

(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
2024年10月3日(03.10.2024)



(10) 国際公開番号
WO 2024/201842 A1

(51) 国際特許分類:
B25J 13/08 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/012961

(22) 国際出願日: 2023年3月29日(29.03.2023)

(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: 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: 傅 万峰 (FU, Wanfeng); 〒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).

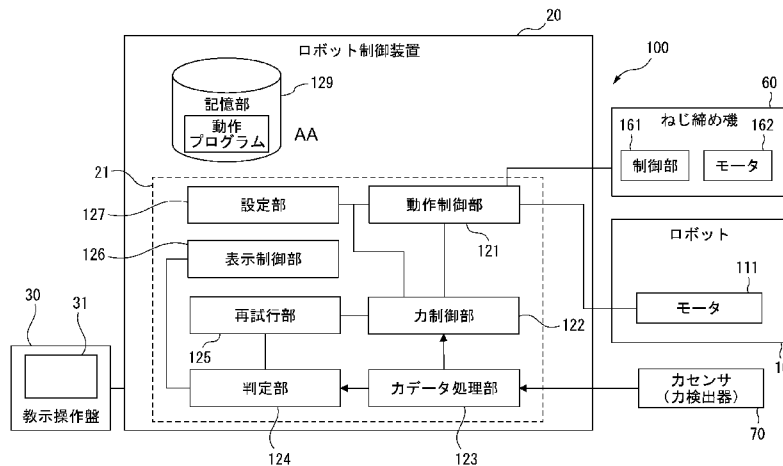
(74) 代理人: 青木 篤, 外 (AOKI, Atsushi et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門一丁目 2 3 番 1 号 虎ノ門ヒルズ森タワー 青和特許法律事務所 Tokyo (JP).

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU,

(54) Title: CONTROL DEVICE AND ROBOT SYSTEM

(54) 発明の名称: 制御装置及びロボットシステム

[図2]



- | | | | |
|----------|-------------------------------|-----|----------------------------|
| 10 | Robot | 123 | Force data processing unit |
| 20 | Robot control device | 124 | Determination unit |
| 30 | Teaching operation panel | 125 | Retry unit |
| 60 | Screw tightener | 126 | Display control unit |
| 70 | Force sensor (force detector) | 127 | Setting unit |
| 111, 162 | Motor | 129 | Storage unit |
| 121 | Operation control unit | 161 | Control unit |
| 122 | Force control unit | AA | Operating program |

(57) Abstract: Provided is a control device for controlling a robot, the control device comprising: a force control unit that causes the robot to perform predetermined work by force control on the basis of a detection value of a force detector that detects the force and a moment acting on the robot and a predetermined plurality of force control parameters; and a determination unit that acquires time series data on the predetermined plurality of force control parameters during execution of the force control and determines whether or not the predetermined work is successful on the basis of the time series data.

[続葉有]

LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, CV, 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, ME, 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：ロボットを制御する制御装置であって、ロボットに作用する力及びモーメントを検出する力検出器の検出値及び所定の複数の力制御パラメータに基づいてロボットに力制御による所定の作業を実行させる力制御部と、力制御の実行中における所定の複数の力制御パラメータの時系列データを取得し、時系列データに基づき所定の作業が成功であるか否かを判定する判定部と、を備える制御装置である。

明 細 書

発明の名称： 制御装置及びロボットシステム

技術分野

[0001] 本開示は、制御装置及びロボットシステムに関する。

背景技術

[0002] 力センサを備えたロボットを用い、力制御によりねじ締めを実行可能に構成されたロボットシステムが知られている。一般に、このようなロボットシステムでは、ナットランナ等のねじ締め機構を搭載したロボットにねじ締め開始位置を教示し、作業対象に対して力制御を伴うねじ締めを実行する。特許文献1及び2には、このようなロボットシステムの構成が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2019-188503号公報

特許文献2：特開2002-331428号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 力制御パラメータに基づき力制御による作業の結果が成功であるか否かを的確に判定し得る技術が望まれている。

課題を解決するための手段

[0005] 本開示の一態様は、ロボットを制御する制御装置であって、前記ロボットに作用する力及びモーメントを検出する力検出器の検出値及び所定の複数の力制御パラメータに基づいて前記ロボットに力制御による所定の作業を実行させる力制御部と、前記力制御の実行中における前記所定の複数の力制御パラメータの時系列データを取得し、前記時系列データに基づき前記所定の作業が成功であるか否かを判定する判定部と、を備える制御装置である。

[0006] 添付図面に示される本発明の典型的な実施形態の詳細な説明から、本発明

のこれらの目的、特徴および利点ならびに他の目的、特徴および利点がさらに明確になるであろう。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]一実施形態に係るロボットシステムの機器構成を示す図である。

[図2]ロボットシステムの機能ブロック図である。

[図3]ねじ締め動作のメインフロー図である。

[図4]ねじ締め動作を説明するための図である。

[図5A]ねじ締めが成功である場合のねじ締め後の状態を模式的に示す図である。

[図5B]ねじ締めが成功である場合の締付トルク、ねじ締め深さ、角度の時間推移の例を示すグラフである。

[図6A]失敗原因が斜め締めである場合のねじ締め状態を模式的に示す図である。

[図6B]失敗原因がねじ浮きである場合のねじ締め状態を模式的に示す図である。

[図6C]失敗原因が下穴不良である場合のねじ締め状態を模式的に示す図である。

[図7]失敗原因が斜め締めである場合に再試行部が実行するリトライ動作を表すフローチャートである。

[図8]失敗原因がねじ浮きである場合に再試行部が実行するリトライ動作を表すフローチャートである。

[図9]失敗原因が下穴不良である場合に再試行部が実行するリトライ動作を表すフローチャートである。

[図10]判定結果が成功である場合に表示制御部が表示部に表示する画像の例を示す図である。

[図11]判定結果が失敗であり失敗原因が斜め締めである場合に、表示制御部が表示部に表示する画像の例を示す図である。

[図12]リトライの実行中に表示制御部が表示部に表示する画像の例を示す図

である。

[図13]表示制御部が表示する、リトライ動作も含めた全体のねじ締め動作の作業結果を表す画像の例を示す図である。

[図14A]ねじ締めの失敗の一例として、ねじ破損を模式的に示す図である。

[図14B]ねじ締めの失敗の一例として、二度ねじの状態を模式的に示す図である。

[図14C]ねじ締めの失敗の一例として、ねじが短すぎる場合を模式的に示す図である。

発明を実施するための形態

[0008] 次に、本開示の実施形態について図面を参照して説明する。参照する図面において、同様の構成部分または機能部分には同様の参照符号が付けられている。理解を容易にするために、これらの図面は縮尺を適宜変更している。また、図面に示される形態は本発明を実施するための一つの例であり、本発明は図示された形態に限定されるものではない。

[0009] 図1は一実施形態に係るロボットシステム100の機器構成を示す図である。図1に示すように、ロボットシステム100は、ロボット10と、ロボット10を制御するロボット制御装置20と、ロボット制御装置20に接続された教示操作盤30とを備える。ロボット10の手首部のフランジ11には、取付板51を介してエンドエフェクタとしてのねじ締め機60が取り付けられている。手首部のフランジ11と取付板51との間には、外力を検出する力センサ（力検出器）70が取り付けられている。上記構成において、ロボットシステム100は、ロボット10によりねじ締め機60を所望の位置・姿勢に設定し、力センサ70により検出された検出値に基づいてロボット10に力制御を実行させながら、ねじ締め機60によるねじ締め作業を実行することができる。

[0010] ロボット10は、例示として、6軸の垂直多関節ロボットであるものとする。なお、ロボット10として、水平多関節ロボット、パラレルリンク型ロボット、双腕ロボット等、作業対象に応じて様々なタイプのロボットが用い

られても良い。図１では、ロボット１０にエンドエフェクタとしてねじ締め機６０が搭載されている構成例を示すが、ロボット１０には、作業用途に応じて様々なタイプのエンドエフェクタを取り付けることができる。

[0011] ロボット制御装置２０は、動作プログラム或いは教示操作盤３０からの指令に従ってロボット１０の動作を制御する。ロボット制御装置２０は、プロセッサ２１（図２参照）、メモリ（ＲＯＭ、ＲＡＭ、不揮発性メモリ等）、記憶装置、操作部、入出力インタフェース、ネットワークインタフェース等を有する一般的なコンピュータとしてのハードウェア構成を有していても良い。

[0012] 教示操作盤３０は、ロボット１０の教示、情報の表示、及び各種設定を行うための操作端末として用いられる。教示操作盤３０として、タブレット端末等により構成された教示装置を用いても良い。教示操作盤３０は、プロセッサ、メモリ（ＲＯＭ、ＲＡＭ、不揮発性メモリ等）、記憶装置、操作部、表示部３１（図２参照）、入出力インタフェース、ネットワークインタフェース等を有する一般的なコンピュータとしてのハードウェア構成を有していても良い。

[0013] ねじ締め機６０は、一例として、アングルタイプのねじ締め機（ナットランナ）であるものとする。ねじ締め機６０は、制御部１６１及びモータ１６２（図２参照）を内部に含むボディ部６１と、ボディ部６１の先端部に連結されたヘッド部６２とを備える。ヘッド部６２は、工具としてのソケット６５を保持する。ソケット６５には、ねじ８１が保持される。ねじ締め機６０は、ロボット制御装置２０に接続され、ロボット制御装置２０からの指令によりソケット６５を回転し、ねじ８１を対象物のねじ穴に締付け固定する。

[0014] ねじ締め機６０は、取付板５１の一方の側に取り付けられ、また、取付板５１の他方の側は力センサ７０を介してフランジ１１に取り付けられている。この構成において、ロボット１０によりねじ締め機６０を所望の位置・姿勢に設定して対象物に対するねじ締め作業を実行することができる。

[0015] 力センサ７０は、例えば、互いに直交するＸ、Ｙ、Ｚ各軸方向に作用する

力、及び各軸周りのモーメントを検出する６軸力センサである。なお、本実施形態では、ロボット１０に作用する外力を力センサ７０により検出する構成としているが、力センサに代えてロボットの各軸に設けたトルクセンサの検出値により外力を検出する構成としても良い。

[0016] 図２は、ロボットシステム１００の機能ブロック図である。図２に示すように、ロボット制御装置２０は、動作制御部１２１と、力制御部１２２と、力データ処理部１２３と、判定部１２４と、再試行部１２５と、表示制御部１２６と、設定部１２７とを備える。これらの機能ブロックは、ロボット制御装置２０のプロセッサ２１がプログラムを実行することで実現される機能要素であっても良い。

[0017] ロボット制御装置２０は、記憶部１２９を備える。記憶部１２９は、例えば、不揮発性メモリ或いはハードディスク装置等からなる記憶装置である。記憶部１２９には、ロボット１０を制御する動作プログラム、力制御パラメータや動作パラメータを含む各種設定情報等が格納される。

[0018] 動作制御部１２１は、動作プログラムにしたがって、或いは教示操作盤３０からの指令に従ってロボット１０の動作を制御する。ロボット制御装置２０は、動作制御部１２１が生成する各軸に対する指令に従って各軸のモータ１１１に対するサーボ制御を実行するサーボ制御部（不図示）を備えている。

[0019] 力データ処理部１２３は、力センサ７０の検出値に基づいて、ロボット１０（ねじ締め機６０）に作用する外力（力及びモーメント）を算出する機能を提供する。力センサ７０の位置および姿勢は、ロボット１０の手首部先端の座標系の位置および姿勢と、手首部先端に対する力センサ７０の相対位置情報により算出することができる。力データ処理部１２３は、力センサ７０の位置、姿勢、及び検出値に基づいて、予め設定された任意の座標系における力やモーメントの大きさ、及び、力やモーメントの方向を算出することができる。

[0020] 力制御部１２２は、力データ処理部１２３が算出した力情報、及び所定の

力制御パラメータに基づいて力制御を実行する機能を司る。

- [0021] 動作制御部 121 は、力制御部 122 による指令の下で、ロボット 10 に力制御による動作を実行させる機能を有する。
- [0022] 判定部 124 は、力制御の実行中における複数の力制御パラメータのそれぞれの時系列データを取得し、それらの時系列データに基づき、ロボット 10 による作業が成功であるか否かを判定する機能を有する。判定部 124 は、更に、取得した力制御パラメータの時系列データに基づき、ねじ締めが失敗している場合の原因を解析して特定する機能を有する。
- [0023] 再試行部 125 は、判定部 124 により特定された失敗原因に応じて、ねじ締め動作のリトライを実行する。
- [0024] 表示制御部 126 は、判定部 124 による判定結果に基づき、ねじ締めの実行結果に関する各種情報（成功／不成功、失敗原因等）を表示する機能を提供する。
- [0025] 設定部 127 は、各種パラメータの入力を受け付ける機能を提供する。設定部 127 は、例えば、教示操作盤 30 の表示部 31 に各種パラメータの入力を受け付けるためのユーザインタフェースを表示し、操作部を介しての操作入力を受け付けるように構成されていても良い。
- [0026] 図 3 を参照しロボット制御装置 20 により実行される力制御によるねじ締め動作のメインフローを説明する。このメインフローは、主として、ロボット制御装置 20 のプロセッサ 21 による制御の下で実行される。はじめに、ねじ締め動作に必要な各種パラメータの入力の受付が行われる（ステップ S1）。ここでは、力制御パラメータ、及びねじ締め機 60 の動作パラメータ（回転速度等）の入力が行われる。次に、ロボット制御装置 20（動作制御部 121）は、ロボット 10 を制御して、ねじ締め機 60 を予め教示されたねじ締め作業開始位置へ位置付け、ねじ締め機 60 を正回転させ、力制御によるねじ締め動作を開始する（ステップ S2）。
- [0027] ねじ締めにおける力制御では押付力、締付トルク、ねじ締め深さ、角度（締結具の駆動軸と締結穴の中心線との間の角度）、締結作業時間等がパラメ

ータとして設定され動作制御が行われる。このような力制御に係わるパラメータを本明細書では力制御パラメータと称する。図4を参照してねじ締め動作を説明する。図4において矢印Aは、押付方向を示し、力制御部122は、この押付方向の押付力が目標力となるように制御を行う。押付力の実測値は、力センサ70の検出値に基づき取得される。

[0028] 図4において角度 θ は、ねじ穴91の中心線C1とソケット65（ねじ81）の駆動軸C2との角度として定義される角度誤差を表す。力制御部122は、力センサ70の検出値に基づいて、この角度誤差が例えばゼロとなるように、すなわち、力センサ70により検出される角度 θ 方向のモーメントが例えばゼロとなるように制御を行う。また、図4には、中心線C1に対するねじ81の先端の中心の位置ずれとして定義される位置誤差dが示されている。力制御部122は、力センサ70の検出値に基づいて、ねじ81の位置誤差dがゼロに近づくようにロボット10の位置を修正することができる。なお、角度の大きさ及び方向の実測値は、ロボット10（ねじ締め機60）の位置及び姿勢に基づき取得することができる。ロボット10に設定した例えばフランジ座標系に対するねじ締め機60の取り付け位置は既知である。したがって、ロボット10の位置姿勢に基づいてねじ締め機60の位置姿勢（すなわち、上記各度の大きさ及び方向）が求められる。

[0029] 締付トルクは、ねじ81を回転させる方向のトルクである。締付トルクは、ねじ締め機60（ソケット65）の回転によりロボット10が受ける力又はモーメントとして力センサ70の検出値により求められ得る。ねじ締め深さは、ロボット10がねじ81をねじ締め開始の教示位置に位置付けてからソケット65を押付方向に移動させた量として検出され得る。ねじ締め動作の開始後、締付トルクが目標トルク値に到達すると締め付け動作が完了したものであるとしてねじ81の回転を停止し締め動作を終了することができる。ねじ締めを開始して、このようにねじ締めが終了するまでの時間を締結作業時間とする。

[0030] 次に、判定部124は、ねじ締めに成功しているか否かの判定を行う（ス

テップS 3)。判定部1 2 4は、力制御パラメータの検出値の時間推移、相互の関連性等に基づき、ねじ締め成功／失敗、及び失敗の原因を判定する。判定部1 2 4による判定の詳細については後述する。ねじ締めに失敗している場合（S 3：YES）、判定部1 2 4は失敗の原因の診断を行い、再試行部1 2 5は失敗原因に応じたリトライ動作を実行する（ステップS 4）。ねじ締めに成功している場合（S 3：NO）、本処理を終了する。

[0031] ステップS 5では、再試行部1 2 5は、必要な全てのリトライ動作を実行しているか否かを判断する。全てのリトライを実施済でない場合（S 5：NO）、ステップS 3から処理が継続される。全てのリトライ動作が実施済であると判定される場合（S 5：YES）、判定部1 2 4は、リトライ動作に関して作業判定を行う（ステップS 6）。作業が成功している場合（S 6：YES）、本処理を終了する。作業が失敗であると判定される場合（S 6：NO）、判定部1 2 4は、未知な原因で失敗していると判定して、失敗箇所を記録する（ステップS 7）。

[0032] 以下、ロボット制御装置2 0においてねじ締めが実行される場合における、判定部1 2 4による動作状態の判定（ステップS 3における判定）、判定結果に基づく再試行部1 2 5によるリトライ動作（ステップS 4、S 5：NOのループによるリトライ動作）、及び表示制御部1 2 6による判定結果に関する情報の表示について説明する。

[0033] 判定部1 2 4は、例示として、以下の5つの判定条件により力制御によるねじ締め動作の状態の判定を行うことができる。

（判定条件1）ねじ締め深さが指定したねじ締めの深さ（目標値）に達しているか

（判定条件2）締結トルクが指定した目標トルクに達しているか

（判定条件3）押付力が指定したねじ締め押付力（目標力）に達しているか

（判定条件4）角度が指定したねじ締めの最大角度の範囲内に収まっているか

（判定条件5）締結作業時間が指定した作業時間内となっているか

[0034] 判定条件 1 は、ねじ締め深さ（締結深さ）が目標値に達成しているか否かに関する条件である。ここでは、一例として、ねじ締め深さが所定の範囲内にある場合に、判定条件 1 が満たされていると判定しても良い。判定条件 2 は、締結トルクが目標トルクに達しているか否かに関する条件である。ここでは、一例として、締結トルクの検出値が所定の範囲内にある場合に、判定条件 2 が満たされていると判定しても良い。

[0035] 判定条件 3 は、押付力が目標力に達しているか否かに関する条件である。ここでは、一例として、押付力の検出値が所定の範囲内にある場合に、判定条件 3 が満たされていると判定しても良い。判定条件 4 は、ねじ締め時の角度（図 4 における角度 θ ）が指定した最大角度の範囲内であるか否かに関する条件である。ねじ締め時の角度が最大角度の範囲内（例えば±所定の角度）にある場合に、判定条件 4 が満たされていると判定しても良い。

[0036] 判定条件 5 は、ねじ締めの開始からねじ締め終了に達するまでの締結作業時間に関する条件である。作業時間に関しては、締結作業時間が目標値以内にある場合に判定条件 5 が満たされていると判定しても良く、或いは、締結作業時間が目標最小時間と目標最大時間との範囲内に入っている場合に判定条件 5 が満たされているとの判定を行うようにしても良い。

[0037] 判定部 124 は、例えば、上記判定条件 1 から 5 の全てが満たされている場合に、ねじ締め作業が成功であると判定する。判定部 124 は、上記判定条件 1 から 5 の 1 つ以上が満たされていない場合に、ねじ締め作業が失敗であると判定しても良い。判定部 124 は、上記判定条件 1 から 5 について、それらに関するパラメータの時間推移も加味して動作結果の判定を行うようにしても良い。或いは、判定部 124 は、判定条件 1 から 5 に関するパラメータの時間推移及びそれら相互の関係に基づいてねじ締めの動作結果を判定しても良い。

[0038] なお、押付力と締付トルクの検出値は類似した時間推移の特性を持つ場合があることから、判定部 124 は、押付力に関する判定条件 3 を除く、判定条件 1 - 2、及び、4 - 5 の 4 つの判定条件に基づいて動作結果の判定を行

っても良い。すなわち、判定部 124 は、判定条件 1-2、及び、4-5 の全てが満たされている場合に、ねじ締め作業が成功であると判定しても良い。また、判定部 124 は、上記判定条件 1-2、及び、4-5 の 1 つ以上が満たされていない場合に、ねじ締め作業が失敗であると判定しても良い。判定部 124 は、上記判定条件 1-2、及び、4-5 について、それらに関するパラメータの時間推移も加味して動作結果の判定を行うようにしても良い。判定部 124 は、判定条件 1-2、及び、4-5 に関するパラメータの時間推移及びそれら相互の関係に基づいてねじ締めの動作結果を判定しても良い。

[0039] 図 5 A は、ねじ締めが成功である場合のねじ締め後の状態を模式的に示す図である。ここでは、ねじ 81 が対象物 191 に正常にねじ締めされている状態が示されている。図 5 B は、ねじ締めが成功である場合の締付トルク、ねじ締め深さ、角度の時間推移の例を示すグラフである。図 5 B では、縦軸に締付トルク、ねじ締め深さ、又は角度を示し、横軸は時間軸を示す。図 5 B の時間軸において T_0 及び T_1 はそれぞれ判定条件 5 として指定される締結作業時間の目標値としての最小作業時間及び最大作業時間である。図 5 B では、締結作業時間の目標値の指定方法として、締結作業時間が最小作業時間 T_0 と最大作業時間 T_1 で指定される時間範囲に入っているときに判定条件 5 を OK とする場合の例を示している。

[0040] 図 5 B においてグラフ 201 は、角度の時間推移を示す。角度は、ねじ締めの開始から終了に至る範囲で、予め設定した最大角度の範囲 ($\pm \theta_1$ 度) 内で推移している。この場合、判定部 124 は、角度に関する判定条件 4 は OK と判定する。

[0041] 図 5 B においてグラフ 202 は、締付トルク、ねじ締め深さそれぞれの時間推移を示す。締付トルク及びねじ締め深さは、通常であれば、ねじ締め開始から次第に増加する変化を示すため、ここでは締付トルク及びねじ締め深さの各々の時間推移をグラフ 202 で代表して示している。締付トルクは、通常、グラフ 202 のように、ねじ締め開始から次第に増加し、目標作業時

間内に、或いは、目標作業時間の範囲（ T_0 から T_1 ）内で目標力に到達する。判定部124は、一例として、締付トルクが目標トルク（範囲 TR_1 から TR_2 ）に到達する場合、判定条件2がOKであると判定しても良い。或いは、判定部124は、締付トルクが目標作業時間内に目標トルクに到達する場合に、判定条件2がOKであると判定するようにしても良い。

[0042] ねじ締め深さは、通常、グラフ202のように、ねじ締め開始から次第に増加し、目標作業時間内で、或いは、目標作業時間の範囲（ T_0 から T_1 ）内で目標値に到達する。判定部124は、一例として、ねじ締め深さが目標値（範囲 D_1 から D_2 ）に到達する場合、判定条件1はOKであると判定しても良い。或いは、判定部124は、ねじ締め深さが目標作業時間内に目標値に到達する場合に、判定条件1はOKであると判定しても良い。

[0043] グラフ202では、目標作業時間の範囲（ T_0 から T_1 ）で締付トルクが目標力に到達しねじ締めが終了している。この場合、判定部124は、判定条件5がOKであると判定しても良い。

[0044] なお、押付力についても、締結トルクの場合と同様に、ねじ締め開始と共に次第に増加し、目標作業時間内に、或いは、目標作業時間の範囲（ T_0 から T_1 ）内で目標力に到達すると考えることができる。したがって、判定部124は、押付力についても締付トルクの場合と同様に、押付力が目標力に到達する場合に判定条件2がOKであると判定するようにしても良い。或いは、判定部124は、押付力が目標作業時間内に目標力に到達する場合に、判定条件2がOKであると判定するようにしても良い。

[0045] 判定部124は、

- ・ねじ締め深さが目標値（範囲 D_1 から D_2 ）に到達していない（判定条件1がNGである）、
- ・締付トルクが目標力（範囲 TR_1 から TR_2 ）に到達していない（判定条件2がNGである）、
- ・押付力が目標力（目標範囲）に到達していない（判定条件3がNGである）

- ・ねじ締め角度が所定の範囲（ $\pm \theta_1$ 度）に入っていない（判定条件4がNGである）、
 - ・ねじ締めが指定した作業目標時間（ T_0 から T_1 ）内で終了していない（判定条件5がNGである）、
- のいずれかの条件が満たされる場合に、ねじ締めが失敗であると判定しても良い。

[0046] 判定部124は、判定条件1から5に関するパラメータの時間推移を加味した上でのこれら判定条件の判定結果及びそれらの関連性に基づいて、ねじ締めが失敗である場合の原因を特定することができる。或いは、判定部124は、判定条件1-2、及び4-5に関するパラメータの時間推移を加味した上でのこれら判定条件の判定結果及びそれらの関連性に基づいて、ねじ締めが失敗である場合の原因を特定しても良い。

[0047] 或いは、判定部124は、少なくとも判定条件1、判定条件2及び判定条件4に基づいて、ねじ締めが失敗である場合の失敗原因を特定しても良い。図6Aから図6Cを参照し、判定部124が、判定条件1、判定条件2及び判定条件4に基づいて失敗の原因を特定する例を記載する。

[0048] 図6Aは、失敗原因が斜め締めである場合のねじ締め状態を模式的に示している。図6Aに示すように、斜め締めの状態では、ねじ81は、対象物191のねじ穴に対して傾斜した状態で嵌め込まれて固定された状態となる。したがって、この場合、締結トルクはねじ締めの早期の段階で目標トルクに到達し、ねじ締めは早期の段階で終了することとなる。ここで早期の段階とは、指定された目標作業時間の範囲に到達する前の段階であることを表すものとする。角度は最大角度を超えて大きくなる。また、ねじ締め深さは目標値に到達しない。したがって、判定部124は、（判定条件1）、（判定条件2）及び（判定条件4）についての以下の判定結果(a1)から(a3)のように判定し、判定結果(a1)から(a3)が成立する場合に、ねじ締めの失敗の原因が斜め締めであると判定することができる。

(a1)締付け深さは目標値に到達しないため、判定条件1はNGである。

(a2)締付トルクは目標トルクに到達するため、判定条件 2 は OK である。

(a3)角度は最大角度範囲を超えて大きくなるため、判定条件 4 は NG である。

[0049] 図 6 B は、失敗原因がねじ浮き（締結具浮き）である場合のねじ締め状態を模式的に示している。ねじ浮きは、例えば、ねじ 8 1 の首下の長さが規定値よりも長くなっているような場合（ねじ不良の場合）に生じ得る。この場合、ロボット 1 0（ねじ締め機 6 0）をねじ締め開始の教示位置に位置付けた際のねじの先端からねじ穴までの距離が、ねじの長さが正常である場合よりも短くなり、ねじ締め開始位置からのロボット 1 0（ねじ締め機 6 0）の移動量として測定した場合のねじ締め深さが目標値より小さくなる状況が生じ得る。したがって、判定部 1 2 4 は、（判定条件 1）、（判定条件 2）及び（判定条件 4）についての以下の判定結果(b1)から(b3)のように判定し、判定結果(b1)から(b3)が成立する場合に、ねじ締めの失敗の原因がねじ浮きであると判定することができる。

(b1)締付け深さは目標値に到達しないため、判定条件 1 は NG である。

(b2)締付トルクは目標トルクに到達するため、判定条件 2 は OK である。

(b3)角度は最大角度範囲の範囲であるため、判定条件 4 は OK である。

[0050] 図 6 C は、失敗原因が下穴不良である場合のねじ締め状態を模式的に示している。図 6 C に示されるように、下穴不良は、対象物 1 9 1 のねじ穴 1 9 1 a の上部が大きく広がったように変形した状況である。したがって、判定部 1 2 4 は、（判定条件 1）、（判定条件 2）及び（判定条件 4）についての以下の判定結果(c1)から(c3)のように判定し、判定結果(c1)から(c3)が成立する場合に、ねじ締めの失敗の原因がねじ浮きであると判定することができる。

(c1)締付け深さは次第に増加し目標値に到達するので、判定条件 1 は OK である。

(c2)締付トルクはねじ締めがある程度進行するまでは実質的にゼロで、その後目標トルクまで上昇する変化を示す。よって、この場合、判定条件 2 は N

Gであると判定する。

(c3)角度は最大角度範囲の範囲であるため、判定条件4はOKである。

[0051] 判定部124による以上の締付け深さ（判定条件1）、締付トルク（判定条件2）、角度（判定条件4）についての上記OK／NGの判定結果と、それにより判定部124が特定する失敗原因との対応を以下の表1に改めて記載する。

[0052] [表1]

締付け深さ （判定条件1）	締付トルク （判定条件2）	角度 （判定条件4）	失敗原因
NG	OK	NG	斜め締め
NG	OK	OK	ねじ浮き
OK	NG	OK	下穴不良

[0053] このように、判定部124は、締付け深さ（判定条件1）、締付トルク（判定条件2）、角度（判定条件4）についてのOK／NGの判定において、これら判定条件に係わる力制御パラメータの時間推移も考慮して、失敗の原因の特定を行っている。

[0054] 再試行部125は、以上のような判定部124による失敗原因の診断結果に応じて好適なリトライ動作を実行する。

[0055] 図7は、失敗原因が斜め締めである場合に再試行部125が実行するリトライ動作を表すフローチャートである。このリトライ動作（及び以下で説明する各リトライ動作）は、ロボット制御装置20のプロセッサ21による制御の下で実行される。なお、図7（及び図8－図9）に表されるリトライ動作は、メインフロー（図3）のステップS3（S3：YES）、S4、及びS5からなる処理ループによるリトライ処理に相当する。

[0056] リトライ動作では、判定部124により判定された失敗原因を確認する（ステップS11）。そして、失敗原因が斜め締めであると判定される場合（S11：YES）、ステップS12からの動作が行われる。ステップS12

では、再試行部 1 2 5 は、ねじを逆回転させ、ねじをねじ締めを開始位置へ戻させる。次に、再試行部 1 2 5 は、ねじ締め中に過大であることが検出された角度（傾斜方向）の逆方向に向けてねじの位置及び姿勢を修正し、ねじ締めを再度実行する（ステップ S 1 3）。ここでは、検出された角度が最大となる或いは検出された角度が比較的大きい傾斜方向と逆方向にねじの位置及び姿勢を修正するようにする。

[0057] そして、再試行部 1 2 5 は、ねじ締めに成功したか否かを判定する（ステップ S 1 4）。ねじ締めに失敗している場合（S 1 4 : NO）、ステップ S 1 1 からの処理を再度実行する。斜め締めが起きている状況では、再試行部 1 2 5 は、ねじの位置姿勢を、検出された角度（傾斜方向）と逆方向へ徐々に調整してねじ締めを実行する（ステップ S 1 1 から S 1 4 : NO によるループ）。ねじ締めに成功している場合には（S 1 4 : YES）、本処理を終了する。なお、失敗原因が、斜め締め以外の場合には（S 1 1 : NO）、他の対策によるねじ締めのリトライが行われる（ステップ S 1 5）。以上の処理により、斜め締めに解消し適切なねじ締めを行うことができる。

[0058] 図 8 は、失敗原因がねじ浮きである場合に再試行部 1 2 5 が実行するリトライ動作を表すフローチャートである。リトライ動作では、判定部 1 2 4 により判定された失敗原因を確認する（ステップ S 2 1）。そして、失敗原因がねじ浮きであると判定される場合（S 2 1 : YES）、ステップ S 2 2 からの動作が行われる。ステップ S 2 2 では、再試行部 1 2 5 は、ねじを逆回転させ、ねじをねじ締めを開始位置へ戻させる。ねじ浮きとなるのは、ねじが不合格品である場合である。したがって、再試行部 1 2 5 は、自動的な動作でねじを他のねじに交換し、ねじ締めを再度実行する（ステップ S 2 3）。

[0059] そして、再試行部 1 2 5 は、ねじ締めに成功したか否かを判定する（ステップ S 2 4）。ねじ締めに失敗している場合（S 2 4 : NO）、ステップ S 2 1 からの処理が再度実行される。ねじ締めに成功している場合には（S 2 4 : YES）、本処理を終了する。なお、失敗原因が、ねじ浮き以外の場合

には（Ｓ２１：ＮＯ）、他の対策によるねじ締めのリトライが行われる（ステップＳ２５）。以上の処理により、ねじ浮きの状態が解消され適切なねじ締めを行うことができる。

[0060] 図９は、失敗原因が下穴不良である場合に再試行部１２５が実行するリトライ動作を表すフローチャートである。リトライ動作では、判定部１２４により判定された失敗原因を確認する（ステップＳ３１）。そして、失敗原因が下穴不良であると判定される場合（Ｓ３１：ＹＥＳ）、ステップＳ３２からの動作が行われる。ステップＳ３２では、再試行部１２５は、ねじを逆回転させ、ねじをねじ締めの開始位置へ戻させる。そして、再試行部１２５は、下穴不良を示すアラームを出し、作業対象物を可視化した可視化画像に下穴不良の箇所をマークし、次の作業箇所へ移動する（ステップＳ３３）。

[0061] そして、再試行部１２５は、ねじ締めに成功したか否かを判定する（ステップＳ３４）。ねじ締めに失敗している場合（Ｓ３４：ＮＯ）、ステップＳ３１からの処理が再度実行される。ねじ締めに成功している場合には（Ｓ３４：ＹＥＳ）、本処理を終了する。なお、失敗原因が、下穴不良以外の場合には、他の対策によるねじ締めのリトライが行われる（ステップＳ３５）。以上の処理により、下穴不良の場合には、アラームの出力、失敗原因に関する情報の記録、表示等が行われる。

[0062] このように再試行部１２５は、判定部１２４が診断した失敗原因に応じて適切なリトライ動作を行うことができる。

[0063] 以下、表示制御部１２６により、判定部１２４による判定結果に関する情報の表示機能について説明する。表示制御部１２６は、判定部１２４による判定結果に関する情報を教示操作盤３０の表示部３１に表示する。

[0064] 図１０は、判定結果が成功である場合に表示制御部１２６が表示部３１に表示する画像Ｍ１の例を示す。画像Ｍ１は、例えば、メインフローにおけるステップＳ３での判定が行われた際にリアルタイムで表示されても良い。図１０に示されるように、画像Ｍ１は、判定結果が成功であることを示すメッセージを含むメッセージ画像２１１と、作業対象物を可視化した可視化画像２

1 2 とを含む。可視化画像 2 1 2 には、対象物上の作業箇所を示す枠線 2 1 3 と、作業番号を示す文字情報 2 1 4 とが重ね合わされている。この画像 M 1 を見ることで、ユーザは、作業結果（OK / NG）と、作業対象物上の作業箇所、作業番号を瞬時に把握することができる。なお、作業結果が OK である場合の文字“OK”や、枠線、及び作業番号の文字情報は、OK であることが瞬時に把握できるように例えば緑色や青色で表示されても良い。

[0065] 図 1 1 は、判定結果が失敗であり失敗原因が斜め締めである場合に表示制御部 1 2 6 が表示部 3 1 に表示する画像 M 2 の例を示す。画像 M 2 は、例えば、メインフローにおけるステップ S 3 での判定が行われた際にリアルタイムで表示されても良い。図 1 1 に示すように、画像 M 2 は、判定結果が失敗であることを示すメッセージ画像 2 2 1 と、失敗原因を表すメッセージ画像 2 2 2 とを含む。画像 M 2 は、更に、作業対象物を可視化した可視化画像 2 2 3 を含む。可視化画像 2 2 3 には、作業対象物上の斜め締めとなった箇所を示す枠線 2 2 4 と、作業番号を示す文字情報 2 2 5 とが重ね合わされている。この画像 M 2 を見ることで、ユーザは、作業が失敗であり、その原因斜め締めであること、作業対象物上の作業箇所、作業番号を瞬時に把握することができる。なお、作業結果が NG である場合の文字“NG”、“斜め締め”や、枠線、及び作業番号の文字情報は、NG であることが瞬時に把握できるように例えば赤色で表示されても良い。

[0066] 図 1 2 は、リトライの実行中に表示制御部 1 2 6 が表示部 3 1 に表示する画像 M 3 の例を示す。画像 M 4 は、メインフローのステップ S 4 におけるリトライ動作が実行されている間にリアルタイムで表示されても良い。図 1 2 に示すように、画像 M 3 は、リトライ中であることを示すメッセージ画像 2 3 1 と、リトライの要因（失敗原因）が斜め締めであることを示すメッセージ画像 2 3 2 とを含む。画像 M 3 は、更に、作業対象物を可視化した可視化画像 2 3 3 を含む、可視化画像 2 3 3 には、リトライの作業箇所を示す枠線 2 3 4 と、作業番号を表す文字情報 2 3 5 とを含む。この画像 M 3 を見ることで、ユーザは、リトライ動作が行われていること、リトライにより解消し

ようとしている失敗原因、リトライの対象箇所及び作業番号を瞬時に把握することができる。枠線234及び作業番号を表す文字情報235は、リトライによる回復を実行中であることを示すために例えば赤色で表示されても良い。

[0067] 図13は、表示制御部126が表示する、リトライ動作も含めた全体のねじ締め動作の作業結果を表す画像M4の例である。画像M4は、例えばメインフローにおけるステップS6の処理が行われる際にリアルタイムで表示されても良い。図13に示すように、画像M4は、この画像M4がリトライも含めた作業全体の結果であることを示すメッセージ画241と、作業対象物を可視化した可視化画像図242とを含む。可視化画像242には、作業箇所を示す枠線243、245、247と、それらの作業番号を示す文字情報244、246、248とが重ね合わされている。画像M4では、各作業箇所についてそれが成功しているか失敗しているかを色により判別できるように表示しても良い。例えば、作業番号N○1及びN○2が成功しており、作業番号N○3が失敗している場合には、表示制御部126は、枠線243、文字情報244、枠線245、及び文字情報246については青（又は緑）で表示し、枠線247及び文字情報248については赤色で表示しても良い。この場合、ユーザは、作業対象物上での作業箇所及びその作業結果を瞬時に把握することができる。

[0068] 上述の実施形態では、判定部124が特定する失敗原因の例として斜め締め、ねじ浮き、下穴不良をとりあげて説明した。判定部124は、これらの失敗原因以外にも、様々な失敗原因を特定することができる。

[0069] 例えば、図14Aは、ねじ締めの失敗の一例として、対象物191に対するねじ81のねじ締め中にねじ81が破損するねじ破損（締結具破損）を模式的に示す。判定部124は、（判定条件1）、（判定条件2）及び（判定条件4）に関する判定結果、及びこれらの判定条件に係わる力制御パラメータの時間推移に基づいて以下の様に失敗原因を特定することができる。具体的には、判定部124は、（判定条件1）、（判定条件2）及び（判定条件

4) についての以下の判定結果(d1)から(d3)のように判定し、判定結果(d1)から(d3)が成立する場合に、ねじ締め失敗の原因がねじ破損であると特定することができる。

(d1)締付け深さは次第に増加し目標値に到達するので、判定条件1はOKである。

(d2)締付トルクはねじ締めの開始と共に上昇するが、目標力に到達せず途中で低下する変化を示すため、判定条件2はNGである。

(d3)角度は最大角度範囲の範囲であるため、判定条件4はOKである。

[0070] 図14Bは、ねじ締め失敗の一例として、同一作業箇所にて二度、ねじを締め付ける動作となる二度ねじの状態を模式的に示す。判定部124は、(判定条件1)、(判定条件2)及び(判定条件4)に関する判定結果、及びこれらの判定条件に係わる力制御パラメータの時間推移に基づいて以下の様に失敗原因を特定することができる。具体的には、判定部124は、(判定条件1)、(判定条件2)及び(判定条件4)についての以下の判定結果(e1)から(e3)のように判定し、判定結果(e1)から(e3)が成立する場合に、ねじ締め失敗の原因が二度ねじであると特定することができる。

(e1)締付け深さは増加を示さず目標値に到達しないため、判定条件1はNGである。

(e2)締付トルクは正常な増加を示さず低い値に留まるため、判定条件2はNGである。

(e3)角度は最大角度範囲の範囲であるため、判定条件4はOKである。

[0071] 図14Cは、ねじ締め失敗の一例として、締結具の長さが規定値より短い場合(ここでは具体例としてねじが短すぎる場合を想定する)を模式的に示す。判定部124は、(判定条件1)、(判定条件2)、(判定条件3)及び(判定条件4)に関する判定結果、及びこれらの判定条件に係わる力制御パラメータの時間推移に基づいて以下の様に失敗原因を特定することができる。具体的には、判定部124は、(判定条件1)、(判定条件2)、(判定条件3)及び(判定条件4)についての以下の判定結果(f1)から(f4)の

ように判定し、判定結果(f1)から(f4)が成立する場合に、ねじ締め失敗の原因が二度ねじであると特定することができる。なお、ねじが短すぎる場合の状況は、上述のねじ浮きと類似するため、判定結果(f4)を加え、締結作業時間が特定の値よりも短い場合にねじが短か過ぎると判定するようにしている。

(f1)締付け深さは目標値に到達しないため、判定条件1はNGである。

(f2)締付トルクは目標値に到達するため、判定条件2はOKである。

(f3)角度は最大角度範囲の範囲であるため、判定条件4はOKである。

(f4)締結作業時間が特定の値よりも短く目標範囲内に到達していないので、判定条件5はNGである。

[0072] なお、失敗原因が「ねじが短すぎる」である場合には、リトライ動作として、失敗原因がねじ浮きである場合のリトライ動作（図8）と同じ動作を適用することができる。

[0073] 以上説明したように、本実施形態によれば、力制御パラメータに基づき力制御による作業の結果が成功であるか否かを的確に判定することが可能となる。

[0074] また、本実施形態によれば、作業者は、作業結果を作業の実行中にリアルタイムに把握することができる。

[0075] また、本実施形態によれば、力制御の動作中の複数の力制御パラメータの時間推移、及びそれらの相互の関連性に基づき力制御による作業の失敗の原因を的確に特定することができる。また、この失敗原因についても作業の実行中に作業者にリアルタイムに提供することができる。

[0076] 上述の実施形態では、力制御による作業の例示としてねじ締め（締結作業）を挙げて説明したが、本実施形態を適用可能な作業には様々な力制御による作業が含まれ得る。例えば、嵌合作業に上述の実施形態の構成を適用し得る。嵌合作業では、例えば、円柱状の嵌合ワークを被嵌合ワークに形成された穴に嵌合させる。この場合、力制御パラメータとして、押付力、嵌合深さ、嵌合ワークの姿勢（嵌合ワークの中心軸線の嵌合穴の中心線に対する角度

）等が用いられ得る。これらのパラメータの目標値に対する実測値、その時間推移、それらの間の関連性等に基づいて、嵌合作業の成功／失敗、失敗の原因等を特定し得る。

[0077] 図2に示した機能ブロック図における機能ブロックは、ロボット制御装置のプロセッサが、記憶装置に格納された各種ソフトウェアを実行することで実現されても良く、或いは、ASIC (Application Specific Integrated Circuit) 等のハードウェアを主体とした構成により実現されても良い。

[0078] 上述した実施形態におけるねじ締め作業やリトライ動作等の各種の処理を実行するプログラムは、コンピュータに読み取り可能な各種記録媒体（例えば、ROM、EEPROM、フラッシュメモリ等の半導体メモリ、磁気記録媒体、CD-ROM、DVD-ROM等の光ディスク）に記録することができる。

[0079] 本開示について詳述したが、本開示は上述した個々の実施形態に限定されるものではない。これらの実施形態は、本開示の要旨を逸脱しない範囲で、または、特許請求の範囲に記載された内容とその均等物から導き出される本開示の趣旨を逸脱しない範囲で、種々の追加、置き換え、変更、部分的削除等が可能である。また、これらの実施形態は、組み合わせて実施することもできる。例えば、上述した実施形態において、各動作の順序や各処理の順序は、一例として示したものであり、これらに限定されるものではない。また、上述した実施形態の説明に数値又は数式が用いられている場合も同様である。

[0080] 上記実施形態および変形例に関し更に以下の付記を記載する。

(付記1)

ロボット(10)を制御する制御装置(20)であって、前記ロボット(10)に作用する力及びモーメントを検出する力検出器(70)の検出値及び所定の複数の力制御パラメータに基づいて前記ロボット(10)に力制御による所定の作業を実行させる力制御部(122)と、前記力制御の実行中における前記所定の複数の力制御パラメータの時系列データを取得し、前記

時系列データに基づき前記所定の作業が成功であるか否かを判定する判定部（１２４）と、を備える制御装置（２０）。

（付記２）

前記判定部（１２４）は、前記時系列データの関連性に基づき、前記所定の作業が成功であるか否かを判定する、付記１に記載の制御装置（２０）。

（付記３）

前記判定部（１２４）は、前記時系列データの関連性に基づき、前記所定の作業が失敗である場合の原因を特定する、付記１又は２に記載の制御装置（２０）。

（付記４）

前記所定の作業は、締結作業であり、前記所定の複数の力制御パラメータは、締結深さ、締付トルク、締結具の駆動軸と締結穴の中心線との間の角度、及び締結作業時間を含む、付記１から３のいずれか一項に記載の制御装置（２０）。

（付記５）

前記判定部（１２４）は、以下の判定条件（１）から（４）：

- （１）前記締結深さが、指定した深さに達していること、
- （２）前記締付トルクが、指定した目標トルクに達していること、
- （３）前記角度が、指定した最大角度の範囲内に収まっていること、及び、
- （４）前記締結作業時間が、指定した作業時間内となっていること

が満たされている場合に、前記締結作業が成功であると判定する、付記４に記載の制御装置（２０）。

（付記６）

前記判定部（１２４）は、前記判定条件（１）から（４）の少なくとも一つが満たされていない場合に前記締結作業に失敗したと判定する、付記５に記載の制御装置（２０）。

（付記７）

前記判定部（１２４）は、少なくとも前記判定条件（１）から（３）、及

び当該判定条件（１）から（３）に係わる力制御パラメータの時系列データに基づいて前記所定の作業が失敗である場合の失敗原因を特定する、付記５又は６に記載の制御装置（２０）。

（付記８）

前記判定部（１２４）が少なくとも前記判定条件（１）から（３）、及び当該判定条件（１）から（３）に係わる力制御パラメータの時系列データに基づいて特定する前記失敗原因は、斜め締め、締結具浮き、下穴不良、締結具破損、二度ねじ、の少なくとも一つを含む、付記７に記載の制御装置（２０）。

（付記９）

前記失敗の原因に応じて、前記力制御による動作をリトライする再試行部（１２５）を更に備える、付記８に記載の制御装置（２０）。

（付記１０）

前記リトライは、前記失敗の原因が前記斜め締めである場合に、前記締結具を逆回転し、締結開始位置へ戻した上で、検出された前記締結具の傾斜方向の逆方向へ前記締結具の姿勢を調整し前記締結作業を再度実行すること、を含む、付記９に記載の制御装置（２０）。

（付記１１）

前記リトライは、前記失敗の原因が前記締結具浮きである場合に、前記締結具を逆回転し、締結開始位置へ戻した上で、前記締結具を他の締結具に交換し前記締結作業を再度実行すること、を含む、付記９に記載の制御装置（２０）。

（付記１２）

前記リトライは、前記失敗の原因が前記下穴不良である場合に、前記締結具を逆回転し、締結開始位置へ戻した上で、下穴不良であることの表示又は記録を行い、次の作業箇所へ移動すること、を含む、付記９に記載の制御装置（２０）。

（付記１３）

前記判定部（１２４）による判定結果に関する情報を表示画面に表示する表示制御部（１２６）を更に備える、付記１から１２のいずれか一項に記載の制御装置。

（付記１４）

前記表示画面に表示される前記判定結果に関する情報は、前記所定の作業の成功又は失敗を示す画像、失敗原因を示す画像、又は、作業対象物の画像上に作業箇所、作業番号及び作業の成功又は失敗を示す画像を重畳した画像、の少なくともいずれかを含む、付記１３に記載の制御装置（２０）。

（付記１５）

ロボット（１０）と、前記ロボットに作用する力及びモーメントを検出する力検出器（７０）と、前記力検出器（７０）の検出値及び所定の複数の力制御パラメータに基づいて前記ロボット（１０）に力制御による所定の作業を実行させる力制御部（１２２）と、前記力制御の実行中における前記所定の複数の力制御パラメータの時系列データを取得し、前記時系列データに基づき前記所定の作業が成功であるか否かを判定する判定部（１２４）と、を備えるロボットシステム（１００）。

符号の説明

[0081]	１０	ロボット
	１１	フランジ
	２０	ロボット制御装置
	２１	プロセッサ
	３０	教示操作盤
	３１	表示部
	６０	ねじ締め機
	６１	ボディ部
	６２	ヘッド部
	６５	ソケット
	７０	力センサ

8 1	ねじ	
1 0 0	ロボットシステム	
1 1 1	モータ	
1 2 1	動作制御部	
1 2 2	力制御部	
1 2 3	力データ処理部	
1 2 4	判定部	
1 2 5	再試行部	
1 2 6	表示制御部	
1 2 7	設定部	
1 2 9	記憶部	
1 6 1	制御部	
1 6 2	モータ	
2 1 2、2 2 3、2 3 3、2 4 2	可視化画像	

請求の範囲

- [請求項1] ロボットを制御する制御装置であって、
- 前記ロボットに作用する力及びモーメントを検出する力検出器の検出値及び所定の複数の力制御パラメータに基づいて前記ロボットに力制御による所定の作業を実行させる力制御部と、
- 前記力制御の実行中における前記所定の複数の力制御パラメータの時系列データを取得し、前記時系列データに基づき前記所定の作業が成功であるか否かを判定する判定部と、
- を備える制御装置。
- [請求項2] 前記判定部は、前記時系列データの関連性に基づき、前記所定の作業が成功であるか否かを判定する、請求項1に記載の制御装置。
- [請求項3] 前記判定部は、前記時系列データの関連性に基づき、前記所定の作業が失敗である場合の原因を特定する、請求項1又は2に記載の制御装置。
- [請求項4] 前記所定の作業は、締結作業であり、
- 前記所定の複数の力制御パラメータは、締結深さ、締付トルク、締結具の駆動軸と締結穴の中心線との間の角度、及び締結作業時間を含む、請求項1から3のいずれか一項に記載の制御装置。
- [請求項5] 前記判定部は、以下の判定条件（1）から（4）：
- （1）前記締結深さが、指定した深さに達していること、
- （2）前記締付トルクが、指定した目標トルクに達していること、
- （3）前記角度が、指定した最大角度の範囲内に収まっていること、及び、
- （4）前記締結作業時間が、指定した作業時間内となっていることが満たされている場合に、前記締結作業が成功であると判定する、請求項4に記載の制御装置。
- [請求項6] 前記判定部は、前記判定条件（1）から（4）の少なくとも一つが満たされていない場合に前記締結作業に失敗したと判定する、請求項

5 に記載の制御装置。

[請求項7] 前記判定部は、少なくとも前記判定条件（１）から（３）、及び当該判定条件（１）から（３）に係わる力制御パラメータの時系列データに基づいて前記所定の作業が失敗である場合の失敗原因を特定する、請求項 5 又は 6 に記載の制御装置。

[請求項8] 前記判定部が少なくとも前記判定条件（１）から（３）、及び当該判定条件（１）から（３）に係わる力制御パラメータの時系列データに基づいて特定する前記失敗原因は、斜め締め、締結具浮き、下穴不良、締結具破損、二度ねじ、の少なくとも一つを含む、請求項 7 に記載の制御装置。

[請求項9] 前記失敗の原因に応じて、前記力制御による動作をリトライする再試行部を更に備える、請求項 8 に記載の制御装置。

[請求項10] 前記リトライは、前記失敗の原因が前記斜め締めである場合に、
前記締結具を逆回転し、締結開始位置へ戻した上で、
検出された前記締結具の傾斜方向の逆方向へ前記締結具の姿勢を調整し前記締結作業を再度実行すること、を含む、請求項 9 に記載の制御装置。

[請求項11] 前記リトライは、前記失敗の原因が前記締結具浮きである場合に、
前記締結具を逆回転し、締結開始位置へ戻した上で、
前記締結具を他の締結具に交換し前記締結作業を再度実行すること、を含む、請求項 9 に記載の制御装置。

[請求項12] 前記リトライは、前記失敗の原因が前記下穴不良である場合に、
前記締結具を逆回転し、締結開始位置へ戻した上で、
下穴不良であることの表示又は記録を行い、次の作業箇所へ移動すること、を含む、請求項 9 に記載の制御装置。

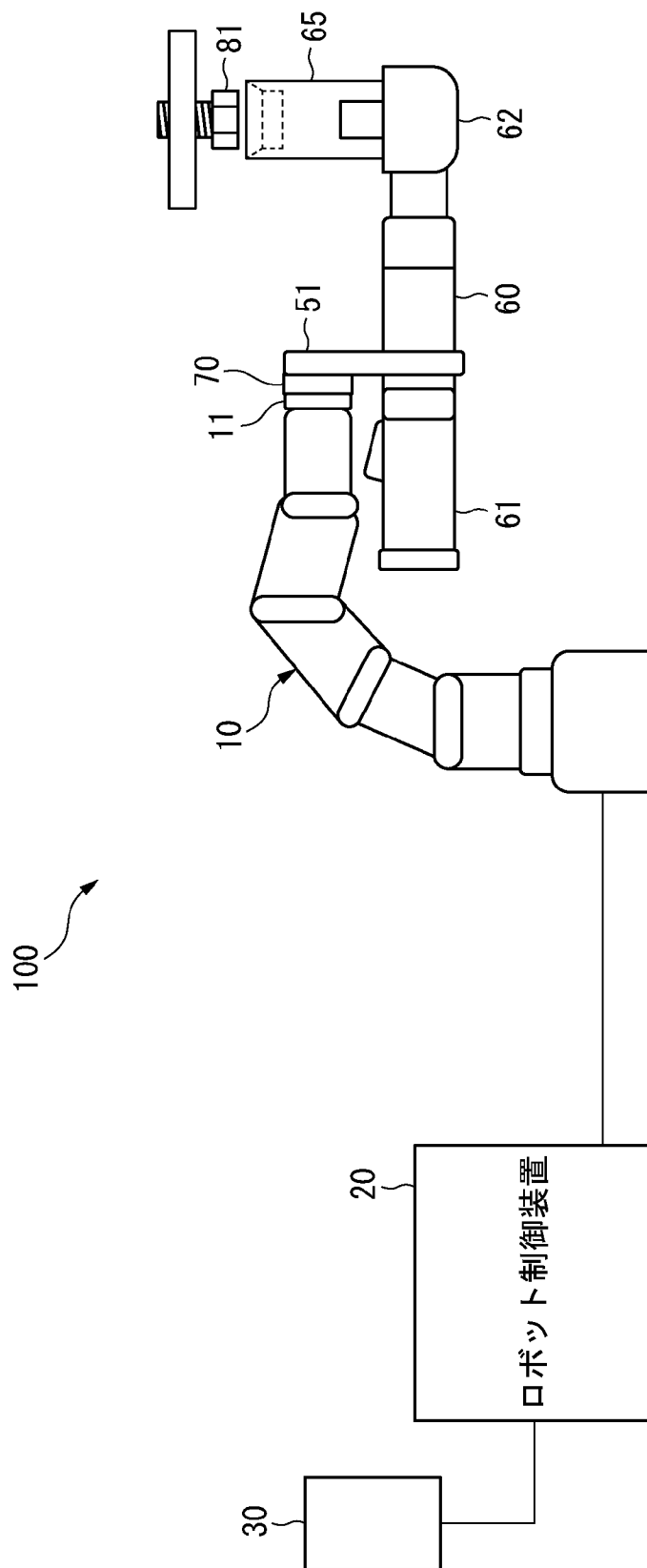
[請求項13] 前記判定部による判定結果に関する情報を表示画面に表示する表示制御部を更に備える、請求項 1 から 12 のいずれか一項に記載の制御装置。

[請求項14] 前記表示画面に表示される前記判定結果に関する情報は、前記所定の作業の成功又は失敗を示す画像、失敗原因を示す画像、又は、作業対象物の画像上に作業箇所、作業番号及び作業の成功又は失敗を示す画像を重畳した画像、の少なくともいずれかを含む、請求項13に記載の制御装置。

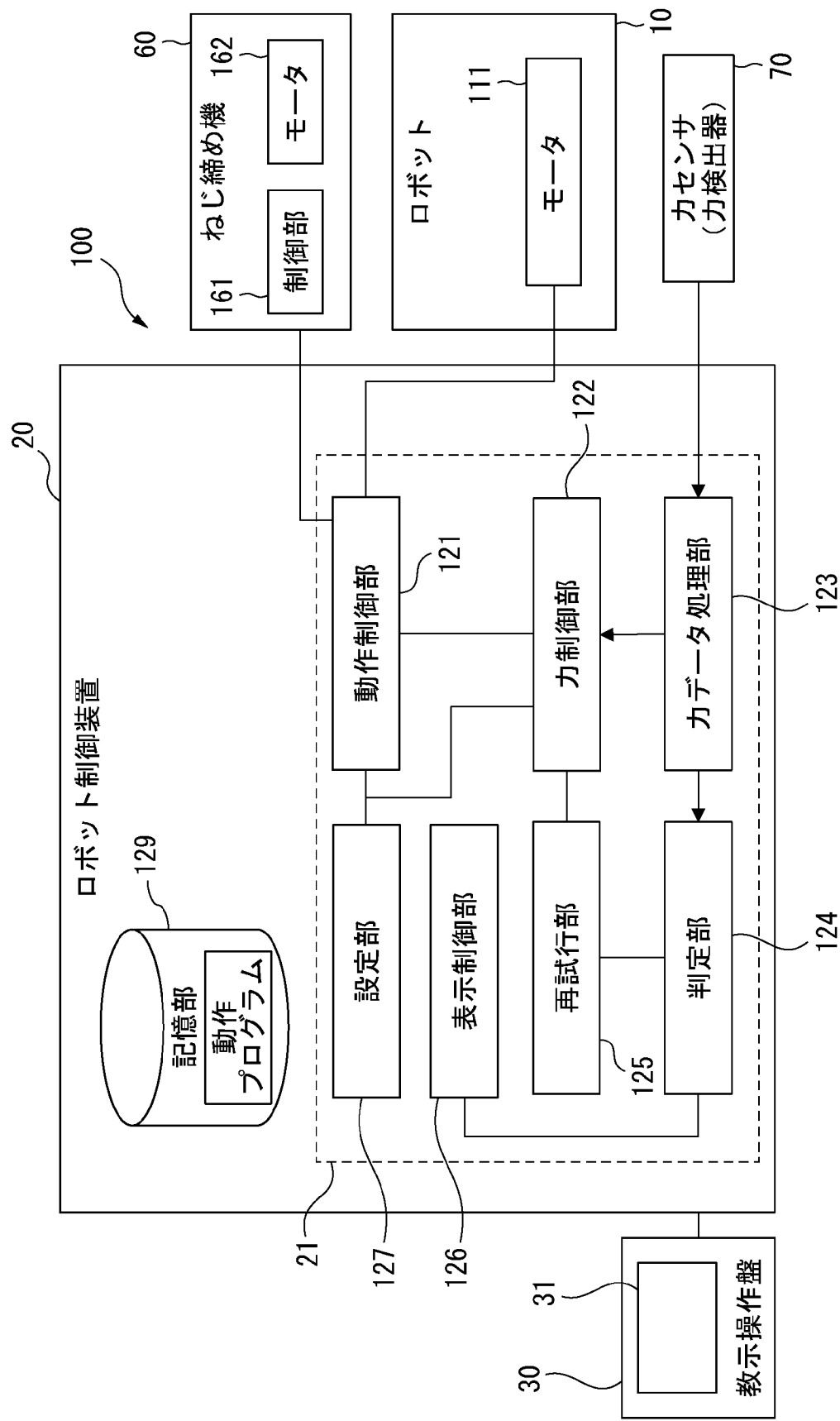
[請求項15] ロボットと、
前記ロボットに作用する力及びモーメントを検出する力検出器と、
前記力検出器の検出値及び所定の複数の力制御パラメータに基づいて前記ロボットに力制御による所定の作業を実行させる力制御部と、
前記力制御の実行中における前記所定の複数の力制御パラメータの時系列データを取得し、前記時系列データに基づき前記所定の作業が成功であるか否かを判定する判定部と、
を備えるロボットシステム。

[図1]

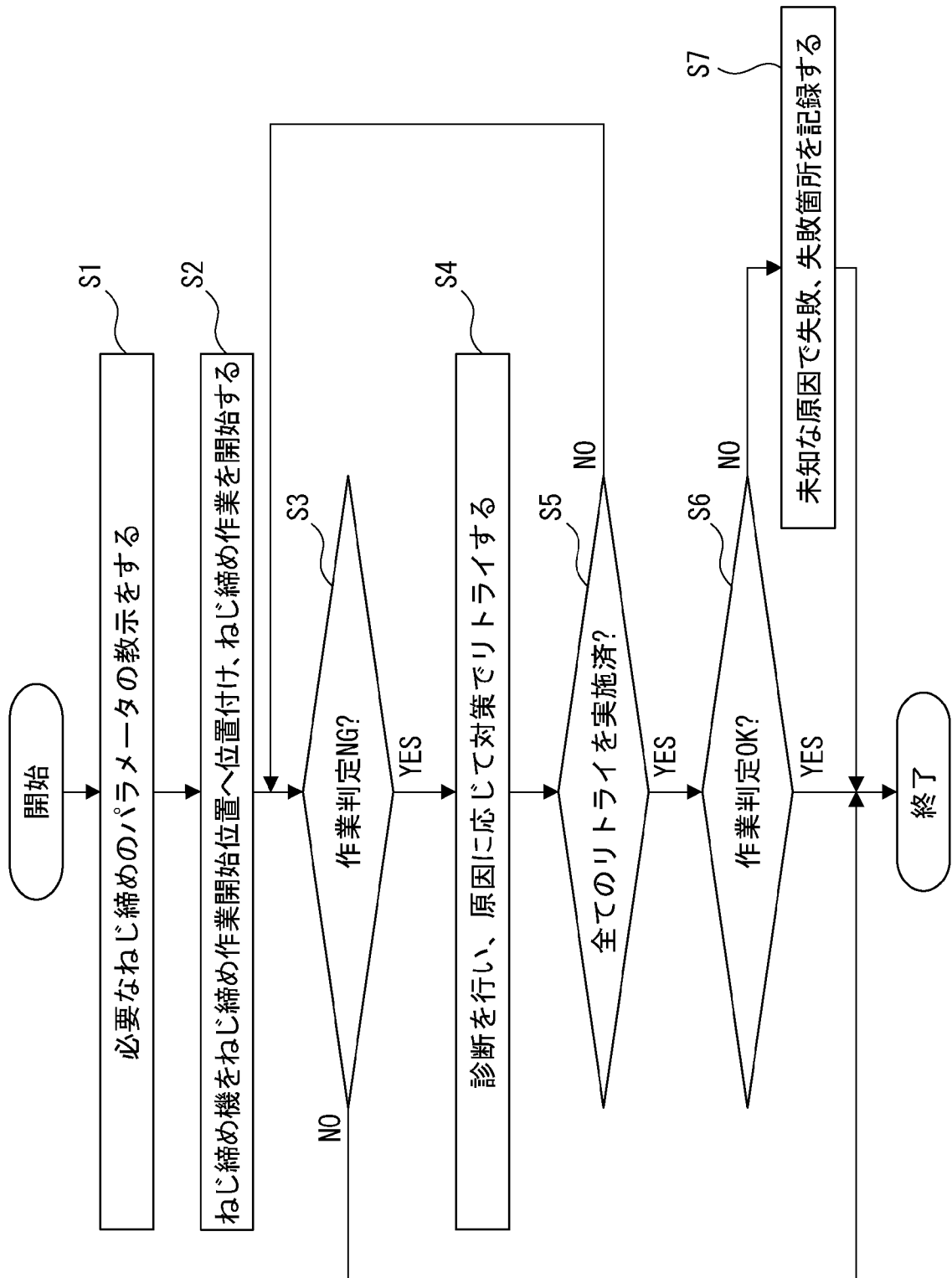
図1



[図2]

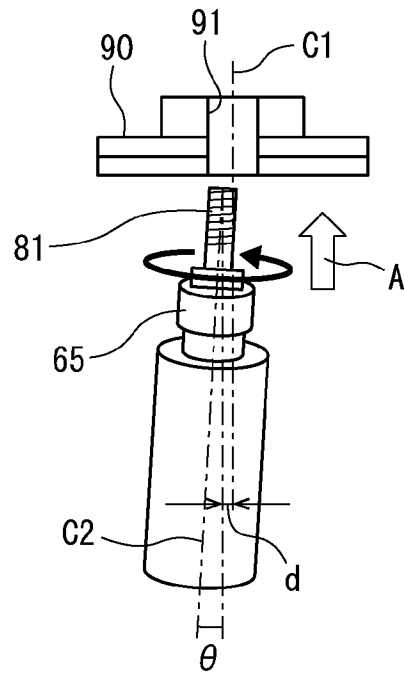


[図3]



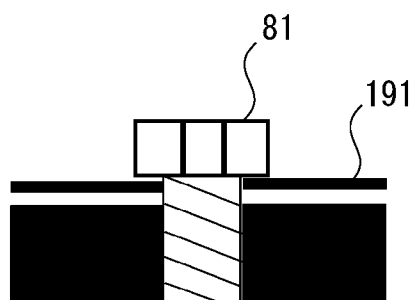
[図4]

図4



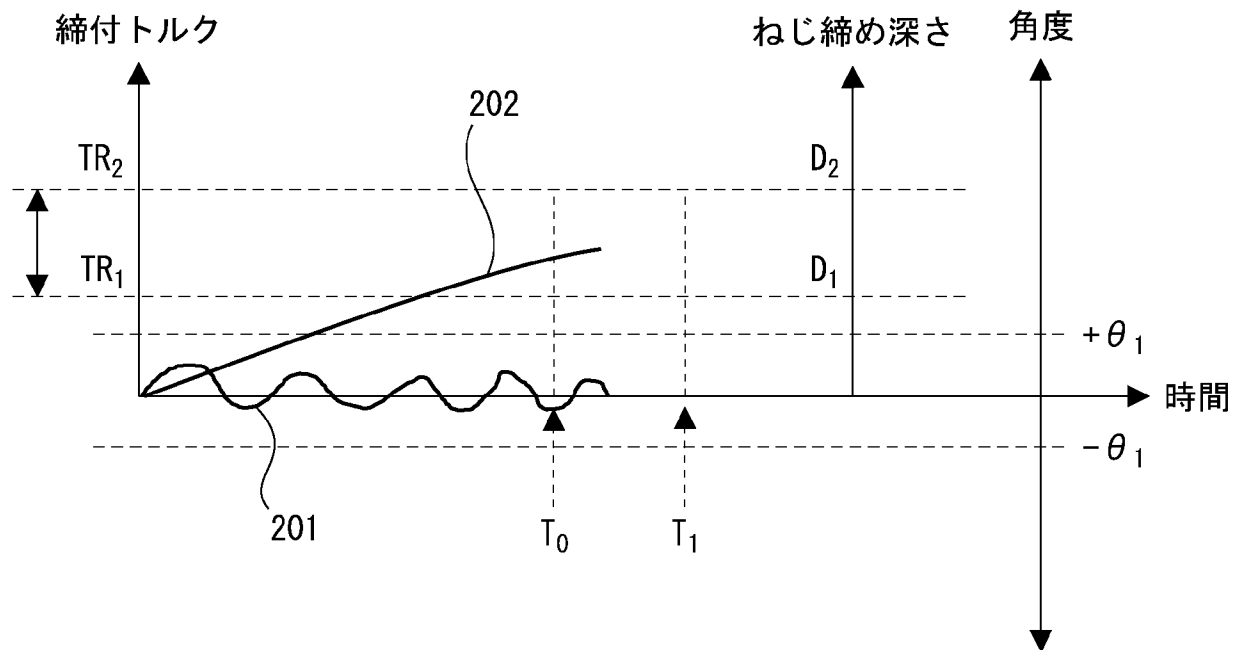
[図5A]

図5A



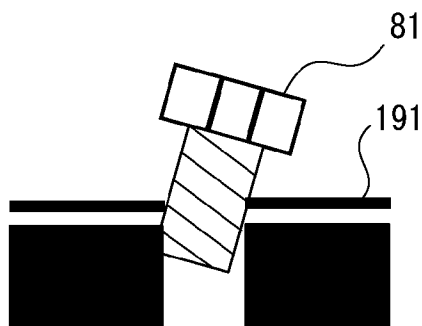
[図5B]

図5B



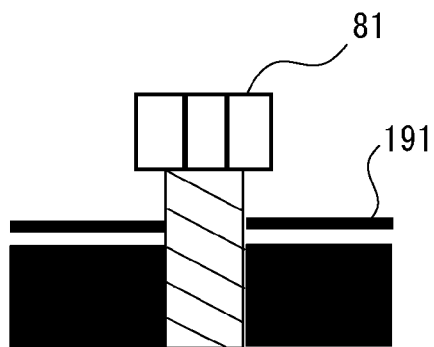
[図6A]

図6A



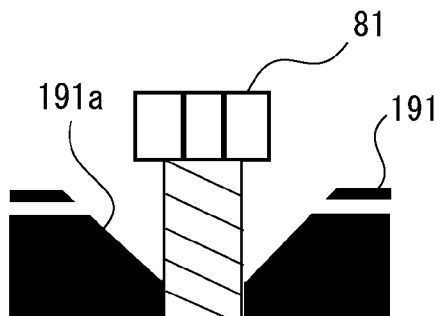
[図6B]

図6B



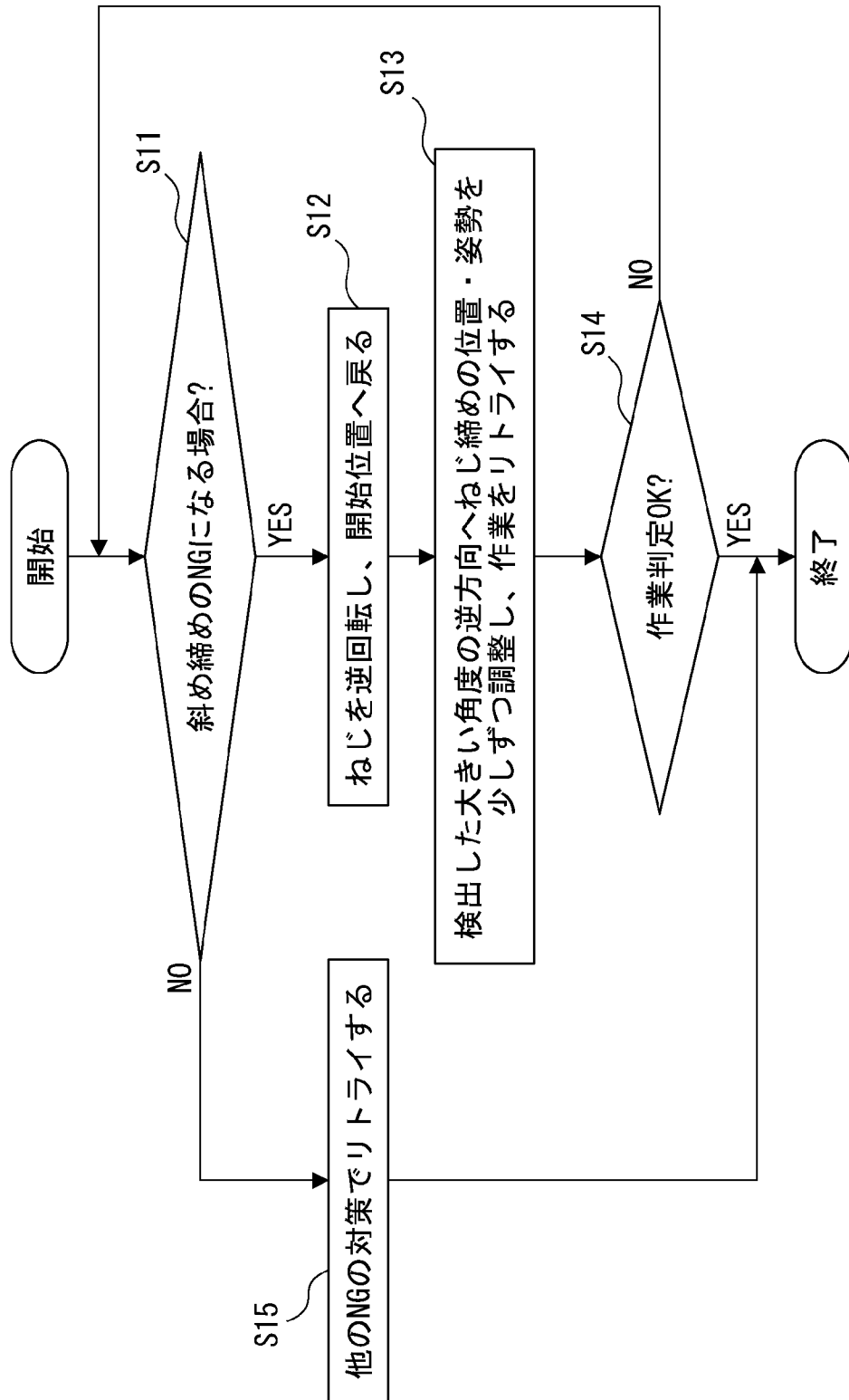
[図6C]

図6C



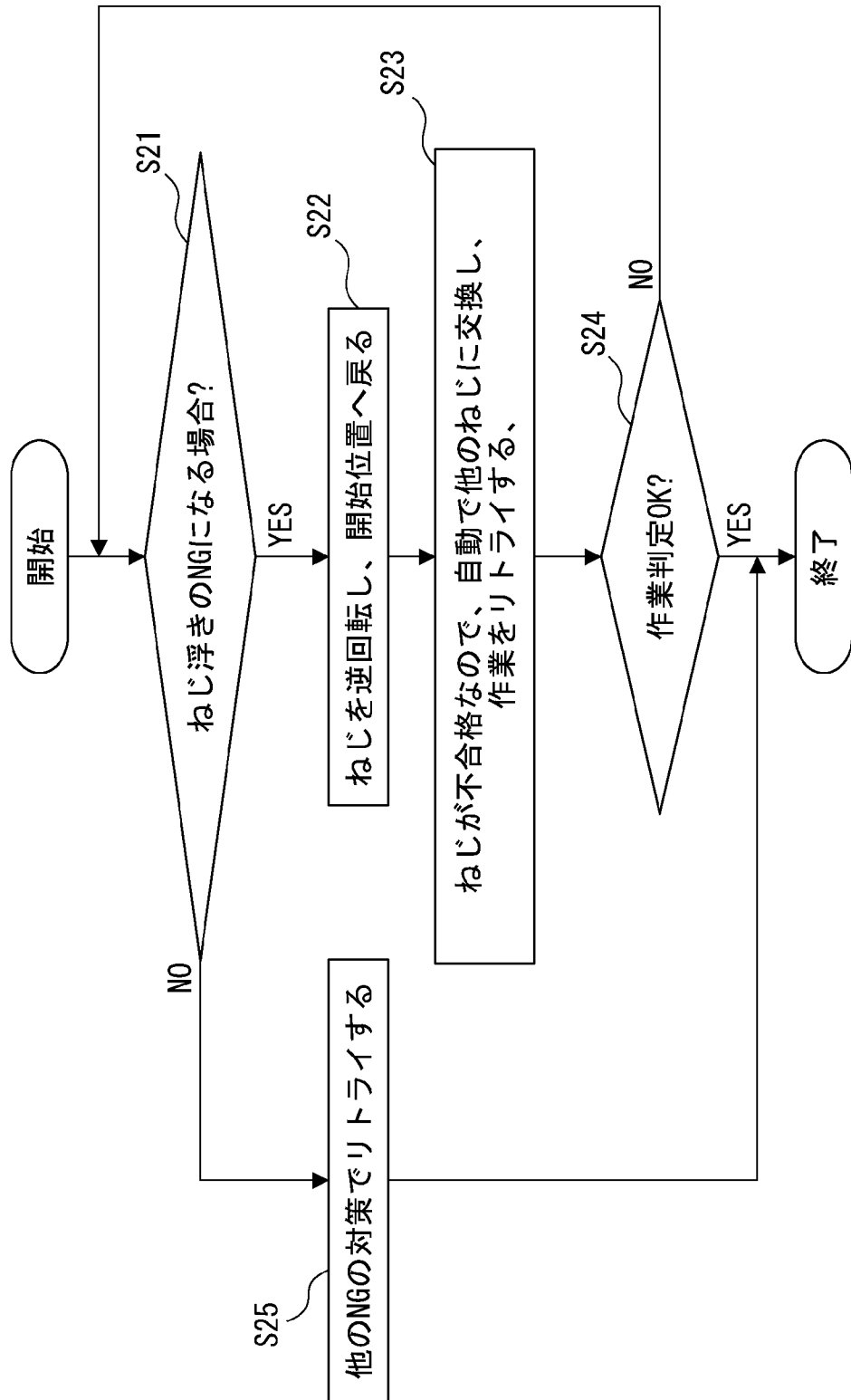
[図7]

図7



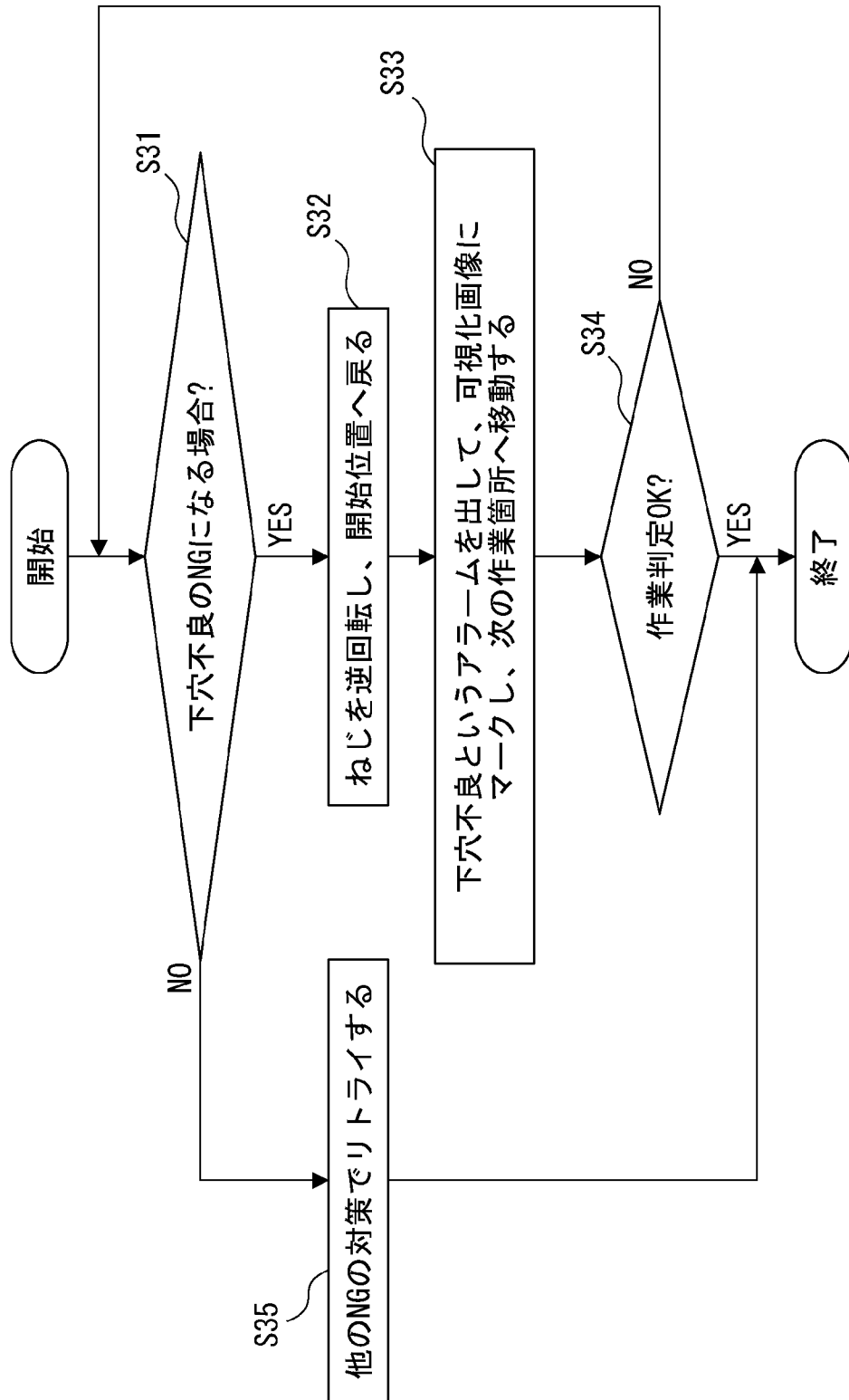
[図8]

図8



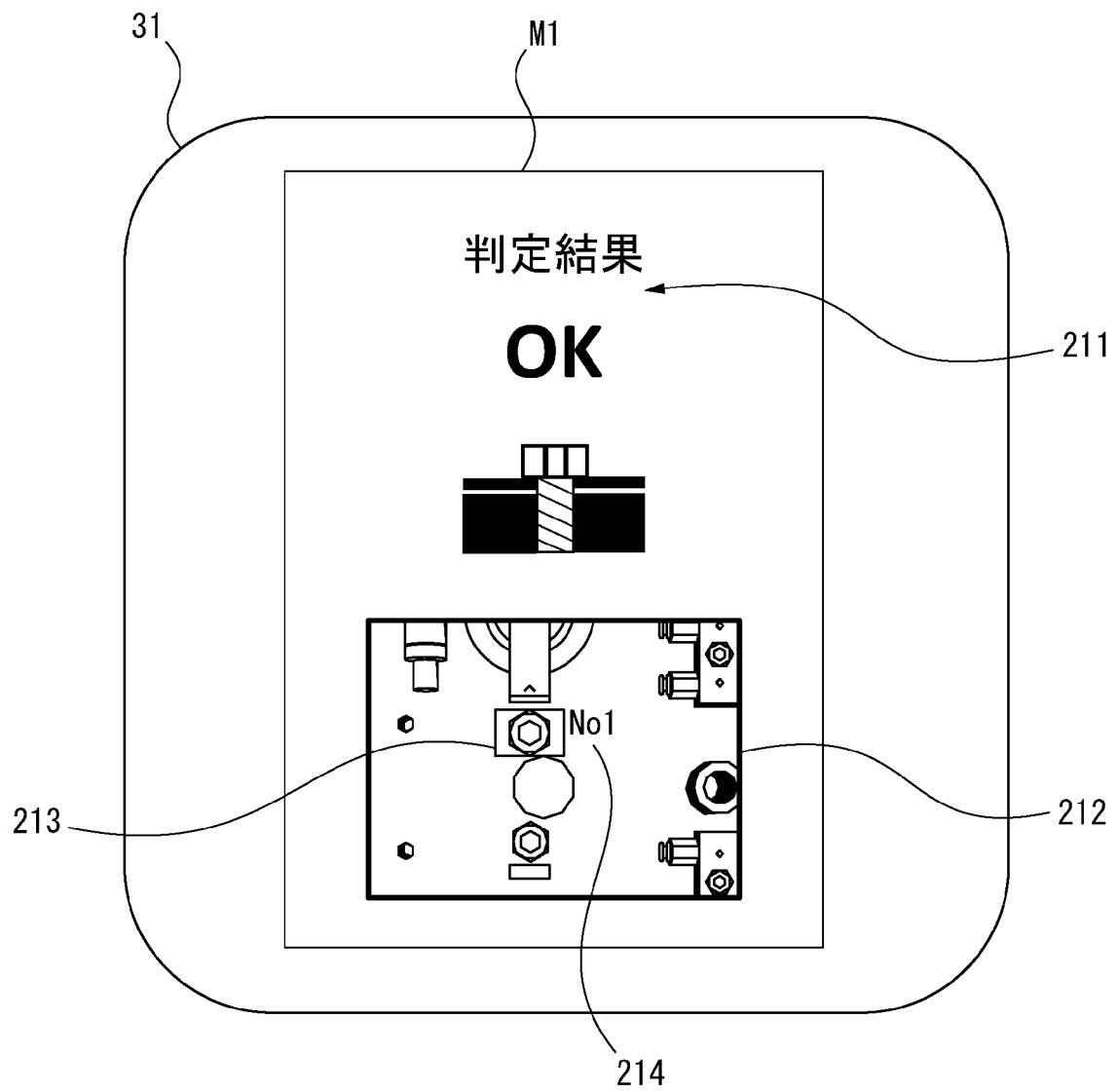
[図9]

図9



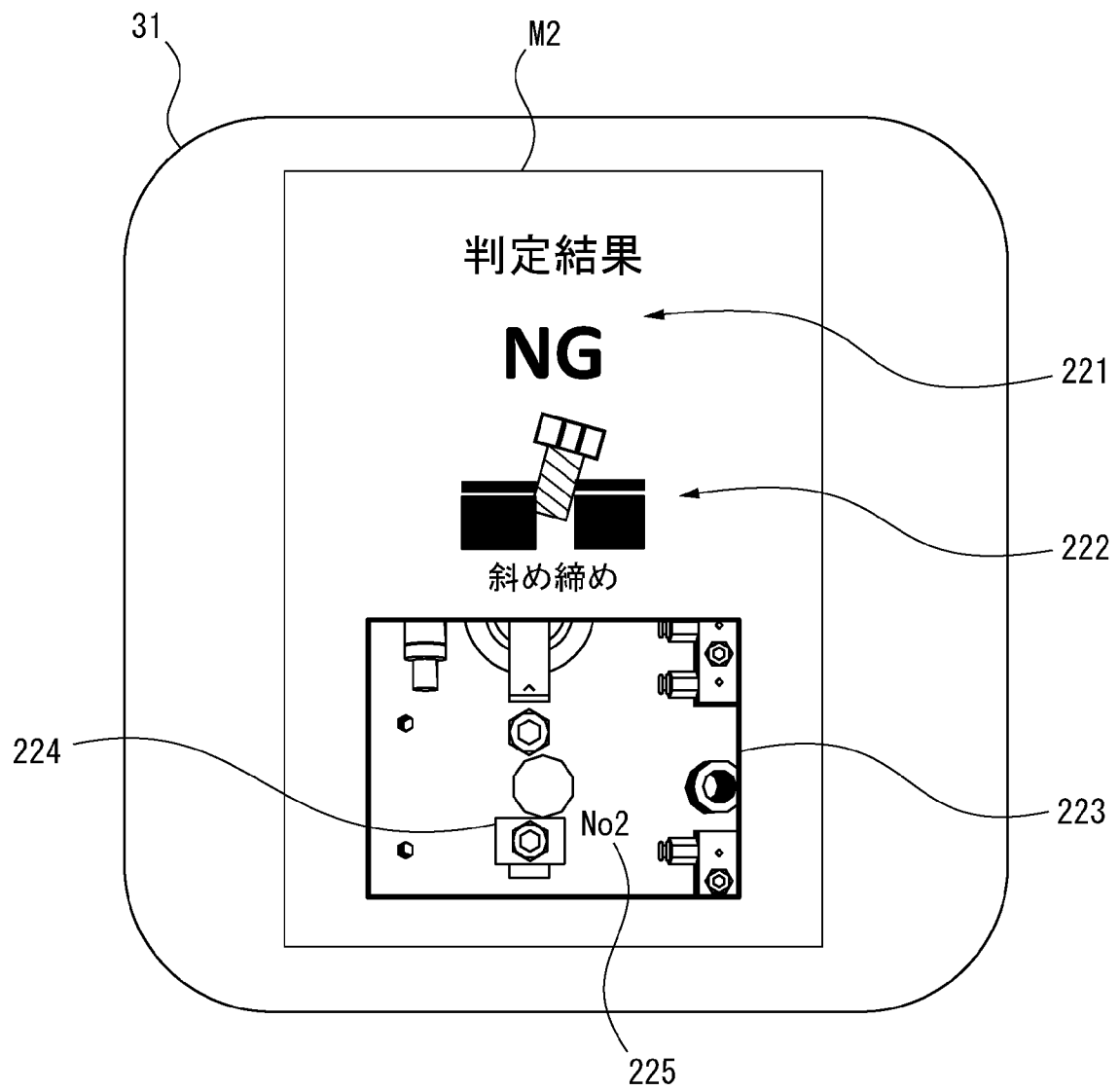
[図10]

図10



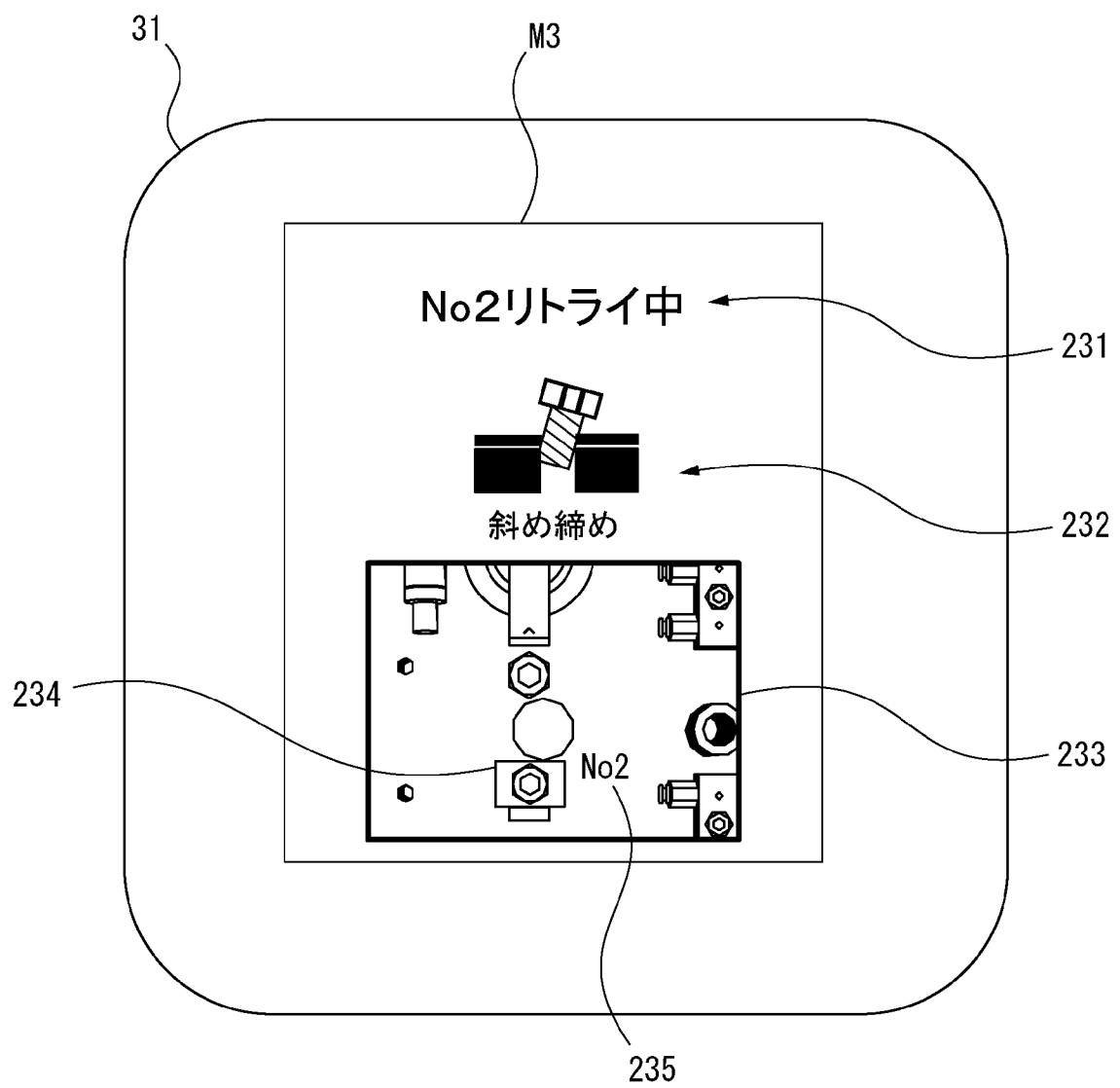
[図11]

図11



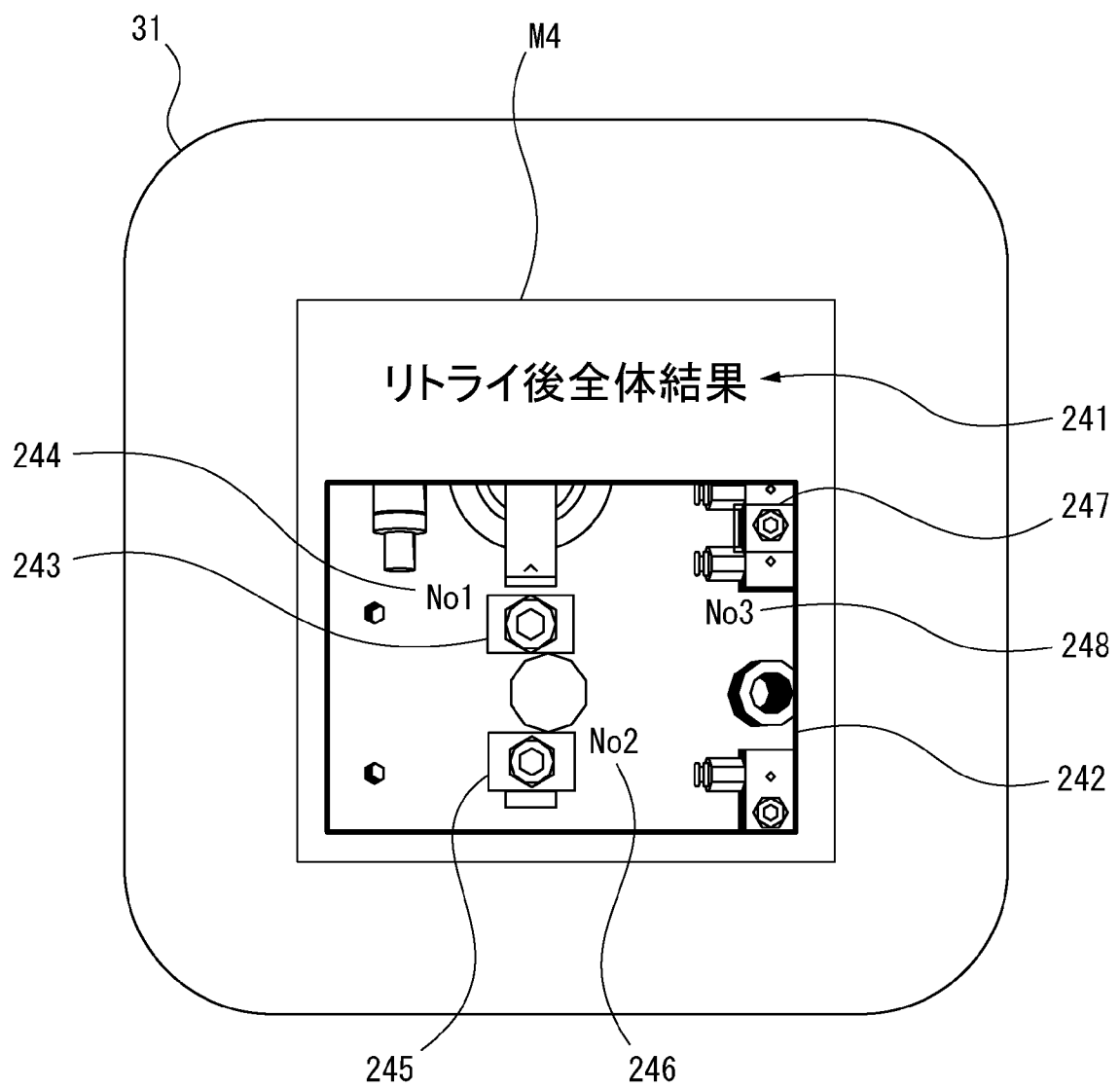
[図12]

図12



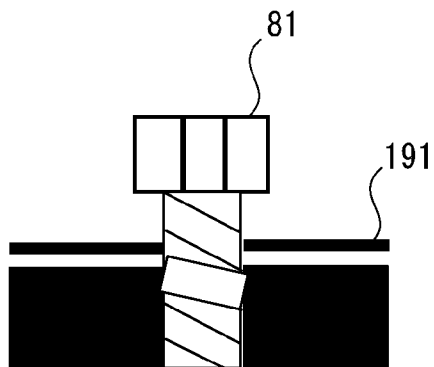
[図13]

図13



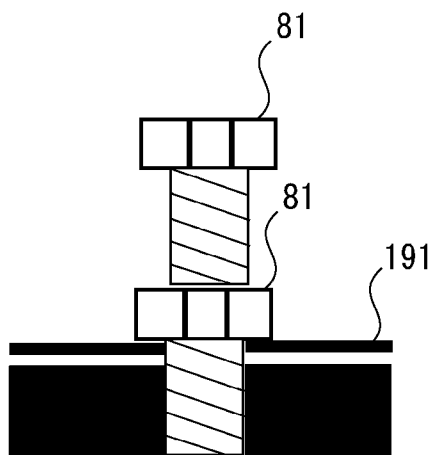
[図14A]

図14A



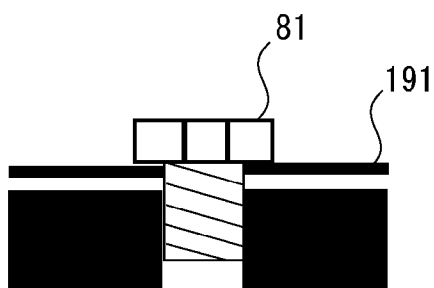
[図14B]

図14B



[図14C]

図14C



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/012961

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**B25J 13/08**(2006.01)i

FI: B25J13/08 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)

B25J1/00-21/02, B25B23/00-23/18, B23P19/00-19/12

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 1971-2023

Registered utility model specifications of Japan 1996-2023

Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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 2017-127908 A (FANUC CORPORATION) 27 July 2017 (2017-07-27) paragraphs [0021]-[0024], [0046]-[0049], [0059]-[0061], [0067]-[0072], fig. 1, 6, 11	1-4, 13-15
A		5-12
Y	JP 2002-263968 A (TOSHIBA TUNGALOY CO., LTD.) 17 September 2002 (2002-09-17) paragraphs [0014]-[0022], fig. 1-4	1-4, 13-15
Y	JP 6-155192 A (SANYO MACH. WORKS, LTD.) 03 June 1994 (1994-06-03) paragraphs [0003]-[0004], [0006], [0014]-[0020], fig. 1-5	3-4, 13-14
Y	松野隆幸, 白土浩司, 黄剣, 福田敏男, ロボットによるネジ締め作業における異常検出アルゴリズム, 日本ロボット学会誌, 2012, vol. 30, no. 8, pages 804-812, particularly, 1.はじめに, 4.サポートベクターマシンによる異常検出, (MATSUNO, Takayuki, SHIRATSUCHI, Koji, HUANG, Jian, FUKUDA, Toshio, Fault Detection Algorithm for Thread Fastening by Robotic Manipulator, Journal of the Robotics Society of Japan), non-official translation (1. Introduction, 4. Anomaly detection using support vector machine) page 809, left column, lines 2-6, 30-43	4, 13-14
A		5-12

☐ 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

19 May 2023

Date of mailing of the international search report

06 June 2023

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/JP2023/012961

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2017-127908	A	27 July 2017	US 2017/0205798 A1 paragraphs [0031]-[0034], [0056]-[0059], [0069]-[0071], [0077]-[0082], fig. 1, 6, 11 DE 102017100692 A1 CN 106975911 A	
JP	2002-263968	A	17 September 2002	(Family: none)	
JP	6-155192	A	03 June 1994	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B25J 13/08(2006.01)i FI: B25J13/08 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）） B25J1/00-21/02, B25B23/00-23/18, B23P19/00-19/12 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>1971-2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2023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	1971-2023年	日本国実用新案登録公報	1996-2023年	日本国登録実用新案公報	1994-2023年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2023年									
日本国実用新案登録公報	1996-2023年									
日本国登録実用新案公報	1994-2023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 A	JP 2017-127908 A（ファナック株式会社）27.07.2017（2017-07-27） 段落[0021]-[0024], [0046]-[0049], [0059]-[0061], [0067]-[0072], 図1, 6, 11	1-4, 13-15 5-12								
Y	JP 2002-263968 A（東芝タンガロイ株式会社）17.09.2002（2002-09-17） 段落[0014]-[0022], 図1-4	1-4, 13-15								
Y	JP 6-155192 A（三洋機工株式会社）03.06.1994（1994-06-03） 段落[0003]-[0004], [0006], [0014]-[0020], 図1-5	3-4, 13-14								
Y A	松野隆幸, 白土浩司, 黄剣, 福田敏男, ロボットによるネジ締め作業における異常検出アルゴリズム, 日本ロボット学会誌, 2012, 第30巻, 第8号, p.804-812, 特に「1. はじめに」, 「4. サポートベクターマシンによる異常検出」 第809ページ左欄第2-6行, 第30-43行	4, 13-14 5-12								
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。										
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献										
国際調査を完了した日 19.05.2023		国際調査報告の発送日 06.06.2023								
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） 神山 貴行 3U 3428 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/JP2023/012961

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2017-127908	A	27.07.2017	US 2017/0205798 A1 段落[0031]-[0034], [0056]- [0059], [0069]-[0071], [0077]-[0082], 図1, 6, 11 DE 102017100692 A1 CN 106975911 A	
JP	2002-263968	A	17.09.2002	(ファミリーなし)	
JP	6-155192	A	03.06.1994	(ファミリーなし)	