

(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2018-109600

(P2018-109600A)

(43) 公開日 平成30年7月12日(2018.7.12)

(51) Int.Cl.		F I		テーマコード (参考)
GO1B 5/00	(2006.01)	GO1B	5/00	A 2F062
B25J 13/00	(2006.01)	B25J	13/00	Z 3C707
GO1B 5/06	(2006.01)	GO1B	5/06	

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L 外国語出願 (全 40 頁)

(21) 出願番号 特願2017-169203 (P2017-169203)
 (22) 出願日 平成29年9月4日 (2017.9.4)
 (31) 優先権主張番号 15/294, 757
 (32) 優先日 平成28年10月16日 (2016.10.16)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 500520743
 ザ・ボーイング・カンパニー
 The Boeing Company
 アメリカ合衆国、60606-2016
 イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100
 (74) 代理人 110002077
 園田・小林特許業務法人
 (72) 発明者 トロイ、 ジェームズ ジェイ。
 アメリカ合衆国 イリノイ 60606-1596, シカゴ, ノース リバーサイド プラザ 100

最終頁に続く

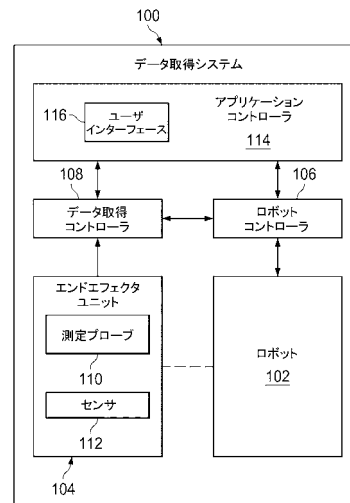
(54) 【発明の名称】 適応型のロボット式エンドエフェクタのための方法及び装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】ロボットデバイスに取り付けられる多軸適応型エンドエフェクタを使用して被加工物に動作を実施するための、方法及び装置を提供する。

【解決手段】エンドエフェクタ104は、動作が実施される被加工物フィーチャの公称位置に位置付けられる。エンドエフェクタが被加工物フィーチャに接触することによって、エンドエフェクタが被加工物フィーチャと受動的に位置合わせされる。被加工物フィーチャとエンドエフェクタを位置合わせすることに応じて、動作が被加工物フィーチャに実施される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

ロボットデバイス(202)に取り付けられる多軸適応型エンドエフェクタ(204)であって、

被加工物フィーチャ(1102)の実際の位置(1110)を接触によって判定するよう構成された、適応型接触プローブ(206)と、

前記適応型プローブ(206)に関連しており、かつ、前記被加工物フィーチャ(1102)と前記適応型接触プローブ(206)を受動的に位置合わせするよう構成された、少なくとも1つの並進式接合部(424、426)、及び少なくとも1つの回転式接合部(426、428)とを備える、多軸適応型エンドエフェクタ(204)。

10

【請求項 2】

前記少なくとも1つの並進式接合部(424、426)が、

前記エンドエフェクタ(204)の脚部コレット(424)の中に摺動可能に固定された、軸受ハウジング(426)を更に備える、請求項1に記載の多軸適応型エンドエフェクタ(204)。

【請求項 3】

前記少なくとも1つの回転式接合部(426、428)が、

前記エンドエフェクタ(204)の軸受ハウジング(426)内に回転可能に装着された、球面軸受(428)を更に備える、請求項1又は2に記載の多軸適応型エンドエフェクタ(204)。

20

【請求項 4】

前記適応型接触プローブ(206)が、

前記被加工物(1104)に適応して接触するよう構成された接触子(422)であって、前記適応型接触プローブ(206)が、前記接触子(422)と前記被加工物(1104)との接触に応じてフィードバックを提供するよう構成される、接触子(422)と

、
前記適応型接触プローブ(206)に関連するリニアゲージ(418)であって、前記接触子(422)が前記被加工物(1104)に接触する時に、前記リニアゲージ(418)から前記被加工物フィーチャ(1102)における前記被加工物(1104)の厚さが判定される、リニアゲージ(418)とを更に備える、請求項1から3のいずれか一項に記載の多軸適応型エンドエフェクタ(204)。

30

【請求項 5】

前記適応型接触プローブ(206)が前記被加工物フィーチャ(1102)と受動的に位置合わせされない場合に、実質的にニュートラルな配向で前記適応型接触プローブ(206)を保持するよう構成された、いくつかの磁気デント(432)を更に備える、請求項1から4のいずれか一項に記載の多軸適応型エンドエフェクタ(204)。

【請求項 6】

前記エンドエフェクタ(204)を前記ロボットデバイス(202)に取り付けるための、動的に位置合わせされる磁気連結部(402)を更に備える、請求項1から5のいずれか一項に記載の多軸適応型エンドエフェクタ(204)。

40

【請求項 7】

ロボットデバイス(202)に取り付けられる多軸適応型エンドエフェクタ(204)を使用して、被加工物(1104)に自動的に動作を実施するための方法であって、

前記動作が実施される被加工物フィーチャ(1102)の公称位置(2404)に、前記エンドエフェクタ(204)を位置付けることと、

前記被加工物フィーチャ(1102)と前記エンドエフェクタ(204)を受動的に位置合わせするために、前記エンドエフェクタ(204)を前記被加工物フィーチャ(1102)に接触させることと、

前記被加工物フィーチャ(1102)と前記エンドエフェクタを位置合わせすることに応じて、前記被加工物フィーチャ(1102)に前記動作を実施することを含む、方法

50

。

【請求項 8】

前記被加工物フィーチャ(1102)の前記公称位置(2404)に前記エンドエフェクタ(204)を位置付けることに応じて、前記エンドエフェクタ(204)が前記被加工物フィーチャ(1102)の実際の位置(1110)に受動的に位置合わせされうるか否かを判定することを更に含み、

前記エンドエフェクタ(204)が前記被加工物フィーチャ(1102)の実際の位置(1110)に受動的に位置合わせされうるか否かを判定することが、

前記エンドエフェクタ(204)が前記被加工物フィーチャ(1102)の前記実際の位置(1110)に受動的に位置合わせされうるか否かを判定するために、前記エンドエフェクタ(204)から適応型接触プローブ(206)を伸長させることを更に含み、前記接触プローブ(206)は、前記被加工物(1104)への損傷を防止するために垂直方向に適応する、請求項7に記載の方法。

10

【請求項 9】

前記被加工物フィーチャ(1102)が前記被加工物(1104)の穴(1508)であり、前記被加工物フィーチャ(1102)と前記エンドエフェクタ(204)を受動的に位置合わせすることが、

前記穴(1508)を通して前記接触プローブ(206)を伸長させることと、

前記エンドエフェクタ(204)が前記穴(1508)に位置合わせされるまで、前記接触プローブ(206)が前記穴(1508)を通して伸長するにつれて、前記接触プローブ(206)を、磁気によって決まるニュートラル位置から並進的かつ角度的にオフセットさせることを更に含み、

20

前記動作が、前記穴(1508)において前記被加工物(1104)の厚さを判定することを含み、方法であって、

前記適応型接触プローブ(206)が前記被加工物(1104)の下面に接触するまで前記接触プローブ(206)を後退させることと、

前記接触プローブ(206)の伸長に基づいて、前記穴(1508)において前記被加工物(1104)の前記厚さを判定することと、

前記適応型接触プローブ(206)からの接触フィードバックが前記穴(1508)の側壁との接触を示すまで、前記エンドエフェクタ(204)をオフセットさせることを更に含み、

30

前記接触プローブ(206)を後退させるステップが、前記エンドエフェクタ(204)をオフセットさせることに応じて実施される、請求項8に記載の方法。

【請求項 10】

前記動作を実施することに応じて、前記適応型接触プローブ(206)が前記被加工物フィーチャ(1102)から除去されうるか否かを判定することと、

前記接触プローブ(206)が前記被加工物フィーチャ(1102)から除去されえないと判定することに応じて、前記接触プローブ(206)が前記被加工物フィーチャ(1102)から後退しうる、前記エンドエフェクタの位置を位置特定するために、後退探索プロセスを実施することと、

40

前記接触プローブ(206)が前記被加工物フィーチャ(1102)から後退しうる、前記エンドエフェクタの位置を位置特定することに応じて、前記エンドエフェクタを前記被加工物フィーチャ(1102)から後退させて、前記被加工物フィーチャ(1102)から前記適応型接触プローブ(206)を除去することとを更に含み、請求項9に記載の方法。

【請求項 11】

前記被加工物フィーチャ(1112)の前記公称位置(2404)が前記被加工物フィーチャ(1102)の前記実際の位置(1110)ではないと判定することに応じて、前記被加工物フィーチャ(1102)の探索プロセスを実施することと、

前記被加工物フィーチャ(1102)を位置特定することに応じて、前記被加工物フィ

50

ーチャ(1102)の前記公称位置(2404)から前記実際の位置(1110)までのオフセットを記憶することとを更に含む、方法であって、

前記被加工物フィーチャ(1102)の前記探索プロセスを実施することが、

前記適応型接触プローブ(206)からの接触フィードバックに基づいて前記被加工物フィーチャ(1102)の前記実際の位置(1110)が判定されるまで、前記公称位置(2404)からの外向きの螺旋経路内で、前記エンドエフェクタ(204)の細かな移動及び前記接触プローブ(206)の伸長チェックを行うことを更に含む、請求項8に記載の方法。

【請求項12】

ロボットデバイス(202)に取り付けられる多軸適応型エンドエフェクタ(204)を使用して、被加工物(1104)に自動的に動作を実施するためのコンピュータプログラム製品であって、

コンピュータ可読記憶媒体(2720)と、

前記動作が実施される被加工物フィーチャ(1102)の公称位置(2404)に前記エンドエフェクタ(204)を位置付けるための、前記コンピュータ可読記憶媒体(2720)に記憶された第1プログラムコード(2718)と、

前記エンドエフェクタ(204)を前記被加工物フィーチャ(1102)に接触させて、前記被加工物フィーチャ(1102)と前記エンドエフェクタ(204)を受動的に位置合わせするための、前記コンピュータ可読記憶媒体(2720)に記憶された第2プログラムコード(2718)と、

前記被加工物フィーチャ(1102)と前記エンドエフェクタを位置合わせすることに応じて、前記被加工物フィーチャ(1102)に前記動作を実施するための、前記コンピュータ可読記憶媒体(2720)に記憶された第3プログラムコード(2718)と、

前記被加工物フィーチャ(1102)の前記公称位置(2404)に前記エンドエフェクタ(204)を位置付けることに応じて、前記エンドエフェクタ(204)が前記被加工物フィーチャ(1102)の実際の位置(1110)に受動的に位置合わせされるか否かを判定するための、前記コンピュータ可読記憶媒体(2720)に記憶された第4プログラムコード(2718)とを含み、

前記第4プログラムコード(2718)が、

前記エンドエフェクタ(204)から適応型接触プローブ(206)を伸長させて、前記エンドエフェクタ(204)が前記被加工物フィーチャ(1102)の実際の位置(1110)に受動的に位置合わせされるか否かを判定するための、前記コンピュータ可読記憶媒体(2720)に記憶されたプログラムコード(2718)を更に含む、コンピュータプログラム製品。

【請求項13】

前記被加工物フィーチャ(1102)が前記被加工物(1104)の穴(1508)であり、前記第2プログラムコード(2718)が、

前記被加工物(1104)の前記穴(1508)を通して前記接触プローブ(206)を伸長させるための、前記コンピュータ可読記憶媒体(2720)に記憶されたプログラムコード(2718)であって、前記エンドエフェクタ(204)が前記穴(1508)に位置合わせされるまで、前記接触プローブ(206)が前記穴(1508)を通過して伸長するにつれて、前記接触プローブ(206)が、並進的かつ角度的に、磁気によって決まるニュートラル位置から受動的にオフセットされる、プログラムコード(2718)を更に含む、

前記動作が、前記穴(1508)において前記被加工物(1104)の厚さを判定することを含む、コンピュータプログラム製品であって、

前記適応型接触プローブ(206)が前記被加工物(1104)の下面に接触するまで前記接触プローブ(206)を後退させるための、前記コンピュータ可読記憶媒体(2720)に記憶された第5プログラムコード(2718)と、

前記接触プローブ(206)の伸長に基づいて、前記穴(1508)において前記被加

10

20

30

40

50

工物（１１０４）の前記厚さを判定するための、前記コンピュータ可読記憶媒体（２７２０）に記憶された第６プログラムコード（２７１８）とを更に含む、請求項１２に記載のコンピュータプログラム製品。

【請求項１４】

前記適応型接触プローブ（２０６）からの接触フィードバックが前記穴（１５０８）の側壁との接触を示すまで、前記エンドエフェクタ（２０４）をオフセットさせるための、前記コンピュータ可読記憶媒体（２７２０）に記憶された第７プログラムコード（２７１８）を更に含み、

前記第７プログラムコード（２７１８）に応じて前記第５プログラムコード（２７１８）が実施される、請求項１３に記載のコンピュータプログラム製品。

10

【請求項１５】

前記動作を実施することに応じて、前記適応型接触プローブ（２０６）が前記被加工物フィーチャ（１１０２）から除去されうるか否かを接触フィードバックによって判定するための、前記コンピュータ可読記憶媒体（２７２０）に記憶された第７プログラムコード（２７１８）と、

前記接触プローブ（２０６）が前記被加工物フィーチャ（１１０２）から除去されえないと判定することに応じて、前記接触プローブ（２０６）が前記被加工物フィーチャ（１１０２）から後退しうる、前記エンドエフェクタの位置を位置特定するために、後退探索プロセスを実施するための、前記コンピュータ可読記憶媒体（２７２０）に記憶された第８プログラムコード（２７１８）と、

20

前記接触プローブ（２０６）が前記被加工物フィーチャ（１１０２）から後退しうる、前記エンドエフェクタの位置を位置特定することに応じて、前記エンドエフェクタを前記被加工物フィーチャ（１１０２）から後退させて、前記被加工物フィーチャ（１１０２）から前記適応型接触プローブ（２０６）を除去するための、前記コンピュータ可読記憶媒体（２７２０）に記憶された第９プログラムコード（２７１８）とを更に含む、請求項１３に記載のコンピュータプログラム製品。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【０００１】

本開示は概してロボット式の製造動作に関し、詳細には、製造への応用のためにロボットアームに取り付けられるエンドエフェクタの位置付けに関する。より詳細には、本開示は、ターゲット位置が変動する被加工物にロボット式エンドエフェクタを正確に位置付けるための方法及び装置に関する。

30

【０００２】

ロボットアームデバイスの制御を伴う、製造への応用においては、任意の動作が実施される被加工物に対して、ロボットマニピュレータ又はロボットエンドエフェクタを精密に位置付けることが必要になる。ロボットアームデバイスを使用する多くの応用では、ロボットの位置付け及び配向の制御に対する決定論的アプローチが前提とされる。この決定論的アプローチはロボットの作業セル条件が一定であることを予期するものであり、ロボットの運動制御により、全ての新規被加工物に常に同じ結果が発生することになる。

40

【０００３】

しかし、一部の応用、特に大型部品を伴う応用に関しては、一定の作業セル及び被加工物条件についての決定論的な前提は、通常有効ではない。例えば、被加工物の熱膨張及び／又は収縮といった変化する環境的条件は、多くの場合、被加工物におけるターゲット位置の変動をもたらす。被加工物におけるターゲット位置が変動しうる、このようなロボット応用形態に関しては、エンドエフェクタと被加工物フィーチャとの正確な位置合わせを実現することが困難である。

【０００４】

ある動作により、被加工物のフィーチャとエンドエフェクタを精密に位置合わせする（例えば、測定のようなタスクのために穴の中にツールを挿入する）ことが必要な状況では

50

、エンドエフェクタの不正確な配置が、エンドエフェクタ、被加工物、又はその両方に損傷を引き起こしうる。エンドエフェクタが不正確に配置されると、ロボットによって実行されるあらゆる自動タスクが停止せざるをえない。この問題に対処するために作業人員が介入することが、たびたび必要とされる。

【0005】

被加工物フィーチャの付近でのエンドエフェクタの正確な位置付けを伴う、標準的なロボット制御の応用では、位置ずれが起こると、オペレータがロボット制御プログラムを停止させて被加工物又はロボットの位置調整を実施し、次いで制御プログラム再始動させることが必要になる。人間の介入を伴うこの中断、調整、及び再始動というアプローチによりタスクを完遂することは、可能であるが、非常に非効率的である。

10

【0006】

より順応性のある応用では、位置ずれ問題に対処するために視覚システムが使用されてきた。視覚システムは、典型的には、カメラが取り付けられているエンドエフェクタをフィーチャ位置に移動させることを伴う。カメラは対象のエリアの写真を撮る。制御システムは、画像内の正しいフィーチャを特定し、エンドエフェクタを正しい位置に移動させるために必要な局所的オフセットを算出する。ロボットは次いで、別のロボット移動を実行することによって、エンドエフェクタを正しい位置に移動させる。

【0007】

視覚システムは、表面外観に変動のない被加工物に対して、及び、厳密に制御された照明条件のもとでは、良好に機能しうる。しかし、視覚システムは、高価であることも、既存のロボットシステムへの統合が困難なこともある。更に、視覚システムには、多くの場合、相当量の初期校正及び稼働中の校正、並びに特殊な整備が必要になる。

20

【0008】

外部カメラシステムが、別種の既存手法である。外部カメラシステムは、ロボット自身ではなく環境の中に配置された、一又は複数の外部カメラ又は他のセンサを使用する。外部カメラシステムのような応用では、フィーチャに対するエンドエフェクタの相対的な位置及び配向が測定される。しかし、他の視覚システムと同様に、外部カメラシステムも、変動のない表面外観、及び厳密に制御された照明条件のもとにあることに、大きく依拠する。

【0009】

光学的モーションキャプチャシステムは、上述の外部カメラシステムの一変形例である。光学的モーションキャプチャシステムは、エンドエフェクタ及び被加工物に配置された再帰反射マーカを利用する。再帰反射マーカが他のカメラシステムにある照明問題の一部を克服するので、光学的モーションキャプチャシステムは、他のものよりは、表面外観又は周囲の照明条件に依存しなくなる。しかし、他の種類の視覚ベースのシステムと同様に、光学的モーションキャプチャシステムも、初期校正及び特殊整備の問題を有しており、典型的には非常に高価である。

30

【0010】

特殊な座標測定機器(CMM)は、多種多様な測定タスクに使用されるガントリのようなデバイスである。しかしCMMは、典型的には、作業量が限定されている大型で重いデバイスである。大型の又は複雑な被加工物に対する動作にCMMを使用するのは、困難で時間がかかることである。

40

【0011】

したがって、上述の問題の少なくとも一部、並びに他の起こりうる問題を考慮している、方法及び装置を有することが望ましいと言える。

【発明の概要】

【0012】

一実施例では、装置は、ロボットデバイスに取り付けられる多軸適応型(multi-axis compliant)エンドエフェクタを備える。このエンドエフェクタは、適応型接触プローブを備える。適応型接触プローブは、被加工物フィーチャの実際の位置

50

を接触によって判定するよう構成される。エンドエフェクタは、それに加えて、適応型接触プローブに関連する、少なくとも1つの並進式接合部と、少なくとも1つの回転式接合部とを備える。少なくとも1つの並進式接合部及び少なくとも1つの回転式接合部は、被加工物フィーチャと適応型接触プローブを受動的に位置合わせするよう、構成される。

【0013】

別の実施例では、ロボットデバイスに取り付けられる多軸適応型エンドエフェクタを使用して被加工物に自動的に動作を実施するための、方法が提供される。この方法は、動作が実施される被加工物フィーチャの公称位置(nominal location)に、エンドエフェクタを位置付けることを含む。方法は、それに加えて、被加工物フィーチャとエンドエフェクタを受動的に位置合わせするために、エンドエフェクタを被加工物フィーチャに接触させることを含む。方法は、それに加えて、被加工物フィーチャとエンドエフェクタを位置合わせすることに応じて、被加工物フィーチャに動作を実施することを含む。

10

【0014】

また別の実施例では、ロボットデバイスに取り付けられる多軸適応型エンドエフェクタを使用して被加工物に自動的に動作を実施するための、コンピュータプログラム製品が提供される。このコンピュータプログラム製品は、コンピュータ可読記憶媒体を備える。コンピュータプログラム製品は、動作が実施される被加工物フィーチャの公称位置にエンドエフェクタを位置付けるための、コンピュータ可読記憶媒体に記憶された第1プログラムコードを含む。コンピュータプログラム製品は、それに加えて、エンドエフェクタを被加工物フィーチャに接触させて、被加工物フィーチャとエンドエフェクタを受動的に位置合わせするための、コンピュータ可読記憶媒体に記憶された第2プログラムコードを含む。コンピュータプログラム製品は、それに加えて、被加工物フィーチャとエンドエフェクタを位置合わせすることに応じて、被加工物フィーチャに動作を実施するための、コンピュータ可読記憶媒体に記憶された第3プログラムコードを含む。

20

【0015】

これらの特徴及び機能は、本開示の様々な例において個別に実現可能であるか、又は、後述の説明及び図面を参照して更なる詳細が理解されうる、更に別の例において組み合わせられうる。

【0016】

実施例の特性と考えられる新規な特徴は、付随する特許請求の範囲に明記される。しかし、実施例及び好ましい使用モードと、それらの更なる目的及び特徴は、添付図面と併せて後述の本開示の実施例の詳細説明を参照することにより、最もよく理解されよう。

30

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】一実施例によりブロック図の形式で示された、データ取得システムの図である。

【図2】一実施例により示された、エンドエフェクタユニットが取り付けられているロボットの斜視図である。

【図3】一実施例により示された、エンドエフェクタユニットの正射投影図である。

【図4】一実施例により示された、エンドエフェクタユニットの断面図である。

40

【図5】一実施例により示された、エンドエフェクタユニットの測定プローブを含む分解組み立て部の正射影図である。

【図6】一実施例により示された、エンドエフェクタユニットの脚部を含む分解組み立て部の正射投影図である。

【図7】一実施例により示された、エンドエフェクタユニットの本体を含む分解組み立て部の正射投影図である。

【図8】一実施例により示された、エンドエフェクタアセンブリの斜視図である。

【図9】一実施例により示された、エンドエフェクタアセンブリの拡大正射投影図である。

【図10】一実施例により示された、エンドエフェクタアセンブリユニットの断面図であ

50

る。

【図 1 1】一実施例により示された、被加工物と角度的に位置ずれしている、受動適応型エンドエフェクタユニットの断面図である。

【図 1 2】一実施例により示された、被加工物が角度的に位置ずれしている、受動適応型エンドエフェクタユニットの受動位置合わせに関する断面図である。

【図 1 3】一実施例により示された、被加工物に対して穴接近位置にある、受動適応型エンドエフェクタユニットの断面図である。

【図 1 4】一実施例により示された、被加工物が直線的に位置ずれしている、受動適応型エンドエフェクタユニットの受動位置合わせに関する断面図である。

【図 1 5】一実施例により示された、動作を実施している受動適応型エンドエフェクタの一連の断面図のうちの第 1 の図である。

【図 1 6】一実施例により示された、動作を実施している受動適応型エンドエフェクタの一連の断面図のうちの第 2 の図である。

【図 1 7】一実施例により示された、動作を実施している受動適応型エンドエフェクタの一連の断面図のうちの第 3 の図である。

【図 1 8】一実施例により示された、動作を実施している受動適応型エンドエフェクタの一連の断面図のうちの第 4 の図である。

【図 1 9】一実施例により示された、動作を実施している受動適応型エンドエフェクタの一連の断面図のうちの第 5 の図である。

【図 2 0】一実施例により示された、動作を実施している受動適応型エンドエフェクタの一連の断面図のうちの第 6 の図である。

【図 2 1】一実施例により示された、動作を実施している受動適応型エンドエフェクタの一連の断面図のうちの第 7 の図である。

【図 2 2】一実施例により示された、動作を実施している受動適応型エンドエフェクタの一連の断面図のうちの第 8 の図である。

【図 2 3】一実施例により示された、エンドエフェクタユニットの二次元図である。

【図 2 4】一実施例により示された、伸長探索プロセスの実施に関する正射投影図である。

【図 2 5】一実施例により示された、後退通り抜け探索プロセスの実施に関する正射投影図である。

【図 2 6】一実施例により示された、受動適応型エンドエフェクタを使用して、被加工物フィーチャにおいて厚さ測定動作を実施するための、プロセスの図である。

【図 2 7】一実施例により示された、ブロック図の形式のデータ処理システムの図である。

【図 2 8】一実施例により示された、航空機の製造及び保守方法のブロック図である。

【図 2 9】一実施例が実装される航空機のブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

実施例では、種々の検討事項が考慮される。例えば、実施例では、ロボットオペレータを伴う製造への応用の実施が望ましい可能性があることが、考慮されている。更に、実施例では、被加工物に対してロボットを精密に位置付けるための方法及び装置を有し、その被加工物に製造動作を実施することが望ましいかもしれないということも、考慮されている。詳細には、実施例では、製造済みの飛行機構成要素などの大型の被加工物に対してロボットを精密に位置付け、その被加工物の穴又は切り欠きの厚さを正確に測定するための、方法及び装置を有することが望ましいかもしれないということが、考慮されている。

【0019】

ゆえに、実施例は、被加工物及び被加工物フィーチャの公称位置と被加工物及び被加工物フィーチャの実際の位置との間に不一致が存在する可能性がある状況において、エンドエフェクタと被加工物フィーチャとの位置合わせを可能にする、方法及び装置を提供する。この性能は、ロボットの再プログラミングを必要とせずにロボットの経路プログラムを

10

20

30

40

50

再使用することを可能にするものであり、かつ、被加工物との位置合わせ接触が許容される状況に適用可能である。

【 0 0 2 0 】

実施例は、ロボットアーム又はガントリに取り付けられる、適応型の自己位置合わせロボット式エンドエフェクタであって、システムが実際のフィーチャ位置の公称値からのずれを補償することを可能にする、ロボット式エンドエフェクタを提供する。このエンドエフェクタは、被加工物及び被加工物フィーチャとの適切な位置合わせを、たとえそのフィーチャの実際の位置が正確には分かっている場合であっても可能にするために、回転式及び並進式の適応型要素を使用する。エンドエフェクタは、特に大型の対象物について、穴、スロット、及び他の種類の切り欠きに関連する表面厚さ測定を正確に実施する。

10

【 0 0 2 1 】

したがって、実施例のエンドエフェクタ及び制御プロセスは、フィーチャの公称位置向けに開発されたロボット制御プログラムが、小さい～中ぐらいの大きさの、被加工物及びフィーチャの位置の公称値からのずれを許容することを可能にする、位置合わせ補償方法を提供する。

【 0 0 2 2 】

実施例は、複数の一体型の並進式接合部、回転式接合部、及び磁気デテントを伴う適応設計を使用する、エンドエフェクタを提供し、この適応設計により、エンドエフェクタが、非理想的な条件に受動的に適合し、なおかつ、プログラムされた動作を実施することが可能になる。この適合可能性により、公称フィーチャ位置向けに開発されたロボット応用形態が、完了したプログラムを部分的にさかのぼって被加工物又はロボットの位置の調整を行うための、ロボット経路の再プログラミング、又は運動プログラムの停止を必要とせず、極端ではない位置不一致を伴う状況において使用されることが可能になる。

20

【 0 0 2 3 】

実施例は、エンドエフェクタの、三次元の適応型並進運動、並びに、適応型のピッチ/ロール回転運動を伴う、エンドエフェクタを提供する。複数の一体型の並進式接合部、回転式接合部、磁気デテント、及びセンサにより、ロボットオペレータによるエンドエフェクタの横方向運動のオーバーラベルの補償と共に、エンドエフェクタの自己位置合わせという特徴が、可能になる。上記の特徴を合わせれば、エンドエフェクタが、たとえ位置ずれしている場合であっても、正確な穴厚測定値を取得することが可能になる。

30

【 0 0 2 4 】

実施例は、複数のレベルのエラー検出を行うエンドエフェクタを制御するための方法、並びに、より大きな不一致を伴う測定応用のためのリカバリ方法を、更に提供する。このエラー検出方法及びリカバリ方法により、最少限の人間の介入でシステムが稼働することが可能になる。大きな位置ずれがある（位置合わせチェックフェーズにおいてプローブが穴に入る代わりに表面に接触する）状況では、穴を位置特定するためにアプリケーションコントローラがサーチパターンを実施する。アプリケーションコントローラは次いで、位置を再センタリングするために制御アプリケーションにオフセット測定値を提供し、その後、測定プロセスは継続する。

【 0 0 2 5 】

ここで図、詳細には図 1 を参照するに、データ取得システムの図が、一実施例により、ブロック図の形式で示されている。この実施例では、データ取得システム 100 は、被加工物についての情報を取得するために使用されうる。

40

【 0 0 2 6 】

図示しているように、データ取得システム 100 はロボット 102 を含む。ロボット 102 は、エンドエフェクタユニット 104 を移動させるよう構成されうる。詳細には、ロボット 102 は、被加工物の表面に対してエンドエフェクタユニット 104 を位置付けるために使用されうる。

【 0 0 2 7 】

一実施例では、ロボット 102 は関連するロボットアームを備える。この例では、エン

50

ドエフェクタユニット104は、ロボット102に関連するロボットアームに取り付けられるように構成される。

【0028】

本書において、一構成要素が別の構成要素に「関連する」場合、この関連付けは、図示された例における物理的な関連付けである。例えば、ロボットアームなどの第1構成要素は、第2構成要素に固定されること、第2構成要素に接合されること、第2構成要素に装着されること、第2構成要素に溶接されること、第2構成要素に留め付けられること、第2構成要素に磁気によって取り付けられること、及び/又は、他の何らかの好適な状態で第2構成要素に接続されることによって、ロボット102などの第2構成要素に関連することになると見なされうる。場合によっては、第1構成要素は、第3構成要素によって第2構成要素に接続されることにより、第2構成要素に関連すると見なされうる。第1構成要素は、第2構成要素の一部として、及び/又は延長部として形成されることによって、第2構成要素に関連することになるとも見なされうる。

10

【0029】

図示しているように、データ取得システム100はロボットコントローラ106を含む。ロボットコントローラ106は、ロボット102の移動を制御するよう構成されうる。詳細には、ロボットコントローラ106は、被加工物の表面に対してエンドエフェクタユニット104を位置付けるために、ロボット102を制御するのに使用されうる。

【0030】

図示しているように、データ取得システム100はデータ取得コントローラ108を含む。データ取得コントローラ108は、エンドエフェクタユニット104の動作を制御するよう構成されうる。詳細には、データ取得コントローラ108は、被加工物についての情報を取得するために、エンドエフェクタユニット104の動作を制御するのに使用されうる。

20

【0031】

一実施例では、データ取得コントローラ108は、被加工物についてのデータを取得するためのモジュールである。この実施例では、データ取得コントローラ108は、内部でそれ自体の制御プログラムを実行するわけではない。その代わりに、データ取得コントローラ108は、ロボットコントローラ106又はアプリケーションコントローラ114の少なくとも一方に、入力/出力の生データを提供する。

30

【0032】

一実施例では、データ取得コントローラ108は、ロボットコントローラ106によって制御されうるか、又はロボットコントローラ106に統合されうる、モジュールである。したがって、データ取得コントローラ108は、ロボットコントローラ106と直接通信するモジュールでありうる。

【0033】

別の実施例では、データ取得コントローラ108は、アプリケーションコントローラ114によって制御されうる。したがって、データ取得コントローラ108は、アプリケーションコントローラ114を通じて、エンドエフェクタユニット104と連動しうる。

【0034】

この実施例では、データ取得システム100は、ロボットコントローラ106、データ取得コントローラ108、及びアプリケーションコントローラ114を含む。ロボットコントローラ106、データ取得コントローラ108、及びアプリケーションコントローラ114のうちの少なくとも1つは、ソフトウェア、ハードウェア、ファームウェア、又はそれらの組み合わせを使用して実装されうる。ソフトウェアを使用する場合、ロボットコントローラ106、データ取得コントローラ108、及びアプリケーションコントローラ114によって実施される動作は、限定するわけではないが例としては、プロセッサユニットで実行されるよう設定されたプログラムコードを使用して、実装されうる。ファームウェアを使用する場合、ロボットコントローラ106及びデータ取得コントローラ108によって実施される動作は、限定するわけではないが例としては、プロセッサユニットで

40

50

実行されるよう不揮発性メモリに記憶されたプログラムコード及びデータを使用して、実装されうる。

【0035】

ハードウェアが用いられる場合、ハードウェアは、ロボットコントローラ106及びデータ取得コントローラ108によって実施される動作を実施するよう動作する、一又は複数の回路を含みうる。実行形態に応じて、ハードウェアは、回路システム、集積回路、特定用途向け集積回路(AASIC)、プログラマブル論理デバイス、又は、任意の数の動作を実施するよう構成された、他の何らかの好適な種類のハードウェアデバイスの形態をとりうる。

【0036】

プログラマブル論理デバイスは、特定の動作を実施するよう構成されうる。このデバイスは、これらの動作を実施するよう恒久的に構成されうるか、又は、再構成可能でありうる。プログラマブル論理デバイスは、限定するわけではないが例としては、プログラマブル論理アレイ、プログラマブルアレイ論理、フィールドプログラマブル論理アレイ、フィールドプログラマブルゲートアレイ、又は、他の何らかの種類のプログラマブルハードウェアデバイスの形態をとりうる。

【0037】

本書において、列挙されたアイテムと共に使用される「のうちの少なくとも1つ(at least one of)」という表現は、列挙されたアイテムのうちの一又は複数の種々の組み合わせが使用可能であり、必要とされるのは列挙されたアイテムのうち1つだけであることを、意味している。アイテムとは、特定の対象物、物品、ステップ、動作、プロセス、又はカテゴリでありうる。換言すると、「のうちの少なくとも1つ」は、アイテムの任意の組み合わせ、又はいくつかのアイテムがリストから使用されうることを意味するが、列挙されたアイテムの全てが必要とされるわけではない。

【0038】

限定するわけではないが例としては、「アイテムA、アイテムB、若しくはアイテムCのうちの少なくとも1つ」又は「アイテムA、アイテムB、及びアイテムCのうちの少なくとも1つ」とは、「アイテムA」、「アイテムAとアイテムB」、「アイテムB」、「アイテムA、アイテムB、及びアイテムC」、「アイテムBとアイテムC」、又は、他の何らかの種類の組み合わせを意味しうる。場合によっては、「アイテムA、アイテムB、若しくはアイテムCのうちの少なくとも1つ」又は「アイテムA、アイテムB、及びアイテムCのうちの少なくとも1つ」とは、限定するわけではないが、「2つのアイテムA、1つのアイテムB、及び、10のアイテムC」、「4つのアイテムB及び7つのアイテムC」、又は、他の何らかの好適な組み合わせを意味しうる。

【0039】

この実施例では、データ取得システム100はエンドエフェクタユニット104を含む。エンドエフェクタユニット104は、ロボット102に取り付けられるように構成される。この実施例では、エンドエフェクタユニット104は、ロボット102に関連するロボットアームに取り付けられるように構成される。

【0040】

エンドエフェクタユニット104は、被加工物についての情報を取得するよう構成される。この情報は、例えば、被加工物の寸法などの被加工物の物理的特性に関する情報でありうる。一実施例では、エンドエフェクタユニット104は、被加工物の厚さを測定するよう構成される。

【0041】

一実施例では、エンドエフェクタユニット104は、受動適応型である。エンドエフェクタユニット104のこの受動適応により、エンドエフェクタユニット104が非理想的な条件に適合し、なおかつ、データ取得コントローラ108からのプログラムされた制御を実施することが、可能になる。非理想的な条件に適合する能力により、データ取得コントローラ108が、被加工物における公称の被加工物フィーチャ位置向けに開発された口

10

20

30

40

50

ボット応用形態を、被加工物フィーチャの極端ではない位置不一致を伴う状況に適合させることが、可能になる。このロボット応用形態は、ロボットコントローラ106を別経路に再プログラミングすること、又は、完了したプログラムを部分的にさかのぼって被加工物若しくはロボットの位置の調整を行うことを必要とせず、適合可能である。

【0042】

一実施例では、エンドエフェクタユニット104の受動適応は、エンドエフェクタユニット104に統合された複数の並進式接合部及び回転式接合部を通じて、実装される。この実施例では、並進式接合部及び回転式接合部は、エンドエフェクタユニット104が非理想的な条件に受動的に適合し、なおかつ、データ取得コントローラ108からのプログラムされた制御を実施することを可能にする、磁気デント及びばねを備える。受動適応運動が行われている間に、接触及び不具合を検出又は判定するためにセンサ112が使用され、この検出又は判定は次いで、ロボットコントローラ106に通信される。

10

【0043】

エンドエフェクタユニット104はいくつかの構成要素を含む。図示しているように、エンドエフェクタユニット104は、測定プローブ110及びセンサ112を含む。

【0044】

測定プローブ110は、被加工物についての情報を取得するよう構成されたツールである。一実施例では、測定プローブ110は、特定の位置において被加工物の表面厚さを正確に測定するよう構成された、作動するリニア測定プローブである。

【0045】

一実施例では、測定プローブ110は被加工物に接触するよう構成される。測定プローブ110は、接触適応型であってよく、エンドエフェクタユニット104又は被加工物に損傷をもたらすことのない被加工物との軽い接触を許容する。エンドエフェクタ104は、接触の発生に応じてつながり(articulate)、次いで、接触がなくなるとその当初の構成に戻るよう、設計される。

20

【0046】

センサ112は、測定プローブ110と被加工物との接触を検出するよう構成される。測定プローブ110と被加工物との接触を検出することにより、被加工物フィーチャと測定プローブ110の接触位置合わせが可能になる。測定プローブ110の接触位置合わせにより、ロボットコントローラ106を別経路に再プログラミングすること、又は、完了したプログラムを部分的にさかのぼって被加工物若しくはロボットの位置の調整を行うことを必要とせず、ロボット102が、公称の被加工物フィーチャ位置と実際の被加工物フィーチャ位置との間に位置不一致を伴う非理想的な条件に適合することが可能になる。

30

【0047】

図示しているように、データ取得システム100はアプリケーションコントローラ114を含む。一実施例では、アプリケーションコントローラ114は、1つのコンピュータ、又は、互いに通信可能な複数のコンピュータからなる、コンピュータシステムの中で実装される。一実施例では、アプリケーションコントローラ114によって実施されるステップを実施するための指令すなわちコードが、コンピュータシステムのメモリに記憶され、かつ、このコンピュータシステムの中の一又は複数のプロセッサによって実装されうる。

40

【0048】

この実施例では、アプリケーションコントローラ114は、ロボットコントローラ106及びデータ取得コントローラ108と連動する。ユーザは、アプリケーションコントローラ114のユーザインターフェース116を通じて、ロボットコントローラ106とデータ取得コントローラ108の少なくとも一方と対話しうる。

【0049】

図1のデータ取得システム100の図は、実施例が実装されうる様態に、物理的な又は構造上の制限を課すことを意図するものではない。図示した構成要素に加えて、又はそれらに代えて、他の構成要素が使用されうる。一部の構成要素は不要になりうる。また、一

50

部の機能する構成要素を図示するために、ブロックが提示されている。実施例において実装される場合、これらのブロックのうちの一又は複数が、組み合わせられ、分割され、又は、組み合わせられて異なるブロックに分割されうる。

【0050】

例えば、場合によっては、データ取得コントローラ108は、ロボットコントローラ106の一部として、又はアプリケーションコントローラ114として、実装されうる。それ以外の場合、アプリケーション114とデータ取得コントローラ108の両方が、ロボットコントローラ106の一部として実装されうる。

【0051】

次に図2を参照するに、エンドエフェクタユニットが取り付けられているロボットの斜視図が、一実施例により示されている。ロボット202は、図1にブロック形式で示したロボット102の物理的実行形態の一例でありうる。

10

【0052】

一実施例では、ロボット202は、エンドエフェクタユニット204を移動させるよう構成されうる。詳細には、ロボット202は、被加工物の表面に対してエンドエフェクタユニット204を位置付けるために使用されうる。図示しているように、ロボット202はロボットアームを備える。

【0053】

この実施例では、エンドエフェクタユニット204は、ロボット202に取り付けられるように構成される。図2に示すエンドエフェクタユニット204は、図1にブロック形式で示したエンドエフェクタユニット104の物理的実行形態の一例でありうる。エンドエフェクタユニット204は、被加工物についての情報を取得するよう構成される。

20

【0054】

一実施例では、エンドエフェクタユニット204は、受動適応型である。エンドエフェクタユニット204は、被加工物及び被加工物フィーチャの極端ではない位置不一致を伴う非理想的な条件に適合しうる。非理想的な条件に適合する能力により、ロボット202を別経路に再プログラミングすること、又は、ロボット202の位置の調整を行うことを必要とせずに、エンドエフェクタユニット204が、被加工物及び被加工物フィーチャに関する極端ではない位置不一致に適合することが可能になる。

【0055】

一実施例では、エンドエフェクタユニット204は測定プローブ206を含む。図2に示す測定プローブ206は、図1にブロック形式で示した測定プローブ110の物理的実行形態の一例でありうる。この実施例では、エンドエフェクタユニット204は、接触適応型に構成され、エンドエフェクタユニット204又は被加工物に損傷をもたらすことのない被加工物との軽い接触を許容する。

30

【0056】

測定プローブ206は被加工物に接触するよう構成される。この実施例では、測定プローブ206は、被加工物及び被加工物フィーチャに接触して位置合わせされるよう構成される。測定プローブ206の接触位置合わせにより、ロボット202の再プログラミングを必要とせずに、エンドエフェクタユニット204が、位置不一致を伴う非理想的な条件に適合することが可能になる。

40

【0057】

次に図3を参照するに、エンドエフェクタユニットの正射投影図が一実施例により示されている。図示しているように、図3は図2のエンドエフェクタユニット204の拡大図である。

【0058】

図示しているように、エンドエフェクタユニット204は、測定プローブ206、本体302、及び脚部アセンブリ304を含む。測定プローブ206は、本体302及び脚部アセンブリ304の中に装着される。脚部アセンブリ304は本体302に関連しており、それにより、脚部アセンブリ304及び測定プローブ206は、受動適応型となり、エ

50

ンドエフェクタユニット204が被加工物フィーチャの非理想的な位置に適合することを可能にする。

【0059】

次に図4を参照するに、エンドエフェクタユニットの断面図が一実施例により示されている。図示しているように、図4は図3の線306に沿って切った、エンドエフェクタユニット204の断面図である。

【0060】

図示しているように、エンドエフェクタユニット204はコネクタプレート402を含む。コネクタプレート402は、エンドエフェクタユニット204を図2の口ポット202に接続する。一実施例では、コネクタプレート402は、コネクタプレート402と磁気分離部(breakaway)410との断接を検出するための、マイクロスイッチ分離部404を含む。一実施例では、マイクロスイッチ分離部404は、コネクタプレート402が磁気分離部410から断接状態になった場合の安全機構として、緊急停止条件を作動させる。

10

【0061】

コネクタプレート402は、埋め込まれた磁石406及び運動ロケータ408を含む。埋め込まれた磁石406及び運動ロケータ408は、コネクタプレート402に磁気分離部410を精密に連結する。

【0062】

一実施例では、運動ロケータ408は、磁気分離部410のくぼみ411に対応する、コネクタプレート402に三角形に配置された3つの突起である。コネクタプレート402が磁気分離部410に連結されている時、運動ロケータ408は、コネクタプレート402と磁気分離部410との相対運動を、6自由度において確定的に制約する。

20

【0063】

リニア摺動部412が、スプライン413を通じて磁気分離部410に装着される。一実施例では、ばね414が、z軸416に沿った適応を提供し、エンドエフェクタユニット204と被加工物との軽い接触を許容する。ばね414は、後述する他の特徴と併用されて、測定プローブ206の受動的な接触位置合わせを可能にし、エンドエフェクタユニット204が、非理想的な条件のもとで被加工物フィーチャに関する正確な情報を取得することを可能にする。

30

【0064】

リニア摺動部412の適応特性により、本体302がz軸416に沿って移動することが可能になる。後述する他の特徴と併用されて、リニア摺動部412が、コネクタプレート402及び磁気分離部410に対してz軸416に沿って延在することで、被加工物及び被加工物フィーチャ非理想的な位置の補償が可能になる。具体的にはリニア摺動部412は、被加工物フィーチャの角度的な位置ずれを部分的に補償し、かつ、測定プローブ206による正確なデータ取得を可能にする。

【0065】

リニアゲージ418が、位置合わせ磁石420a及び420bによって、リニア摺動部412に磁氣的に連結される。リニア摺動部412との磁気連結は、後述する他の特徴と併用されて、ユニットが被加工物フィーチャの非理想的な位置を補償するために公称配向から離れるように動いた後に、リニアゲージ418が公称配向に戻ることを可能にする。具体的には、リニア摺動部412とリニアゲージ418との磁気連結は、被加工物フィーチャの角度的な位置ずれを部分的に補償し、測定プローブ206が被加工物フィーチャのこの角度的な位置ずれに位置合わせされることを可能にする。リニア摺動部412とリニアゲージ418との磁気連結に部分的に基づいて、エンドエフェクタ204は、非理想的な条件のもとでも被加工物フィーチャに関する正確な情報が取得可能であり、かつ、情報の取得が終わるとニュートラルな状態に戻りうる。

40

【0066】

リニアゲージ408は、被加工物についての情報を測定するよう設計されたセンサであ

50

る。この情報は、例えば、厚さ、曲率、偏心率、変位、高さ、深さ、平坦度、変動、振れ（runout）、真円度、ゆがみ、反り、又は配置でありうる。一実施例では、リニアゲージ418は、z軸416に沿った接触子422の動きの範囲に基づいて、被加工物フィーチャにおいて被加工物の厚さを判定するよう構成される。リニアゲージ418は、被加工物において被加工物の厚さを判定するよう構成されている場合、例えば、エンコーダベースの測定プローブ、直線的に変動可能な差動トランス、又は、他の好適な種類の距離測定デバイスでありうる。

【0067】

一実施例では、接触子422の伸長は、伸長シャフト421を通じて接触子422に接続された空圧アクチュエータによって、作動する。この実施例では、空圧アクチュエータは、測定プローブ206の中の空圧シリンダによって駆動される。接触子422の空圧作動は、z軸416に沿った追加的な適応を提供する。

10

【0068】

別の実施例では、接触子422の伸長は、例えば親ねじアクチュエータなどの他の種類のアクチュエータによって作動する。この実施例では、そのような他の種類のアクチュエータは、z軸416に沿った追加的な適応を提供するために、それ自体の内部にばねシステムを有しうる。

【0069】

z軸416に沿った並進とピッチ/ロール回転との同時適応により、測定プローブ206の受動的な自己位置合わせと共に、エンドエフェクタユニット204の横方向運動のオーバーラベル補償が、可能になる。エンドエフェクタユニット204は、測定プローブ206の自己位置合わせに部分的に基づいて、非理想的な条件のもとでも被加工物フィーチャに関する正確な情報を取得しうる。

20

【0070】

並進式接合部（424、426）の一例は、エンドエフェクタ204の脚部コレット424の中に摺動可能に固定された、軸受ハウジング426である。この脚部コレット424は、軸受ハウジング426の周りにカラーを形成する。軸受ハウジング426は、球面軸受428の周囲で、脚部コレット424内で回転可能であり、軸受ハウジング426及び本体302に対する脚部コレット424の回転移動を可能にする。回転式接合部（426、428）の一例は、エンドエフェクタ204の軸受ハウジング426内に回転可能に装着された、球面軸受428である。

30

【0071】

球面軸受428はリニアゲージ418を支持する。球面軸受428は、球面軸受428の周囲の直角方向における中心点の周囲での、リニアゲージ418の角度回転を許容する。

【0072】

直角方向における、球面軸受428の周囲での測定プローブ206の角度適応により、測定プローブ206の受動的な自己位置合わせが可能になる。エンドエフェクタユニット204は、測定プローブ206の自己位置合わせに部分的に基づいて、非理想的な条件のもとでも被加工物フィーチャに関する正確な情報を取得しうる。

40

【0073】

軸受ハウジング426は、位置合わせ磁石430及び位置合わせ磁石432によって、本体302に磁氣的に連結される。位置合わせ磁石430及び位置合わせ磁石432は、後述する他の特徴と併用されて、エンドエフェクタユニット204が被加工物フィーチャの非理想的な位置を補償することを可能にする。具体的には、位置合わせ磁石430と位置合わせ磁石432との磁気連結は、被加工物フィーチャの平面的な位置ずれを部分的に補償し、測定プローブ206が平面的に並進して被加工物及び被加工物フィーチャに位置合わせされることを可能にする。位置合わせ磁石430は軸受ハウジング426の位置合わせ磁石432と相互作用し、磁気デントとして作用する。軸受ハウジング426と本体302との磁気連結に部分的に基づいて、エンドエフェクタユニット204は、非理想

50

的な条件のもとでも被加工物フィーチャに関する正確な情報が取得可能であり、かつ、状態の取得が終わるとニュートラルな状態に戻りうる。

【0074】

パレルプローブ423は、エンドエフェクタユニット204の、ロボット202によるエンドエフェクタ204の横方向運動中に接触フィードバックを提供するよう構成された部分である。一実施例では、パレルプローブ423は、図1にブロック形式で示したロボットコントローラ106にデジタル信号を送信するよう構成された、集約型(integrated)接触感知性能を含む。パレルプローブ423からの信号は、被加工物との接触、及び、ロボットコントローラ106がロボット102の運動を停止すべきであることを示す。

10

【0075】

一実施例では、パレルプローブ423の集約型接触感知性能は、図1にブロック形式で示したセンサ112などの一又は複数の接触センサによって提供される。この実施例では、パレルプローブ423の集約型接触感知性能は、限定するわけではないが、圧力ベースのスイッチ、容量性センサ、抵抗性センサ、及び電気接続センサ、並びにそれらの組み合わせなどの、接触センサによって提供されうる。

【0076】

次に図5を参照するに、エンドエフェクタユニットの、測定プローブを含む分解組み立て部の正射投影図が、一実施例により示されている。図5に示すアセンブリ500は、図2のエンドエフェクタユニット204の測定プローブ206並びに他の構成要素の、分解状態の正射投影図である。

20

【0077】

図示しているように、アセンブリ500はコネクタプレート402を含む。コネクタプレート402は、エンドエフェクタユニット204をロボット202(両方とも図1に示している)に接続する。一実施例では、コネクタプレート402は、エンドエフェクタユニット204をロボット202に取り外し可能に接続するための、マイクロスイッチ分離部404を含む。

【0078】

コネクタプレート402は、埋め込まれた磁石406及び運動ロケータ408を含む。運動ロケータ408は、磁気分離部410のくぼみ411に対応し、コネクタプレート402に磁気分離部410を精密に連結する。

30

【0079】

リニア摺動部412が、スプライン413を通じて磁気分離部410に装着される。一実施例では、ばね414が、z軸416に沿った適応を提供し、被加工物フィーチャの角度的な位置ずれを部分的に補償する。

【0080】

リニアゲージ418が、位置合わせ磁石420a及び420bによって、リニア摺動部412に磁氣的に連結される。位置合わせ磁石420a及び420bにより、被加工物及び被加工物フィーチャの角度的な位置ずれの部分的な補償が可能になり、被加工物フィーチャの角度的な位置ずれと測定プローブ206とを受動的に位置合わせすることが可能になる。

40

【0081】

次に図6を参照するに、エンドエフェクタユニットの、脚部アセンブリを含む分解組み立て部の正射投影図が、一実施例により示されている。図6に示す脚部アセンブリ304は、図3のエンドエフェクタユニット204の脚部アセンブリ304並びに他の構成要素の、分解状態の正射投影図である。

【0082】

脚部アセンブリ304は脚部コレット424を含む。脚部コレット424は、図4の軸受ハウジング426の周りにカラーを形成する。脚部コレット424は、図8に示す軸受ハウジングが、球面軸受428の周囲で回転することを可能にし、軸受ハウジング426

50

及び本体 302 に対する脚部コレット 424 の回転移動を可能にする。

【0083】

脚部コレット 424 はいくつかの接触子先端 602 を含む。接触子先端 602 は、エンドエフェクタユニット 204 又は被加工物に損傷をもたらすことのない被加工物との軽い接触を許容する。

【0084】

球面軸受 428 は、球面軸受 428 の周囲の直角方向における中心点の周囲での、図 4 に示すリニアゲージ 418 の角度回転を許容する。球面軸受は 428 は、ロックナット 604 によってリニアゲージ 418 に固定される。クランプ 606 が、図 4 の軸受ハウジング 426 の中に球面軸受 428 を固定する。

10

【0085】

次に図 7 を参照するに、エンドエフェクタユニットの、本体を含む分解組み立て部の正射投影図が、一実施例により示されている。図 7 に示すアセンブリ 700 は、図 3 のエンドエフェクタユニット 204 の本体 302 並びに他の構成要素の、分解状態の正射投影図である。

【0086】

本体 302 は、図 2 の測定プローブ 206 用の保護ハウジングと支持構造体、及び、図 4 のリニア摺動部 412 と球面軸受ハウジング 428 との間の接続を提供する。本体 302 は、図 4 に示すリニア摺動部 412 に関連している。一実施例では、リニア摺動部 412 は、保持リング 702 によって、本体 302 の中に固定される。

20

【0087】

保持リング 704 が、図 4 の軸受ハウジング 426 の中で球面軸受 428 を保持する。図 6 に示しているように、クランプ 606 が、軸受ハウジング 426 の中に球面軸受 428 (両方とも図 4 に示している) を固定する。

【0088】

軸受ハウジング 426 は、位置合わせ磁石 430 及び位置合わせ磁石 432 によって、本体 302 に磁氣的に連結される。位置合わせ磁石 430 と位置合わせ磁石 432 との磁気連結が、被加工物フィーチャの直線的な位置ずれを部分的に補償し、測定プローブ 206 が被加工物及び被加工物フィーチャに直線的に位置合わせされることを可能にする。

【0089】

次に図 8 を参照するに、エンドエフェクタアセンブリの斜視図が、一実施例により示されている。アセンブリ 800 は、エンドエフェクタユニット 204 から本体 302 が (両方とも図 3 に示している) 取り外されている、エンドエフェクタユニット 204 の各部分を示している。

30

【0090】

図示しているように、アセンブリ 800 は、リニアゲージ 418 と、球面軸受 428 の内部に装着された接触子 422 とを示している。球面軸受 428 は、リニアゲージ 418 を支持し、x 軸 802 と y 軸 804 の両方に沿った直角方向における中心点の周囲での、リニアゲージ 418 の角度回転を許容する。クランプ 606 が図 6 に示すロックナット 604 を固定し、ロックナット 604 が、軸受ハウジング 426 の中に球面軸受 428 を固定する。

40

【0091】

脚部コレット 424 は、軸受ハウジング 426 の周りにカラーを形成する。軸受ハウジング 426 は、球面軸受 428 の周囲で、脚部コレット 424 内で回転可能であり、軸受ハウジング 426 に対する脚部コレット 424 の回転移動を可能にする。

【0092】

次に図 9 を参照するに、エンドエフェクタアセンブリの拡大正射投影図が、一実施例により示されている。図示しているように、アセンブリ 900 は、図 8 のアセンブリ 800 の下部の拡大された正射投影図である。

【0093】

50

次に図10を参照するに、エンドエフェクタアセンブリユニットの断面図が、一実施例により示されている。図示しているように、図10は、図9の断面線902に沿って切った、アセンブリ900の断面図である。図示しているように、接触子422は伸長シャフト421に装着され、伸長シャフト421は、球面軸受428を通過するプローブバレル423の中で摺動する。球面軸受428は、リニアゲージ418を支持し、x軸802とy軸804の両方に沿った直角方向における中心点の周囲での、リニアゲージ418の角度回転を許容する。クランプ606が、軸受ハウジング426の中に球面軸受428を固定する。

【0094】

脚部コレット424は、軸受ハウジング426の周りにカラーを形成する。軸受ハウジング426は、球面軸受428の周囲で、脚部コレット424内で回転可能であり、軸受ハウジング426に対する脚部コレット424の回転移動を可能にする。

10

【0095】

次に図11を参照するに、被加工物と角度的に位置ずれしている、受動適応型エンドエフェクタユニットの断面図が、一実施例により示されている。図示しているように、エンドエフェクタ204は、図4の断面図に従って示されている。

【0096】

この実施例では、エンドエフェクタ204は、被加工物1104の被加工物フィーチャ1102に動作を実施するよう位置付けられる。この実施例では、動作は、被加工物1104の厚さ1106の測定である。

20

【0097】

この実施例では、被加工物1104は航空機の部品でありうる。限定するわけではないが例としては、被加工物1104は、外板パネル、翼、胴体、水平安定板、ドア、ハウジング、エンジン、又は航空機内の他の好適な構造体のうちの、少なくとも一つに組み込まれうる。被加工物1104は、リブ、スパー、ストリング、又は航空機内の他の好適なフレーム構造体といった、航空機のフレーム構造体でもありうる。

【0098】

被加工物1104は表面1108を有しうる。表面1108は、一部の実施例では、「作業面(work surface)」と称されうる。被加工物1104の被加工物フィーチャ1102は、実際の位置1110に配置される。

30

【0099】

この実施例では、被加工物フィーチャ1102は被加工物1104のフィーチャであり、この被加工物1104のフィーチャに、エンドエフェクタユニット204によって動作が実施される。この実施例では、被加工物フィーチャ1102は被加工物1104の穴である。この実施例では、エンドエフェクタユニット204は、被加工物1104の厚さの測定動作を正確に実施するよう構成される。

【0100】

エンドエフェクタユニット204は、図1にブロック形式で示したロボットコントローラ106に従って公称位置に、図2のロボット202により位置付けられる。公称位置は、表面1108に沿った、被加工物1104及び被加工物フィーチャ1102の予期される位置及び配向に対応する。公称位置は、被加工物1104の設計又は製造仕様に基づくものでありうる。公称位置は、ロボットコントローラ106とアプリケーションコントローラ114の少なくとも一方の中に、基準データ(reference data)として記憶されうる。

40

【0101】

この実施例では、被加工物1104の実際の位置1110は、実質的に、エンドエフェクタユニット204が配向された公称位置から、角度的にずれている。このような動作条件のもとでは、エンドエフェクタユニット204は、エンドエフェクタユニット204と被加工物1104との間の角度的な位置ずれにより、被加工物フィーチャ1102に正確に動作を実施できないことがある。

50

【0102】

本書において、「およそ (approximately)」、「約 (about)、及び「実質的に (substantially)」という用語は、依然として所望の機能を実施しうるか、又は所望の結果を実現しうる、規定された量に近い量を表す。例えば、「およそ」、「約」、及び「実質的に」という用語は、規定の量の、10%未満以内、5%未満以内、1%未満以内、0.1%未満以内、及び、0.01%未満以内の量を表しうる。

【0103】

次に図12を参照するに、被加工物が角度的に位置ずれしている受動適応型エンドエフェクタユニットの位置合わせに関する断面図が、一実施例により示されている。図示しているように、図4の断面図に従って示されているエンドエフェクタ204は、図11の被加工物フィーチャ1102に、受動的に位置合わせされる。

10

【0104】

球面軸受428は、本体302に対する、球面軸受428の周囲の直角方向における中心点の周囲での、リニアゲージ418及び脚部コレット242の角度回転を許容する。接触子422が被加工物フィーチャ1102内に挿入されるにつれて、脚部コレット424は、球面軸受428の周囲で受動的に回転し、軸受ハウジング426及び本体302に対する脚部コレット424の回転移動を可能にする。

【0105】

測定プローブ206のリニアゲージ418は、脚部コレット424に連結される。したがって、球面軸受428の周囲での脚部コレット424の回転により、それに対応する、x軸802とy軸804に沿った直角方向における測定プローブ206の回転が発生する。

20

【0106】

直角方向における、球面軸受428の周囲での測定プローブ206の角度適応により、エンドエフェクタユニット204の受動的で角度的な自己位置合わせが可能になる。エンドエフェクタユニット204は、測定プローブ206の受動的な自己位置合わせに部分的に基づいて、被加工物フィーチャ1102に正確に動作を実施しうる。

【0107】

次に図13を参照するに、被加工物と角度的に位置ずれしている受動適応型エンドエフェクタユニットの断面図が、一実施例により示されている。図示しているように、エンドエフェクタ204は、図4の断面図に従って示されている。

30

【0108】

この実施例では、エンドエフェクタユニット204は、被加工物1104の被加工物フィーチャ1302に動作を実施するよう位置付けられる。この実施例では、動作は、被加工物1104の厚さ1106の測定である。

【0109】

エンドエフェクタユニット204は、図1にブロック形式で示したロボットコントローラ106よる穴の公称位置の上方の位置に、図2のロボット202によって位置付けられる。公称位置は、表面1108に沿った、被加工物1104及び被加工物フィーチャ1302の予期される位置に対応している。公称位置は、被加工物1104の設計又は製造仕様に基づくものでありうる。公称位置は、ロボットコントローラ106とアプリケーションコントローラ114の少なくとも一方の中に、基準データとして記憶されうる。この実施例では、公称位置は、被加工物フィーチャ1102の中心の、三次元配置及び角度配向を含む予期される位置である。

40

【0110】

この実施例では、被加工物1104の実際の位置1310は、実質的に、エンドエフェクタユニット204が配置される公称位置から、直線的にずれている。このような動作条件のもとでは、エンドエフェクタユニット204は、エンドエフェクタユニット204と被加工物フィーチャ1302との間の直線的な位置ずれにより、被加工物フィーチャ13

50

02に正確に動作を実施できないことがある。

【0111】

次に図14を参照するに、被加工物が直線的に位置ずれしている、受動適応型エンドエフェクタユニットの受動位置合わせに関する断面図が、一実施例により示されている。図示しているように、図4の断面図に従って示されているエンドエフェクタ204は、図13の被加工物フィーチャ1302に受動的に位置合わせされる。

【0112】

被加工物1104の実際の位置1310が、実質的に、エンドエフェクタユニット204が配置される公称位置から直線的にずれている場合、軸受ハウジング426が、フィーチャ1302の実際の位置の位置ずれに適合するために、実質的にニュートラルな位置から受動的に変位する。この実施例では、軸受ハウジング426は、本体302に対して、x軸802とy軸804のいずれに沿っても並進しうる。

【0113】

軸受ハウジング426は、位置合わせ磁石430及び位置合わせ磁石432によって、本体302に磁氣的に連結される。接触子422が被加工物フィーチャ1302内に挿入されるにつれて、位置合わせ磁石430と位置合わせ磁石432はオフセットし、エンドエフェクタユニット204が被加工物フィーチャの非理想的な位置を補償することを可能にする。軸受ハウジング426は、本体302に対して受動的にオフセットし、本体302に対する軸受ハウジング426の直線的な移動を可能にする。

【0114】

測定プローブ206のリニアゲージ418は、軸受ハウジング426に連結される。したがって、軸受ハウジング426の直線的な変位により、それに対応する測定プローブ206のオフセットが発生する。

【0115】

本体302に対する軸受ハウジング426の移動に基づく測定プローブ206の直線的適応は、被加工物フィーチャの直線的な位置ずれを部分的に補償し、測定プローブ206が被加工物及び被加工物フィーチャに直線的に位置合わせされることを可能にする。測定プローブ206の直線的適応により、エンドエフェクタユニット204の受動的で直線的な自己位置合わせが可能になる。エンドエフェクタユニット204は、測定プローブ206の受動的な自己位置合わせに部分的に基づいて、被加工物フィーチャ1302に正確に動作を実施しうる。

【0116】

次に図15から図22を参照するに、動作を実施している受動適応型エンドエフェクタの一連の正射投影断面図が、一実施例により示されている。図示しているように、被加工物1500に動作を実施しているエンドエフェクタユニット204が示されている。この実施例では、動作は、被加工物フィーチャ1502における被加工物1504の厚さ1506の測定である。この実施例では、被加工物フィーチャ1502は穴1508である。

【0117】

ここで、具体的には図15を参照するに、エンドエフェクタユニット204は、図1にブロック形式で示したロボットコントローラ106に従って、図2のロボット202により接近位置1510に位置付けられる。接近位置1510は、穴1508の公称位置の若干上方の位置である。接近位置1510は、接触子422が被加工物1504に当たることなく穴1508内に伸長しうるように、被加工物の上方一定の高さに位置付けられる。

【0118】

ここで、具体的には図16を参照するに、被加工物1504の近位にあるが接触していない、エンドエフェクタユニット204が示されている。図1にブロック形式で示したロボットコントローラ106がエンドエフェクタユニット204の移動を終了すると、図1にブロック形式で示したデータ取得コントローラ108は、被加工物1504の表面1512との接触をチェックするために、測定プローブ206の接触子422を伸長させる。測定プローブ206の接触子422が完全に伸長すると、図1にブロック形式で示したデ

10

20

30

40

50

ータ取得コントローラ108は、測定プローブ206が穴1508の中に伸長したと推定する。

【0119】

測定プローブ206が完全に伸長できない場合、データ取得コントローラ108は、接触子422が表面1512に接触したと推定する。図1にブロック形式で示したアプリケーションコントローラ144は、次いで、下記の図24に示す大位置ずれ軽減プロセスに進む。

【0120】

ここで、具体的には図17を参照するに、接触子422が、測定深さ1802まで、穴1508の中心を通過して下に移動するように、エンドエフェクタユニット204は、図1

10

【0121】

この実施例では、エンドエフェクタユニット204の垂直適応が、被加工物1504及びエンドエフェクタユニット204への損傷を防止する。垂直適応は、例えばばね414の圧縮によって提供されうる。

【0122】

接触子422が穴1508の中に移動するにつれて、測定プローブ206は、受動的に配向されて、穴1508の実際の位置1514に位置合わせされる。この実施例では、測定プローブ206が、図11から図14に関連して上述したように、穴1508の実際の位置1514に、受動的に位置合わせされる。

20

【0123】

ここで、具体的には図18を参照するに、測定プローブ206が穴1508の中に移動し、穴1508と受動的に位置合わせされた後、エンドエフェクタ204は測定位置1802に移動する。この実施例では、測定位置1802は穴1508の周縁の周辺の位置であり、この位置において、被加工物1504の厚さ1506が判定される。測定位置1802に到達するために、図1にブロック形式で示したロボットコントローラ106は、図2のロボットを方向付けて、測定プローブ110が測定位置1802において被加工物1504に接触するまで、エンドエフェクタユニット204をx軸802とy軸804の少なくとも一方に沿った方向に移動させる。

【0124】

一実施例では、上記の図8から図11に関連して上述した適応要素は、測定位置1802のオーバーランを受け入れるよう変位する。上記の図8から図11に関連して上述したように、エンドエフェクタユニット204が測定位置1802をオーバーランした場合、軸受ハウジング426が、エンドエフェクタユニット204による測定位置1802のオーバーランを補償するために、本体802に対して受動的に変位する。ロボットコントローラ106が移動を停止させるべきであることを示すために、パレルプローブ423からの接触信号が、ロボットコントローラ106に送信される。たとえ接触が発生したという信号をロボットが受信しても、ロボットが停止に至るには数分の1秒かかる。エンドエフェクタの受動的なX、Y適応が、この動きに対する適応補償を提供する。図18に示しているように、軸受ハウジング426は、x軸802とy軸804のいずれか、又はその両

30

40

【0125】

ここで、具体的には図19を参照するに、エンドエフェクタユニット204は、測定位置1802に既に移動している。エンドエフェクタユニット204が測定位置1802に到達すると、図1にブロック形式で示したデータ取得コントローラ108が、測定動作を実施するために測定プローブ206を方向付ける。図示しているように、測定プローブ206は、接触子422が被加工物1504に接触するまで後退する。図1にブロック形式で示したデータ取得コントローラ108は、リニアゲージ418の伸長を特定し、この伸長から、測定位置1802における被加工物1504の厚さ1506が判定されうる。

【0126】

50

ここで図20を参照するに、接触子422は伸長した状態で示されており、エンドエフェクタユニット204は、穴1508の公称中心に戻っている。個々の測定が完了すると、図1にブロック形式で示したロボットコントローラ106は、次いで、追加の測定を実施するために、穴1508の周りの異なる測定位置にエンドエフェクタユニット204を移動させうる。穴1508の周りの測定位置の各々について測定プロセスが完了した後、エンドエフェクタユニット204は穴1508の公称中心に戻る。

【0127】

ここで図21を参照するに、接触子422は後退している。図1にブロック形式で示したロボットコントローラ106のエンドエフェクタユニット204の移動が終了すると、図1にブロック形式で示したデータ取得コントローラ108は、完全な後退が行われたか否か、又は、接触子422が被加工物1504に接触したか否かを判定するために、接触子422を後退させ、プローブの伸長距離をチェックする。

10

【0128】

接触子422が完全には後退できない場合、接触子422は、後退中に被加工物1504に接触している。図1にブロック形式で示したアプリケーションコントローラ144は、下記の図25に示す大位置ずれ軽減プロセスに進む。

【0129】

ここで図22を参照するに、接近位置に戻ったエンドエフェクタユニット204が示されている。接触子422の通り抜け(clearance)が確認されると、図1にブロック形式で示したロボットコントローラ106は、被加工物1504から離れて接近位置1510に戻るよう、エンドエフェクタユニット204を移動させる。図1にブロック形式で示したロボットコントローラ106は、次いで、別の被加工物フィーチャの上方の次の接近位置へとエンドエフェクタユニット204を移動させ、その被加工物フィーチャに動作を実施しうる。

20

【0130】

ここで図23を参照するに、エンドエフェクタユニットの二次元図が別の実施例により示されている。図23に示すエンドエフェクタユニット2302は、図1にブロック形式で示したエンドエフェクタユニット104の物理的実行形態の第2の例である。

【0131】

図示しているように、測定プローブ2304が本体2306の外部に配置されている。この実施例では、エンドエフェクタ2302は、被加工物2314の縁部2312に沿って、厚さ2310の測定動作を正確に実施するよう構成される。

30

【0132】

ここで図24を参照するに、伸長探索プロセスの実施に関する正射投影図が、一実施例により示されている。図示しているように、伸長探索プロセス2400は、接近位置1510において接触子422の伸長が被加工物1504によって妨げられた場合に被加工物フィーチャを位置特定するための、大位置ずれ軽減プロセスである。

【0133】

図示しているように、エンドエフェクタユニット204は、図1にブロック形式で示したロボットコントローラ106に従って、公称位置2404に位置付けられている。公称位置2404は、被加工物1504及び被加工物フィーチャ1502の予期される位置及び配向に対応する。公称位置2404は、被加工物1504の設計又は製造仕様に基づくものでありうる。公称位置2404は、ロボットコントローラ106とアプリケーションコントローラ114(両方とも図1にブロック形式で示している)の少なくとも一方の中に、基準データとして記憶されうる。

40

【0134】

この実施例では、被加工物フィーチャ1502の公称位置2404は、被加工物フィーチャ1502の実際の位置1514とは実質的に異なり、それにより、接触子422の伸長が被加工物1504によって妨げられる。

【0135】

50

被加工物 1504 との接触が検出された場合、図 1 にブロック形式で示したアプリケーションコントローラ 114 は、伸長探索プロセス 2400 を開始する。伸長探索プロセス 2400 において、図 1 にブロック形式で示したロボットコントローラ 106 は、外向きの螺旋経路 2402 に沿って、エンドエフェクタユニット 204 を少しずつインクリメンタルに移動させる。インクリメンタルな移動の各々の後に、図 1 にブロック形式で示したデータ取得コントローラ 108 は、被加工物フィーチャ 1502 をチェックするために接触子 422 を伸長させる。例えば接触子 422 が穴 1508 の中を通り抜けることによって、被加工物フィーチャ 1502 が見い出されると、アプリケーションコントローラ 114 は、公称位置 2404 からのずれをオフセットデータとして記憶し、図 15 から図 22 に示した測定プロセスが継続される。

10

【0136】

ここで図 25 を参照するに、後退通り抜け探索プロセスの実施に関する正射投影図が、一実施例により示されている。図示しているように、後退通り抜け探索プロセス 2500 は、接触子 422 の後退が被加工物 1504 によって妨げられた場合に、エンドエフェクタユニット 204 が被加工物 1504 から安全に後退しうる位置を位置特定するための、大位置ずれ軽減プロセスである。

【0137】

図示しているように、エンドエフェクタユニット 204 は、公称位置 2404 に既に移動している。この実施例では、公称位置 2404 は穴 1508 の中心位置である。被加工物 1504 との接触が検出された場合、図 1 にブロック形式で示したアプリケーションコントローラ 114 は、後退通り抜け探索プロセス 2500 を開始する。後退通り抜け探索プロセス 2500 において、図 1 にブロック形式で示したロボットコントローラ 106 は、外向きの螺旋経路 2502 に沿って、エンドエフェクタユニット 204 を少しずつインクリメンタルに移動させる。一実施例では、外向きの螺旋経路 2502 は、図 18 の測定位置 1802 などの直前の測定位置とは反対の方向にスタートする、公称位置 2404 からの外向きの螺旋経路内にある。インクリメンタルな移動の各々の後に、図 1 にブロック形式で示したデータ取得コントローラ 108 は、被加工物フィーチャ 1502 から通り抜けをチェックするために接触子 422 の後退を試みる。例えば接触子 422 の後退が被加工物 1504 に接触しなかった際に、被加工物フィーチャ 1502 からの通り抜けが確認されると、ロボットコントローラ 106 は、図 15 に示す接近位置 1510 まで、エンドエフェクタユニット 204 を後退させる。

20

30

【0138】

ここで図 26 を参照するに、受動適応型エンドエフェクタを使用して被加工物フィーチャにおける厚さ測定動作を実施するためのプロセスの図が、一実施例により示されている。図 26 に示すプロセスは、ロボットコントローラ 106、データ取得コントローラ 108、及びアプリケーションコントローラ 114（全て図 1 にブロック形式で示している）のうちの一又は複数において、実装されうる。

【0139】

プロセス 2600 は、エンドエフェクタユニットを接近位置に移動させること（ステップ 2602）によって始まる。エンドエフェクタユニットは、例えば、図 2 のエンドエフェクタユニット 204 でありうる。接近位置は、動作が実施される被加工物フィーチャの公称中心位置の若干上方の位置でありうる。被加工物フィーチャは、例えば、図 12 及び図 13 に示す穴 1202 でありうる。接近位置は、例えば、図 15 に示す接近位置 1510 でありうる。

40

【0140】

接近位置への移動の後、プロセス 2600 は、表面接触をチェックするために測定プローブを伸長させる（ステップ 2604）。表面との接触が検出された場合（ステップ 2606 の「yes」）、プロセス 2600 は、公称中心位置からの外向きの螺旋経路内で細かな移動及びプローブ伸長チェックを行うことによって、伸長探索プロセスを開始する（ステップ 2608）。伸長探索プロセスは、例えば、図 24 に示す伸長探索プロセス 24

50

00でありうる。

【0141】

ここでステップ2606を再度参照するに、表面との接触が検出されなかった場合（ステップ2606の「no」）、プロセス2600は、測定深さまでエンドエフェクタユニットを移動させる（ステップ2610）。測定深さは、例えば、図17に示す測定深さ1702でありうる。

【0142】

エンドエフェクタユニットが測定深さまで移動するにつれて、図2の測定プローブ206などの測定プローブは、受動的に配向されて、被加工物フィーチャの実際の位置に位置合わせされる。この実施例では、プロセス2600は、図11から図14に関連して上述したように、穴1508の実際の位置1514とエンドエフェクタユニット204を、受動的に位置合わせする。

【0143】

プロセス2600は、電動接触センサが作動するまで、公称測定位置に向かう方向にエンドエフェクタを移動させる（ステップ2612）。この実施例では、エンドエフェクタユニットは、図18に示す測定位置1802などの測定位置に移動する。

【0144】

エンドエフェクタユニットが測定位置に到達すると、プロセス2600は厚さ測定を実施する（ステップ2614）。この実施例では、プロセス2600は、接触子422などの接触子が被加工物に接触するまで、測定プローブを後退させる。接触子の位置に基づいて、プロセス2600は、測定位置において被加工物の厚さを判定しうる。この実施例では、接触子は、図4のリニアゲージ418などのリニアゲージに関連している。プロセス2600は、接触子が被加工物に接触した時のリニアゲージの伸長を測定することによって、被加工物の厚さを判定する。

【0145】

測定動作を実施した後、プロセス2600は、測定プローブを伸長させ、被加工物フィーチャの公称中心位置に戻るようエンドエフェクタを移動させる（ステップ2615）。図1にブロック形式で示したロボットコントローラ106は、次いで、被加工物フィーチャの周りの異なる測定位置で追加の測定を実施するために、エンドエフェクタユニット204を移動させうる。

【0146】

全ての測定が完了すると、被加工物からのプローブの通り抜けをチェックするために、測定プローブが後退する（ステップ2616）。被加工物との接触が検出された場合（ステップ2618の「yes」）、プロセス2600は、直前の測定の位置とは反対の方向にスタートする、公称中心位置からの外向きの螺旋経路内で細かな移動及びプローブ伸長チェックを行うことによって、後退探索プロセスを開始する（ステップ2620）。後退探索プロセスは、例えば、図25に示す後退探索プロセス2500でありうる。

【0147】

ここでステップ2618を再度参照するに、被加工物との接触が検出されない場合（ステップ2618の「no」）、プロセス2600は、被加工物フィーチャの上方の接近位置までエンドエフェクタユニットを後退させ（ステップ2622）、その後プロセスは終了する。後退時に接触子が被加工物に接触しない場合に、測定プローブの被加工物フィーチャからの通り抜けが確認される。エンドエフェクタが接近位置まで後退した後、図1のロボットコントローラ106などのロボットコントローラは、次の被加工物フィーチャの上方の次の接近位置にエンドエフェクタユニットを移動させ、次の被加工物フィーチャに動作を実施しうる。

【0148】

図示している種々の例におけるフロー図及びブロック図は、実施例における、装置及び方法のいくつかの実行可能な実行形態の構造、機能、及び、動作を示している。これに関し、フロー図またはブロック図内の各ブロックは、モジュール、セグメント、機能、及び

10

20

30

40

50

／又は、動作若しくはステップの一部を表わしうる。

【0149】

一実施例のいくつかの代替的実行形態においては、ブロック内に記載された一又は複数の機能が、図中に記載された順序を逸脱して発生することがある。例えば、場合によっては、含まれる機能に応じて、連続して示されている2つのブロックが、実質的に同時に実行されること、また時には、ブロックが逆順に実施されることがありうる。また、フロー図またはブロック図に示されているブロックに加えて、他のブロックが追加されることもある。

【0150】

したがって、本書に記載の実施例は、大規模なロボット応用形態において発生するロボット式エンドエフェクタとフィーチャとの位置ずれへのリアルタイムの適合を可能にするために、三次元適応及びセンサフィードバックを包含する手法を提供する。更に、実施例のデータ取得システムはまた、位置ずれに対処するのに必要な人間の介入をなくす。したがって、本書に記載の実施例は、決定論的に開ループで作動するように設計された標準的なロボットシステムが有さない様態で、部品における製造上の変動、又は、環境的要因（温度など）の変動による膨張／収縮に順応する能力を、提供する。

【0151】

視覚システムと比較した場合、本書に記載の実施例は、実装がより簡単であり、かつ、照明条件の変動の影響を受けにくいものである。実施例のデータ取得システムは、視覚システムに必要なカメラ又は他の光学ハードウェアに依拠しない。したがって、結果として得られる実行形態の初期投資コスト、及び稼働中の整備コストが低減される。

【0152】

座標測定機器と比較した場合、記載されている実施例は、比較的 low コストのロボットアームを位置付けに使用する。更に、実施例は、特に大型の又は複雑な部品の測定を要する場合に座標測定機器を実装するための、大きな専用フロア空間を必要としない。

【0153】

ここで図27を参照するに、ブロック図の形態のデータ処理システムの図が、一実施例により示されている。データ処理システム2700は、ロボットコントローラ106、データ取得コントローラ108、及びアプリケーションコントローラ114（全て図1にブロック形式で示している）のうちの一又は複数を実装するために、使用されうる。図示しているように、データ処理システム2700は、プロセッサユニット2704と、記憶デバイス2706と、通信ユニット2708と、入出力ユニット2710と、ディスプレイ2712との間の通信を提供する、通信フレームワーク2702を含む。場合によっては、通信フレームワーク2702はバスシステムとして実装されうる。

【0154】

プロセッサユニット2704は、いくつかの動作を実施するために、ソフトウェア向けの指令を実行するよう構成される。プロセッサユニット2704は、実行形態に応じて、いくつかのプロセッサ、1つのマルチプロセッサコア、及び／又は、他の何らかの種類のプロセッサを備えうる。場合によっては、プロセッサユニット2704は、回路システム、特定用途向け集積回路（ASIC）、プログラマブル論理デバイスなどのハードウェアユニット、又は他の何らかの好適な種類のハードウェアユニットという形態をとりうる。

【0155】

プロセッサユニット2704によって実行されるオペレーティングシステム、アプリケーション、及び／又はプログラムのための指令は、記憶デバイス2706内に配置される。記憶デバイス2706は、通信フレームワーク2702を通じてプロセッサユニット2704と通信可能でありうる。本書において、コンピュータ可読記憶デバイスとも称される記憶デバイスは、一時的及び／又は恒久的に情報を記憶することが可能な任意のハードウェアである。この情報は、データ、プログラムコード、及び／又はその他の情報を含みうるが、それらに限定されるわけではない。

【0156】

10

20

30

40

50

メモリ 2714 及び固定記憶装置 2716 は、記憶デバイス 2706 の例である。メモリ 2714 は、例えばランダムアクセスメモリ、又は、何らかの種類の揮発性若しくは不揮発性の記憶デバイスという形態をとりうる。固定記憶装置 2716 は、任意の数の構成要素又はデバイスを含みうる。例えば、固定記憶装置 2716 は、ハードドライブ、フラッシュメモリ、書換可能光ディスク、書換可能磁気テープ、又は、それらの何らかの組み合わせを含みうる。固定記憶装置 2716 によって使用される媒体は、取り外し可能であることも、そうではないこともある。

【0157】

通信ユニット 2708 は、データ処理システム 2700 が他のデータ処理システム及び / 又はデバイスと通信することを可能にする。通信ユニット 2708 は、物理的な及び / 10
または無線の通信リンクを使用して、通信を提供しうる。

【0158】

入出力ユニット 2710 は、データ処理システム 2700 に接続された他のデバイスからの入力を受信、及びかかるデバイスへの出力の送信を、可能にする。例えば、入出力ユニット 2710 は、キーボード、マウス、及び / 又は、他の何らかの種類の入力デバイスを通じて、ユーザ入力を受信することを可能にしうる。別の例としては、入出力ユニット 2710 は、データ処理システム 2700 に接続されたプリンタに出力を送信することを可能にしうる。

【0159】

ディスプレイ 2712 は、ユーザに対して情報を表示するよう構成される。ディスプレイ 2712 は、例えば、モニタ、タッチスクリーン、レーザディスプレイ、ホログラフィックディスプレイ、仮想表示デバイス、及び / 又は他の何らかの種類のディスプレイデバイスを含みうるが、それらに限定されるわけではない。 20

【0160】

この実施例では、種々の実施例のプロセスは、コンピュータ実装指令を使用して、プロセッサユニット 2704 によって実施されうる。これらの指令は、プログラムコード、コンピュータ使用可能プログラムコード、又はコンピュータ可読プログラムコードと称されることがあり、かつ、プロセッサユニット 2704 内の一又は複数のプロセッサによって読み取られ、実行されうる。

【0161】

これらの例では、プログラムコード 2718 は、選択的に取り外し可能なコンピュータ可読媒体 2720 に機能する形態で配置されており、かつ、プロセッサユニット 2704 による実行のために、データ処理システム 2700 にローディングされうるか、又は伝送されうる。プログラムコード 2718 とコンピュータ可読媒体 2720 とは共に、コンピュータプログラム製品 2722 を形成する。この実施例では、コンピュータ可読媒体 2720 は、コンピュータ可読記憶媒体 2724、又はコンピュータ可読信号媒体 2726 でありうる。 30

【0162】

コンピュータ可読記憶媒体 2724 は、プログラムコード 2718 を伝播又は伝送する媒体というよりはむしろ、プログラムコード 2718 を記憶するために使用される、物理的な又は有形の記憶デバイスである。コンピュータ可読記憶媒体 2724 は、限定するわけではないが例としては、データ処理システム 2700 に接続される光ディスク若しくは磁気ディスク、又は固定記憶デバイスでありうる。 40

【0163】

代替的には、プログラムコード 2718 は、コンピュータ可読信号媒体 2726 を使用して、データ処理システム 2700 に転送されうる。コンピュータ可読信号媒体 2726 は、例えば、プログラムコード 2718 を内包する被伝播データ信号でありうる。このデータ信号は、物理的なかつ / 又は無線の通信リンクを介して伝送可能な、電磁信号、光信号、及び / 又は他の何らかの種類の信号でありうる。

【0164】

図 27 のデータ処理システム 2700 の図は、実施例が実装されうる様態に対する構造的な限定をもたらすことを意図していない。種々の実施例が、データ処理システム 2700 に関して示されている構成要素に追加される、又はかかる構成要素に代わる構成要素を含む、データ処理システムにおいて実装されうる。更に、図 27 に示す構成要素は示されている実施例とは異なることがある。

【0165】

本開示の実施例は、図 28 に示す航空機の製造及び保守方法 2800、並びに図 29 に示す航空機 2900 に関連して、説明されうる。まず図 28 を参照するに、航空機の製造及び保守方法のブロック図が一実施例により示されている。製造前の段階では、航空機の製造及び保守方法 2800 は、図 29 の航空機 2900 の仕様及び設計 2802、並びに

10

【0166】

製造段階では、図 29 の航空機 2900 の構成要素及びサブアセンブリの製造 2806、並びにシステムインテグレーション 2808 が行われる。その後、図 29 の航空機 2900 は、認可及び納品 2810 を経て運航 2812 に供されうる。顧客による運航 2812 の期間中に、図 29 の航空機 2900 には、改造、再構成、改修、及びその他の整備又は保守を含みうる定期的な整備及び保守 2814 が予定される。

【0167】

航空機の製造及び保守方法 2800 の各プロセスは、システムインテグレータ、第三者、オペレータ、又はこれらの組み合わせによって、実施又は実行されうる。このような例では、オペレータは顧客でありうる。この明細書において、システムインテグレータは、任意の数の航空機製造業者及び主要システム下請業者を含みうるが、それらに限定されるわけではなく、第三者は、任意の数のベンダー、下請業者、及び供給業者を含みうるが、それらに限定されるわけではなく、オペレータは、航空会社、リース会社、軍事団体、サービス機関等でありうる。

20

【0168】

ここで図 29 を参照するに、実施例が実装されうる航空機のブロック図が示されている。この例では、航空機 2900 は、図 28 の航空機の製造及び保守方法 2800 によって製造され、かつ、複数のシステム 2904 及び内装 2906 を有する機体 2902 を含みうる。システム 2904 の例には、推進システム 2908、電気システム 2910、油圧

30

【0169】

本書で例示されている装置及び方法は、図 28 の航空機の製造及び保守方法 2800 のうちの少なくとも 1 つの段階において用いられうる。詳細には、図 1 のデータ取得システム 100 が、航空機の製造及び保守方法 2800 の様々な段階において使用されうる。限定するわけではないが例としては、エンドエフェクタユニット 104 は、仕様及び設計 2802 において機体 2902 の厚さを決定するために使用されうる。更に、データ取得システム 100 は、定期的な整備及び保守 2814、又は、航空機の製造及び保守方法 28

40

【0170】

一実施例では、図 28 の構成要素及びサブアセンブリの製造 2806 で製造される構成要素又はサブアセンブリは、図 28 の、航空機 2900 の運航 2812 の期間中に製造される構成要素又はサブアセンブリと同様の様態で、作製又は製造されうる。更に別の例としては、一又は複数の装置の例、方法の例、又はそれらの組み合わせが、図 28 の構成要素及びサブアセンブリの製造 2806、及びシステムインテグレーション 2808 といった製造段階において利用されうる。一又は複数の装置の例、方法の例、又はそれらの組み合わせは、図 28 の、航空機 2900 の運航 2812 の期間中か、整備及び保守 2814 の段階か、又はそれらの組み合わせにおいて、利用されうる。いくつかの異なる実施例を

50

使用することで、航空機 2900 の組み立てを大幅に効率化すること、航空機 2900 のコストを削減すること、又はその両方が可能になる。

【0171】

さらに、本開示は以下の条項による例を含む。

【0172】

条項 1 . ロボットデバイスに取り付けられる多軸適応型エンドエフェクタであって、被加工物フィーチャの実際の位置を接触によって判定するよう構成された、適応型接触プローブと、

適応型プローブに関連しており、かつ、被加工物フィーチャと適応型接触プローブを受動的に位置合わせするよう構成された、少なくとも 1 つの並進式接合部及び少なくとも 1 つの回転式接合部とを備える、多軸適応型エンドエフェクタ。

10

【0173】

条項 2 . 少なくとも 1 つの並進式接合部が、

エンドエフェクタの脚部コレットの中に摺動可能に固定された、軸受ハウジングを更に備える、条項 1 に記載の多軸適応型エンドエフェクタ。

【0174】

条項 3 . 少なくとも 1 つの回転式接合部が、

エンドエフェクタの軸受ハウジング内に回転可能に装着された、球面軸受を更に備える、条項 2 に記載の多軸適応型エンドエフェクタ。

20

【0175】

条項 4 . 適応型接触プローブが、

被加工物に適応して接触するよう構成された接触子を更に備え、適応型接触プローブは、接触子と被加工物との接触に応じてフィードバックを提供するよう構成される、条項 3 に記載の多軸適応型エンドエフェクタ。

【0176】

条項 5 . 適応型接触プローブに関連するリニアゲージを更に備え、接触子が被加工物に接触する時のリニアゲージの伸長に基づいて、被加工物フィーチャにおける被加工物の厚さが判定される、条項 4 に記載の多軸適応型エンドエフェクタ。

【0177】

条項 6 . リニアゲージが球面軸受の中に装着され、

接触子が被加工物の上面に接触する時のリニアゲージの伸長に基づいて、被加工物フィーチャにおける被加工物の厚さが判定される、条項 5 に記載の多軸適応型エンドエフェクタ。

30

【0178】

条項 7 . 適応型接触プローブが被加工物フィーチャと受動的に位置合わせされない場合に、実質的にニュートラルな配向で適応型接触プローブを保持するよう構成された、いくつかの磁気デントを更に備える、条項 1 に記載の多軸適応型エンドエフェクタ。

【0179】

条項 8 . いくつかの磁気デントが、データの取得中に、適応型接触プローブを、受動的に位置合わせされた配向で保持するよう更に構成される、条項 7 に記載の多軸適応型エンドエフェクタ。

40

【0180】

条項 9 . エンドエフェクタをロボットデバイスに取り付けるための、動的に位置合わせされる磁気連結部を更に備える、条項 1 に記載の多軸適応型エンドエフェクタ。

【0181】

条項 10 . ロボットデバイスに取り付けられる多軸適応型エンドエフェクタを使用して、被加工物に自動的に動作を実施するための方法であって、

動作が実施される被加工物フィーチャの公称位置に、エンドエフェクタを位置付けることと、

被加工物フィーチャとエンドエフェクタを受動的に位置合わせするために、エンドエフ

50

エクタを被加工物フィーチャに接触させることと、

被加工物フィーチャとエンドエフェクタを位置合わせすることに応じて、被加工物フィーチャに動作を実施することを含む、方法。

【0182】

条項11．被加工物フィーチャの公称位置にエンドエフェクタを位置付けることに応じて、エンドエフェクタが被加工物フィーチャの実際の位置に受動的に位置合わせされるか否かを判定することを更に含む、条項10に記載の方法。

【0183】

条項12．エンドエフェクタが被加工物フィーチャの実際の位置に受動的に位置合わせされるか否かを判定することが、

エンドエフェクタが被加工物フィーチャの実際の位置に受動的に位置合わせされるか否かを判定するために、エンドエフェクタから適応型接触プローブを伸長させることを更に含む、接触プローブは、被加工物への損傷を防止するために垂直方向に適応する、条項11に記載の方法。

【0184】

条項13．被加工物フィーチャが被加工物の穴であり、被加工物フィーチャとエンドエフェクタを受動的に位置合わせすることが、

穴を通して接触プローブを伸長させることと、

エンドエフェクタが穴に位置合わせされるまで、接触プローブが穴を通して伸長するにつれて、接触プローブを、磁気によって決まるニュートラル位置から並進的かつ角度的にオフセットさせることとを更に含む、条項12に記載の方法。

【0185】

条項14．動作が、穴において被加工物の厚さを判定することを含む、方法であって、適応型接触プローブが被加工物の下面に接触するまで接触プローブを後退させることと

、接触プローブの伸長に基づいて、穴において被加工物の厚さを判定することとを更に含む、条項13に記載の方法。

【0186】

条項15．適応型接触プローブからの接触フィードバックが穴の側壁との接触を示すまで、エンドエフェクタをオフセットさせることを更に含む、

接触プローブを後退させるステップが、エンドエフェクタをオフセットさせることに応じて実施される、条項14に記載の方法。

【0187】

条項16．動作を実施することに応じて、適応型接触プローブが被加工物フィーチャから除去されるか否かを判定することと、

接触プローブが被加工物フィーチャから除去されないと判定することに応じて、接触プローブが被加工物フィーチャから後退しうる、エンドエフェクタの位置を位置特定するために、後退探索プロセスを実施することと、

接触プローブが被加工物フィーチャから後退しうる、エンドエフェクタの位置を位置特定することに応じて、エンドエフェクタを被加工物フィーチャから後退させて、被加工物フィーチャから適応型接触プローブを除去することとを更に含む、条項14に記載の方法。

【0188】

条項17．被加工物フィーチャの公称位置が被加工物フィーチャの実際の位置ではないと判定することに応じて、被加工物フィーチャの探索プロセスを実施することと、

被加工物フィーチャを位置特定することに応じて、被加工物フィーチャの公称位置から実際の位置までのオフセットを記憶することとを更に含む、条項12に記載の方法。

【0189】

条項18．被加工物フィーチャの探索プロセスを実施することが、

適応型接触プローブからの接触フィードバックに基づいて被加工物フィーチャの実際の

10

20

30

40

50

位置が判定されるまで、公称位置からの外向きの螺旋経路内で、エンドエフェクタの細かな移動及び接触プローブの伸長チェックを行うことを更に含む、条項 17 に記載の方法。

【0190】

条項 19 . ロボットデバイスに取り付けられる多軸適応型エンドエフェクタを使用して、被加工物に自動的に動作を実施するためのコンピュータプログラム製品であって、
コンピュータ可読記憶媒体と、

動作が実施される被加工物フィーチャの公称位置にエンドエフェクタを位置付けるための、コンピュータ可読記憶媒体に記憶された第 1 プログラムコードと、

エンドエフェクタを被加工物フィーチャに接触させて、被加工物フィーチャとエンドエフェクタを受動的に位置合わせするための、コンピュータ可読記憶媒体に記憶された第 2 プログラムコードと、

被加工物フィーチャとエンドエフェクタを位置合わせすることに応じて、被加工物フィーチャに動作を実施するための、コンピュータ可読記憶媒体に記憶された第 3 プログラムコードとを含む、コンピュータプログラム製品。

【0191】

条項 20 . 被加工物フィーチャの公称位置にエンドエフェクタを位置付けることに応じて、エンドエフェクタが被加工物フィーチャの実際の位置に受動的に位置合わせされうるか否かを判定するための、コンピュータ可読記憶媒体に記憶された第 4 プログラムコードを更に含む、条項 19 に記載のコンピュータプログラム製品。

【0192】

条項 21 . 第 4 プログラムコードが、
エンドエフェクタから適応型接触プローブを伸長させて、エンドエフェクタが被加工物フィーチャの実際の位置に受動的に位置合わせされうるか否かを判定するための、コンピュータ可読記憶媒体に記憶されたプログラムコードを更に含む、条項 20 に記載のコンピュータプログラム製品。

【0193】

条項 22 . 被加工物フィーチャが被加工物の穴であり、第 2 プログラムコードが、
被加工物の穴を通して接触プローブを伸長させるための、コンピュータ可読記憶媒体に記憶されたプログラムコードを更に含み、エンドエフェクタが穴に位置合わせされるまで、接触プローブが穴を通して伸長するにつれて、接触プローブが、並進的かつ角度的に、磁気によって決まるニュートラル位置から受動的にオフセットされる、条項 21 に記載のコンピュータプログラム製品。

【0194】

条項 23 . 動作が、穴において被加工物の厚さを判定することを含む、コンピュータプログラム製品であって、

適応型接触プローブが被加工物の下面に接触するまで接触プローブを後退させるための、コンピュータ可読記憶媒体に記憶された第 5 プログラムコードと、

接触プローブの伸長に基づいて、穴において被加工物の厚さを判定するための、コンピュータ可読記憶媒体に記憶された第 6 プログラムコードとを更に含む、条項 22 に記載のコンピュータプログラム製品。

【0195】

条項 24 . 適応型接触プローブからの接触フィードバックが穴の側壁との接触を示すまで、エンドエフェクタをオフセットさせるための、コンピュータ可読記憶媒体に記憶された第 7 プログラムコードを更に含み、

第 7 プログラムコードに応じて第 5 プログラムコードが実施される、条項 23 に記載のコンピュータプログラム製品。

【0196】

条項 25 . 動作を実施することに応じて、適応型接触プローブが被加工物フィーチャから除去されうるか否かを接触フィードバックによって判定するための、コンピュータ可読記憶媒体に記憶された第 7 プログラムコードと、

10

20

30

40

50

接触プローブが被加工物フィーチャから除去されえないと判定することに応じて、接触プローブが被加工物フィーチャから後退しうる、エンドエフェクタの位置を位置特定するために、後退探索プロセスを実施するための、コンピュータ可読記憶媒体に記憶された第8プログラムコードと、

接触プローブが被加工物フィーチャから後退しうる、エンドエフェクタの位置を位置特定することに応じて、エンドエフェクタを被加工物フィーチャから後退させて、被加工物フィーチャから接触プローブを除去するための、コンピュータ可読記憶媒体に記憶された第9プログラムコードとを更に含む、条項23に記載のコンピュータプログラム製品。

【0197】

条項26．被加工物フィーチャの公称位置が被加工物フィーチャの実際の位置ではないと判定することに応じて、被加工物フィーチャの探索プロセスを実施するための、コンピュータ可読記憶媒体に記憶された第5プログラムコードと、

被加工物フィーチャを接触により位置特定することに応じて、被加工物フィーチャの公称位置から実際の位置までのオフセットを記憶するための、コンピュータ可読記憶媒体に記憶された第6プログラムコードとを更に含む、条項20に記載のコンピュータプログラム製品。

【0198】

条項27．第5プログラムコードが、

接触プローブからの接触フィードバックに基づいて被加工物フィーチャの実際の位置が判定されるまで、公称位置からの外向きの螺旋経路内で、エンドエフェクタの細かな移動及び接触プローブの伸長チェックを行うための、コンピュータ可読記憶媒体に記憶されたプログラムコードを更に含む、条項26に記載のコンピュータプログラム製品。

【0199】

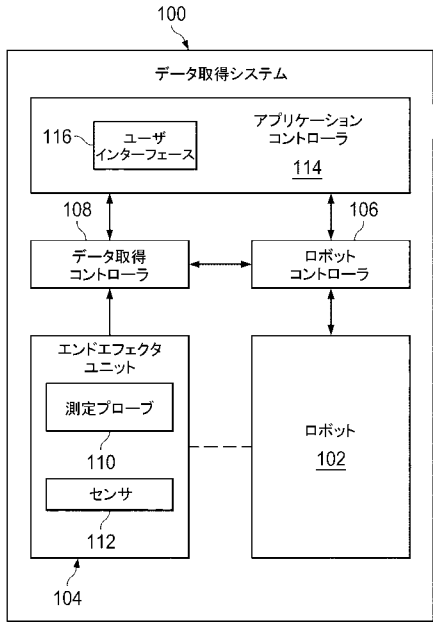
種々の実施例の説明は、例示及び説明を目的として提示されており、網羅的であること、又は開示されている形態の例に限定することを意図しているわけではない。当業者には、多くの修正例及び変形例が自明となろう。更に、種々の実施例は、他の望ましい例とは異なる特徴を提供しうる。選択された一又は複数の例は、それらの例の原理と実践的応用を最もよく解説するため、及び、他の当業者が様々な例の開示内容と共に想定される特定の用途に適した様々な修正例について理解することを可能にするために、選ばれ、説明されている。

10

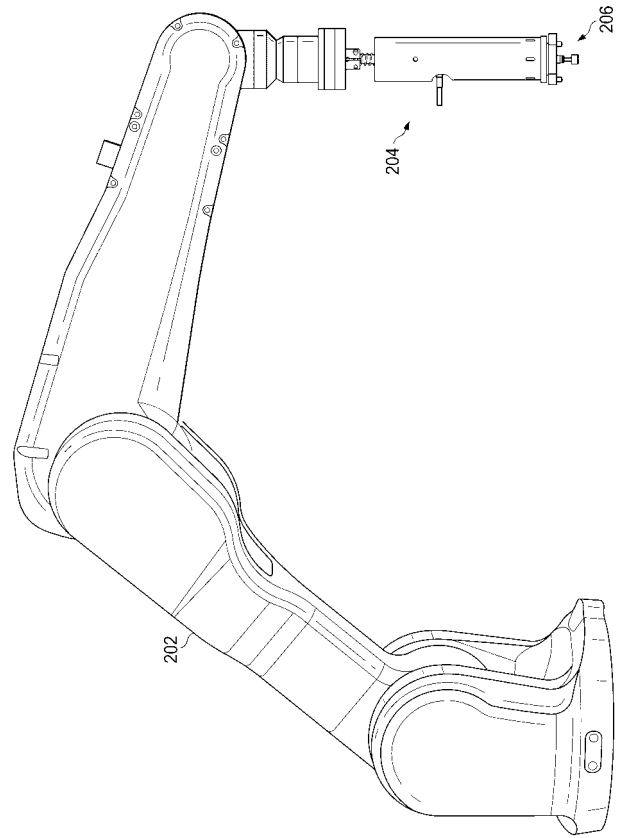
20

30

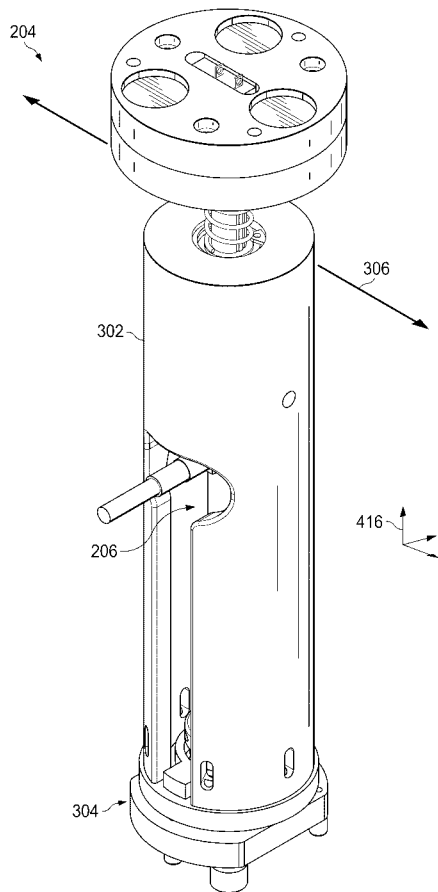
【 図 1 】



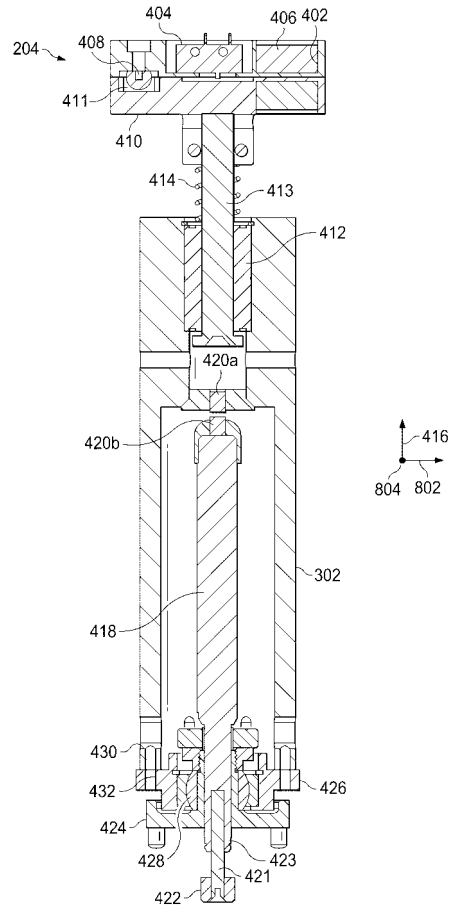
【 図 2 】



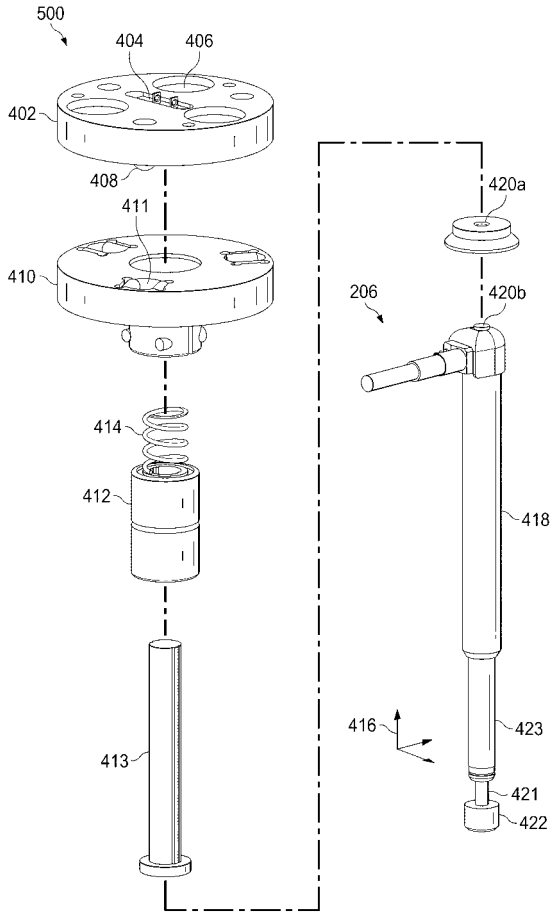
【 図 3 】



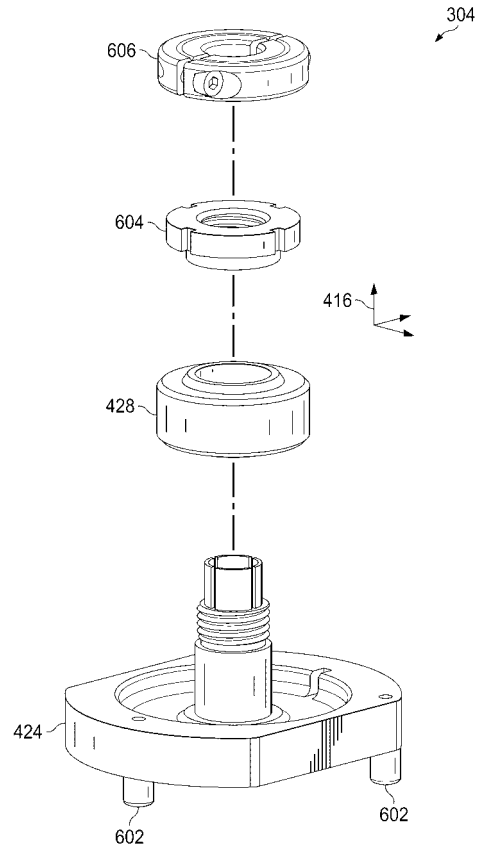
【 図 4 】



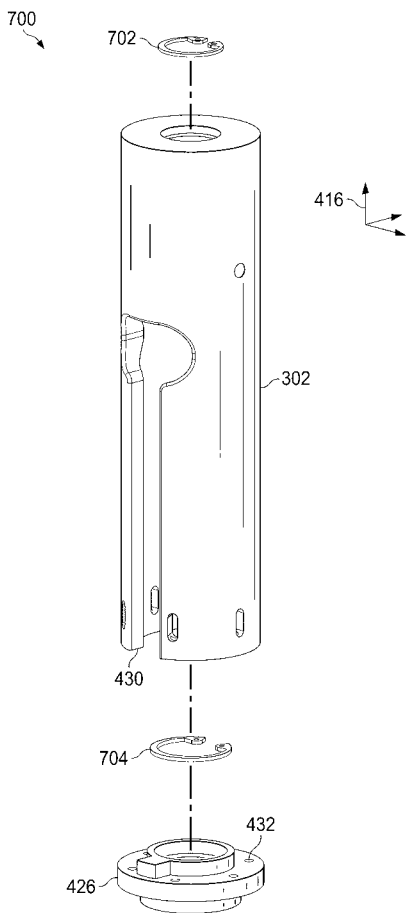
【 図 5 】



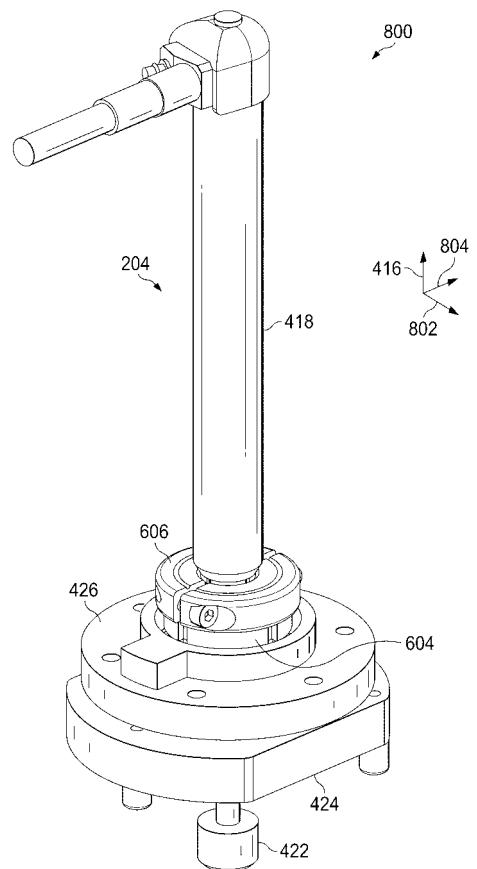
【 図 6 】



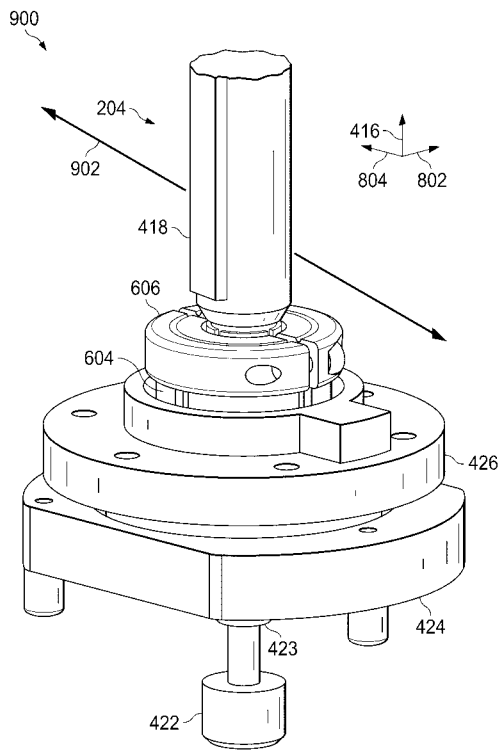
【 図 7 】



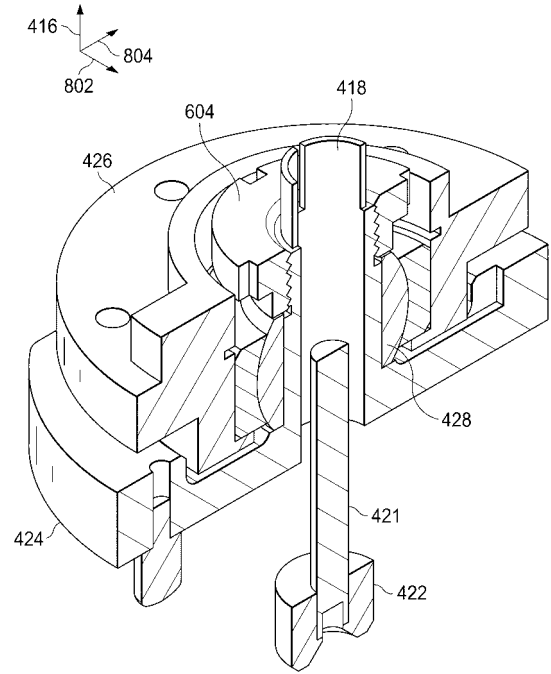
【 図 8 】



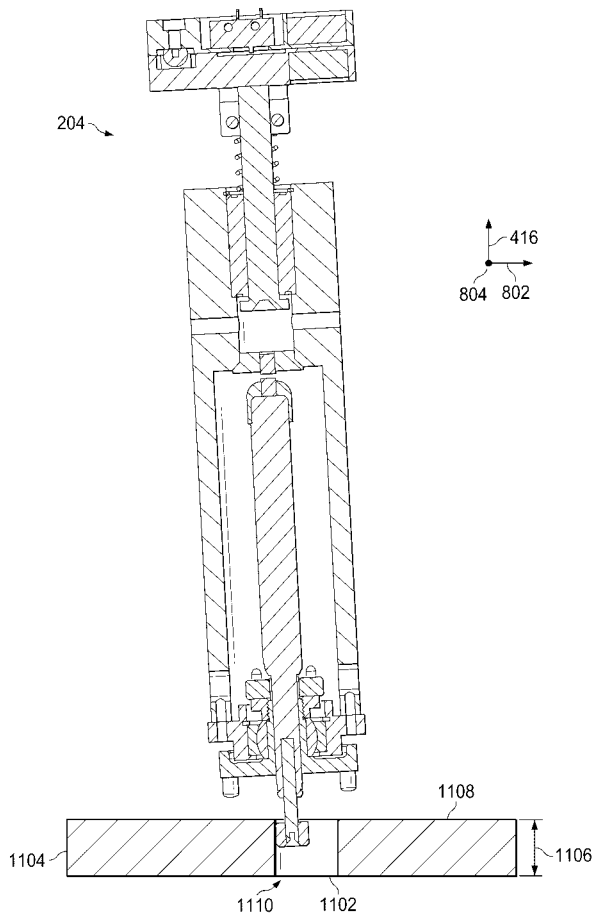
【 図 9 】



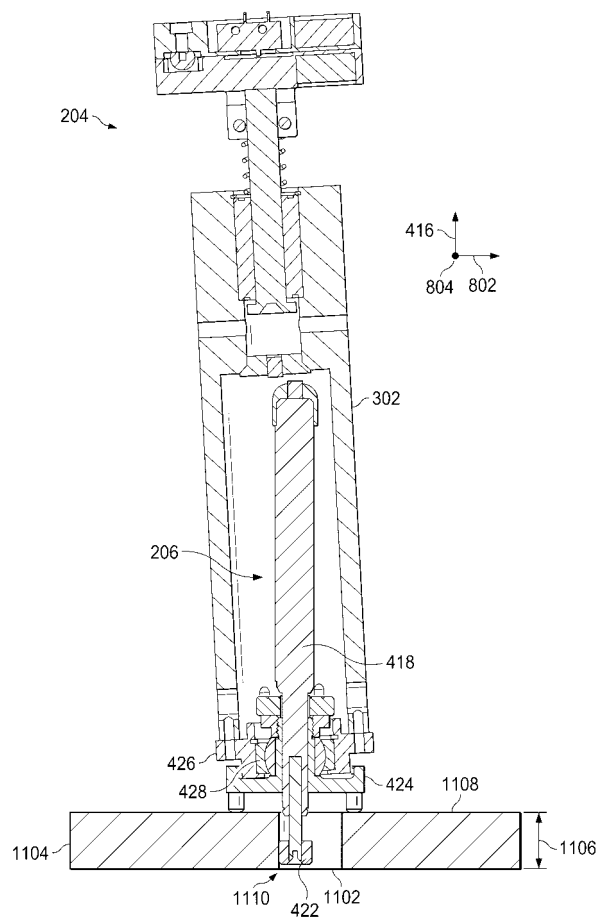
【 図 10 】



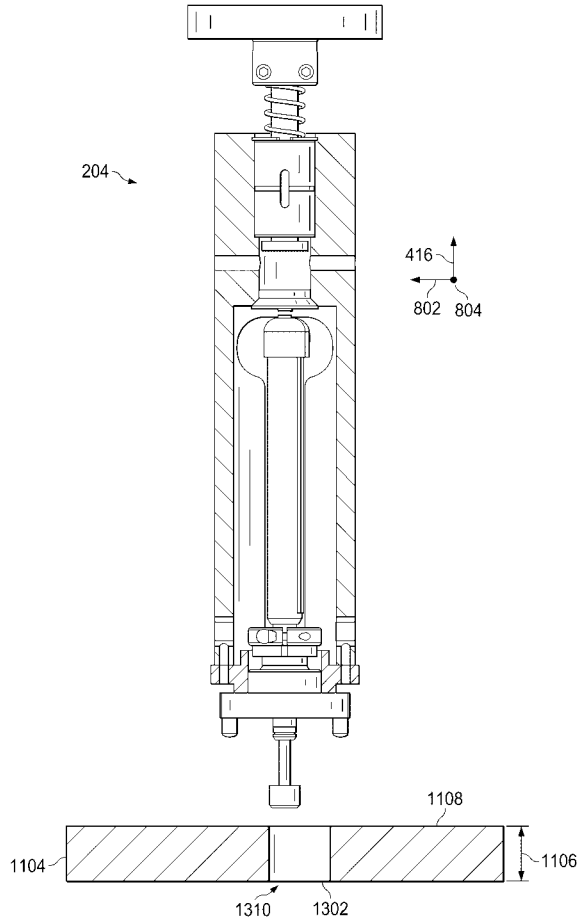
【 図 11 】



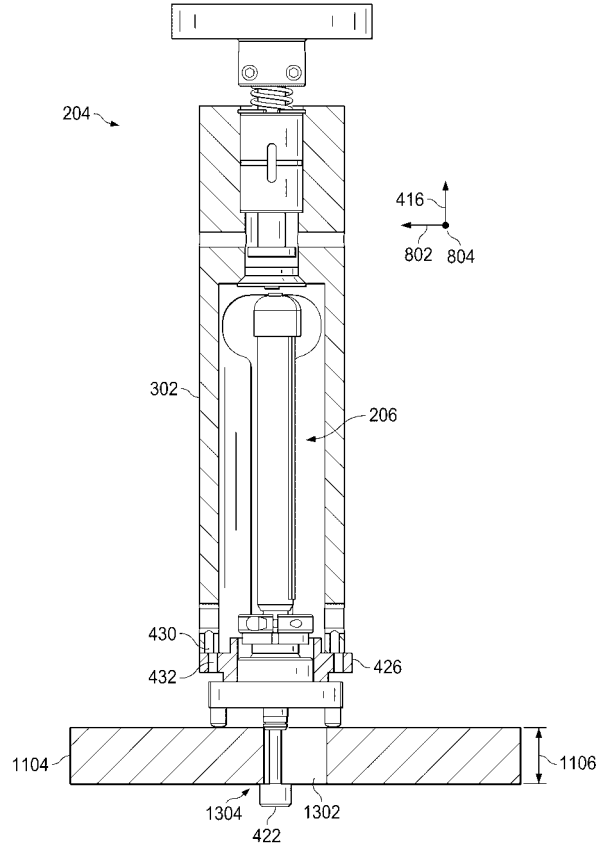
【 図 12 】



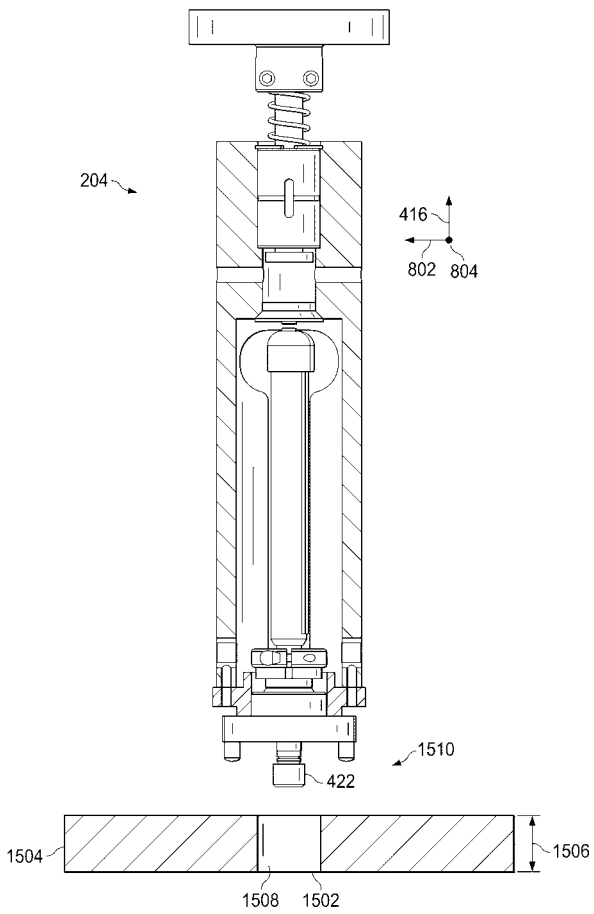
【 図 1 3 】



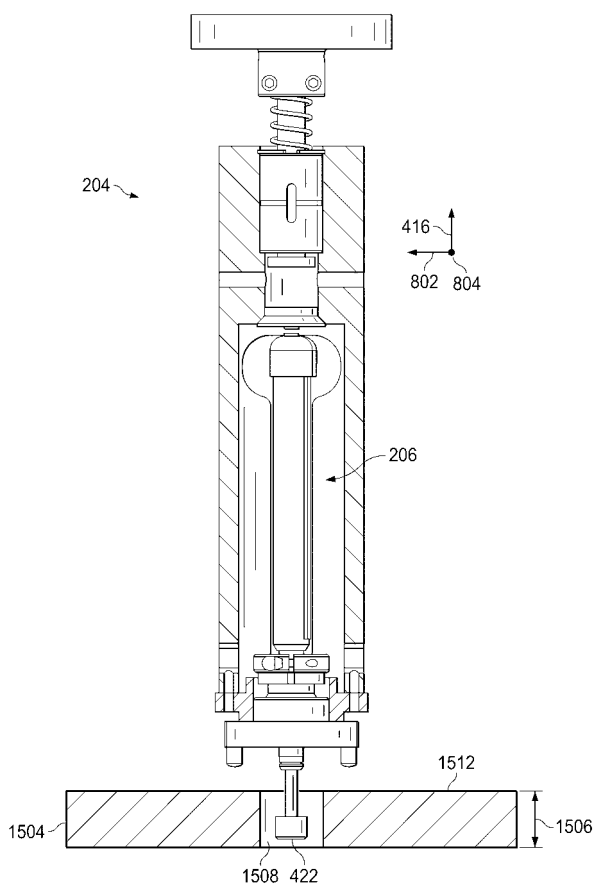
【 図 1 4 】



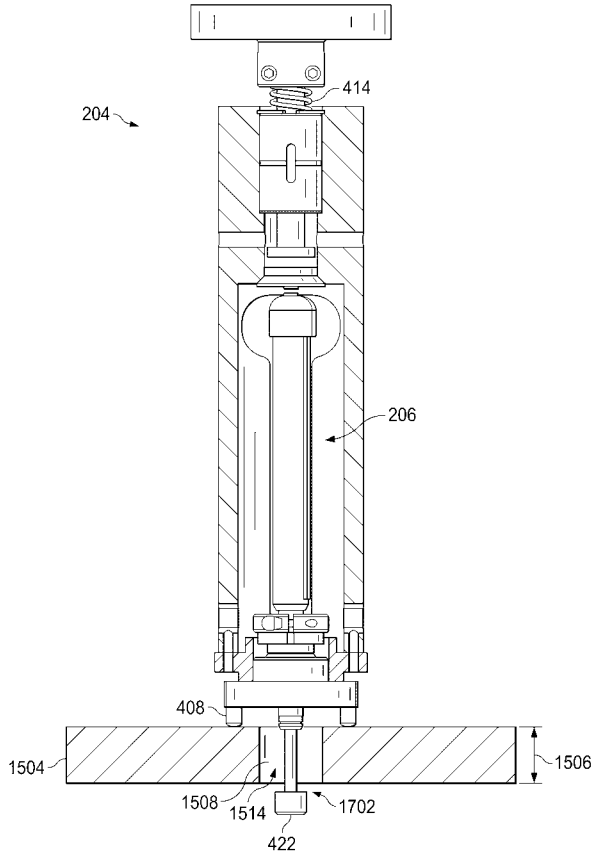
【 図 1 5 】



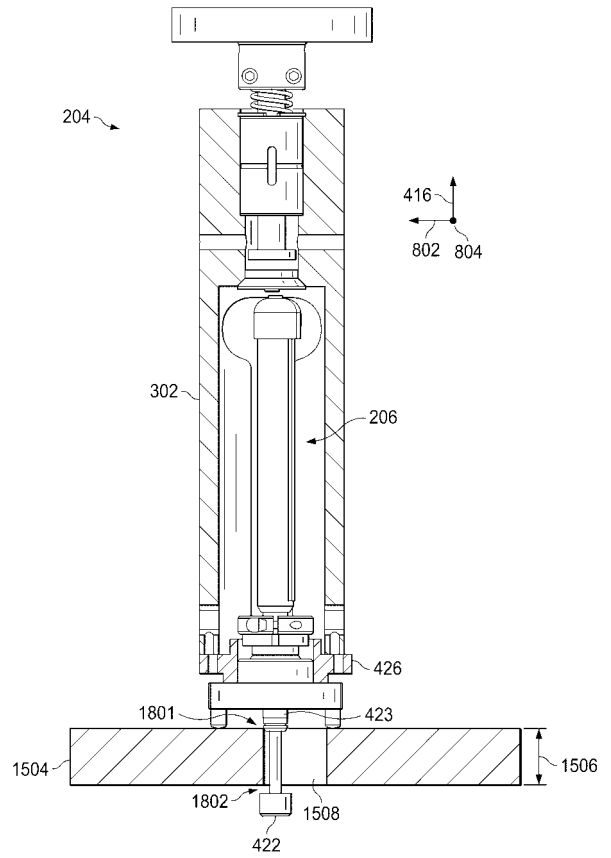
【 図 1 6 】



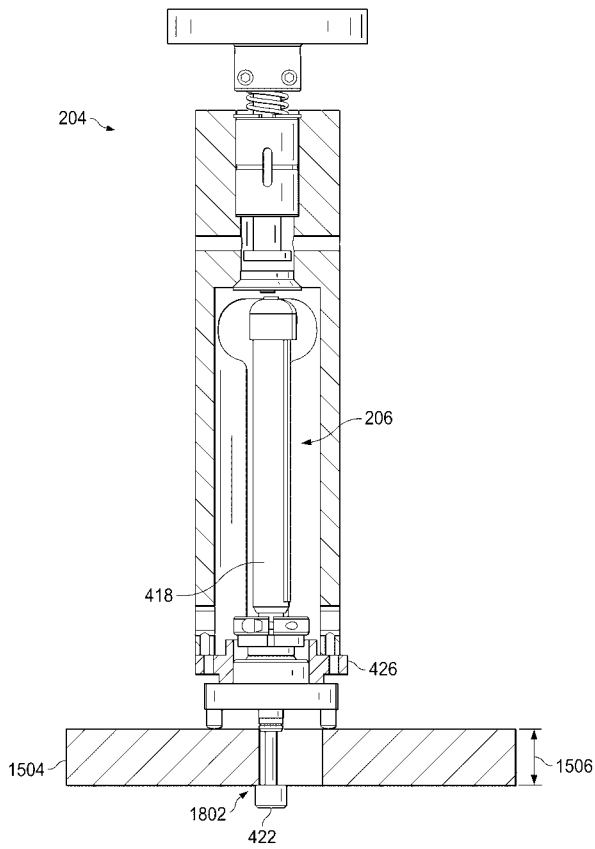
【 図 1 7 】



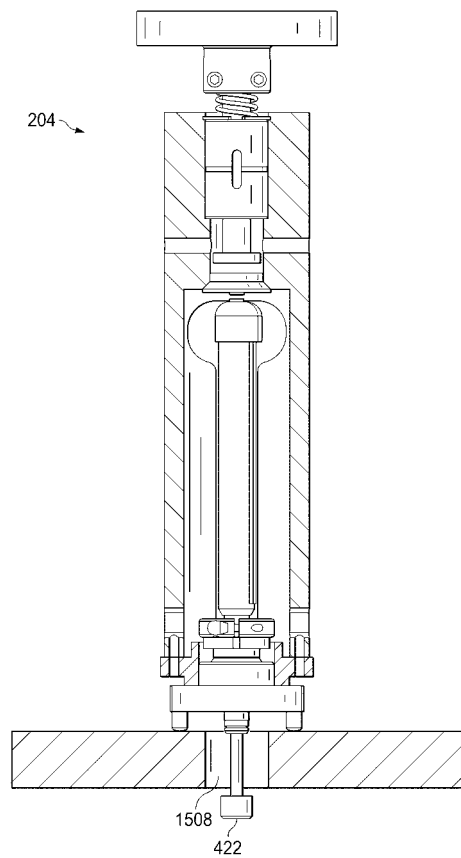
【 図 1 8 】



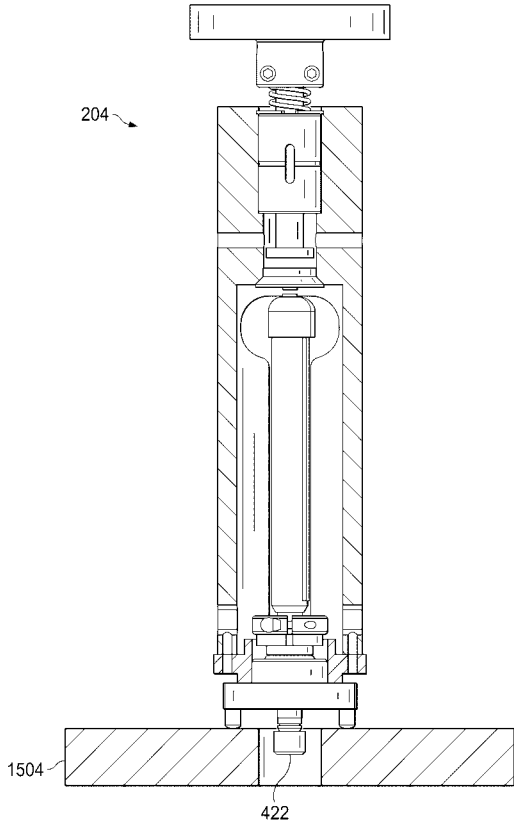
【 図 1 9 】



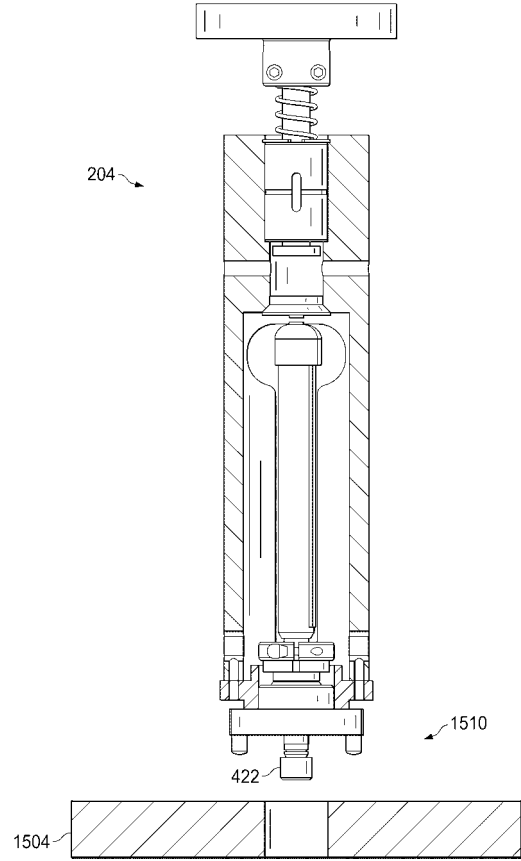
【 図 2 0 】



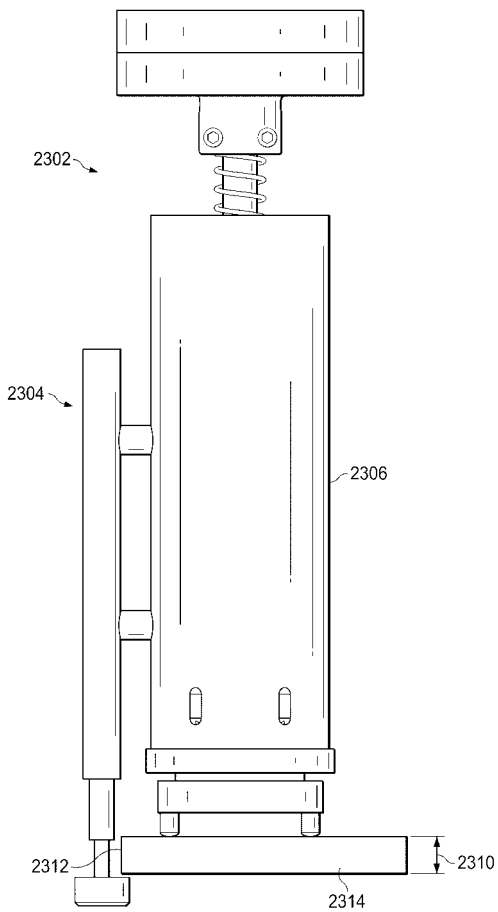
【 図 2 1 】



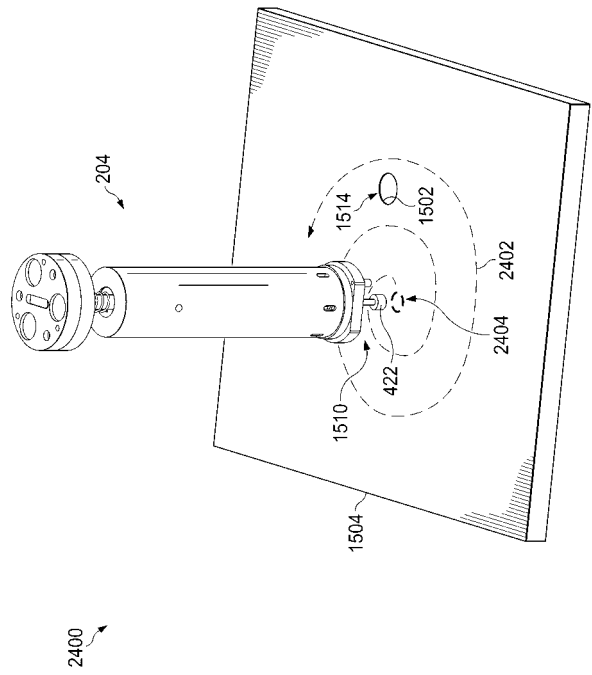
【 図 2 2 】



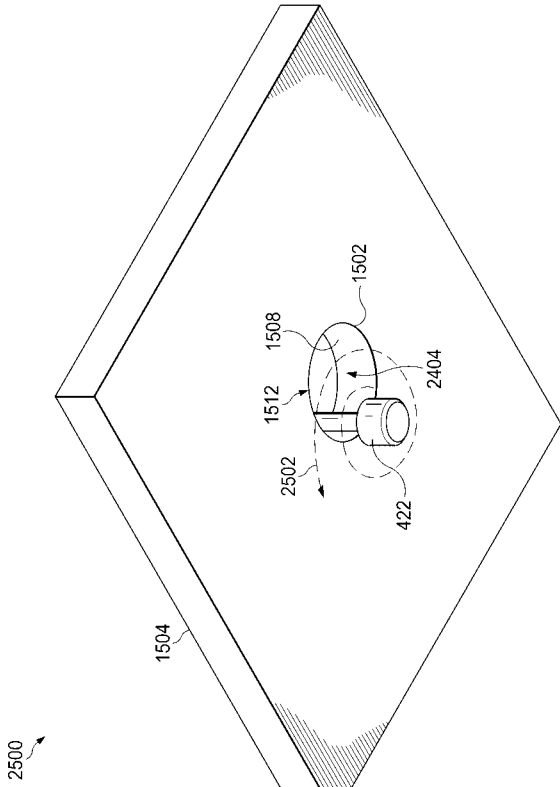
【 図 2 3 】



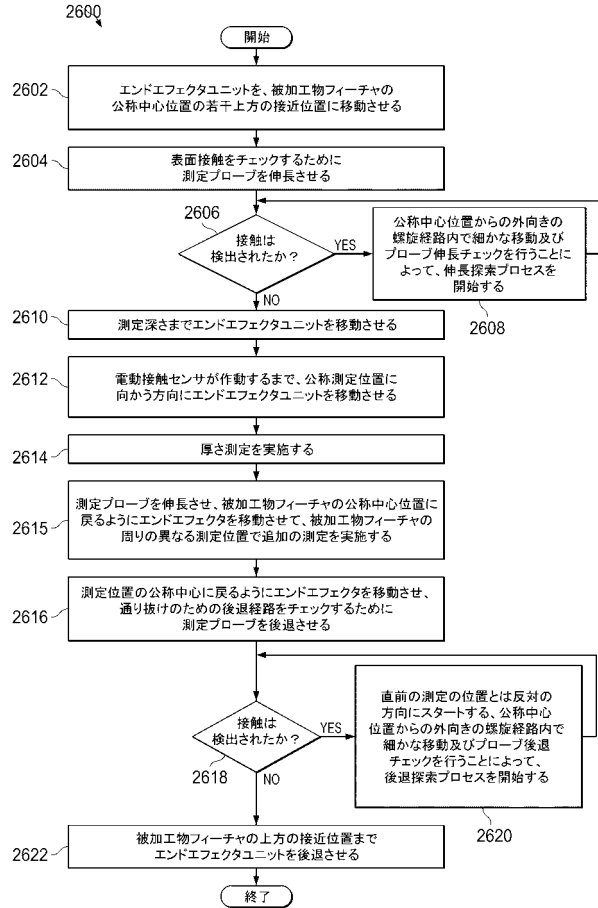
【 図 2 4 】



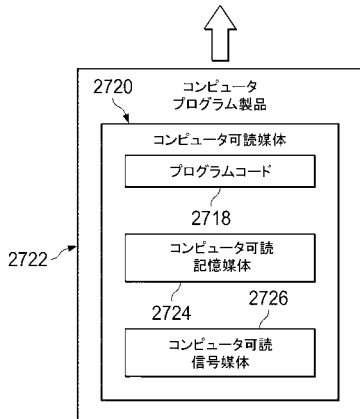
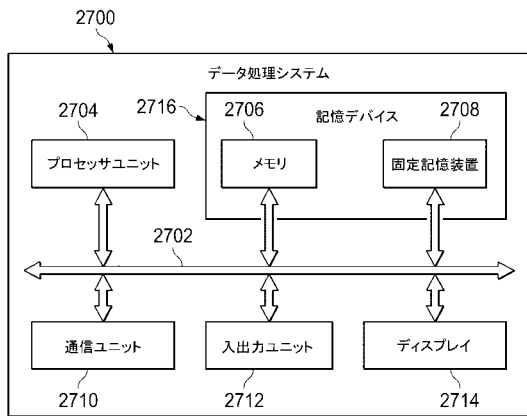
【 図 2 5 】



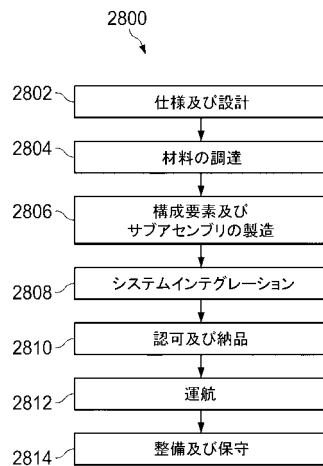
【 図 2 6 】



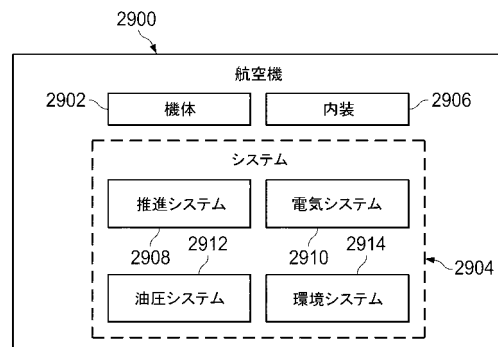
【 図 2 7 】



【 図 2 8 】



【 図 2 9 】



フロントページの続き

(72)発明者 ライト, ダニエル ジェイ.

アメリカ合衆国 イリノイ 60606-1596, シカゴ, ノース リバーサイド プラザ
100

(72)発明者 レア, スコット ダブリュ.

アメリカ合衆国 イリノイ 60606-1596, シカゴ, ノース リバーサイド プラザ
100

Fターム(参考) 2F062 AA01 AA27 CC27 EE01 EE62 FF02 FF07 GG37 GG71 JJ04
3C707 AS29 BS10 CY36 KS03 KS31 KX06 LT12

【外国語明細書】

2018109600000001.pdf

2018109600000002.pdf

2018109600000003.pdf

2018109600000004.pdf