

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-125852
(P2012-125852A)

(43) 公開日 平成24年7月5日(2012.7.5)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
B 2 5 J 13/08 (2006.01) B 2 5 J 13/08 Z 3 C 0 0 7
 3 C 7 0 7

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2010-277250 (P2010-277250)
 (22) 出願日 平成22年12月13日 (2010.12.13)

(71) 出願人 000000099
 株式会社 I H I
 東京都江東区豊洲三丁目1番1号
 (74) 代理人 100097515
 弁理士 堀田 実
 (74) 代理人 100136700
 弁理士 野村 俊博
 (72) 発明者 藤井 正和
 東京都江東区豊洲三丁目1番1号 株式会
 社 I H I 内
 (72) 発明者 柴崎 暢宏
 東京都江東区豊洲三丁目1番1号 株式会
 社 I H I 内

最終頁に続く

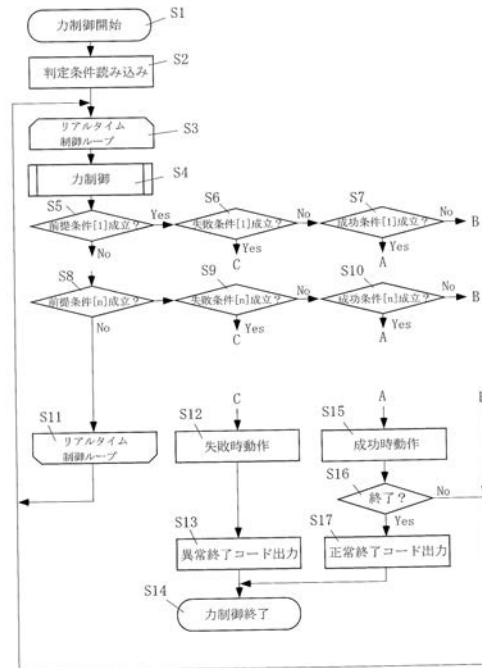
(54) 【発明の名称】 組立ロボットとその制御方法

(57) 【要約】

【課題】単一のワークを複数の動作で対象物に組み付け
 際に、各動作における条件の変化を考慮して、各動作
 においてその成功又は失敗を逐次判定することができる
 組立ロボットとその制御方法を提供する。

【解決手段】単一のワーク1を複数の動作で対象物2に
 組み付ける組立ロボット10であって、外力を計測する
 力センサ14を有しワークを把持するロボットハンド1
 2と、ロボットハンドを3次元空間内で位置と姿勢を移
 動可能なロボットアーム16と、各動作におけるワーク
 の動作条件を記憶しロボットアームを制御するロボット
 制御装置20とを備える。ロボット制御装置20により
 、各動作において、ワーク1の位置と計測された外力を
 動作条件と照合し、各動作の成功又は失敗を判断する。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

単一のワークを複数の動作で対象物に組み付ける組立ロボットであって、
外力を計測する力センサを有しワークを把持するロボットハンドと、
該ロボットハンドを 3 次元空間内で位置と姿勢を移動可能なロボットアームと、
前記各動作におけるワークの動作条件を記憶し前記ロボットアームを制御するロボット
制御装置とを備え、

該ロボット制御装置により、前記各動作において、ワークの位置と計測された外力を前
記動作条件と照合し、前記各動作の成功又は失敗を判断する、ことを特徴とする組立ロボ
ット。

10

【請求項 2】

単一のワークを複数の動作で対象物に組み付ける組立ロボットの制御方法であって、
外力を計測する力センサを有しワークを把持するロボットハンドと、
該ロボットハンドを 3 次元空間内で位置と姿勢を移動可能なロボットアームと、を備え

、
(A) 前記各動作におけるワークの動作条件を記憶し、
(B) 前記ロボットアームを制御して前記各動作を順次実行し、
(C) 前記各動作において、ワークの位置と計測された外力を前記動作条件と照合し、
前記各動作の成功又は失敗を判断する、ことを特徴とする組立ロボットの制御方法。

20

【請求項 3】

前記動作条件は、前提条件、成功条件及び失敗条件からなり、
前提条件が成立し、失敗条件が成立するとき、失敗と判断し、
前提条件が成立し、成功条件が成立するとき、成功と判断し、
前提条件が成立しないとき、前記各動作を継続する、ことを特徴とする請求項 2 に記載
の制御方法。

【請求項 4】

前記各動作にそれぞれ対応する制御方法を記憶し、
各動作に対応する制御方法に順次切り替える、ことを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載
の制御方法。

【請求項 5】

前記制御方法は、位置制御、速度制御、又は力制御であり、
前記力制御は、インピーダンス制御又はダンピング制御である、ことを特徴とする請求
項 4 に記載の制御方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、単一のワークを複数の動作で対象物に組み付ける組立ロボットとその制御方
法に関する。

【背景技術】

【0002】

ロボットの手先に取り付けた力覚センサ、あるいはロボット関節のトルクから作業にか
かる力やモーメントを計測し、これに応じて手先の位置や速度を変化させるのが「力制御
」である。

40

力制御は、例えば精密部品の嵌め合い作業などに用いられる。力制御における調整パラ
メータは、仮想ばね、仮想ダンパ、仮想マスなどである。

【0003】

ロボットによりワークを対象物に組み付ける際に力制御を用いることは、例えば、特許
文献 1 ~ 6 に開示されている。

【0004】

特許文献 1 は、ロボットが対象物に接触する直前に位置制御モードから力制御モードに

50

切り替え、接触前の位置制御と接触後の力制御を滑らかに接続するものである。

特許文献 2 は、挿入位置がある閾値を超える前に挿入方向に力がかかったら異常と判断し、閾値を超えて力がかかったら押し当てが正常終了と判断するものである。

特許文献 3 は、バルブを回す一連の動作を、分割した作業ごと（接近・接触、挿入穴探索、押し付け、など）に選択したパラメータで力制御を行なうものである。

【 0 0 0 5 】

特許文献 4 は、複数の工程で使われる物品の対応を記憶し、各行程において物品と関連付けて自動処理を実行するものである。

特許文献 5 は、内力管理制御により、強度が弱い部材であっても把持力を最適化して破損や変形を防ぎ、他の部材に組付けするものである。

特許文献 6 は、ワークをそのワーク座標の原点が目標粗位置まで移動するように各アクチュエータを位置制御した後、作業座標系をもとに組み付け位置にワークをローリング、ピッチング、ヨーイング方向に位置・力制御しながらワークを組み立てるものである。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 6 】

【 特許文献 1 】特開平 0 3 - 2 1 3 2 8 6 号公報、「ロボットの力制御方式」

【 特許文献 2 】特許第 3 3 6 6 2 4 8 号公報、「ロボットの制御方法および装置」

【 特許文献 3 】特許第 4 3 7 8 5 1 号公報、「丸型ハンドルバルブ操作用ロボットアーム制御装置」

【 特許文献 4 】特許第 2 5 4 7 8 9 9 号公報、「自動装置の制御方法及び制御装置」

【 特許文献 5 】特開 2 0 0 9 - 2 7 9 6 7 8 号公報、「自動組立装置、自動組立方法、ならびに表示装置」

【 特許文献 6 】特開平 9 - 1 2 8 0 2 3 号公報、「ワークの組立方法及びその装置」

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 7 】

ロボットにより、あるワークを、嵌め合いを含む複数の工程で対象物に組み付ける場合、本質的には、ワークと対象物との接触前後だけでなく、嵌め合い工程などの接触中であってもその状況に応じてロボットの動作が切り替わる必要がある。

また、動作切り替えの条件も多種多様考えられる。

さらに、一般的に力制御中のロボットの動作は遅く低速であるが、嵌め合いが失敗している場合に力制御を継続するとワークや対象物に損傷を与えるおそれがある。従って、嵌め合い工程などの成功又は失敗の判定はできるだけ早い段階で行なうことが望ましい。

これらのことを考慮すると、特許文献 1 ~ 6 には以下のような問題点があった。

【 0 0 0 8 】

特許文献 1 は、接触前後の制御方式を限定した上で、これらを滑らかに接続する方法について言及しているのみである。接触後のはめあい中の切り替えについては触れられていない。

特許文献 2 では、挿入方向の力が設定値を超え、力制御が完了した時点でのみ成否判定が行なわれることになるので、挿入途中で作用力が変わるような形状の部品の場合には対応が困難である。

【 0 0 0 9 】

また、成功可否の判断に用いる距離は、挿入方向（特許文献 1、図 1 の Z 方向）だけを考慮すればよいが、特許文献 1 では判定に不要な挿入方向に垂直な方向（図 1 の X 方向）の変位も含んだ距離が用いられている。微小な閾値で成否の判定を行ないたいとき、この横方向の変位が閾値に対してある程度の大きさを持つと閾値の設定がシビアとなり、誤判定を起こすこともある。

【 0 0 1 0 】

また、計測力が目標値を超えたときの成否判定の閾値が位置だけでは不十分である。た

10

20

30

40

50

例えば、はめあい部品の精度などの影響ではめあい途中に力の設定値を超えてしまうと失敗と判定されてしまう。また、大きな力がかかってかじるまで挿入失敗と判定できないため、その後の自動継続は困難で運転停止の原因となる。

【0011】

特許文献3は、バルブ操作に限定した手法である。技術的にも、作業に適した力制御のパラメータを切り替えるのみで、異常時については一切言及されていない。

また、従来手法を繰り返すだけでは、力制御開始時の初期化動作によって力覚センサが計測していた値がリセットされるので、力を継続的かつ連続的に計測できない（通常は、力制御開始時の力の計測値を初期値 = 0 とし、重力や外力の影響をオフセットとみなすため）。

10

【0012】

特許文献4は、複数の物品を順次組み付ける複数の工程を対象としており、単一のワークを複数の動作で対象物に組み付ける際の、各動作における条件の変化を考慮していない。

【0013】

特許文献5、特許文献6も同様に、単一のワークを複数の動作で対象物に組み付ける際の、各動作における条件の変化を考慮していない。

【0014】

本発明は、上述した問題点を解決するために創案されたものである。すなわち、本発明の目的は、単一のワークを複数の動作で対象物に組み付ける際に、各動作における条件の変化を考慮して、各動作においてその成功又は失敗を逐次判定することができる組立ロボットとその制御方法を提供することにある。

20

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明によれば、単一のワークを複数の動作で対象物に組み付ける組立ロボットであって、

外力を計測する力センサを有しワークを把持するロボットハンドと、

該ロボットハンドを3次元空間内で位置と姿勢を移動可能なロボットアームと、

前記各動作におけるワークの動作条件を記憶し前記ロボットアームを制御するロボット制御装置とを備え、

30

該ロボット制御装置により、前記各動作において、ワークの位置と計測された外力を前記動作条件と照合し、前記各動作の成功又は失敗を判断する、ことを特徴とする組立ロボットが提供される。

【0016】

また本発明によれば、単一のワークを複数の動作で対象物に組み付ける組立ロボットの制御方法であって、

外力を計測する力センサを有しワークを把持するロボットハンドと、

該ロボットハンドを3次元空間内で位置と姿勢を移動可能なロボットアームと、を備え、

(A) 前記各動作におけるワークの動作条件を記憶し、

(B) 前記ロボットアームを制御して前記各動作を順次実行し、

(C) 前記各動作において、ワークの位置と計測された外力を前記動作条件と照合し、前記各動作の成功又は失敗を判断する、ことを特徴とする組立ロボットの制御方法が提供される。

40

【発明の効果】

【0017】

上記本発明の装置及び方法によれば、各動作におけるワークの動作条件を記憶し、各動作において、ワークの位置と計測された外力を動作条件と照合し、前記各動作の成功又は失敗を判断するので、単一のワークを複数の動作で対象物に組み付ける際に、各動作における条件の変化を考慮して、各動作においてその成功又は失敗を逐次判定することができ

50

る。

【0018】

従って、力制御の最中に、状況に応じて適切な成否判定が行なえる。また、動作途中でも失敗判定が行なえるので、一連の動作における早い段階での失敗検出とその後の対応動作（再試行動作、システム停止など）が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明による組立ロボットの実施形態図である。

【図2】本発明による組み付け動作の実施形態図である。

【図3】本発明による制御方法のフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、本発明の好ましい実施形態を添付図面に基づいて詳細に説明する。なお、各図において共通する部分には同一の符号を付し、重複した説明を省略する。

【0021】

図1は、本発明による組立ロボットの実施形態図である。

この図において、組立ロボット10は、単一のワーク1を複数の動作で対象物2に組み付ける自動装置であり、ロボットハンド12、ロボットアーム16、及びロボット制御装置20を備える。

【0022】

ワーク1は、後述する第1実施形態では、円筒形部材であり、その上端をロボットハンド12が把持するようになっている。

【0023】

ロボットハンド12は、外力を計測する力センサ14を有し、ワーク1を把持する。

【0024】

力センサ14は、ワーク1に作用する外力を検出するセンサである。

この例において、力センサ14は直交3軸方向の力（ F_x 、 F_y 、 F_z ）と各軸まわりのトルク（ T_x 、 T_y 、 T_z ）を計測可能な6軸センサであり、3次元的に移動可能なロボットアーム16に取り付けられ、これに作用する6自由度の外力（3方向の力 F_x 、 F_y 、 F_z と、3軸まわりのトルク T_x 、 T_y 、 T_z ）を検出するようになっている。

なお、本発明はこれに限定されず、ワーク1に作用する外力が検出できる限りで、その他の力センサであってもよい。

【0025】

ロボットアーム16は、手先にロボットハンド12を取付け、これを3次元空間内で位置と姿勢を移動可能に構成されている。

ロボットアーム16は、この例では、多関節ロボットのロボットアームであるが、本発明はこれに限定されず、その他のロボットであってもよい。

【0026】

ロボット制御装置20は、記憶装置21に各動作におけるワーク1の動作条件を記憶し、ロボットアーム16を制御する。

ロボット制御装置20は、例えば数値制御装置であり、指令信号によりロボットアーム16を6自由度（3次元位置と3軸まわりの回転）に制御するようになっている。

【0027】

記憶装置21に記憶された各動作におけるワーク1の動作条件は、前提条件、成功条件及び失敗条件からなる。

また、記憶装置21は、各動作にそれぞれ対応する動作条件と制御方法を記憶する。

制御方法は、位置制御、速度制御、又は力制御であり、力制御は、インピーダンス制御又はダンピング制御であるが、本発明はこれに限定されず、その他の力制御方法であってもよい。

10

20

30

40

50

【0028】

記憶装置21は、さらに各動作における軌道データテーブルを記憶する。軌道データテーブルは、ロボットハンド12のTCPの目標位置(X, Y, Z)と、押付け方向ベクトルからなる。

【0029】

図2は、本発明による組み付け動作の実施形態図である。

この図において、ワーク1は円筒形部材である。また、対象物2はワーク1が嵌合する円筒形孔2aを有し、作業台4(図1参照)に移動しないように固定されている。

円筒形孔2aの内径は、ワーク1の直径よりわずかに大きく、ワーク1の下端が円筒形孔2aの底面に達するまで、同心を維持したまま挿入できるようになっている。

円筒形孔2aの内径とワーク1の直径の差は、例えば、0.01mmである。

【0030】

この組み付け動作例は、単一のワーク1を3つの動作(1)~(3)で対象物2の円筒形孔2aに組み付けるものである。

動作(1)は、図で(A)から(B)までであり、ワーク1の下端を円筒形孔2aの上部に挿入するはめあいまでの近接動作である。

動作(2)は、図で(B)から(C)までであり、はめあい開始直後の動作である。この動作では、位置と姿勢のずれを修正する必要がある。

動作(3)は、図で(C)から(D)までであり、はめあい・挿入動作である。この動作(3)では、位置のずれを修正しつつワーク1を挿入する必要がある。

【0031】

表1は、上記動作(1)~(3)におけるワークの動作条件と失敗時又は成功時の動作を示すものである。

この表において、条件コード[1]~[3]は、動作(1)~(3)にそれぞれ対応し、条件コード[4]は、動作(1)~(3)のすべてに対応する。

【0032】

【表1】

条件コード	[1] はめあい位置のずれを検出	[2] はめあい開始直後のかじりを検出	[3] はめあい完了を検出	[4] 作業全体の過負荷を検出
前提条件	動作開始からの挿入方向の移動量が5mm以下	条件1成立後、動作時間が10秒以下	条件2成立後、挿入方向に30N以上の力を検出	—
失敗条件	挿入方向に30N以上の力を検出	挿入方向の相対移動量が10mm未満	挿入方向の相対移動量が5mm未満	並進力100N以上、またはモーメント10Nm以上を検出
失敗時動作	作業異常終了 異常終了コード出力	同左	同左	同左
成功条件	挿入方向の相対移動量が5mm以上	挿入方向の相対移動量が10mm以上	挿入方向の相対移動量が5mm以上	—
成功時動作	条件1成功フラグを立てて、作業継続	条件2成功フラグを立てて、作業継続	作業正常完了 正常終了コード出力	—

【0033】

表1において、動作条件は、条件コード[1]~[3]に対してそれぞれ前提条件、成功条件及び失敗条件からなる。なお、条件コード[4]に対しては、失敗条件のみである。

【0034】

表2は、上述した動作(1)~(3)におけるワークの動作条件、失敗時又は成功時の

動作、及び動作パラメータを示すものである。

この表において、条件コード [1] ~ [3] は、動作 (1) ~ (3) にそれぞれ対応し、条件コード [4] は、動作 (1) ~ (3) のすべてに対応する。

【 0 0 3 5 】

【 表 2 】

条件コード	[1] はめあい位置のずれを検出	[2] はめあい開始直後のかじりを検出	[3] はめあい完了を検出	[4] 作業全体の過負荷を検出
前提条件	動作開始からの挿入方向の移動量が5mm以下	条件1成立後、動作時間が10秒以下	条件2成立後、挿入方向に30N以上の力を検出	動作中
失敗条件	挿入方向に30N以上の力を検出	挿入方向の相対移動量が10mm未満	挿入方向の相対移動量が5mm未満	並進力100N以上、またはモーメント10Nm以上を検出
失敗時動作	作業異常終了 異常終了コード出力	同左	同左	同左
成功条件	挿入方向の相対移動量が10mm以上	挿入方向の相対移動量が10mm以上	挿入方向の相対移動量が5mm以上	—
成功時動作	条件1成功フラグを立てて、作業継続	条件2成功フラグを立てて、作業継続	作業正常完了 正常終了コード出力	—
動作パラメータ	挿入方向に、 速度5mm/sで 速度制御	挿入方向に、 目標力10N、 粘性係数10N/(mm/s) でダンピング制御 挿入方向に直交する 方向に、目標力10N、 粘性係数10N/(mm/s) でダンピング制御	挿入方向に、 目標力10N、 粘性係数10N/(mm/s) でダンピング制御 挿入方向に直交する 方向に、目標力10N、 粘性係数10N/(mm/s) でダンピング制御	動作パラメータ は変更しない

10

20

【 0 0 3 6 】

表 2 において、動作条件は、条件コード [1] ~ [3] に対してそれぞれ前提条件、成功条件及び失敗条件からなる。なお、条件コード [4] に対しては、前提条件と失敗条件のみである。

またこの表において、動作パラメータとは、ワークの移動方向、移動速度、目標力、又は粘性係数を含む制御方法である。

制御方法は、位置制御、速度制御、又は力制御である。また、力制御は、インピーダンス制御又はダンピング制御である。

【 0 0 3 7 】

なお、表 1 と表 2 は動作パラメータの有無で相違するが、その他の項目は実質的に同一である。また各表における位置、速度、力の数値は例示であり、これらに限定されない。

30

40

【 0 0 3 8 】

図 3 は、本発明による制御方法のフローチャートである。

本発明による制御方法は、上述した組立ロボット 10 を用い、以下の (A) ~ (C) を実行する。

【 0 0 3 9 】

(A) 上述した各動作 (1) ~ (3) におけるワーク 1 の動作条件、失敗時又は成功時の動作、及び動作パラメータを記憶装置 2 1 に記憶する。

(B) ロボット制御装置 2 0 により、ロボットアーム 1 6 を制御して各動作 (1) ~ (3) を順次実行する。各動作 (1) ~ (3) において、条件コード [1] ~ [3] に対応して動作パラメータを切り替える。

50

(C) 各動作(1)~(3)において、ワーク1の位置と力センサ14で計測された外力を記憶した動作条件と照合し、各動作(1)~(3)の成功又は失敗を判断する。

【0040】

すなわち、図3において力制御を開始し(S1)、表1又は表2の判定条件を記憶装置21から読み込み(S2)、リアルタイム制御ループ(S3~S11)を開始する。

【0041】

リアルタイム制御ループ(S3~S11)において力制御を実施し(S4)、前提条件[1]の成立を判断し(S5)、不成立(No)の場合に、順次次の前提条件の成立を判断する。ここで前提条件[k](k=1, 2, ...)は条件コード[1]~[k]に対応する。

10

【0042】

各前提条件[k](k=1, 2, ...)が成立(Yes)の場合に、失敗条件[k]の成立を判断し(S6、S9)、成立(Yes)の場合に、失敗時動作を実施し(S12)、異常終了コードを出力し(S13)、力制御を終了する(S14)。ここで失敗条件[k](k=1, 2, ...)は条件コード[1]~[k]に対応する。

【0043】

各失敗条件[k](k=1, 2, ...)が不成立(No)の場合に、成功条件[k]の成立を判断し(S7、S10)、成立(Yes)の場合に、成功時動作を実施し(S15)、終了でない(S16でNo)場合、動作を継続し、リアルタイム制御ループ(S3~S11)を再度実行する。

20

各成功条件[k](k=1, 2, ...)が不成立(No)の場合、動作を継続し、リアルタイム制御ループ(S3~S11)を再度実行する。ここで成功条件[k](k=1, 2, ...)は条件コード[1]~[k]に対応する。

【0044】

S16で終了(Yes)の場合、正常終了コードを出力し(S17)、力制御を終了する(S14)。

【0045】

なお、失敗条件[k]の成立の判断(S6、S9)と成功条件[k]の成立の判断(S7、S10)は、順序が逆であってもよい。

【0046】

上述したように、本発明では、条件コード[1]~[k]において、
(C1)前提条件が成立し、失敗条件が成立するとき、失敗と判断し、
(C2)前提条件が成立し、成功条件が成立するとき、成功と判断し、
(C3)前提条件が成立しないとき、前記各動作を継続する。

30

【0047】

また、各動作(1)~(3)にそれぞれ対応する動作パラメータ[1]~[k](k=1, 2, ...)を記憶し、各動作に対応する制御方法に順次切り替える。

【0048】

上述したように本発明では、各動作(1)~(3)において、ワーク1の位置と計測された外力を動作条件と照合し、各動作の成功又は失敗を判断する。

40

すなわち、成功条件又は失敗条件が満足するか否かを組立などの各動作中に逐次(リアルタイムで)判断し、成功又は失敗の判定が行なわれた時点で成功又は失敗時の動作を行なう。

【0049】

また上述したように、好ましくは成功・失敗の条件だけでなく、制御方法を含む動作パラメータも条件コードごとに複数準備し、切り替える。

従って、図3のフローチャートでは、成功時動作で動作パラメータの変更がなされることになる。

【0050】

上述したように本発明の装置及び方法によれば、各動作におけるワーク1の動作条件を

50

記憶し、各動作において、ワーク 1 の位置と計測された外力を動作条件と照合し、各動作の成功又は失敗を判断するので、単一のワーク 1 を複数の動作で対象物に組み付ける際に、各動作における条件の変化を考慮して、各動作においてその成功又は失敗を逐次判定することができる。

【0051】

従って、力制御の最中に、状況に応じて適切な成否判定が行なえる。また、動作途中でも失敗判定が行なえるので、一連の動作における早い段階での失敗検出とその後の対応動作（再試行動作、システム停止など）が可能となる。

【0052】

なお、本発明は上述した実施形態に限定されず、特許請求の範囲の記載によって示され、さらに特許請求の範囲の記載と均等の意味および範囲内でのすべての変更を含むものである。

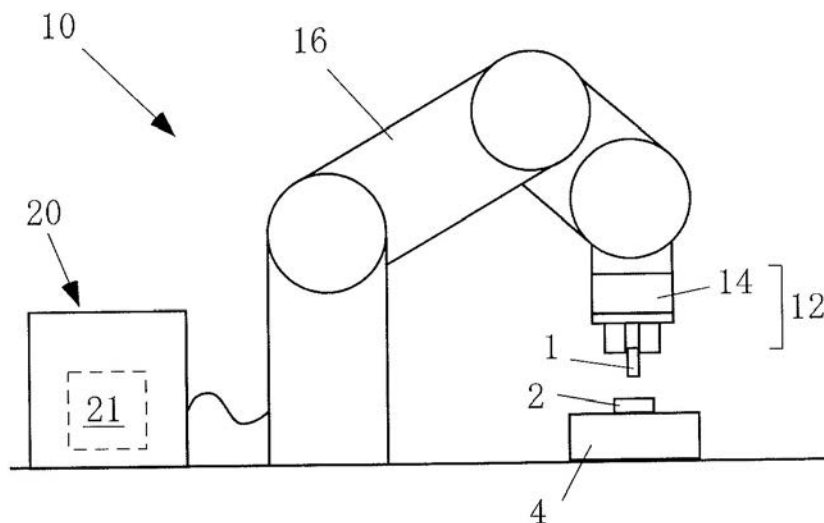
10

【符号の説明】

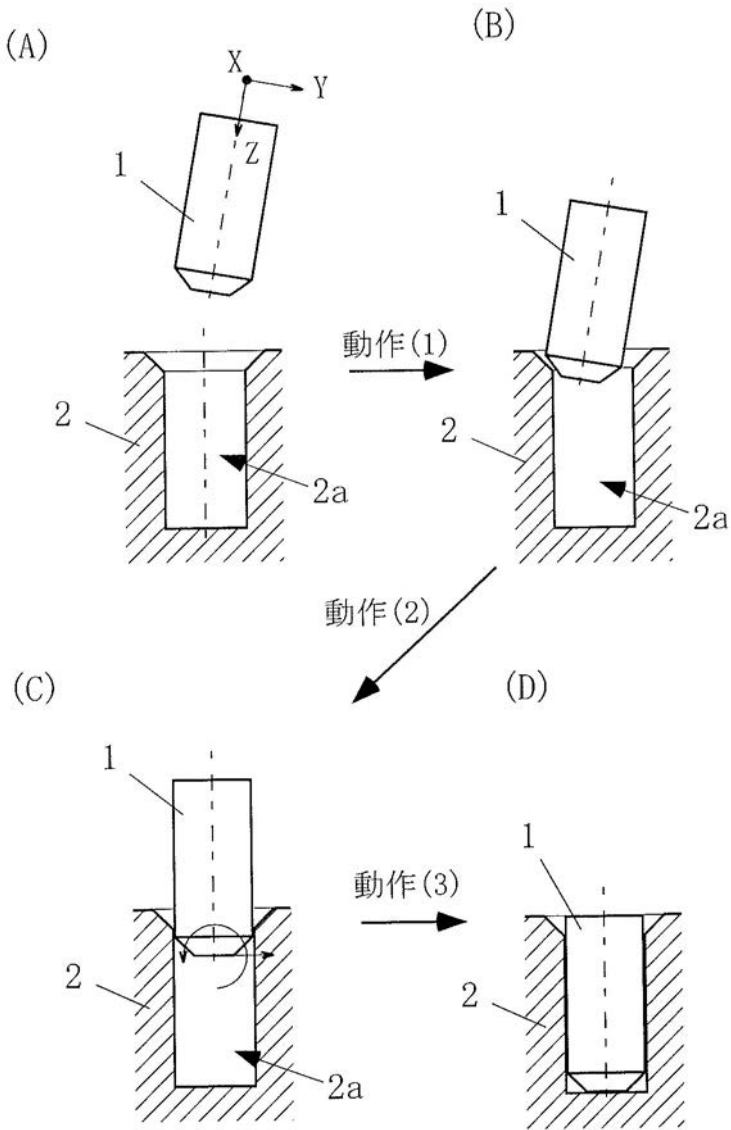
【0053】

- 1 ワーク、1 a 円筒形孔、
- 2 対象物、2 a 円筒形孔、4 作業台、
- 10 組立ロボット、12 ロボットハンド、
- 14 カセンサ、16 ロボットアーム、
- 20 ロボット制御装置、21 記憶装置

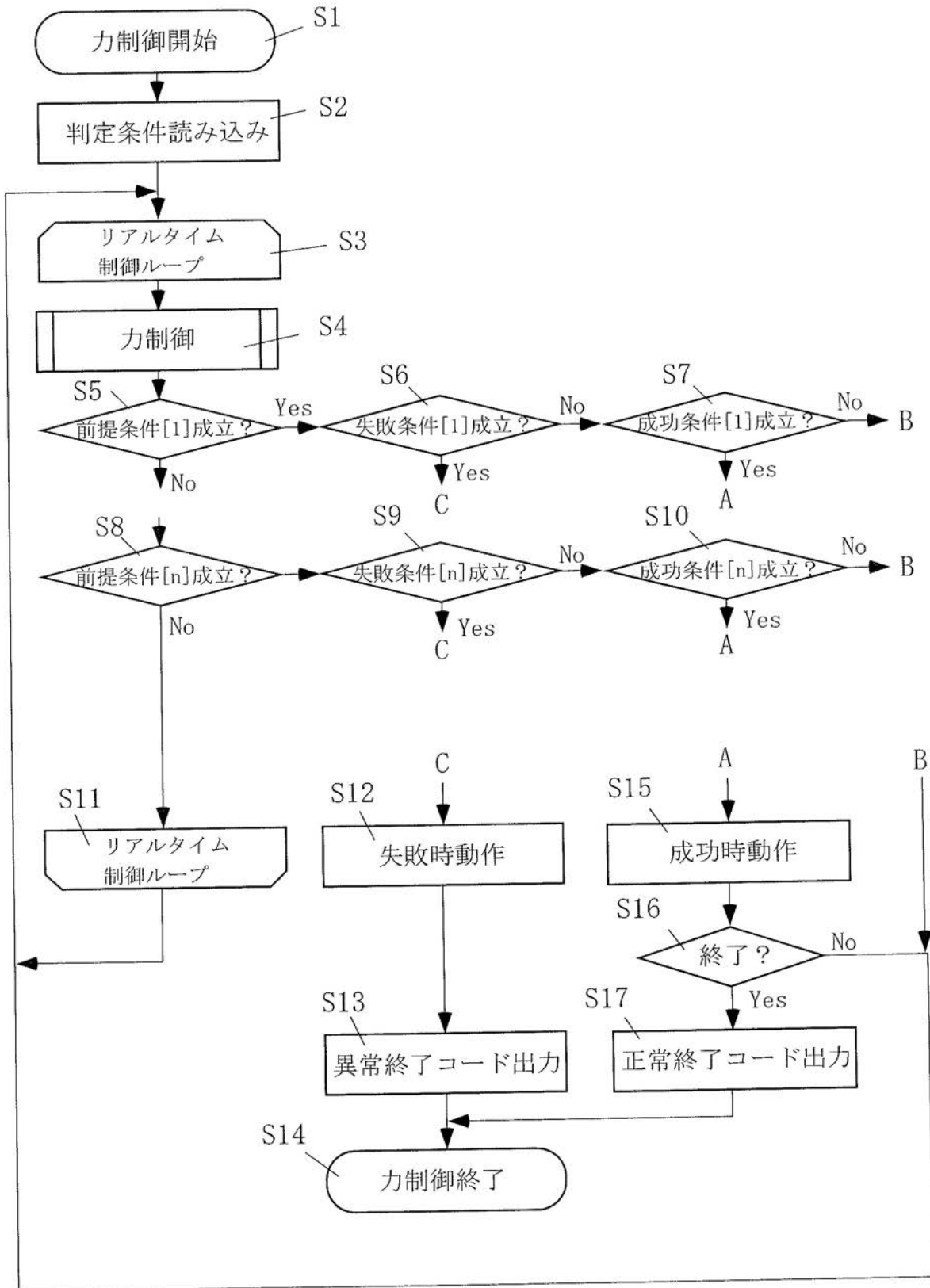
【図 1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 曾根原 光治

東京都江東区豊洲三丁目1番1号 株式会社IHI内

Fターム(参考) 3C007 AS07 KS33 KX06 LU06 LU10 LV12 LV15 LV17 LW03
3C707 AS07 KS33 KX06 LU06 LU10 LV12 LV15 LV17 LW03