

(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2014-151377

(P2014-151377A)

(43) 公開日 平成26年8月25日(2014.8.25)

(51) Int.Cl.

**B25J 13/08**

(2006.01)

F 1

B 25 J 13/08

A

テーマコード(参考)

3C707

審査請求 未請求 請求項の数 31 O L (全 30 頁)

(21) 出願番号

特願2013-211117(P2013-211117)

(22) 出願日

平成25年2月6日(2013.2.6)

(71) 出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(74) 代理人 100095728

弁理士 上柳 雅善

(74) 代理人 100127661

弁理士 宮坂 一彦

(74) 代理人 100116665

弁理士 渡辺 和昭

(72) 発明者 相磯 政司

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

F ターム(参考) 3C707 AS07 BS26 KS03 KS04 KS33

KT03 KT05 KT06 KX06 LU09

LV15 LV17

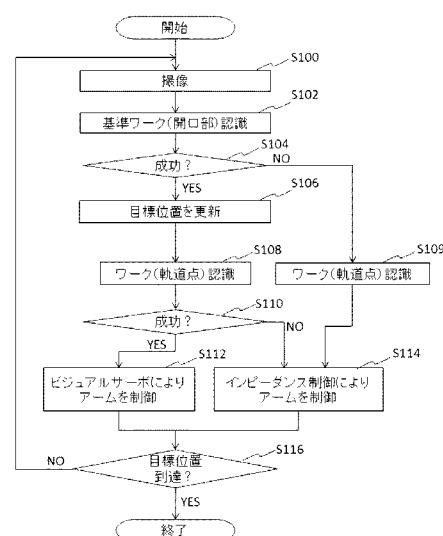
(54) 【発明の名称】ロボット制御方法、ロボット制御装置、ロボットシステム、ロボット及びプログラム

## (57) 【要約】

**【課題】**エンドエフェクターが保持する対象物が画像から認識できない場合にも、安全に作業を継続することができる。

**【解決手段】**第1の物体と、エンドエフェクターが保持する第2の物体とを含む画像を取得して、第1の物体の表面の任意の位置である第1の位置及び第2の物体の表面の任意の位置である第2の位置を認識する。第1の位置及び第2の位置が認識できたか否かを判断し、判断結果に基づいて第2の位置を第1の位置から第1の物体の内側へ所定の距離だけ離れた第3の位置に近づけるように、エンドエフェクターが先端に設けられた可動部を制御する。ここで、第1の位置及び第2の位置が認識できたときは、第1の位置及び第2の位置の認識結果に基づいて可動部を制御し、第1の位置及び第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、エンドエフェクターに加わる力を取得し、取得したエンドエフェクターに加わる力に基づいて可動部を制御する。

【選択図】図5



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

第1の物体と、エンドエフェクターが保持する第2の物体とを含む画像を取得する第1のステップと、

前記取得した画像から、前記第1の物体の表面の任意の位置である第1の位置及び前記第2の物体の表面の任意の位置である第2の位置を認識する第2のステップと、

前記第2のステップで前記第1の位置及び前記第2の位置が認識できたか否かを判断する第3のステップと、

前記第3のステップの判断結果に基づいて、異なる制御方法を用いて、前記第2の位置を前記第1の位置から前記第1の物体の内側へ所定の距離だけ離れた第3の位置に近づけるように、前記エンドエフェクターが先端に設けられた可動部を制御する第4のステップと、を有し、

前記第4のステップは、前記第1の位置及び前記第2の位置が認識できたときは、前記第1の位置及び前記第2の位置の認識結果に基づいて前記可動部を制御し、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記エンドエフェクターに加わる力を取得し、当該取得した前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する

ことを特徴とするロボット制御方法。

**【請求項 2】**

請求項1に記載のロボット制御方法において、

前記第4のステップでは、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、インピーダンス制御により前記可動部を制御する

ことを特徴とするロボット制御方法。

**【請求項 3】**

請求項1又は2に記載のロボット制御方法において、

前記第4のステップでは、前記第1の位置及び前記第2の位置が認識できたときは、前記第2の位置が第1の量だけ移動するように前記可動部を制御し、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記第2の位置が前記第1の量より小さい第2の量だけ移動するように前記可動部を制御する

ことを特徴とするロボット制御方法。

**【請求項 4】**

請求項1から3のいずれか一項に記載のロボット制御方法において、

前記第3のステップにおいて、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときとは、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が前記画像に含まれていない場合、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が前記画像の任意の範囲内に含まれていない場合、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が画像処理により認識できなかった場合、及び、前記第1の位置と前記第2の位置との位置関係が設定された範囲外である場合の少なくとも1つである

ことを特徴とするロボット制御方法。

**【請求項 5】**

請求項1から4のいずれか一項に記載のロボット制御方法において、

前記第1のステップでは、前記画像を取得するステップは、前記第1の物体及び前記第2の物体を異なる方向から撮像した2枚の画像を取得し、

前記第4のステップでは、前記2枚の画像の少なくとも1枚から前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかった場合には、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときであるとして前記可動部を制御する

ことを特徴とするロボット制御方法。

**【請求項 6】**

請求項1から5のいずれか一項に記載のロボット制御方法において、

前記第4のステップでは、前記第2の位置から前記所定の距離だけ前記第2の物体の内

10

20

30

40

50

側へ向かう方向へ移動させることにより前記第3の位置を算出し、当該算出された第3の位置へ前記第2の位置を近づけるように前記可動部を制御することを特徴とするロボット制御方法。

#### 【請求項7】

請求項1から6のいずれか一項に記載のロボット制御方法において、

前記第4のステップでは、前記第1の位置及び前記第2の位置が認識できたときは、前記認識結果から前記第2の位置を求め、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記可動部の移動量に基づいて前記第2の位置を求ることを特徴とするロボット制御方法。

#### 【請求項8】

第1の物体と、エンドエフェクターが保持する第2の物体とを含む画像を取得する画像取得部と、

前記取得した画像から、前記第1の物体の表面の任意の位置である第1の位置及び前記第2の物体の表面の任意の位置である第2の位置を認識する画像処理部と、

前記第1の位置及び前記第2の位置の認識結果に基づいて、異なる制御方法を用いて、前記第2の位置を前記第1の位置から前記第1の物体の内側へ所定の距離だけ離れた第3の位置に近づけるように前記エンドエフェクターが先端に設けられた可動部を制御する制御部であって、前記第1の位置及び前記第2の位置が認識できたときは、前記第1の位置及び前記第2の位置の認識結果に基づいて、前記可動部を制御し、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記可動部の先端に加わる力を取得し、当該取得した可動部の先端に加わる力に基づいて前記可動部を制御する制御部と、

を備えることを特徴とするロボット制御装置。

#### 【請求項9】

画像を取得する画像取得部と、

前記画像から第1の物体及びエンドエフェクターが保持する第2の物体を認識する画像処理部と、

前記画像処理部の認識結果に基づいて、前記第2の物体の位置を前記第1の物体の位置から所定の距離だけ離れた目標位置に近づけるように、前記エンドエフェクターの位置を制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記画像処理部が前記第1の物体及び前記第2の物体を認識できたときは、前記第1の物体の位置及び前記第2の物体の位置に基づいて、前記エンドエフェクターの位置を制御し、前記画像処理部が前記第1の物体及び前記第2の物体の少なくとも一方を認識できなかったときは、前記エンドエフェクターに加わる力を取得し、当該取得した力に基づいて前記エンドエフェクターの位置を制御することを特徴とするロボット制御装置。

#### 【請求項10】

可動部及び前記可動部の先端に設けられたエンドエフェクターを有するロボットと、

第1の物体と、前記可動部が保持する第2の物体とを含む画像を撮像する撮像部と、

前記第1の物体の表面の任意の位置である第1の位置及び前記第2の物体の表面の任意の位置である第2の位置を認識する画像処理部と、

前記第1の位置及び前記第2の位置の認識結果に基づいて、異なる制御方法を用いて、前記第2の位置を前記第1の位置から前記第1の物体の内側へ所定の距離だけ離れた第3の位置に近づけるように前記可動部を制御する制御部であって、前記第1の位置及び前記第2の位置が認識できたときは、前記第1の位置及び前記第2の位置の認識結果に基づいて、前記可動部を制御し、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記可動部の先端に加わる力を取得し、当該取得した可動部の先端に加わる力に基づいて前記可動部を制御する制御部と、

を備えることを特徴とするロボットシステム。

#### 【請求項11】

10

20

30

40

50

請求項 10 に記載のロボットシステムにおいて、

前記撮像部は、前記第1の物体と前記第2の物体とを異なる方向から撮像する2つの撮像装置を有し、

前記画像処理部は、前記2つの撮像装置のそれぞれで撮像された2枚の画像から前記第1の位置及び前記第2の位置を認識し、かつ、前記2つの撮像装置の少なくとも1つで撮像された画像から前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかつた場合は、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかつた場合とする

ことを特徴とするロボットシステム。

**【請求項 12】**

10

エンドエフェクターを有するロボットと、  
画像を取得する画像取得部と、

前記画像から第1の物体及び前記エンドエフェクターが保持する第2の物体を認識する画像処理部と、

前記画像処理部の認識結果に基づいて、前記第2の物体の位置を前記第1の物体の位置から所定の距離だけ離れた目標位置に近づけるように、前記エンドエフェクターの位置を制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記画像処理部が前記第1の物体及び前記第2の物体を認識できたときは、前記第1の物体の位置及び前記第2の物体の位置に基づいて、前記エンドエフェクターの位置を制御し、前記画像処理部が前記第1の物体及び前記第2の物体の少なくとも一方を認識できなかつたときは、前記エンドエフェクターに加わる力を取得し、当該取得した力に基づいて前記エンドエフェクターの位置を制御することを特徴とするロボットシステム。

**【請求項 13】**

20

第1の物体を保持するエンドエフェクターが先端に設けられた可動部を有するロボットと、

レンズを有する撮像部と、

前記撮像部による前記第1の物体及び前記第2の物体の撮像結果に基づいて前記第1の物体を第2の物体に近づけるように前記可動部を制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記レンズと前記第1の物体とを仮想的に結んだ線上に前記第2の物体、前記エンドエフェクター又は前記可動部がある場合には、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する

ことを特徴とするロボットシステム。

**【請求項 14】**

30

第1の物体を保持するエンドエフェクターが先端に設けられた可動部を有するロボットと、

レンズを有する撮像部と、

前記撮像部による前記第1の物体及び前記第2の物体の撮像結果に基づいて前記第1の物体を第2の物体に近づけるように前記可動部を制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記レンズと前記第2の物体とを仮想的に結んだ線上に前記第1の物体、前記エンドエフェクター又は前記可動部がある場合には、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する

ことを特徴とするロボットシステム。

**【請求項 15】**

40

請求項 13 又は 14 に記載のロボットシステムにおいて、

前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に、前記エンドエフェクターが受けた力に応じた移動速度及び安定性で前記エンドエフェクターを移動させる

ことを特徴とするロボットシステム。

**【請求項 16】**

50

請求項 1 3 又は 1 4 に記載のロボットシステムにおいて、前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターを移動させる方向以外の力を前記エンドエフェクターが受けないように、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に前記エンドエフェクターを移動させる

ことを特徴とするロボットシステム。

**【請求項 1 7】**

撮像部と、

第 1 の物体を保持するエンドエフェクターを有するロボットと、  
前記第 1 の物体を第 2 の物体に近づけるように前記エンドエフェクターの位置を制御する制御部と、を備え、  
10

前記制御部は、前記撮像部の撮像方向において前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体が重なっていない場合には、前記撮像部の撮像結果に基づいて前記エンドエフェクターを制御し、前記撮像部の撮像方向において前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体が重なっている場合には、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記エンドエフェクターを制御する

ことを特徴とするロボットシステム。

**【請求項 1 8】**

請求項 1 7 に記載のロボットシステムにおいて、

前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に、前記エンドエフェクターが受けた力に応じた移動速度及び安定性で前記エンドエフェクターを移動させる  
20

ことを特徴とするロボットシステム。

**【請求項 1 9】**

請求項 1 7 に記載のロボットシステムにおいて、

前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターを移動させる方向以外の力を前記エンドエフェクターが受けないように、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に前記エンドエフェクターを移動させる

ことを特徴とするロボットシステム。

**【請求項 2 0】**

撮像部と、第 1 の物体を保持するエンドエフェクターを有するロボットと、を備え、

前記撮像部の撮像方向において、前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体が重なっていない場合、前記撮像部の撮像結果に基づいて前記第 1 の物体を第 2 の物体に近づける工程と、

前記撮像部の撮像方向において、前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体が重なっている場合、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記エンドエフェクターの位置を制御する工程と、  
30

を有することを特徴とするロボットシステム。

**【請求項 2 1】**

可動部と、

前記可動部の先端に設けられたエンドエフェクターと、  
第 1 の物体と、前記エンドエフェクターが保持する第 2 の物体とを含む画像を取得する画像取得部と、  
40

前記第 1 の物体の表面の任意の位置である第 1 の位置及び前記第 2 の物体の表面の任意の位置である第 2 の位置を認識する画像処理部と、

前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の認識結果に基づいて、異なる制御方法を用いて、前記第 2 の位置を前記第 1 の位置から前記第 1 の物体の内側へ所定の距離だけ離れた第 3 の位置に近づけるように前記可動部を制御する制御部であって、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置が認識できたときは、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の認識結果に基づいて、前記可動部を制御し、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の少なくとも一方が認識で  
50

きなかったときは、前記可動部の先端に加わる力を取得し、当該取得した可動部の先端に加わる力に基づいて前記可動部を制御する制御部と、  
を備えることを特徴とするロボット。

**【請求項 2 2】**

請求項 2 1 に記載のロボットにおいて、  
前記可動部を 2 つ備え、  
前記 2 つの可動部のうちの 1 つが前記第 2 の物体を保持し、前記 2 つの可動部のうちの他の 1 つが前記第 1 の物体を保持する  
ことを特徴とするロボット。

**【請求項 2 3】**

エンドエフェクターと、  
画像を取得する画像取得部と、  
前記画像から第 1 の物体及び前記エンドエフェクターが保持する第 2 の物体を認識する画像処理部と、  
前記画像処理部の認識結果に基づいて、前記第 2 の物体の位置を前記第 1 の物体の位置から所定の距離だけ離れた目標位置に近づけるように、前記エンドエフェクターの位置を制御する制御部と、を備え、  
前記制御部は、前記画像処理部が前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体を認識できたときは、前記第 1 の物体の位置及び前記第 2 の物体の位置に基づいて、前記エンドエフェクターの位置を制御し、前記画像処理部が前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体の少なくとも一方を認識できなかったときは、前記エンドエフェクターに加わる力を取得し、当該取得した力に基づいて前記エンドエフェクターの位置を制御することを特徴とするロボット。

**【請求項 2 4】**

レンズを有する撮像部と、  
第 1 の物体を保持するエンドエフェクターが先端に設けられた可動部と、  
前記撮像部による前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体の撮像結果に基づいて前記第 1 の物体を第 2 の物体に近づけるように前記可動部を制御する制御部と、を備え、  
前記制御部は、前記レンズと前記第 1 の物体とを仮想的に結んだ線上に前記第 2 の物体、前記エンドエフェクター又は前記可動部がある場合には、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する  
ことを特徴とするロボット。

**【請求項 2 5】**

レンズを有する撮像部と、  
第 1 の物体を保持するエンドエフェクターが先端に設けられた可動部と、  
前記撮像部による前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体の撮像結果に基づいて前記第 1 の物体を第 2 の物体に近づけるように前記可動部を制御する制御部と、を備え、  
前記制御部は、前記レンズと前記第 2 の物体とを仮想的に結んだ線上に前記第 1 の物体、前記エンドエフェクター又は前記可動部がある場合には、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する  
ことを特徴とするロボット。

**【請求項 2 6】**

請求項 2 4 又は 2 5 に記載のロボットにおいて、  
前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に、前記エンドエフェクターが受けた力に応じた移動速度及び安定性で前記エンドエフェクターを移動させる  
ことを特徴とするロボット。

**【請求項 2 7】**

請求項 2 4 又は 2 5 に記載のロボットにおいて、  
前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターを移動させる方向以外の力を前記エンドエフェクターが受け

10

20

30

40

50

ないように、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に前記エンドエフェクターを移動させる

ことを特徴とするロボット。

【請求項 28】

撮像部が撮像した画像を取得する画像取得部と、

第1の物体を保持するエンドエフェクターと、

前記第1の物体を第2の物体に近づけるように前記エンドエフェクターの位置を制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記撮像部の撮像方向において前記第1の物体及び前記第2の物体が重なっていない場合には、前記取得した画像に基づいて前記エンドエフェクターを制御し、前記撮像部の撮像方向において前記第1の物体及び前記第2の物体が重なっている場合には、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記エンドエフェクターを制御する

ことを特徴とするロボット。

10

【請求項 29】

請求項 28 に記載のロボットにおいて、

前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に、前記エンドエフェクターが受けた力に応じた移動速度及び安定性で前記エンドエフェクターを移動させる

ことを特徴とするロボット。

20

【請求項 30】

請求項 28 に記載のロボットにおいて、

前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターを移動させる方向以外の力を前記エンドエフェクターが受けないように、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に前記エンドエフェクターを移動させる

ことを特徴とするロボット。

30

【請求項 31】

撮像部が撮像した画像を取得する画像取得部と、第1の物体を保持するエンドエフェクターと、を備え、

前記撮像部の撮像方向において、前記第1の物体及び前記第2の物体が重なっていない場合、前記取得した画像に基づいて前記第1の物体を第2の物体に近づける工程と、

前記撮像部の撮像方向において、前記第1の物体及び前記第2の物体が重なっている場合、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記エンドエフェクターの位置を制御する工程と、

を有することを特徴とするロボット。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ロボット制御方法、ロボット制御装置、ロボットシステム、ロボット及びプログラムに関する。

40

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、ハンドが把持対象物を把持する直前あるいは直後において、前方カメラの撮像情報に基づいた制御から、側方カメラの撮像情報に基づいた制御に切り替えることが開示されている。

【0003】

特許文献 2 には、ワークの位置と姿勢をカメラで計測し、計測結果に基づいてロボットをフィードバック制御し、カメラをワークの移動に追従させるビジュアルサーボ制御と、ビジュアルサーボ制御中にワークがカメラの視野から外れた場合に、認識したワークの最終位置を基にカメラの目標位置と移動速度を変更してワークを再補足する再補足制御と、

50

を行うことが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2011-235386号公報

【特許文献2】特開2011-136377号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1に記載の発明は、ハンドが把持対象物を把持する直前あるいは直後で前方カメラから側方カメラにカメラを切り替えるだけであり、ハンドが把持対象物を把持する直前も直後もビジュアルサーボを行っている。しかしながら、特許文献1に記載の発明では、側方カメラが把持対象物等を見失った場合についての対応については記載されていない。  
。

【0006】

特許文献2に記載の発明は、ワークを見失った場合にもワークを再補足することができる。しかしながら、特許文献2に記載の発明では、ワークの再補足を行ってもワークを認識できない場合についての対応については記載されていない。

【0007】

というのは、特許文献1、2に記載の発明は、ビジュアルサーボにより、対象物を把持する可動部の制御を行うものであるからである。すなわち、特許文献1、2に記載の発明では、ワークや把持対象物が画像から認識できない場合というのは、考慮されていない。

【0008】

しかしながら、ビジュアルサーボの作業中に、ワークや把持対象物が画像から認識できなくなる場合が考えられる。ワークや把持対象物が画像から認識できない場合には、画像に基づいた制御はできなくなる。したがって、この場合には、一般的には、可動部を止める（作業停止）しかない。

【0009】

なお、ワークや把持対象物が画像から認識できない場合に、ワークや把持対象物が最後に認識できた位置にあると推定して作業を続行することも考えられる。しかしながら、この場合には、ワークや把持対象物の推定位置と実際の位置とが異なることにより、作業中にワークや把持対象物が破壊される可能性がある。

【0010】

そこで、本発明は、エンドエフェクターが保持する対象物が画像から認識できない場合にも、安全に作業を継続することができるロボット制御方法、ロボット制御装置、ロボットシステム、ロボット及びプログラムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記課題を解決するための第一の態様は、ロボット制御方法であって、第1の物体と、エンドエフェクターが保持する第2の物体とを含む画像を取得する第1のステップと、前記取得した画像から、前記第1の物体の表面の任意の位置である第1の位置及び前記第2の物体の表面の任意の位置である第2の位置を認識する第2のステップと、前記第2のステップで前記第1の位置及び前記第2の位置が認識できたか否かを判断する第3のステップと、前記第3のステップの判断結果に基づいて、異なる制御方法を用いて、前記第2の位置を前記第1の位置から前記第1の物体の内側へ所定の距離だけ離れた第3の位置に近づけるように、前記エンドエフェクターが先端に設けられた可動部を制御する第4のステップと、を有し、前記第4のステップは、前記第1の位置及び前記第2の位置が認識できたときは、前記第1の位置及び前記第2の位置の認識結果に基づいて前記可動部を制御し、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記可動部の先端に加わる力を取得し、当該取得した可動部の先端に加わる力に基づいて前記

10

20

30

40

50

可動部を制御することを特徴とする。

【0012】

第一の態様によれば、画像から第1の物体の表面の任意の位置である第1の位置及び第2の物体の表面の任意の位置である第2の位置が認識できた場合には、第1の位置及び前記第2の位置の認識結果に基づいて可動部を制御し、画像から第1の位置又は第2の位置が認識できなかった場合は、可動部の先端に加わる力を取得し、当該取得した可動部の先端に加わる力に基づいて可動部を制御する。これにより、エンドエフェクターが保持する対象物が画像から認識できない場合にも、安全に作業を継続することができる。さらに、可動部の先端に加わる力に基づいて可動部を制御することで、画像から認識できない第3の位置に第2の位置を近づけるように可動部を制御することができる。

10

【0013】

ここで、前記第4のステップでは、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、インピーダンス制御により前記可動部を制御してもよい。これにより、第1の物体、第2の物体や可動部に外力がかかる場合においても、第1の物体や第2の物体を破壊することを防止しつつ、確実に可動部を移動させることができる。

【0014】

ここで、前記第4のステップでは、前記第1の位置及び前記第2の位置が認識できたときは、前記第2の位置が第1の量だけ移動するように前記可動部を制御し、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記第2の位置が前記第1の量より小さい第2の量だけ移動するように前記可動部を制御してもよい。これにより、対象物が画像から認識できない場合に、安全に可動部を移動させることができる。

20

【0015】

ここで、前記第3のステップにおいて、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が前記画像に含まれていない場合、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が前記画像の任意の範囲内に含まれていない場合、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が画像処理により認識できなかった場合、及び、前記第1の位置と前記第2の位置との位置関係が設定された範囲外である場合の少なくとも1つであってもよい。これにより、様々な状況に対応して作業を継続ことができる。

30

【0016】

ここで、前記第1のステップでは、前記画像を取得するステップは、前記第1の物体及び前記第2の物体を異なる方向から撮像した2枚の画像を取得し、前記第4のステップでは、前記2枚の画像の少なくとも1枚から前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかった場合には、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときであるとして前記可動部を制御してもよい。これにより、より安全に作業を継続することができる。

【0017】

ここで、前記第4のステップでは、前記第2の位置から前記所定の距離だけ前記第2の物体の内側へ向かう方向へ移動されることにより前記第3の位置を算出し、当該算出された第3の位置へ前記第2の位置を近づけるように前記可動部を制御してもよい。これにより、第2の物体の内部にあって視認できない第3の位置へ可動部を制御することができる。

40

【0018】

ここで、前記第4のステップでは、前記第1の位置及び前記第2の位置が認識できたときは、前記認識結果から前記第2の位置を求め、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記可動部の移動量に基づいて前記第2の位置を求めてよい。これにより、画像から第1の位置又は前記第2の位置が認識できなかった場合にも、第2の位置を求めることができる。

【0019】

上記課題を解決するための第二の態様は、ロボット制御装置であって、第1の物体と、

50

エンドエフェクターが保持する第2の物体とを含む画像を取得する画像取得部と、前記取得した画像から、前記第1の物体の表面の任意の位置である第1の位置及び前記第2の物体の表面の任意の位置である第2の位置を認識する画像処理部と、前記第1の位置及び前記第2の位置の認識結果に基づいて、異なる制御方法を用いて、前記第2の位置を前記第1の位置から前記第1の物体の内側へ所定の距離だけ離れた第3の位置に近づけるように前記エンドエフェクターが先端に設けられた可動部を制御する制御部であって、前記第1の位置及び前記第2の位置が認識できたときは、前記第1の位置及び前記第2の位置の認識結果に基づいて、前記可動部を制御し、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記可動部の先端に加わる力を取得し、当該取得した可動部の先端に加わる力に基づいて前記可動部を制御する制御部と、を備えることを特徴とする。これにより、エンドエフェクターが保持する対象物が画像から認識できない場合にも、安全に作業を継続することができる。さらに、可動部の先端に加わる力に基づいて可動部を制御することで、画像から認識できない第3の位置に第2の位置を近づけるように可動部を制御することができる。

10

#### 【0020】

上記課題を解決するための第三の態様は、ロボット制御装置であって、画像を取得する画像取得部と、前記画像から第1の物体及びエンドエフェクターが保持する第2の物体を認識する画像処理部と、前記画像処理部の認識結果に基づいて、前記第2の物体の位置を前記第1の物体の位置から所定の距離だけ離れた目標位置に近づけるように、前記エンドエフェクターの位置を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記画像処理部が前記第1の物体及び前記第2の物体を認識できたときは、前記第1の物体の位置及び前記第2の物体の位置に基づいて、前記エンドエフェクターの位置を制御し、前記画像処理部が前記第1の物体及び前記第2の物体の少なくとも一方を認識できなかったときは、前記エンドエフェクターに加わる力を取得し、当該取得した力に基づいて前記エンドエフェクターの位置を制御することを特徴とする。これにより、エンドエフェクターが保持する対象物が画像から認識できない場合にも、安全に作業を継続することができる。

20

#### 【0021】

上記課題を解決するための第四の態様は、ロボットシステムであって、可動部及び前記可動部の先端に設けられたエンドエフェクターを有するロボットと、第1の物体と、前記可動部が保持する第2の物体とを含む画像を撮像する撮像部と、前記第1の物体の表面の任意の位置である第1の位置及び前記第2の物体の表面の任意の位置である第2の位置を認識する画像処理部と、前記第1の位置及び前記第2の位置の認識結果に基づいて、異なる制御方法を用いて、前記第2の位置を前記第1の位置から前記第1の物体の内側へ所定の距離だけ離れた第3の位置に近づけるように前記可動部を制御する制御部であって、前記第1の位置及び前記第2の位置が認識できたときは、前記第1の位置及び前記第2の位置の認識結果に基づいて、前記可動部を制御し、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記可動部の先端に加わる力を取得し、当該取得した可動部の先端に加わる力に基づいて前記可動部を制御する制御部と、を備えることを特徴とする。これにより、エンドエフェクターが保持する対象物が画像から認識できない場合にも、安全に作業を継続することができる。

30

#### 【0022】

ここで、前記撮像部は、前記第1の物体と前記第2の物体とを異なる方向から撮像する2つの撮像装置を有し、前記画像処理部は、前記2つの撮像装置のそれぞれで撮像された2枚の画像から前記第1の位置及び前記第2の位置を認識し、かつ、前記2つの撮像装置の少なくとも1つで撮像された画像から前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかった場合は、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかった場合としてもよい。これにより、より安全に作業を継続することができる。

40

#### 【0023】

上記課題を解決するための第五の態様は、ロボットシステムであって、エンドエフェク

50

ターを有するロボットと、画像を取得する画像取得部と、前記画像から第1の物体及び前記エンドエフェクターが保持する第2の物体を認識する画像処理部と、前記画像処理部の認識結果に基づいて、前記第2の物体の位置を前記第1の物体の位置から所定の距離だけ離れた目標位置に近づけるように、前記エンドエフェクターの位置を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記画像処理部が前記第1の物体及び前記第2の物体を認識できたときは、前記第1の物体の位置及び前記第2の物体の位置に基づいて、前記エンドエフェクターの位置を制御し、前記画像処理部が前記第1の物体及び前記第2の物体の少なくとも一方を認識できなかったときは、前記エンドエフェクターに加わる力を取得し、当該取得した力に基づいて前記エンドエフェクターの位置を制御することを特徴とする。これにより、エンドエフェクターが保持する対象物が画像から認識できない場合にも、安全に作業を継続することができる。

10

#### 【0024】

上記課題を解決するための第六の態様は、ロボットシステムであって、第1の物体を保持するエンドエフェクターが先端に設けられた可動部を有するロボットと、レンズを有する撮像部と、前記撮像部による前記第1の物体及び前記第2の物体の撮像結果に基づいて前記第1の物体を第2の物体に近づけるように前記可動部を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記レンズと前記第1の物体とを仮想的に結んだ線上に前記第2の物体、前記エンドエフェクター又は前記可動部がある場合には、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御することを特徴とする。これにより、レンズからみて第1の物体が他の物体と重なっている場合、すなわち画像上で第1の物体が他の物体に覆われている場合にも、安全に作業を継続することができる。

20

#### 【0025】

上記課題を解決するための第七の態様は、ロボットシステムであって、第1の物体を保持するエンドエフェクターが先端に設けられた可動部を有するロボットと、レンズを有する撮像部と、前記撮像部による前記第1の物体及び前記第2の物体の撮像結果に基づいて前記第1の物体を第2の物体に近づけるように前記可動部を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記レンズと前記第2の物体とを仮想的に結んだ線上に前記第1の物体、前記エンドエフェクター又は前記可動部がある場合には、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御することを特徴とする。これにより、レンズからみて第2の物体が他の物体と重なっている場合、すなわち画像上で第2の物体が他の物体に覆われている場合にも、安全に作業を継続することができる。

30

#### 【0026】

ここで、前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に、前記エンドエフェクターが受けた力に応じた移動速度及び安定性で前記エンドエフェクターを移動させてもよい。これにより、物体やロボットを破壊することを防止しつつ、ロボットに作業を行なわることができる。

#### 【0027】

ここで、前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターを移動させる方向以外の力を前記エンドエフェクターが受けないように、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に前記エンドエフェクターを移動させてもよい。これにより、物体やロボットを破壊することを防止しつつ、ロボットに作業を行なわることができる。

40

#### 【0028】

上記課題を解決するための第八の態様は、ロボットシステムであって、撮像部と、第1の物体を保持するエンドエフェクターを有するロボットと、前記第1の物体を第2の物体に近づけるように前記エンドエフェクターの位置を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記撮像部の撮像方向において前記第1の物体及び前記第2の物体が重なっていない場合には、前記撮像部の撮像結果に基づいて前記エンドエフェクターを制御し、前記撮像部の撮像方向において前記第1の物体及び前記第2の物体が重なっている場合には、前

50

記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記エンドエフェクターを制御することを特徴とする。これにより、撮像部の撮像方向において第1の物体及び第2の物体が重なっている場合、すなわち画像上で第1の物体と第2の物体とが重なっている場合にも、安全に作業を継続することができる。

【0029】

ここで、前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に、前記エンドエフェクターが受けた力に応じた移動速度及び安定性で前記エンドエフェクターを移動させてよい。これにより、物体やロボットを破壊することを防止しつつ、ロボットに作業を行なわることができる。

10

【0030】

ここで、前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターを移動させる方向以外の力を前記エンドエフェクターが受けないように、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に前記エンドエフェクターを移動させてもよい。これにより、物体やロボットを破壊することを防止しつつ、ロボットに作業を行なわることができます。

【0031】

上記課題を解決するための第九の態様は、ロボットシステムであって、撮像部と、第1の物体を保持するエンドエフェクターを有するロボットと、を備え、前記撮像部の撮像方向において、前記第1の物体及び前記第2の物体が重なっていない場合、前記撮像部の撮像結果に基づいて前記第1の物体を第2の物体に近づける工程と、前記撮像部の撮像方向において、前記第1の物体及び前記第2の物体が重なっている場合、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記エンドエフェクターの位置を制御する工程と、を有することを特徴とする。これにより、撮像部の撮像方向において第1の物体及び第2の物体が重なっている場合、すなわち画像上で第1の物体と第2の物体とが重なっている場合にも、安全に作業を継続することができる。

20

【0032】

上記課題を解決するための第十の態様は、ロボットであって、可動部と、前記可動部の先端に設けられたエンドエフェクターと、第1の物体と、前記エンドエフェクターが保持する第2の物体とを含む画像を取得する画像取得部と、前記第1の物体の表面の任意の位置である第1の位置及び前記第2の物体の表面の任意の位置である第2の位置を認識する画像処理部と、前記第1の位置及び前記第2の位置の認識結果に基づいて、異なる制御方法を用いて、前記第2の位置を前記第1の位置から前記第1の物体の内側へ所定の距離だけ離れた第3の位置に近づけるように前記可動部を制御する制御部であって、前記第1の位置及び前記第2の位置が認識できたときは、前記第1の位置及び前記第2の位置の認識結果に基づいて、前記可動部を制御し、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記可動部の先端に加わる力を取得し、当該取得した可動部の先端に加わる力に基づいて前記可動部を制御する制御部と、を備えることを特徴とする。これにより、エンドエフェクターが保持する対象物が画像から認識できない場合にも、安全に作業を継続することができる。

30

【0033】

ここで、前記可動部を2つ備え、前記2つの可動部のうちの1つが前記第2の物体を保持し、前記2つの可動部のうちの他の1つが前記第1の物体を保持してもよい。これにより、2つの可動部のそれぞれが保持する2つの対象物を組み合わせる等の作業を、エンドエフェクターが保持する対象物が画像から認識できない場合にも、安全に作業を継続することができる。

40

【0034】

上記課題を解決するための第十一の態様は、ロボットであって、エンドエフェクターと、画像を取得する画像取得部と、前記画像から第1の物体及び前記エンドエフェクターが保持する第2の物体を認識する画像処理部と、前記画像処理部の認識結果に基づいて、前

50

記第2の物体の位置を前記第1の物体の位置から所定の距離だけ離れた目標位置に近づけるように、前記エンドエフェクターの位置を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記画像処理部が前記第1の物体及び前記第2の物体を認識できたときは、前記第1の物体の位置及び前記第2の物体の位置に基づいて、前記エンドエフェクターの位置を制御し、前記画像処理部が前記第1の物体及び前記第2の物体の少なくとも一方を認識できなかったときは、前記エンドエフェクターに加わる力を取得し、当該取得した力に基づいて前記エンドエフェクターの位置を制御することを特徴とする。これにより、エンドエフェクターが保持する対象物が画像から認識できない場合にも、安全に作業を継続することができる。

## 【0035】

10

上記課題を解決するための第十二の態様は、ロボットであって、レンズを有する撮像部と、第1の物体を保持するエンドエフェクターが先端に設けられた可動部と、前記撮像部による前記第1の物体及び前記第2の物体の撮像結果に基づいて前記第1の物体を第2の物体に近づけるように前記可動部を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記レンズと前記第1の物体とを仮想的に結んだ線上に前記第2の物体、前記エンドエフェクター又は前記可動部がある場合には、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御することを特徴とする。これにより、レンズから見て第1の物体が他の物体と重なっている、すなわち画像上で第1の物体が他の物体に覆われている場合にも、安全に作業を継続することができる。

## 【0036】

20

上記課題を解決するための第十三の態様は、ロボットであって、レンズを有する撮像部と、第1の物体を保持するエンドエフェクターが先端に設けられた可動部と、前記撮像部による前記第1の物体及び前記第2の物体の撮像結果に基づいて前記第1の物体を第2の物体に近づけるように前記可動部を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記レンズと前記第2の物体とを仮想的に結んだ線上に前記第1の物体、前記エンドエフェクター又は前記可動部がある場合には、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御することを特徴とする。これにより、レンズから見て第2の物体が他の物体と重なっている、すなわち画像上で第2の物体が他の物体に覆われている場合にも、安全に作業を継続することができる。

## 【0037】

30

ここで、前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に、前記エンドエフェクターが受けた力に応じた移動速度及び安定性で前記エンドエフェクターを移動させてもよい。これにより、物体やロボットを破壊することを防止しつつ、ロボットに作業を行なわることができる。

## 【0038】

ここで、前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターを移動させる方向以外の力を前記エンドエフェクターが受けないように、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に前記エンドエフェクターを移動させててもよい。これにより、物体やロボットを破壊することを防止しつつ、ロボットに作業を行なわることができる。

## 【0039】

40

上記課題を解決するための第十四の態様は、ロボットであって、撮像部が撮像した画像を取得する取得部と、第1の物体を保持するエンドエフェクターと、前記第1の物体を第2の物体に近づけるように前記エンドエフェクターの位置を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記撮像部の撮像方向において前記第1の物体及び前記第2の物体が重なっていない場合には、前記取得した画像に基づいて前記エンドエフェクターを制御し、前記撮像部の撮像方向において前記第1の物体及び前記第2の物体が重なっている場合には、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記エンドエフェクターを制御することを特徴とする。これにより、撮像部の撮像方向において第1の物体及び第2の物体が重な

50

っている場合、すなわち画像上で第1の物体と第2の物体とが重なっている場合にも、安全に作業を継続することができる。

**【0040】**

ここで、前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に、前記エンドエフェクターが受けた力に応じた移動速度及び安定性で前記エンドエフェクターを移動させてもよい。これにより、物体やロボットを破壊することを防止しつつ、ロボットに作業を行なわることができる。

**【0041】**

ここで、前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターを移動させる方向以外の力を前記エンドエフェクターが受けないように、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に前記エンドエフェクターを移動させてもよい。これにより、物体やロボットを破壊することを防止しつつ、ロボットに作業を行なわることができる。

**【0042】**

上記課題を解決するための第十五の態様は、ロボットであって、撮像部と、第1の物体を保持するエンドエフェクターと、を備え、前記撮像部の撮像方向において、前記第1の物体及び前記第2の物体が重なっていない場合、前記撮像部の撮像結果に基づいて前記第1の物体を第2の物体に近づける工程と、前記撮像部の撮像方向において、前記第1の物体及び前記第2の物体が重なっている場合、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記エンドエフェクターの位置を制御する工程と、を有することを特徴とする。これにより、撮像部の撮像方向において第1の物体及び第2の物体が重なっている場合、すなわち画像上で第1の物体と第2の物体とが重なっている場合にも、安全に作業を継続することができる。

**【図面の簡単な説明】**

**【0043】**

**【図1】**本発明の第1の実施形態におけるロボットシステム1の構成の一例を示す図である。

**【図2】**ロボットシステム1の機能構成の一例を示すブロック図である。

**【図3】**可動部を駆動する処理の一例を説明する図である。

**【図4】**ロボット制御部20のハードウェア構成の一例を示す図である。

**【図5】**可動部を駆動する処理の流れの一例を示すフローチャートである。

**【図6】**本発明の第2の実施形態におけるロボットシステム2の構成の一例を示す図である。

**【図7】**本発明の第1の実施形態及び第2の実施の形態の変形例であり、ロボットと作業者とが同一の製品に対して順番に作業を行う場合に撮像部を天井に設ける形態である。

**【図8】**本発明の第1の実施形態及び第2の実施の形態の変形例であり、ロボットが1つの生産セル内で作業を行う場合に撮像部を天井に設ける形態である。

**【図9】**本発明の第1の実施形態及び第2の実施の形態の変形例であり、ロボットの頭に相当する部分に撮像部を設ける形態である。

**【図10】**本発明の第1の実施形態及び第2の実施の形態の変形例であり、アームの先端に撮像部を設ける形態である。

**【図11】**本発明の第1の実施形態及び第2の実施の形態の変形例であり、アームの先端に撮像部を設ける形態である。

**【発明を実施するための形態】**

**【0044】**

本発明の一実施形態について、図面を参照しながら説明する。

**【0045】**

<第1の実施形態>

図1は、本発明の一実施形態におけるロボットシステム1の構成の一例を示すシステム

10

20

30

40

50

構成図である。本実施形態におけるロボットシステム1は、主として、ロボット10と、ロボット制御部20と、第1撮像部30と、第2撮像部40とを備える。

#### 【0046】

ロボット10は、複数のジョイント（関節）12と、複数のリンク13とを含むアーム11（可動部に相当）を有するアーム型のロボットである。アーム11の先端には、対象物（ワーク）を持続したり、道具を把持して対象物に対して所定の作業を行ったりすることが可能なハンド14（いわゆるエンドエフェクター又は手先効果器）が設けられる。

#### 【0047】

ジョイント12及びハンド14には、それらを動作させるためのアクチュエーター（図示せず）が設けられる。アクチュエーターは、例えば、サーボモーターやエンコーダーなどを備える。エンコーダーが出力するエンコーダー値は、ロボット制御部20によるロボット10のフィードバック制御に使用される。

10

#### 【0048】

また、ハンド14の内部又はアーム11の先端等には、力覚センサー（図示せず）が設けられる。力覚センサーは、ハンド14に加わる力を検出する。力覚センサーとしては、例えば、並進3軸方向の力成分と、回転3軸回りのモーメント成分の6成分を同時に検出することができる6軸力覚センサーを用いることができる。また、力覚センサーで使用される物理量は、電流、電圧、電荷量、インダクタンス、ひずみ、抵抗、電磁誘導、磁気、空気圧、光等である。力覚センサーは、所望の物理量を電気信号に変換することにより、6成分を検出可能である。なお、力覚センサーは、6軸に限らず、例えば3軸でもよい。また、力覚センサーを設ける位置は、ハンド14に加わる力を検出できるのであれば、特に限定されるものではない。

20

#### 【0049】

なお、ロボット10の構成は、本実施形態の特徴を説明するにあたって主要構成を説明したのであって、上記の構成に限られない。一般的な把持ロボットが備える構成を排除するものではない。例えば、図1では6軸のアームが示されているが、軸数（ジョイント数）をさらに増加させてもよいし、減らしてもよい。リンクの数を増減させてもよい。また、アーム、ハンド、リンク、ジョイント等の各種部材の形状、大きさ、配置、構造等も適宜変更してよい。また、エンドエフェクターはハンド14に限られない。また、配置空間を作ることの出来るロボットであれば、どのような態様のロボット、例えば自走式のロボットにも適用することもできる。

30

#### 【0050】

ロボット制御部20は、ロボット10の全体を制御する処理を行う。ロボット制御部20は、ロボット10の本体とは離れた場所に設置してもよいし、ロボット10等に内蔵してもよい。ロボット制御部20がロボット10の本体と離れた場所に設置されている場合には、ロボット制御部20は、有線又は無線でロボット10と接続される。

30

#### 【0051】

第1撮像部30及び第2撮像部40は、ロボット10の作業領域付近をそれぞれ異なる角度から撮像して、画像データを生成するユニットである。第1撮像部30及び第2撮像部40は、例えば、カメラを含み、作業台、天井、壁などに設けられる。第1撮像部30及び第2撮像部40としては、可視光カメラ、赤外線カメラ等を採用することができる。第1撮像部30及び第2撮像部40は複数のレンズを有し、レンズの光軸に沿った所定の領域内の対象物の画像を取得する。

40

#### 【0052】

第1撮像部30及び第2撮像部40はロボット制御部20に接続され、第1撮像部30及び第2撮像部40により撮像された画像はロボット制御部20に入力される。なお、第1撮像部30及び第2撮像部40は、ロボット制御部20ではなくロボット10に接続されるようにしてもよいし、ロボット10に内蔵されるようにしてもよい。この場合には、第1撮像部30及び第2撮像部40により撮像された画像は、ロボット10を介してロボット制御部20に入力される。

50

**【 0 0 5 3 】**

次に、ロボットシステム1の機能構成例について説明する。図2は、ロボット制御部20の機能ブロック図の一例である。

**【 0 0 5 4 】**

ロボット10は、アクチュエーターのエンコーダー値、及びセンサーのセンサー値等に基づいてアーム11及びハンド14を制御する動作制御部101を備える。

**【 0 0 5 5 】**

動作制御部101は、ロボット制御部20から出力された情報、アクチュエーターのエンコーダー値、及びセンサーのセンサー値等に基づいてアーム11及びハンド14を制御する。例えば、動作制御部101は、ロボット制御部20から出力された移動方向及び移動量でアーム11を移動させるように、アクチュエーターを駆動させる。本実施の形態では、ハンド14がワークB(第2の物体に相当)を把持し、ワークBの表面にある軌道点B1(第2の位置に相当)が基準ワークA(第1の物体に相当)の表面にある目標位置A1(第3の位置に相当)に到達するように、動作制御部101がアーム11を駆動させる。

10

**【 0 0 5 6 】**

なお、本実施の形態では、基準ワークAが床等に載置されているため、基準ワークAを基準ワークとしている。しかしながら、基準ワークは制御の説明上、便宜的に定義したものである。基準ワークは、目標位置を定めることができない物体であればよく、特に限定されるものではない。また、この基準という表現は、ワークの形状、大きさ、位置等に関するものではない。

20

**【 0 0 5 7 】**

ロボット制御部20は、主として、画像取得部200と、画像処理部201と、目標位置算出部203と、制御部205と、サーボシステム206とを備える。また、画像処理部201は、基準ワーク認識部202と、ワーク認識部204とを有する。

**【 0 0 5 8 】**

画像取得部200は、第1撮像部30が撮像した画像(以下、第1画像という)及び第2撮像部40が撮像した画像(以下、第2画像という)を取得する。画像取得部200が取得した第1画像及び第2画像は、画像処理部201に出力される。

**【 0 0 5 9 】**

30

画像処理部201は、画像取得部200から出力された第1画像及び第2画像から、基準ワークA及びワークBを認識し、かつ目標位置A1及び軌道点B1を認識する。

**【 0 0 6 0 】**

ここで、第1画像及び第2画像から基準ワークA及びワークB(目標位置A1及び軌道点B1)が認識できる場合とは、第1撮像部30及び第2撮像部40のレンズと基準ワークA及びワークB(目標位置A1及び軌道点B1)とを結ぶ線上に他の物体(基準ワークA、ワークB、アーム11等)が含まれない場合である。この場合には、レンズから見て基準ワークA及びワークB(目標位置A1及び軌道点B1)が他の物体と重なっておらず、第1画像及び第2画像に基準ワークA及びワークB(目標位置A1及び軌道点B1)が含まれている。

40

**【 0 0 6 1 】**

第1画像及び第2画像から基準ワークA及びワークB(目標位置A1及び軌道点B1)が認識できない場合とは、第1撮像部30及び第2撮像部40のレンズと基準ワークA及びワークB(目標位置A1及び軌道点B1)とを結ぶ線上に他の物体が含まれる場合、すなわち基準ワークA及びワークB(目標位置A1及び軌道点B1)よりレンズ側に他の物体がある場合である。具体的には、基準ワークAよりレンズ側にアーム11、ハンド14、ワークBのいずれかがある場合や、ワークBよりレンズ側にアーム11、ハンド14、基準ワークAのいずれかがある場合である。この場合には、レンズから見て基準ワークA及びワークB(目標位置A1及び軌道点B1)が他の物体と重なっている。したがって、第1画像及び第2画像においては、基準ワークA及びワークB(目標位置A1及び軌道点

50

B 1 ) が他の物体により覆われており、視認できない。

【 0 0 6 2 】

なお、ここでいう「レンズ」とは、最も撮影対象物に近いレンズ(一般的には対物レンズ)を想定しているが、撮像部を構成する全てのレンズが対象に含まれる。なお、第1撮像部30及び第2撮像部40が屈曲光学系を採用している場合には、光軸を折り曲げる光学要素より対物レンズ側(像素子から遠い側)のレンズが対象に含まれる。また、対物レンズの前面にカバーガラスが設けられている場合には、カバーガラスも対象に含まれる。

【 0 0 6 3 】

また、ここでいう、レンズから見て基準ワークA及びワークB(目標位置A1及び軌道点B1)が他の物体と重なっている場合とは、全部が重なる場合と一部が重なる場合が含まれる。また、全部が重なる場合には、ぴったり重なる場合と、背後に隠れてしまう場合が含まれる。

【 0 0 6 4 】

基準ワーク認識部202は、画像取得部200から出力された第1画像及び第2画像から、基準ワークA及び目標位置A1が算出可能な画像情報を認識する。

【 0 0 6 5 】

図3は、第1画像の例であり、(A)は目標位置A1が算出可能な画像情報が検出できる場合、(B)は目標位置A1が算出可能な画像情報が検出できない場合を示す。

【 0 0 6 6 】

本実施の形態では、図1に示すように、目標位置A1は穴の底であり、画像で直接視認することはできない。しかしながら、穴の深さが分かっている(例えば、メモリー22(後に説明)等に記憶されている)ため、穴の開口部A2(第1の位置に相当)の位置が分かれれば目標位置A1は算出可能である。したがって、基準ワーク認識部202は、開口部A2を含む画像A3(図3(A)参照)を目標位置A1が算出可能な画像情報として第1画像及び第2画像から検出する。そして、基準ワーク認識部202は、画像A3から開口部A2を認識する。

【 0 0 6 7 】

図3(A)に示すように、開口部A2が視認できる場合には、画像A3を検出することができる。それに対し、図3(B)に示すように、開口部A2が他の部材(ここでは、ワークB)により覆われており開口部A2が視認できない場合には画像A3が検出できない。したがって、画像A3は、開口部A2を含む最少範囲の画像とすることが望ましい。

【 0 0 6 8 】

なお、基準ワーク認識部202が行う画像認識処理は、特に限定されるものではなく、すでに公知の様々な技術を用いることができるため、説明を省略する。

【 0 0 6 9 】

基準ワーク認識部202は、第1画像及び第2画像から開口部A2が認識された場合には、開口部A2の位置を示す情報を目標位置算出部203に出力する。また、基準ワーク認識部202は、第1画像又は第2画像から開口部A2が認識されなかった場合には、目標位置算出部203には何も出力されない。

【 0 0 7 0 】

目標位置算出部203は、目標位置A1が算出可能である場合には、画像A3から開口部A2を検出する。また、目標位置算出部203は、検出した開口部A2の位置と、穴の深さの情報とに基づいて、目標位置A1がどこであるかを示す情報(以下、目標位置A1の位置情報という)を算出する。算出された目標位置A1の位置情報は、制御部205に出力される。

【 0 0 7 1 】

本実施の形態では、穴の断面は円形であるため、目標位置算出部203は、開口部A2の中心位置から穴の深さだけ基準ワークAの内側へ向かう方向へ移動(図1、3に示す場合は下方向へ移動)させた位置を、目標位置A1の位置と算出する。

10

20

30

40

50

## 【0072】

なお、本実施の形態では、円形の穴の開口部 A 2 と穴の深さとから目標位置 A 1 を算出したが、目標位置は穴の底とは限らず、様々な形態が考えられる。ただし、いかなる形態においても、目標位置は視認できない。したがって、本発明では、ワークの表面に露出した指標となる位置と、あらかじめ分かっている指標と目標位置との距離（所定の距離に相当）とから、目標位置を算出する。また、開口部 A 2 の形状もこれに限らず、様々な形態が考えられる。ただし、開口部 A 2 は、基準ワーク A の表面の任意の位置であることは変わらない。また、目標位置 A 1 は、基準ワーク A の表面の任意の位置から、基準ワーク A の表面の任意の位置と目標位置との距離だけ基準ワーク A の内側へ離れた位置であることは変わりない。

10

## 【0073】

ワーク認識部 204 は、画像取得部 200 から出力された第 1 画像及び第 2 画像から、ワーク B 及び軌道点 B 1 を検出する。本実施の形態では、軌道点 B 1 は、ワーク B の先端である。したがって、ワーク認識部 204 は、図 3 (A) に示すように、ワーク B 先端（軌道点 B 1）を含む画像 B 2 を第 1 画像及び第 2 画像から検出する。そして、ワーク認識部 204 は、画像 B 2 から軌道点 B 1 を認識する。

## 【0074】

本実施の形態では、ワーク B は円柱形である。したがって、ワーク認識部 204 は、先端の径方向の中心位置を軌道点 B 1 とする。なお、ワーク B の断面形状は円形に限らず、基準ワーク A の開口部 A 2 と同じ形状であれば、どのような形状でもよい。また、ワーク B の形状に応じて、軌道点 B 1 の位置も様々な位置となり得る。ただし、軌道点 B 1 は、ワーク B の表面の任意の位置であることは変わらない。

20

## 【0075】

図 3 (A) に示すように、軌道点 B 1 が視認できる場合には、画像 B 2 を検出することができる。それに対し、図 3 (B) に示すように、軌道点 B 1 が他の部材（ここでは、基準ワーク A）により覆われており軌道点 B 1 が視認できない場合には画像 B 2 が検出できない。なお、画像 B 2 は、軌道点 B 1 を含む最少範囲の画像とすることが望ましい。

20

## 【0076】

ワーク認識部 204 は、第 1 画像及び第 2 画像から画像 B 2 が認識できた場合には、画像 B 2 から軌道点 B 1 を検出する。そして、ワーク認識部 204 は、軌道点 B 1 の位置を示す情報を制御部 205 に出力する。ワーク認識部 204 は、第 1 画像又は第 2 画像から画像 B 2 が認識できなかった場合には、制御部 205 に何も出力しない。

30

## 【0077】

なお、ワーク認識部 204 が行う画像認識処理は、特に限定されるものではなく、すでに公知の様々な技術を用いることができるため、説明を省略する。

## 【0078】

制御部 205 は、基準ワーク認識部 202、目標位置算出部 203、ワーク認識部 204 から出力された情報に基づいて、開口部 A 2 及び軌道点 B 1 が認識できた場合と、そうでない場合とで、異なる制御方法を用いてアーム 11 及びハンド 14 等を制御する。具体的には、制御部 205 は、基準ワーク認識部 202、ワーク認識部 204 からの出力に基づいて、開口部 A 2 及び軌道点 B 1 が認識できたか否かを判断する。また、制御部 205 は、判断結果に基づいて、ビジュアルサーボを用いるか、インピーダンス制御を用いるかの切り替えを行う。そして、制御部 205 は、目標位置算出部 203 から出力された目標位置に、軌道点 B 1 を近づけるようにハンド 14 が把持するワーク B を移動させ、目標位置に軌道点 B 1 を一致させるようとする。

40

## 【0079】

なお、ビジュアルサーボは、目標物との相対的な位置の変化を視覚情報として計測し、それをフィードバック情報として用いることによって目標物を追跡する制御手法である。本実施の形態では、ステレオ視などの方法を用いて計算した対象の 3 次元位置情報に基づいてロボットを制御する位置ベース法を採用する。

50

## 【0080】

また、インピーダンス制御は、ロボットの手先（ハンド14）に外から力を加えた場合に生じる機械的なインピーダンス（慣性、減衰係数、剛性）を、目的とする作業に都合の良い値に設定するための位置と力の制御手法である。例えば、減衰係数を低く設定した場合、軽い力でロボットが動作するため移動が容易である反面、安定性が低く、位置決めなど精密な動作には不適な特性となる。ここで、安定性が低いとは、移動後に目標位置での停止が難しい、ロボットが他の物体に強い力（破壊する可能性がある力）で接触してしまう等を意味する。一方、減衰係数を高く設定した場合、抵抗が大きくなり移動が困難になる反面、安定性が高くなり、位置決めなど精密な動作に適した特性となる。ここで、安定性が高いとは、移動後に目標位置での停止が容易、ロボットが他の物体に接触する場合においても適切な接触強度で接触する等を意味する。

10

## 【0081】

インピーダンス制御を用いる場合には、機械的なインピーダンス（柔らかさ）を適切な目標値に設定する事によって、外力と同じ方向に、マニピュレーターが受ける外力に応じた適切な柔らかさ（移動速度、安定性等）で作業を行なわることができる。これにより、ワークやロボット自体を破壊することを防止する、もしくはワークやロボット自体を破壊する可能性を低減することができる。本実施の形態では、手先の位置、速度、力などの測定値を用いたフィードバック制御でインピーダンスを変更する能動インピーダンス法を採用する。

20

## 【0082】

なお、ビジュアルサーボ、インピーダンス制御は、すでに公知の制御手法であるため、詳細な説明を省略する。

## 【0083】

制御部205は、ビジュアルサーボの場合には、仮想変位V（第1の量に相当）だけ軌道点B1を移動させるように、軌道点B1の移動量及び移動方向を算出する。また、制御部205は、インピーダンス制御の場合には、仮想変位I（第2の量に相当）だけ軌道点B1を移動させるように、軌道点B1の移動量及び移動方向を算出する。仮想変位V、Iとは、軌道点B1、すなわちハンド14の変位である。なお、仮想変位Iは、仮想変位Vより小さく設定されている。制御部205が行う処理の詳細については、後に詳述する。

30

## 【0084】

サーボシステム206は、制御部205から出力された情報に基づいてアーム11を制御するように、動作制御部101に情報を出力する。これにより、ハンド14の位置及び向き等が変更可能となる。

## 【0085】

また、サーボシステム206は、制御部205がインピーダンス制御を用いる場合には、動作制御部101によるアーム11の制御による軌道点B1、すなわちハンド14の各方向成分の移動量を制御部205へ出力する。さらに、サーボシステム206は、作業が終了していない場合には、第1画像及び第2画像を撮像するように、第1撮像部30及び第2撮像部40に指示を出力する。サーボシステム206が行う処理の詳細については、後に詳述する。

40

## 【0086】

図4は、ロボット制御部20の概略構成の一例を示すブロック図である。図示するように、例えばコンピューターなどで構成されるロボット制御部20は、演算装置であるCPU(Central Processing Unit)21と、揮発性の記憶装置であるRAM(Random Access Memory)や不揮発性の記憶装置であるROM(Read only Memory)からなるメモリー22と、外部記憶装置23と、ロボット10等の外部の装置と通信を行う通信装置24と、マウスやキーボード等の入力装置25と、ディスプレイ等の出力装置26と、ロボット制御部20と他のユニットを接続するインターフェイス(I/F)27とを備える。

50

## 【0087】

上記の各機能部は、例えば、CPU21がメモリー22等に格納された所定のプログラムをメモリー22等に読み出して実行することにより実現される。なお、所定のプログラムは、例えは、予めメモリー22等にインストールされてもよいし、通信装置24を介してネットワークからダウンロードされてインストール又は更新されてもよい。

#### 【0088】

以上のロボットシステム1の構成は、本実施形態の特徴を説明するにあたって主要構成を説明したのであって、上記の構成に限られない。例えは、ロボット10がロボット制御部20や第1撮像部30及び第2撮像部40を備えていてもよい。また、一般的なロボットシステムが備える構成を排除するものではない。

#### 【0089】

次に、本実施形態における、上記構成からなるロボットシステム1の特徴的な処理について説明する。

#### 【0090】

図5は、本発明のアーム11及びハンド14の制御処理の流れを示すフローチャートである。この処理は、任意のタイミングで、例えは、図示しないボタン等を介してビジュアルサーボの開始指示が入力されることにより開始される。本実施の形態では、ロボット10がワークBであるピンを、基準ワークAの穴に圧入する圧入作業を例に説明する。

#### 【0091】

画像取得部200は、第1撮像部30及び第2撮像部40から第1画像及び第2画像を取得する(ステップS100)。取得された画像データは、基準ワーク認識部202及びワーク認識部204に出力される。

#### 【0092】

基準ワーク認識部202は、第1画像及び第2画像から基準ワークAの開口部A2を認識する(ステップS102)。そして、基準ワーク認識部202は、開口部A2が認識できたか否かを判断する(ステップS104)。

#### 【0093】

開口部A2が認識できたと判断された場合(ステップS104でYES)には、基準ワーク認識部202は、開口部A2の位置を示す情報を目標位置算出部203に出力する。目標位置算出部203は、取得した情報に基づいて目標位置A1の位置情報を更新する(ステップS106)。

#### 【0094】

ワーク認識部204は、第1画像及び第2画像からワークBの軌道点B1を認識する(ステップS108)。そして、ワーク認識部204は、軌道点B1が認識できたか否かを判断する(ステップS110)。

#### 【0095】

軌道点B1が認識できた場合(ステップS110でYES)には、ワーク認識部204は、軌道点B1の位置を示す情報を制御部205に出力する。また、制御部205は、ビジュアルサーボによりアーム11を制御する(ステップS112)。以下、ビジュアルサーボによりアーム11を制御する方法を、詳細に説明する。

#### 【0096】

制御部205は、ワーク認識部204から出力された情報に基づいて、軌道点B1の位置がどこであるかを示す情報(以下、軌道点B1の位置情報という)を算出する。そして、制御部205は、算出された軌道点B1の位置情報と、目標位置算出部203から取得した目標位置A1の位置情報に基づいて、軌道点B1の仮想変位Vと移動方向とを算出する。制御部205は、ビジュアルサーボにより軌道点B1、すなわちハンド14を仮想変位Vだけ算出された移動方向へ移動させることを示す情報を、サーボシステム206に出力する。

#### 【0097】

サーボシステム206は、制御部205から出力された情報に基づいて、軌道点B1、すなわちハンド14の移動方向及び移動量を求める。具体的には、仮想変位Vを各方向(

10

20

30

40

50

$x$  方向、 $y$  方向、 $z$  方向) 成分に分解することにより、 $x$  方向の移動量、 $y$  方向の移動量、 $z$  方向の移動量を算出する。そして、サーボシステム 206 は、ビジュアルサーボにより、算出された移動量だけハンド 14 を $x$  方向、 $y$  方向、 $z$  方向に移動させるように、動作制御部 101 へ指示を出力する。

#### 【0098】

動作制御部 101 は、サーボシステム 206 から出力された指示に基づいて、アーム 11 を移動させる。これにより、ビジュアルサーボによりアーム 11 を制御するステップ(ステップ S112)が終了する。

#### 【0099】

軌道点 B1 が認識できなかった場合(ステップ S110 で NO)には、制御部 205 は、インピーダンス制御によりアーム 11 を制御する(ステップ S114)。以下、インピーダンス制御によりアーム 11 を制御する方法を、詳細に説明する。

#### 【0100】

制御部 205 は、ワーク認識部 204 及びサーボシステム 206 から出力された情報に基づいて、軌道点 B1 の位置情報を算出する。具体的には、制御部 205 は、ワーク認識部 204 から最後に取得した情報、すなわち最後に認識された軌道点 B1 の位置に、サーボシステム 206 から出力されたハンド 14 の各方向成分の移動量を加算して、現在の軌道点 B1 の位置情報を算出する。そして、制御部 205 は、算出された軌道点 B1 の位置情報と、目標位置算出部 203 から取得した目標位置 A1 の位置情報とに基づいて、軌道点 B1、すなわちハンド 14 の仮想変位 I と移動方向とを算出する。

#### 【0101】

インピーダンス制御は、画像から軌道点 B1(又は開口部 A2)が検出できない場合に行うものである。したがって、基準ワーク A とワーク B とがぶつかっている可能性もある。したがって、より安全に作業を行うため、インピーダンス制御の時の仮想変位 I は、仮想変位 V より小さく設定している。

#### 【0102】

制御部 205 は、インピーダンス制御によりハンド 14 を仮想変位 I だけ算出された移動方向へ移動させることを示す情報を、サーボシステム 206 に出力する。

#### 【0103】

サーボシステム 206 は、制御部 205 から取得した情報に基づいてハンド 14 の移動方向及び移動量を求める。具体的には、サーボシステム 206 は、仮想変位 I を各方向( $x$  方向、 $y$  方向、 $z$  方向)成分に分解することにより、 $x$  方向の移動量、 $y$  方向の移動量、 $z$  方向の移動量を算出する。そして、サーボシステム 206 は、インピーダンス制御により、算出された移動量だけハンド 14 を $x$  方向、 $y$  方向、 $z$  方向に移動させるように、動作制御部 101 へ指示を出力する。

#### 【0104】

動作制御部 101 は、サーボシステム 206 から出力された指示に基づいて、アーム 11 を移動させる。これにより、インピーダンス制御によりアーム 11 を制御するステップ(ステップ S114)が終了する。

#### 【0105】

本実施の形態では、軸の圧入作業であるため、ワーク B に外力がかかる可能性が高い。しかしながら、インピーダンス制御を行うことにより、外力がかかる場合においても、確実にワーク B を仮想変位 I だけ移動させることができる。

#### 【0106】

開口部 A2 が認識できなかった場合(ステップ S104 で NO)には、基準ワーク認識部 202 から目標位置算出部 203 へ情報が入力されないため、目標位置算出部 203 は、目標位置 A1 が算出不可能であることと判断し、直前に算出された目標位置 A1 の位置情報を制御部 205 へ出力する。その後、ステップ S109 へ進む。

#### 【0107】

ワーク認識部 204 は、第 1 画像及び第 2 画像からワーク B の軌道点 B1 を認識する(

10

20

30

40

50

ステップ S 109)。当該処理は、ステップ S 108 の処理と同じである。軌道点 B 1 が認識できた場合は、ワーク認識部 204 は、軌道点 B 1 の位置を示す情報を制御部 205 に出力する。制御部 205 は、インピーダンス制御により可動部を制御する(ステップ S 114)。この場合は、目標位置 A 1 の位置情報が画像から分からぬいため、軌道点 B 1 が認識できたか否かにかかわらず、インピーダンス制御を行う。ステップ S 114 の処理については、すでに説明したため、ここでは説明を省略する。

#### 【0108】

このように、本実施の形態では、開口部 A 2、軌道点 B 1 のどちらかが画像から検出されなかつた場合には、インピーダンス制御を行う。開口部 A 2、軌道点 B 1 の両方が画像から検出されなかつた場合にも、インピーダンス制御を行う。インピーダンス制御は、インピーダンスが設定されているため、基準ワーク A とワーク B とがぶつかったとしても、ワーク B が設定された方向に無理やり動かれることがないため、基準ワーク A やワーク B が破壊されずに済み、安全に作業を継続することができる。

10

#### 【0109】

ビジュアルサーボ又はインピーダンス制御により軌道点 B 1、すなわちハンド 14 が仮想変位 V、I だけ移動された(ステップ S 112、S 114)ら、サーボシステム 206 は、移動後の軌道点 B 1 の位置情報と、目標位置 A 1 の位置情報とが一致する、すなわち軌道点 B 1 が目標位置 A 1 に到達したか否かを判断する(ステップ S 116)。

20

#### 【0110】

軌道点 B 1 が目標位置 A 1 に到達していない場合(ステップ S 116 で NO)は、サーボシステム 206 は、指示を第 1 撮像部 30 及び第 2 撮像部 40 に出力する。すると、第 1 撮像部 30 及び第 2 撮像部 40 は第 1 画像及び第 2 画像を撮像し、画像取得部 200 は第 1 画像及び第 2 画像を取得する(ステップ S 100)。これにより、ステップ S 100 ~ S 116 が繰り返し行われる。軌道点 B 1 が目標位置 A 1 に到達している場合(ステップ S 116 で YES)は、処理を終了する。

30

#### 【0111】

このように図 5 に記載のフローを繰り返し行うことにより、画像から目標位置 A 1 や軌道点 B 1 が見える状態から見えない状態となつた場合には、ビジュアルサーボからインピーダンス制御へと切り替えられる。また、画像から目標位置 A 1 や軌道点 B 1 が見えない状態から見える状態へ戻つた場合には、インピーダンス制御からビジュアルサーボへと切り替えられる。

30

#### 【0112】

本実施の形態によれば、ワーク等が画像から認識できない場合にはインピーダンス制御を行うため、ワーク等が画像から認識できない場合にも、安全に作業を継続することができる。

40

#### 【0113】

また、本実施の形態によれば、軌道点や目標位置が画像から認識できる場合には、ビジュアルサーボを用いるため、作業の都度、基準ワーク A の位置が異なつていても、作業を行うことができる。したがつて、毎回同じ位置に基準ワーク A を設置する必要がなく、作業効率を高くすることができる。

40

#### 【0114】

さらに、本実施の形態によれば、どのような制御方法を用いた場合においても、ワークの内部にあって視認できない目標位置へ、ハンドが把持するワークを移動させることができる。

#### 【0115】

なお、本実施形態では、ビジュアルサーボとインピーダンス制御とを切り替える例として、軸の圧入作業を用いて説明したが、ビジュアルサーボとインピーダンス制御とを切り替えることが有効な場合はこれに限られない。例えば、コネクタを挿す作業、蓋をはめる作業等の複数の部品を組み合わせる作業であれば、様々な作業に適用できる。また、本実施の形態では、エンドエフェクターとしてハンドを用い、ハンドでワークを把持したが、

50

エンドエフェクターはワークの種類によって様々な形態が考えられる。また、ハンドはワークを持したが、エンドエフェクターの種類によっては様々な形でワークを保持することができる。

#### 【0116】

また、本実施形態では、開口部A2が視認できない場合として開口部A2がワークBにより覆われた場合を示し、軌道点B1が視認できない場合として軌道点B1が基準ワークAにより覆われた場合を示した（図3（B）参照）が、開口部A2、軌道点B1が視認できない場合はこれに限られない。開口部A2、軌道点B1が視認できない場合としては、開口部A2や軌道点B1が他の部品、例えばアーム11等により物理的に覆われている場合も考えられる。また、開口部A2、軌道点B1が視認できない場合としては、開口部A2、軌道点B1が物理的に覆われていなくても、金属光沢の反射等により開口部A2、軌道点B1が画像認識処理により認識できない場合も考えられる。さらに開口部A2、軌道点B1が視認できない場合としては、開口部A2、軌道点B1が第1画像、第2画像の想定している範囲（例えば、中央部分の所定範囲）がない時や、開口部A2、軌道点B1が第1画像、第2画像に含まれていない場合も考えられる。以上の場合と異なり、開口部A2、軌道点B1が認識できた場合であっても、開口部A2、軌道点B1との位置関係が想定している位置関係にない（例えば、ワークBは基準ワークAより上にある）場合を、開口部A2、軌道点B1が視認できない場合に含めてもよい。

10

#### 【0117】

なお、本実施の形態では、サーボシステム206から第1撮像部30及び第2撮像部40に撮像指示を出力したが、これに限られるわけではなく、例えば、撮像指示を画像取得部200に出力し、画像取得部200から第1撮像部30及び第2撮像部40に指示を出力してもよい。

20

#### 【0118】

なお、本実施の形態では、力、値、位置の情報、撮像結果、認識結果、判断結果等の何らかの情報に基づいて処理（アーム11の制御、ハンド14の移動等）を行っているが、情報に基づいて処理を行うとは、情報そのものを使って処理を行うこと、情報を加工等して得られた結果を使って処理を行うこと、情報の一部を取り出して処理を行うこと等を含む。

30

#### 【0119】

例えば、撮像結果に基づいて処理を行う場合には、撮像して得られた画像を使って処理をしてもよいし、画像に対して任意の画像処理をして得られた結果を使って処理をしてもよいし、画像に含まれる輝度、色データ等を取り出して処理をしてもよいし、画像の一部領域のデータのみを取り出して処理をしてもよいし、画像のタグ等に含まれる情報を取り出して処理をしてもよい。また、画像に対して任意の画像処理をして得られた結果とは、例えば、位置情報（座標）、大きさの情報、形状の情報、位置関係を示す情報、物体の有無を示す情報等が含まれる。

#### 【0120】

また、例えば、力に基づいて処理を行う場合には、センサー等の出力値やアクチュエータ等での測定値等（以下、測定値という）をそのまま使って処理をしてもよいし、測定値を用いて算出された値を使って処理をしてもよいし、測定値と測定値を用いて算出された値との合成結果を使って処理をしてもよいし、測定値の合計値を使って処理をしてもよい。

40

#### 【0121】

<第2の実施形態>

本発明の第1の実施形態は、片腕口ボットを用いて、床、台等の平面に置いてある基準ワークAにワークBを圧入したが、本発明の適用範囲はこれに限定されない。

#### 【0122】

本発明の第2の実施形態は、双腕口ボットに本発明を適用した形態である。以下、本発明の第2の実施形態について説明する。なお、処理の流れは第1の実施形態と同一である

50

ため、構成についてのみ説明する。また、第1の実施形態と同一の部分については、同一の符号を付し、説明を省略する。

#### 【0123】

図6は、本発明の一実施形態におけるロボットシステム2の構成の一例を示すシステム構成図である。本実施形態におけるロボットシステム2は、主として、ロボット10Aと、ロボット制御部20と、第1撮像部30と、第2撮像部40とを備える。

#### 【0124】

ロボット10Aは、複数のジョイント(関節)12と、複数のリンク13とを含むアーム11を複数(本実施の形態では2本)有するアーム型のロボット、いわゆる双腕ロボットである。2本のアーム11の先端には、それぞれ、ハンド14(いわゆるエンドエフェクター)が設けられる。

10

#### 【0125】

2個のハンド14のうちの一本がワークBを持ちし、他の一本が基準ワークAを持持する。2個のハンド14のうちのどちらのハンド14が、どちらのワーク(基準ワークA又はワークB)を持持するかは、任意である。第1の実施の形態と同様、ワークBが挿入される側の大きいワークを、便宜上基準ワークAとしているが、ワークBを基準ワークとしてもよい。また、この基準という表現は、ワークの形状、大きさ、位置等に関するものではない。

20

#### 【0126】

このように、本発明は、載置されたワークに他のワークを挿入等する場合に限らず、複数の可動部がそれぞれワークを持持し、把持されたワークどうしを組み合わせ等する場合にも適用できる。例えば、複数の歯車が適切に噛み合うように歯車を配置する場合、複数の物体を位置合わせして載置する場合にも適用できる。さらに、接着剤、ペースト状のはんだ等を吐出する装置をハンドで把持し、接着剤、ペースト状のはんだ等を任意の位置に吐出させる場合等にも適用できる。

20

#### 【0127】

##### <その他変形例>

上記第1、第2の実施の形態では、ビジュアルサーボとインピーダンス制御とを切り替えたが、ビジュアルサーボと切り替えるのはインピーダンス制御に限られない。例えば、以下に示すような制御方法も考えられる。

30

#### 【0128】

上記第1、第2の実施形態で用いた軸の圧入や、摩擦および隙間のない丸棒の穴等への挿入作業を考える。挿入方向と平行な軸をz軸とし、z軸と垂直な面上にx軸、y軸を設定すると、上記作業においては、x、y軸方向及びx、y軸回りの運動と、z軸方向及びz軸回りの力の発生とが拘束される(自然拘束)。したがって、作業の達成には、x、y軸方向及びx、y回りの許容干渉力と、z軸方向の挿入速度およびz軸回りの許容回転速度(人工拘束)の設定が必要となる。したがって、圧入、挿入作業を行う場合には、拘束条件に基づき、エンドエフェクターの運動を干渉力に応じて修正するコンプライアンス(順応)機能を有するコンプライアンス制御を行うことにより、作業を効果的に実行することができる。

40

#### 【0129】

コンプライアンス制御では、エンドエフェクターに加えられた力に応じてエンドエフェクターが変位する。例えば、穴ヘピンを挿入する作業を行う場合には、挿入方向(エンドエフェクターを移動させる方向、穴の軸方向)には一定力で押しつけ、挿入方向以外の方向には外力を加えないというように、各方向別に押しつけ力を設定する。穴とピンが当接している場合には、挿入方向以外の方向に外力が加わるため、穴とピンとが当接しないように、エンドエフェクターが受けた力の方向にエンドエフェクターを変位させ、穴とピンとをなじませる。したがってコンプライアンス制御を用いることで、穴の軸とピンの軸とがずれている場合においても、ピンの穴への挿入が可能となる。これにより、ロボットやピン、穴等を破壊することを防止する、もしくはロボットやピン、穴等を破壊する可能性

50

を低減することができる。

【0130】

また、アーム11及びハンド14等に組立て、研磨、ばり取り、クランク回しなどの作業をさせる際には、ハンド14等のエンドエフェクターの位置だけでなく、ロボットが対象物に印加する力をも制御することが必要となる。インピーダンス制御は、エンドエフェクターに作用する干渉力とエンドエフェクターの運動との間の関係(インピーダンス)を調節する方法であるため、このような作業に対しても効果的である。それに加え、位置を制御したい方向および力を制御したい方向を定め、それぞれの方向の位置や力が希望の値になるように複数の制御方式を適用するハイブリッド制御を用いた場合も、このような作業に対しても効果的である。

10

【0131】

すなわち、画像から基準ワークAやワークBが認識できなくなったときに、ハイブリッド制御、コンプライアンス制御等の干渉力を巧妙に制御することができる制御方法へビジュアルサーボから切り替えた場合にも、安全に作業を継続することができるという本発明の効果を達成できる。

【0132】

なお、ハイブリッド制御、コンプライアンス制御等の干渉力を巧妙に制御することができる制御方法を行うためには、ハンド14等のエンドエフェクターに加わる力を検出することができる。エンドエフェクターに加わる力は、第1、第2の実施の形態のように、力覚センサー等で直接測定することもできるし、アーム11の各軸トルク値からエンドエフェクターに及ぼす外力を推定することもできる。したがって、干渉力を制御することができる制御方法は、直接または間接的にエンドエフェクターに加わる力を取得する手段を、アーム11等が有していれば実行可能である。

20

【0133】

また、上記第1、第2の実施の形態では、ビジュアルサーボとインピーダンス制御とを切り替えたが、本発明の範囲はビジュアルサーボとインピーダンス制御とを切り替える場合に限られない。第1画像、第2画像から軌道点、目標位置が視認できる場合にはビジュアルサーボを行い、第1画像、第2画像から軌道点、目標位置が視認できない場合にはインピーダンス制御を行えばよい。例えば、第1画像、第2画像から軌道点、目標位置が視認できる場合にはビジュアルサーボとインピーダンス制御とを両方行う制御方式を行い、第1画像、第2画像から軌道点、目標位置が視認できなくなったらビジュアルサーボをやめてインピーダンス制御のみを行うようにしてもよい。ビジュアルサーボとインピーダンス制御とを両方行う制御方式を用いることで、可動部をより大きく動かすことができる。

30

【0134】

また、上記第1、第2の実施の形態では、第1撮像部30及び第2撮像部40の2個の撮像部を備えたが、撮像部は1つでもよいし、3つ以上でもよい。例えば、撮像部が1つだけの場合には、撮像部から見て奥行き方向の位置を認識することは難しい。しかしながら、撮像部が1つだけの場合にも、仮想的な制約平面を設定することにより、奥行き方向の位置を決定することができる。また、撮像部が1つだけの場合、物理的な制約面を設定してインピーダンス制御、コンプライアンス制御等を行うようにしてもよい。

40

【0135】

なお、第1、第2の実施の形態では、第1撮像部30及び第2撮像部40を備えているため、第1画像、第2画像のどちらかから開口部A2、軌道点B1が視認できない場合には、開口部A2、軌道点B1が視認できない場合としたが、第1画像、第2画像の両方から開口部A2、軌道点B1が視認できない場合にのみ、開口部A2、軌道点B1が視認できない場合としてもよい。ただし、作業の安全性を高めるためには、第1画像、第2画像のどちらかから開口部A2、軌道点B1が視認できない場合には、開口部A2、軌道点B1が視認できない場合とすることが望ましい。

【0136】

また、上記第1、第2の実施の形態では、第1撮像部30及び第2撮像部40の2個の

50

撮像部を作業台（床でもよい）の上に設けた（図1、6参照）が、撮像部を設ける位置は作業台の上に限られない。撮像部は、天井に設けてもいいし、ロボットに設けてもよい。

#### 【0137】

図7、8は、撮像部を天井に設ける形態である。図7は、ロボット10Aと作業者とが同一の製品に対して順番に作業を行う生産システムである。図8は、ロボット10Aが1つの生産セル内で作業を行うセル生産システムである。図7、8に示すように、第3撮像部50は、ロボット10Aの作業領域が写された画像を撮像できるように、天井に設けられる。なお、図7、8では、天井の図示を省略している。

#### 【0138】

図7においては、1つのロボット10Aに対して1つの第3撮像部50が設けられる。  
それに対し、図8では、ロボット10Aの作業領域が広く、1個の第3撮像部30では作業領域全体をカバーできないため、1つのロボット10Aに対して3個の第3撮像部50が設けられる。なお、第3撮像部50を複数設ける場合に、画角の一部が重なるように設けることは、画角が重なる領域については奥行き方向の情報も得ることができるため、望ましい。

#### 【0139】

また、図7に示すように、1つのロボット10Aに対して1つの第3撮像部50を設ける場合には、画像の奥行き方向の情報を得ることができない。したがって、画像の奥行き方向の情報が必要な場合には、1つのロボット10Aに対して、第1撮像部30及び第2撮像部40を第3撮像部50と共に設けるようにしてもよいし、第3撮像部50を複数設けてもよい。

#### 【0140】

図9、10、11は、ロボット自体に撮像部を設ける形態である。図9は、ロボット10Bの頭に相当する部分に撮像部15、16を設ける形態である。図9においては、撮像部15、16を設けているため、画像の奥行き方向の情報を得ることができる。ただし、ロボットの頭に相当する部分に撮像部を設ける形態においても、撮像部の数は2つに限られず、1つでもよいし、3個以上でもよい。

#### 【0141】

図10、11は、撮像部がアーム11の先端に設けられた形態である。図10は、撮像部17が、アーム11の先端に、かつ撮像部17の軸17aとアーム11の軸11aとが平行（少しずれている場合を含む）となるように設けられている。図11は、撮像部18が、アーム11の先端に、かつ撮像部18の軸18aとアーム11の軸11aとが直交（少しずれている場合を含む）するように設けられている。なお、図11に示す形態では、撮像部18が設けられたアーム11でワーク等を持ってしまうと、軸18aと軸11aとが平行でないため、手持したワーク等を撮像部18で撮影できず、ビジュアルサーボを行うことができない。ただし、ワーク等を持していないアーム11が撮像部18を有していれば、ビジュアルサーボを行うことができる。

#### 【0142】

なお、第3撮像部50、撮像部15、16、17、18は、第1撮影部30及び第2撮影部40と機能及び構成が同一であるため、説明を省略する。

#### 【0143】

以上、本発明を実施形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施形態に記載の範囲には限定されない。上記実施形態に多様な変更または改良を加えることが可能であることが当業者には明らかである。また、そのような変更または改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、特許請求の範囲の記載から明らかである。特に、第1、第2の実施の形態では、ロボットと、ロボット制御部が別に設けられたロボットシステムを提供する場合を例示したが、ロボットと、ロボット制御部とが別に設けられたロボットシステムとして提供してもよいし、ロボットにロボット制御部等が含まれたロボットとして提供してもよいし、ロボット制御部のみ、又はロボット制御部及び撮像部からなるロボット制御装置として提供してもよい。また、本発明は、ロボット等を制御するプロ

10

20

30

40

50

グラムやプログラムを記憶した記憶媒体として提供することもできる。

[ 0 1 4 4 ]

そして、ロボット制御部として提供する場合には、1. ロボット制御装置に撮像部が含まれる場合、2. ロボット制御装置に撮像部が含まれない場合、の2通りが本発明の技術的範囲に含まれる。また、ロボットシステム及びロボットとして提供する場合には、1. ロボットに撮像部及びロボット制御部が含まれる場合、2. ロボットに撮像部が含まれ、ロボット制御部は含まれない場合、3. ロボットにロボット制御部が含まれ、撮像部は含まれない場合、4. ロボットに撮像部とロボット制御部とが含まれず、撮像部とロボット制御部とが異なる筐体に、もしくは撮像部とロボット制御部とが同一の筐体に含まれる場合、の4通りが本発明の技術的範囲に含まれる。

10

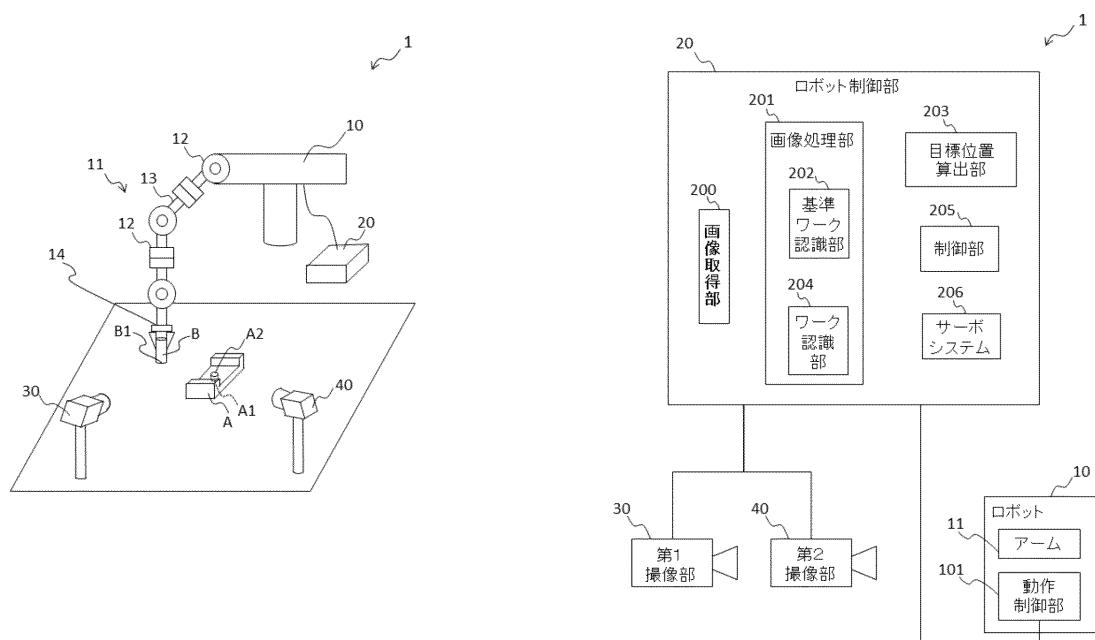
## 【符号の説明】

[ 0 1 4 5 ]

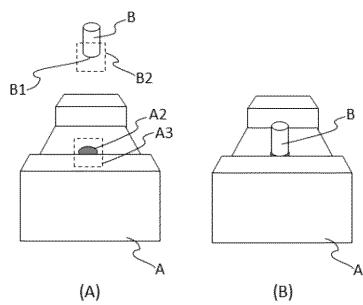
1、2…ロボットシステム、10、10A、10B…ロボット、11…アーム、12…ジョイント、13…リンク、14…ハンド、15、16、17、18…撮像部、20…ロボット制御部、21…C P U、22…メモリー、23…外部記憶装置、24…通信装置、25…入力装置、26…出力装置、27…I / F、30…第1撮像部、40…第2撮像部、50…第3撮像部、101…動作制御部、200…画像取得部、201…画像処理部、202…基準ワーク認識部、203…目標位置算出部、204…ワーク認識部、205…制御部、206…サーボシステム

〔 1 〕

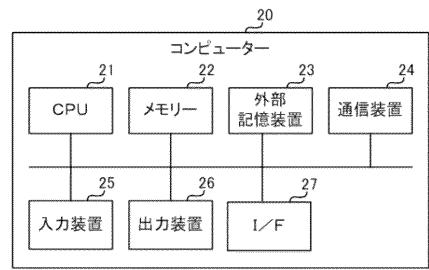
【図2】



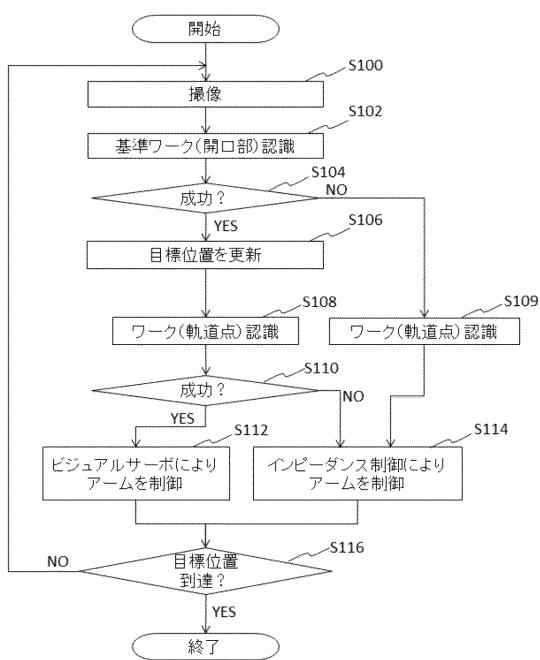
【図3】



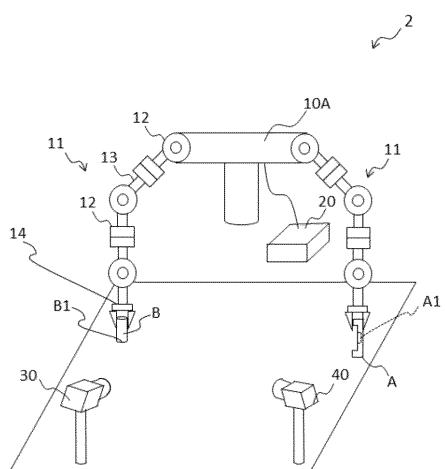
【図4】



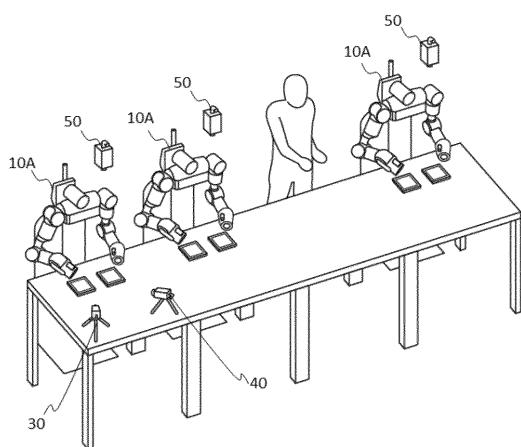
【図5】



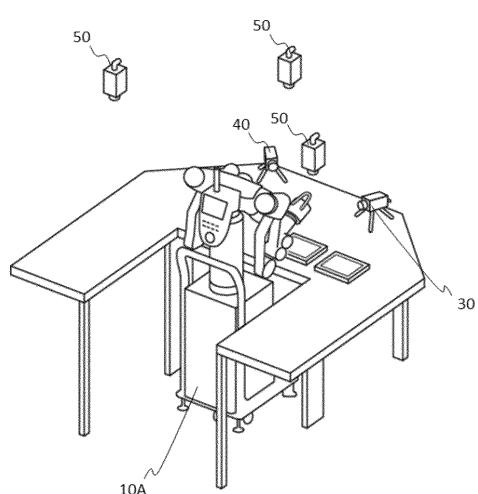
【図6】



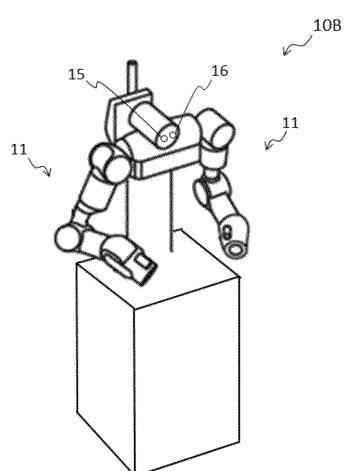
【図7】



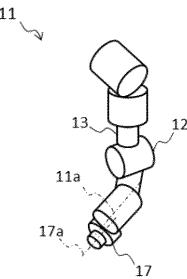
【図8】



【図9】



【図10】



【図 11】

