

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5967972号

(P5967972)

(45) 発行日 平成28年8月10日(2016.8.10)

(24) 登録日 平成28年7月15日(2016.7.15)

(51) Int.Cl. F I
B 2 5 J 15/06 (2006.01) B 2 5 J 15/06 S

請求項の数 14 外国語出願 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2012-35495 (P2012-35495)	(73) 特許権者	500520743
(22) 出願日	平成24年2月21日 (2012.2.21)		ザ・ボーイング・カンパニー
(65) 公開番号	特開2012-171093 (P2012-171093A)		The Boeing Company
(43) 公開日	平成24年9月10日 (2012.9.10)		アメリカ合衆国、60606-2016
審査請求日	平成27年2月20日 (2015.2.20)		イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100
(31) 優先権主張番号	13/032, 596	(74) 代理人	100109726
(32) 優先日	平成23年2月22日 (2011.2.22)		弁理士 園田 吉隆
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100101199
			弁理士 小林 義敦
		(72) 発明者	サール, ブランコ
			アメリカ合衆国 カリフォルニア 926
			48, ハンティントン ビーチ, 10
			7番, ポンパノ レーン 19542

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 エンドエフェクタクランプのための力及び垂直性の検出

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ロボットシステムであって、
 電磁クランプ(114、510)を含むエンドエフェクタ(110)と、
 前記クランプによって加工対象物表面(S)に加えられる力を測定するための前記エンドエフェクタに取り付けられた力センサー(116、512)と、
 前記力センサー(116、512)が前記表面(S)に接触する前に、前記クランプ(114、510)が前記表面(S)に対して垂直であることを判定するため、前記力センサー(116、512)の周囲に配置された複数の垂直センサー(118、514)とを備えたロボットシステム。

【請求項 2】

前記垂直センサー(118)が、前記クランプの第1(R1)及び第2(R2)回転軸についての方向を測定するための少なくとも3個のセンサーを含む、請求項1に記載のシステム。

【請求項 3】

前記エンドエフェクタ(110)を移動するためのロボットマニピュレータ(120)と、

前記垂直センサー(118)の出力に応答して、前記力センサー(116)が前記加工対象物表面(S)に接触可能になることなく、前記クランプ(114)が前記加工対象物表面(S)に対して垂直になるまで、前記エンドエフェクタ(110)を移動させるよう

10

20

に、前記ロボットマニピュレータ（１２０）に指令を出すための制御装置（１２２）とをさらに備えた、請求項１又は２に記載のシステム。

【請求項４】

前記制御装置（１２２）が、前記力センサーの出力に応答して締め付け力を発生させるように、前記クランプ（１１４）に指令を出す、請求項３に記載のシステム。

【請求項５】

前記垂直センサーの位置を較正するための較正プレート（８１０）をさらに備え、前記較正プレート（８１０）は、前記力センサーが載る高い部位（８１２）、及び前記垂直センサー（１１８、５１４）の先端に対する較正面を定義する低い部位（８１４）を有する、請求項３又は４に記載のシステム。

10

【請求項６】

前記制御装置（１２２）が、前記垂直センサー（１１８、５１４）に対する較正面を決定し、

前記クランプ（１１４、５１０）を加工対象物表面上に移動させ、前記較正面からピンまでの距離を決定し、且つ

対向する垂直センサーの前記距離が等しくなるように前記クランプの方向を合わせる、請求項３又は４に記載のシステム。

【請求項７】

前記力センサーが前記クランプの表面に配置されており、且つ

各垂直センサー（１１８、５１４）が、ピン及び前記ピンの位置を決定するためのリニア変位センサーを含み、

20

前記クランプの前記表面を越えて各ピンの先端が延びるよう可動になっている、請求項１から６のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項８】

前記力センサー及び前記垂直センサーが前記クランプと一体化されている、請求項１から７のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項９】

請求項１または３に記載のシステムであって、

前記電磁クランプが、

磁心（５１６）と、

30

前記磁心の周囲に巻かれた巻き線（５２６）とを有し、

前記力センサーが前記電磁クランプの締め付け面の位置にあり、

前記力センサー（５１２）の周囲に配置された前記複数の垂直センサー（５１４）が、前記締め付け面から前記力センサー（５１２）よりも遠くへ延びる先端を有するリニア変位センサーを備え、前記力センサー（５１２）が前記加工対象物表面（Ｓ）に接触することなく、前記加工対象物表面（Ｓ）に対する前記クランプの垂直性を判定可能とする、システム。

【請求項１０】

４個のリニア変位センサーが前記力センサー（５１２）の周囲に配置された、請求項９に記載のシステム。

40

【請求項１１】

各リニア変位センサーが、前記磁心（５１６）に埋め込まれた線形可変差動変圧器（ＬＶＤＴ）及び前記ＬＶＤＴから延びるピンを含む、請求項９又は１０に記載のシステム。

【請求項１２】

前記力センサー（５１２）を前記磁心（５１６）に固定するための軸受筒（５２４）をさらに備え、前記軸受筒（５２４）が前記締め付け面を提供する、請求項９ないし１１のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項１３】

請求項９から１２のいずれか一項に記載のシステムにおけるクランプの使用方法であって、

50

前記リニア変位センサーのための較正面の決定（ 7 1 0 ）と、
前記加工対象物表面に接触するすべての垂直センサーの先端を用いた、加工対象物上での前記クランプの位置決め（ 7 2 0 ）と、
前記較正面から各先端までの距離の決定（ 7 3 0 ）と、
対向するセンサーの距離が等しくなるまでの前記クランプの再方向設定（ 7 5 0 ）と、
距離を維持しつつ前記締め付け面が前記加工対象物表面に接触するまでの、前記加工対象物表面へ向けた前記クランプの移動（ 7 6 0 ）と、
締め付け力の適用（ 7 7 0 ）と
からなる、クランプの使用方法。

【請求項 1 4】

10

前記加工対象物上での製造作業の実施をさらに備えた、請求項 1 3 に記載の方法であって、

前記磁心の軸開口部へのドリルの挿入と、
前記力センサーの読み取り中に、前記加工対象物に孔を穿孔するための前記ドリルの使用、及び穿孔中の前記巻き線の制御と
を含む、方法。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【 0 0 0 1】

商用航空機の組み立て中、一部の作業は、限られた空間の内側と外側から同期を取って実施される。主翼ボックスのパネルにスパーを固定する作業について考えてみる。主翼ボックスの外側の組み立てシステムは、パネルの片側に穿孔作業、皿取り加工作業、締め具挿入作業を行う。パネルの反対側にある主翼ボックスの内側で作業員又はシステムが、挿入した締め具にスリーブとナットを配置する。

20

【 0 0 0 2】

穿孔作業中、組み立てシステムは、パネルに対して適切な締め付け力を加えることが必要となる。電磁石を使用して締め付け力を加える場合には、電磁石のコイルに供給される電流に応じて、締め付け力を推定することができる。しかしながら、その推定値は常に正しいわけではない。推定値が正しくない場合には、締め付け力が不十分になる可能性がある。

30

【 0 0 0 3】

穿孔作業中の締め付け力が不十分な場合には、ドリルが移動することがある。その結果、穿孔された孔の位置が許容誤差範囲を超える可能性がある。したがって、商用航空機で正確に穿孔しなければならない孔の数を考慮した場合、許容誤差範囲を超えた孔による損失はきわめて大きくなる可能性がある。

【 0 0 0 4】

締め付け力を推定するのではなく、穿孔中に締め付け力を正確に測定することが望ましいであろう。

【発明の概要】

【 0 0 0 5】

40

本明細書のある観点によれば、ロボットシステムは、電磁クランプを含むエンドエフェクタ、クランプによって加工対象物表面に与えられる力を測定するためエンドエフェクタに取り付けられた力センサー、及び複数の垂直センサーを備えている。本垂直センサーは、力センサーの周囲に配置されており、力センサーが加工対象物表面に接触する前に、クランプが当該表面に対して垂直かどうかを判定する。

【 0 0 0 6】

本明細書の別の観点によれば、電磁クランプは、磁心、磁心の周囲に巻かれた巻き線、締め付け面の力センサー、及び力センサーの周囲に配置された複数のリニア変位センサーを備えている。本リニア変位センサーは、締め付け面から、力センサーよりも遠くまで延びるチップを有し、これにより力センサーが表面に触れることなく、加工対象物表面に対

50

するクランプの垂直性を判定することができる。

【 0 0 0 7 】

本明細書の別の観点によれば、方法は、加工対象物での製造作業を実施するためのクランプの使用からなり、クランプには、加工対象物表面に対するクランプの締め付け力を測定するための力センサーが含まれる。加工対象物表面に最も近いクランプの締め付け面の位置決めを含むクランプの使用、締め付け面が加工対象物表面に接触する前の加工対象物表面に関する締め付け面の垂直性の判定、締め付け面の垂直性を維持しつつ行う加工対象物表面への締め付け面の移動、及び加工対象物表面に対するクランプの固定からなる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 8 】

10

【図 1】図 1 はエンドエフェクタを含むロボットシステムの図である。

【図 2】図 2 は加工対象物表面に対してエンドエフェクタを固定するロボットシステムの制御方法の図である。

【図 3】図 3 はエンドエフェクタの軸に関する力センサー及び垂直センサーの図である。

【図 4 A】図 4 A は垂直センサーの図である。

【図 4 B】図 4 B は較正面に関する 2 個の垂直センサーのチップの図である。

【図 5】図 5 は磁心に力センサー及び垂直センサーが埋め込まれた電磁クランプの磁心の図である。

【図 6】図 6 は図 5 の磁心を含む電磁クランプの図である。

【図 7】図 7 は図 6 の電磁クランプの制御方法の図である。

20

【図 8】図 8 の A ~ D は較正、位置決め、及び締め付け中の図 6 の電磁クランプの図である。

【図 9】図 9 は製造作業中の電磁クランプの図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 0 9 】

図 1 を参照して、締め付け力を測定した加工対象物表面に対して、エンドエフェクタ 110 を締め付けるためのロボットシステム 100 について説明する。エンドエフェクタ 110 は、本体 112 及び電磁クランプ 114 を含む。一部の実施形態では、本体 112 及びクランプ 114 が一体化されることがある。他の実施形態では、本体 112 及びクランプ 114 は別個の要素となることがある。

30

【 0 0 1 0 】

システム 100 の操作中、エンドエフェクタ 110 の締め付け面 (C) は、加工対象物表面 (S) とは反対の方向に移動する。エンドエフェクタ 110 はさらに、加工対象物表面 (S) に対して、クランプ 114 によって与えられる力を測定するための力センサー 116 を含む。例えば、力センサー 116 は、歪みゲージ、油圧センサー、又は形状記憶センサーを含むことができる。加工対象物表面に対して締め付け面 (C) が垂直になると、測定値はきわめて正確になる。

【 0 0 1 1 】

エンドエフェクタ 110 はさらに、力センサー 116 の周囲に配置される、複数の垂直センサー 118 を含む。一部の実施形態では、垂直センサー 118 は、リニア変位センサーにしてもよい。他の実施形態では、垂直センサー 118 は、近接センサーにしてもよい。垂直センサー 118 は、力センサー 116 が加工対象物表面 (S) に接触する前に、加工対象物表面 (S) に対して締め付け面 (C) が垂直かどうかを判定することができる。この配置により、加工対象物表面 (S) に対して締め付け力が垂直になるように、力センサー 116 から垂直センサー 118 を分離する動作が可能になる。力の測定は、力センサー 116 が加工対象物表面に対して垂直になるときに、より正確になる。動作を分離することにより、精度はさらに改善される。仮に、垂直性を判定する際に、力センサー 116 が加工対象物表面に接触していたとする。その場合、力センサーが加工対象物表面 (S) に接触する際にクランプを回転させるため、エンドエフェクタ 110 には、力センサーとエンドエフェクタとの間の球面軸受を含む、より複雑な設計が必要となることがある。そ

40

50

の結果、反作用力が球面軸受を摩耗させ、クランプのずれを引き起こすことがある。この問題は動作を分離することで回避される。高い精度での締め付け力の測定に加えて、システム 100 は球面軸受を必要としない、より単純な設計を有している。

【0012】

ロボットシステム 100 はさらに、エンドエフェクタ 110 を移動するためのロボットマニピュレータ 120 を含んでいる。ロボットマニピュレータ 120 は、例えばロボットアームを含むことができる。

【0013】

ロボットシステム 100 はさらに、エンドエフェクタ 110 を移動するようにロボットマニピュレータ 120 に指令を出す、制御装置 122 を含む。制御装置 122 は又、力センサ 116 及び垂直センサ 118 を読み取り、クランプ 114 を制御して締め付け力を発生させる。制御装置 122 は、マイクロプロセッサを用いたものにしてもよい。

10

【0014】

次に図 2 を参照して、制御装置 122 によって実行されるある種の機能について説明する。ブロック 210 では、制御装置 122 は、締め付け面 (C) が加工対象物表面 (S) に対して垂直になっていることを垂直センサ 118 が示すまで、エンドエフェクタ 110 を加工対象物表面 (S) とは反対の方向に移動するように、ロボットマニピュレータ 120 に指令を出す。この移動中に、力センサ 116 は加工対象物表面 (S) に接触しない。

【0015】

20

ブロック 220 では、制御装置 122 は、エンドエフェクタ 110 を加工対象物表面 (S) の方向に移動するように、ロボットマニピュレータ 120 に指令を出す。制御装置 122 は又、締め付け面 (C) が加工対象物表面 (S) に対して垂直のまま維持されることを保証するため、垂直センサ 118 を使用する。

【0016】

ブロック 230 では、制御装置 122 は、エンドエフェクタ 110 が加工対象物表面 (S) に接触する場合を判定するため、力センサ 116 の値を読み取る。クランプが加工対象物表面 (S) に対して垂直な状態で、制御装置 122 は、締め付け力を発生させるように、クランプ 114 に指令を出す。締め付け力により、エンドエフェクタ 110 は加工対象物表面 (S) に対して固定される。制御装置 122 は、力センサ 116 の値を読み取り、正確な締め付け力が確実に加えられるように、クランプ 114 を制御する。

30

【0017】

次に図 3 を参照して、4 個の垂直センサ 118 が力センサ 116 の周囲に配置されている実施形態を示す。垂直センサ 118 のうち、N1 及び N2 で指定した対向する第 1 のセンサ対 118 は、第 1 の回転軸 (R1) に沿って配置される。N3 及び N4 で指定した対向する第 2 のセンサ対は、第 2 の回転軸 (R2) に沿って配置される。4 個の垂直センサ 118 は、平面及び非平面上で使用することができる。一部の実施形態では、平面上で 3 個の垂直センサ 118 が使用されることがある。

【0018】

次に図 4A を参照して、垂直センサ 410 の実施形態を説明する。図 4 の垂直センサ 410 は、線形可変差動変圧器 (LVDT) などのリニア変位センサ 412 としてもよい。垂直センサ 410 は、ピン 414 及びコイル (図示せず) を含む。ピン 414 のチップ 416 は、加工対象物表面に接触するように構成されている。作業中、ピン 414 はコイルに対して移動し、電圧を検出する。電圧の変化は、ピン 414 の変位に比例している。

40

【0019】

一部の実施形態では、力センサ 116 及び / 又は垂直センサ 118 は、クランプ 114 から切り離して、エンドエフェクタ 110 に取り付けることができる。他の実施形態では、1 又は複数のセンサ 116 及び 118 を、クランプ 114 と一体化することもできる。

50

【 0 0 2 0 】

次に図 5 及び 6 を参照して、力センサー 5 1 2 及び垂直センサー 5 1 4 を一体化した電磁クランプ 5 1 0 の実施形態について説明する。クランプ 5 1 0 は、ハブ 5 1 8 及びプレート 5 2 0 を有する磁心 5 1 6 を含む。軸路 5 2 2 は、ハブ 5 1 8 及びプレート 5 2 0 を通って延びる。

【 0 0 2 1 】

力センサー 5 1 2 はドーナツ形状を有し、ハブ 5 1 8 に埋め込まれ、軸路 5 2 2 を取り囲んでいる。軸受筒 5 2 4 は、ハブ 5 1 8 内の力センサー 5 1 2 を保持し、ハブ 5 1 8 から外側へ延びる。軸受筒 5 2 4 は、締め付け面 (C) を提供する。軸受筒 5 2 4 の締め付け面 (C) のみが、加工対象物表面 (S) に接触する。一部の実施形態では、軸受筒 5 2 4 と力センサー 5 1 2 は、別々の構成要素になることがある。他の実施形態では、軸受筒 5 2 4 と力センサー 5 1 2 は一体化されることがある。

【 0 0 2 2 】

図 4 A に示した種類の 4 個の垂直センサー 5 1 4 は、軸路 5 2 2 の周囲に配置される。各リニア変位センサーは、対応する可動ピンと共にハブ 5 1 8 に埋め込まれる。ピンは移動可能なため、締め付け面 (C) を越えてチップを延ばすことができる。ピンは移動可能なため、チップを締め付け面 (C) からわずかに露出又は隠れるようにすることができる。

【 0 0 2 3 】

垂直センサー 5 1 4 は、図 3 に示すように配置される。2 個の対向する垂直センサー 5 1 4 (N 1 及び N 2) は、第 1 の軸 R 1 に沿って配置される。他の 2 個の対向する垂直センサー 5 1 4 (N 3 及び N 4) は、第 2 の軸 R 2 に沿って配置される。

【 0 0 2 4 】

巻き線 5 2 6 は、ハブ 5 1 8 の周囲に巻かれる。通電されると、巻き線 5 2 6 は電磁場を発生させる。シェル 5 2 8 は巻き線 5 2 6 を覆う。

【 0 0 2 5 】

図 5 及び 6 の磁心 5 1 0 は、穿孔作業に特有ないくつかの機能を有する。軸路 5 2 2 は、その中にドリルビットを挿入することができる。切削屑排出ポート 5 3 0 により、穿孔中に切削屑を取り除くことができる。

【 0 0 2 6 】

次に図 7 をさらに参照して、電磁クランプ 5 1 0 の作業を説明する。作業はセンサーの較正から始まる。高い部位 8 1 2 及び低い部位 8 1 4 を有する較正プレート 8 1 0 を使用することができる。

【 0 0 2 7 】

ブロック 7 1 0 では、垂直センサー 5 1 4 に対する較正面を決定する。軸受筒 5 2 4 を高い部位 8 1 2 に、4 個の垂直センサー 5 1 4 をすべて低い部位 8 1 4 に載せた状態で、較正プレート 8 1 0 に対してクランプ 5 1 0 を位置決めする (図 8 A を参照)。各垂直センサー 5 1 4 の位置を読み取り、保存する。保存されたこれらの位置が較正面を決定する。

【 0 0 2 8 】

センサーの較正が完了したら、クランプ 5 1 0 を較正プレート 8 1 0 から取り外す。クランプ 5 1 0 を取り外すと、ピンのチップは較正面の先まで延びている。

【 0 0 2 9 】

次にクランプ 5 1 0 を加工対象物 8 2 0 の表面 (S) の上に配置する。ブロック 7 2 0 では、クランプ 5 1 0 は、垂直センサー 5 1 4 の延びたピンが表面 (S) に接触するように配置される (図 8 B を参照)。ブロック 7 3 0 では、較正面から各チップまでの距離を決定するため、垂直センサー 5 1 4 の値を読み取る。図 4 B は、垂直センサー N 1 及び N 2 に対する距離 N_1 及び N_2 を示す。

【 0 0 3 0 】

ブロック 7 4 0 では、オフセット A が $N_1 - N_2$ として決定される。同様にして

10

20

30

40

50

、オフセット B が $N_3 - N_4$ として決定される。

【0031】

ブロック750では、対向するセンサーのチップが較正面から等距離になるまで、クランプ510を操作する。すなわち、 $A = 0$ かつ $B = 0$ になるまでクランプを移動する(図8Cを参照)。 $A = 0$ かつ $B = 0$ となったとき、締め付け面(C)は加工対象物表面(S)に対して垂直であるとみなされる。

【0032】

ブロック760では、 A 及び B が $A = 0$ かつ $B = 0$ の状態にあることを確認しつつ、加工対象物表面(S)に向かってクランプ510を移動する。このようにして、締め付け面(C)は加工対象物表面(S)に向かって移動するため、締め付け面(C)は垂直な状態を維持する。力センサー512を監視し、軸受筒524が加工対象物表面(S)にいつ接触するかを決定する。

10

【0033】

クランプ510の移動は、軸受筒524が加工対象物表面(S)に接触したことを力センサー512が示したとき、停止される(図8Dを参照)。この時点では、クランプ510は表面(S)に対して垂直になっているが、締め付け力は加えられていない。

【0034】

ブロック770では、締め付け力を発生させるため、巻き線526に通電を行う。ブロック780では、締め付け力が加えられている間に製造作業を実施する。ブロック770及びブロック780では、力センサー512を連続的に読み取り、加えられている実際の締め付け力を確定し、又、製造作業中に正確な締め付け力が加えられることを保証するため、巻き線526への電流を調整する。

20

【0035】

次に図9を参照して、複合材料又は他の非金属材料でできた加工対象物910での製造作業中のクランプ510を説明する。クランプ510は較正が行われた後、加工対象物910の片側に配置され、又、鋼板などの金属製裏当て板920は、加工対象物910の反対側に配置される。クランプ510の巻き線に通電が行われると、加工対象物910はクランプ510と金属製裏当て板920の間に固定される。軸受筒は、穿孔される位置の周囲に高い締め付け力を与える。

【0036】

30

製造作業には、クランプ510の軸路へのドリルの挿入、及び加工対象物910での穿孔が含まれることがある。孔の穿孔時には、切削屑を取り除くため排出ポートで吸い取りが行われる。孔が穿孔されると、ドリルが取り除かれ、軸路522及び穿孔した孔の中に締め具が挿入される。締め付け力を開放し、裏当て板920を取り除き、締め具にナットを取り付ける。

【0037】

図9の製造作業は、航空機の組み立て中に使用することができる。例えば、この製造作業は、主翼ボックスのパネルへのスパーの固定に使用することができる。クランプ510は、パネルの片側での穿孔、皿取り加工及び締め具挿入作業の実施に使用される。パネルの反対側にある主翼ボックスの内側で作業員又はシステムが、挿入した締め具の上にスリーブとナットを配置する。米国特許出願公開第2009/0287352号は、アクセスポートを通じてのみアクセス可能な限られた空間内で、締め具の上にスリーブ又はナットを配置することが可能なロボットシステムについて記載している。

40

また、本願は以下に記載する態様を含む。

(態様1)

ロボットシステムであって、

電磁クランプを含むエンドエフェクタと、

前記クランプによって加工対象物表面に加えられる力を測定するための前記エンドエフェクタに取り付けられた力センサーと、

前記力センサーが前記表面に接触する前に、前記クランプが前記表面に対して垂直であ

50

ることを判定するため、前記力センサーの周囲に配置された複数の垂直センサーと
を備えたロボットシステム。

(態様 2)

前記垂直センサーが、前記クランプの第 1 及び第 2 回転軸についての方向を測定するた
めの少なくとも 3 個のセンサーを含む、態様 1 に記載のシステム。

(態様 3)

前記エンドエフェクタを移動するためのロボットマニピュレータと、
前記垂直センサーの出力に応答して、前記力センサーが前記加工対象物表面に接触可能
になることなく、前記クランプが前記加工対象物表面に対して垂直になるまで、前記エン
ドエフェクタを移動させるように、前記ロボットマニピュレータに指令を出すための制御
装置と
をさらに備えた、態様 1 又は 2 に記載のシステム。

(態様 4)

前記制御装置が、前記力センサーの出力に応答して締め付け力を発生させるように、前
記クランプに指令を出す、態様 3 に記載のシステム。

(態様 5)

前記垂直センサーの位置を較正するための較正プレートと、
前記力センサーが載る高い部位、及び前記垂直センサーの前記チップに対する較正面を
定義する低い部位を有する較正プレートと
をさらに備えた、態様 3 又は 4 に記載のシステム。

(態様 6)

前記制御装置が、前記垂直センサーに対する較正面を決定し、
前記クランプを加工対象物表面上に移動させ、前記較正面からピンまでの距離を決定し
、且つ
対向する垂直センサーの前記距離が等しくなるように前記クランプの方向を合わせる、
態様 3 又は 4 に記載のシステム。

(態様 7)

前記力センサーが前記クランプの表面に配置されており、且つ
各垂直センサーが、ピン及び前記ピンの位置を決定するためのリニア変位センサーを含
み、
前記締め付け面を越えて前記チップが延びるように各ピンが可動になっている、態様 1
～ 6 のいずれか一項に記載のシステム。

(態様 8)

前記力センサー及び前記垂直センサーが前記クランプと一体化されている、態様 1 ～ 7
のいずれか一項に記載のシステム。

(態様 9)

電磁クランプであって、
磁心と、
前記磁心の周囲に巻かれた巻き線と、
締め付け面の位置にある力センサーと、
前記力センサーの周囲に配置された複数のリニア変位センサーであって、これによって
前記力センサーが前記表面に接触することなく、加工対象物表面に対する前記クランプの
垂直性を判定することができる、前記締め付け面から前記力センサーよりも遠くへ延びる
チップを有するリニア変位センサーと
からなる、電磁クランプ。

(態様 10)

4 個のリニア変位センサーが前記力センサーの周囲に配置された、態様 9 に記載のクラ
ンプ。

(態様 11)

各リニア変位センサーが、前記磁心に埋め込まれた線形可変差動変圧器 (L V D T) 及

10

20

30

40

50

び前記 L V D T から延びるピンを含む、態様 9 又は 1 0 に記載のクランプ。

(態様 1 2)

前記力センサーを前記磁心に固定するための軸受筒をさらに備え、前記軸受筒が前記締め付け面を提供する、態様 9、1 0、又は 1 1 のいずれか一項に記載のクランプ。

(態様 1 3)

態様 9 ~ 1 2 のいずれか一項に記載のクランプの使用方法であって、
 前記リニア変位センサーのための較正面の決定と、
 前記加工対象物表面に接触するすべての垂直センサーの前記チップを用いた、加工対象物上での前記クランプの位置決めと、
 前記較正面から各チップまでの距離の決定と、
 対向するセンサーの距離が等しくなるまでのクランプの再方向設定と、
 距離を維持しつつ前記締め付け面が前記加工対象物表面に接触するまでの、前記加工対象物表面方向への前記クランプの移動と、
 前記締め付け力の適用と
 からなる、クランプの使用方法。

10

(態様 1 4)

前記加工対象物上での製造作業の実施をさらに備えた、態様 1 3 に記載のクランプの使用方法であって、
 前記磁心の軸開口部へのドリルの挿入と、
 前記力センサーの読み取り中に、前記加工対象物に孔を穿孔するための前記ドリルの使用、及び穿孔中に正確な締め付け力が加えられることを保証するための前記巻き線の制御と
 を含む、方法。

20

(態様 1 5)

加工対象物上で製造作業を実施するためのクランプの使用と、
 前記加工対象物表面に対する前記クランプの締め付け力を測定するための力センサーを含む前期クランプと、からなる方法であって、
 前記クランプの使用が、
 前記加工対象物に隣接する前記クランプの締め付け面の位置決めと、
 前記締め付け面が前記加工対象物表面に接触する前の、前記加工対象物表面に対する前記締め付け面の垂直性の決定と、
 前記締め付け面の垂直性を保ちつつ行う、前期加工対象物表面の方向への前記締め付け面の移動と、
 前記加工対象物表面に対する前記クランプの固定と
 を含む、方法。

30

(態様 1 6)

前記製造作業が穿孔作業を含む、態様 1 5 に記載の方法。

(態様 1 7)

前記加工対象物が複合航空機パネルを含み、前記方法がさらに複合パネル後方への金属製裏当てパネルの配置からなる、態様 1 5 又は 1 6 に記載の方法。

40

【符号の説明】

【 0 0 3 8 】

- 1 0 0 ロボットシステム
- 1 1 0 エンドエフェクタ
- 1 1 2 本体
- 1 1 4 クランプ
- 1 1 6 力センサー
- 1 1 8 垂直センサー
- 1 2 0 ロボットマニピュレータ
- 1 2 2 制御装置

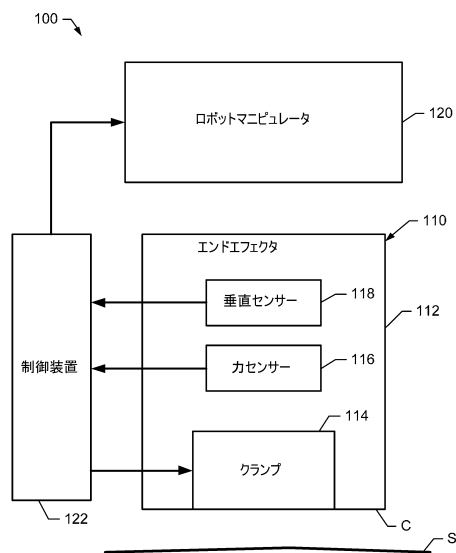
50

4 1 0	垂直センサー
4 1 2	リニア変位センサー
4 1 4	ピン
4 1 6	チップ
5 1 0	電磁クランプ
5 1 2	力センサー
5 1 4	垂直センサー
5 1 6	磁心
5 1 8	ハブ
5 2 0	プレート
5 2 2	軸路
5 2 4	軸受筒
5 2 6	巻き線
5 2 8	シェル
5 3 0	切削屑排出ポート
8 1 0	校正プレート
8 1 2	高い部位
8 1 4	低い部位
8 2 0	加工対象物
9 1 0	加工対象物
9 2 0	金属製裏当て板

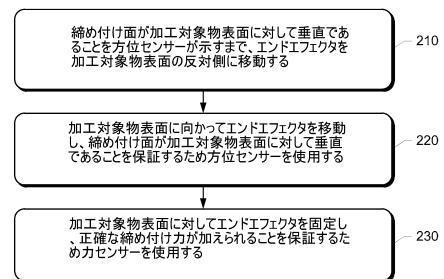
10

20

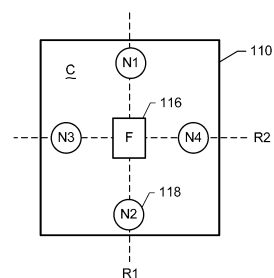
【図 1】



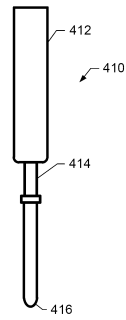
【図 2】



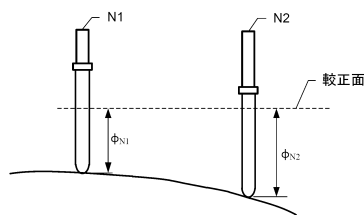
【図 3】



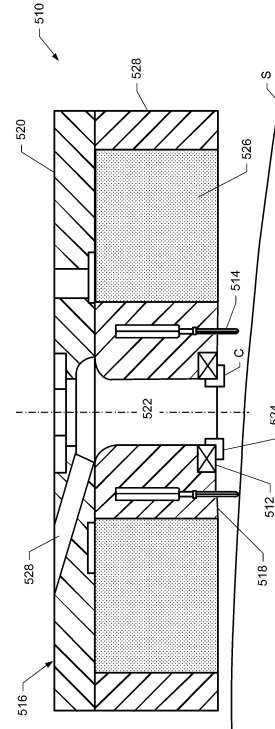
【図 4 A】



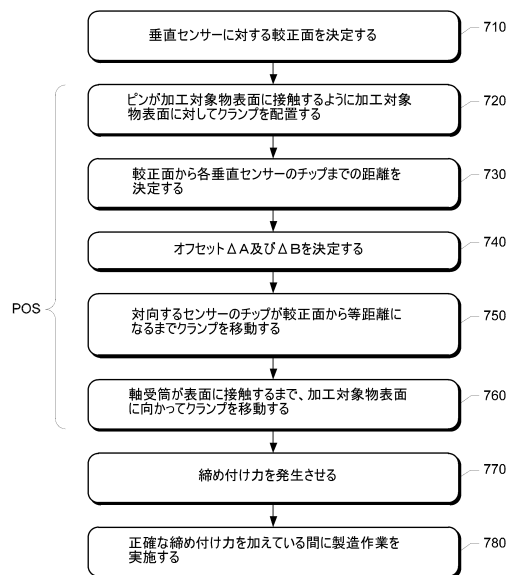
【図 4 B】



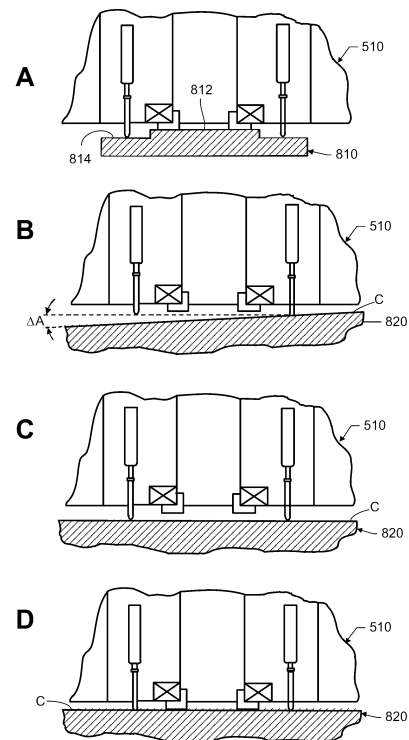
【図 6】



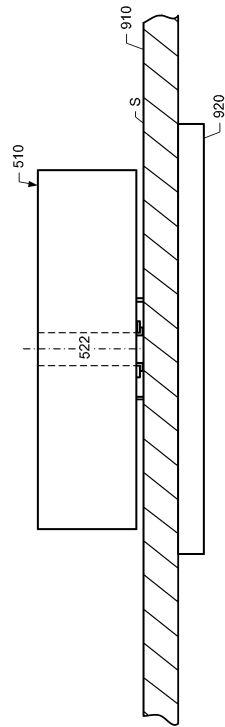
【図 7】



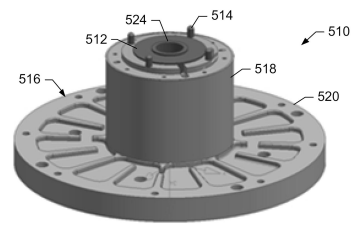
【図 8】



【図 9】



【図 5】



フロントページの続き

- (72)発明者 ガンボア, ジェームズ ディー .
アメリカ合衆国 カリフォルニア 92804, アナハイム, サウス ソンギッシュ ストリート 1636
- (72)発明者 エリクソン, クリス ジェイ .
アメリカ合衆国 カリフォルニア, ガーデン グローブ, マック アルパイン ロード 8921

審査官 木原 裕二

- (56)参考文献 特開平06-305608(JP,A)
特開平01-257579(JP,A)
特開2009-066713(JP,A)
特開2000-062980(JP,A)
特開平08-217276(JP,A)
特開平05-057541(JP,A)
国際公開第2010/010214(WO,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B25J 1/00 - 21/02