ロボット1 2に退避動作を実行させる。一例として、プロセッサ5 2は、直近に取得した移動方向 MD_n とは反対の方向 MD_n' へ第nの関節軸2 8、3 2、3 6及び4 0を回転させる（つまり、第nの関節軸を逆転させる）ことによって、ロボット1 2を退避させてもよい。
- [0045] 又は、プロセッサ5 2は、直近に取得した外力トルク ET_1 、 ET_2 、 ET_3 及び ET_4 に基づいて、ロボット1 2に外力が加えられた位置及び該外力の方

向を特定し、該位置に対応する可動要素（例えば、下腕部 18、上腕部 20、手首部 22、エンドエフェクタ 24）を、該外力の方向とは反対の方向へ移動させることによって、ロボット 12 を退避させてもよい。

[0046] 以上のように、プロセッサ 52 は、1つの関節軸 28、32、36 又は 40 について、第 1 条件及び第 2 条件の双方が満たされたとき（すなわち、ステップ S5 及び S6 で YES と判定）は、ステップ S10 でロボット 12 の動作を停止する一方、第 1 条件及び第 2 条件の少なくとも一方が満たされていないときは、ステップ S9 で YES と判定するまでロボット 12 の動作を継続させる。したがって、プロセッサ 52 は、このようにロボット 12 の動作を制御する動作制御部 70（図 2）として機能する。

[0047] このように、本実施形態においては、移動中の可動要素（関節軸 28、32、36、40）に過度な外力が加わらない限りは、ロボット 12 を停止させずに、ロボット 12 を継続して動作させている。ここで、ロボット 12 の動作時に、移動中の可動要素（旋回胴 16、下腕部 18、上腕部 20、手首部 22、エンドエフェクタ 24）が不意に周囲の物体（障害物、作業員等）と衝突した場合、該物体に対して大きな衝突力が作用し得る。このような場合、物体からロボット 12 に加わる外力は、移動中の可動要素に強く作用する。

[0048] その一方で、仮に、ロボット 12 の動作時に、一部の可動要素（例えば、上腕部 20）が移動している一方で、他の可動要素（例えば、旋回胴 16）が停止している場合において、停止している可動要素に外力が加えられたとしても、停止中の可動要素が周囲の物体とさらに衝突することはなく、故に、安全性を確保できる場合がある。

[0049] 本実施形態によれば、第 1 条件及び第 2 条件の双方を満たした場合は、周囲の物体に大きな力を与える可能性が高いことから、ロボット 12 の動作を停止させて作業の安全性を確実に確保する一方、第 1 条件及び第 2 条件の少なくとも一方を満たさない場合は、ロボット 12 の動作を継続させることで、作業の効率性が低下してしまうのを防止できる。

- [0050] この効果について、本実施形態を例にさらに詳細に述べると、仮に、プロセッサ52が、ステップS1で開始したロボット12の動作において、第1の関節軸28を回転させる一方、第2の関節軸32、第3の関節軸36、及び第4の関節軸40を停止させているとする。この場合、該第1の関節軸28の先端側に位置する旋回胴16、下腕部18、上腕部20、手首部22、及びエンドエフェクタ24は、該第1の関節軸28周りに回転される。
- [0051] このときに、回転中の可動要素（旋回胴16、下腕部18、上腕部20、手首部22、又はエンドエフェクタ24）が不意に周囲の物体（障害物、作業員等）と衝突し、第1の関節軸28に掛かる外力トルク ET_1 が閾値 α_1 を超えると、プロセッサ52は、ステップS5及びS6でYESと判定し、ステップS10でロボット12の動作を停止させる。
- [0052] その一方で、仮に、このときに第1の関節軸28に掛かる外力トルク ET_1 が閾値 α_1 を超えない一方、第2の関節軸32、第3の関節軸36又は第4の関節軸40に掛かる外力トルク ET_2 、 ET_3 又は ET_4 が閾値 α_2 、 α_3 又は α_4 を超えたとしても、該第2の関節軸32、第3の関節軸36、又は第4の関節軸40は回転していないため、プロセッサ52は、ステップS6でNOと判定し、ロボット12の動作を継続することになる。
- [0053] 第1の関節軸28の回転中に可動要素（旋回胴16、下腕部18、上腕部20、手首部22、又はエンドエフェクタ24）が周囲の物体と衝突したときは、必然的に、第1の関節軸28に大きな外力トルク ET_1 が掛かることになる。故に、該外力トルク ET_1 が閾値 α_1 を超えていない場合は、仮にこのときの外力トルク ET_2 、 ET_3 又は ET_4 が閾値 α_2 、 α_3 又は α_4 を超えたとしても、該外力トルク ET_2 、 ET_3 又は ET_4 がロボット12の動作（つまり、第1の関節軸28の回転）に起因するものではないと見做すことができ、周囲の物体に大きな力を与える可能性は低いと推定できる。このように、第1条件及び第2条件の少なくとも一方を満たさない場合はロボット12の動作を継続させることで、作業の効率性が低下してしまうのを防止できる。
- [0054] また、本実施形態においては、プロセッサ52は、移動方向 MD_n とは反対

の方向 MD_n' の外力トルク ET_n が閾値 α_n を超えたときに第1条件を満たすと判定している。ここで、移動中の可動要素が不意に周囲の物体と衝突した場合、該物体から該可動要素に加えられる外力は、衝突の反作用として、反対の方向 MD_n' へ強く作用することになる。

[0055] その一方で、例えば、ロボット12が作業員と協働している場合において、作業員がロボット12の所定の可動要素（例えば、エンドエフェクタ24）に意図的に外力を加えて該可動要素を移動させた場合、該外力の方向は、可動要素の移動方向と略一致することになる。

[0056] 本実施形態によれば、反対の方向 MD_n' の外力トルク ET_n に基づいて第1条件を判定することにより、移動中の可動要素が不意に周囲の物体と衝突した可能性が高い場合はロボット12を停止させることができる一方、上述のように協働作業のために作業員がロボット12に意図的に外力を加えている場合は、ロボット12を継続して動作させることができる。したがって、作業の安全性を確実に確保しつつ、協働作業等の効率性が低下するのを防止できる。

[0057] また、本実施形態においては、ロボット12の停止後に該ロボット12に退避動作を実行させている（ステップS11）。この構成によれば、周囲の物体の安全性を、さらに効果的に確保できる。しかしながら、ステップS11を省略し、プロセッサ52は、ステップS10でロボット12を停止するだけであってもよい。

[0058] なお、上述のステップS5において、プロセッサ52は、外力トルク ET_n の方向が移動方向 MD_n とは反対であるか否かを判定することなく、如何なる方向の外力トルク ET_n であっても、その大きさが閾値 α_n を超えた場合に第1条件を満たす（すなわち、YES）と判定してもよい。この場合、プロセッサ52は、上述のステップS3において、移動方向 MD_n を取得する必要はなくなるので、制御装置50から移動方向取得部62を省略できる。

[0059] また、上述のステップS6において、プロセッサ52は、移動速度 MV_n と閾値 β_n とを比較することなく、第2条件を満たすか否かを判定することもで

きる。例えば、プロセッサ52は、上述の回転検出器からの位置フィードバックFBの値が変動した場合に、第nの関節軸28、32、36又は40が移動している（つまり、第2条件を満たす）と判定してもよい。

[0060] 代替的には、プロセッサ52は、第nのサーボモータ26、30、34又は38への指令、又は、作業プログラムWPに含まれる命令文等から、第nの関節軸28、32、36又は40が移動しているか否かを判定してもよい。この場合、プロセッサ52は、ステップS3において、移動速度 MV_n を取得する必要はなくなるので、制御装置50から速度取得部64を省略できる。

[0061] また、図3に示すフローの各プロセスの順序を変更することもできる。一例として、プロセッサ52は、ステップS4の後にステップS6を実行し、第2条件を満たすか否かを判定し、第2条件を満たす（YES）と判定した場合にステップS5を実行して第1条件を満たすか否かを判定し、YESと判定した場合にステップS10へ進んでもよい。すなわち、この場合、プロセッサ52は、移動していると判定した可動要素（第nの関節軸）について第1条件（つまり、外力トルク ET_n が閾値 α_n を超えたか否か）を判定することになる。

[0062] 他の例として、プロセッサ52は、ステップS1の後にステップS4を実行し、該ステップS4の後にステップS6を実行して第2条件を満たすか否かを判定してもよい。そして、プロセッサ52は、第2条件を満たす（YES）と判定した場合に、ステップS2を実行して第nの関節軸28、32、36又は40に加えられた外力トルク ET_n を取得し、次いでステップS3を実行して該第nの関節軸28、32、36又は40の移動情報を取得してもよい。

[0063] そして、該ステップS3の後にステップS5を実行して第1条件を満たすか否かを判定し、YESと判定した場合はステップS10へ進んでもよい。すなわち、この場合、プロセッサ52は、移動していると判定した可動要素（第nの関節軸）について、外力トルク ET_n の取得、移動情報の取得、及び第

1条件の判定の一連のスキームを実行することになる。

[0064] 次に、図4を参照して、制御装置50が実行するロボット制御フローの他の例について説明する。なお、図4に示すフローにおいて、図3に示すフローと同様のプロセスには同じステップ番号を付し、重複する説明を省略する。図4に示すフローは、プロセッサ52が上述の自動作業開始指令を受け付けたときに、開始される。

[0065] ステップS1の後、ステップS21において、プロセッサ52は、外力取得部60として機能し、ロボット12の可動要素に加えられた外力EFを取得する。具体的には、プロセッサ52は、第1の力センサ42、第2の力センサ44、第3の力センサ46、及び第4の力センサ48から検出データを取得し、該検出データから対応する内力の成分をそれぞれ減算することによって、外力トルク ET_1 、 ET_2 、 ET_3 、及び ET_4 をそれぞれ算出する。

[0066] そして、プロセッサ52は、これら外力トルク ET_1 、 ET_2 、 ET_3 、及び ET_4 に基づいて、ロボット12に加えられた外力EFを取得する。ここで、ロボット12の所定の部位（例えば、エンドエフェクタ24）に加えられた外力EFは、該所定の部位の基端側に位置する全ての関節軸28、32、36、40に作用することになる。

[0067] ここで、ロボット12の所定の部位に、所定の大きさ及び方向の外力EFが加えられたときに関節軸28、32、36、40に作用する外力トルク ET は、運動力学方程式、実験的手法、又はシミュレーション等から、既知とすることができる。換言すれば、関節軸28、32、36、40に作用する外力トルクから、外力EFが加えられたロボット12の部位と、該外力EFの大きさ及び方向とを推定することができる。

[0068] プロセッサ52は、算出した外力トルク ET_1 、 ET_2 、 ET_3 、及び ET_4 に基づいて、ロボット12のいずれの可動要素（旋回胴16、下腕部18、上腕部20、手首部22、又はエンドエフェクタ24）に外力EFが加えられたかを特定するとともに、該外力EFの大きさ及び方向を取得する。

[0069] ステップS22において、プロセッサ52は、直近のステップS21で外

力EFが加えられたと特定した可動要素の移動情報を取得する。仮に、直近のステップS21においてロボット12の上腕部20に外力EFが加えられたものと特定した場合、プロセッサ52は、上述の速度取得部64として機能し、移動情報として、上腕部20の移動速度 MV_U （又は加速度）を取得する。

[0070] この移動速度 MV_U は、ロボット12を制御するために該ロボット12に対して設定されたロボット座標系（又は、作業セルの3次元空間を規定するワールド座標系）における上腕部20の移動速度 MV_U であってもよいし、又は、上腕部20の基端側に連結された下腕部18に対する該上腕部20の移動速度（つまり、回転速度） MV_U であってもよい。

[0071] 例えば、プロセッサ52は、上腕部20の基端側に配置されたサーボモータ26、30及び34の回転検出器からの位置フィードバックFB、該サーボモータ26、30及び34への指令、又は、作業プログラムWPに含まれる情報（命令文等）に基づいて、移動速度 MV_U を取得できる。また、プロセッサ52は、上述の移動方向取得部62として機能して、位置フィードバックFB、指令又は作業プログラムWPに基づいて、上腕部20の移動方向 MD_U を取得する。この移動速度 MD_U は、上述のロボット座標系（又はワールド座標系）における上腕部20の移動方向 MD_U であってもよいし、又は、上腕部20の基端側に連結された下腕部18に対する該上腕部20の移動方向（つまり、回転方向） MD_U であってもよい。

[0072] ステップS23において、プロセッサ52は、第1条件判定部66として機能し、予め定めた閾値 δ （第1の閾値）を超えた外力FTが可動要素に加えられたという第1条件を満たすか否かを判定する。例えば、可動要素としての旋回胴16、下腕部18、上腕部20、手首部22、及びエンドエフェクタ24に対し、互いに異なる外力EFの閾値 δ_1 、 δ_2 、 δ_3 、 δ_4 及び δ_5 が、それぞれ設定される。

[0073] 以下、直近のステップS21において、ロボット12の上腕部20に外力EFが加えられたものと特定した場合について説明する。この場合、プロセ

ッサ52は、上腕部20の移動方向 MD_U とは反対の方向 MD_U' の外力 EF_U が閾値 δ_3 を超えたときに、第1条件を満たす（すなわち、YES）と判定する。

[0074] 具体的には、プロセッサ52は、直近のステップS21で取得した外力 EF_U の方向が、直近のステップS22で取得した上腕部20の移動方向 MD_U とは反対であり、且つ、外力 EF_U の大きさが閾値 δ_3 を超えたか否かを判定する。プロセッサ52は、外力 EF_U の方向が移動方向 MD_U とは反対であり、且つ、その大きさが閾値 δ_3 を超えた場合に、第1条件を満たす（すなわち、YES）と判定する。

[0075] このとき、プロセッサ52は、外力 EF_U の方向と移動方向 MD_U との間の角度 θ が所定の範囲（例えば、 $\theta > 90^\circ$ の範囲）である場合に、外力トルク ET_n の方向が移動方向 MD_n とは反対の方向であると判定してもよい。又は、プロセッサ52は、外力 EF_U の単位ベクトルと移動方向 MD_U の単位ベクトルとの内積 IP が所定の範囲（例えば、 $IP < 0$ の範囲）である場合に、外力トルク ET_n の方向が移動方向 MD_n とは反対の方向であると判定してもよい。

[0076] 代替的には、プロセッサ52は、取得した外力 EF_U の、移動方向 MD_U とは反対の方向の成分 EF_U' を求め、該成分 EF_U' が閾値 δ_3 を超えたか否かを判定し、該成分 EF_U' が閾値 δ_3 を超えた場合にYESと判定してもよい。プロセッサ52は、このステップS23でYESと判定した場合は、ステップS24へ進む一方、NOと判定した場合はステップS9へ進む。

[0077] なお、このステップS23において、プロセッサ52は、可動要素に加えられた外力 EF の方向を考慮することなく、取得した外力 EF の大きさが閾値 δ を超えた場合に、第1条件を満たす（YES）と判定してもよい。また、複数の可動要素毎に閾値 δ_1 、 δ_2 、 δ_3 、 δ_4 及び δ_5 を設定するのではなく、全ての可動要素に対して一定の閾値 δ_0 が設定されてもよい。

[0078] ステップS24において、プロセッサ52は、第2条件判定部68として機能し、外力 EF が加えられた可動要素が移動しているという第2条件を満

たすか否かを判定する。仮に、直近のステップS 2 1で上腕部2 0に外力E Fが加えられたものと特定したとすると、プロセッサ5 2は、直近のステップS 2 2で取得した上腕部2 0の移動速度 MV_U （又は加速度）が、予め定めた閾値 ε （第2の閾値）を超えたときに、第2条件を満たす（すなわち、YES）と判定する。

[0079] なお、プロセッサ5 2は、移動速度 MV_U と閾値 ε とを比較することなく、第2条件を満たすか否かを判定することもできる。例えば、プロセッサ5 2は、第3のサーボモータ3 4に設けられた回転検出器からの位置フィードバックF Bの値が変動した場合に、上腕部2 0が移動している（つまり、第2条件を満たす）と判定してもよい。

[0080] 代替的には、プロセッサ5 2は、第3のサーボモータ3 4への指令、又は、作業プログラムWPに含まれる命令文等から、上腕部2 0が移動しているか否かを判定してもよい。プロセッサ5 2は、ステップS 2 4でYESと判定した場合はステップS 1 0へ進み、ロボット1 2の動作を停止する一方、NOと判定した場合はステップS 9へ進む。このように、プロセッサ5 2は、ステップS 9又はS 2 4でYESと判定するまで、ステップS 2 1～S 2 4、及びS 9をループする。

[0081] 以上のように、本実施形態においては、プロセッサ5 2は、可動要素としての旋回胴1 6、下腕部1 8、上腕部2 0、手首部2 2、又はエンドエフェクタ2 4に加えられた外力E Fを取得し、閾値 δ を超えた外力E Fが該可動要素に加えられたという第1条件と、該可動要素がしているという第2条件との双方が満足されたときに、ステップS 1 0でロボット1 2を停止させる。

[0082] その一方で、プロセッサ5 2は、第1条件及び第2条件の少なくとも一方が満たされていないときは、ステップS 9でYESと判定するまでロボット1 2の動作を継続させる。この構成によれば、上述の実施形態と同様に、作業の安全性を確実に確保しつつ、作業の効率性が低下してしまうのを防止できる。

[0083] なお、ロボットシステム10においては、複数の力センサ42、44、46及び48が設けてられているが、これに限らず、複数の方向の力を検出可能な1つの力センサを設けてもよい。このような実施形態を図5及び図6に示す。図5及び図6に示すロボットシステム80は、上述のロボットシステム10と以下の構成において相違する。すなわち、ロボットシステム80は、上述の力センサ42、44、46及び48の代わりに、力センサ82を備える。

[0084] 力センサ82は、例えば、複数の歪ゲージ（図示せず）を有する6軸力覚センサであって、ロボットベース14と、作業セルの床Aに固定された固定プレート84との間に介挿されている。力センサ82に力が作用すると、力センサ82の歪ゲージが、作用した力に応じた検出データを制御装置50へ送信する。

[0085] プロセッサ52は、外力取得部60として機能し、I/Oインターフェース56を介して力センサ82から受信した検出データに基づいて、ロボット12に加えられた外力EFを取得する。具体的には、プロセッサ52は、力センサ82からの検出データに基づいて、力センサ82に設定されたセンサ座標系SCのx軸、y軸、及びz軸方向の力と、x軸周り、y軸周り、及びz軸周りのトルクとの、6軸方向の力を求める。次いで、プロセッサ52は、センサ座標系SCの6軸方向の力から、ロボット12の質量と、該ロボット12が動作することによって生じる慣性力とに起因して力センサ82に作用する内力の成分をそれぞれ減算し、6軸方向の外力成分を求める。

[0086] ここで、ロボット12の所定の部位に、所定の大きさ及び方向の外力EFが加えられたときにセンサ座標系SCの6軸方向に作用する外力成分は、運動力学方程式、実験的手法、又はシミュレーション等から、既知とすることができる。換言すれば、センサ座標系SCの6軸方向の外力成分から、外力EFが加えられたロボット12の部位と、該外力EFの大きさ及び方向とを推定することができる。

[0087] こうして、プロセッサ52は、センサ座標系SCの6軸方向の外力成分に

基づいて、ロボット１２のいずれの可動要素（旋回胴１６、下腕部１８、上腕部２０、手首部２２、又はエンドエフェクタ２４）に外力ＥＦが加えられたかを特定するとともに、該外力ＥＦの大きさ及び方向を取得することができる。

[0088] ロボットシステム８０において、制御装置５０のプロセッサ５２は、図４に示すロボット制御フローを実行することによって、ロボット１２を制御する。この場合、ステップＳ２において、プロセッサ５２は、上述したように力センサ８２の検出データに基づいて、外力ＥＦを取得する。

[0089] なお、ロボットシステム１０及び８０の構成を組み合わせることもできる。例えば、ロボットシステム８０の力センサ８２を、ロボットシステム１０に適用し、ロボットシステム１０のプロセッサ５２は、図３に示すフローと、図４に示すフローとを、並行して実行してもよい。この場合において、ロボットシステム１０の制御装置５０は、図３に示すフローを実行する第１のプロセッサ５２Ａと、図４に示すフローを実行する第２のプロセッサ５２Ｂとを有してもよい。

[0090] 次に、図７及び図８を参照して、さらに他の実施形態に係るロボットシステム９０について説明する。ロボットシステム９０は、上述のロボットシステム１０と、以下の構成において相違する。すなわち、ロボットシステム９０においては、ハンドル９２、ハンドガイドセンサ９４、及び運転モード切換スイッチ９６がさらに設けられている。

[0091] ハンドル９２は、エンドエフェクタ２４のベース部２４ａに設けられており、人間工学的に作業員が把持し易い形状を有する。ハンドガイドセンサ９４は、例えば６軸力覚センサであって、ハンドル９２とベース部２４ａとの間に介挿されている。ハンドガイドセンサ９４は、作業員がハンドル９２に加えた操作力ＨＦを検出し、検出データを制御装置５０に送信する。

[0092] 運転モード切換スイッチ９６は、物理的切換スイッチ、押しボタン、タッチセンサ等を有し、ハンドル９２に設けられている。運転モード切換スイッチ９６は、ロボット１２の運転モードを、自動運転モードとハンドガイド運

転モードとの間で切り換える。自動運転モードは、上述のステップS 1 のように、ロボット1 2が作業プログラムWPに従って自動的に動作して所定の作業を行う運転モードである。

[0093] 一方、ハンドガイド運転モードは、後述するように、作業員がハンドル9 2に加えた操作力HFに応じてロボット1 2を手動で動作させる運転モードである。運転モード切換スイッチ9 6がONとされたとき、該運転モード切換スイッチ9 6は、ハンドガイド信号「ON」（又は、「1」）を、制御装置5 0に送信する。

[0094] 次に、図9を参照して、ロボットシステム9 0の制御装置5 0が実行するロボット制御フローについて説明する。図9に示すフローは、例えば、ロボットシステム9 0の制御装置5 0が起動されたときに、開始する。ステップS 3 1において、プロセッサ5 2は、ハンドガイド信号が「ON」とされたか否かを判定する。

[0095] 具体的には、作業員が運転モード切換スイッチ9 6をONとすると、該運転モード切換スイッチ9 6は、ハンドガイド信号「ON」（又は、「1」）を制御装置5 0に送信する。プロセッサ5 2は、ハンドガイド信号「ON」を受信した場合にYESと判定し、ステップS 3 2へ進む。一方、プロセッサ5 2は、ハンドガイド信号が「OFF」（又は、「0」）である場合はNOと判定し、ステップS 3 3へ進む。ステップS 3 2において、プロセッサ5 2は、ロボット1 2の運転モードをハンドガイド運転モードに移行し、ハンドガイド運転モードの制御フローを実行する。このステップS 3 2については後述する。

[0096] ステップS 3 3において、プロセッサ5 2は、オペレータ、上位コントローラ、又はコンピュータプログラム（例えば、上述の作業プログラムWP）から、上述の自動作業開始指令を受信したか否かを判定する。プロセッサ5 2は、自動作業開始指令を受信した場合にYESと判定し、ステップS 3 4へ進む一方、自動作業開始指令を受信していない場合はNOと判定し、ステップS 3 5へ進む。ステップS 3 4において、プロセッサ5 2は、ロボット

１２の運転モードを自動運転モードに移行し、自動運転モードの制御フローを実行する。このステップＳ３４については後述する。

[0097] ステップＳ３５において、プロセッサ５２は、制御装置５０の動作を終了するシャットダウン指令を受け付けたか否かを判定する。プロセッサ５２は、シャットダウン指令を受け付けた場合はＹＥＳと判定し、制御装置５０の動作を終了し、以って、図９に示すフローを終了する。一方、プロセッサ５２は、シャットダウン指令を受け付けていない場合はＮＯと判定し、ステップＳ３１へ戻る。

[0098] ステップＳ３２のハンドガイド運転モードの制御フローについて、図１０を参照して説明する。なお、図１０に示すフローにおいて、図３と同様のプロセスには同じステップ番号を付し、重複する説明を省略する。ステップＳ３２の開始後、プロセッサ５２は、上述のステップＳ２及びＳ３を実行する。

[0099] ステップＳ４１において、プロセッサ５２は、操作力ＨＦを取得する。具体的には、プロセッサ５２は、ハンドガイドセンサ９４から操作力ＨＦの検出データを取得する。そして、プロセッサ５２は、ハンドガイドセンサ９４の検出データと、このときのエンドエフェクタ２４の位置及び姿勢のデータとに基づいて、ハンドル９２に加えられた操作力ＨＦの大きさ及び方向を取得する。

[0100] ステップＳ４２において、プロセッサ５２は、直近のステップＳ４１で取得した操作力ＨＦの大きさが、予め定めた閾値 δ を超えた（ $H F \geq \delta$ ）か否かを判定する。プロセッサ５２は、操作力ＨＦの大きさが閾値 δ を超えた（すなわち、ＹＥＳ）と判定した場合はステップＳ４３へ進む一方、操作力ＨＦの大きさが閾値 δ を超えていない（すなわち、ＮＯ）と判定した場合は、ステップＳ４４へ進む。

[0101] ステップＳ４３において、プロセッサ５２は、操作力ＨＦに従ってエンドエフェクタ２４を移動させるように、ロボット１２を動作させる。具体的には、プロセッサ５２は、各サーボモータ２６、３０、３４及び３８へ指令を

送信し、エンドエフェクタ 24 を、操作力 H_F の方向へ所定の距離 d （例えば、10 cm）だけ移動させる。

[0102] なお、プロセッサ 52 は、直近のステップ S_{41} で取得した操作力 H_F の大きさに応じて、このステップ S_{43} で移動させる距離 d を変化させてもよい（例えば、操作力 H_F が大きい程、距離 d を大きくする）。ステップ S_{43} の後、プロセッサ 52 は、図 3 のフローと同様のステップ $S_4 \sim S_8$ 、及び S_{10} を順次実行する。ここで、プロセッサ 52 は、図 10 中のステップ S_5 を実行するときに参照する閾値 α_n の値を、 α_{n-1} に設定する。

[0103] ステップ S_8 で YES と判定した場合、ステップ S_{44} において、プロセッサ 52 は、上述のステップ S_{35} と同様に、シャットダウン指令を受け付けたか否かを判定する。プロセッサ 52 は、YES と判定した場合は、制御装置 50 の動作を終了し、以って、図 9 に示すフローを終了する。一方、プロセッサ 52 は、NO と判定した場合はステップ S_{45} へ進む。

[0104] ステップ S_{45} において、プロセッサ 52 は、ハンドガイド信号が「OFF」（又は、「0」）とされたか否かを判定する。具体的には、作業員が運転モード切換スイッチ 96 を OFF とすると、該運転モード切換スイッチ 96 は、ハンドガイド信号「OFF」（又は、「0」）を制御装置 50 に送信する。プロセッサ 52 は、ハンドガイド信号が「OFF」となった場合に YES と判定し、図 9 中のステップ S_{33} へ進む。一方、プロセッサ 52 は、ハンドガイド信号が「ON」である場合は NO と判定し、図 10 中のステップ S_{41} へ戻る。

[0105] こうして、プロセッサ 52 は、操作力 H_F に応じてロボット 12 を動作させるハンドガイド運転を実行中に、各関節軸 28、32、36 及び 40 について第 1 条件及び第 2 条件を満たすか否かを監視し、それに応じてロボット 12 の動作を停止又は継続させる。なお、図 10 に示すフローにおいては、プロセッサ 52 は、ステップ S_{10} の後、上述のステップ S_{11} を実行せずに、図 10 に示すフローを終了する。

[0106] 次に、図 11 を参照して、ステップ S_{34} の自動運転モードの制御フロー

について説明する。なお、図 11 に示すフローにおいて、図 3 及び図 9 と同様のプロセスには同じステップ番号を付し、重複する説明を省略する。ステップ S 34 の開始後、プロセッサ 52 は、図 3 のフローと同様に上述のステップ S 1 ～ S 11 を順次実行する。

[0107] ここで、プロセッサ 52 は、図 11 中のステップ S 5 を実行するときに参照する閾値 α_n の値を、 α_{n_2} ($< \alpha_{n_1}$) に設定する。そして、プロセッサ 52 は、ステップ S 9 で NO と判定した場合、上述のステップ S 31 を実行し、YES と判定した場合は、図 9 中のステップ S 32 へ進む一方、NO と判定した場合は、図 11 中のステップ S 4 へ戻る。

[0108] 以上のように、本実施形態においては、プロセッサ 52 は、ステップ S 32 のハンドガイド運転モードを実行するときは、ステップ S 5 で第 1 条件の判定のために用いる閾値 α_n を、値 α_{n_1} に設定する一方、ステップ S 34 の自動運転モードを実行するときは、ステップ S 5 で第 1 条件の判定のために用いる閾値 α_n を、値 α_{n_2} ($< \alpha_{n_1}$) に設定している。したがって、プロセッサ 52 は、ロボット 12 の運転モードに応じて閾値 α_n を変更する閾値設定部 98 (図 8) として機能する。

[0109] ここで、ハンドガイド運転モードにおいては、上述したように、作業員が意図的にハンドル 92 に加えた力に応じてロボット 12 を手動で動作させる。このようなハンドガイド運転モードで用いる閾値 α_{n_1} を、自動運転モードで用いる閾値 α_{n_2} よりも大きく設定することによって、作業員が意図的に加えた力によってロボット 12 を停止させてしまうのを、回避することができる。

[0110] なお、ロボットシステム 90 において、力センサ 42、44、46 及び 48 の代わりに、力センサ 82 を適用することもできる。この場合、図 10 及び図 11 に示すフローに、図 4 中のステップ S 21 ～ S 24 を適用可能であることが理解されよう。また、上述の力センサ 42、44、46 及び 48 は、サーボモータ 26、30、34 及び 38 の出力シャフトに掛かるトルクを検出するように配置されてもよい。

[0111] また、上述の力センサ 8 2 は、ロボット 1 2 の如何なる箇所（例えば、下腕部 1 8）に設けてもよい。また、上述の実施形態においては、4 個の関節軸 2 8、3 2、3 6 及び 4 0、4 個のサーボモータ 2 6、3 0、3 4 及び 3 8、並びに 4 個の力センサ 4 2、4 4、4 6 及び 4 8 が設けられている場合について述べた。しかしながら、これに限らず、関節軸、サーボモータ、力センサの個数は、4 以外の如何なる正数であってもよい。

[0112] また、ロボット 1 2 は、垂直多関節ロボットに限らず、例えば、水平多関節ロボット、パラレルリンクロボット等、可動要素を備える如何なるタイプのロボットであってもよい。以上、実施形態を通じて本開示を説明したが、上述の実施形態は、特許請求の範囲に係る発明を限定するものではない。

符号の説明

[0113]	1 0, 8 0, 9 0	ロボットシステム
	1 2	ロボット
	5 0	制御装置
	5 2	プロセッサ
	6 0	外力取得部
	6 2	移動方向取得部
	6 4	速度取得部
	6 6	第 1 条件判定部
	6 8	第 2 条件判定部
	7 0	動作制御部

請求の範囲

- [請求項1] 可動要素を有するロボットの制御装置であって、
前記ロボットが動作しているときに前記可動要素に加えられた外力を取得する外力取得部と、
予め定めた第1の閾値を超えた前記外力が前記可動要素に加えられたという第1条件を満たすか否かを判定する第1条件判定部と、
前記可動要素が移動しているという第2条件を満たすか否かを判定する第2条件判定部と、
前記第1条件及び前記第2条件の双方が満たされたときは前記ロボットの動作を停止する一方、前記第1条件及び前記第2条件の少なくとも一方が満たされていないときは前記ロボットの動作を継続させる動作制御部と、を備える、制御装置。
- [請求項2] 前記可動要素の移動速度を取得する速度取得部をさらに備え、
前記第2条件判定部は、前記移動速度が予め定めた第2の閾値を超えたときに、前記第2条件を満たすと判定する、請求項1に記載の制御装置。
- [請求項3] 前記可動要素の移動方向を取得する移動方向取得部をさらに備え、
前記第1条件判定部は、前記移動方向とは反対の方向の前記外力が前記第1の閾値を超えたときに、前記第1条件を満たすと判定する、請求項1又は2に記載の制御装置。
- [請求項4] 前記ロボットの運転モードに応じて前記第1の閾値を変更する閾値設定部をさらに備える、請求項1～3のいずれか1項に記載の制御装置。
- [請求項5] 前記動作制御部は、前記ロボットの動作を停止させた後に該ロボットに退避動作を実行させる、請求項1～4のいずれか1項に記載の制御装置。
- [請求項6] 前記ロボットは、複数の前記可動要素を備え、
前記第1条件判定部は、1つの前記可動要素について前記第1条件

を満たすか否かを判定し、

前記第2条件判定部は、前記1つの可動要素について前記第2条件を満たすか否かを判定する、請求項1～5のいずれか1項に記載の制御装置。

[請求項7] 前記可動要素は、前記ロボットの関節軸であり、
前記外力取得部は、前記外力として、前記関節軸に加えられた外力トルクを取得する、請求項1～6のいずれか1項に記載の制御装置。

[請求項8] ロボットと、
前記ロボットを制御する、請求項1～7のいずれか1項に記載の制御装置と、を備える、ロボットシステム。

[請求項9] 前記可動要素に掛かる力を検出する力センサをさらに備え、
前記外力取得部は、前記力センサの検出データに基づいて前記外力を取得する、請求項8に記載のロボットシステム。

[請求項10] 可動要素を有するロボットの制御方法であって、
前記ロボットが動作しているときに前記可動要素に加えられた外力を取得し、

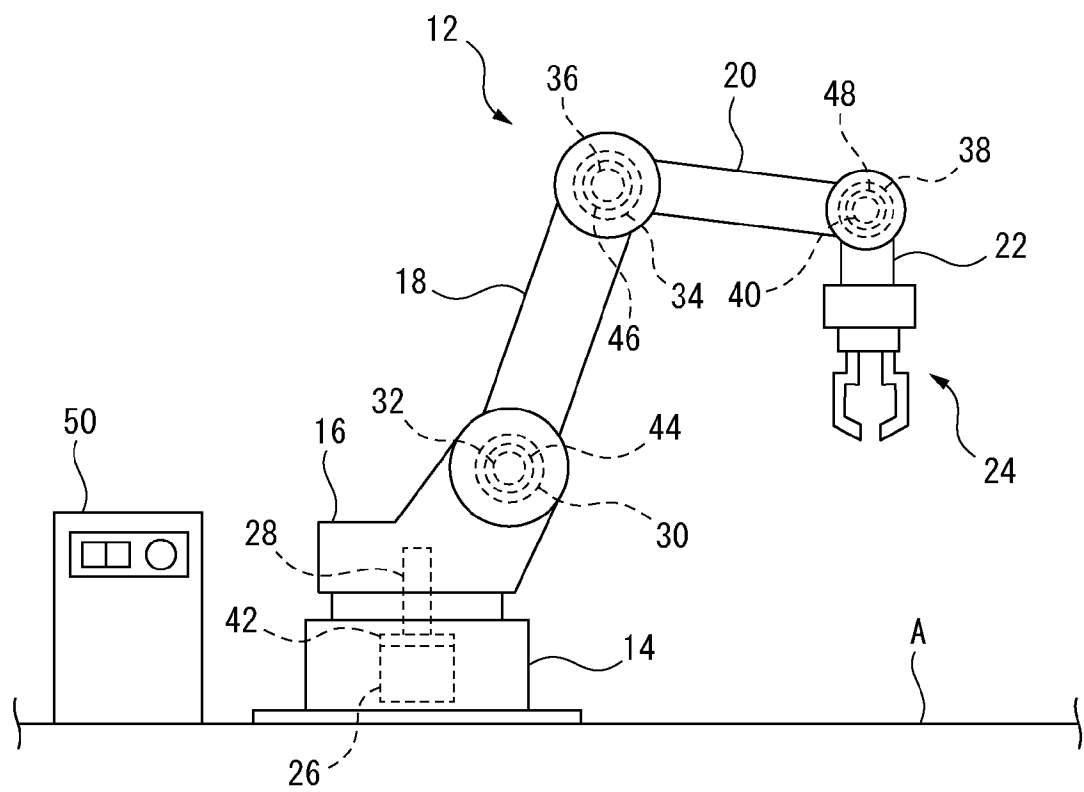
予め定めた第1の閾値を超えた前記外力が前記可動要素に加えられたという第1条件を満たすか否かを判定し、

前記可動要素が移動しているという第2条件を満たすか否かを判定し、

前記第1条件及び前記第2条件の双方が満たされたときは前記ロボットの動作を停止する一方、前記第1条件及び前記第2条件の少なくとも一方が満たされていないときは前記ロボットの動作を継続する、制御方法。

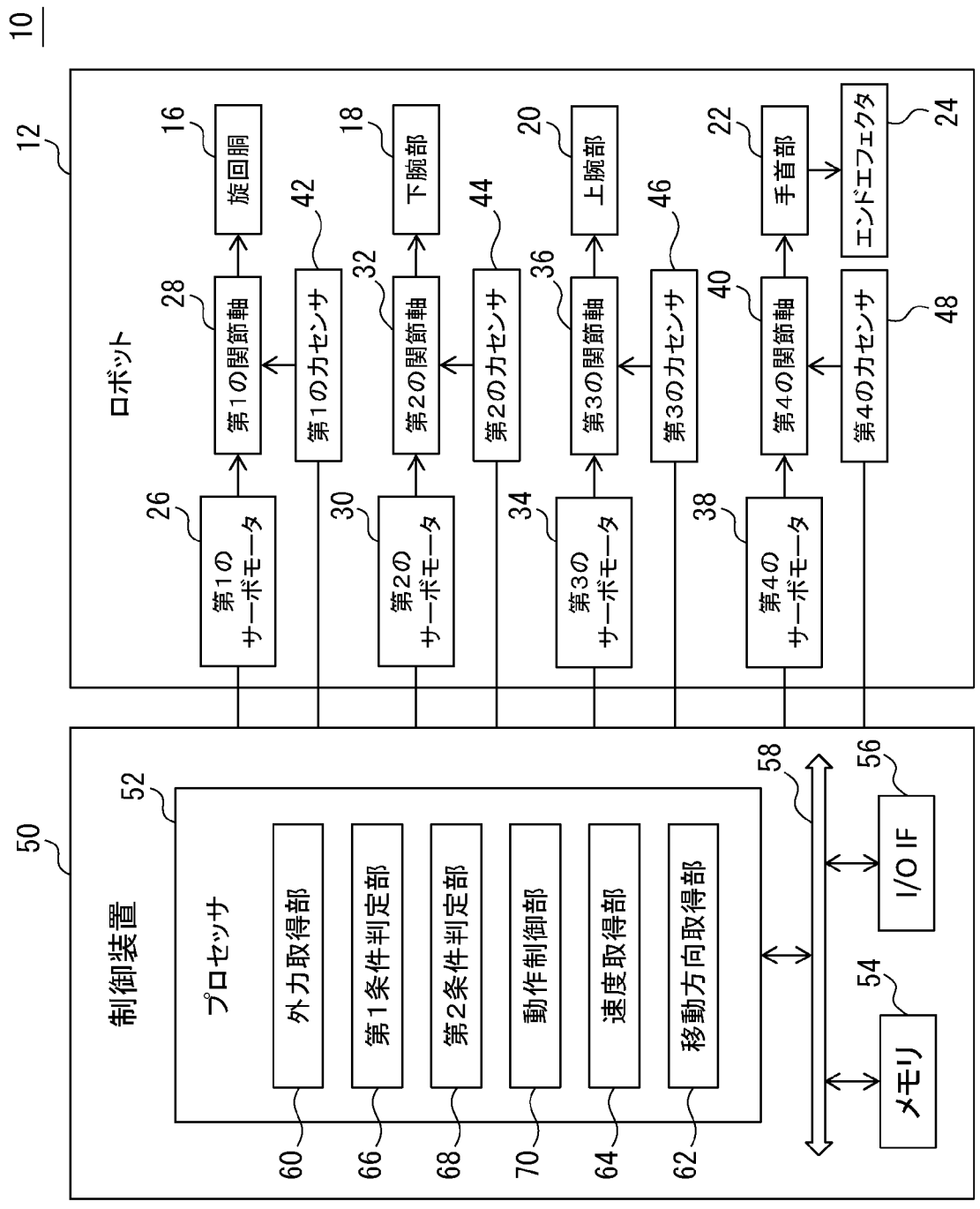
[図1]

図1

10

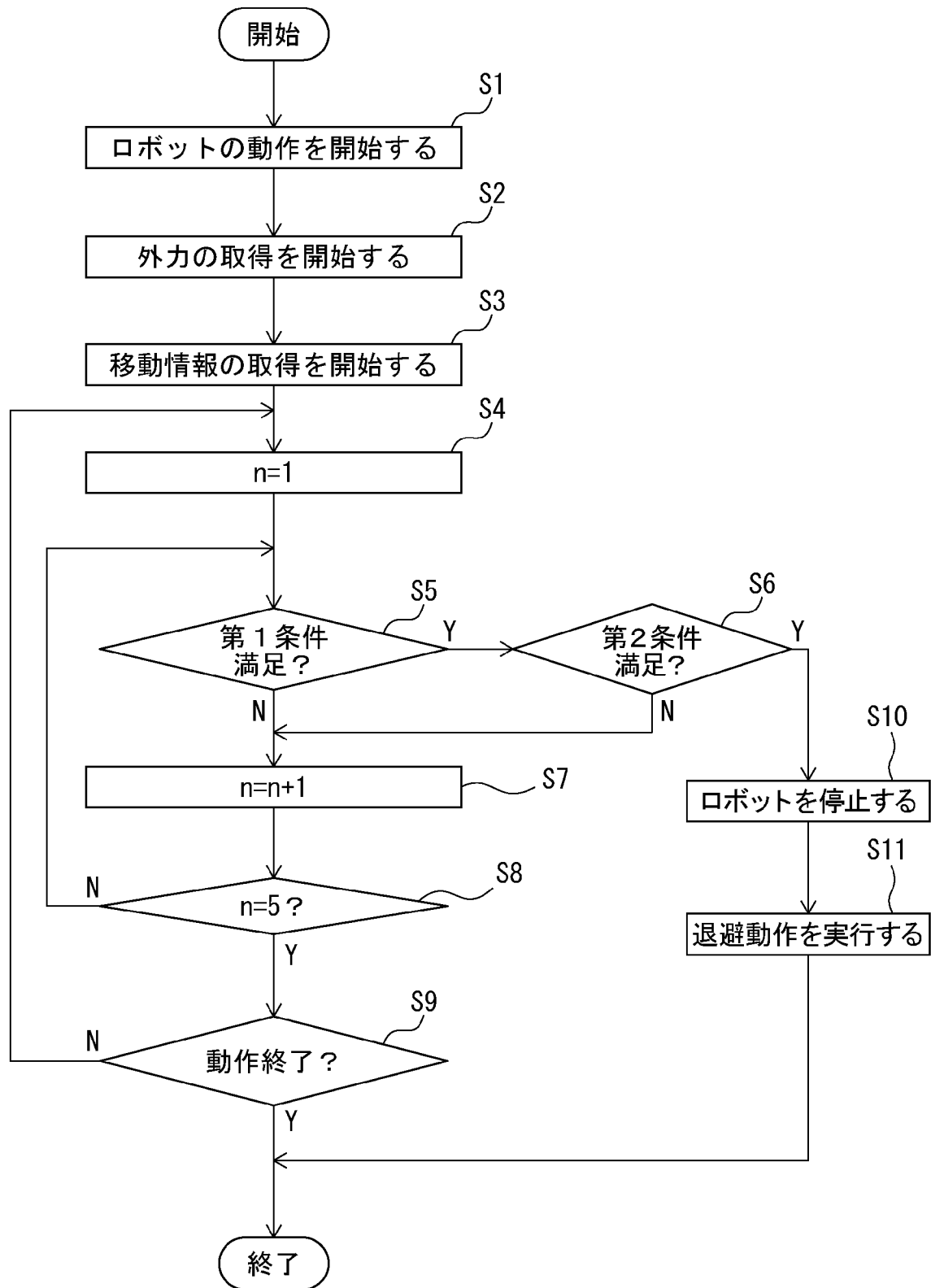
[図2]

図2



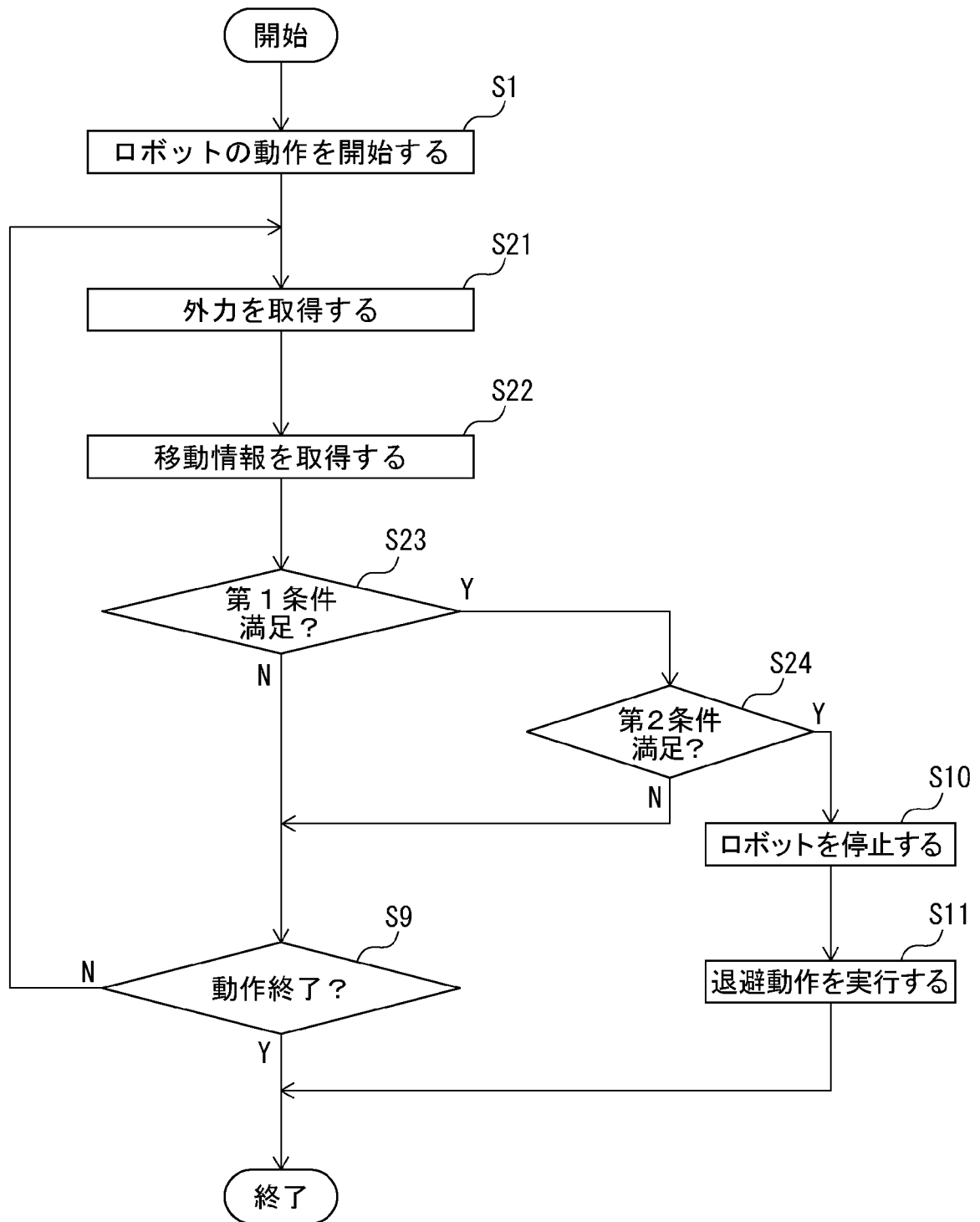
[図3]

図3



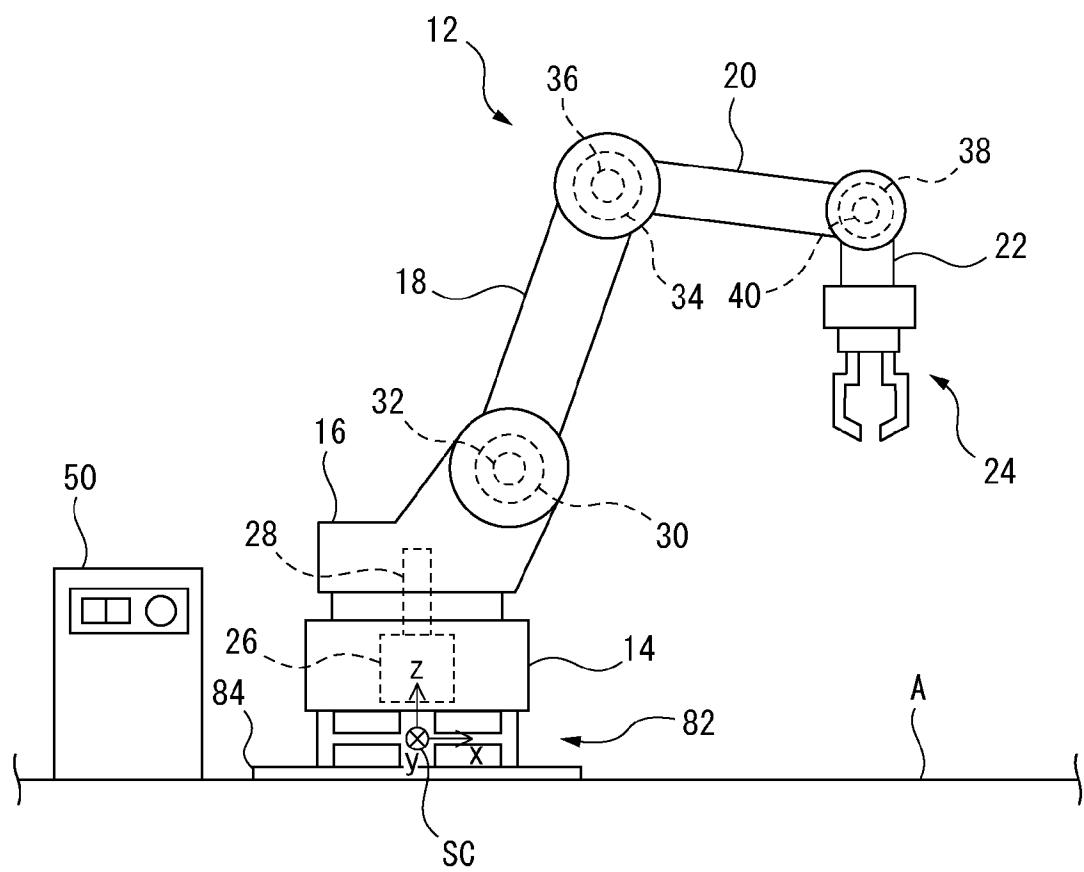
[図4]

図4



[図5]

図5

80

[図6]

80

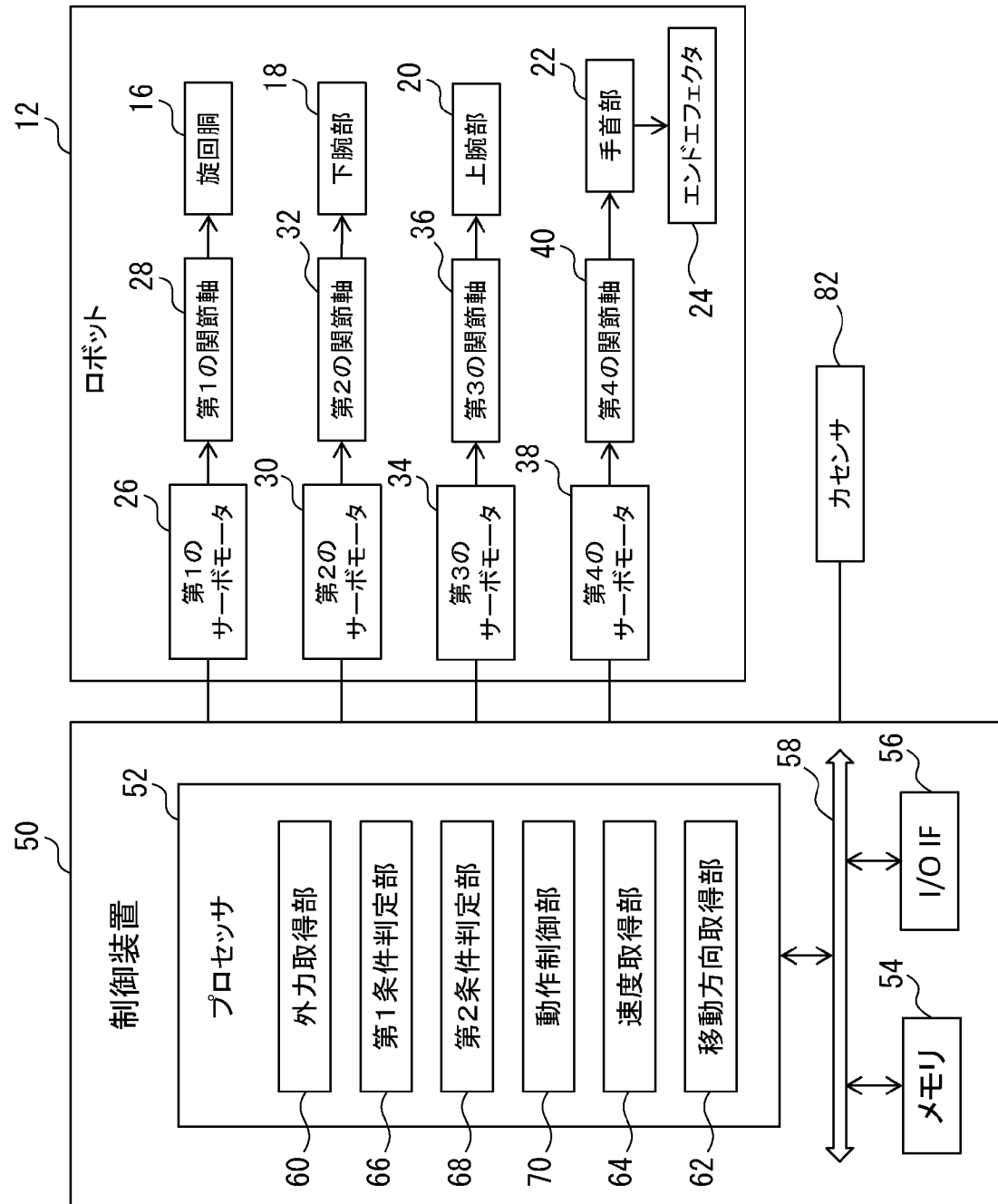
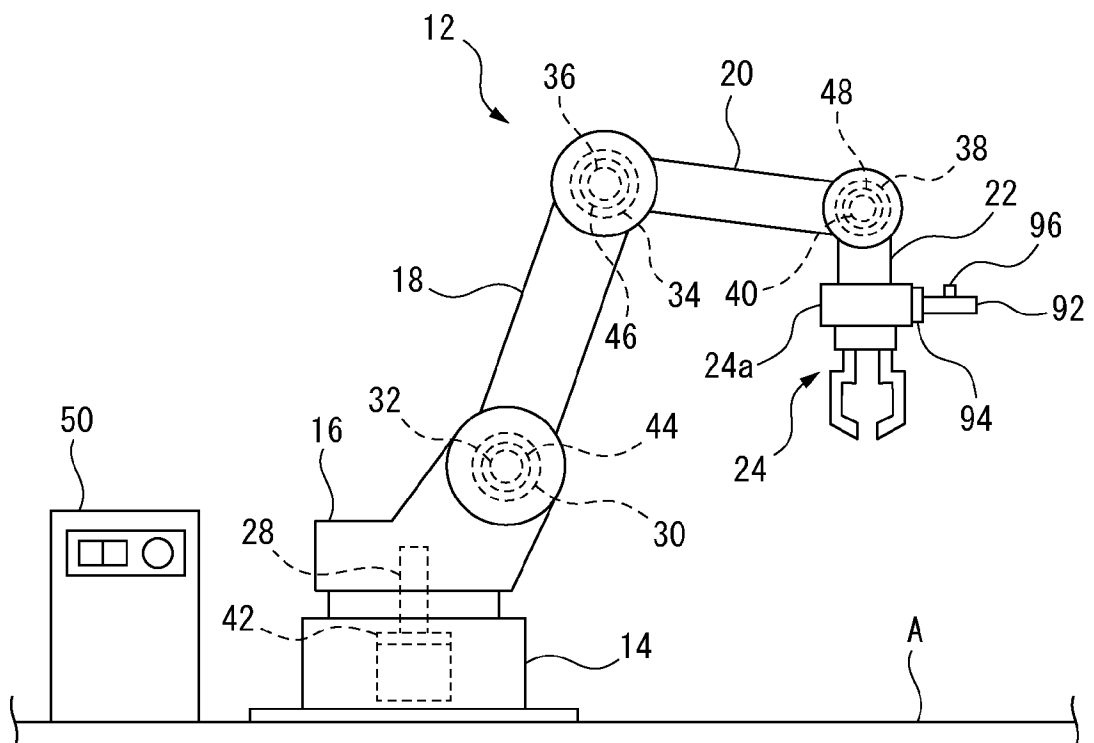


図6

[図7]

図7

90

[図8]

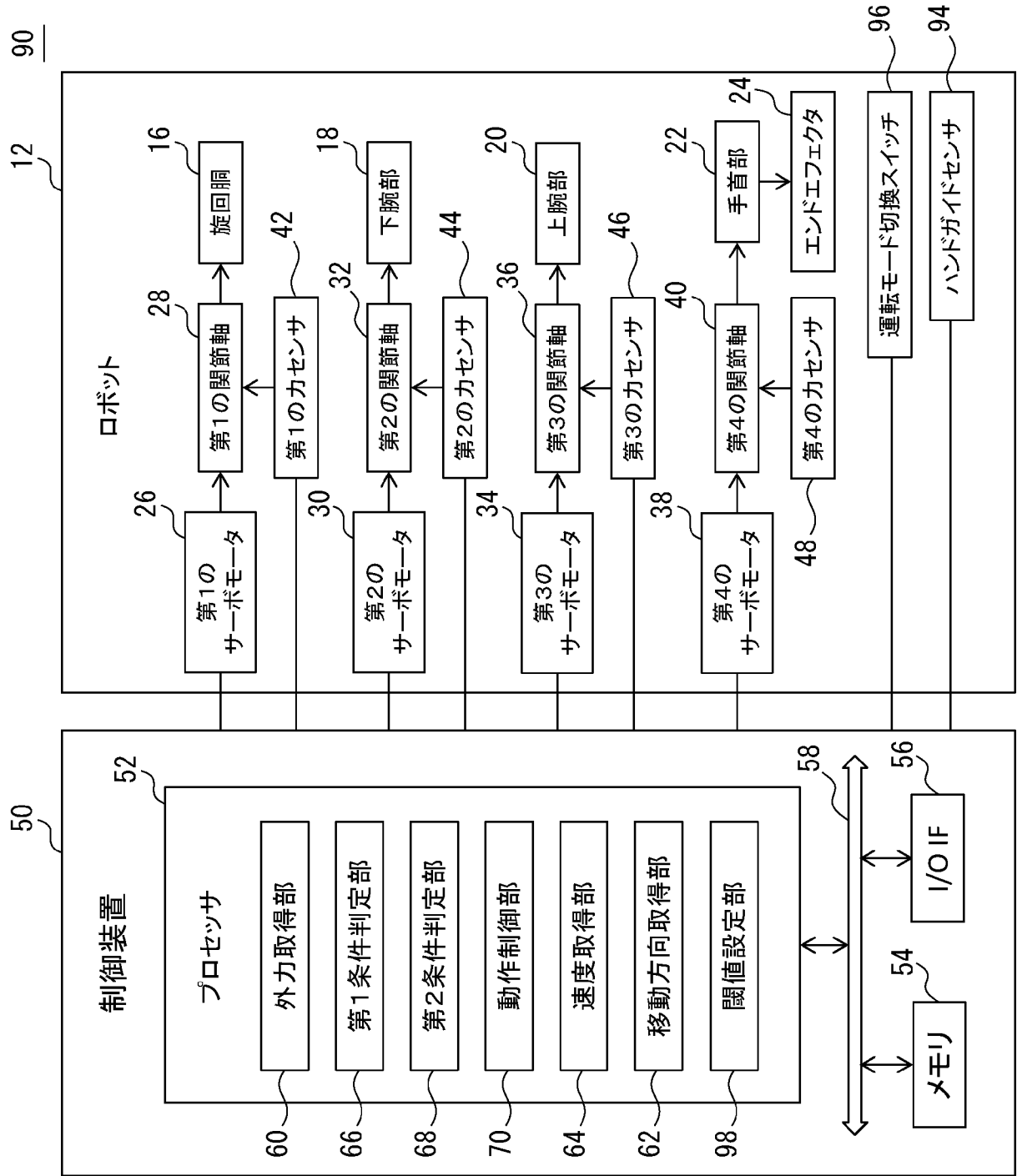
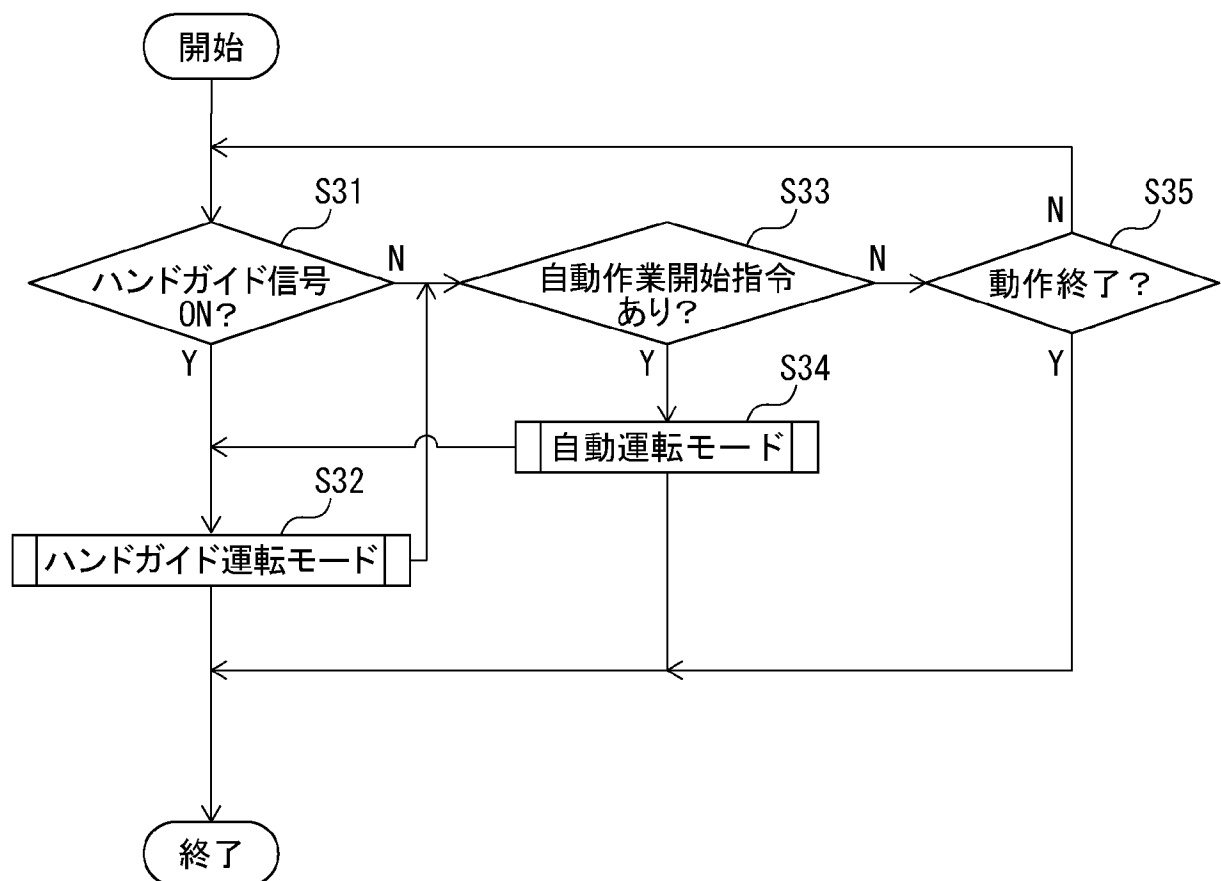


図8

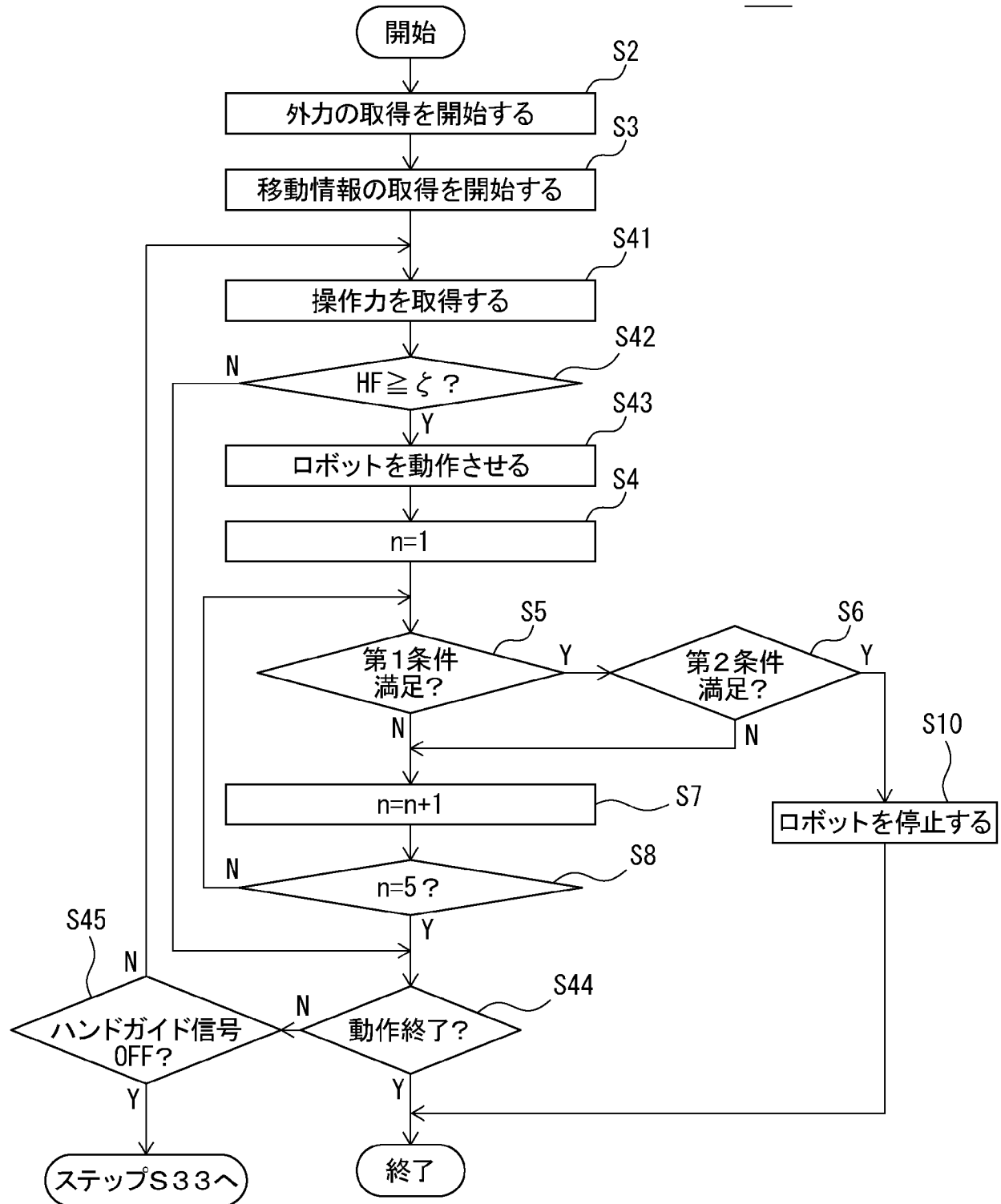
[図9]

図9



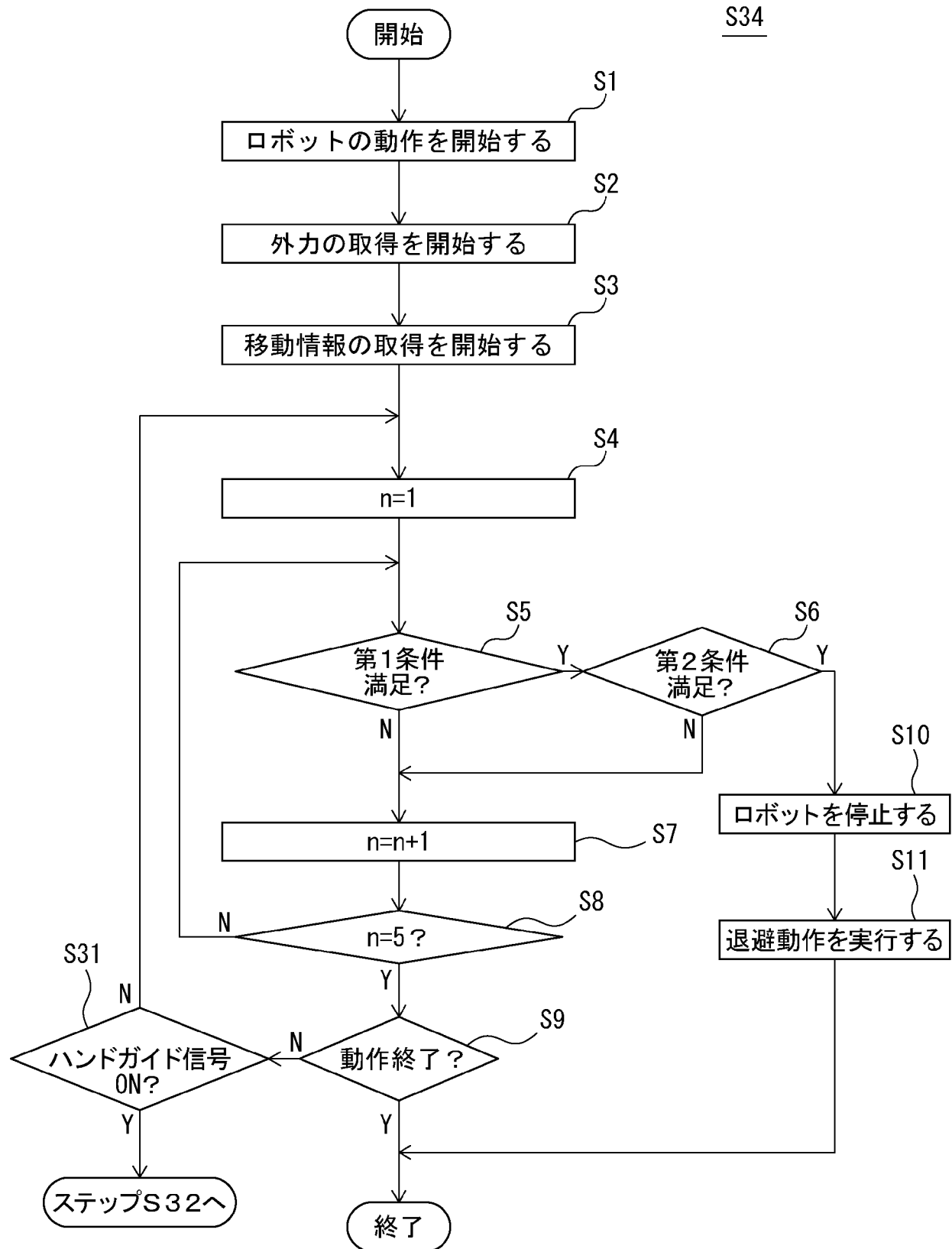
[図10]

図10

S32

[図11]

図11



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/008814

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B25J 19/06 (2006.01) i

FI: B25J19/06

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)

B25J19/06

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 1971-2021

Registered utility model specifications of Japan 1996-2021

Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2020-32488 A (FANUC CORPORATION) 05 March 2020 (2020-03-05) paragraphs [0013]-[0017], fig. 1	1-2, 6, 8-10
Y	paragraphs [0013]-[0017], fig. 1	3-5, 7
A	JP 2010-228028 A (NEC CORP.) 14 October 2010 (2010-10-14) paragraph [0020]	1-2, 6, 8-10
Y	paragraph [0020]	3-5, 7
A	JP 2017-77608 A (FANUC CORPORATION) 27 April 2017 (2017-04-27) paragraphs [0017], [0031]	1-2, 6, 8-10
Y	paragraphs [0017], [0031]	3-5, 7
A	JP 2005-342858 A (TOSHIBA MACHINE CO., LTD.) 15 December 2005 (2005-12-15) paragraphs [0038]-[0051], fig. 4	1-3, 6, 8-10
Y	paragraphs [0038]-[0051], fig. 4	4-5, 7
A	JP 2016-132080 A (FANUC CORPORATION) 25 July 2016 (2016-07-25) paragraphs [0032]-[0034]	1-4, 6, 8-10
Y	paragraphs [0032]-[0034]	5, 7



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

"I" 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

12 April 2021 (12.04.2021)

Date of mailing of the international search report

20 April 2021 (20.04.2021)

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/JP2021/008814

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 2003-25272 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 29	1-4, 6, 8-10
Y	January 2003 (2003-01-29) paragraph [0157] paragraph [0157]	5, 7
A	JP 2016-64474 A (FANUC CORPORATION) 28 April 2016	1-6, 8-10
Y	(2016-04-28) paragraph [0018] paragraph [0018]	7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/008814

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2020-32488 A	05 Mar. 2020	US 2020/0070342 A1 paragraphs [0017]- [0023], fig. 1 DE 102019122864 A1 CN 110874078 A (Family: none)	
JP 2010-228028 A	14 Oct. 2010	US 2017/0113349 A1 paragraphs [0017], [0044] DE 102016119600 A1 CN 106607904 A (Family: none)	
JP 2017-77608 A	27 Apr. 2017	US 2016/0207197 A1 paragraphs [0037]- [0039] DE 102016000352 A1 CN 105798907 A (Family: none)	
JP 2005-342858 A	15 Dec. 2005	US 2016/0089790 A1 paragraph [0052] DE 102015012232 A1 CN 105459120 A	
JP 2016-132080 A	25 Jul. 2016		
JP 2003-25272 A	29 Jan. 2003		
JP 2016-64474 A	28 Apr. 2016		

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B25J 19/06(2006.01)i FI: B25J19/06														
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）） B25J19/06 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>1971-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2021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	1971-2021年	日本国実用新案登録公報	1996-2021年	日本国登録実用新案公報	1994-2021年				
日本国実用新案公報	1922-1996年													
日本国公開実用新案公報	1971-2021年													
日本国実用新案登録公報	1996-2021年													
日本国登録実用新案公報	1994-2021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												
X	JP 2020-32488 A（ファナック株式会社）05.03.2020（2020-03-05） 段落 [0013] - [0017]、図1	1-2, 6, 8-10												
Y	段落 [0013] - [0017]、図1	3-5, 7												
A	JP 2010-228028 A（日本電気株式会社）14.10.2010（2010-10-14） 段落 [0020]	1-2, 6, 8-10												
Y	段落 [0020]	3-5, 7												
A	JP 2017-77608 A（ファナック株式会社）27.04.2017（2017-04-27） 段落 [0017]、[0031]	1-2, 6, 8-10												
Y	段落 [0017]、[0031]	3-5, 7												
A	JP 2005-342858 A（東芝機械株式会社）15.12.2005（2005-12-15） 段落 [0038] - [0051]、図4	1-3, 6, 8-10												
Y	段落 [0038] - [0051]、図4	4-5, 7												
A	JP 2016-132080 A（ファナック株式会社）25.07.2016（2016-07-25） 段落 [0032] - [0034]	1-4, 6, 8-10												
Y	段落 [0032] - [0034]	5, 7												
☒ 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 12.04.2021	国際調査報告の発送日 20.04.2021													
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） 永井 友子 3U 1775 電話番号 03-3581-1101 内線 3363													

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 2003-25272 A (三菱電機株式会社) 29.01.2003 (2003 - 01 - 29)	1-4, 6, 8-10
Y	段落 [0 1 5 7]	5, 7
A	JP 2016-64474 A (ファナック株式会社) 28.04.2016 (2016 - 04 - 28)	1-6, 8-10
Y	段落 [0 0 1 8]	7

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/008814

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2020-32488	A	05.03.2020	US 2020/0070342 A1 段落 [0 0 1 7] - [0 0 2 3]、図 1 DE 102019122864 A1 CN 110874078 A	
JP	2010-228028	A	14.10.2010	(ファミリーなし)	
JP	2017-77608	A	27.04.2017	US 2017/0113349 A1 段落 [0 0 1 7]、[0 0 4 4] DE 102016119600 A1 CN 106607904 A	
JP	2005-342858	A	15.12.2005	(ファミリーなし)	
JP	2016-132080	A	25.07.2016	US 2016/0207197 A1 段落 [0 0 3 7] - [0 0 3 9] DE 102016000352 A1 CN 105798907 A	
JP	2003-25272	A	29.01.2003	(ファミリーなし)	
JP	2016-64474	A	28.04.2016	US 2016/0089790 A1 段落 [0 0 5 2] DE 102015012232 A1 CN 105459120 A	