

(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2019-48369

(P2019-48369A)

(43) 公開日 平成31年3月28日(2019.3.28)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 2 5 J 17/02 (2006.01)	B 2 5 J 17/02	H 3 C 7 0 7
B 6 4 F 5/60 (2017.01)	B 6 4 F 5/60	

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L 外国語出願 (全 42 頁)

- (21) 出願番号 特願2018-111013 (P2018-111013)
- (22) 出願日 平成30年6月11日 (2018.6.11)
- (31) 優先権主張番号 15/623, 304
- (32) 優先日 平成29年6月14日 (2017.6.14)
- (33) 優先権主張国 米国 (US)
- (31) 優先権主張番号 15/878, 642
- (32) 優先日 平成30年1月24日 (2018.1.24)
- (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 ジョージソン, ゲアリー イー.
アメリカ合衆国 イリノイ 60606-2016, シカゴ, ノース リバーサイド プラザ 100, メール コード 2ティー-42, ザ ボーイング カンパニー

最終頁に続く

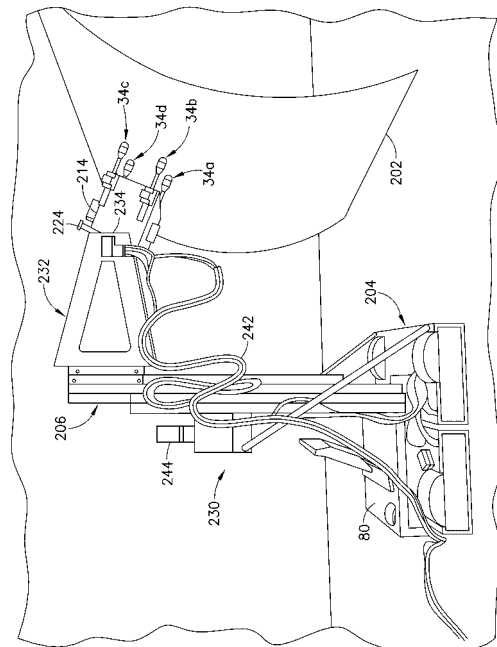
(54) 【発明の名称】 自動装置の伸長リーチアームのツール保持端部の安定化

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】自動化された、伸長リーチの、ツールを装備したアセンブリのアームの遠位端(およびそれに取り付けられたエンドエフェクタ)を安定させるために使用することができる装置および方法を提供する。

【解決手段】安定化は、それぞれが静止部および可動部を備える3つ以上のスタビライザ34a~34dによって提供される。各静止部は、エンドエフェクタ224に対して固定されたロケーションを有する。各可動部は、それぞれの静止部に並進可能に結合され、可動部の遠位端に配置されたコンタクトを備える。スタビライザが作動されると、コンタクトは、ワークピースの表面に向かって並進移動して接触し、次いで、アームの遠位端およびエンドエフェクタを安定させるために、所定の位置にロックされる。ツールの動作中、スタビライザは、エンドエフェクタ(およびそれに固定的に結合されたすべての構造)の振動を低減する。

【選択図】 図18



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

遠位端を有するアームと、
 前記アームの遠位端に結合されたエンドエフェクタ(212)と、
 前記エンドエフェクタ(212)に結合された第1のツール(214)と、
 静止部(52)と可動部(56)を備えるスタビライザ(50)であって、前記静止部(52)が、前記エンドエフェクタ(212)に対して固定されたロケーションを有し、前記可動部(56)が、前記静止部(52)に並進可能に結合され、かつ前記可動部(56)の遠位端に配置されたコンタクタ(88)を備える、スタビライザ(50)とを備える自動装置。

10

【請求項 2】

前記スタビライザ(50)が、バネを備える、請求項1に記載の自動装置。

【請求項 3】

前記静止部(52)が、外側チューブ(82)を備え、前記可動部(56)が、前記外側チューブの内部にスライド可能に配置された内側シャフト(86)をさらに備え、前記コンタクタが、前記内側シャフトの遠位端に取り付けられており、前記バネが、前記コンタクタ(88)が前記エンドエフェクタ(212)からさらに遠ざかる方向に、前記内側シャフトを並進移動させる、請求項2に記載の自動装置。

【請求項 4】

前記静止部(52)が、ベースシリンダ(158)を備え、前記可動部が、前記ベースシリンダ(158)の内部でスライド可能なピストン(156)と、前記ピストン(156)に接続されたピストンロッド(157)とをさらに備え、前記コンタクタ(88)が、前記ピストンロッド(157)の遠位端に取り付けられている、請求項1から3のいずれか一項に記載の自動装置。

20

【請求項 5】

前記静止部(52)が、前記ベースシリンダ(158)に取り付けられ、前記ピストンロッド(157)をロックして、動かないようにするように構成されたロッドロック(160)をさらに備える、請求項4に記載の自動装置。

【請求項 6】

前記第1のツールに可動的に結合された第2のツールをさらに備え、前記第1のツールが、前記エンドエフェクタに固定的に結合され、前記スタビライザ(50)の前記静止部(52)が、前記第1のツールに固定的に結合されている、請求項1から5のいずれか一項に記載の自動装置。

30

【請求項 7】

メンテナンス作業を実行するための方法であって、
 (a) ロボット式可動プラットフォームを、アームの遠位端のツール(214)が目標物の表面上の第1の関心領域に届くことができる第1のロケーションに移動させることと、

(b) エンドエフェクタ(212)が前記第1の関心領域に対して適切なロケーションにあるように、前記ロボット式可動プラットフォームを構成することと、

40

(c) 前記アームに結合されている複数のスタビライザのコンタクタ(88)を、前記目標物の前記表面と接触するように伸長させることと、

(d) 前記スタビライザの前記コンタクタ(88)を所定の位置にロックして、前記エンドエフェクタ(212)を前記第1の関心領域に対して前記適切なロケーションに維持することと、

(e) 前記エンドエフェクタ(212)が前記第1の関心領域に対して前記適切なロケーションに維持されている間に、前記ツール(214)を使用して第1のメンテナンス作業を実行することとを含む方法。

【請求項 8】

50

(f) 前記メンテナンス作業の完了時に、前記スタビライザの前記コンタクタ (8 8) をロック解除することと、

(g) 前記スタビライザの前記コンタクタ (8 8) を格納することと、

(h) 前記ロボット式可動プラットフォームを、前記ツール (2 1 4) が前記目標物の前記表面上の第 2 の関心領域に届くことができる第 2 のロケーションに移動させることと、

(i) 前記エンドエフェクタ (2 1 2) が前記第 2 の関心領域に対して適切なロケーションにあるように、前記ロボット式可動プラットフォームを構成することと、

(j) 複数のスタビライザのコンタクタ (8 8) を、前記目標物の前記表面と接触するように伸長させることと、

(k) 前記スタビライザの前記コンタクタ (8 8) を所定の位置にロックして、前記エンドエフェクタ (2 1 2) を前記第 2 の関心領域に対して前記適切なロケーションに維持することと、

(l) 前記エンドエフェクタ (2 1 2) が前記第 2 の関心領域に対して前記適切なロケーションに維持されている間に、前記ツール (2 1 4) を使用して第 2 のメンテナンス作業を実行することと

をさらに含む、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

メンテナンス作業を実行するための方法であって、

(a) 自動装置のアームの遠位端に結合されているエンドエフェクタ (2 1 2) に、ツール (2 1 4) を結合することと、

(b) 前記自動装置を作動させて、目標物の表面上の関心領域に対してあるロケーションに前記ツール (2 1 4) を配置するアラインメント作業を実行することと、

(c) 前記ツール (2 1 4) が前記ロケーションにある間に、前記アームの前記遠位端に結合された複数のスタビライザのコンタクタ (8 8) を、前記目標物の前記表面と接触するように伸長させることと、

(d) 前記ツール (2 1 4) を作動させて、前記コンタクタ (8 8) が前記目標物の前記表面と接触している間にメンテナンス作業を実行することと

を含む方法。

【請求項 10】

車輪を備えるベースプラットフォーム (2 0 4) と、

前記ベースプラットフォーム (2 0 4) に可動的に結合され、かつ遠位端を有するアームと、

前記アームの前記遠位端に旋回可能に結合されたエンドエフェクタ (2 1 2) と、

前記エンドエフェクタ (2 1 2) に結合されたツール (2 1 4) と、

前記ツール (2 1 4) または前記エンドエフェクタ (2 1 2) に結合され、ロッド (1 5 7) と、前記ロッド (1 5 7) の遠位端に配置されたコンタクタ (8 8) とを備えるスタビライザ (5 0) であって、前記ロッド (1 5 7) が、選択的に伸長可能または格納可能であり、前記コンタクタ (8 8) が、エラストマー材料で作られている、スタビライザ (5 0) と

を備える自動装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、自動装置のアームの端部に取り付けられたツールを使用する大型構造物 (航空機など) の製造、修理および保守のためのシステムおよび方法に関する。

【発明の概要】

【0002】

本明細書に開示された主題は、航空機などの大型構造物の次元マッピング、非破壊検査 (N D I) および / または修理を可能にする自動化された、伸長リーチの、ツールを装備

10

20

30

40

50

したアセンブリのアームの遠位端（およびそれに取り付けられたエンドエフェクタ）を安定させるために使用することができる装置および方法に関する。（本明細書では、「エンドエフェクタ」という用語は、アームを含む自動装置の最後のリンクを意味し、その末端にメンテナンスツールが取り付けられる。）エンドエフェクタは、プローブもしくはセンサ（例えば、NDIセンサユニット、レーザスキャナ、カメラなど）または他のツール（例えば、ドリル、サンダー、真空、「グラバ」、コーティングスプレーなど）を保持および配向することができる。本明細書に開示された安定化技術は、目標物に対するエンドエフェクタ（およびそこに取り付けられたツール）の振動を低減する一方、迅速に展開可能な地面上口ポット式可動プラットフォームを依然として可能にする。本明細書に開示される安定化デバイスは、ロボットアームモータの負荷を低減するために使用することもでき、これらのモータの電力使用効率および寿命を改善する。 10

【0003】

様々な実施形態によれば、安定化は、それぞれが静止部および可動部を備える3つ以上のスタビライザによって提供される。各静止部は、エンドエフェクタに対して固定されたロケーションを有する。各可動部は、それぞれの静止部に並進可能に結合され、可動部の遠位端に配置されたコンタクトを備える。スタビライザが作動されると、コンタクトは、ワークピースの表面の方に並進移動して接触し、次いで、アームの遠位端およびそれに結合されたエンドエフェクタを安定させるために、所定の位置にロックされる。ツールの動作中、スタビライザは、スタビライザの軸（相互に平行であってもよい）に実質的に平行でかつワークピース表面に向かう方向へのエンドエフェクタ（およびそれに固定的に結合されたすべての構造）の動きに抵抗する。 20

【0004】

いくつかの実施形態によれば、各スタビライザは、入れ子式チューブと、コンタクト（例えば、接触パッドまたはバンパ）をワークピースの表面に押し付けるバネとを備える。他の実施形態によれば、各スタビライザは、コンタクトをワークピースの表面に押し付ける空気圧シリンダを備える。スタビライザは、表面に対するモーションに抵抗する、スタビライザに対して実質的に垂直な力を、接触ロケーションにおいて生成する。安定化のための別のアプローチは、引力、接着または把持によってワークピースの表面に付着するデバイスを提供することである。例えば、様々な実施形態によれば、安定化デバイスは、吸引力、静電引力、剥離可能な接着剤（取り外し可能なフックを壁に取り付けるために使用されるストリップのような）、またはワークピース上の突起を物理的につかむ「グリッパ」を使用することができる。 30

【0005】

本明細書で開示される技術は、伸長リーチの自動装置のアームの遠位端で安定化を提供することによって、航空機および他の大型構造物の用途のためのモジュール式、迅速、低コストのロボット使用を可能にする。開示された技術は、過度の重量、複雑さおよびコストならびにモジュール性の欠如を含む、位置精度を維持しながら、ロボットアームを作業ロケーションに伸ばすためのいくつかの技術に伴う欠点のうちの1つ以上を克服する。

【0006】

1つのNDIアプリケーションによれば、地面を這う自動装置が、赤外線サーモグラフィスキャナや超音波トランスデューサアレイスキャナなどの交換可能なNDIデバイスを受け入れるように構成されたエンドエフェクタを有する。別のNDIアプリケーションによれば、自動装置は、超音波トランスデューサアレイスキャナが可動的に結合された赤外線サーモグラフィスキャナを受け入れるように構成されたエンドエフェクタを有する。第1のアプリケーションでは、どちらかのスキャナを、第2のアプリケーションでは、組み合わせられたスキャナを、本明細書に開示された装置を使用して安定させることができる。伸長リーチアームの遠位端を安定させる能力は、航空機の製造、修理および保守のための低コストの伸長リーチロボットの使用を可能にする。 40

【0007】

自動装置の伸長リーチアームの遠位端に結合されたエンドエフェクタを安定させるため 50

の装置および方法の様々な実施形態が、以下にいくらか詳細に説明されるが、それらの実施形態の1つ以上が、以下の態様のうちの1つ以上によって特徴付けられ得る。

【0008】

以下に詳細に開示される主題の1つの態様は、遠位端を有するアームと、アームの遠位端に結合されたエンドエフェクタと、エンドエフェクタに結合された第1のツールと、各々が静止部と可動部とを備える複数のスタビライザと、を備える自動装置であり、各静止部は、エンドエフェクタに対して固定されたロケーションを有し、各可動部は、それぞれの静止部に並進可能に結合され、可動部の遠位端に配置されたコンタクタを備える。各コンタクタは、固定パンパまたは旋回可能な接触パッドを含んでもよい。いずれの場合でも、コンタクタは、好ましくはエラストマー材料で作られている。

10

【0009】

前パラグラフに記載された自動装置の一実施形態によれば、複数のスタビライザの各スタビライザは、パネをさらに備え、複数のスタビライザの各スタビライザに対して、静止部は外側チューブを含み、可動部は、外側チューブの内部にスライド可能に配置された内側シャフトをさらに含み、コンタクタは、内側シャフトの遠位端に取り付けられ、パネは、コンタクタがエンドエフェクタからさらに遠ざかる方向に、内側シャフトを並進移動させる。

【0010】

別の実施形態によれば、複数のスタビライザの各スタビライザに対して、静止部はベースシリンダを含み、可動部は、ベースシリンダの内部でスライド可能なピストンと、ピストンに接続されたピストンロッドとをさらに含み、コンタクタはピストンロッドの遠位端に取り付けられ、静止部は、ベースシリンダに取り付けられ、ピストンロッドをロックして、動かないようにするように構成されたロッドロックをさらに含む。

20

【0011】

以下に詳細に開示される主題の別の態様は、メンテナンス作業を実行するための方法であって、(a)ロボット式可動プラットフォームを、アームの遠位端のツールが目標物の表面上の第1の関心領域に届くことができる第1のロケーションに移動させることと、(b)エンドエフェクタが第1の関心領域に対して適切なロケーションにあるように、ロボット式可動プラットフォームを構成することと、(c)アームに結合されている複数のスタビライザのコンタクタを、目標物の表面と接触するように伸長させることと、(d)スタビライザのコンタクタを所定の位置にロックして、エンドエフェクタを第1の関心領域に対して適切なロケーションに維持することと、(e)エンドエフェクタが第1の関心領域に対して適切なロケーションに維持されている間に、ツールを使用して第1のメンテナンス作業を実行することと、を含む方法である。本方法は、さらに、(f)メンテナンス作業の完了時に、スタビライザのコンタクタをロック解除することと、(g)スタビライザのコンタクタを格納することと、(h)ロボット式可動プラットフォームを、ツールが目標物の表面上の第2の関心領域に届くことができる第2のロケーションに移動させることと、(i)エンドエフェクタが第2の関心領域に対して適切なロケーションにあるように、ロボット式可動プラットフォームを構成することと、(j)複数のスタビライザのコンタクタを、目標物の表面と接触するように伸長させることと、(k)スタビライザのコンタクタを所定の位置にロックして、エンドエフェクタを第2の関心領域に対して適切なロケーションに維持することと、(l)エンドエフェクタが第2の関心領域に対して適切なロケーションに維持されている間に、ツールを使用して第2のメンテナンス作業を実行することと、を含んでもよい。

30

40

【0012】

以下に詳細に開示される主題の別の態様は、メンテナンス作業を実行するための方法であって、(a)自動装置のアームの遠位端に結合されているエンドエフェクタに、ツールを結合することと、(b)自動装置を作動させて、目標物の表面上の関心領域に対してあるロケーションにツールを配置するアラインメント作業を実行することと、(c)ツールがそのロケーションにある間、アームの遠位端に結合された複数のスタビライザのコンタ

50

クタを、目標物の表面と接触するように伸長させることと、(d) ツールを作動させて、コンタクタが目標物の表面と接触している間にメンテナンス作業を実行することと、を含む方法である。この方法は、ツールを作動させる前に、スタビライザのコンタクタが目標物の表面と接触している間に、スタビライザのコンタクタを所定の位置にロックすることを、さらに含む。

【0013】

さらに別の態様は、車輪を備えるベースプラットフォームと、ベースプラットフォームに可動的に結合され、遠位端を有するアームと、アームの遠位端に結合されたエンドエフェクタと、エンドエフェクタに結合されたツールと、ツールまたはエンドエフェクタに結合された複数のスタビライザであって、各スタビライザは、ロッドと、ロッドの遠位端に配置されたコンタクタとを備え、ロッドは選択的に伸長可能または格納可能であり、コンタクタはエラストマー材料で作られている、複数のスタビライザと、を備える自動装置である。いくつかの実施形態によれば、各スタビライザは、ロッドを伸長または格納させるように動作可能な空気圧シリンダと、空気圧シリンダに取り付けられ、ロッドをロックして、動かないようにするように構成されたロッドロックとを備える。

10

【0014】

伸長リーチの自動装置のアームの遠位端に結合されたエンドエフェクタを安定させるためのシステムと方法の他の様態が、以下に開示される。

【0015】

前のセクションで論じた特徴、機能および利点は、様々な実施形態において独立に達成することができ、またはさらに他の実施形態において組み合わせることもできる。以下、上記および他の態様を説明する目的で、図面を参照して様々な実施形態を以下に説明する。このセクションで簡単に説明した図は、どれも縮尺通りに描かれていない。

20

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】胴体部のサーモグラフィ撮像のためのシステムのいくつかの構成要素を示すブロック図である。

【図2】一実施形態による地面上型のロボット式NDI可動プラットフォームの側面図を表す図である。

【図3】別の実施形態による地面上型のロボット式NDI可動プラットフォームの側面図を表す図である。

30

【図4】図3に示されるロボット式NDI可動プラットフォームのいくつかの構成要素の分解図を表す図である。

【図5】複合材料で作られた湾曲したワークピースをスキャンするプロセスにおける地面上型のロボット式NDI可動プラットフォームの斜視図を表す図である。(ロボットエンドエフェクタに取り付けられたレーザ距離計は、図5には示されていないが、図6に示されている。)

【図6】図5に示されるロボット式NDI可動プラットフォームの一部分の側面図を表す図であり、この部分は、エンドエフェクタと、エンドエフェクタに取り付けられた3つのレーザ距離計とを含む。

40

【図7】図5に示すロボット式NDI可動プラットフォームのエンドエフェクタに取り付けられた赤外線サーモグラフィスキャナの斜視図を示す図である。

【図8】図7に示す赤外線サーモグラフィスキャナの正面図を示す図である。

【図9】いくつかの実施形態によるアラインメントシステムのいくつかの構成要素を示すブロック図である。

【図10】大型のワークピースの赤外線サーモグラフィ検査のためのスキャンパターン(3×2)を表す図である。

【図11】一実施形態による、エンドエフェクタアラインメントプロセスを使用する非破壊検査方法のいくつかのステップを示すフローチャートである。

【図11A】図11に高いレベルで示された方法で使用されるアラインメントプロセス有

50

限状態機械によって実行されるいくつかのステップを示すフローチャートを（図 1 1 B と一緒に）形成する。

【図 1 1 B】図 1 1 に高いレベルで示された方法で使用されるアラインメントプロセス有限状態機械によって実行されるいくつかのステップを示すフローチャートを（図 1 1 A と一緒に）形成する。

【図 1 2】局所測位システム（L P S）を用いたスキャン領域境界の測定を表す図である。

【図 1 3】L P Sを用いたロボットシステムの初期ロケーションアラインメントを表す図である。

【図 1 4】一実施形態による、ロボット対部品の位置特定プロセスを実行する L P S の斜視図を表す図である。

【図 1 5 A】共通の平面に三角形のパターンで配置され、目標物の表面上のそれぞれのスポットに向けられた 3 つのレーザ距離計の、正面図を示す図であり、レーザ距離計とスポットは、それぞれの距離だけ離れている。

【図 1 5 B】共通の平面に三角形のパターンで配置され、目標物の表面上のそれぞれのスポットに向けられた 3 つのレーザ距離計の、側面図を示す図であり、レーザ距離計とスポットは、それぞれの距離だけ離れている。

【図 1 5 C】共通の平面に三角形のパターンで配置され、目標物の表面上のそれぞれのスポットに向けられた 3 つのレーザ距離計の、上面図を示す図であり、レーザ距離計とスポットは、それぞれの距離だけ離れている。

【図 1 6】4 つのメカナムホイールを有するホロノミックモーションベースプラットフォームの上面図を表す図であり、様々な寸法が両矢印によって示されている。

【図 1 7】いくつかの実施形態による、大型複合構造体の赤外線サーモグラフィ検査のためのシステムのいくつかの構成要素を示すブロック図である。

【図 1 8】一実施形態による、空気圧で安定化されたスキャナを使用して湾曲したワークピースをスキャンするプロセスにおける地面上型のロボット式 N D I 可動プラットフォームの斜視図を示す図である。

【図 1 9】メンテナンスツールと複数のスタビライザとを備えたロボット式可動プラットフォームを使用してメンテナンス作業を実行する方法のステップを示すフローチャートである。

【図 2 0】代替的实施形態による、エンドエフェクタに取り付けられた安定化されたハイブリッドツールアセンブリを示す図である。

【図 2 0 A】図 2 0 に示される破線の矩形 2 0 A 内のハイブリッドツールアセンブリの部分の拡大図を表す図である。

【図 2 0 B】図 2 0 に示される破線の矩形 2 0 B 内のハイブリッドツールアセンブリの部分の拡大図を表す図である。

【図 2 1】図 2 0 に示すハイブリッドツールアセンブリの正面図を示す図である。

【図 2 2】図 2 0 に示すハイブリッドツールアセンブリの側面図を示す図である。

【図 2 3】ロッドロック機構を有する空気圧シリンダを使用して伸長リーチアームの遠位端を安定させるためのシステムのいくつかの構成要素を示す図である。

【図 2 4】一実施形態による、自動装置のアームの遠位端に超音波トランスデューサアレイおよびスタビライザを結合するために使用される機械的カップリングを示すブロック図である。

【図 2 5】図 2 0 に示すタイプの N D I センサユニットの相対ロケーション（例えば、局所測位システムを使用して取得された初期ロケーションに対して）を追跡するためにロータリエンコーダを使用する制御システムの構成要素を示すブロック図である。

【図 2 6】エンドエフェクタに固定的に結合されたスタビライザのいくつかの構成要素を示すブロック図であり、スタビライザは、入れ子式チューブと、バネと、コンタクトとを備える。

【図 2 7】別の実施形態による、空気圧で安定化されたアームの遠位端を有する地面上型

10

20

30

40

50

のロボット式NDI可動プラットフォームの側面図を表す図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下では、図面が参照されるが、異なる図面における類似の要素には同じ参照番号が付されている。

【0018】

航空機を含む多くの大型構造物は、一般的に、様々な構成要素の検査および/または修理を含む定期的な保守を受ける。大型構造物の製造、修理、および保守において、自動化された、ツールを装備した装置（例えば、ロボット式可動プラットフォーム）を使用することが知られている。典型的には、ツールは、エンドエフェクタに結合され、エンドエ

10

【0019】

エンドエフェクタとアームの近位端との間の距離が、指定された閾値を超える場合、アームの遠位端における位置および向きへの制御の喪失のために、自動化されたメンテナンス作業の有効性は、減少する可能性がある。より具体的には、複合航空機構造の自動化された製造、修理、検査のために開発されているロボットは、現在の多軸ペDESTAL据え付けロボットを超えてリーチを伸ばさなければならない。同時に、精密な活動（スカーフ修理箇所の作成や非破壊検査中のスキャンなど）では、位置的に安定した遠位作業端が必要である。

20

【0020】

自動装置のアームを安定させるための少なくともいくつかの現在の解決法は、重量、サイズ、および費用を設計に追加し、装置の有用性、可搬性および適用性を制限する。他の既知の解決法は、真空トラックスキャンシステム（例えば、真空付着デバイスを使用してワークピースの表面に付着されたトラックに沿って移動するブリッジにスキャナが取り付けられているスキャンシステム）または表面に上がるもしくは付着するクロールロボット（例えば、複数の独立して制御される吸引デバイスを有するロボットクローラ）を使用することである。これらは、エンドエフェクタの安定性を提供するが、安全性、人間工学的な潜在的損傷およびセットアップ時間の欠点を有し得る直接取り付け/取り外し作業が必要である。

30

【0021】

以下に詳細に開示される安定化デバイスは、関節式アームまたは非関節式アームの遠位端に取り付けられたエンドエフェクタを有する任意のロボット装置に取り付けられてもよい。以下に説明する実施例において、エンドエフェクタは、剛性の伸長アームに回転可能に結合されており、アームは関節式ではない。しかし、代替の実施形態では、伸長アームは、追加の作動される並進または回転自由度を有してもよい。どのツールが、予定されたメンテナンス作業を実施するのに最適であるかに応じて、異なるタイプの多数の交換可能なメンテナンスツールのうちのいずれか1つを、エンドエフェクタに取り付け、その後、エンドエフェクタから取り外すことができる。

40

【0022】

本明細書で使用される「ツール」という用語は、ロボット装置のアームの遠位端におけるエンドエフェクタに取り付けられ、自動化された製造、修理または保守手順を実行する過程で使用することができる任意のデバイスを意味する。各メンテナンスツールは、意図された機能を果たす要素を組み込んでいる。適切なメンテナンスツールのいくつかの例には、以下が含まれるが、これらに限定されない：（a）アクセスが限定された空間内での損傷の目視検査を可能にするためのビデオカメラおよび光源、（b）NDIセンサユニット（例えば、超音波トランスデューサのアレイ、渦電流プローブ、マイクロ波センサ、赤外線サーモグラフィユニットなど）、（c）寸法測定またはあるロケーションでの損傷のマッピングのためのレーザラインスキャナまたは三次元マッピングヘッド、（d）他のセ

50

ンサまたはセンサアレイ、(e) 修理中に材料を除去するためのミニサンダーまたはグラインダー、(f) 異物の破片または修理破片を拾うための真空、(g) 修理された領域を塗装またはコーティングするためのスプレーヘッド、(h) コーティングを塗布するためのアプリケーション、(i) スカーファァ、(j) ドリル、(k) 保守または修理のための他のツール。

【 0 0 2 3 】

説明の目的で、複合材料(例えば、繊維強化プラスチックから作られた複合積層体)から作られた胴体部の非破壊検査のためのシステムおよび方法を以下に詳細に説明する。より具体的には、まず、エンドエフェクタに取り付けられた赤外線サーモグラフィサブアセンブリを有するロボット装置について説明する。そのロボット装置は、超音波検査アセンブリを赤外線サーモグラフィデバイスのハウジングに取り付けることによって超音波検査も行うように改造することができる。さらなる実施形態によれば、超音波検査アセンブリは、赤外線サーモグラフィデバイスを有しないロボット装置のエンドエフェクタに取り付けることができる。

10

【 0 0 2 4 】

赤外線サーモグラフィ方法およびデバイスは、材料の非破壊検査を行って、欠陥、材料の特性の変動、または材料のコーティングまたは層の厚さの差異を検出することを可能にする。赤外線撮像は、材料の表面またはその下の熱拡散率または熱伝導率の局所の変動を検出することができる。赤外線サーモグラフィは、鋼鉄を含む鉄系材料などの金属、またはプラスチック、セラミック、複合材料などの非金属材料に使用することができる。

20

【 0 0 2 5 】

アクティブサーモグラフィは、表面下の欠陥についてサンプルを非破壊的に評価するために使用される。それは、サンプルの目視検査では検出できない、内部の結合の不連続性、層間剥離、空隙、含有物および他の構造的欠陥を明らかにするために有効である。一般に、アクティブサーモグラフィは、サンプルを加熱または冷却して、サンプル温度と周囲温度との間に差を作り、次いで、その温度が周囲温度に戻るときにサンプルから発する赤外線サーマルシグネチャーを観察することを含む。赤外線カメラは、サンプル表面からサンプルの内部への熱の拡散を阻止する表面下の欠陥によって引き起こされる冷却挙動の異常を検出することができるので、使用される。より詳細には、これらの欠陥は、欠陥の直上の表面を、周囲の欠陥のない領域とは異なる速度で冷却させる。サンプルが冷却している時に、赤外線カメラは、表面温度を示す画像の時間シーケンスを監視して記録し、それによって時間の経過にともなう表面温度の変化の記録を作成する。

30

【 0 0 2 6 】

典型的には、材料の表面は、フラッシュランプを用いて加熱され、一定時間後、加熱された材料の表面の熱画像が取得される。サーモグラフィ加熱用のシステムは、典型的には、サンプル励起のためにキセノンフラッシュチューブおよび既製の写真用電源を使用する。赤外線カメラは、材料の表面の温度を表す材料の表面からの赤外線スペクトル放射輝度を撮像する。材料の表面の温度の差は、材料の異なる熱特性を示す。材料の熱特性におけるこれらの変動は、材料欠陥の可能性または異物の含有を示す。

【 0 0 2 7 】

赤外線シグネチャー処理に必要な構造的な厚さと積み重ね配置は、胴体部の表面上の赤外線カメラの視野の正確なロケーションを知ることによって得られる。

40

【 0 0 2 8 】

図 1 は、胴体部 2 のサーモグラフィ撮像のためのシステムのいくつかの構成要素を示すブロック図である。この赤外線サーモグラフィ検査システムは、検査されている表面に隣接して囲いを形成するように設計されたフード 1 2 内のカメラレンズ開口部 5 を通る方向に向けられたレンズを有するデジタル赤外線カメラ 4 を備える。1 対のフラッシュランプ 6 a、6 b が、フード 1 2 の内部に、フード 1 2 に対する固定された空間関係で配置されている。フラッシュランプ 6 a、6 b は、赤外線カメラ 4 の動作も制御する赤外線サーモグラフィ処理制御コンピュータ(以下、「赤外線サーモグラフィコンピュータ 8」という

50

)からのトリガ信号に応答して、フラッシュ光を発する。本明細書で開示される実施形態の少なくともいくつかにおける使用に適したタイプの赤外線カメラ4の一例は、分光放射計として機能するように構成された焦点面アレイ(FPA)デバイスを含む。赤外線カメラ、1対のフラッシュランプおよびフードを備えるタイプのフラッシュランプアセンブリに含まれる他の構成要素に関するさらなる詳細は、例えば、米国特許第7,186,981号に見出すことができる。

【0029】

サーモグラフィ検査の1つの方法によれば、最初に、フラッシュランプ6aおよび6bがトリガされて、胴体部2の複合材料に熱を伝達する。好ましくは、複合材料の冷却中、赤外線カメラ4は、胴体部2の加熱された部分の変化するスペクトル放射輝度の連続的なデジタル画像を取得するために、周期的にトリガされる。好ましくは、検査されている複合材料の熱的に励起された(加熱された)領域は、サンプルがその周囲と熱平衡に達するまで、励起源が除去された後に単調に冷却する。赤外線カメラ4によって取得されたデジタル赤外線画像データは、赤外線サーモグラフィコンピュータ8で受信されて処理される。赤外線サーモグラフィコンピュータ8は、赤外線画像データを処理して、材料の縁部、材料の表面下の異物、または層間剥離および許容範囲外の気孔率などの他の材料異常を検出および位置特定するようにプログラムされる。赤外線画像データは、赤外線サーモグラフィコンピュータ8と一体化されていてもよいし、別であってもよいディスプレイモニタ(図1には図示せず)上に表示されてもよい。

10

【0030】

図1に示す実施形態によれば、赤外線サーモグラフィコンピュータ8は、赤外線カメラ4からの赤外線画像データを、赤外線サーモグラフィコンピュータ8が分析および数学的に操作できるフォーマットに変換するデジタル画像取得性能を有することができる。任意選択のデータ取得モジュール10が、赤外線サーモグラフィコンピュータ8に組み込まれてもよいし、別であってもよい(図1に示されるように)。データ取得モジュール10は、複合構造体の表面の完全な画像が単一の画像フレームに収まるには大き過ぎるときに、複合構造体の表面の完全なモザイク画像を生成するために、赤外線カメラ4が、複数の空間的に異なる画像を取得する場合に、使用することができる。赤外線サーモグラフィコンピュータ8は、赤外線カメラ4によって取得された赤外線画像データを分析するように、さらにプログラムされてもよい。詳細には、胴体部2が室温に戻るときの胴体部2の表面温度応答の時間履歴を分析して、複合材料内の欠陥の存在を検出することができる。

20

30

【0031】

胴体部を検査する特定の用途に関連して、非破壊検査システムは、胴体部の外部の見晴らしの利く位置から胴体部のスキンをスキャンするための手段を含むことができる。以下に開示される実施形態において、外部スキャン手段は、赤外線カメラを備えたロボットを含む。ロボットは、可動ロボットベースと、ロボットベースに結合された近位端を有するロボットアームとを備える。ロボットベースは、可動ホロノミックローラ車両であってもよい。赤外線サーモグラフィスキャナが、ロボットアームの遠位端に結合される。赤外線サーモグラフィスキャナは、赤外線カメラと、フード内に取り付けられた2つ以上のフラッシュランプとを含む。フードは、胴体部の外面上の矩形領域を覆うようなサイズにすることができる。隣接する矩形領域から取得された赤外線画像データは、局所測位システムを用いたロボットベースのそれぞれのロケーションの測定値に基づいてスティッチングすることができる。スティッチングプロセスは、リアルタイムに実行されてもよいし、後で実行されてもよい。

40

【0032】

本明細書に開示されるロケーションアラインメントフィードバックのコンセプトを使用するように構成されたNDIシステムの様々な実施形態を、ここで、いくらか詳細に説明する。いくつかの実施形態によれば、NDIシステムは、飛行機のいずれの側からも胴体の上部および下部の中心線に届くことができるエンドエフェクタを備えた自動化されたプラットフォームである。このNDIシステムは、メカナムホイールホロノミックモーショ

50

ンベースプラットフォームと、ベースプラットフォームによって運ばれる垂直な伸長マストと、旋回エンドエフェクタと、近接センサと、エンドエフェクタに取り付けられた複数のタイプのNDIデバイスの支持体とを備える。伸長アームに旋回エンドエフェクタを備えた垂直な支持マストは、飛行機胴体部の全高の検査を可能にする。ホロミックモーションベースプラットフォームにより、ロボットは、胴体の長さに沿ってNDIスキャナユニットを迅速かつ効率的に再配置することができる。距離センサのフィードバックを伴うモーション制御ソフトウェアにより、グリッドパターンスキャンをオーバーラップさせる自動取得が可能になる。NDIスキャンを適切な飛行機座標系とアラインメントさせるために、基準位置データも取得される。このシステムは、自動または手動の制御モードのいずれにおいても、セットアップおよび使用するのが比較的容易である。渦電流、超音波、赤外線サーモグラフィ（IRT）NDIセンサを含む、エンドエフェクタに取り付けられた様々なタイプのNDIユニットを受け入れるように、このシステムは構成できる。

10

20

30

40

50

【0033】

図2は、一実施形態による地面上型のロボット式NDI可動プラットフォーム200の側面図を表す図である。このプラットフォームは、ホロミックモーションベースプラットフォーム204、赤外線サーモグラフィ（IRT）スキャナ214、およびロボットコントローラ（図示せず）の制御下にある（ホロミックモーションベースプラットフォーム204によって運ばれる）自動スキャナ支持装置を備える。自動スキャナ支持装置は、IRTスキャナ214の高さを変更するために必要に応じて伸長および格納させることができる垂直な伸長可能マスト206を含む。垂直な伸長可能マスト206は、直線軸とホロミックモーションベースプラットフォーム204に固定的に結合された1つの端部とを有する第1のマスト部206aと、直線軸を有し、第1のマスト部206aの軸に平行な線に沿ってスライドするように、第1のマスト部206aにスライド可能に結合された第2のマスト部206bと、直線軸を有し、第2のマスト部206bの軸に平行な線に沿ってスライドするように、第2のマスト部206bにスライド可能に結合された第3のマスト部206cとを備えている。1つの実施態様によれば、マストの垂直伸長部は、単一のモータとケーブルプーリーシステムによって制御される。

【0034】

図2に示す地面上型のロボット式NDI可動プラットフォーム200は、4バー連結機構の遠位端に旋回可能に結合されたエンドエフェクタ212の位置および向きを制御するための4バー連結アーム機構208を、さらに備える。4バー連結機構208のドライバリンクは、モータ駆動のリードスクリューまたは油圧シリンダ210によって第3のマスト部206cに対して回転するように駆動される。IRTスキャナ214は、エンドエフェクタ212に取り付けられ、エンドエフェクタ212と共に回転する。IRTシュラウド216は、IRTスキャナ214を取り囲み、IRTスキャナ214と湾曲したワークピース202（例えば、胴体部）との間の空間の容積を周囲環境から隔離する。

【0035】

図3は、別の実施形態による地面上型のロボット式NDI可動プラットフォーム220の側面図を表す図である。この実施形態は、垂直な伸長可能マスト206と、第3のマスト部206cに固定的に結合された剛性の伸長アーム222と、剛性の伸長アーム222の2つの側面の遠位端に旋回可能に結合されたエンドエフェクタ224とを備える。図4は、図3に示すロボット式NDI可動プラットフォーム220のいくつかの構成要素の分解図を表す図である。この実施形態は、伸長高さ、およびエンドエフェクタのピッチに対して独立したプログラム可能な制御を有する。エンドエフェクタ224のピッチ回転は、非バック駆動可能ギヤボックス（図示せず）を備えた位置制御モータ246（図4参照）によって駆動することができる。

【0036】

図5は、複合材料で作られた湾曲したワークピース202をスキャンするプロセスにおける地面上型のロボット式NDI可動プラットフォーム230のプロトタイプの斜視図を表す図である。IRTスキャナ214が、エンドエフェクタ224に取り付けられ、エン

ドエフェクタ 224 は、ロボットコントローラ 80 の制御下で、ピッチ軸の周りに旋回可能である。エンドエフェクタ 224 は、垂直な伸長可能マスト 206 の最上マスト部に固定的に結合されている剛性の伸長アーム 232 に旋回可能に結合されている。IRT スキャナ 214 は、取得したデータを電気ケーブル 242 を介して赤外線サーモグラフィコンピュータ (図 5 には図示せず) に送信する。ロボット式 NDI 可動プラットフォーム 230 はまた、システムが作動されたときにオンとオフとを切り替える警告灯 244 を備えている。

【0037】

1 つの提案された実施態様によれば、ホロノミックモーションベースプラットフォーム 204 は、一方の対角線にタイプ A の対を、他方にタイプ B の対を配置した 4 つのメカナムホイールを使用する。タイプ A のメカナムホイールは、タイプ B のメカナムホイールとは、前者のテーパローラが後者のテーパローラとは異なる角度で配向されている点で異なる。各メカナムホイールは、それぞれの独立して制御されるステップモータによって駆動され回転することができる。メカナムホイール車両は、各車輪の回転速度と回転方向を制御することによって、任意の方向に移動させ、回転させることができる。例えば、4 つの車輪をすべて同じ速度で同じ方向に回転させると、前方または後方への動きが引き起こされる。一方の側の車輪を同じ速度で回転させるが、他方の側の車輪による回転の反対方向に回転させると、車両が回転する。タイプ A の車輪を同じ速度で回転させるが、タイプ B の車輪の回転の反対方向に回転させると、横方向への動きが引き起こされる。ホロノミックモーションベースプラットフォーム 204 は、車載制御コンピュータ (すなわちロボットコントローラ) の制御下で移動する。適切なメカナムホイールホロノミックモーションベースプラットフォームの構造および機能が、米国特許第 9,410,659 号に記載されており、その開示は、参照によりその全体が本明細書に組み込まれる。

【0038】

一実施形態によれば、多数のセンサ (図 5 には図示せず) が、車両の特定の領域に障害物が存在することを示すために、ホロノミックモーションベースプラットフォーム 204 の周囲に取り付けられる。モーションコントローラは、そのセンサデータを使用して、その特定のセンサに関連付けられた方向に追加のモーションが発生するのをブロックするが、他の方向のモーションは、引き続き許可される。潜在的なセンサには、接触センサ、スルービームセンサ、および近接センサが含まれる。この衝突回避システムは、米国特許第 7,194,358 号に記載されているものと同様の方法で動作する。

【0039】

前述したように、本明細書に開示されているロケーションアラインメントフィードバックプロセスは、距離センサを使用して、目標物 (例えば、ワークピース 202) に対する IRT スキャナ 214 の位置および向き (すなわち、ロケーション) を決定する。相対ロケーションをリアルタイムで計算するために、少なくとも 3 つの非共線距離測定デバイスを使用することができる。目標物の表面を傷つける可能性を軽減するために、距離センサとして使用するために、接触プローブの代わりにレーザ距離計が選択された。近距離の距離および角度の案内に加えて、レーザ距離計は、一般的なナビゲーション目的のために、プラットフォームモーションコントローラへの長距離の距離フィードバックの利点も提供する。

【0040】

一実施態様によれば、3 つのレーザ距離計 (図 5 には図示せず) が、エンドエフェクタ 224 に取り付けられている。図 6 は、図 5 に示されるロボット式 NDI 可動プラットフォームの一部分の側面図を表す図であり、この部分は、エンドエフェクタ 224 と、エンドエフェクタ 224 に取り付けられた 3 つのレーザ距離計とを含む。3 つのレーザ距離計のうち 2 つのみ (すなわち、レーザ距離計 236 および 238) が、図 6 に見える。第 3 のレーザ距離計 (すなわち、レーザ距離計 240) は、図 7 に見える。図 6 に示すように、第 1 のレーザ距離計 236 は、エンドエフェクタ 224 に取り付けられた L 字形の取付板 218 a に取り付けられている。同様に、第 2 のレーザ距離計 238 は、エンドエフェ

10

20

30

40

50

クタ 2 2 4 に取り付けられた L 字形の取付板 2 1 8 b (図 6 および図 7 に示す) に取り付けられており、第 3 のレーザ距離計 2 4 0 は、エンドエフェクタ 2 2 4 に取り付けられた L 字形の取付板 2 1 8 c (図 7 に示す) に取り付けられている。

【 0 0 4 1 】

図 7 は、剛性の伸長アーム 2 3 2 に旋回可能に結合されているエンドエフェクタ 2 2 4 に取り付けられた I R T スキャナ 2 1 4 (シュラウド 2 1 6 が取り外されている) の斜視図を表す図である。前述のように、レーザ距離計 2 3 6 , 2 3 8 および 2 4 0 が、エンドエフェクタ 2 2 4 に取り付けられている。図 8 の正面図に最もよく示されているように、レーザ距離計 2 3 6 は、I R T スキャナ 2 1 4 のフード 1 2 の最も高い点の高さよりも高い高さに取り付けられ、一方、レーザ距離計 2 3 8 および 2 4 0 は、I R T スキャナ 2 1 4 のフード 1 2 の最も低い点の高さよりも低い高さに取り付けられ、ある距離だけ離れている。好ましくは、レーザ距離計 2 3 6 , 2 3 8 および 2 4 0 は、二等辺三角形の頂点に配置される。図 1 5 A は、レーザ距離計 2 3 8 と 2 4 0 を隔てる距離 (すなわち、二等辺三角形の底辺) が a であり、レーザ距離計 2 3 6 と、レーザ距離計 2 3 8 と 2 4 0 との間の中点とを隔てる距離 (すなわち、二等辺三角形の高さ) が b である、配置を示す。

10

【 0 0 4 2 】

図 5 ~ 図 7 に示すシステムは、オンボードアラインメントシステムを使用して、目標物に対するエンドエフェクタ 2 2 4 の相対ロケーション (位置および向き) オフセットを決定する。このプロセスは、レーザ距離計 2 3 6 , 2 3 8 および 2 4 0 からの距離情報を使用して、リアルタイムで相対ロケーションを計算する。次いで、システムは、そのデータをロボットコントローラに提供して、所望のフィードバックに基づくエンドエフェクタ 2 2 4 のモーションを生成する (ロボットの他の部分のモーション制御を含んでもよい) 。

20

【 0 0 4 3 】

このプロセスが可能にする制御の 1 つの形態は、エンドエフェクタ 2 2 4 の向きが目標物の表面に対して常に垂直であるようにする、または常に表面から特定の距離であるようにするエンドエフェクタ 2 2 4 の向きなどのアラインメントのある態様において、オペレータを補助するための半自動制御である。

【 0 0 4 4 】

図 9 は、いくつかの実施形態によるアラインメントシステムのいくつかの構成要素を示すブロック図である。距離センサ 1 4 (例えば、レーザ距離計 2 3 6 , 2 3 8 , 2 4 0) が、距離情報をコンピュータ 1 6 (例えば、ロボットコントローラ) に提供する。コンピュータ 1 6 は、距離センサ 1 4 から受信した距離情報に基づいてエンドエフェクタ 2 2 4 を目標物の表面とアラインメントさせる動作を決定するように構成されている (例えば、プログラムされている) 。これらの動作は、ホロノミックモーションベースプラットフォーム 2 0 4 を新しいロケーションに移動させることと、垂直な伸長可能マスト 2 0 6 を伸長または格納させることと、エンドエフェクタ 2 2 4 をピッチ軸の周りに旋回させることと、のうちの 1 つ以上を含み得る。ロボット式 N D I 可動プラットフォームは、それぞれのモータコントローラ 1 8 によって制御される多数のモータ 2 0 を備える。コンピュータ 1 6 は、選択されたモータコントローラ 1 8 にコマンド信号を送り、エンドエフェクタ 2 2 4 を目標物の表面とアラインメントさせるようにロボットの動作を作動させる。

30

40

【 0 0 4 5 】

このプロセスによって可能になる制御の別の形態は、オペレータが m x n グリッドパターンなどの高いレベルの目標を指定し、次に自動コントローラが高いレベルの目標とアラインメントシステムからのフィードバックに基づいてモーション計画を行なう完全自動化されたモーション制御である。例えば、図 1 0 は、大型のワークピースの I R T 検査のための 3 x 2 スキャンパターン 2 2 を表す図である。まず、I R T スキャナは、スキャン領域 2 6 a の I R T データを取得する。その後、I R T スキャナは、上方に移動し、スキャン領域 2 6 b の I R T データを取得するロケーションで停止する。好ましくは、スキャン領域 2 6 b は、スキャン領域 2 6 a とわずかにオーバーラップして、スキャンをステッピングすることを容易にし、カバー範囲に隙間がないことを保証する。次に、I R T ス

50

キャナは、右に移動し、スキャン領域 26c の IRT データを取得するロケーションで停止する。次に、IRT スキャナは、下方に移動し、スキャン領域 26d の IRT データを取得するロケーションで停止し、続いてスキャン領域 26e の IRT データを取得するために右に移動し、次いでスキャン領域 26f の IRT データを取得するために上方に移動する。このプロセス中の IRT スキャナのスキャン経路 28 が、図 10 に矢印で示されている。

【0046】

アライメントプロセスは、ロボットの個々のモーションを直接プログラミングすることに対する代替手段を提供する。また、システムが予期せぬ環境の変化に適応することも可能になり、エンドエフェクタが目標表面に接触しないで目標表面に対する所望の位置および向きを達成するための衝突回避能力も提供する。

10

【0047】

ここで使用される自動化されたプロセスは、外部入力に基づいてある状態から別の状態への遷移を管理する有限状態機械制御アプリケーションに基づいている。このフレームワークにより、システムは、複数のタイプの入力とシステムの現在の状態に基づいて応答を生成することができる。自動的に生成されたモーション経路計画およびスキャナ制御信号を生成するために使用されるシステムの様々な動作は、ある作業モードと別の作業モードとの間の遷移の基準を満たすことに基づいている。一実施形態によれば、有限状態機械は、センサフィードバックを使用して、システム状態の別々のセット間の遷移をトリガする。

20

【0048】

次に、そのプロセスが、遠位端に NDI センサ（例えば、IRT スキャナ）を有するロボットアームを運ぶベースプラットフォーム（例えば、ホロノミックモーションベースプラットフォーム）を備え、ベースプラットフォームおよびロボットアームの動きが、デバイスコントローラ（例えば、ロボットコントローラ）によって制御される、ロボット式 NDI 可動プラットフォームを参照して説明される。図 11 は、システムの作業全体の高いレベルのプロセスを示し、図 11A および図 11B は、プロセスのアライメントベースの態様に関連する詳細を示す。ロボットコントローラと NDI センサ制御コンピュータ（例えば、図 1 に示す赤外線サーモグラフィコンピュータ 8）との間で送られるデジタル信号が、別個のロボットシステムと NDI センサシステムとの間の同期を可能にする。

30

【0049】

図 11 は、一実施形態によるエンドエフェクタアライメントプロセスを使用する非破壊検査の方法 100 のいくつかのステップを示す。プロセスを開始するために、システムオペレータが、目標物に対する NDI センサの第 1 のロケーションを特定する（ステップ 102）。このステップは、視覚的方法（オペレータによる）によって、または自動的に（LPS のようなポインティングシステムを用いて）行うことができる。次に、システムオペレータは、ベースプラットフォームおよびロボットアームを操作して、NDI センサをおおよそ第 1 のロケーションに移動させることができる（ステップ 104）。システムオペレータは、ステップ 106 において、パターンにおける所望のスキャン数をデバイスコントローラに提供する。この数は、グリッドロケーションカウンタに格納されたカウンタと比較され、このカウンタは、パターンにおけるスキャンが取得されるたびに、インクリメントされる。ステップ 108 において、デバイスコントローラは、予備的経路パラメータを計算し、自動スキャン取得を開始する。システムオペレータはさらに、近接/衝突検出を作動させる（ステップ 110）。次に、システムオペレータは、外部追跡システム（例えば、LPS）を使用して、第 1 のロケーションの 3 次元座標を取得する（ステップ 112）。（外部追跡システムは、目標物の座標系に対するそれ自身の 3 次元座標が既知であるように、予め較正されており、これにより、LPS コンピュータは、目標物の座標系に対する第 1 のロケーションの 3 次元座標を計算することができる。）その後、アライメントプロセス中およびスキャンプロセス中に NDI センサのモーションを制御するための有限状態機械が、イネーブルされる（ステップ 114）（すなわち、図 11A の A に

40

50

進む)。(有限状態機械については、図11Aおよび図11Bを参照して、次のパラグラフで説明する。)NDIセンサがアラインメントされ、スキャンパターンが完了した後、システムオペレータは、外部追跡システムを使用してNDIセンサの終了ロケーションの3次元座標を取得する(ステップ116)。次いで、隣接するスキャンからのスキャンデータをスティッチングすることにより、組み合わせされた画像を組み立てることができる(ステップ118)。

【0050】

図11Aおよび図11Bは(一緒に)、図11の高いレベルで示された方法で使用される有限状態機械によって実行されるいくつかのステップを特定するフローチャートを形成する。有限状態機械は、任意の与えられた時点に有限個の状態のうちの1つの状態しかとれないプロセスの数学的モデルである。

10

【0051】

1つの提案された実施態様によれば、ロボットコントローラは、有限状態機械(FSM)がGRID_MOVE状態にセットされているか否かを、最初にチェックする(すなわち判定する)(ステップ120)。GRID_MOVEは、ロボットが、高いレベルで定義されたグリッドロケーション間を移動している状態である。例えば、システムオペレータが、システムに、3x2パターンでデータを取得することを望む場合、ロボットは、連続したグリッドを作るために、図10に示すスキャン経路28に沿って移動する。ステップ120において、ロボットコントローラが、FSMがGRID_MOVE状態にないと判定した場合、ロボットコントローラは、ステップ128に直接進む。ステップ120において、ロボットコントローラが、FSMがGRID_MOVE状態にあると判定した場合、ロボットコントローラは、シーケンス内に追加のグリッドロケーションがあるかどうかを判定する(ステップ122)。これは、グリッドロケーションカウンタの現在のカウントを、予めセットされた取得すべきスキャン数と比較することによって達成される。ステップ122において、ロボットコントローラが、シーケンス内に追加のグリッドロケーションがない(すなわち、カウントが、予めセットされた数に等しい)と判定した場合、プロセスは、図11のステップ116に戻る。ステップ122において、ロボットコントローラが、シーケンス内に追加のグリッドロケーションがある(すなわち、カウントが、予めセットされた数より小さい)と判定した場合、ロボットは、アラインメントされていないNDIセンサの次のロケーションに移動し(ステップ124)、その後、有限状態機械の状態が、ALIGNにセットされる(ステップ126)。次のステップで、ロボットコントローラは、有限状態機械がALIGN状態にセットされているか否かを判定する(ステップ128)。

20

30

【0052】

ALIGN状態は、ロボットが3つの距離センサを使用して、エンドエフェクタのピッチおよびヨーが、NDIスキャナの目的軸が目標物の表面に対して垂直になるようになっていることを保証しているときである。ステップ128において、有限状態機械がALIGN状態にないとロボットコントローラが判定した場合、ロボットコントローラは、図11Bのステップ144に直接進む。ステップ128において、有限状態機械がALIGN状態にあるとロボットコントローラが判定した場合、ロボットコントローラは、NDIセンサのロケーションを精緻化する必要があるか否かを判定する(ステップ130)。ステップ130において、ロボットコントローラが、NDIセンサのロケーションを精緻化する必要がない(すなわち、NDIスキャナの目的軸が、目標物の表面に対して垂直である)と判定した場合、ロボットコントローラは、有限状態機械の状態をSCANにセットし(ステップ132)、図11Bのステップ144に直接進む。ステップ130において、ロボットコントローラが、NDIセンサのロケーションを精緻化する必要がある(すなわち、NDIスキャナの目的軸が、目標物の表面に対して垂直でない)と判定した場合、ロボットコントローラは、以下のステップを順番に実行する:(A)距離センサから距離データを取得する(ステップ134)。(b)所望のアラインメントされたロケーションからの向きオフセットおよび並進オフセットを計算する(ステップ136)。(c)距離を

40

50

所望のオフセットにアラインメントさせる（ステップ138）。（d）エンドエフェクタのヨー角をアラインメントさせて、目標物の表面に対する垂直を達成し、横方向位置を調整する（ステップ140）。（e）エンドエフェクタのピッチ角をアラインメントさせて、目標物の表面に対する垂直を達成し、高さを調整する（ステップ142）。（f）ステップ130に戻る。

【0053】

前述したように、ロボットコントローラが、ステップ130において、NDIセンサのロケーションを精緻化する必要がないと判定した場合、ロボットコントローラは、有限状態機械の状態をSCANにセットし（ステップ132）、図11Bのステップ144に直接進む。ステップ144において、ロボットコントローラは、有限状態機械がALIGN状態にセットされているか否かを判定する。ステップ144において、有限状態機械がSCAN状態にないとロボットコントローラが判定した場合、ロボットコントローラは、図11Aのステップ120に戻る。ステップ144において、有限状態機械がSCAN状態であるとロボットコントローラが判定した場合、ロボットコントローラは、スキャナ制御コマンドをNDIスキャナ制御コンピュータ（例えば、図1に示された赤外線サーモグラフィコンピュータ8）に送信する（ステップ146）。次いで、ロボットコントローラは、スキャナ応答をチェックし（ステップ148）、スキャンパターンが完了したか否かを判定する（ステップ150）。ステップ150で、スキャンパターンが完了していないとロボットコントローラが判定した場合、ロボットコントローラは、ステップ148に戻る。ステップ150において、ロボットコントローラが、スキャンパターンが完了したと判定した場合、ロボットコントローラは、以下のステップを順番に実行する：（a）NDIスキャナをそのロケーションに戻す（ステップ152）。（b）有限状態機械の状態をGRID_MOVEにセットする。（c）グリッドロケーションカウンタをインクリメントする。（d）図11のステップ114に戻る。

10

20

【0054】

自動スキャンシーケンスが完了した後に、各IRTスキャンからの個々の画像をステッチングして、検査領域の単一の表現を作成することができる。

【0055】

上述のシステムは、ロボットマニピュレータまたは他のデバイスの一般的なアラインメントタスクのための多くの潜在的な使用事例を有し得る。これらの使用事例の1つは、飛行機胴体のグリッドベースのスキャンなどの、航空宇宙製造および保守環境におけるグリッドベースのNDIスキャン取得に対するものである。

30

【0056】

典型的な動作中、このシステムは、ユーザによっておおよそ第1のロケーションに駆動（遠隔操作）されることができ、その後、図10に示すように、飛行機胴体の両側に沿ってオペレータ定義の垂直および水平のパターンで配置されたグリッドスキャンを自動的に取得するように設定される。

【0057】

モーション制御アルゴリズムの自動グリッドスキャンの特徴は、3つのレーザ距離計236、238および240からの距離データをモーション制御アルゴリズムにフィードバックし、それぞれプラットフォーム204およびエンドエフェクタ224の水平および垂直配置、ならびにヨーおよびピッチの向きを設定することを含む。このアプローチにより、システムのための個別の事前定義されたモーション経路が不要になり、使用が簡単になり、セットアップ時間が短縮される。

40

【0058】

システムは、オペレータが手動でデータを取得することができるように、遠隔操作モードで十分に制御することもできる。半自動モードも可能であり、このモードでは、システムオペレータが、プラットフォームのロケーションとマストの高さを制御し、システムは、エンドエフェクタのピッチの向きを自動的に調整して、その前の表面との垂直なアラインメントを維持する。

50

【 0 0 5 9 】

飛行機の座標系においてスキャンを正しく位置特定するために、スキャンの境界領域の3次元座標位置測定が行われる。この境界参照は、組み合わされたスキャン画像を、目標物およびそれに関連するCADモデルと同じ座標系に配置することを可能にする。これにより、取得されたスキャンと目標物のそれぞれの3次元モデルとの関連付けが可能になり、将来の参照のためのロケーションデータが提供される。このシステムでは、目標物54の座標系における3次元座標位置データを取得するために、局所測位システム(LPS)24(図12に示す)が使用される。例えば、図12は、測定される境界位置60にレーザービーム30を向けるLPS24を示す。LPS24が、目標物54の座標系に対してすでに較正されていると仮定すると、LPS24によって取得された境界位置データ点を使用して、目標物54の座標系における各境界位置の座標を決定することができる。

10

【 0 0 6 0 】

一実施形態によれば、IRTスキャナ214(図5および図8参照)が、特定のロケーションのスキャンデータを取得しているときに、IRTシュラウド216のコーナーをターゲットにすることによって、スキャンの境界の取得を達成することができる。これらのLPS境界測定は、最初のスキャンの前と最後のスキャンの後、またはグリッドシーケンスの任意の中間ロケーションで実行される。1つの提案された実施態様によれば、IRTシュラウド216のコーナー(またはいくつかの既知のロケーション)は、アクティブ(例えば、LED)もしくはパッシブ光学ターゲットのいずれか、または他の可視的特徴を有することができる。パッシブアプローチでは、システムオペレータは、これらの点をターゲットにするために、LPS24を使用する必要がある。アクティブLEDターゲットを使用すると、LPSカメラを使用してLEDを検出する自動アプローチが可能になる。理想的には、スキャン領域の4つのコーナーをすべて取得することが最も好ましいが、IRTシュラウド216が、光学ターゲットを遮断することがあり、それによって、ターゲットにすることが難しくなる。プロセスのこの部分に必要な光学ターゲットの最小数は、2であるが、これは、例えば、目標物の3次元CADモデルからの表面法線を使用して、X×Yスキャン領域の形状について仮定を行うことができるからである。

20

【 0 0 6 1 】

LPS24の電動パンチルト制御の態様は、LPS24が、スキャンのための所望の第1のロケーションを示すための初期ロケーション参照および案内機能を提供することも可能にする。LPS24を目標物上の既知のロケーションに対して最初に較正した後、オペレータは、LPS24に、そのレーザーポイントを目標表面上の指定された3次元座標に向けるように指示することができ、そのレーザースポット38が、図13に示されている。次いで、オペレータは、ロボットを駆動して、図13に示すように、それぞれレーザー距離計236, 238および240のレーザースポット32a, 32bおよび32cを、LPSレーザースポット38の周りにアラインメントさせる。

30

【 0 0 6 2 】

LPS24を使用して、目標物54(例えば、飛行機)の座標系における測定値を取得するために、システムオペレータは、目標物上の3つの既知の点を使用する。これらの3つの点は、スキャン登録プロセスのために測定されたIRTシュラウド216上の点とは別個の較正点である。つまり、スキャンデータを飛行機座標とアラインメントさせたい場合、LPS測定の最小総数は5であり、最初のLPS較正のために3つ、スキャンが行われた矩形領域を画定するために2つである。

40

【 0 0 6 3 】

図14は、一実施形態による、ロボット対ターゲットの位置特定プロセスを実行することができるシステムの斜視図である。ロボット対ターゲットの位置特定プロセスは、制御可能なパンチルトユニット42上の単一のカメラ40およびレーザー距離計(図示せず)を備えるLPS24を使用して実行される。LPSの動作および較正プロセスは、米国特許第7,859,655号に開示されており、その開示は、参照によりその全体が本明細書に組み込まれる。

50

【 0 0 6 4 】

より具体的には、図 1 4 に示す局所測位システムは、自動（遠隔制御）ズーム機能を有することができるビデオカメラ 4 0 を備える。ビデオカメラ 4 0 は、パンチルト機構 4 2 に支持されている。ビデオカメラ 4 0 およびパンチルト機構 4 2 は、L P S 制御コンピュータ 4 8 によって動作させることができる。L P S 制御コンピュータ 4 8 は、ビデオ/制御ケーブル 4 6 を介してビデオカメラ 4 0 およびパンチルト機構 4 2 と通信する。あるいは、L P S 制御コンピュータ 4 8 は、無線通信経路（図示せず）を介してビデオカメラ 4 0 およびパンチルト機構 4 2 と通信してもよい。L P S 制御コンピュータ 4 8 は、レーザ距離計（図示せず）、ビデオカメラ 4 0 およびパンチルト機構 4 2 を含む L P S ハードウェアの動作を制御するように構成されている。例えば、パンチルト機構 4 2 のパンおよびチルト角、従ってビデオカメラ 4 0 の向きは、コンピュータ 4 8 のキーボードまたは他のユーザインターフェースハードウェア 3 6（例えば、ゲームパッド）を用いて制御することができる。ビデオカメラ 4 0 によって見られる光学画像視野を、L P S 制御コンピュータ 4 8 のモニタ 3 3 に表示することができる。

10

【 0 0 6 5 】

パンチルト機構 4 2 は、レーザ距離計（図示せず）およびビデオカメラ 4 0 を、垂直の方位角（パン）軸および水平の仰角（チルト）軸の周りの選択された角度に回転調整するように、制御される。三脚 4 4 の固定座標系（またはパンチルトユニットが取り付けられている他のプラットフォーム）に対するレーザ距離計（図示せず）およびビデオカメラ 4 0 の向きを表す方向ベクトル 6 6（図 1 4 に破線で示す）は、カメラが目標点に向けられるときのパン角およびチルト角から決定される。図 1 4 において、方向ベクトル 6 6 は、レーザ距離計（図示せず）およびビデオカメラ 4 0 から延び、シュラウド 2 1 6 の 1 つのコーナー上の点 9 4 a と交わる。

20

【 0 0 6 6 】

レーザ距離計は、方向ベクトル 6 6 に沿ってレーザビームを送るように、カメラ 4 0 のハウジングの内部に組み込まれてもよく、またはカメラ 4 0 の外側に取り付けられてもよい。レーザ距離計は、シュラウド 2 1 6 上の任意の可視的特徴部（例えば、コーナー 9 4 a ~ 9 4 c の 1 つ）までの距離、または湾曲したワークピース 2 0 2 上の任意の較正点（例えば、点 9 2 a ~ 9 2 c）までの距離を測定するように構成される。（各較正点は、湾曲したワークピース 2 0 2 上の可視的特徴部であってもよいし、または湾曲したワークピース 2 0 2 に取り付けられた光学ターゲットであってもよい。）レーザ距離計は、レーザと、衝突点から反射されたレーザビームに応答して検出されたレーザ光に基づいて距離を計算するように構成されたユニットとを有することができる。

30

【 0 0 6 7 】

図 1 4 に示す局所測位システムは、L P S 制御コンピュータ 4 8 にロードされる 3 次元位置特定ソフトウェアをさらに含む。例えば、3 次元位置特定ソフトウェアは、湾曲したワークピース 2 0 2 上の複数の較正点 9 2 a ~ 9 2 c を使用して、湾曲したワークピース 2 0 2 に対するビデオカメラ 4 0 のロケーション（位置および向き）を定めるタイプであってもよい。較正点 9 2 a ~ 9 2 c は、特徴位置の 3 次元データベース（例えば、C A D モデル）または他の測定技術から決定されるような、湾曲したワークピース 2 0 2 の局所座標系における既知の位置の可視的特徴部であってもよい。L P S 較正プロセス中に、少なくとも 3 つの非共線点に関する X、Y、Z データが、C A D モデルから抽出される。典型的には、目標物上で容易に位置特定することができる特徴に対応する較正点が、選択される。3 次元位置特定ソフトウェアは、較正点 9 2 a ~ 9 2 c の X、Y、Z データ、ならびにパンチルト機構 4 2 からのパンおよびチルトデータを利用して、湾曲したワークピース 2 0 2 の局所座標系に関するビデオカメラ 4 0 の相対位置および向きを定める。較正点 9 2 a ~ 9 2 c までの測定された距離が、湾曲したワークピース 2 0 2 に対するカメラの位置および向きを求めるために、パンチルト機構 4 2 からのパンおよびチルト角と連携して使用されてもよい。器具対ターゲットの較正変換行列（カメラ姿勢と呼ばれることもある）を生成する方法が、米国特許第 7, 8 5 9, 6 5 5 号に開示されている。既知のデー

40

50

タおよび測定データを用いて、較正プロセスは、湾曲したワークピース202に対するビデオカメラ40の位置および向きを定める 4×4 の同次変換行列を計算する。

【0068】

湾曲したワークピース202に対するビデオカメラ40の位置および向きが決定され、カメラ姿勢変換行列が生成されると、カメラパンデータ（方位角軸の周りのビデオカメラ40の回転角度）およびチルトデータ（仰角軸の周りのビデオカメラ40の回転角度）が、ビデオカメラ40の計算された位置および向きと共に使用されて、湾曲したワークピース202の座標系におけるシュラウド216上の任意の目標点のX、YおよびZ座標を決定することができる。スキャンパターンの始めと終わりにシュラウド216を位置特定することによって、湾曲したワークピース202の座標系におけるスキャンパターンのロケーションを決定することができる。

10

【0069】

より具体的には、相対位置特定プロセスを使用して、スキャンパターンの始めと終わりに湾曲したワークピース202の座標系におけるシュラウド216の可視的特徴部（例えば、図14に示すコーナー94a~94cのいずれか1つ）のロケーションを決定することができる。シュラウド216に適用される基本的なプロセスシーケンスは、以下の通りである。（1）局所測位システムが、目標物上の3つの既知の点92a~92cを測定することによって、検査されている目標物（例えば、湾曲したワークピース202）の座標系に対して較正される。（2）ロボットが、スキャンパターンの始め（例えば、図12に見られるスキャン領域26aに対して）にあるときに、局所測位システムが、シュラウド216上の可視的特徴部（例えば、コーナー94a）のロケーションを測定する。（3）その後、ロボットが、スキャンパターンの終わり（例えば、図12に見られるスキャン領域26fに対して）にあるときに、局所測位システムが使用されて、シュラウド216上の同じ可視的特徴部または異なる可視的特徴部（例えば、コーナー94bまたは94c）のロケーションを測定する。（4）これにより、オペレータは、モザイクパターンを構成するスキャンの境界を決定することができる。

20

【0070】

コンピュータ48内で動作するLPS制御ソフトウェアが、湾曲したワークピース202の座標系に対するシュラウド216上の各可視的特徴部のロケーションを計算する。LPS制御コンピュータ48（図14参照）が、将来の参照のためにロケーション座標を記録するように構成されている、図17に示すエキスパートワークステーション74に、ロケーションデータを送信する。このロケーションデータを使用して、スキャンデータを目標物のCADモデルとアラインメントさせることもできる。

30

【0071】

コンピュータ48上のLPS制御ソフトウェアは、X、YおよびZ値として点データを出力するが、制御アプリケーションは、湾曲したワークピース202の位置および向きを提供するために、単なるX、YおよびZデータ点ではなく、それ以上を使用する。位置および向きの問題を解くために、3つの測定点92a~92cからのX、YおよびZデータならびにこれらの点の既知の寸法を使用して、まるまる6自由度の位置および向きの表現を計算する。これを、前述の位置特定ソフトウェアが行う。位置特定ソフトウェアが使用する位置および向きのフォーマットは、 4×4 変換行列であるが、データを表す他の方法もある。

40

【0072】

システムオペレータが、（米国特許出願公開第2015/0268033号に記載されているような）相対的なLPSスキャンを実行したい場合、オペレータは、目標物上の任意の3つの非共線点を使用することができるが、それらの点の3次元座標を事前を知る（標準的なLPS法の場合に行うような）必要はない。システムオペレータは、相対的なモードを使用して目標物座標において結果を取得することはないであろうが、一部のアプリケーションでは、それは必要とされない。相対的なLPS位置特定プロセスは、NDIセンサが以前の状況と同じ領域にアラインメントされていることを保証するために、使用す

50

ることができる。また、いくつかの別々のスキャンをつなぎ合わせる場合や、L P S を移動する必要がある場合に、便利である。

【 0 0 7 3 】

先に開示したように、このシステムは、レーザ、ストリングエンコーダ、超音波センサなどの距離測定デバイスを使用し、少なくとも3つの非共線距離測定デバイスが、基本的な要件である。1つの距離センサ配置(上述)は、三角形構成に配置された3つの距離測定レーザを使用する。代替の実施形態では、4つの距離測定レーザが、矩形構成に配置されている。どのセンサ配置が使用されているかに関わらず、距離データが、エンドエフェクタの向きデータとともに、ロボットコントローラ80に供給される。フィードバック制御方法を使用して、現在の角度と所望の角度との間の誤差をゼロにすることができる。

10

【 0 0 7 4 】

次に、レーザ距離計を用いて角度を決定する方法を、図15A~図15Cを参照して説明する。図15A~図15Cは、共通の平面に三角形のパターンで配置され、目標物54の表面上のそれぞれのスポットに向けられた3つのレーザ距離計236, 238, 240の、それぞれ正面図、側面図、上面図であり、レーザ距離計およびスポットは、それぞれの距離だけ離されている。

【 0 0 7 5 】

ターゲットまでの距離を決定するために3つのレーザを使用することに加えて、それらはまた、ヨー角およびピッチ角を決定するためにも使用される。図15Aは、目標物54の表面までの測定距離 d_1 、 d_2 、 d_3 とともに、横寸法 a と縦寸法 b を用いて、互いに対するレーザ距離計236, 238, 240の位置を示している。ピッチ角およびヨー角を計算するために、式(1)および式(2)を使用することができる。

20

$$\text{PitchAngle} = \text{atan2}(d_1 - (d_2 + d_3)/2, b) \quad (1)$$

$$\text{YawAngle} = \text{atan2}(d_2 - d_3, a) \quad (2)$$

ここで、PitchAngleおよびYawAngleは、目標物54の表面に対する、図15A~図15Cに示すアラインメント装置の現在の計算された角度である。現在のロケーションでの表面法線に対して測定されるこれらの角度の目標は、ゼロに等しくなることである。目標角度を達成するプロセスを以下に説明する。

【 0 0 7 6 】

現在のヨー角およびピッチ角を計算すると、システムモーションコントローラは、制御されたモーション、すなわちパン、チルト、および距離のために速度制御方法を使用することができる。比例積分微分(PID)コントローラなどのフィードバックコントローラを使用して、現在の角度と所望の角度との間の誤差をゼロにすることができる。ピッチおよびヨーモーション制御を計算するために、式(3)および(4)を使用することができる。

30

$$\text{PitchRate} = K_{p_{\text{pitch}}} * (\text{PitchAngle} - \text{PitchAngle}_{\text{goal}}) \quad (3)$$

$$\text{YawRate} = K_{p_{\text{yaw}}} * (\text{YawAngle} - \text{YawAngle}_{\text{goal}}) \quad (4)$$

ここで、PitchRateおよびYawRateは、それぞれ、アラインメント装置のピッチ軸の周りおよびベースのヨー軸の周りの角回転速度を表す。 $K_{p_{\text{pitch}}}$ および $K_{p_{\text{yaw}}}$ は、それぞれ、ピッチ軸およびヨー軸に関連する比例フィードバックゲインである。PitchAngleとYawAngleは、それぞれ、式(1)および式(2)から計算された角度である。PitchAngle_{goal}とYawAngle_{goal}は、それに向かってコントローラがシステムを駆動しているところの所望の目標角度である(前述のとおり、この例では両方ともゼロである)。積分および微分フィードバックも使用できるが、ここには示されていない。

40

【 0 0 7 7 】

ベース速度の式は、次のとおりである。

$$\text{Vel}_x = K_{p_x} * (\text{MinDist}_x - \text{offset}_x) \quad (5)$$

$$\text{Vel}_y = K_{p_y} * (\text{MinDist}_y - \text{offset}_y) \quad (6)$$

ここで、 Vel_x と Vel_y は、ベースの横方向速度である。 K_{p_x} および K_{p_y} は、そ

50

れぞれ、ベースのX方向およびY方向の比例フィードバックゲインである。Mindist_xおよびMindist_yは、それぞれ、X方向およびY方向にレーザによって測定された最小値である。offset_xとoffset_yは、目標オフセット距離である。一部のアプリケーションでは、レーザは、X方向とY方向の両方で測定するには構成されていない。そのような場合には、アラインメントプロセスに関連するXまたはY速度制御式が、使用されない。

【0078】

ベースフレーム62と、一方の対角線に沿った1対のタイプAメカナムホイールW1およびW3と、他方の対角線に沿った1対のタイプBメカナムホイールW2およびW4とを備えるホロノミックモーションベースプラットフォームに対して、運動学を用いて、4つの個々の車輪速度を計算することができる。車両の寸法(LおよびD)および所望の回転点(距離a₁、a₂、b₁、b₂によって記述される)が、図16に示されている。車輪W1~W4の個々の車輪速度は、式(7)~(10)に示される。

$$V_{W1} = Vel_y - Vel_x + YawRate * (a_1 + b_1) \quad (7)$$

$$V_{W2} = Vel_y + Vel_x - YawRate * (a_1 + b_2) \quad (8)$$

$$V_{W3} = Vel_y - Vel_x - YawRate * (a_2 + b_2) \quad (9)$$

$$V_{W4} = Vel_y + Vel_x + YawRate * (a_2 + b_1) \quad (10)$$

ここで、V_{W_i} (i = 1, 2, 3, 4)は、個々の車輪速度である。Vel_xとVel_yは、式(5)および式(6)からの横方向速度である。YawRateは、式(4)からのヨー回転速度である。a₁、a₂、b₁、b₂は、図16に示す回転点距離である。

【0079】

エンドエフェクタの主なピボット構成は、次のとおりである。(a)1軸ピボット:1つのモータ、1つの角度センサ、(b)2軸ジンバル:2つのモータ、2つの角度センサ。

【0080】

上述のアラインメントプロセスは、離散的および連続的なセンサ更新の両方の使用事例に対処し、このコンセプトは、スタンドアロンシステムとしてまたは既存システムの一部として詰め込むこともできる。

【0081】

本明細書に開示されたコンセプトは、ホロノミックモーションベースプラットフォームに適用されるが、変形例が、他のシステムにも適用可能である。潜在的な使用事例には、ホロノミックおよび非ホロノミックプラットフォーム、関節式ロボットアーム、ガントリーアーム、ハイブリッドモーションベース/アームシステム、ヘリコプターとUAV、カメラ、ライト、ツールが含まれる。

【0082】

本明細書に開示されているレーザベースのアラインメントプロセスは、ロボットをオンラインで教える必要も、オフラインで事前にプログラムする必要もなしに、システムを動作させることを可能にし、このアプローチをより使いやすくする。これは、環境における予期せぬ変化に適応しながら、エンドエフェクタを所定の場所に導く。リストまたは事前にプログラムされたモーションステップを実行する代わりに、システムは、センサからのフィードバックを使用して、アラインメント、グリッドベースのモーション、およびスキャンプロセスのさまざまなステップ間を遷移する有限状態機械として動作する。

【0083】

アラインメントセンサは、エンドエフェクタの衝突回避能力も提供する。システムのこの構成により、地面上型のホロノミックプラットフォームからクラウン(頂上部)まで胴体のすべての領域に届くことができる。この解決法は、外部測定システム(LPS)を使用してロケーション基準データを収集する任意選択のプロセスを提供する。

【0084】

目標物(例えば、飛行機)の座標系において定められたロケーションデータを収集する能力は、保守/修理のためのCADデータを伴うスキャンデータの正確な登録と、保管目

10

20

30

40

50

的のためにロケーション情報を記録する方法とを可能にする。

【0085】

アラインメントセンサ要素に加えて、回転する手首およびモジュール式ツールマウントを備えた垂直な伸長アームを使用するシステムの構成は、最小限の地表面積で胴体の周りの必要な領域に届くことができるコンパクトで比較的低コストのプラットフォームを提供する。

【0086】

本明細書に開示されたシステムは、渦電流センサ、超音波センサ、赤外線サーモグラフィ（IR T）センサを含む、エンドエフェクタに取り付けられた様々なタイプのNDIデバイスを受け入れるように構成できる。伸長アームに旋回エンドエフェクタを備えた垂直な支持マストは、飛行機胴体部の全高の検査を可能にする。ホロノミックモーションベースは、胴体の長さに沿ったセンサユニットの効率的な再配置を可能にする。モーション制御ソフトウェアは、グリッドパターンスキャンをオーバーラップさせる自動取得を可能にする。基準位置データが、飛行機座標とのスキャンアラインメントのために取得される。

【0087】

動作中、このシステムは、開始領域の一般的なロケーションに移動するように、オペレータによって駆動される（遠隔操作される）ことができ、次いで、飛行機胴体の両側に沿ってオペレータ定義の垂直および水平パターンで配置されたグリッドスキャンを自動的に取得するように構成される。ここで使用されるモーション制御アルゴリズムの特徴の1つは、システムのための個別の事前定義されたモーション経路を必要とするのではなく、距離センサのフィードバックを伴うことであり、これにより、使用が簡単になり、セットアップ時間が短縮される。飛行機の座標系においてスキャンを正しく位置特定するために、スキャンの境界領域の3次元座標位置測定が行われる。局所測位システムを使用して、飛行機の座標系における3次元座標位置データを取得する。次いで、この基準位置データが使用されて、NDIスキャンを適切な飛行機座標系とアラインメントさせる。

【0088】

図17は、1つのコンピュータアーキテクチャによる、大規模複合構造体の赤外線サーモグラフィ検査用システムのいくつかの構成要素を示すブロック図である。ロボット64の動きは、有限状態機械と、少なくとも距離センサ（例えば、3つのレーザ距離計）からのフィードバックとに基づいて、ロボットコントローラ80によって制御される。LPS24の動きおよび発射は、LPS制御コンピュータ48によって制御され、LPS制御コンピュータ48は、LPS24からレーザ追跡データを受信する。赤外線カメラ4およびフラッシュランプ6の作動は、赤外線サーモグラフィコンピュータ8によって制御され、赤外線サーモグラフィコンピュータ8は、赤外線カメラ4から赤外線画像データを受信する。これらのコンピュータの全てが、エキスパートワークステーション74におけるマスタコンピュータと有線または無線通信することができる。エキスパートワークステーション74のマスタコンピュータは、レーザ追跡データを赤外線画像データと相互関連させるようにプログラムすることができる。マスタコンピュータは、3次元モデルデータベースサーバ96に3次元モデルデータを要求するように、さらにプログラムされてもよい。サーモグラフィ気孔率測定の場合、エキスパートワークステーション74のマスタコンピュータは、基準サーマルシグネチャデータベースサーバ98に基準サーマルシグネチャデータを要求するように、プログラムすることもできる。

【0089】

LPS制御コンピュータ48は、複合構造体の3次元座標系における赤外線カメラ4のロケーションデータを取得する。パレル形の胴体部の場合、赤外線画像データを胴体部の3次元モデルに直接マッピングすることができる。赤外線画像データと3次元モデルデータとのオーバーレイにより、改善されたデータ解析および潜在的な自動データ解析も可能になる。例えば、3次元モデル上に赤外線画像データを直接オーバーレイすることによって、特徴部/欠陥表示を胴体構造に直接相互関連させることができる。さらに、モデル上への直接的なデータオーバーレイを使用して、気孔率の定量化に必要な局所領域または空

10

20

30

40

50

間点の厚さを決定することができる。一実施形態において、このプロセスは、1つ以上のコンピュータグラフィックステクスチャマップとしての赤外線画像データストリップの適用を含み、赤外線画像データストリップが、エキスパートワークステーション74のモニタまたはコンピュータ画面上に表示される仮想環境内の3次元モデル表面上に投影される。

【0090】

一部の用途では、IRTスキャナ214は、IRTシュラウド216を取り外した状態で使用することができる。シュラウドが必要でない場合、接触ベースのNDI用の追加の装置（例えば、超音波トランスデューサアレイまたは渦電流プローブ）をIRTスキャナ214に取り付けることができる。このような実施形態は、自動装置のアームの遠位端を安定させるための手段を設けることによって、強化することができる。様々な実施形態によれば、安定化は、それぞれが静止部および可動部を備える3つ以上のスタビライザによって提供される。各静止部は、エンドエフェクタに対して固定されたロケーションを有する。各可動部は、それぞれの静止部に並進可能に結合され、可動部の遠位端に配置されたコンタクトを備える。スタビライザが作動されると、コンタクトは、ワークピースの表面の方に並進移動して接触し、次いで、アームの遠位端およびそれに結合されたエンドエフェクタを安定させるために、所定の位置にロックされる。ツールの動作中、スタビライザは、エンドエフェクタ224（およびそれに固定的に結合されたすべての構造）の振動を低減する。

10

【0091】

図18は、IRTシュラウドが使用されないさらなる実施形態による、空気圧で安定化されたIRTスキャナ214を使用して湾曲したワークピースをスキャンするプロセスにおける、地面上型のロボット式NDI可動プラットフォームの斜視図を表す図である。スキャン動作中、エンドエフェクタ224およびそこに取り付けられたIRTスキャナ214は、IRTスキャナ214によってスキャンされる領域の外側の領域で湾曲したワークピース202の表面に接触する4つの空気圧スタビライザ34a~34dによって安定化される。しかしながら、スタビライザの数は、4つではなく3つであってもよいし、4よりも大きい数であってもよい。（3つのスタビライザしか使用されていない場合、それらは、同一直線上にあるべきではなく、近似的に同一直線上にあるべきでもなく、関心領域の範囲を定める三角形の頂点に配置されるべきである。）図18に示す実施形態において、空気圧スタビライザ34a~34dの各々は、IRTスキャナ214のハウジングに取り付けられた静止部を備える。空気圧スタビライザ34a~34dの構造および動作については、図20および図23を参照して後に詳述する。

20

30

【0092】

図19は、メンテナンスツールと複数のスタビライザとを備えたロボット式可動プラットフォームを使用してメンテナンス作業を実行する方法250のステップを示すフローチャートである。方法250は、以下のステップを含む。（a）ロボット式可動プラットフォームを、アームの遠位端のツールが目標物の表面上の第1の関心領域に届くことができる第1のロケーションに移動させる（ステップ252）。（b）アームの遠位端に結合されたエンドエフェクタが第1の関心領域に対して適切なロケーションにあるように、ロボット式可動プラットフォームを構成する（ステップ254）。（c）アームに結合されている複数のスタビライザのコンタクトを、目標物の表面と接触するように伸長させる（ステップ256）。（d）スタビライザのコンタクトを所定の位置にロックして、エンドエフェクタを第1の関心領域に対して適切なロケーションに維持する（ステップ258）。（e）エンドエフェクタが第1の関心領域に対して適切なロケーションに維持されている間に、ツールを使用して第1のメンテナンス作業を実行する（ステップ260）。（f）メンテナンス作業の完了時に、スタビライザのコンタクトをロック解除する（ステップ262）。（g）スタビライザのコンタクトを格納する（ステップ264）。

40

【0093】

図19には示されていないが、メンテナンス作業を実行する方法は、（h）ロボット式

50

可動プラットフォームを、ツールが目標物の表面上の第2の関心領域に届くことができる第2のロケーションに移動させることと、(i)エンドエフェクタが第2の関心領域に対して適切なロケーションにあるように、ロボット式可動プラットフォームを構成することと、(j)複数のスタビライザのコンタクトを、目標物の表面と接触するように伸長させることと、(k)スタビライザのコンタクトを所定の位置にロックして、エンドエフェクタを第2の関心領域に対して適切なロケーションに維持することと、(l)エンドエフェクタが第2の関心領域に対して適切なロケーションに維持されている間に、ツールを使用して第2のメンテナンス作業を実行することと、をさらに含んでもよい。第2のメンテナンス作業が完了すると、コンタクトは、再びロック解除され、格納させることができ、ロボット式可動プラットフォームは、次の第2のロケーションに移動することができる。

10

【0094】

1つの提案された実施態様によれば、方法250の構成するステップは、以下の動作の一方または両方を含む。(a)エンドエフェクタの軸が関心領域で目標物の表面に対して垂直になるように、エンドエフェクタを回転させること。(b)エンドエフェクタが目標オフセット距離だけ目標物の表面から離されるように、エンドエフェクタを変位させること。後に詳述するように、コンピュータシステムが、レーザ距離計236, 238および240からのフィードバックに応じて、自動装置上の様々なモータを制御して、湾曲したワークピース202の対向する表面に対するエンドエフェクタの目標向きと、湾曲したワークピース202の対向する表面からエンドエフェクタを隔てる目標オフセット距離とを達成するように構成される。

20

【0095】

図20は、代替の実施形態による、エンドエフェクタ224に取り付けられた安定化されたハイブリッドツールアセンブリを示す図である。図21および図22は、それぞれ、図20に示すハイブリッドツールアセンブリの正面図および側面図を示す図である。この実施形態において、(レーザ距離計236, 238, 240が取り付けられる)L字形の取付板218a~218cは、エンドエフェクタ224のそれぞれのリンクである。エンドエフェクタは、それぞれのシャフトカップリング172(そのうちの1つのみが、図20に見える)を支持する1対のD字形のシャフト取付板170(そのうちの1つのみが、図20に見える)をさらに備え、それぞれのシャフトカップリング172は、伸長アーム232の端部に回転可能に結合されたシャフト(図示せず)にエンドエフェクタ224を結合する。

30

【0096】

前述したように、IRTスキャナ214をエンドエフェクタ224に取り付けることができ、故に、このスキャナは、前述のシャフトの軸の周りに旋回可能である。IRTスキャナ214のハウジングは、ウィンドウ332を形成する、スプラッシュカバーが取り付けられたウィンドウフレーム76を含み、ロボット式NDI可動プラットフォーム200がIRT検査を実行するために使用されているときに、ウィンドウ332を通して、赤外線カメラ4が、関心領域を見ることができる。

【0097】

図22に示されたハイブリッドツールアセンブリは、アレイ支持アセンブリによってIRTスキャナ214に可動的に結合された超音波トランスデューサアレイ72をさらに備える。IRTシュラウド216(図4および図5参照)は、ベースIRTシステムの拡張部品であり、遠距離の画像を取得することを可能にするが、IRTスキャナ214は、シュラウドなしで近距離の画像を取得するために、使用することができる。以下に詳細に説明するように、IRTスキャナ内部の赤外線カメラの視界を遮る可能性のあるアレイ支持アセンブリの要素は、IRTスキャナ214が使用されているときに、邪魔にならないように片側に移動させることができる。

40

【0098】

図20に示すように、アレイ支持アセンブリは、ウィンドウフレーム76の前面に取り付けられた1対の互いに平行な水平直線レール312および314に乗っている移動ブリ

50

ッジ300を備える。移動ブリッジは、ブロックコネクタ310および316に埋め込まれたそれぞれのスライダによって、水平直線レール312および314にスライド可能に結合される。移動ブリッジ300は、水平直線レール312および314に垂直に配置された1対の互いに平行な垂直直線レール320および322を備える。垂直直線レール320および322は、ブロックコネクタ310および316に取り付けられている。さらに、キャリッジ70が、スライダ318（キャリッジが取り外された状態で、図20の垂直直線レール320、322に沿った中間位置に示されている）によって、垂直直線レール320および322にスライド可能に結合されている。1つの提案された実施態様によれば、スライダ/直線レールアセンブリは、THK Co. Ltd., Tokyo, Japanから市販されているタイプのケージドボールリニアモーションガイド(caged-ball linear motion guide)である。

10

【0099】

図20Aおよび図20Bは、図20に示されるそれぞれの破線の矩形20Aおよび20B内のハイブリッドツールアセンブリのそれぞれの部分の拡大図を表す図である。図20Aに示すように、移動ブリッジ300は、ブロックコネクタ310に埋め込まれたスライダ328によって、水平直線レール312にスライド可能に結合される。図20Bに示すように、移動ブリッジ300は、ブロックコネクタ316に埋め込まれたスライダ330によって、水平直線レール314にスライド可能に結合される。

【0100】

この開示のために、X方向が水平直線レール312および314に平行であり、Y方向が垂直直線レール320および322に平行であり、Z方向がX、Y方向に垂直であるX-Y-Z座標系が採用される。超音波トランスデューサアレイ72が、Z方向の並進運動のために、キャリッジ70にスライド可能に結合される。キャリッジ70は、Y方向の並進運動のために、垂直直線レール320、322にスライド可能に結合される。移動ブリッジ300は、X方向の並進運動のために、水平直線レール312、314にスライド可能に結合される。

20

【0101】

図20に示すアレイ支持アセンブリは、1対のリードスクリュー302および304をさらに備える。リードスクリュー302は、ブロックコネクタ316内に組み込まれたリードスクリューナット（図示せず）にねじ結合される（図20A参照）。リードスクリュー304は、キャリッジ70に固定的に結合されたリードスクリューナット338にねじ結合される（図20B参照）。リードスクリュー302の一端が、ベアリング308の内部に回転可能に装着され、他端が、X軸運動モータ306の出力シャフトに接続される。ベアリング308とX軸運動モータ306の両方が、ウィンドウフレーム76に取り付けられている。代替の実施形態において、水平直線レール312、314、ベアリング308およびX軸運動モータ306は、エンドエフェクタ224に直接取り付けられたフレームに取り付けられてもよい（この場合、IRTスキャナ214は取り外される）。加えて、リードスクリュー304の一端が、ベアリング326の内部に回転可能に装着され、他端が、Y軸運動モータ324の出力シャフトに接続される。ベアリング326およびY軸運動モータ324の両方が、移動ブリッジ300の構成要素である。移動ブリッジ300は、リードスクリュー302が回転する度に、水平直線レール312、314に沿ってスライドする。キャリッジ70は、リードスクリュー304が回転する度に、垂直直線レール320、322に沿ってスライドする。並進運動の方向は、リードスクリューの回転方向に依存する。このように、超音波トランスデューサアレイ72は、超音波検査手順の間、湾曲したワークピース202の表面にわたってXおよびY方向にスキャンされ得る。

30

40

【0102】

アレイ支持アセンブリは、1対のドラッグチェーンケーブルキャリア174および176をさらに備える。ドラッグチェーンケーブルキャリア174は、Y軸運動モータ324に接続する電気ケーブル（図示せず）を担持し、ケーブルキャリア176は、超音波トランスデューサアレイ72に接続する電気ケーブル（図示せず）を担持する。図20Bに最

50

もよく示されているように、ケーブルキャリア 176 の一端が、キャリッジ 70 に巡回可能に結合され、キャリッジ 70 と直列になって垂直に並進運動する。ケーブルキャリア 176 の他端が、図 20 A には示されていないデバイスに巡回可能に結合され、移動ブリッジ 300 と直列になって水平に並進運動する。同様に、ケーブルキャリア 174 の一端が、図 20 A には示されていない同じデバイスに巡回可能に結合され、移動ブリッジ 300 と直列になって水平に並進運動する。ケーブルキャリア 174 の他端は、並進運動しない。

【0103】

図 20 B に最もよく示されているように、アレイ支持アセンブリは、キャリッジ 70 に並進可能かつ回転可能に結合された受動 2 軸ジンバル 71 を、さらに備える。超音波トランスデューサアレイ 72 は、受動 2 軸ジンバル 71 に取り付けられており、これにより超音波トランスデューサアレイ 72 は、X 軸および Y 軸の周りの角度位置を調整することができる。アレイ支持アセンブリは、Z 方向と平行に配置された第 5 の直線レール 334 と、受動 2 軸ジンバル 71 が Z 方向に並進運動することを可能にするスライダ 336 とを、さらに備える。スライダ 336 は、キャリッジ 70 に取り付けられている。直線レール 334 は、受動 2 軸ジンバル 71 と共に移動する。これらの特徴は、超音波トランスデューサアレイ 72 が、Z 軸に沿ったその位置、ならびに X 軸および Y 軸の周りのそのピッチ角およびヨー角を調整することによって、曲面との接触中にそのロケーションを自己修正することを、可能にする。受動 2 軸ジンバル 71 は、Z 方向の追従性を提供するために、バネで留められている。ジンバルに取り付けられた超音波トランスデューサアレイ 72 の Z 軸運動を駆動するモータはない。

10

20

【0104】

前述したように、本明細書に開示されたロボット式 NDI 可動プラットフォームおよび伸長リーチアームを有する他のロボット装置の動作は、エンドエフェクタ 224 をワークピースに対して安定させる手段を設けることによって向上させることができる。図 21 の正面図を参照すると、図 20 に示す実施形態で使用される安定化手段は、4 つの空気圧スタビライザ 34a ~ 34d を含む。各スタビライザは、空気圧スタビライザ 34a ~ 34d が伸長されて接触したときに、静止摩擦を提供し、湾曲したワークピース 202 の表面を傷つけないようにするために、好ましくはエラストマー材料から作られているコンタクタ 154 を備える。

30

【0105】

図 20 および図 22 に部分的に示すように、各空気圧スタビライザ 34a ~ 34d は、それぞれのソレノイドバルブ 164 および可撓性ホース（図示せず）を介して圧力調整器 162 に動作的に結合された空気圧シリンダ 155 を備える。圧力調整器 162 は、配管 166、主空気供給源 168、および図示しないアンピリカルケーブルを介して供給される圧縮空気の圧力を調整（すなわち低減）する。空気圧シリンダ 155 は、好ましくは、複動式であり、伸長ストロークまたは格納ストロークのいずれかを生成するためにピストンを互いに反対の方向のうちいずれか一方の方向に移動させることができることを意味する。

40

【0106】

具体的には、各空気圧シリンダ 155 は、ベースシリンダ 158 と、ベースシリンダ 158 の内部でスライド可能なピストン（図 22 では図示せず）と、ピストンに接続されてベースシリンダ 158 の外側に延びるピストンロッド 157 とを備えている。コンタクタ 154 は、ピストンロッド 157 の遠位端に取り付けられている。ソレノイドバルブ 164 の状態は、安定化モードにおいて、ソレノイドバルブ 164 を開くことによってピストンロッド 157 の伸長を作動させ、それにより、コンタクタ 154 が、図 22 に示す格納された位置から、コンタクタ 154 が全てワークピース表面に接触する伸長した位置に移動するように構成されたコンピュータによって制御される。

【0107】

空気圧スタビライザ 34a ~ 34d は、4 つ全てが特定の圧力で表面に接触するように

50

、プロセスの開始時に協調的であり、超音波トランスデューサアレイ72が表面上を移動している間、アセンブリが跳ね返るのを防ぐために、所定の位置にロックする。したがって、各空気圧スタビライザ34a~34dは、ベースシリンダ158に取り付けられ、ピストンロッド157をロックして、動かないようにするように構成されたロッドロック160を、さらに備える。1つの提案された実施態様によれば、ロッドロック160は、蓄積エネルギーの解放時にピストンロッドが動かないようにする(すなわち、ロッドロック160は、動力損失または圧力損失の間、負荷を保持する)。ロッドロック160は、両方向にクランプするための複動式ロック機能を有する。

【0108】

図23は、ロッドロック機構160を有する空気圧シリンダ155を用いて伸長リーチアームの遠位端を安定させるシステムのいくつかの構成要素を示す図である。ロボット制御コンピュータ80は、レーザ距離計236, 238および240から距離測定データを受信し、次に自動装置の様々なモータを制御して、エンドエフェクタ224をワークピース上の関心領域に対して所望のロケーションに配置するように構成されている。ロボット制御コンピュータ80はまた、所望のロケーションに達したときに、空気圧スタビライザ34a~34dを、システムオペレータからの安定化コマンドに応答して、または自己生成安定化制御信号に応答して、一致して伸長させるように構成される。ロボット制御コンピュータ80は、コンタクトがすべてワークピース表面に接触したときに、システムオペレータからのロックコマンドに応答して、または自己生成ロック制御信号に応答して、ロッドロック160にピストンロッド157を所定の位置にロックさせるように、さらに構成される。

10

20

【0109】

ロボット制御コンピュータ80は、すべての空気圧スタビライザ34a~34dの状態を制御するが、図23は、簡略化のために1つの空気圧スタビライザの構成要素のみを示している。複動式空気圧シリンダ158は、圧縮空気をピストン156の後方の内部容積186(ピストンロッド157の伸長ストロークのための)またはピストン156の前方の内部容積188(ピストンロッド157の格納ストロークのための)のいずれかに入れることを可能にする2つのポートを有する。どちらの内部容積が、主空気供給源168からの圧縮空気で満たされるかは、シリンダバルブ178の状態に依存し、その状態は、ロボット制御コンピュータ80によって制御される。シリンダバルブ178は、ピストンロッド157の伸長および格納中、作動していなければならない。また、方向変化が必要になるまで各ストロークの終わりに作動する必要がある。空気圧システムは、ピストン運動中に作動されなければならないロックバルブ169をさらに備える。ロックバルブ169が作動されていないとき、ロッドロック160が係合される。

30

【0110】

超音波トランスデューサアレイ72がIRTスキャナ214に可動的に結合されている図22に示す装置と対照的に、超音波トランスデューサアレイ72は、IRTスキャナ214が取り外された後でエンドエフェクタ224に直接的に結合させることができる。図24は、超音波トランスデューサアレイ72およびスタビライザ50をエンドエフェクタ224に結合するために使用される機械的カップリングを示すブロック図である。説明のために、エンドエフェクタ224は、旋回可能なカップリング36によって自動装置のアームの遠位端234に結合されていると仮定されるが、これは、エンドエフェクタは遠位端234に対して旋回可能であることを意味する。代替の実施形態において、エンドエフェクタ224は、遠位端234に固定的に結合されることができる。この例示的な実施形態において、超音波トランスデューサアレイ72は、ジンバル71に取り付けられ、このジンバル71は、キャリッジ70に取り付けられ、キャリッジ70は、変位可能なカップリング69によってエンドエフェクタ224に結合されており、つまり、キャリッジ70は、エンドエフェクタに対して(例えば、XY平面内で)変位可能である。さらに、スタビライザ50は、固定されたカップリング68によってエンドエフェクタ224に結合される。これらの実施形態によれば、スタビライザ50は、エンドエフェクタ224に固定

40

50

的に結合された静止部 5 2 と、並進可能なカップリング 5 8 によって静止部 5 2 に結合されている可動部 5 6 とを備え、つまり、可動部 5 6 は、静止部 5 2 に対して並進可能である。図 2 0 に示す例示的な実施形態において、ベースシリンダ 1 5 8 とロッドロック 1 6 0 は、スタビライザの静止部 5 2 を形成するように固定的に結合され、ピストンロッド 1 5 7 は、スタビライザの可動部 5 6 である。

【 0 1 1 1 】

図 2 5 は、図 2 0 B に示す超音波トランスデューサアレイ 7 2 の相対ロケーション（例えば、局所測位システムを使用して取得された初期ロケーションに対する）を追跡するためにロータリエンコーダを使用する制御システムの構成要素を示すブロック図である。制御システムは、モーション制御アプリケーションソフトウェア 3 5 2 および N D I スキャンアプリケーションソフトウェア 3 5 4 でプログラムされた地面上型の制御コンピュータ 3 5 0 を備える。制御コンピュータ 3 5 0 は、（水平直線レール 3 1 2 , 3 1 4 に沿って移動ブリッジ 3 0 0 の並進運動を駆動する）X 軸運動モータ 3 6 0 と、（移動ブリッジ 3 0 0 の垂直直線レール 3 2 0 , 3 2 2 に沿ってキャリッジ 7 0 の並進運動を駆動する）Y 軸運動モータ 3 6 4 とに接続されている。1 つの提案された実施態様によれば、X 軸運動モータ 3 6 0 および Y 軸運動モータ 3 6 4 は、モーション制御のために外部エンコーダからのフィードバックを必要としないステッピングモータである。制御コンピュータ 3 5 0 は、モータを制御するためのそれぞれのソフトウェアモジュールを含むモーション制御アプリケーションソフトウェア 3 5 2 でプログラムされた汎用コンピュータを含むことができる。モーション制御アプリケーション 3 5 2 は、それぞれのロータリエンコーダ、すなわち X 軸ロータリエンコーダ 3 6 2 および Y 軸ロータリエンコーダ 3 6 6 からの回転フィードバックに基づいて、モータの動作を制御する。エンコーダからの回転カウントが、線形測定値に変換される。

10

20

【 0 1 1 2 】

制御コンピュータ 3 5 0 は、電子機器ボックス（図 2 5 には図示せず）を介してモータおよびエンコーダに接続されている。電子機器ボックスは、システム電源を含み、すべてのスキャナ制御接続部を統合し、制御コンピュータ 3 5 0 と、モータに接続するそれぞれの可撓性電気ケーブルとの間のインターフェースを提供する。X 軸ロータリエンコーダ 3 6 2 および Y 軸ロータリエンコーダ 3 6 6 からの符号化データは、超音波パルサ/レシーバ 3 5 6 に供給される。

30

【 0 1 1 3 】

パルサ/レシーバ 3 5 6 は、エンコーダパルスを N D I スキャンアプリケーション 3 5 4 に送る。N D I スキャンアプリケーション 3 5 4 は、エンコーダ値を使用して、スキャンデータを適切なロケーションに配置する。

【 0 1 1 4 】

制御コンピュータ 3 5 0 は、超音波パルサ/レシーバ 3 5 6 を制御する超音波データ取得および表示ソフトウェアをホストする。超音波パルサ/レシーバ 3 5 6 は、超音波トランスデューサアレイ 7 2 にパルスを送信し、超音波トランスデューサアレイ 7 2 からのリターン信号を受信する。N D I スキャンアプリケーションソフトウェア 3 5 4 が、スキャンデータおよびデータの表示のすべての詳細を制御する。

40

【 0 1 1 5 】

図 2 6 は、代替の実施形態による、固定されたカップリング 7 8 によってエンドエフェクタ 2 2 4 に結合されたスタビライザのいくつかの構成要素を示すブロック図である。この実施例では、スタビライザは、エンドエフェクタ 2 2 4 に固定的に結合された外側チューブ 8 2 と、外側チューブ 8 2 の内側に入れ子にされた内側シャフト 8 6 と、内側シャフト 8 6 の遠位端に取り付けられたコンタクタ 8 8 と、コンタクタ 8 8 がワークピースの表面に接触するまで内側シャフト 8 6 を伸長させるバネ力を働かせるバネ 8 4 とを備える。このタイプのバネ式スタビライザは、制御システムによる作動を必要としない。いくつかの実施形態では、ロック機構を有することが有用であり得る。

【 0 1 1 6 】

50

図 27 は、さらなる実施形態による、アーム 232 の遠位端に旋回可能に結合された空気圧で安定化されたエンドエフェクタ 224 を有する地面上型のロボット式 NDI 可動プラットフォームの側面図を表す図である。この例では、フレーム 76 が、エンドエフェクタ 224 に取り付けられている。超音波トランスデューサアレイ 72 が、図 20B を参照して前述したのと同じ方法で、キャリッジ 70 に可動的に結合される。キャリッジ 70 は、図 20、図 20A および図 21 を参照して前述したのと同じ方法で、フレーム 76 に変位可能に結合される（乱雑さを避けるために、リードスクリュー 304 のみが、図 27 に示されている）。図 27 に示す実施形態と、図 20 に示す実施形態との間の 1 つの差異は、4 つの空気圧スタビライザ（図 27 には、2 つの空気圧スタビライザ 180a および 180b のみが、示されている）が各々、ピストンロッド 157 の遠位端に旋回可能に結合された旋回可能な接触パッド 182 を備えることである。各旋回可能な接触パッド 182 は、4 つの空気圧スタビライザ（空気圧スタビライザ 180a および 180b ならびに図 27 には示されていない 2 つの追加の空気圧スタビライザを含む）が、表面に接触しているとき、静止摩擦を提供し、湾曲したワークピース 202 の表面を傷つけないようにするために、好ましくはエラストマー材料から作られている。この実施形態は、接触摩擦を使用して、横方向の運動の抵抗を提供するが、吸引および静電パッドを代わりに使用することができる（または、表面が強磁性である場合には、磁気でさえも）。

10

【0117】

伸長リーチロボット装置のエンドエフェクタに取り付けられたツールを安定させるためのシステムおよび方法が、様々な実施形態を参照して説明されてきたが、当業者であれば、本明細書の教示の範囲から逸脱することなく、様々な変更が可能であり、その要素の代わりに等価物を使用することができることが、理解されるであろう。さらに、本明細書の教示を、その範囲から逸脱することなく、特定の状況に適合させるために、多くの修正がなされてもよい。したがって、特許請求の範囲は、本明細書に開示される特定の実施形態に限定されない、ということが意図される。

20

【0118】

特許請求の範囲で使用される場合、用語「ロケーション」は、3次元座標系における位置およびその座標系に関する向きを含む。特許請求の範囲で使用される場合、用語「に結合される」は、2つの構成要素を互いに直接に結合すること、および介在する構成要素によって2つの構成要素を結合することを含むと、広く解釈されるべきである（例えば、第1のツールは、エンドエフェクタへの取り付けによって、またはエンドエフェクタに取り付けられた第2のツールもしくは他の介在する構成要素への結合によって、エンドエフェクタに結合させることができる）。特許請求の範囲で使用される場合、用語「複数」は、3つ以上を意味する。

30

【0119】

本明細書に記載の方法は、記憶デバイスおよび/またはメモリデバイスを含むが、これに限定されない非一過性の有形のコンピュータ可読記憶媒体に具体化された実行可能な命令として符号化することができる。このような命令は、処理システムまたは計算システムによって実行されると、システムデバイスに、本明細書に記載された方法の少なくとも一部を実行させる。

40

【0120】

さらに、本開示は、以下の条項による実施形態を含む。

【0121】

条項 1 .

遠位端を有するアームと、

アームの遠位端に結合されたエンドエフェクタと、

エンドエフェクタに結合された第1のツールと、

静止部と可動部を備えるスタビライザであって、静止部は、エンドエフェクタに対して固定されたロケーションを有し、可動部は、静止部に並進可能に結合され、可動部の遠位端に配置されたコンタクトを備える、スタビライザと、

50

を備える自動装置。

【 0 1 2 2 】

条項 2 .

スタビライザが、パネを備える、条項 1 に記載の自動装置。

【 0 1 2 3 】

条項 3 .

静止部が、外側チューブを含み、可動部が、外側チューブの内部にスライド可能に配置された内側シャフトをさらに含み、コンタクタが、内側シャフトの遠位端に取り付けられており、パネが、コンタクタがエンドエフェクタからさらに遠ざかる方向に、内側シャフトを並進移動させる、条項 2 に記載の自動装置。

10

【 0 1 2 4 】

条項 4 .

静止部が、ベースシリンダを含み、可動部が、ベースシリンダの内部でスライド可能なピストンと、ピストンに接続されたピストンロッドとをさらに含み、コンタクタが、ピストンロッドの遠位端に取り付けられている、条項 1 から 3 のいずれかに記載の自動装置。

【 0 1 2 5 】

条項 5 .

静止部が、ベースシリンダに取り付けられ、ピストンロッドをロックして、動かないようにするように構成されたロッドロックをさらに含む、条項 4 に記載の自動装置。

【 0 1 2 6 】

20

条項 6 .

第 1 のツールに可動的に結合された第 2 のツールをさらに備え、第 1 のツールが、エンドエフェクタに固定的に結合され、スタビライザの静止部が、第 1 のツールに固定的に結合されている、条項 1 から 5 のいずれかに記載の自動装置。

【 0 1 2 7 】

条項 7 .

第 1 のツールが、赤外線サーモグラフィスキャナであり、第 2 のツールが、超音波トランスデューサアレイである、条項 6 に記載の自動装置。

【 0 1 2 8 】

条項 8 .

30

第 1 のツールが、エンドエフェクタに可動的に結合され、スタビライザの静止部が、エンドエフェクタに固定的に結合されている、条項 1 から 7 のいずれかに記載の自動装置。

【 0 1 2 9 】

条項 9 .

第 1 のツールが、超音波トランスデューサアレイである、条項 8 に記載の自動装置。

【 0 1 3 0 】

条項 10 .

エンドエフェクタに対してそれぞれの固定されたロケーションに、第 1 の方向と平行に配置された第 1 および第 2 のレールと、

第 1 の方向に垂直な第 2 の方向と平行に配置され、第 1 の方向に移動するように第 1 および第 2 のレールに並進可能に結合された第 3 および第 4 のレールと、

40

第 2 の方向に移動するように第 3 および第 4 のレールに並進可能に結合されたキャリッジと、

キャリッジに取り付けられ、第 1 および第 2 の方向に垂直に配置された第 5 のレールと

、第 3 の方向に移動するように第 5 のレールに並進可能に結合されたジンバルと、

をさらに備え、

超音波トランスデューサアレイが、ジンバルに取り付けられている、条項 9 に記載の自動装置。

【 0 1 3 1 】

50

条項 1 1 .

コンタクタが、旋回可能な接触パッドを含む、条項 1 から 1 0 のいずれかに記載の自動装置。

【 0 1 3 2 】

条項 1 2 .

コンタクタが、エラストマー材料で作られている、条項 1 から 1 1 のいずれかに記載の自動装置。

【 0 1 3 3 】

条項 1 3 .

条項 1 から 1 2 のいずれかに記載の構造を有するタイプの複数のスタビライザをさらに備える、条項 1 から 1 2 のいずれかに記載の自動装置。

【 0 1 3 4 】

条項 1 4 .

メンテナンス作業を実行するための方法であって、

(a) ロボット式可動プラットフォームを、アームの遠位端のツールが目標物の表面上の第 1 の関心領域に届くことができる第 1 のロケーションに移動させることと、

(b) エンドエフェクタが第 1 の関心領域に対して適切なロケーションにあるように、ロボット式可動プラットフォームを構成することと、

(c) アームに結合されている複数のスタビライザのコンタクタを、目標物の表面と接触するように伸長させることと、

(d) スタビライザのコンタクタを所定の位置にロックして、エンドエフェクタを第 1 の関心領域に対して適切なロケーションに維持することと、

(e) エンドエフェクタが第 1 の関心領域に対して適切なロケーションに維持されている間に、ツールを使用して第 1 のメンテナンス作業を実行することと、

を含む方法。

【 0 1 3 5 】

条項 1 5 .

(f) メンテナンス作業の完了時に、スタビライザのコンタクタをロック解除することと、

(g) スタビライザのコンタクタを格納することと、

(h) ロボット式可動プラットフォームを、ツールが目標物の表面上の第 2 の関心領域に届くことができる第 2 のロケーションに移動させることと、

(i) エンドエフェクタが第 2 の関心領域に対して適切なロケーションにあるように、ロボット式可動プラットフォームを構成することと、

(j) 複数のスタビライザのコンタクタを、目標物の表面と接触するように伸長させることと、

(k) スタビライザのコンタクタを所定の位置にロックして、エンドエフェクタを第 2 の関心領域に対して適切なロケーションに維持することと、

(l) エンドエフェクタが第 2 の関心領域に対して適切なロケーションに維持されている間に、ツールを使用して第 2 のメンテナンス作業を実行することと、

をさらに含む、条項 1 4 に記載の方法。

【 0 1 3 6 】

条項 1 6 .

構成することが、エンドエフェクタの軸が関心領域において目標物の表面に垂直になるように、エンドエフェクタを回転させることを含む、条項 1 4 または 1 5 に記載の方法。

【 0 1 3 7 】

条項 1 7 .

構成することが、エンドエフェクタが目標オフセット距離だけ目標物の表面から離されるように、エンドエフェクタを変位させることを含む、条項 1 4 から 1 6 のいずれかに記載の方法。

10

20

30

40

50

【 0 1 3 8 】

条項 1 8 .

メンテナンス作業を実行するための方法であって、

(a) 自動装置のアームの遠位端に結合されているエンドエフェクタに、ツールを結合することと、

(b) 自動装置を作動させて、目標物の表面上の関心領域に対してあるロケーションにツールを配置するアラインメント作業を実行することと、

(c) ツールがそのロケーションにある間に、アームの遠位端に結合された複数のスタビライザのコンタクタを、目標物の表面と接触するように伸長させることと、

(d) ツールを作動させて、コンタクタが目標物の表面と接触している間にメンテナンス作業を実行することと、

を含む方法。

【 0 1 3 9 】

条項 1 9 .

メンテナンス作業が、目標物の一部の非破壊検査である、条項 1 8 に記載の方法。

【 0 1 4 0 】

条項 2 0 .

ツールを作動させる前に、スタビライザのコンタクタが目標物の表面と接触している間に、スタビライザのコンタクタを所定の位置にロックすることを、さらに含む、条項 1 8 または 1 9 に記載の方法。

【 0 1 4 1 】

条項 2 1 .

車輪を備えるベースプラットフォームと、

ベースプラットフォームに可動的に結合され、遠位端を有するアームと、

アームの遠位端に旋回可能に結合されたエンドエフェクタと、

エンドエフェクタに結合されたツールと、

ツールまたはエンドエフェクタに結合され、ロッドと、ロッドの遠位端に配置されたコンタクタとを備えるスタビライザであって、ロッドは選択的に伸長可能または格納可能であり、コンタクタはエラストマー材料で作られている、スタビライザと、
を備える自動装置。

【 0 1 4 2 】

条項 2 2 .

スタビライザが、ロッドを伸長または格納させるように動作可能な空気圧シリンダを備える、条項 2 1 に記載の自動装置。

【 0 1 4 3 】

条項 2 3 .

スタビライザが、空気圧シリンダに取り付けられ、ロッドをロックして、動かないようにするように構成されたロッドロックをさらに備える、条項 2 2 に記載の自動装置。

【 0 1 4 4 】

条項 2 4 .

エンドエフェクタに対してそれぞれの固定されたロケーションに、第 1 の方向と平行に配置された第 1 および第 2 のレールと、

第 1 の方向に垂直な第 2 の方向と平行に配置され、第 1 の方向に移動するように第 1 および第 2 のレールに並進可能に結合された第 3 および第 4 のレールと、

第 2 の方向に移動するように第 3 および第 4 のレールに並進可能に結合されたキャリッジと、

キャリッジに取り付けられ、第 1 および第 2 の方向に垂直に配置された第 5 のレールと、

、

第 3 の方向に移動するように第 5 のレールに並進可能に結合されたジンバルと、

をさらに備える、条項 8 に記載の自動装置。

10

20

30

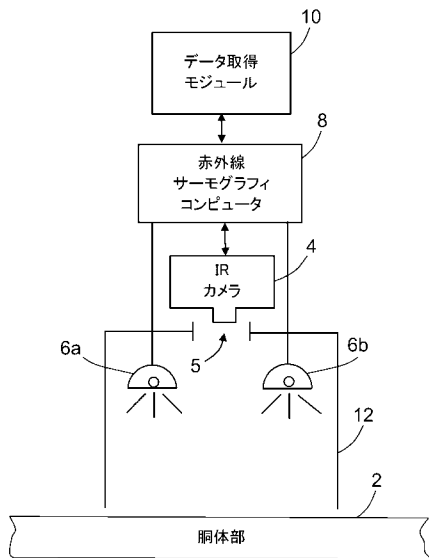
40

50

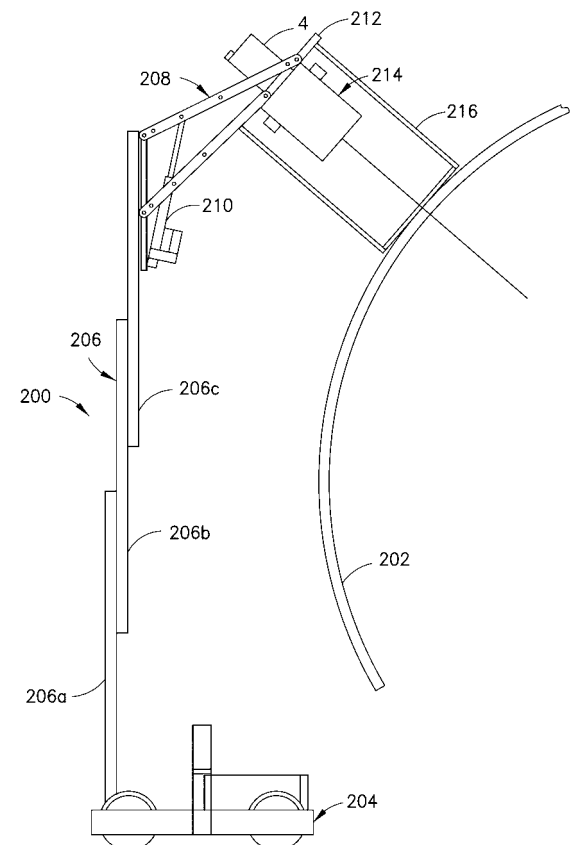
【 0 1 4 5 】

以下に記載される方法の請求項は、請求項の言葉が、それらのステップの一部または全部が実行される特定の順序を示す条件を明示的に指定または記載している場合を除いて、そこに列挙されたステップが、アルファベット順に（請求項における任意のアルファベットの順序は、前に列挙されたステップを参照する目的のためにのみ使用される）またはそれらが列挙される順序で実行されることを必要とすると、解釈されるべきではない。また、方法の請求項は、請求項の言葉が、そのような解釈を排除する条件を明示的に述べていない限り、2つ以上のステップの任意の部分が同時にまたは交互に実行されることを除外すると解釈されるべきでもない。

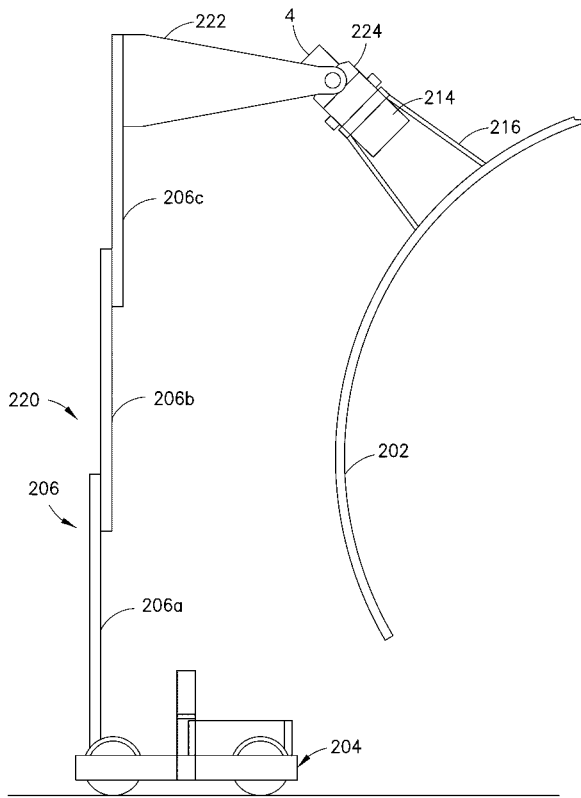
【 図 1 】



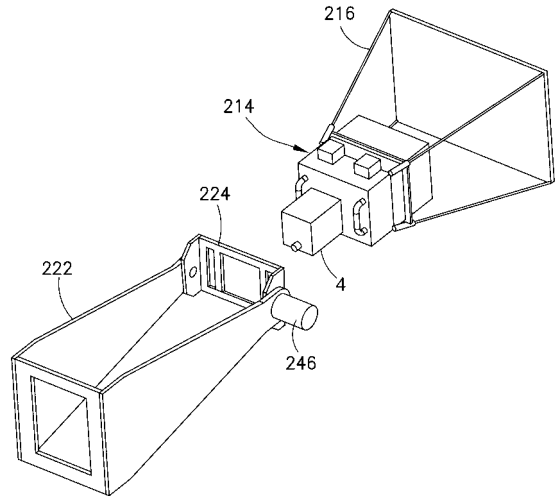
【 図 2 】



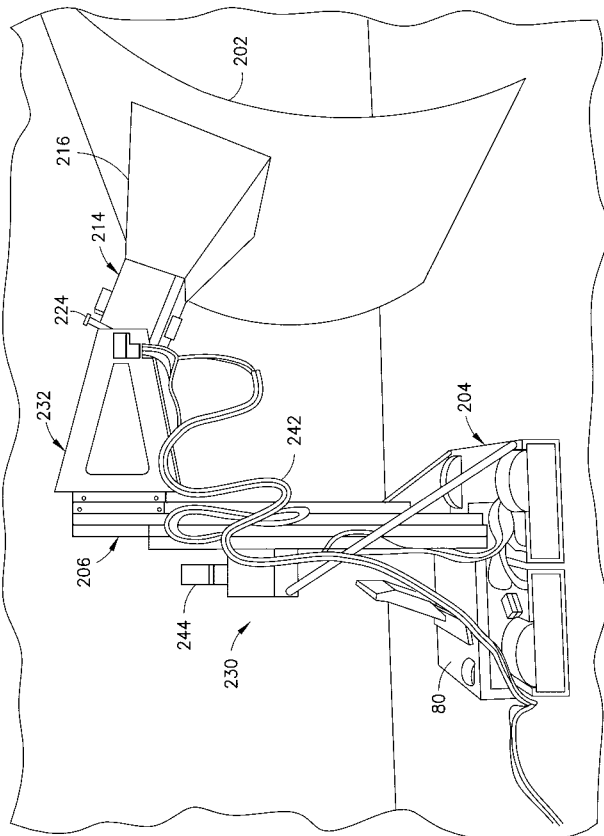
【 図 3 】



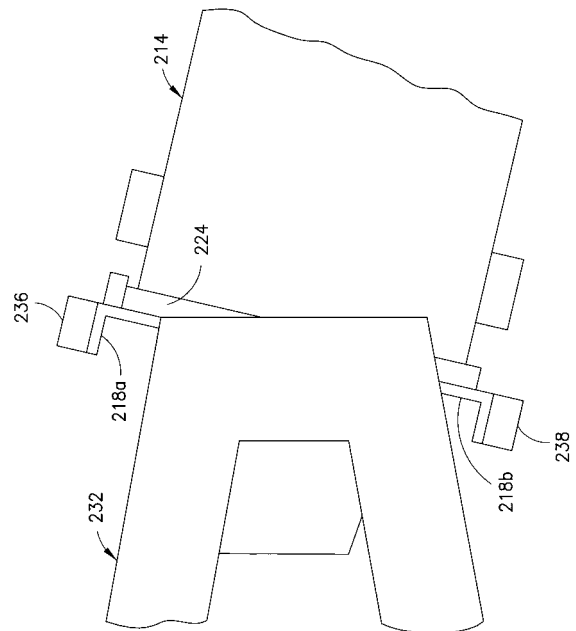
【 図 4 】



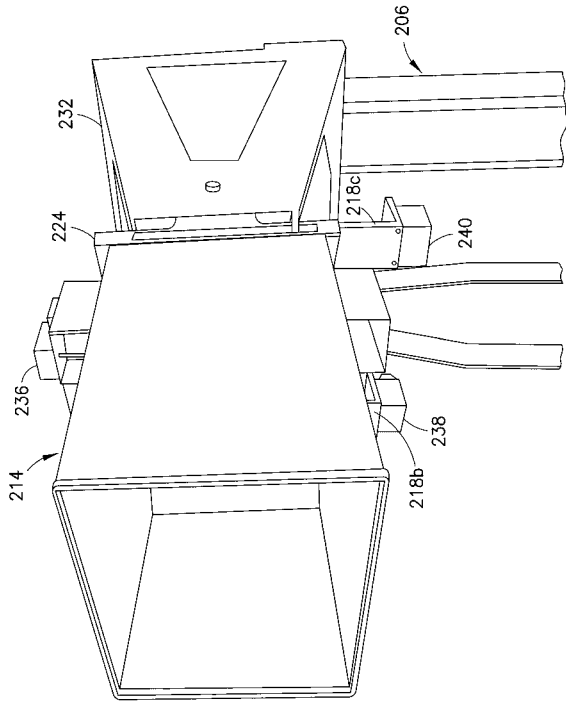
【 図 5 】



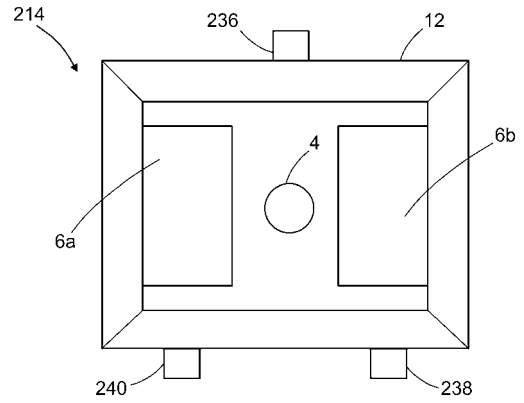
【 図 6 】



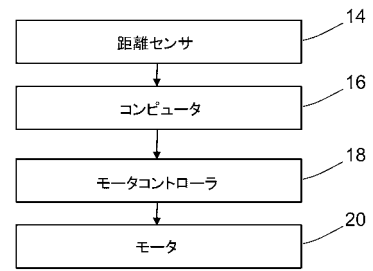
【 図 7 】



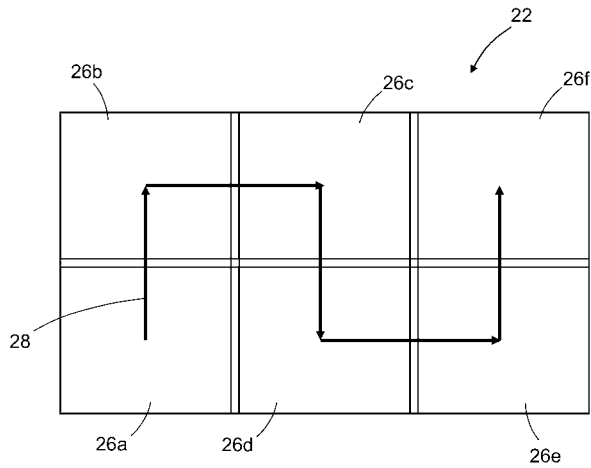
【 図 8 】



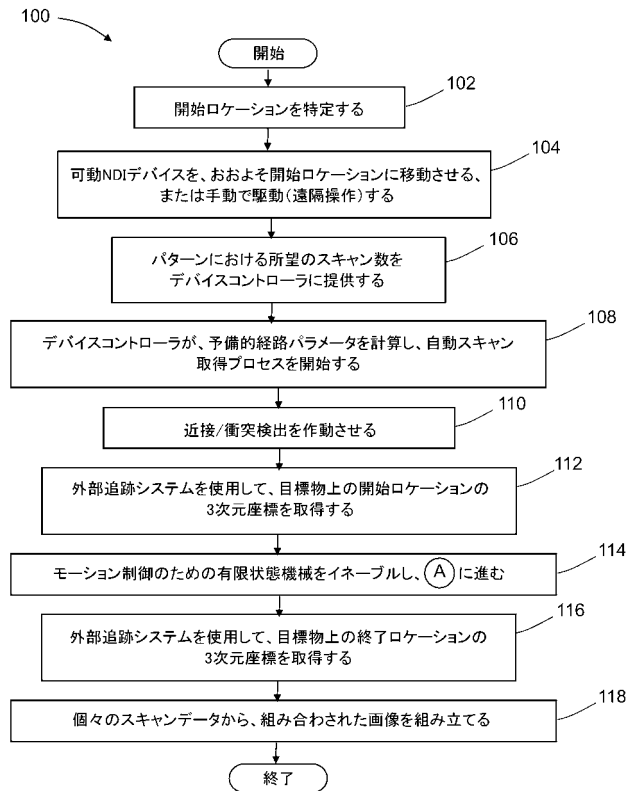
【 図 9 】



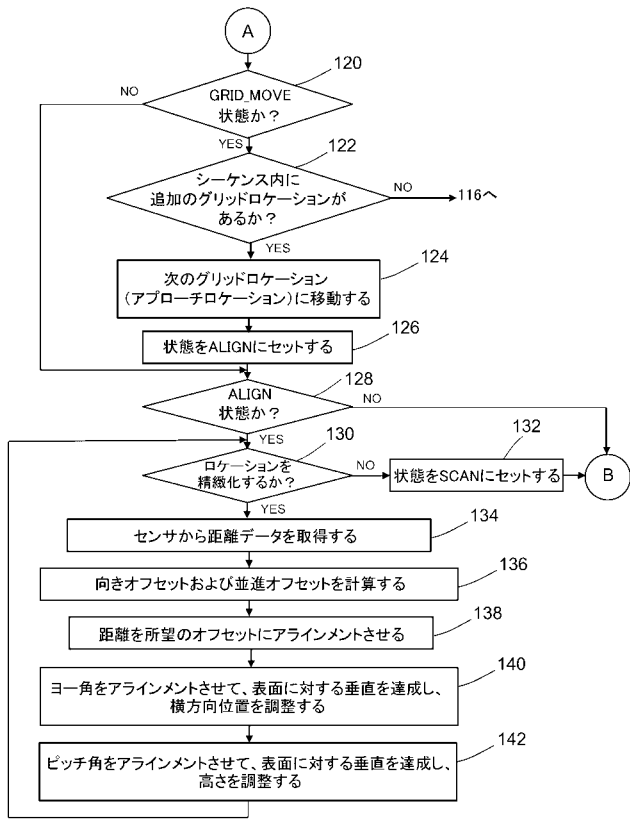
【 図 10 】



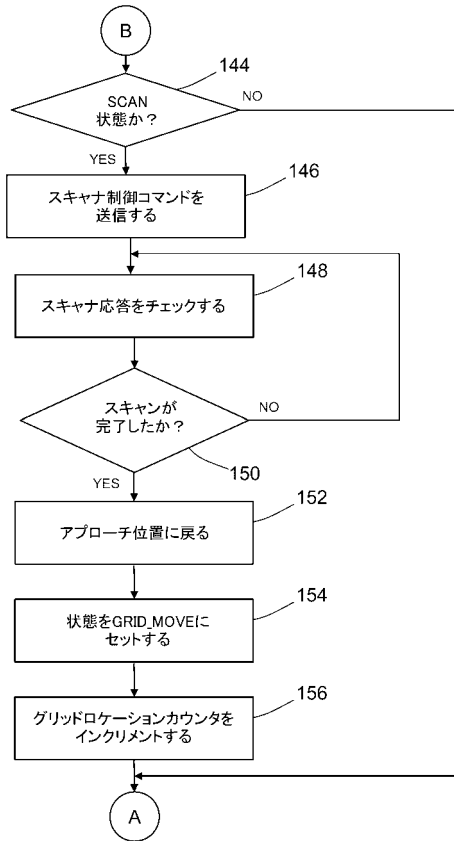
【 図 11 】



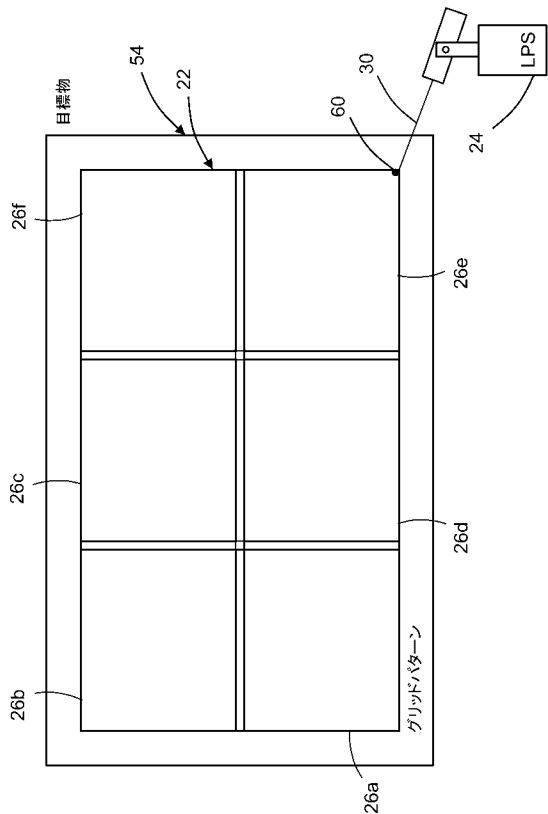
【図11A】



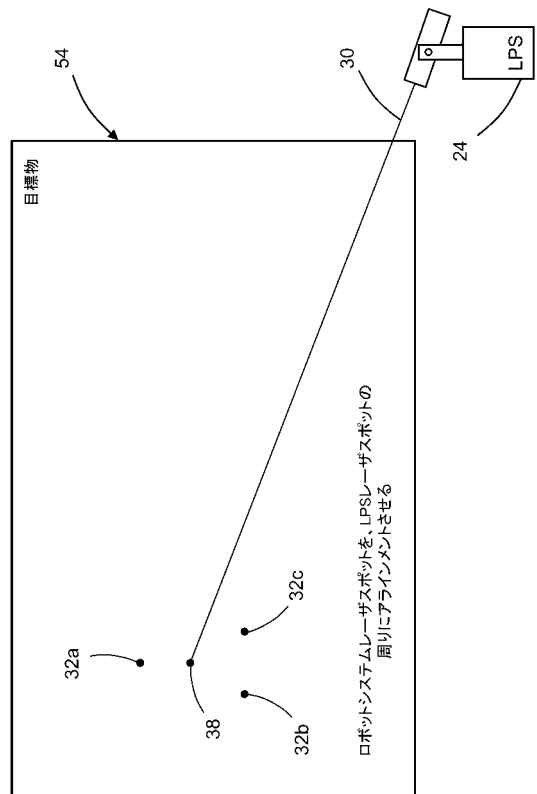
【図11B】



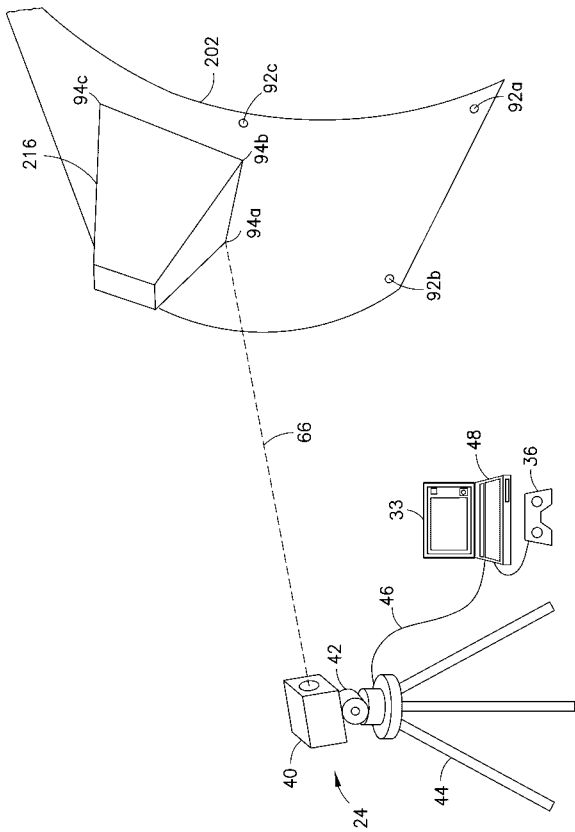
【図12】



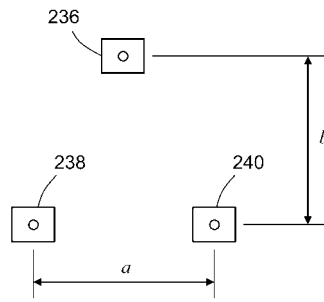
【図13】



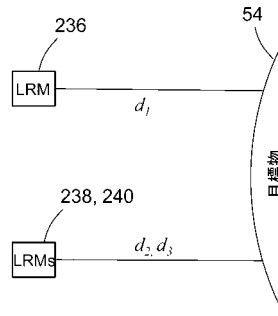
【 図 1 4 】



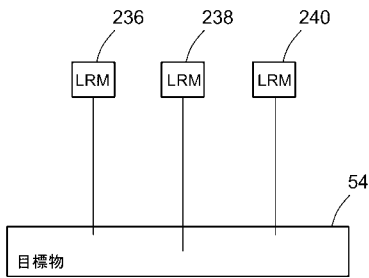
【 図 1 5 A 】



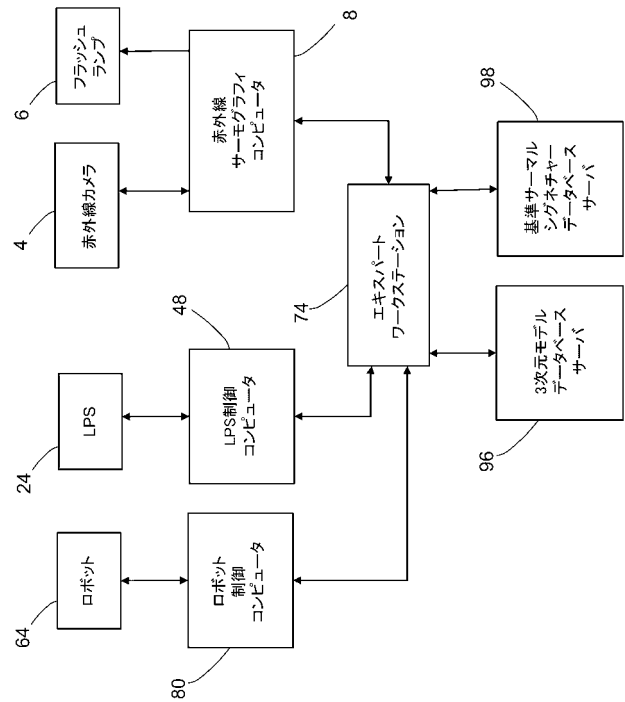
【 図 1 5 B 】



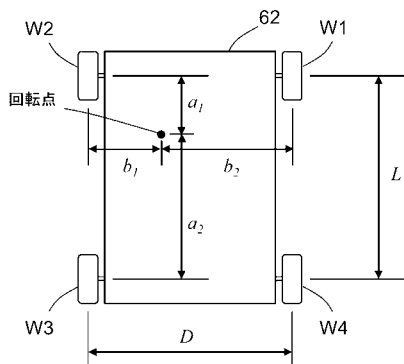
【 図 1 5 C 】



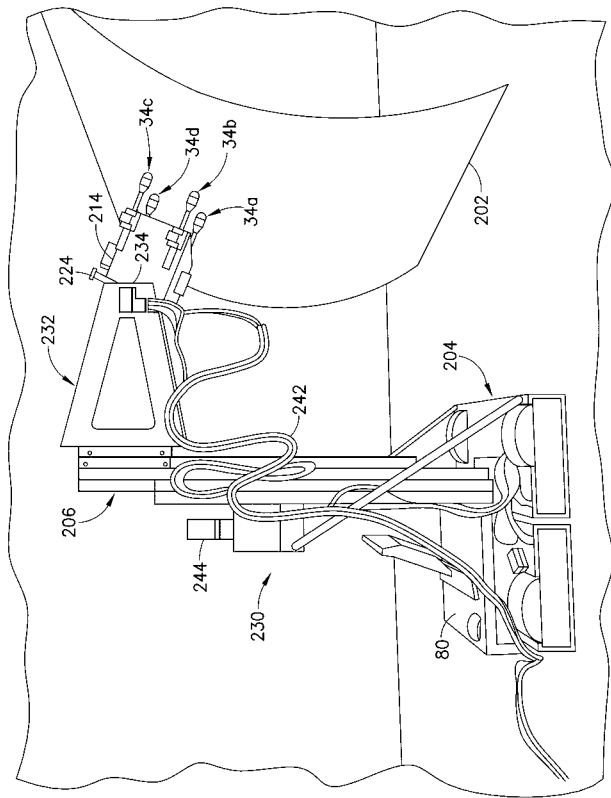
【 図 1 7 】



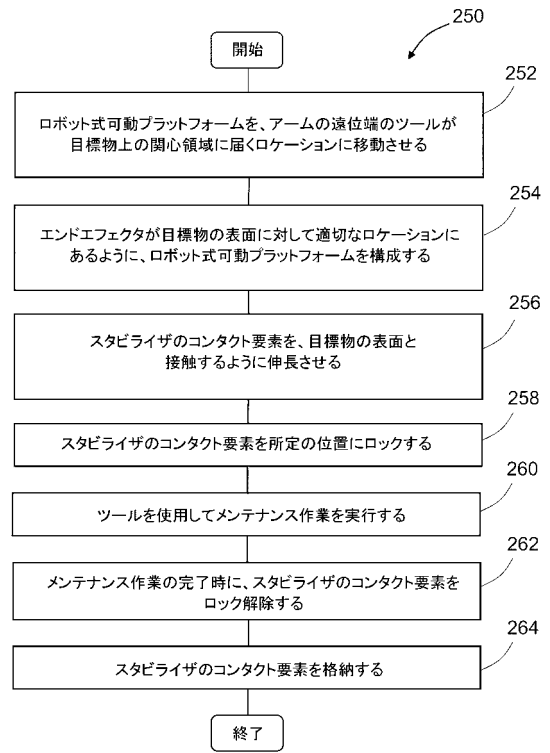
【 図 1 6 】



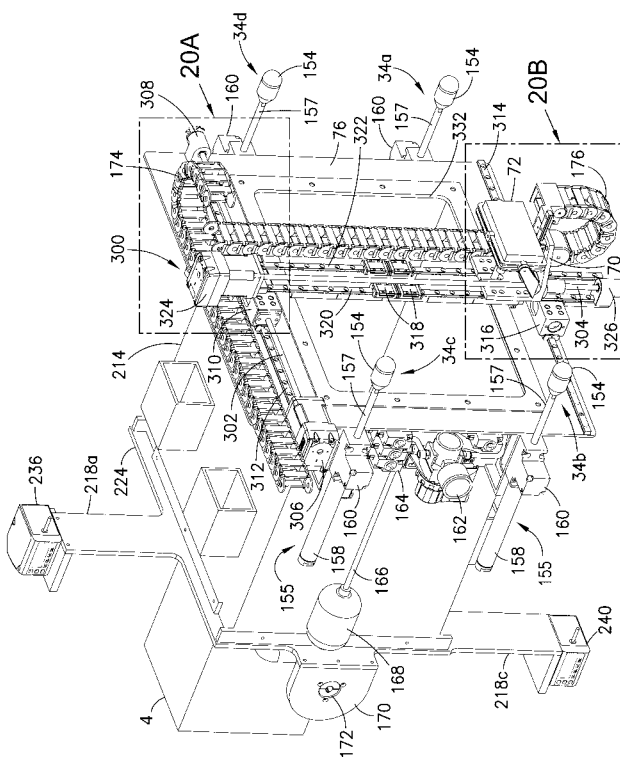
【 図 18 】



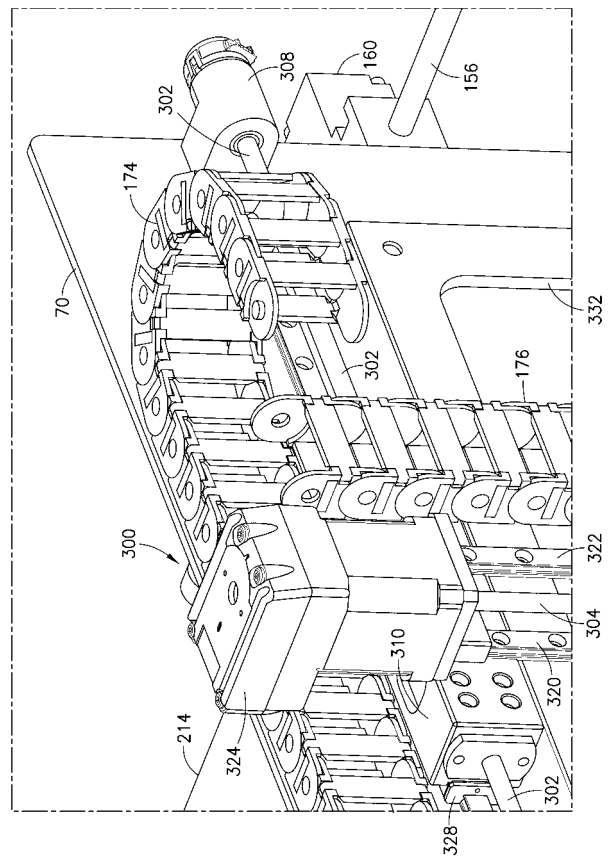
【 図 19 】



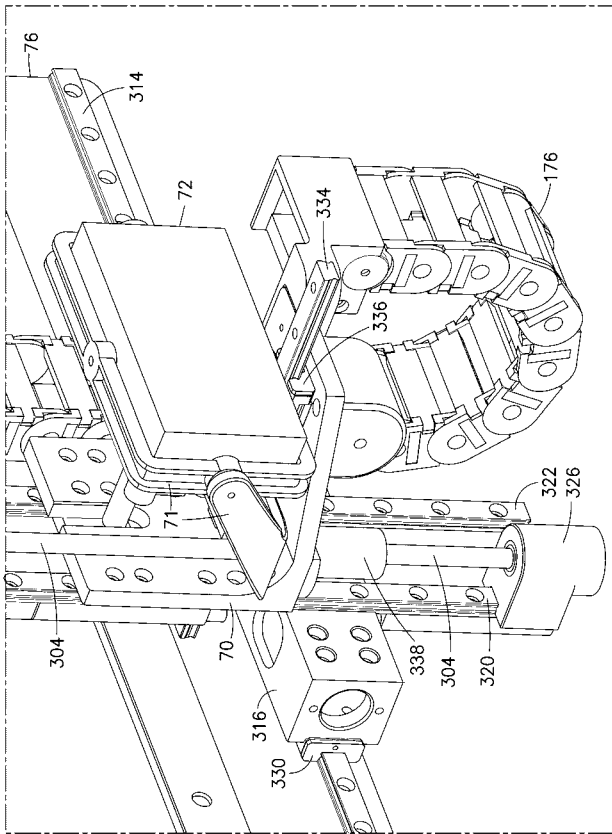
【 図 20 】



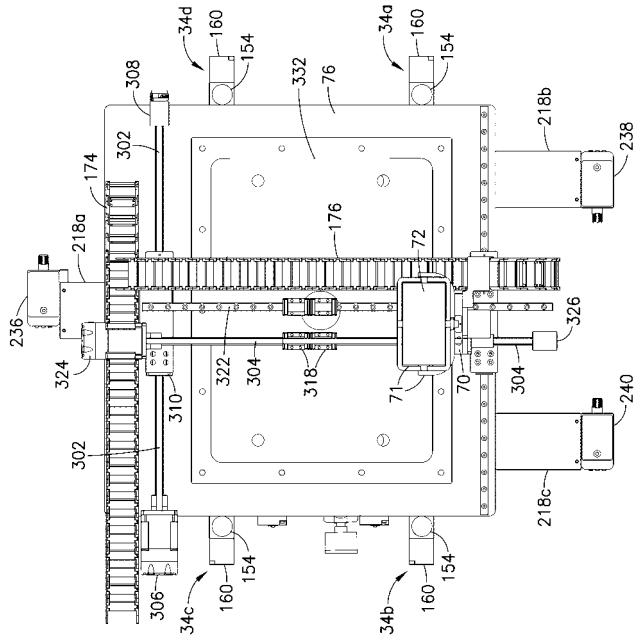
【 図 20 A 】



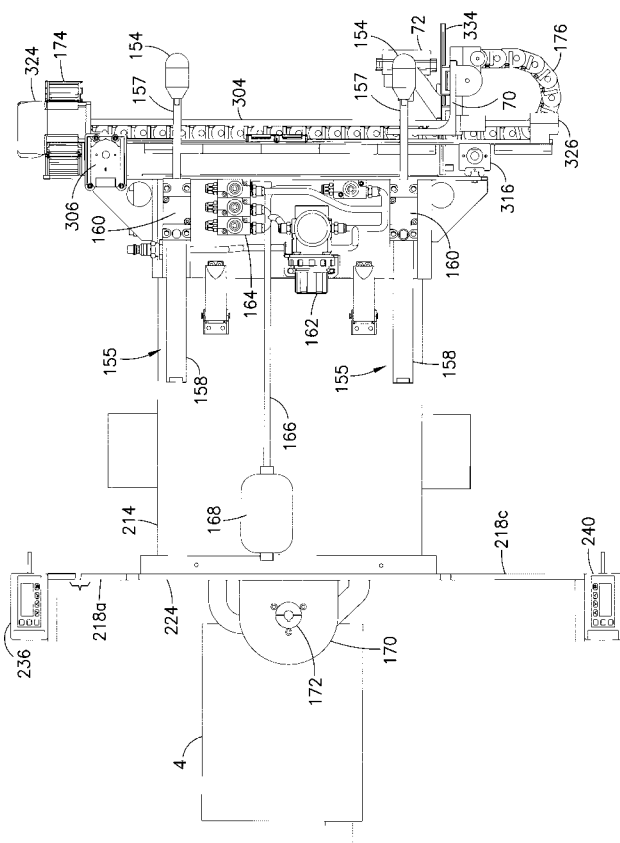
【図 20B】



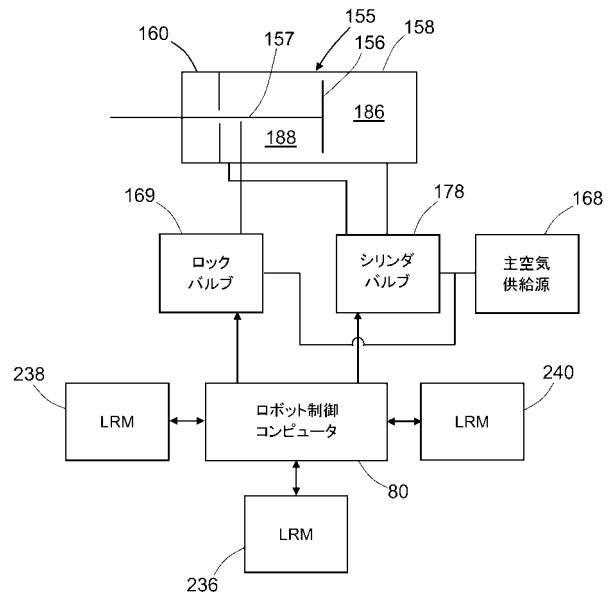
【図 21】



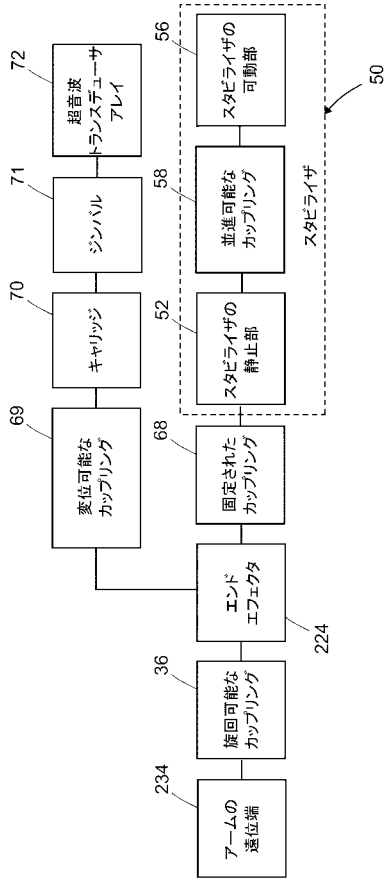
【図 22】



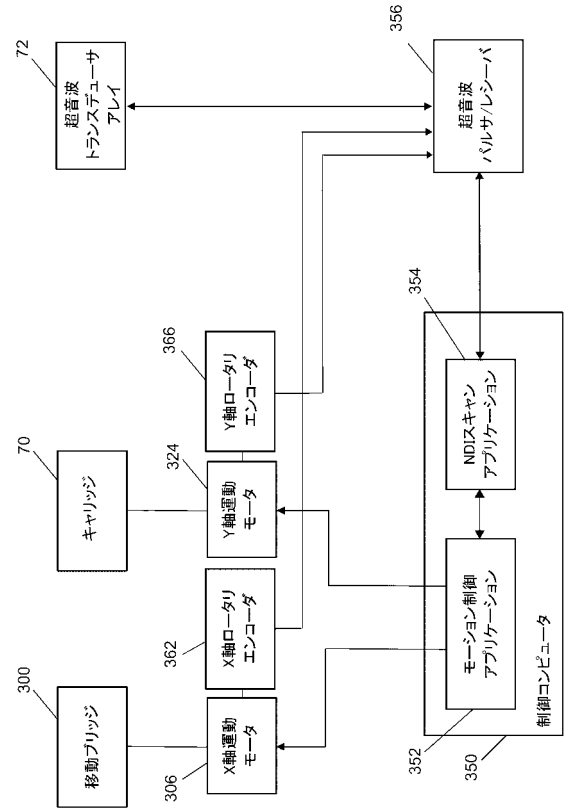
【図 23】



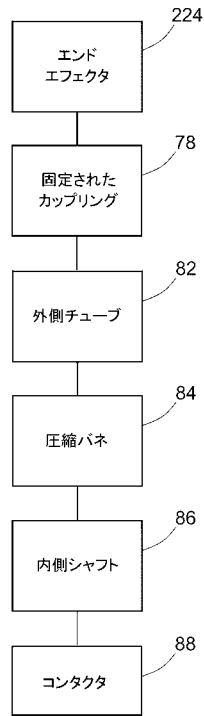
【図 2 4】



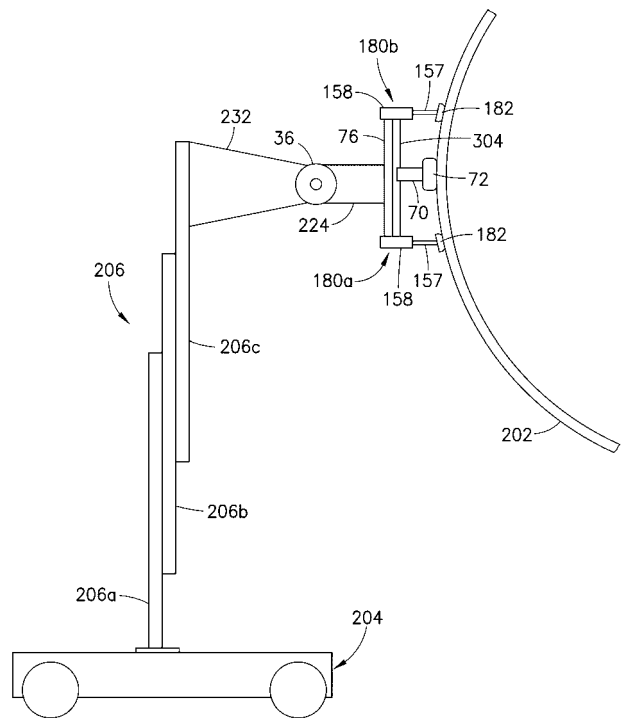
【図 2 5】



【図 2 6】



【図 2 7】



フロントページの続き

(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 60606-2016, シカゴ, ノース リバーサイド プラザ
100, メール コード2ティール-42, ザ ボーイング カンパニー

(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 60606-2016, シカゴ, ノース リバーサイド プラザ
100, メール コード2ティール-42, ザ ボーイング カンパニー

(72)発明者 ライト, ダニエル ジェームズ

アメリカ合衆国 イリノイ 60606-2016, シカゴ, ノース リバーサイド プラザ
100, メール コード2ティール-42, ザ ボーイング カンパニー

Fターム(参考) 3C707 AS14 AS29 BS10 CY31 HT36 KS36 KT01 KT05 KV11

【外国語明細書】

2019048369000001.pdf

2019048369000002.pdf

2019048369000003.pdf

2019048369000004.pdf