

(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2019-117497  
(P2019-117497A)

(43) 公開日 令和1年7月18日(2019.7.18)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>G05B 11/36 (2006.01)</b>	G05B 11/36	3C030
<b>B23P 19/04 (2006.01)</b>	B23P 19/04	5H004

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2017-250786 (P2017-250786)	(71) 出願人	000006666 アズビル株式会社 東京都千代田区丸の内2丁目7番3号
(22) 出願日	平成29年12月27日 (2017.12.27)	(74) 代理人	100123434 弁理士 田澤 英昭
		(74) 代理人	100101133 弁理士 濱田 初音
		(74) 代理人	100199749 弁理士 中島 成
		(74) 代理人	100188880 弁理士 坂元 辰哉
		(74) 代理人	100197767 弁理士 辻岡 将昭
		(74) 代理人	100201743 弁理士 井上 和真

最終頁に続く

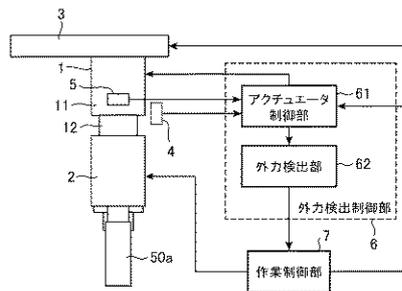
(54) 【発明の名称】 接着装置

(57) 【要約】

【課題】 可動部が急激に加減速された場合又は姿勢が変更された場合でも可動部に加わる外力を正しく検出し、当該外力に基づいて接着作業を行う。

【解決手段】 固定部 1 1 及び可動部 1 2 を有するアクチュエータ 1 と、固定部 1 1 に対する可動部 1 2 の位置を検出する位置検出部 4 と、固定部 1 1 の加速度を検出する加速度検出部 5 と、検出された位置と基準位置 P r との差分に対してゲインを調整し、当該調整結果である電流指令値 I r p 及び検出された加速度に基づいてアクチュエータ 1 に対する駆動電流 I a を出力するアクチュエータ制御部 6 1 と、電流指令値 I r p、又は、検出された加速度及び出力された駆動電流 I a の電流値に基づいて、可動部 1 2 に加わる外力 F を検出する外力検出部 6 2 と、検出された外力 F、及び検出された位置から得られた速度に基づいて、アクチュエータ制御部 1 を制御する作業制御部 7 とを備えた。

【選択図】 図 1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

固定部、及び当該固定部に対して変位可能な可動部を有するアクチュエータと、  
前記固定部に対する前記可動部の位置を検出する位置検出部と、  
前記固定部の加速度を検出する加速度検出部と、  
前記位置検出部により検出された位置と基準位置との差分に対してゲインを調整し、当該調整結果である電流指令値及び前記加速度検出部により検出された加速度に基づいて前記アクチュエータに対する駆動電流を出力するアクチュエータ制御部と、  
前記アクチュエータ制御部において得られた電流指令値、又は、前記加速度検出部により検出された加速度及び前記アクチュエータ制御部により出力された駆動電流の電流値に基づいて、前記可動部に加わる外力を検出する外力検出部と、  
前記外力検出部により検出された外力、及び前記位置検出部により検出された位置から得られた速度に基づいて、前記アクチュエータ制御部を制御する作業制御部と  
を備えた接着装置。

10

**【請求項 2】**

前記可動部に取付けられ、物体を保持可能なエンドエフェクタを備え、  
前記作業制御部は、  
前記エンドエフェクタにより保持された物体が、接着先である他の物体に近づくように、当該エンドエフェクタを当該他の物体の方向へ第 1 の速度で移動させる移動制御部を有する  
ことを特徴とする請求項 1 記載の接着装置。

20

**【請求項 3】**

前記作業制御部は、  
前記移動制御部による処理後、前記可動部に加わる外力が第 1 の力となるまで、前記エンドエフェクタを当該エンドエフェクタに保持された物体が接着される方向へ、前記第 1 の速度より遅い第 2 の速度で移動させる押付け制御部を有する  
ことを特徴とする請求項 2 記載の接着装置。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

この発明は、接着作業を行う接着装置に関する。

30

**【背景技術】****【0002】**

従来から、組立て、押付け又は研磨等の作業を行う作業装置では、産業用ロボット（以下、ロボットと称す）等が多く用いられている。このロボットには、アームの先端にハンド等のエンドエフェクタが取付けられており、物体（部品又はワーク）を把持することで作業を行う。

**【0003】**

一方、ロボットの動作は、一般的に、位置制御によりコントロールされる。そのため、物体の寸法誤差又は把持位置誤差等により、予めプログラムされた目標位置と実際の位置とが異なる場合、物体が他の物体と接触した際に大きな外力が発生し、物体に傷又は破損が発生する恐れがある。

40

**【0004】**

その対策として、物体の位置誤差により発生する力を吸収する治具（いわゆる「バッファ」）を別途設置する場合がある。しかしながら、このバッファは、物体の形状又は材料毎に要求される特性が異なるため、物体の種類の数だけ異なるバッファを用意する必要があり、都度設計となる。そのため、コストが増大し、且つ装置が大型化するという課題がある。

**【0005】**

それに対し、ロボットとエンドエフェクタとの間に力センサを設置し、物体の接触時に

50

過大な外力が発生しそうになると力センサの検出結果をロボットにフィードバックし、過大な外力が発生しないようにする方法もある。この場合には、バッファが不要となる。しかしながら、力センサは高価である。

【 0 0 0 6 】

また、力センサを用いた場合には、以下に述べる理由により、作業時間の短縮が難しいという課題がある。

【 0 0 0 7 】

すなわち、物体が他の物体と接触する位置に誤差がある場合、接触時に過大な外力が発生したことを検出して停止指令を出す。可動部が大きくて重く且つ減速機構を有するロボットは急には止まれない。

また、接触時に発生する外力は、慣性による衝撃力と接触時にロボットが発生している力との和となる。ここで、慣性による衝撃力は、物体及びロボット可動部の質量と移動速度との積に比例する。しかしながら、ロボットは大きくて重い機構を有しているため、慣性による衝撃力を小さくするためには、接触直前の移動速度を遅くする必要がある。

【 0 0 0 8 】

また、過大な外力が発生したことを検出して停止指令を出してもロボットは急には止まれないため、停止指令が出た時点から急激に減速しても接触位置からずれた位置で停止し、物体を押し潰してしまう。そして、位置の行き過ぎ量は移動速度に比例するため、物体を他の物体に近づける速度を遅くせざるを得ない。

【 0 0 0 9 】

上記の理由により、物体が他の物体と接触する可能性のある領域では、ロボットの移動速度を十分落とす必要がある。しかしながら、サイクルタイムを短くするため、物体を移送する速度は速くする必要がある。その結果、接触領域の近傍で速度を急激に落とすことになる。

【 0 0 1 0 】

しかしながら、エンドエフェクタは力センサの先に取付けられている。そのため、ロボットが急激に減速した場合には、エンドエフェクタの質量による影響で、力センサには負方向の加速度に比例した力が発生する。

ところが、上記加速度に比例した力と物体の接触により発生する外力とを区別することは難しく、区別するためにはロボットの減速時間を大幅に長くせざるを得ない。

【 0 0 1 1 】

また、力センサを用いた場合には、以下に述べる理由により、重力による影響をリアルタイムに補償し難いという課題がある。

【 0 0 1 2 】

すなわち、組立て、押付け又は研磨等の作業を行う場合にロボットが取りうる姿勢は常に一定ではなく、作業の状態に応じて変化させる場合が多い。例えば、曲面をトレースしながら研磨を行う作業では、姿勢を連続して変化させる必要がある。

しかしながら、上記の通り、エンドエフェクタは力センサの先に取付けられているため、ロボットの姿勢が水平ではない場合、力センサには重力加速度による影響でロボットの姿勢とエンドエフェクタの質量に応じた力が発生する。

【 0 0 1 3 】

一方、重力加速度の影響を補償する重力補償手段として、例えば特許文献 1 に開示された方法が挙げられる。この特許文献 1 では、予めオフラインで姿勢に応じた重力の影響により力覚センサに発生する力を学習しておく。そして、実際の作業時に発生する力から学習した力を差し引くことで、作業力を算出している。しかしながら、この方法では、物体が変わる度に学習を行う必要がある。また、学習は物体との接触前に行う必要があり、ロボットが連続して姿勢を変えるような場合には重力補償はできない。

【 0 0 1 4 】

なお上記では、可動部に加わる外力として、物体と他の物体とが接触した際に発生する力を示したが、これに限らず、エンドエフェクタと物体とが接触した際に発生する力につ

10

20

30

40

50

いても同様である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0015】

【特許文献1】特開2012-115912号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0016】

上記の通り、ロボットと力センサを用いて組立て等の作業を行う場合、作業時間が長くなる。一方、作業時間を短くしようとすると物体を傷付け、押し潰し、接触を正しく検出できなくなる。また、重力補償をリアルタイムで行うことも難しい。このように、力センサを用いた場合には、ロボットが急激に加減速した場合又は姿勢が変更した場合に、外力を正しく検出できないという課題がある。この課題は、部品等の接着作業を行う接着装置においても同様であり、改善が求められている。

10

【0017】

この発明は、上記のような課題を解決するためになされたもので、可動部が急激に加減速された場合又は姿勢が変更された場合でも可動部に加わる外力を正しく検出でき、当該外力に基づいて接着作業を行うことができる接着装置を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0018】

この発明に係る接着装置は、固定部、及び当該固定部に対して変位可能な可動部を有するアクチュエータと、固定部に対する可動部の位置を検出する位置検出部と、固定部の加速度を検出する加速度検出部と、位置検出部により検出された位置と基準位置との差分に対してゲインを調整し、当該調整結果である電流指令値及び加速度検出部により検出された加速度に基づいてアクチュエータに対する駆動電流を出力するアクチュエータ制御部と、アクチュエータ制御部において得られた電流指令値、又は、加速度検出部により検出された加速度及びアクチュエータ制御部により出力された駆動電流の電流値に基づいて、可動部に加わる外力を検出する外力検出部と、外力検出部により検出された外力、及び位置検出部により検出された位置から得られた速度に基づいて、アクチュエータ制御部を制御する作業制御部とを備えたことを特徴とする。

20

30

【発明の効果】

【0019】

この発明によれば、上記のように構成したので、可動部が急激に加減速された場合又は姿勢が変更された場合でも可動部に加わる外力を正しく検出でき、当該外力に基づいて接着作業を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】この発明の実施の形態1に係る接着装置の構成例を示す図である。

【図2】この発明の実施の形態1における外力検出制御部の構成例を示す図である。

【図3】この発明の実施の形態1におけるゲイン調整部の構成例を示す図である。

40

【図4】この発明の実施の形態1における作業制御部の構成例を示す図である。

【図5】この発明の実施の形態1に係る接着装置によるレンズの接着作業の一例を示すフローチャートである。

【図6】図6A～図6Dは、この発明の実施の形態1に係る接着装置によるレンズの接着作業の一例を示す図である。

【図7】図7A、図7Bは、図6に示す接着装置によるレンズの接着作業での動作を説明する図であり、図7Aは外力Fを示す図であり、図7Bは可動部の速度を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、この発明の実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

50

実施の形態 1 .

図 1 はこの発明の実施の形態 1 に係る接着装置の構成例を示す図である。

接着装置は、物体 50 a を接着先である物体 (他の物体) 50 b に接着する接着作業を行う装置である。この接着装置は、図 1 に示すように、アクチュエータ 1、エンドエフェクタ 2、移動部 3、位置検出部 4、加速度検出部 5、外力検出制御部 6 及び作業制御部 7 を備えている。また、外力検出制御部 6 は、アクチュエータ制御部 6 1 及び外力検出部 6 2 から構成される。

#### 【 0 0 2 2 】

アクチュエータ 1 は、固定部 1 1、及び当該固定部 1 1 に対して変位可能な可動部 1 2 を有し、磁界に置かれたコイルに電流が供給されることで固定部 1 1 に対して可動部 1 2 を直動方向又は回転方向に変位可能とする。このアクチュエータ 1 は、移動部 3 に取付けられており、全体が移送され、また、姿勢が変更される。なお、可動部 1 2 又はエンドエフェクタ 2 が複数方向の自由度を持ち、アクチュエータ 1 全体の移送及び姿勢の変更が不要である場合、移動部 3 はなくてもよい。以下では、移動部 3 を使用する場合を記述する。

10

#### 【 0 0 2 3 】

エンドエフェクタ 2 は、可動部 1 2 に取付けられ、物体 50 a を保持可能な機構である。図 1 では、エンドエフェクタ 2 として、物体 50 a を把持可能なグリッパ (ハンド) が用いられている。なお、エンドエフェクタ 2 としては、グリッパ以外にも、例えば、物体 50 a を吸着可能な吸着具を用いてもよい。なお、物体 50 b を移動する移動部があってもよい。

20

#### 【 0 0 2 4 】

移動部 3 は、アクチュエータ 1 を移動 (移送及び姿勢変更) する。図 1 では、移動部 3 として、先端にアクチュエータ 1 (固定部 1 1) が取付けられ、アクチュエータ 1 を移動可能な口ポットを示している。

#### 【 0 0 2 5 】

位置検出部 4 は、アクチュエータ 1 に設けられ、固定部 1 1 に対する可動部 1 2 の位置 (相対位置) を検出する。この位置検出部 4 により検出された位置を示す信号 (位置信号) は、アクチュエータ制御部 6 1 に出力される。

#### 【 0 0 2 6 】

加速度検出部 5 は、固定部 1 1 に設けられ、固定部 1 1 の加速度を検出する。この際、加速度検出部 5 は、固定部 1 1 の重力加速度  $g$  及び移動加速度  $1$  のうちの一方、又は両方が加算された加速度 ( $g + 1$ ) を検出する。図 2 では、加速度検出部 5 が加速度 ( $g + 1$ ) を検出する場合を示している。この加速度検出部 5 により検出された加速度を示す信号 (加速度信号) は、アクチュエータ制御部 6 1 に出力される。

30

#### 【 0 0 2 7 】

アクチュエータ制御部 6 1 は、位置検出部 4 により検出された位置と基準位置  $P_r$  との差分に対してゲイン (ループゲイン) を調整し、当該調整結果である電流指令値  $I_{rp}$  及び加速度検出部 5 により検出された加速度に基づいてアクチュエータ 1 に対する駆動電流  $I_a$  を出力する。

40

#### 【 0 0 2 8 】

外力検出部 6 2 は、アクチュエータ制御部 6 1 において得られた電流指令値  $I_{rp}$ 、又は、加速度検出部 5 により検出された加速度及びアクチュエータ制御部 6 1 により出力された駆動電流  $I_a$  の電流値に基づいて、可動部 1 2 に加わる外力 (反力)  $F$  を検出する。

アクチュエータ制御部 6 1 及び外力検出部 6 2 の構成例については後述する。

#### 【 0 0 2 9 】

作業制御部 7 は、接着装置による接着作業を実現する。この際、作業制御部 7 は、外力検出部 6 2 により検出された外力  $F$ 、及び位置検出部 4 により検出された固定部 1 1 に対する可動部 1 2 の位置から得られた速度に基づいて、アクチュエータ制御部 6 1、エンドエフェクタ 2 及び移動部 3 を制御することで、接着作業を実現する。なお、作業制御部 7

50

は、基準位置  $P_r$  又はゲインの変更を行うことでアクチュエータ制御部 6 1 を制御する。また、作業制御部 7 は、外力  $F$  及び速度に加え、位置検出部 4 により検出された位置、加速度検出部 5 により検出された加速度、及び作業制御部 7 で管理している時間等も考慮して、上記接着作業を実現してもよい。この作業制御部 7 の構成例については後述する。

#### 【 0 0 3 0 】

次に、外力検出制御部 6 の構成例について、図 2 を参照しながら説明する。なお図 2 では、アクチュエータ 1、エンドエフェクタ 2、位置検出部 4 及び加速度検出部 5 も図示している。また図 2 では、エンドエフェクタ 2 が物体 5 0 a を保持している状態を示している。

外力検出制御部 6 は、図 2 に示すように、位置速度変換部 6 3、減算器 6 4、ゲイン調整部 6 5、質量推定部 6 6、加速度補償部 6 7、加減算器 6 8、定電流制御部 6 9、及び外力検出部 6 2 を有している。なお図 2 に示す外力検出制御部 6 において、外力検出部 6 2 を除く機能部（位置速度変換部 6 3、減算器 6 4、ゲイン調整部 6 5、質量推定部 6 6、加速度補償部 6 7、加減算器 6 8 及び定電流制御部 6 9）は、アクチュエータ制御部 6 1 を構成する。

10

#### 【 0 0 3 1 】

位置速度変換部 6 3 は、位置検出部 4 により検出された位置を微分して速度に変換する。この速度は、固定部 1 1 に対する可動部 1 2 の速度（相対速度）を示す。この位置速度変換部 6 3 により変換された速度を示す信号（速度信号）は、加減算器 6 8 及び作業制御部 7 に出力される。

20

#### 【 0 0 3 2 】

減算器 6 4 は、基準位置  $P_r$  から位置検出部 4 により検出された位置を減算する。この減算器 6 4 による減算結果を示す信号は、ゲイン調整部 6 5 に出力される。

#### 【 0 0 3 3 】

ゲイン調整部 6 5 は、減算器 6 4 による減算結果（位置偏差）に対してゲインを調整し、電流指令値  $I_{rp}$  を出力する。ゲインは、アクチュエータ 1 におけるコンプライアンスの値であり、コンプライアンスは、バネ定数の逆数であり、固さ柔らかさを示す指標である。また、ゲイン調整部 6 5 において、上記位置偏差と電流指令値  $I_{rp}$  との関係を示す関数は線形でもよいし非線形でもよい。このゲイン調整部 6 5 は、図 2、3 に示すように、ループゲイン測定部 6 5 1、ゲイン交点制御部 6 5 2 及び可変ゲイン調整部 6 5 3 を有している。

30

#### 【 0 0 3 4 】

ループゲイン測定部 6 5 1 は、減算器 6 4 から出力された信号のゲインを測定する。この際、ループゲイン測定部 6 5 1 は、図 3 に示すように、減算器 6 4 から出力された信号に、発振器 6 5 4 によりゲインが 1 倍（0 dB）となるべき基準となる周波数、すなわちゲイン交点に設定された基準となる周波数の正弦波を、加算器 6 5 5 を介して加算する。このループゲイン測定部 6 5 1 による正弦波の加算前後の信号は、ゲイン交点制御部 6 5 2 に出力される。

#### 【 0 0 3 5 】

ゲイン交点制御部 6 5 2 は、図 3 に示すように、比較器 6 5 6 によりループゲイン測定部 6 5 1 による正弦波の加算前後の信号での振幅比を比較する。このゲイン交点制御部 6 5 2 による比較結果を示す信号は、可変ゲイン調整部 6 5 3 に出力される。

40

#### 【 0 0 3 6 】

可変ゲイン調整部 6 5 3 は、ゲイン交点制御部 6 5 2 により比較された振幅比の倍率が 1 となるように、当該振幅比の倍率の逆数を調整値とし、減算器 6 4 から出力された信号のゲインを調整する。すなわち、可変ゲイン調整部 6 5 3 は、ループゲイン測定部 6 5 1 による正弦波の加算前の信号の振幅レベル  $E_a$  に対して当該正弦波の加算後の信号の振幅レベル  $E_b$  が高い場合（ $E_a < E_b$ ）には調整値を大きくし、当該正弦波の加算前の信号の振幅レベル  $E_a$  に対して当該正弦波の加算後の信号の振幅レベル  $E_b$  が低い場合（ $E_a > E_b$ ）には調整値を小さくすることで、ゲインが 1 倍となるように調整する。この可変

50

ゲイン調整部 6 5 3 によりゲインが調整された信号は、加減算器 6 8 に電流指令値  $I_{rp}$  として出力される。また、可変ゲイン調整部 6 5 3 によるゲインの調整値を示す信号は、質量推定部 6 6 に出力される。

【 0 0 3 7 】

なお、発振器 6 5 4 でゲインが 1 倍となるべき基準となる周波数の正弦波を加算するのは、ゲインが 1 倍となる周波数において  $E_a / E_b = 1$  となるため、 $E_a / E_b = 1$  となるようにゲインを調整することで、ゲイン交点を常に 1 に維持できるためである。

【 0 0 3 8 】

また、減算器 6 4 及びゲイン調整部 6 5 は、位置検出部 4 により検出された位置と基準位置  $P_r$  との差分に基づく電流指令値  $I_{rp}$  を出力する位置制御手段（位相制御ループ）を構成する。

10

【 0 0 3 9 】

質量推定部 6 6 は、可変ゲイン調整部 6 5 3 によるゲインの調整値から、可動部 1 2 側の質量を推定する。すなわち、質量推定部 6 6 は、ゲインの調整値の変化と質量の変化とが比例する原理を利用する。ここで、可動部 1 2 側の質量とは、エンドエフェクタ 2 が物体 5 0 a を保持していない場合には、可動部 1 2 の質量  $M_1$  とエンドエフェクタ 2 の質量  $M_2$  とが加算された質量 ( $M_1 + M_2$ ) であり、エンドエフェクタ 2 が物体 5 0 a を保持している場合には、可動部 1 2 の質量  $M_1$  とエンドエフェクタ 2 の質量  $M_2$  と物体 5 0 a の質量  $M_3$  とが加算された質量 ( $M_1 + M_2 + M_3$ ) である。なお図 2 では、質量推定部 6 6 が、可動部 1 2 の質量  $M_1$  とエンドエフェクタ 2 の質量  $M_2$  と物体 5 0 a の質量  $M_3$  とが加算された質量 ( $M_1 + M_2 + M_3$ ) を推定する場合を示している。

20

例えば、可動部 1 2 側の質量が規定値の 2 倍になったとすると、ゲインはその逆数倍の  $1/2$  となっており、 $E_a / E_b = 1/2$  となる。これに対して、ゲインを 1 倍とするため、可変ゲイン調整部 6 5 3 は 2 倍の調整値でゲインを調整する。そして、質量推定部 6 6 は、この可変ゲイン調整部 6 5 3 の調整値から、可動部 1 2 側の質量が規定値の 2 倍に変化したと推定できる。

この質量推定部 6 6 により推定された質量を示す信号は、加速度補償部 6 7 に出力される。

【 0 0 4 0 】

なお上記では、質量推定部 6 6 により可動部 1 2 側の質量を推定する場合を示したが、これに限らず、他の方法を用いて可動部 1 2 側の質量を取得してもよい。

30

【 0 0 4 1 】

加速度補償部 6 7 は、外乱トルクを補正するための加速度補償値  $I_{rc}$  を出力する。この加速度補償部 6 7 は、乗算器 6 7 1 及び係数乗算部 6 7 2 を有している。

【 0 0 4 2 】

乗算器 6 7 1 は、加速度検出部 5 により検出された加速度と、質量推定部 6 6 により推定された質量とを乗算する。この乗算器 6 7 1 による乗算結果を示す信号は、係数乗算部 6 7 2 及び外力検出部 6 2 に出力される。

【 0 0 4 3 】

係数乗算部 6 7 2 は、乗算器 6 7 1 による乗算結果に係数 ( $1 / K_t$ ) を乗算する。なお、 $K_t$  は、アクチュエータ 1 が発生する推力と駆動電流  $I_a$  との比を表したトルク定数である。この係数乗算部 6 7 2 による乗算結果を示す信号は、加減算器 6 8 に加速度補償値  $I_{rc}$  として出力される。

40

【 0 0 4 4 】

加減算器 6 8 は、ゲイン調整部 6 5 から出力された電流指令値  $I_{rp}$  に対し、加速度補償部 6 7 から出力された加速度補償値  $I_{rc}$  を加算し、位置速度変換部 6 3 から出力された速度信号を減算する。この加減算器 6 8 による加減算結果を示す信号は、定電流制御部 6 9 に電流指令値  $I_r$  として出力される。

【 0 0 4 5 】

定電流制御部 6 9 は、アクチュエータ 1 を駆動する駆動電流  $I_a$  を電流指令値  $I_r$  に一

50

致させるように制御する。この定電流制御部 6 9 は、減算器 6 9 1、駆動ドライバ 6 9 2 及び電流検出部 6 9 3 を有している。

【 0 0 4 6 】

減算器 6 9 1 は、加減算器 6 8 から出力された電流指令値  $I_r$  から、電流検出部 6 9 3 により検出された駆動電流  $I_a$  の電流値を減算する。この減算器 6 9 1 による減算結果を示す信号は、駆動ドライバ 6 9 2 に出力される。

【 0 0 4 7 】

駆動ドライバ 6 9 2 は、減算器 6 9 1 による減算結果に応じた駆動電流  $I_a$  を発生する。この駆動ドライバ 6 9 2 により発生された駆動電流  $I_a$  は、電流検出部 6 9 3 を介してアクチュエータ 1 に出力される。

10

【 0 0 4 8 】

電流検出部 6 9 3 は、駆動ドライバ 6 9 2 により発生された駆動電流  $I_a$  の電流値を検出する。この電流検出部 6 9 3 により検出された電流値を示す信号は、減算器 6 9 1 に出力される。

【 0 0 4 9 】

外力検出部 6 2 は、アクチュエータ制御部 6 1 において得られた電流指令値  $I_{rp}$ 、又は、加速度検出部 5 により検出された加速度及びアクチュエータ制御部 6 1 により出力された駆動電流  $I_a$  の電流値に基づいて、可動部 1 2 に加わる外力  $F$  を検出する。具体的には、外力検出部 6 2 は、電流指令値  $I_{rp}$ 、又は、駆動電流  $I_a$  の電流値から加速度補償値  $I_{rc}$  を減算した結果に基づいて、可動部 1 2 に加わる外力  $F$  を検出する。なお、可動部 1 2 に加わる外力  $F$  としては、エンドエフェクタ 2 が物体 5 0 a と接触した際に発生する力、及び、エンドエフェクタ 2 により保持された物体 5 0 a が物体 5 0 b と接触した際に発生する力が挙げられる。また図 2 では、外力検出部 6 2 が、加速度検出部 5 により検出された加速度及びアクチュエータ制御部 6 1 により出力された駆動電流  $I_a$  の電流値に基づいて可動部 1 2 に加わる外力  $F$  を検出する場合を示している。図 2 に示す外力検出部 6 2 は、係数乗算部 6 2 1、減算器 6 2 2 及び係数乗算部 6 2 3 を有している。

20

【 0 0 5 0 】

係数乗算部 6 2 1 は、加速度補償部 6 7 の乗算器 6 7 1 による乗算結果に係数 ( $1 / K_t$ ) を乗算する。この係数乗算部 6 2 1 による乗算結果を示す信号は、減算器 6 2 2 に出力される。

30

【 0 0 5 1 】

減算器 6 2 2 は、定電流制御部 6 9 により発生された駆動電流  $I_a$  の電流値から、係数乗算部 6 2 1 による乗算結果を減算する。この減算器 6 2 2 による減算結果を示す信号は、係数乗算部 6 2 3 に出力される。

【 0 0 5 2 】

係数乗算部 6 2 3 は、減算器 6 2 2 による減算結果に係数 ( $K_t$ ) を乗算することで、外力  $F$  を得る。この係数乗算部 6 2 3 により得られた外力  $F$  を示す信号は、作業制御部 7 に出力される。

【 0 0 5 3 】

なお、外力検出部 6 2 が、アクチュエータ制御部 6 1 において得られた電流指令値  $I_{rp}$  に基づいて可動部 1 2 に加わる外力  $F$  を検出する場合には、係数乗算部を有する。この係数乗算部は、ゲイン調整部 6 5 から出力された電流指令値  $I_{rp}$  に係数 ( $K_t$ ) を乗算することで、外力  $F$  を得る。そして、この係数乗算部により得られた外力  $F$  を示す信号は、作業制御部 7 に出力される。

40

【 0 0 5 4 】

次に、作業制御部 7 の構成例について、図 4 を参照しながら説明する。

作業制御部 7 は、図 4 に示すように、移動制御部 7 1 及び押付け制御部 7 2 を有している。

【 0 0 5 5 】

移動制御部 7 1 は、エンドエフェクタ 2 により保持された物体 5 0 a が、物体 5 0 b に

50

近づくように、エンドエフェクタ 2 を物体 5 0 b の方向へ速度（第 1 の速度） $V_1$  で移動させる。

【0056】

押付け制御部 7 2 は、移動制御部 7 1 による処理後、可動部 1 2 に加わる外力  $F$  が力（第 1 の力） $F_1$  となるまで、エンドエフェクタ 2 を、当該エンドエフェクタ 2 に保持された物体 5 0 a が接着される方向へ、速度（第 2 の速度） $V_2$  で移動させる。力  $F_1$  は、物体 5 0 a を物体 5 0 b に接着可能な力である。また、速度  $V_2$  は、速度  $V_1$  よりも遅い速度である。

【0057】

次に、外力検出制御部 6 の動作原理について説明する。なお以下では、アクチュエータ 1 として、発生した推力がエンドエフェクタ 2 に直接伝わるダイレクトドライブ形式のリニアアクチュエータを用い、固定部 1 1 に対して可動部 1 2 を直動させるものとする。このアクチュエータ 1 は、定電流制御部 6 9 が電流指令値  $I_r$  に応じて発生した駆動電流  $I_a$  により駆動する。

10

【0058】

一方、位置検出部 4 は、固定部 1 1 に対する可動部 1 2 の直動方向における位置を検出する。

また、位置速度変換部 6 3 は、位置検出部 4 により検出された位置を微分して速度に変換する。この速度は、固定部 1 1 に対する可動部 1 2 の速度を示す。

【0059】

また、加速度検出部 5 は、固定部 1 1 の直動方向における加速度を検出する。以下では、加速度検出部 5 は、固定部 1 1 の直動方向成分における移動加速度  $a_1$  と、固定部 1 1 の直動方向成分における重力加速度  $g$  とが加算された加速度（ $a_1 + g$ ）を検出するものとする。

20

【0060】

また、位置検出部 4 により検出された位置は、減算器 6 4 で基準位置  $P_r$  と比較され、その差分がゲイン調整部 6 5 を介して電流指令値  $I_r$  を構成する要素の一つである電流指令値  $I_{rp}$  として加減算器 6 8 に与えられる。

【0061】

電流指令値  $I_r$  は、電流指令値  $I_{rp}$  の他、外乱トルクを補正するための加速度補償値  $I_{rc}$  で構成され、次式（1）で表される。

30

$$I_r = I_{rp} + I_{rc} \quad (1)$$

【0062】

なお、位置を単純にフィードバックすると制御系が不安定となる。そのため、実際には、位置速度変換部 6 3 からの速度信号をマイナーループとして加減算器 6 8 のマイナス出力に加えて安定化を行っているが、以下では省略する。

【0063】

また、ゲイン調整部 6 5 では、位置制御ループのゲインを変えることで、アクチュエータ 1 におけるコンプライアンスの値を変化させることができる。

【0064】

ここで、駆動電流  $I_a$  に着目すると、外乱トルクがない場合には電流値は零になるが、外乱トルクがある場合にはそれに比例して電流値も変化する。

40

一般的な外乱トルクとしては、作業時にエンドエフェクタ 2 から受ける反力  $F$ 、重力加速度  $g$  及び移動加速度  $a_1$  により発生する力、減速器のロストルク等が考えられる。ここで、アクチュエータ 1 はダイレクトドライブ形式のリニアアクチュエータであるため、減速器は持たず、ロストルクは考慮する必要は少ない。したがって、駆動電流  $I_a$  は、作業時にエンドエフェクタ 2 から受ける反力  $F$ 、重力加速度  $g$  及び移動加速度  $a_1$  により発生する力に比例した値となる。なお以下では、反力  $F$  は、物体 5 0 a が物体 5 0 b に接触した際に発生する力であるとする。

【0065】

50

ここで、アクチュエータ 1 の駆動電流  $I_a$ 、作業時にエンドエフェクタ 2 から受ける反力  $F$ 、固定部 1 1 の直動方向成分における移動加速度  $a_1$ 、固定部 1 1 の直動方向成分における重力加速度  $g$ 、可動部 1 2 の質量  $M_1$ 、エンドエフェクタ 2 の質量  $M_2$ 、及び、物体 5 0 a の質量  $M_3$  から、次式 ( 2 ) の関係が成り立つ。

$$F + ( a_1 + g ) \cdot ( M_1 + M_2 + M_3 ) = K_t \cdot I_r = K_t \cdot ( I_{rp} + I_{rc} ) \quad ( 2 )$$

なお、 $K_t$  はアクチュエータ 1 が発生する推力と駆動電流  $I_a$  との比を表したトルク定数である。

【 0 0 6 6 】

また、式 ( 2 ) において外乱トルクを補正するための加速度補償値  $I_{rc}$  を次式 ( 3 ) のように設定する。

$$( a_1 + g ) \cdot ( M_1 + M_2 + M_3 ) = K_t \cdot I_{rc} \quad ( 3 )$$

【 0 0 6 7 】

式 ( 3 ) のように加速度補償値  $I_{rc}$  を設定した場合、式 ( 2 ) から  $a_1$ 、 $g$ 、 $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$  の項が消え、次式 ( 4 ) のように整理される。

$$F = K_t \cdot I_{rp} \quad ( 4 )$$

【 0 0 6 8 】

このように、外乱トルクを補正するための加速度補償値  $I_{rc}$  を式 ( 3 ) のように設定すると、作業時にエンドエフェクタ 2 から受ける反力  $F$  と電流指令値  $I_{rp}$  は、比例関係になることがわかる。

【 0 0 6 9 】

これは、作業時にエンドエフェクタ 2 から受ける反力  $F$  が零、つまり物体 5 0 a が物体 5 0 b と接触していない場合、基準位置  $P_r$  と実際の位置の差分に基づく電流指令値  $I_{rp}$  も零、つまり位置が変位しないことを意味している。

そして、物体 5 0 a が物体 5 0 b と接触した際に生じる反力  $F$  は、電流指令値  $I_{rp}$  を監視することで知ることができる。

【 0 0 7 0 】

そして、式 ( 4 ) には、固定部 1 1 の直動方向成分における移動加速度  $a_1$ 、固定部 1 1 の直動方向成分における重力加速度  $g$ 、可動部 1 2 の質量  $M_1$ 、エンドエフェクタ 2 の質量  $M_2$ 、物体 5 0 a の質量  $M_3$  の項目が含まれていない。

つまり、ロボットが急激に移動又は停止を行い移動加速度  $a_1$  が発生した場合、及び、ロボットが連続して姿勢を変更し重力加速度  $g$  が変化した場合でも、アクチュエータ 1 の可動部 1 2 はゆれることなく反力  $F$  を正しく検出できる。

そして、コンプライアンスの値も自由に設定できる。

【 0 0 7 1 】

なお、上述したように、物体 5 0 a が物体 5 0 b と急激に衝突する等して発生する反力  $F$  は、電流指令値  $I_{rp}$  を監視することで知ることができる。また、アクチュエータ 1 には、反力  $F$  と拮抗するように誘導電流が発生するため、駆動電流  $I_a$  から反力  $F$  を検出することもできる。

しかしながら、位置制御ループにおいて、反力  $F$  に対する電流指令値  $I_{rp}$  の応答は一般的に速くない。一方、反力  $F$  に対する駆動電流  $I_a$  の応答は、可動部 1 2 が移動することにより発生する誘導電流によるものであるため、比較的速い。そこで、電流指令値  $I_{rp}$  を直接監視するのではなく、駆動電流  $I_a$  を監視することで反力  $F$  の検出を行う。

【 0 0 7 2 】

ここで、式 ( 2 ) は以下の通りである。

$$F + ( a_1 + g ) \cdot ( M_1 + M_2 + M_3 ) = K_t \cdot I_r = K_t \cdot ( I_{rp} + I_{rc} ) \quad ( 2 )$$

【 0 0 7 3 】

一方、駆動電流  $I_a$  は次式 ( 5 ) で表せる。

$$I_a = I_r = I_{rp} + I_{rc} \quad ( 5 )$$

10

20

30

40

50

## 【 0 0 7 4 】

よって、式 ( 2 ) , ( 5 ) から下式 ( 6 ) が得られる。

$$F + ( 1 + g ) \cdot ( M 1 + M 2 + M 3 ) = K t \cdot I a \quad ( 6 )$$

## 【 0 0 7 5 】

そして、式 ( 6 ) の両辺から、式 ( 3 ) の左辺である  $( ( 1 + g ) \cdot ( M 1 + M 2 + M 3 ) )$  を減算して整理すると、下式 ( 7 ) が得られる。

$$F = K t \cdot ( I a - ( 1 + g ) \cdot ( M 1 + M 2 + M 3 ) / K t ) \quad ( 7 )$$

## 【 0 0 7 6 】

この式 ( 7 ) に示されるように、駆動電流  $I a$  から加速度補償値  $( 1 + g ) \cdot ( M 1 + M 2 + M 3 ) / K t$  を差し引いてトルク定数  $K t$  をかけることで、反力  $F$  を求めることができる。

10

## 【 0 0 7 7 】

次に、外力検出制御部 6 による効果について説明する。

ロボットの動作は、一般的に、位置制御によりコントロールされる。そのため、物体 5 0 a , 5 0 b の寸法誤差又は把持位置誤差等により、予めプログラムされた目標位置と実際の位置が異なる場合、物体 5 0 a が物体 5 0 b と接触した際に大きな外力  $F$  が発生し、物体 5 0 a 又は物体 5 0 b に傷又は破損が発生する恐れがある。

## 【 0 0 7 8 】

その対策として、ロボットとエンドエフェクタ 2 との間に力センサを設置し、物体 5 0 a と物体 5 0 b との接触時に過大な外力  $F$  が発生しそうになると力センサの検出結果をロボットにフィードバックし、過大な外力  $F$  が発生しないようにする方法が考えられる。

20

## 【 0 0 7 9 】

しかしながら、過大な外力  $F$  が発生したことを検出して停止指令を出してもロボットは急には止まれないため、停止指令が出た時点から急激に減速しても接触位置からずれた位置で停止してしまい、物体 5 0 a , 5 0 b を押し潰してしまう。そして、位置の行き過ぎ量は移動速度に比例するため、物体 5 0 a を物体 5 0 b に近付ける速度を遅くせざるを得ない。

## 【 0 0 8 0 】

上記の理由により、物体 5 0 a が物体 5 0 b と接触する可能性のある領域では、ロボットの移動速度を十分落とす必要がある。しかしながら、サイクルタイムを短くするため、物体 5 0 a を移動する速度は速くする必要がある。その結果、接触領域の近傍で速度を急激に落とすことになる。

30

## 【 0 0 8 1 】

一方、実施の形態 1 では、ロボット ( 移動部 3 ) の先端にアクチュエータ 1 を取付け、また、外力検出制御部 6 は、アクチュエータ 1 が急激に移動又は停止されて移動加速度 1 が発生した場合、及び、アクチュエータ 1 の姿勢が変更されて重力加速度  $g$  が変化した場合でも、可動部 1 2 に加わる反力  $F$  を正しく検出でき、また、コンプライアンス値を任意に変えられる。そのため、ロボットが急に止まれない点は同じだが、位置の行き過ぎにより物体 5 0 a , 5 0 b を押し潰してしまうことはない。よって、物体 5 0 a を物体 5 0 b に近づける速度を極端に遅くする必要がなく、また、安全に作業できる。

40

## 【 0 0 8 2 】

また、ロボットとエンドエフェクタ 2 との間に力センサを設置した場合、ロボットが急激に減速すると、エンドエフェクタ 2 の質量  $M 2$  による影響で、力センサには負方向の加速度に比例した力が発生する。

ところが、上記加速度に比例した力と物体 5 0 a の物体 5 0 b との接触により発生する外力  $F$  とを区別することは難しく、区別するためにはロボットの減速時間を大幅に長くせざるを得ない。

## 【 0 0 8 3 】

一方、外力検出制御部 6 では、アクチュエータ 1 が急激に加減速された場合でも正しく外力  $F$  を検出でき、接触時にのみ外力  $F$  を検出するため、アクチュエータ 1 の減速時間を

50

長くする必要はない。

【0084】

また、力センサを用いた場合には、重力による影響をリアルタイムに補償し難いという課題もある。

すなわち、接着作業を行う場合にロボットが取りうる姿勢は常に一定ではなく、作業の状態に応じて変化させる場合が多い。

しかしながら、ロボットとエンドエフェクタ2との間に力センサを設置した場合には、ロボットの姿勢が水平ではないと、力センサには重力加速度  $g$  による影響でロボットの姿勢とエンドエフェクタ2の質量  $M_2$  に応じた力が発生する。

【0085】

一方、外力検出制御部6では、アクチュエータ1の姿勢が変更されて重力加速度  $g$  が変化した場合でも外力  $F$  を正しく検出できるため、重力による影響をリアルタイムに補償できる。

【0086】

次に、作業制御部7の動作例について、図5～8を参照しながら説明する。以下では、接着装置が、レンズ51をワーク52に接着する接着作業を行う場合を示す。また、レンズ51はエンドエフェクタ2により保持され、ワーク52は作業台等に固定されているものとする。また、ワーク52には、事前に接着剤53が塗布されている。なお、接着剤53はどのような粘度でもよい。

【0087】

そして、作業制御部7は、外力検出部62により検出された外力  $F$  及び位置速度変換部63により得られた速度等に基づいて、アクチュエータ制御部61、エンドエフェクタ2及び移動部3を制御することで、接着装置による接着作業を実現する。なお、作業制御部7は、基準位置  $P_r$  又はゲインの変更を行うことでアクチュエータ制御部61を制御する。ここで、ゲイン調整部65は位置偏差に基づいて電流指令値  $I_{rp}$  を出力しているが、上記ゲインの変更とは、上記位置偏差と電流指令値  $I_{rp}$  との関係を示す関数の変更を意味している。また、上記関数の変更には、関数の傾きの変更も含まれる。

【0088】

また図7Aにおいて、横軸は時間を示し、縦軸は外力  $F$  を示している。また図7Bにおいて、横軸は時間を示し、縦軸は可動部12の速度を示している。また、図7における符号  $a$  はレンズ51の押付けによる外力  $F$  の発生を示し、符号  $b$  はレンズ51の押付け完了を示している。

【0089】

接着装置によるレンズ51の接着作業では、まず、図5、図6A、図6Bに示すように、移動制御部71は、エンドエフェクタ2により保持されたレンズ51がワーク52に近づくように、エンドエフェクタ2をワーク52の方向へ速度  $V_1$  で移動させる（ステップ  $ST_1$ ）。

【0090】

次いで、図5、図6C、図6Dに示すように、押付け制御部72は、外力  $F$  が力  $F_1$  となるまで、エンドエフェクタ2をワーク52の方向へ速度  $V_2$  で移動させる（ステップ  $ST_2$ ）。これにより、適切な力でレンズ51をワーク52に接着するように押付けることができる。図7Aに示すように、力  $F_1$  は、レンズ51をワーク52に接着可能な力である。また、図7Bに示すように、速度  $V_2$  は、速度  $V_1$  よりも遅い速度である。

【0091】

ここで、レンズ51がワーク52に塗布された接着剤53に衝突すると、その際に気泡が発生する恐れがある。この気泡の発生率は、レンズ51が接着剤53に衝突する際の速度と共に増加し、レンズ51が接着剤53に衝突する速度が所定の速度よりも遅い場合には気泡はほぼ発生しないことが知られている（例えば非特許文献1参照）。

そこで、実施の形態1に係る接着装置では、レンズ51を接着先であるワーク52の付近まで移動させる際には、速度を  $V_1$  まで上げて素早く移動させ、レンズ51をワーク5

10

20

30

40

50

2 付近からワーク 5 2 に接触させる際には、速度を V 2 まで落として移動させる。このように、速度制御を行うことで、レンズ 5 1 とワーク 5 2 との間に気泡が生じることを抑制できる。

【非特許文献 1】青森県産業技術開発センター「接合レンズ自動接着システムの開発」

【0092】

その後、エンドエフェクタ 2 はレンズ 5 1 の保持を解除し、レンズ 5 1 の接着作業を終了する。

【0093】

以上の動作により、レンズ 5 1、ワーク 5 2 又はアクチュエータ 1 を壊さず、且つ作業速度を落とさずに、レンズ 5 1 に対する接着作業が実施できる。また、この際、レンズ 5 1 とワーク 5 2 との間に気泡が入り込むことを抑制できる。また、レンズ 5 1 をワーク 5 2 に接着する際に押付け力を制御することで、接着剤 5 3 の膜圧を管理できる。

10

【0094】

なお上記では、可動部 1 2 を直動方向に変位可能とするアクチュエータ 1 を用いた場合を示した。しかしながら、これに限らず、加速度検出部 5 が角加速度を検出可能であれば、可動部 1 2 を回転方向に変位可能とするアクチュエータ 1 を用いることもできる。

【0095】

また上記では、移動部 3 がロボットである場合を示した。しかしながら、これに限らず、移動部 3 として、直動機構又は回転機構を用いてもよい。

【0096】

以上のように、この実施の形態 1 によれば、固定部 1 1 及び可動部 1 2 を有するアクチュエータ 1 と、固定部 1 1 に対する可動部 1 2 の位置を検出する位置検出部 4 と、固定部 1 1 の加速度を検出する加速度検出部 5 と、位置検出部 4 により検出された位置と基準位置  $P_r$  との差分に対してゲインを調整し、当該調整結果である電流指令値  $I_{rp}$  及び加速度検出部 5 により検出された加速度に基づいてアクチュエータ 1 に対する駆動電流  $I_a$  を出力するアクチュエータ制御部 6 1 と、アクチュエータ制御部 6 1 において得られた電流指令値  $I_{rp}$ 、又は、加速度検出部 5 により検出された加速度及びアクチュエータ制御部 6 1 により出力された駆動電流  $I_a$  の電流値に基づいて、可動部 1 2 に加わる外力  $F$  を検出する外力検出部 6 2 と、外力検出部 6 2 により検出された外力  $F$ 、及び位置検出部 4 により検出された位置から得られた速度に基づいて、アクチュエータ制御部 6 1 を制御する作業制御部 7 とを備えたので、可動部 1 2 が急激に加減速された場合又は姿勢が変更された場合でも、可動部 1 2 に加わる外力  $F$  を正しく検出でき、当該外力  $F$  に基づいて接着作業を行うことができる。また、接着剤 5 3 の粘度に依らず、簡易な構成で、気泡が入らずに接着可能となる。

20

30

【0097】

なお、本願発明はその発明の範囲内において、実施の形態の任意の構成要素の変形、もしくは実施の形態の任意の構成要素の省略が可能である。

【符号の説明】

【0098】

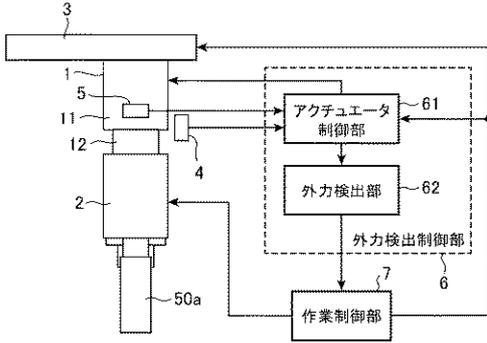
- 1 アクチュエータ
- 2 エンドエフェクタ
- 3 移動部
- 4 位置検出部
- 5 加速度検出部
- 6 外力検出制御部
- 7 作業制御部
- 1 1 固定部
- 1 2 可動部
- 6 1 アクチュエータ制御部
- 6 2 外力検出部

40

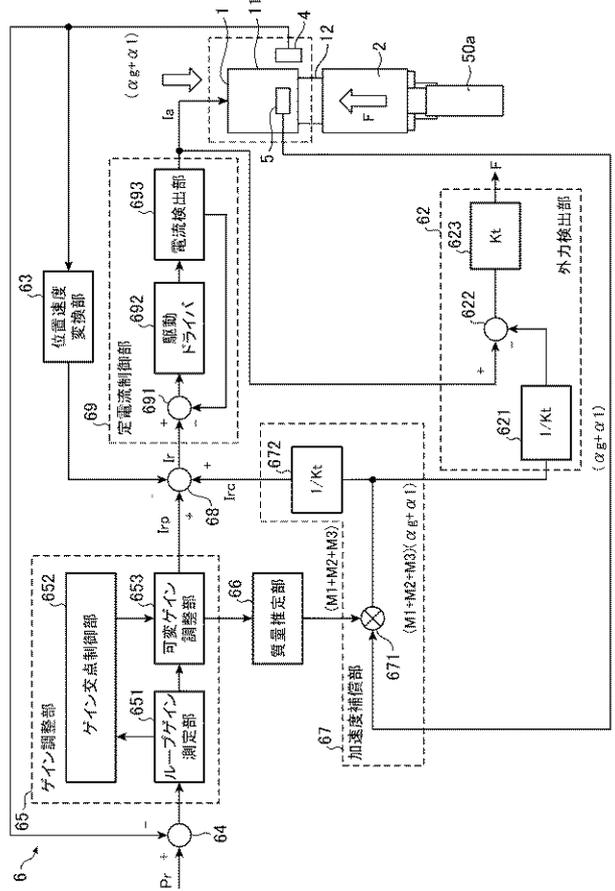
50

6 3	位置速度変換部	
6 4	減算器	
6 5	ゲイン調整部	
6 6	質量推定部	
6 7	加速度補償部	
6 8	加減算器	
6 9	定電流制御部	
7 1	移動制御部	
7 2	押付け制御部	
5 0 a , 5 0 b	物体	10
5 1	レンズ	
5 2	ワーク	
5 3	接着剤	
6 2 1	係数乗算部	
6 2 2	減算器	
6 2 3	係数乗算部	
6 5 1	ループゲイン測定部	
6 5 2	ゲイン交点制御部	
6 5 3	可変ゲイン調整部	
6 5 4	発振器	20
6 5 5	加算器	
6 5 6	比較器	
6 7 1	乗算器	
6 7 2	係数乗算部	
6 9 1	減算器	
6 9 2	駆動ドライバ	
6 9 3	電流検出部	

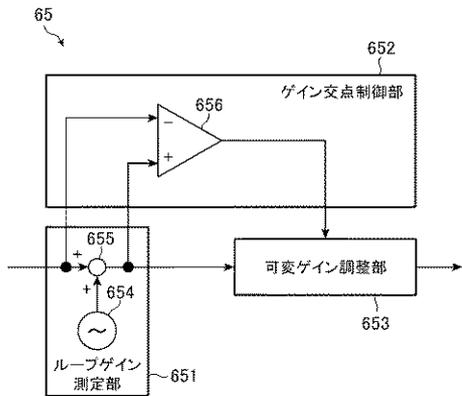
【 図 1 】



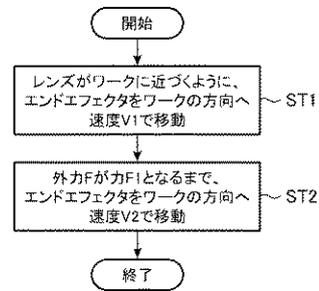
【 図 2 】



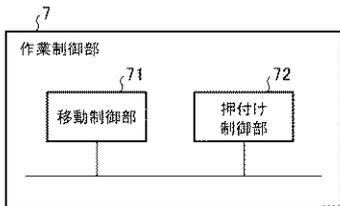
【 図 3 】



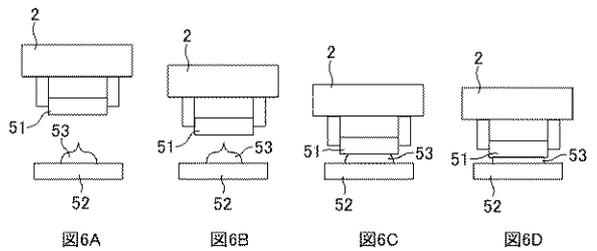
【 図 5 】



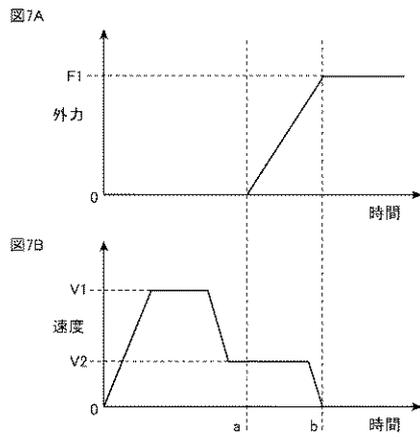
【 図 4 】



【 図 6 】



【 図 7 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 栗原 賢二

東京都千代田区丸の内 2 丁目 7 番 3 号 アズビル株式会社内

Fターム(参考) 3C030 BC04 BC11 BC31 BC36 BD01 CA00

5H004 GA05 GA14 GB16 HA08 HA10 HB08 HB10 HB14 JA12 JA13

KB02 KB04 KB06