

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7631312号
(P7631312)

(45)発行日 令和7年2月18日(2025.2.18)

(24)登録日 令和7年2月7日(2025.2.7)

(51)国際特許分類

F I

B 6 2 D 57/02 (2006.01)

B 6 2 D 57/02 Z

B 2 5 J 5/00 (2006.01)

B 2 5 J 5/00 B

請求項の数 15 (全33頁)

(21)出願番号	特願2022-509574(P2022-509574)	(73)特許権者	515322297
(86)(22)出願日	令和2年8月14日(2020.8.14)		ゼネラル エレクトリック テクノロジー
(65)公表番号	特表2022-545064(P2022-545064 A)		ゲゼルシャフト ミット ベシュレンクテル ハフツング
(43)公表日	令和4年10月25日(2022.10.25)		General Electric Technology GmbH
(86)国際出願番号	PCT/US2020/046277		スイス国 5400 バーデン ブラウン
(87)国際公開番号	WO2021/034630		ボヴェリシュトラッセ 8
(87)国際公開日	令和3年2月25日(2021.2.25)		Brown Boveri Strasse 8, 5400 Baden, Switzerland
審査請求日	令和5年8月3日(2023.8.3)	(74)代理人	100105588
(31)優先権主張番号	19404003.6		弁理士 小倉 博
(32)優先日	令和1年8月20日(2019.8.20)	(74)代理人	100129779
(33)優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁(EP)		弁理士 黒川 俊久

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 可変拡張位置を有するロボットのための牽引モジュール

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

ロボット（108）用の牽引モジュール（114、240、242、244、660、662、664）であって、

外側フレーム（666、668、670、810）と、

前記外側フレーム（666、668、670、810）内に回転可能に取り付けられた回転フレーム（820）と、

前記回転フレーム（820）に動作可能に結合され、前記ロボット（108）を推進するために牽引駆動構成要素（678、680、682）を駆動するように構成された駆動システム（802）と、

前記回転フレーム（820）に動作可能に接続されたアクチュエータ（822）であって、前記回転フレーム（820）を制御可能に回転させることにより、

前記回転フレーム（820）の回転運動の第1の部分の間に、前記駆動システム（802）に、前記外側フレーム（810）に対する第1の位置と、前記駆動システム（802）が前記第1の位置よりも大きい範囲で前記外側フレーム（810）から外側に延在する第2の位置との間で移動させ、

前記回転フレーム（820）の前記回転運動の第2の部分の間に、前記ロボット（108）を推進させるために前記駆動システム（802）を所望の向きに位置決めする、

アクチュエータ（822）と

を備える、牽引モジュール（114、240、242、244、660、662、66

4)。

【請求項2】

前記外側フレーム(810)が、前記外側フレーム(810)の内周(819)から半径方向内側に延在する複数の固定カム(818)を含み、

前記回転フレーム(820)が、

前記外側フレーム(810)における回転運動のために位置決めされた外側円形部材(840)と、

前記駆動システム(802)に動作可能に結合された内側部材(842)であって、前記内側部材(842)が、周囲面(852)に露出した複数の溝(850)を含み、各溝(850)が、前記内側部材(842)の前記周囲面(852)の周りに部分的に延在し、

前記第1の位置と前記第2の位置との間で前記駆動システム(802)を移動させるために、前記回転フレーム(820)の前記回転運動の前記第1の部分の間にそれぞれの固定カム(818)と相互作用するように構成された傾斜面(856)を有する第1のセクション(854)と、

前記第1のセクション(854)と隣接し、前記所望の向きに前記駆動システム(802)を回転させるために前記回転フレーム(820)の前記回転運動の前記第2の部分の間に前記それぞれの固定カム(818)と相互作用するように構成された第2のセクション(858)と

を含む、内側部材(842)と

を含む、請求項1に記載の牽引モジュール(114、240、242、244、660、662、664)。

【請求項3】

前記アクチュエータ(822)が、前記回転フレーム(820)の前記回転運動を引き起こすために前記外側円形部材(840)に回転力を加えるためのモータを含む、請求項2に記載の牽引モジュール(114、240、242、244、660、662、664)。

【請求項4】

前記外側円形部材(840)上の第1の要素(846)と、前記内側部材(842)上の嵌合する第2の要素(848)とを含むガイドシステム(844)をさらに備え、前記第1および第2の要素(846、848)は、前記内側部材(842)が前記第1の位置から前記第2の位置に移動するときに前記外側円形部材(840)に対する前記内側部材(842)の非回転的な入れ子式伸縮運動を可能にするように構成される、請求項3に記載の牽引モジュール(114、240、242、244、660、662、664)。

【請求項5】

前記第1の位置から前記第2の位置に前記内側部材(842)および前記駆動システム(802)を移動させるための前記回転フレーム(820)の前記回転運動の前記第1の部分の間に、各固定カム(818)がそれぞれの溝(850)の前記第1のセクション(854)の前記傾斜面(856)と係合し、前記ガイドシステム(844)の前記第1および第2の要素(846、848)が、前記外側円形部材(840)に対する前記内側部材(842)の非回転的な入れ子式伸縮運動を可能にし、

前記回転フレーム(820)の前記回転運動の前記第2の部分の間に、各固定カム(818)が、前記所望の向きに前記駆動システム(802)を回転させるためにそれぞれの溝(850)の前記第2のセクション(858)と係合する、

請求項4に記載の牽引モジュール(114、240、242、244、660、662、664)。

【請求項6】

前記第1の要素(846)が、前記外側円形部材(840)の内周(819)上にスロットを含み、前記第2の要素(848)が、前記内側部材(842)の外周(864)から延在しそれぞれのスロット内で摺動するように構成されたガイド要素を含む、請求項4に記載の牽引モジュール(114、240、242、244、660、662、664)。

【請求項 7】

前記第 2 の位置に向かって前記内側部材（842）を押し付けるための付勢部材（828）をさらに備える、請求項 2 に記載の牽引モジュール（114、240、242、244、660、662、664）。

【請求項 8】

各溝（850）が約 120 度の全弧に延在し、前記第 1 のセクション（854）が前記 120 度の全弧のうちの 20～25 度を含む、請求項 2 に記載の牽引モジュール（114、240、242、244、660、662、664）。

【請求項 9】

前記駆動システム（802）が第 1 のベルトドライブ（836、838）および第 2 のベルトドライブ（836、838）を含み、前記第 1 のベルトドライブ（836、838）が前記第 2 のベルトドライブ（836、838）とは独立に制御される、請求項 1 に記載の牽引モジュール（114、240、242、244、660、662、664）。

10

【請求項 10】

前記駆動システム（802）がローラ（832、834）のセットを含む、請求項 1 に記載の牽引モジュール（114、240、242、244、660、662、664）。

【請求項 11】

前記回転フレーム（820）の角位置を測定する位置エンコーダ（866）をさらに備え、前記ロボット（108）の制御システム（150）が、前記回転フレーム（820）の前記角位置を使用して前記ロボット（108）を操舵する、請求項 1 に記載の牽引モジュール（114、240、242、244、660、662、664）。

20

【請求項 12】

前記ロボット（108）が、発電機、電気モータ、またはターボ機械内の環状ギャップ（220、520）をナビゲートするための展開可能本体（112、246、610）を有するロボットクローラ（110、210、510、600）であり、前記ロボット（108）が、前記環状ギャップ（220、520）内の表面（234、236）に対して前記牽引モジュール（114、240、242、244、660、662、664）を位置決めする少なくとも 1 つのリンク部材（230、828）をさらに備える、請求項 1 に記載の牽引モジュール（114、240、242、244、660、662、664）。

【請求項 13】

30

前記駆動システム（802）に加えられる力を測定するために前記駆動システム（802）と前記回転フレーム（820）との間に位置決めされる力センサ（870）をさらに備え、前記力の測定を使用して、前記牽引モジュール（114、240、242、244、660、662、664）と、前記駆動システム（802）が前記ロボット（108）を推進する表面（234、236）との間の表面（234、236）接触を制御する、請求項 1 に記載の牽引モジュール（114、240、242、244、660、662、664）。

【請求項 14】

請求項 1 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の牽引モジュールを含むロボット（108）システムであって、

40

本体フレーム（612）と、

前記本体フレーム（612）、前記駆動システム（802）および前記アクチュエータ（822）を制御する制御システム（150）と

を備える、ロボット（108）システム。

【請求項 15】

ロボット（108）用の牽引モジュール（114、240、242、244、660、662、664）を動作させる方法であって、

外側フレーム（810）と、

前記外側フレーム（810）内に回転可能に取り付けられた回転フレーム（820）と、

前記回転フレーム（820）に動作可能に結合され、前記ロボット（108）を推進す

50

るために牽引駆動構成要素（６７８、６８０、６８２）を駆動するように構成された駆動システム（８０２）と、

前記回転フレーム（８２０）を制御可能に回転させるために前記回転フレーム（８２０）に動作可能に接続されたアクチュエータ（８２２）と

を含む牽引モジュール（１１４、２４０、２４２、２４４、６６０、６６２、６６４）を提供することと、

前記回転フレーム（８２０）の回転運動の第１の部分の間に、前記駆動システム（８０２）が、前記外側フレーム（８１０）に対する第１の位置と、前記駆動システム（８０２）が前記第１の位置よりも大きい範囲で前記外側フレーム（８１０）から外側に延在する第２の位置との間で移動し、

前記回転フレーム（８２０）の前記回転運動の第２の部分の間に、前記ロボット（１０８）を推進させるために前記駆動システム（８０２）が所望の向きに移動する

ように、前記アクチュエータ（８２２）で前記回転フレーム（８２０）を回転させることと

を含む、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本開示は、機械の検査のためのロボットに関し、より具体的には、機械の１つまたは複数の表面に沿った多方向進行のためのロボットに関する。

【０００２】

本開示は、「IN-SITU GAP INSPECTION ROBOT SYSTEM AND METHOD」と題する米国特許出願第１５／６５２，６８０号明細書（GE 316383-1）、２０１７年７月１８日に出願された「MODULAR CRAWLER ROBOT FOR IN SITU GAP INSPECTION」と題する米国特許出願第１５／６５２，７３０（GE 316389-1）、２０１７年７月１８日に出願された「END REGION INSPECTION MODULE AND METHOD FOR IN SITU GAP INSPECTION ROBOT SYSTEM」と題する米国特許出願公開第１５／６５２，７７１号明細書（GE 316390-1）、２０１７年７月１８日に出願された「OMNIDIRECTIONAL TRACTION MODULE FOR A ROBOT」と題する米国特許出願公開第１５／６５２，８５９号（GE 318889-1）、２０１７年７月１８日に出願された「ACTUATED SENSOR MODULE AND METHOD FOR IN SITU GAP INSPECTION ROBOTS」と題する米国特許出願公開第１５／６５２，８０５号（GE 318890-1）、に関連する。これらの関連出願の各々の全内容は、参照により本明細書に組み込まれる。

【０００３】

本開示はまた、２０１９年８月２０日に出願された「複数のセンサのためのシソールリフトを有するセンサインタフェースモジュール、およびロボットのためのデュアルビューパスを有する視覚検査モジュール」と題する、同時に出願された欧州特許出願第：１９４０４００２．８号（GE 501824-1）に関する。

【背景技術】

【０００４】

発電機、電気モータ、またはターボ機械の視覚的および／または電氣的検査は、定期的実施される必要がある。例えば、発電機は、ステータウェッジの気密性、視覚的な表面異常、コアの欠陥、低磁束などについて現場で定期的に検査および試験することができる。発電機／ステータの検査および試験手順は、ユニットに対して検査または試験を行うことができる前に、ステータの完全な分解およびステータからの発電機ロータの取り外しを必要とする場合がある。ロータの分解と取り外しのコスト、このプロセスにかかる時間、およびロータの取り外しの危険性は、そのような検査の頻度に影響を与える可能性がある。

10

20

30

40

50

【0005】

発電機の現場検査は、ポール、トロリ、スコープ、およびロータ旋回技術を用いて実施されている。これらの手順では、完全で、適時な、または安全な方法で検査タスクを実行できない場合がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【文献】欧州特許出願公開第2886028号明細書

【発明の概要】

【0007】

本開示の第1の態様は、ロボット用の牽引モジュールを提供し、牽引モジュールは、外側フレームと、外側フレーム内に回転可能に取り付けられた回転フレームと、回転フレームに動作可能に結合され、ロボットを推進するために牽引駆動構成要素を駆動するように構成された駆動システムと、回転フレームに動作可能に接続されたアクチュエータであって、回転フレームを制御可能に回転させることにより、回転フレームの回転運動の第1の部分の間に、駆動システムに、外側フレームに対する第1の位置と、駆動システムが第1の位置よりも大きい範囲で外側フレームから外側に延在する第2の位置との間で移動させ、回転フレームの回転運動の第2の部分の間に、ロボットを推進させるために駆動システムを所望の向きに位置決めする、アクチュエータと、を備える。

【0008】

本開示の第2の態様は、ロボットシステムであって、本体フレームと、本体フレームに取り付けられた少なくとも1つの牽引モジュールであって、外側フレームと、外側フレーム内に回転可能に取り付けられた回転フレームと、回転フレームに動作可能に結合され、ロボットを推進するために牽引駆動構成要素を駆動するように構成された駆動システムと、回転フレームに動作可能に接続されたアクチュエータであって、回転フレームを制御可能に回転させることにより、回転フレームの回転運動の第1の部分の間に、駆動システムに、外側フレームに対する第1の位置と、駆動システムが第1の位置よりも大きい範囲で外側フレームから外側に延在する第2の位置との間で移動させ、回転フレームの回転運動の第2の部分の間に、ロボットを推進させるために駆動システムを所望の向きに位置決めする、アクチュエータと、を備えるロボットシステムと、本体フレーム、駆動システム、およびアクチュエータを制御する制御システムと、を提供する。

【0009】

本開示の第3の態様は、ロボット用の牽引モジュールを動作させる方法を提供し、方法は、外側フレームと、外側フレーム内に回転可能に取り付けられた回転フレームと、回転フレームに動作可能に結合され、ロボットを推進するために牽引駆動構成要素を駆動するように構成された駆動システムと、回転フレームを制御可能に回転させるために回転フレームに動作可能に接続されたアクチュエータとを含む牽引モジュールを提供することと、回転フレームの回転運動の第1の部分の間に、駆動システムが、外側フレームに対する第1の位置と、駆動システムが第1の位置よりも大きい範囲で外側フレームから外側に延在する第2の位置との間で移動し、回転フレームの回転運動の第2の部分の間に、ロボットを推進させるために駆動システムが所望の向きに移動するように、アクチュエータで回転フレームを回転させることと、を含む。

【0010】

本開示の例示的な態様は、本明細書に記載された問題および／または論じられていない他の問題を解決するように構成される。

【0011】

本開示のこれらの特徴および他の特徴は、本開示の様々な態様の以下の詳細な説明を、本開示の様々な実施形態を図示する添付の図面と併せて検討することで、より容易に理解されるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本開示の様々な実施形態による現場ギャップ検査のための例示的なシステムを示す図である。

【図2】機械へのロボットクローラのギャップ挿入の側断面図である。

【図3】機械の環状ギャップ内の展開されたロボットクローラの側断面図である。

【図4】本開示の様々な実施形態による、機械の環状ギャップ内の展開されたロボットクローラの斜視切断図である。

【図5A】機械の環状ギャップ内のロボットクローラの例示的な検査経路を示す図である。

【図5B】機械の環状ギャップ内のロボットクローラの例示的な検査経路を示す図である。

【図6】本開示の様々な実施形態による、展開状態のロボットクローラの斜視図である。

【図7】折り畳み状態の図6のロボットクローラの上上面図である。

【図8】折り畳み状態の図6のロボットクローラの端面図である。

【図9】本開示の様々な実施形態による多方向牽引モジュールの斜視図である。

【図10】本開示の様々な実施形態による牽引アセンブリの回転フレームの分解斜視図である。

【図11】回転フレームのない図9の牽引モジュールの外側フレームの斜視図である。

【図12】本開示の様々な実施形態による牽引モジュールのフラットモードの側断面図である。

【図13】本開示の様々な実施形態による牽引モジュールのクリアランスモードの側面図である。

【図14】本開示の様々な実施形態によるフラットモードの牽引モジュールの回転フレームの拡大斜視図である。

【図15】本開示の様々な実施形態による牽引モジュールのクリアランスモードの斜視図である。

【図16】本開示の様々な実施形態による牽引モジュールの回転フレームおよび外側フレームの断面図である。

【図17】本開示の様々な実施形態によるフラットモードにおける牽引モジュールの溝および固定カムの拡大斜視図である。

【図18】本開示の様々な実施形態によるクリアランスモードにおける牽引モジュールの溝および固定カムの拡大斜視図である。

【図19】本開示の様々な実施形態による、クリアランスモードにあり、駆動システムが所望の向きにある牽引モジュールの溝および固定カムの拡大斜視図である。

【図20】本開示の様々な実施形態による潜在的な回転フレーム位置のオーバーレイを有する牽引モジュールの平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

本開示の図面は、必ずしも原寸に比例しないことに留意されたい。図面は、本開示の典型的な態様だけを図示することを意図しており、したがって、本開示の範囲を限定するものと考えべきではない。図面では、類似する符号は、図面間で類似する要素を表す。

【0014】

以下の説明では、説明の一部を成す添付の図面を参照し、図面には、本教示が実施され得る特定の例示的な実施形態が例として示される。これらの実施形態は、当業者が本教示を実施できるように十分に詳細に記載されており、本教示の範囲から逸脱することなく、他の実施形態を使用してもよく、また変更が行われてもよいことを理解されたい。したがって、以下の説明は単なる例示である。

【0015】

加えて、本明細書ではいくつかの記述的用語を規則正しく使用することができ、このセクションの最初にこれらの用語を規定することが有用であることがわかる。これらの用語およびその定義は、別途記載のない限り、以下の通りである。中心軸に対して異なる周方向位置にある部品を説明することがしばしば必要とされる。「半径方向」という用語は、

10

20

30

40

50

軸、例えば機械の軸に垂直な移動または位置を指す。このような場合、第1の構成要素が第2の構成要素よりも軸に近接して位置する場合には、本明細書では、第1の構成要素が第2の構成要素の「半径方向内側」または「内方」にあると述べる。他方で、第1の構成要素が第2の構成要素と比べて軸から遠くに位置する場合、本明細書では、第1の構成要素が第2の構成要素の「半径方向外側」または「外方」にあると述べるができる。「軸方向」という用語は、軸、すなわち、ターボ機械のロータ軸に平行な移動または位置を指す。最後に、「周方向」という用語は、軸周りの移動または位置を指す。そのような用語は、例えば発電機、電気モータ、またはターボ機械などの様々な機械構成の中心軸に関連して適用され得ることが理解されよう。

【0016】

加えて、以下に記載のように、本明細書ではいくつかの記述的用語が規則通りに使用され得る。「第1の」、「第2の」、および「第3の」という用語は、ある構成要素を別の構成要素から区別するために交換可能に使用することができ、個々の構成要素の場所または重要性を示すことを意図するものではない。

【0017】

本明細書で使用される専門用語は、単に特定の実施形態を説明するためのものに過ぎず、本開示を限定するものではない。本明細書で使用する場合、単数形「1つの(a)」、「1つの(an)」、および「この(the)」は、文脈からそのようでないことが明らかでない限り、複数形も含むように意図される。「備える(comprise)」および／または「備えている(comprising)」という用語は、本明細書で使用する場合、記載した特徴、整数、ステップ、動作、要素、および／または構成要素が存在することを明示するが、1つまたは複数の他の特徴、整数、ステップ、動作、要素、構成要素、および／またはそれらの組が存在することまたは追加されることを除外しないことがさらに理解されよう。「任意選択の(optional)」または「任意選択で(optionally)」は、続いて記載された事象または状況が生じてよいし、また生じなくてもよいことを意味し、かつ、その説明が、事象が起こる場合と、事象が起こらない場合と、を含むことを意味する。

【0018】

ある要素または層が別の要素または層に対して「上に」、「係合される」、「係合解放される」、「接続される」または「結合される」と言及される場合には、他の要素または層に対して直接上に、係合され、接続され、または結合されてもよいし、あるいは介在する要素または層が存在してもよい。逆に、ある要素が別の要素または層に対して「直接上にある」、「直接係合される」、「直接接続される」、または「直接結合される」と言及される場合には、介在する要素または層は存在し得ない。要素間の関係について説明するために使用される他の語も、同様に解釈されるべきである(例えば、「～の間に」に対して「直接～の間に」、「～に隣接して」に対して「直接～に隣接して」など)。本明細書で使用する場合、「および／または」という用語は、関連する列挙された項目のいずれかおよび1つまたは複数のすべての組合せを含む。

【0019】

本開示の実施形態は、ロボットシステム用の牽引モジュールおよび牽引モジュールを使用するロボットシステムを提供する。ロボットは、ロボットクローラなどの様々な形態をとることができる。発電機などの機械の環状ギャップ、例えば、鉄芯と保持リングとの間に挿入することができるロボットクローラを使用するロボットの使用は、ロータおよびステータコアなどの機械部品の現場検査を可能にする。ロボットクローラは、折り畳み姿勢で環状ギャップに挿入され、エアギャップの幅まで展開されてもよい。1つまたは複数の牽引モジュールは、ロボットクローラの移動を駆動することができる。クローラは、技術者によって遠隔制御されてもよく、ロボットクローラが選択された位置に駆動されるときに環状ギャップ内の発電機ロータおよびステータ検査を実行するためのビデオカメラおよび他の検査ツールを有する。クローラは、ナビゲーションおよび目視検査の両方のためにビデオを使用して、環状ギャップ内で技術者によって操縦されてもよい。牽引モジュール

10

20

30

40

50

は、外側フレームと、外側フレーム内に回転可能に取り付けられた回転フレームとを含むことができる。駆動システムが、回転フレームに動作可能に結合され、牽引駆動構成要素を駆動してロボットを推進するように構成される。アクチュエータが、回転フレームに動作可能に接続されて、回転フレームを制御可能に回転させる。回転フレームの回転運動の第1の部分の間、駆動システムは、外側フレームに対する第1の（フラットモード）位置と、駆動システムが第1の位置よりも大きい範囲で外側フレームから外側に延在する第2の（クリアランスモード）位置との間を移動する。回転フレームの回転運動の第2の部分の間、駆動システムは、ロボットを推進させるために所望の向きに位置決めされてもよい。回転フレームおよび外側フレームは、2つの位置の間の移動を引き起こす相互作用部材を含むことができる。回転フレームを有する牽引モジュールは、ステアリングおよび駆動システムの持ち上げまたは拡張を単一の簡単な解決策と組み合わせる。牽引モジュールは、システムの寿命を延ばしながら、部品の数、複雑さ、およびコストを低減する。より複雑でない機構は、より大きな牽引駆動構成要素などの他の部品のための追加の空間を提供して、不均一な表面上の牽引および障害物処理を改善する。

【0020】

図1を参照すると、現場ギャップ検査のための例示的なロボットシステム100が示されている。ロボットシステム100は、ロボットクローラ110などのロボット108、テザーリール130、および制御システム150を含むことができる。本明細書では特定の種類のロボットについて説明するが、本開示の教示は、検査データを収集するためのプローブまたはセンサ送達のための任意の様々なロボットに適用可能である。他の種類のロボットマニピュレータは、幾何学的形状に適合し、所望の用途に十分な牽引力／動力を有する限り機能する。ロボットクローラ110は、機械の自律的または半自律的な検査を実施するために、機械の入口ギャップを通して環状ギャップに挿入されるように構成されてもよい。例えば、ロボットクローラ110は、折り畳み状態または展開状態で動作することができる折り畳み可能なロボットであってもよく、折り畳み状態で狭い入口ギャップを通して挿入され、環状ギャップの対向面に係合するように、より広いギャップ幅に展開されてもよい。ロボットクローラ110は、図1にその展開状態で示されている。環状ギャップに入ると、ロボットクローラ110は、環状ギャップをナビゲートし、1つまたは複数のセンサモジュールを使用して、その移動中または環状ギャップの様々な所望のクローラ位置で様々な検査試験を行うことができる。ロボットクローラ110は、軸方向の順方向および逆方向運動ならびに周方向の双方向横方向運動を含む多方向運動のために構成されてもよい。いくつかの実施形態では、ロボットクローラ110は、軸方向および周方向に加えて、軸方向と周方向との間の任意の向きでの双方向運動を含む全方向運動のために構成されてもよい。例えば、ロボットクローラ110は、360度の弧の任意の方向に移動し、軸方向と周方向との間でそれらの方向から角度が付けられた複数の方向を含む、360度の弧の任意の向きにその進行方向を自由に変更するように構成することができる。いくつかの実施形態では、ロボットクローラ110は、ロボットクローラ110に接続され、動作中に機械の外に延在するテザー132を含んでもよい。例えば、テザー132は、ロボットクローラ110に接続されたケーブルであってもよく、ロボットクローラ110がそれ自体の力で環状ギャップから外にナビゲートできない場合にロボットクローラ110の回収を可能にしてもよい。いくつかの実施形態では、テザー132は、試験システムまたはロボット動作をサポートするために、有線通信チャネルおよび／または遠隔電源および／または空気圧もしくは油圧ラインのためのロボットクローラ110からの物理的接続を提供してもよい。テザーリール130は、環状ギャップ内のロボットクローラ110の動作中にテザー132の張力および／または弛みを調整するために自動化されてもよく、ユーザが手動でテザーの位置を管理することなく、ロボットクローラ110が様々なナビゲーション経路をナビゲートし、検査ルーチンを実行してもよい。制御システム150は、ロボットクローラ110と通信して、ロボットクローラ110に制御信号を提供し、ロボットクローラ110からセンサ、ナビゲーション、および／または他の動作データを受信することができる。いくつかの実施形態では、制御システム150は、直接または

10

20

30

40

50

テザーリール１３０を介してテザー１３２に電氣的に接続されてもよく、電氣的接続は、電力チャネルおよび通信チャネルの一方または両方を含んでもよい。制御システム１５０は、ユーザが機械の環状ギャップ内の検査配備中にロボットクローラ１１０を監視、評価、補足、および／または制御するためのユーザインタフェースを提供することができる。

【００２１】

いくつかの実施形態では、ロボットクローラ１１０は、取り外し可能および／または交換可能なモジュールで形成されたモジュール式ロボットであり、そのうちの１つまたは複数は、異なる検査タスクのために再構成され、個々のモジュールの効率的な保守、交換、および／またはアップグレードを可能にすることができる。ロボットクローラ１１０は、発電機、電気モータ、またはターボ機械の環状ギャップをナビゲートするための、展開可能本体１１２などの本体フレームを含むことができる。展開可能本体１１２は、様々なモジュールを互いに受け入れ、位置決めし、接続することができる。いくつかの実施形態では、展開可能本体１１２は、複数の牽引モジュール１１４、１１６、１１８を収容する。例えば、ロボットクローラ１１０は、３つの牽引モジュール１１４、１１６、１１８、すなわち前部牽引モジュール１１４、中間牽引モジュール１１６、および後部牽引モジュール１１８を含んでもよく、前部牽引モジュール１１４および後部牽引モジュール１１８は、環状ギャップ内の第１の表面と係合するように構成され、中間牽引モジュール１１６は、環状ギャップ内の対向する第２の表面と係合するように構成される。牽引モジュール１１４、１１６、１１８は、限定はしないが、環状ギャップ内の軸方向および周方向の移動を含む複数の方向にロボットクローラ１１０を移動させることができる多方向牽引モジュールであってもよい。ロボットクローラ１１０は、ナビゲーションおよび／または目視検査のための視覚センサなどの複数のセンサモジュール１２０、１２２をさらに含んでもよい。例えば、センサモジュール１２０、１２２は、中間牽引モジュール１１６の前側および後側のセンサインタフェースを介して取り付けられ、前方および後方に面するナビゲーションカメラ、ならびに環状ギャップの隣接する表面を検査するための１つまたは複数の上方に面するカメラを提供してもよい。あるいは、センサモジュール１２０、１２２は、前部牽引モジュール１１４および／または後部牽引モジュール１１８に結合されてもよい。ロボットクローラ１１０はまた、一般に互換性端子コネクタ１３４およびファスナ１３６、１３８とともに、テザー１３２を着脱可能に受容するための１つまたは複数のテザーコネクタ１２４、１２６を含み得る。

【００２２】

いくつかの実施形態では、テザーリール１３０は、ロボットクローラ１１０の動作中に必要に応じて張力を調整するためにテザー１３２を受容し、解放し、スプールすることができる自動テザーリールである。例えば、テザーリール１３０は、サーボモータ１４２と、張力管理ロジック１４４とを含み得る。例えば、トルク／電流制御モードで動作するサーボモータ１４２は、テザーリール１３０に入るときにテザー１３２の張力の変化を検出することができる。張力管理ロジック１４４は、サーボモータ１４２を使用して許容可能な張力範囲を維持するためのアルゴリズムを提供し、閉ループ制御下でテザー１３２を巻き取るまたは巻き出すことができる。いくつかの実施形態では、テザー１３２はテザーリール１３０への固定接続１４６を有してもよく、別個のワイヤ１４８が制御システム１５０に接続してもよい。例えば、ワイヤ１４８は、ロボットクローラ１１０をつなぐのに望ましい機械的特性を提供することなく、通信および／または電力チャネルを提供してもよい。いくつかの実施形態では、テザーリール１３０は、制御システム１５０からテザーリール１３０の制御信号を受信するためのインタフェースを提供することができる。例えば、制御システム１５０は、張力制御またはモータパラメータを調整し、および／またはテザーリール１３０の動作を手動で無効にすることができる。いくつかの実施形態では、ロボットクローラ１１０は、テザーなしで動作し、それ自体の動力（例えば、バッテリー）を運び、および／または制御システム１５０との無線通信を使用することができる。

【００２３】

いくつかの実施形態では、制御システム１５０は、コンピューティングシステム１５２

を含むことができる。コンピューティングシステム１５２は、ロボットクローラ１１０を操作するための複数のプログラム制御およびユーザインタフェースを提供してもよい。いくつかの実施形態では、コンピューティングシステム１５２は、パーソナルコンピュータ、ワークステーション、モバイルデバイス、（汎用コンピューティング構成要素およびオペレーティングシステムを使用する）産業用制御システム内の組み込みシステムなどの汎用コンピューティングデバイスである。いくつかの実施形態では、コンピューティングシステム１５２は、ロボットシステム１００の動作を制御するタスクのための専用のデータ処理システムであってもよい。コンピューティングシステム１５２は、バスによって相互接続された少なくとも１つのメモリ１５４、プロセッサ１５６、および入力／出力（Ｉ／Ｏ）インタフェース１５８を含んでもよい。さらに、コンピューティングシステム１５２は、ロボットクローラ１１０、テザーリール１３０、およびネットワークリソースなどの接続システムを含む外部Ｉ／Ｏデバイス／リソースおよび／またはストレージシステムとの通信を含んでもよい。一般に、プロセッサ１５６は、メモリ１５４および／またはストレージシステムに記憶されている検査制御モジュール１６０などのコンピュータプログラムコードを実行する。コンピュータプログラムコードを実行する間に、プロセッサ１５６は、（Ｉ／Ｏインタフェース１５８を介して）メモリ１５４、ストレージシステム、およびＩ／Ｏデバイスとの間でデータを読み書きすることができる。バスは、コンピューティングシステム１５２内の構成要素の各々の間の通信リンクを提供する。Ｉ／Ｏデバイスは、ユーザがコンピューティングシステム１５２と対話することを可能にする任意のデバイス（例えば、キーボード、ポインティングデバイス、ディスプレイなど）を含んでもよい。コンピューティングシステム１５２は、ハードウェアおよびソフトウェアの様々な可能性のある組合せの代表に過ぎない。例えば、プロセッサは、単一のプロセッシングユニットを含むこと、または１つまたは複数の位置、例えばクライアントおよびサーバにおける１つまたは複数のプロセッシングユニットにわたって分散してもよい。同様に、メモリおよび／またはストレージシステムは、１つまたは複数の物理的位置に存在してもよい。メモリおよび／またはストレージシステムは、磁気媒体、光学媒体、ランダムアクセスメモリ（ＲＡＭ）、読み出し専用メモリ（ＲＯＭ）などを含む様々な種類の非一時的コンピュータ可読記憶媒体の任意の組合せを含むことができる。いくつかの実施形態では、コンピューティングシステム１５２は、有線（シリアル、ＵＳＢ、イーサネットなど）または無線（８０２．１１、Bluetoothなど）接続を介してロボットクローラ１１０と通信し、ロボットシステム１００用のアプリケーションソフトウェアを実行するラップトップコンピュータである。いくつかの実施形態では、コンピューティングシステム１５２の機能の一部またはすべては、１つまたは複数のユーザインタフェースおよび／またはリモートデータストレージへの無線通信を伴うまたは伴わない、オンボード制御モジュールなどの統合コンピューティングシステムを使用するオンボードロボットクローラ１１０であってもよい。

【００２４】

いくつかの実施形態では、コンピューティングシステム１５２は、ロボットクローラ１１０を制御するための１つまたは複数のアプリケーションプログラム、データソース、および／または機能モジュールを含むことができる。例えば、コンピューティングシステム１５２は、データソース１６２、１６４、１６６、１６８と連動して動作する検査制御モジュール１６０を含み、ロボットクローラ１１０に制御信号を提供し、ロボットクローラ１１０からデータを受信してもよい。検査制御モジュール１６０は、視覚表示モジュール１７０を提供してもよい。例えば、ロボットクローラ１１０上のカメラによって収集された視覚データは、１つまたは複数のビデオフィードのためのグラフィカルユーザインタフェースなどの視覚表示モジュール１７０によって表示されてもよい。いくつかの実施形態では、ロボットクローラ１１０からの視覚データは、視覚表示モジュール１７０による使用のために、および／または他のユーザもしくはシステムによる使用を含む後の使用のための視覚データの選択的、一時的、および／またはアーカイブ保存のために視覚データソース１６４に格納されてもよい。データ表示モジュール１７２は、視覚表示を含む、処理

10

20

30

40

50

された視覚データおよび結果の計算または分析を含む他の試験データの表示を提供してもよい。例えば、データ表示モジュール172は、ロボットクローラ110からのセンサおよびナビゲーションデータを使用する1つまたは複数の試験プロトコルからの試験結果のためのグラフィカルユーザインタフェースを含んでもよい。いくつかの実施形態では、ロボットクローラ110からの試験データは、データ表示モジュール172による使用のために、および／または他のユーザもしくはシステムによる使用を含む後の使用のための試験データの選択的、一時的、および／またはアーカイブ保存のために試験データソース166に格納されてもよい。データ表示モジュール172は、ロボットクローラ110によって収集される試験データのリアルタイム表示、および／または試験データソース166からの試験データの閲覧、集約、分析、視覚化、選択、および／または報告のための1つまたは複数の機能を含んでもよい。自律ナビゲーションモジュール174は、機械の環状ギャップ内のロボットクローラ110のナビゲーションのためのプロトコルまたは一連のコマンドを提供してもよい。いくつかの実施形態では、自律ナビゲーションモジュール174は、ユーザが検査経路データソース162に格納された複数の検査経路から検査経路を選択することを可能にする。例えば、検査経路は、ロボットクローラ110が環状ギャップ内をたどり、環状ギャップ内の1つまたは複数の場所で1つまたは複数の検査タスクを完了するべき物理的経路として定義されてもよい。検査経路は、軸方向および周方向の距離を定義する1つまたは複数の機械の物理的な概略図またはパラメータに基づいてもよい。検査経路は、ナビゲーション（例えば、回避するべき表面特徴部）または試験（例えば、特定の試験を実行するための場所または対応するクローラ位置）のいずれかの対象となる特定の特徵部に関連するパラメータと場所も含んでもよい。いくつかの実施形態では、検査経路は、クローラコマンドのシーケンスを用いて格納および定義されてもよい。自律ナビゲーションモジュール174は、自律動作が開始されると、ユーザの介入なしに一連のクローラコマンドを受信し実行するロボットクローラ110による自律ナビゲーションを可能にすることができる。いくつかの実施形態では、自律ナビゲーションモジュール174は、開始されるとユーザの介入を必要としない完全に自律的な検査ルーチンを有してもよく、またはナビゲーション、視覚、もしくは試験データのフィードバックに潜在的に基づいて、ユーザが所望する順序で開始する特定の移動パターン、位置変更、または試験プロトコルなどの複数の検査サブルーチンを含むことができる。手動ナビゲーションモジュール176は、ロボットクローラ110を操縦またはさもなければ制御する能力をユーザに提供してもよい。いくつかの実施形態では、自動制御を開始するための初期位置を確立するため、および／または問題、例外、もしくは特定の試験プロトコル（さらなるデータ収集が必要な初期試験結果など）に応じてユーザが自動制御を無効にできるようにするために、手動ナビゲーションモジュール176が提供されてもよい。いくつかの実施形態では、制御システム150は、ナビゲーション、センサの配備、および様々な試験プロトコルを実行するために、ジョイスティックおよび他の触覚制御装置などのロボットクローラ110を手動で制御するための1つまたは複数のユーザI/Oインタフェースを含むことができる。検査モジュール178は、1つまたは複数のセンサモジュールを使用して、様々な検査プロトコルのための複数のルーチンを提供してもよい。いくつかの実施形態では、検査モジュール178による使用のために、1つまたは複数のセンサプロトコルがセンサプロトコルデータソース168に格納される。例えば、目視検査プロトコルは、機械による位置情報への取り込まれた視覚データのマッピングを可能にするために、定義されたナビゲーション経路に沿ってロボットクローラ110上の1つまたは複数のセンサモジュール120、122から視覚データを起動し取り込むことを含んでもよい。いくつかの実施形態では、異なる向きの複数のカメラおよび／または位置決め可能なカメラが1つまたは複数のセンサモジュール120、122に存在し、目視検査モジュールは、ロボットクローラ110およびその様々なカメラの選択的な起動および位置決めを含んでもよい。検査モジュール178によって実行される検査プロトコルは、ナビゲーション要素（ナビゲーション経路、自律位置決め、および／または手動位置決め）とセンサプロトコル（位置要件、配備、起動、タイミング／サンプリング、パラメータなど）の組合せを含んで

10

20

30

40

50

もよい。いくつかの実施形態では、検査モジュール１７８は、視覚データソース１６４および試験データソース１６６における視覚データおよび試験データの記憶、および／または視覚表示モジュール１７０による視覚データ、およびデータ表示モジュール１７２による試験データの表示を定義してもよい。クローラ構成モジュール１８０は、モジュールの構成、およびロボットクローラ１１０の任意の所与の構成の関連する能力およびプロトコルに関するデータを提供してもよい。いくつかの実施形態では、クローラ構成モジュール１８０は、クローラ構成を機械仕様およびセンサプロトコルにマッピングして、ユーザが検査プロトコルを所定の試験配備に利用可能なリソースと一致させることを支援してもよい。例えば、センサモジュールの所与の構成は、ロボットクローラ１１０の試験能力を規定し、それらのセンサモジュールを利用するための特定の検査プロトコルを推奨してもよい。いくつかの実施形態では、クローラ構成モジュール１８０は、センサモジュールおよび関連する機能のライブラリを含み、所望の検査プロトコル用のロボットクローラ１１０のユーザ再構成をサポートしてもよい。クローラ構成モジュール１８０は、ロボットクローラ１１０を制御するために使用されてもよいクローラコマンド１８４のセットも定義してもよい。クローラ調整モジュール１８２は、検査制御モジュール１６０が複数のロボットクローラ１１０を同時に制御することを可能にしてもよい。いくつかの実施形態では、クローラ調整モジュール１８２は、複数のロボットクローラとの制御信号およびデータ信号のための複数の通信チャネルを維持してもよい。例えば、クローラ調整１８２は、複数のロボットクローラの並列管理のために、視覚表示モジュール１７０、データ表示モジュール１７２、自律ナビゲーションモジュール１７４、手動ナビゲーションモジュール１７６、検査モジュール１７８、およびクローラ構成モジュール１８０の複数のインスタンスを管理してもよい。いくつかの実施形態では、クローラ調整モジュール１８２は、現在のクローラ位置、ナビゲーション経路、ならびに様々な移動のタイミングおよびセンサプロトコルを追跡するための干渉保護を含み、環状ギャップ内の衝突または他の干渉を防ぐことができる。

【００２５】

いくつかの実施形態では、視覚表示モジュール１７０、データ表示モジュール１７２、自律ナビゲーションモジュール１７４、手動ナビゲーションモジュール１７６、および検査モジュール１７８は、１つまたは複数のクローラコマンド１８４をロボットクローラ１１０に発行して、それらの機能のいくつかの側面を完了させるように構成されてもよい。その場合、クローラコマンド１８４は、制御システム１５０からロボットクローラ１１０へのメッセージまたは制御信号に変換することができる。いくつかの実施形態では、クローラ構成モジュール１８０は、ロボットクローラ１１０の構成に基づいて、他のモジュールが利用可能なクローラコマンドのセットを定義してもよい。クローラコマンド１８４の例示的なセットが提供されているが、それらはロボットクローラ１１０ならびに牽引モジュール、センサモジュール、および本体フレームメカニクスの様々な構成の制御に使用可能な可能性のあるクローラコマンドについて排他的でも網羅的でもないことが理解されよう。ロボットクローラ１１０は、本体位置を駆動する１つまたは複数のモータへの制御信号など、折り畳み状態と１つまたは複数の展開状態との間で展開可能本体１１２を展開または収縮する展開／収縮コマンド１８６を受信してもよい。いくつかの実施形態では、展開または収縮は、牽引モジュールが平面位置にあるとき（折り畳み状態の場合）、または環状ギャップ内の対向面に接触したとき（展開状態の場合）、ロボットクローラ１１０内のセンサからのフィードバックに基づいてもよい。他の実施形態では、展開または収縮は、時間（例えば、 x 秒の展開または収縮の間モータを作動させる）または距離（例えば、クローラ幅を y センチメートルに設定する）に基づいてもよい。ロボットクローラ１１０は、（多方向牽引モジュールの場合の牽引モジュールの現在の整列に基づいて）その牽引モジュールを前方または後方に駆動する移動コマンド１８８を受信してもよい。ロボットクローラ１１０は、方向転換コマンド１９０を受信して、その牽引モジュールおよび進行方向を再配向してもよい。例えば、方向転換コマンド１９０は、多方向牽引モジュールが 90 度回転し、軸方向の向きおよび進行方向から周方向の向きおよび進行方向に変更する

10

20

30

40

50

ことを可能にすることができる。いくつかの実施形態では、方向転換コマンド 190 は、90 度より大きいまたは小さい向き変更を含むことができ、牽引モジュールの向きを確認し、向きを制御システム 150 に返信するためのフィードバック信号を含むことができる。ロボットクローラ 110 は、牽引モードコマンド 192 を受信して、異なる牽引モードのために牽引モジュールの構成の変更を行ってもよい。例えば、牽引モジュールは、ロボット挿入および／または薄型で滑らかな表面移動のためのフラットモードと、ロボットクローラ 110 の本体と、それが障害物または平坦でない表面に沿って移動するおよび／または横断する表面との間にクリアランスを提供するクリアランスモードと、を含んでもよい。牽引モードコマンド 192 は、1 つまたは複数の牽引モジュール 114、116、118 をフラットモードからクリアランスモードに、またはクリアランスモードからフラットモードに変更するための制御信号を含んでもよい。ロボットクローラ 110 は、配備および／または位置決め機能を含むセンサモジュールのための位置センサコマンド 194 を受信してもよい。例えば、いくつかのセンサモジュールは、データ収集の前、最中、またはその後にセンサモジュールの 1 つまたは複数の要素を延長、上昇、下降、回転、またはその他の方法で配置するための電気機械的機能を含んでもよい。位置センサコマンド 194 は、ロボットクローラ 110 からセンサを延長または再配置してモータを起動し、データ収集のために位置決めしたり、データ収集中にクローラの位置を変更することなくセンサを（回転などによって）移動したりするためのモータを起動する制御信号を含んでもよい。ロボットクローラ 110 は、センサモジュールに存在するいかなるモダリティでもそれを使用して、そのセンサモジュールを通じてデータ収集を開始するためのデータ取得コマンド 196 を受信してもよい。データ取得コマンド 196 は、視覚センサのカメラからのビデオフィードなどの連続データ収集モードの開始もしくは停止信号、または機械的ウェッジ締め付け度試験などのより個別のセンサ試験の特定の試験シーケンスを提供してもよい。一部のロボットクローラと制御システムは、複数のコマンドを並行して、重複するシーケンスとして、またはシリアルコマンド列として通信および管理できることが理解される。クローラ調整モジュール 182 は、制御システム 150 が複数のロボットクローラにコマンドを発行し、複数のロボットクローラからデータを並行して取得することを可能にすることができる。

【0026】

図 2 を参照すると、現場ギャップ検査システム 200 が示され、図 1 のロボットクローラ 110 などのロボットクローラ 210 が機械に挿入されている。機械は、入口ギャップ 222 を介してアクセス可能な環状ギャップ 220 を含む任意の機械、より具体的には、発電機、電動モータ、またはターボ機械の様々な機械構成であってもよい。例えば、発電機は、鉄芯と保持リングとの間の環状ギャップを通して挿入することを可能にすることができる。ロータおよびステータコアの現場検査を可能にする。環状ギャップ 220 は、円筒状中央部材 226 と、ほぼ相補的な湾曲を有する周囲の円筒状部材 224 との間に画定されてもよい。いくつかの実施形態では、環状ギャップ 220 は、ステータの内径とロータの外径との間に一般に画定されるエアギャップであってもよい。環状ギャップ 220 は、円筒状中央部材 226 の第 1 端から第 2 端までの軸方向長さ、と、円筒状中央部材 226 の周方向に測定した周囲長とを有する。環状ギャップ 220 は、円筒状中央部材 226 の外側表面 236 から周囲の円筒状部材 224 の最も近い対向面（内側表面 234）まで測定された環状ギャップ幅 228 を有する。環状ギャップ幅 228 は、周方向および／または軸方向に変化してもよい。いくつかの実施形態では、入口ギャップ 222 は、円筒状中央部材 226 の端部のエアギャップであってもよく、環状ギャップ幅 228 と同じ入口幅を有してもよい。他の実施形態では、入口ギャップ 222 は、入口ギャップ 222 をさらに拘束し、環状ギャップ幅 228 より小さい入口ギャップ幅 232 を規定する保持部材 230 などの追加の特徴部を含んでもよい。いくつかの実施形態では、冷却空気流を導くために使用される入口バッフルなどの追加の特徴部または障害物が、環状ギャップ幅 228 を減少させる場合がある。

【0027】

図2では、ロボットクローラ210は、その牽引モジュールが単一の平面に整列している折り畳み状態にある。ロボットクローラ210は、挿入前の入口ギャップ222の外側と、挿入後の環状ギャップ220の内側に、示されている。ロボットクローラ210は、折り畳みクローラ幅212を規定してもよい。折り畳みクローラ幅212は、入口ギャップ幅232と環状ギャップ幅228の両方より小さくてもよい。折り畳み状態では、ロボットクローラ210は、環状ギャップ220の内側の円筒状中央部材226の外側表面236のみと係合する。

【0028】

図3～図4は、環状ギャップ220内で展開状態にあるロボットクローラ210の2つの図を示している。ロボットクローラ210がその展開状態にあるとき、それは対向面234、236と係合してもよい。展開状態では、ロボットクローラ210は、展開クローラ幅214を規定してもよい。展開クローラ幅214は、折り畳みクローラ幅212および入口ギャップ幅232より大きく、環状ギャップ幅228に等しくすることができ、その結果、対向面234、236との表面接触が維持され得る。いくつかの実施形態では、ロボットクローラ210は、展開可能本体246に取り付けられた複数の牽引モジュール240、242、244を備える。牽引モジュール240、244は、円筒状中央部材226の外側表面236のみと係合し、牽引モジュール242は、周囲の円筒状部材224の内側表面234のみと係合してもよい。いくつかの実施形態では、牽引モジュール240、242、244の構成を逆にすることができ、牽引モジュール240、244は周囲の円筒状部材224の内側表面234のみと係合し、牽引モジュール242は円筒状中央部材226の外側表面236のみと係合してもよい。牽引モジュール240、242、244は、ホイールまたはボール（例えば、図1、図4、図6、図7を参照）のようなローラ、またはベルトもしくはトラック（例えば、図9を参照）などの1つまたは複数の牽引駆動構成要素を含むことができ、対向面234、236との移動表面接触に基づいて環状ギャップ220を通してロボットクローラ210を移動させる。牽引モジュール240、242、244は、環状ギャップ220を通る所望のナビゲーション経路上でロボットクローラ210を移動させることができる。

【0029】

図5Aおよび図5Bを参照すると、ロボットクローラ510の別の実施形態が環状ギャップ520内に示されており、ライン530、532は、環状ギャップ520を検査するための例示的なナビゲーション経路を示す。ロボットクローラ510は、機械502の入口端部524に隣接する入口ギャップ522のすぐ内側の開始クローラ位置にある展開状態で示されている。ライン530に従って、ロボットクローラ510は、入口端部524から閉鎖端部528まで環状ギャップ520のギャップ長526に沿って前方軸方向に移動する。いくつかの実施形態では、ロボットクローラ510は、環状ギャップ520のナビゲート可能なギャップ長526の端部を表す段差または他の障害物に到達する場合がある。例えば、閉鎖端部528は、保持リングまたは他の特徴部によって形成された段差を含むことができ、機械の囲まれた端部領域に別のエアギャップを含むことができる。ロボットクローラ510は、軸方向から周方向へのその進行方向の変更を可能にする多方向牽引モジュールを含むことができる。ライン530は、環状ギャップ520の周囲に沿ったいくつかの周方向の段差を示している。周方向段差の長さは、ロボットクローラ510上のセンサモジュールを使用して所望の試験プロトコルをサポートするために、センサ範囲／エリア（または視覚センサの視野）、試験位置、所望の試験カバレッジまたはサンプリング、および／またはナビゲーション経路に含まれるべき特定の機械特徴部に関連する様々な要因に依存し得る。新しい周方向位置に到達した後、ライン530は、ギャップ長526に沿った逆軸方向の戻り経路を示す。ロボットクローラ510は、その移動方向を軸方向の向きに戻し、環状ギャップ520の長さを逆方向に移動してもよい。いくつかの実施形態では、ロボットクローラ510は、入口ギャップ522に関連し、環状ギャップ520のナビゲート可能なギャップ長526の端部を表す段差または他の障害物に到達する場合がある。ロボットクローラ510は、周方向移動のためにその進行方向を再び再配向

10

20

30

40

50

し、別の周方向ステップを行うことができる。ロボットクローラ510は、選択されたセンサモジュールおよび検査プロトコルで検査される環状ギャップ520のエリアについて、周に沿った様々な周方向位置でこれらの軸方向パスを通過し続けることができる。いくつかの実施形態では、ロボットクローラ510は、環状ギャップ520の表面の完全な目視検査を提供するために、環状ギャップ520の全周にわたって目視検査のための重なり合うカバレッジを提供する周方向位置でギャップ長を移動することができる。ライン532に従って、代替的な検査経路を示し、複数の検査経路が多方向および全方向の移動によって可能になり得ることを実証するために提供される。ライン532は、軸方向移動、周方向移動、および軸方向と周方向との間の中間的な向きに沿った移動を含む検査経路に沿ってロボットクローラ510をとる。より複雑かつ繰り返しの少ない検査経路を、特定のエリアまたは特徴部の検査、ならびに既知の障害物の回避に使用することができる。

10

【0030】

図6～図8を参照すると、ロボットクローラ600の追加の実施形態がいくつかの図で示されており、図6の展開状態および図7～図8の折り畳み状態を含む。いくつかの実施形態では、ロボットクローラ600は、取り外し可能なモジュールを収容するための複数のフレーム612、614、616を含む展開可能本体610を備えたモジュール式ロボットである。取り外し可能なモジュールは、以下に限られるわけではないがホイールまたはボールなどのローラ、またはトラックもしくはベルト、またはギャップ内の表面に沿ってロボットクローラ600を移動させるための別の移動形態などの1つまたは複数の牽引駆動構成要素678、680、682を提供する牽引モジュール660、662、664を含むことができる。ロボットクローラ600はまた、ロボットクローラ600とセンサモジュールとの間に機械的および／または電氣的／通信／制御を提供するセンサインタフェースを使用して、ナビゲーションセンサ、目視検査センサ、構造試験センサ、または電気試験センサなどの複数のセンサモジュールを収容してもよい。例えば、1つまたは複数のフレームは、センサインタフェースを含むことができ、および／または牽引モジュールもしくは他のセンサモジュールは、単一のフレームから複数のモジュールを連鎖させるためのセンサインタフェースを含むことができる。複数のセンサインタフェースは、ロボットクローラ600上のいくつかの位置に提供されて、様々なセンサに異なる動作位置を提供してもよい。例えば、各フレーム612、614、616または牽引モジュール660、662、664は、1つまたは複数のセンサインタフェースおよび関連するセンサ位置を含むことができる。いくつかの実施形態では、センサインタフェースの複数の構成があってもよい。例えば、フレーム612、614、616または牽引モジュール660、662、664に取り付けるためのセンサインタフェースは、シリアルセンサインタフェース間のセンサインタフェースとは異なってもよい。また、テザーコネクタモジュール602など、他の機能のために他のモジュールが提供されてもよい。

20

30

【0031】

いくつかの実施形態では、展開可能本体610は、ほぼ長方形のベースフレームを含み、長方形の短辺を提供する前部フレーム612および後部フレーム616に接続された長方形の長辺に側方部材618、620を含む。側方部材618、620は、それぞれの遠位端に近接したフレームアタッチメント622、624、626、628を含むことができる。フレームアタッチメント622、624は前部フレーム612に接続し、フレームアタッチメント626、628は後部フレーム616に接続してもよい。いくつかの実施形態では、中間フレーム614は、展開可能本体610のその展開状態における幅を拡大するために、前部フレーム612および後部フレーム616の平面から変位するように構成されてもよい。少なくとも1つのリンク部材が、環状ギャップ内の表面に対して牽引モジュールを位置決めすることができる。中間フレーム614は、長方形のベースフレームに接続された延長リンク部材630、632に取り付けられてもよい。例えば、延長リンク部材630、632は、前部フレーム612および後部フレーム616に対する、または代替的に、それらの遠位端に近接する側方部材618、620に対する旋回アタッチメント634、636、638、640を含んでもよい。延長リンク部材630、632は

40

50

、中間フレーム 614 への旋回アタッチメント 650、652 を有する第 1 のリンク 642、644 および第 2 のリンク 646、648 を備えた関節リンク部材であってもよい。旋回アタッチメント 650、652 は、延長リンク部材 630、632 の関節ジョイントとして機能し、長方形のベースフレームの平面に垂直に中間フレーム 614 を移動させることができる。展開可能本体 610 は、中間フレーム 614 を移動させるためのモータまたは他のアクチュエータを含んでもよい。例えば、側方部材 618、620 は、後部フレーム 616 に対して前部フレーム 612 を動かし、側方部材 618、620 の長さおよび前部フレーム 612 と後部フレーム 616 との間の距離を変えるためのリニアアクチュエータ 654、656 を含んでもよい。側方部材 618、620 が完全に延長した位置にあるとき、前部フレーム 612、中間フレーム 614、および後部フレーム 616 は同じ平面にあり、展開可能本体 610 はその最も狭い状態または折り畳み状態にある。側方部材 618、620 が、リニアアクチュエータ 654、656 によって短縮され、後部フレーム 616 が前部フレーム 612 に向かって移動すると、延長リンク部材 630、632 は、旋回アタッチメント 650、652 で関節運動し、第 1 のリンク 642、644 と、第 2 のリンク 646、648 と、側方部材 618、620 は二等辺三角形を形成し、中間フレーム 614 は、前部フレーム 612 と後部フレーム 616 との間の移動方向に垂直な方向に移動する。レバーアーム、シザージャッキ、入れ子式部材、または他の変位機構に取り付けられた 1 つまたは複数のフレームなど、展開可能本体の他の構成が可能である。いくつかの実施形態では、展開可能本体 610 は、前部フレーム 612 と後部フレーム 616 と中間フレーム 614 との間にショックアブソーバを組み込んで、不均一なギャップ空間のナビゲートを支援してもよい。例えば、延長リンク部材 630、632 は、対向するギャップ面での牽引を支援し、いくつかの障害物および／またはギャップ間隔の変化を補償するために、内部スプリングを備えた入れ子式リンクを組み込んでもよい。いくつかの実施形態では、側方部材 618、620 は、リニアアクチュエータ 654、656 の制御を妨げる電力損失または他の故障の場合に側方部材 618、620 を手動で外すための緊急解放部 627、629 を含んでもよい。例えば、フレームアタッチメント 626、628 は、側方部材 618、620 をフレームアタッチメント 626、628 に取り付ける機械的ファスナを組み込んでもよく、これらの機械的ファスナは、ユーザが機械的ファスナを解放することができるようにすることにより緊急解放部 627、629 として作用し、それにより、側方部材 618、620 を外して、展開可能本体 610 を折り畳み状態に折り畳む。いくつかの実施形態では、緊急解放部 627、629 は、フレームアタッチメント 626、628 を貫通して側方部材 618、620 に入る、ねじ、ボルト、またはピンであってもよく、これらを取り外して展開可能本体 610 を折り畳むことができる。いくつかの実施形態では、展開可能本体 610 は、フレーム 612、614、616 および側方部材 618、620 の構成に基づく弧である側方形状を有し、図 8 で最もよく見える。展開可能本体 610 の弧は、ロボットクローラ 600 が動作することを意図されている環状ギャップの湾曲を補完するように構成されてもよい。例えば、弧または湾曲は、環状ギャップを画定する中央円筒部材の外側表面または周囲の円筒部材の内側表面の弧に類似していてもよい。

【0032】

いくつかの実施形態では、フレーム 612、614、616 の各々は、牽引モジュール 660、662、664 を受容し、位置決めし、保持するように構成される。例えば、牽引モジュール 660、662、664 はそれぞれ、フレーム 612、614、616 に取り外し可能に取り付けられる固定外側フレーム 666、668、670 を備えた多方向牽引モジュールであってもよい。牽引モジュール 660、662、664 は、ロボットクローラ 600 が牽引駆動構成要素 678、680、682 の向きおよび移動方向を変更できるようにする回転内側フレーム 672、674、676 を含んでもよい。牽引モジュール 660、662、664 の各々は、センサモジュールまたは他の機能モジュールを直接または直列に取り付けるために使用できる 1 つまたは複数のインタフェース 684、686、688、690 を含んでもよい。例えば、牽引モジュール 660 は、インタフェース 6

８４を含んでもよく、視覚センサモジュール６９２とともに示されている。牽引モジュール６６２は、インタフェース６８６、６８８および視覚センサモジュール６９４、６９６を含んでもよい。牽引モジュール６６４は、インタフェース６９０、視覚センサモジュール６９８、およびテザーコネクタモジュール６０２を含んでもよい。

【００３３】

図９～図１５は、様々な実施形態による例示的な多方向または全方向牽引モジュール８００の様々な図を示す。多方向とは、一般に、複数の方向に進む能力を指す。しかしながら、本明細書で使用する場合、角度向きを変更する能力を含むために、３つ以上の方向（例えば、固定駆動システムの場合の前方および後方よりも多い）を指す。例えば、多方向ロボットは、軸方向および周方向の両方の向きに移動し、両方の向きで前進および後進して、少なくとも４つの方向の移動を提供することができる。前方および後方に加えて、向きを９０度変更することが可能な駆動システムは、実質的に多方向の駆動システムであり得る。多方向は、軸方向および周方向の向きからの９０度の変化の間の位置など、３つ以上の動作可能な向きも含むことができる。全方向は、合理的な制御パラメータ内で、３６０度の弧にわたって任意の向きを選択する能力を指す。全方向牽引モジュールは、多方向牽引モジュールのサブセットであり得る。向き変更のための１８０度の回転弧と可逆駆動システム（前方／後方）の組合せにより、実質的な全方向ナビゲーションを可能にすることができる。いくつかの実施形態では、牽引コントローラは連続的に全方向性であってもよく、これは、ある方向または別の方向にその３６０度の弧にわたって回転することができる回数に制限がないことを意味する。一般に、連続的な全方向駆動システムは、回転を制限する可能性があるワイヤなどの固定接続によって制約され得ない。他の実施形態では、牽引モジュールは部分的にのみ全方向性であってもよく、これは、ある方向または別の方向に３６０度の円弧をどれだけ回転することができるかに制限があることを意味する。

【００３４】

牽引モジュール８００は、ロボットクローラ１１０、２１０、５１０、６００などのロボットクローラで使用するために構成されてもよい。牽引モジュール８００はまた、他のモジュール式ロボットで使用するために構成されてもよい。牽引モジュール８００は、ロボットクローラ自体の向きを変更することなく、ロボットクローラの進行の方向および向きを変更することを可能にする。いくつかの実施形態では、牽引モジュール８００などの複数の牽引モジュールを同じロボットに取り付けることができるが、各々が独立して向きを変更することができるように独立して制御され、それらが取り付けられているロボットの操縦性をさらに高めることができる。

【００３５】

図９は、本開示の様々な実施形態による牽引モジュール８００の斜視図を示す。牽引モジュール８００は、フレーム６１２、６１４、６１６（図６～図７）への挿入などのロボットクローラへの取り付けのために構成された１つまたは複数の取り付け特徴部８１２、８１４を有する外側フレーム８１０を含むことができる。いくつかの実施形態では、牽引モジュール８００はまた、制御システム１５０（図１）から牽引モジュール８００への電力および／または制御信号のための電氣的相互接続８１６を含むことができる。

【００３６】

牽引モジュール８００はまた、外側フレーム８１０内に回転可能に取り付けられ、外側フレーム８１０に対して回転運動することができる回転フレーム８２０を含むことができる。外側フレーム８１０は、フレーム６１２、６１４、６１６（図６～図７）に対して定位置に固定されている。回転フレーム８２０は、固定外側フレーム８１０内に設置されている。外側フレーム８１０は、外側フレーム８１０の内周部８１９から半径方向内側に延びる複数の固定カム８１８を有する。カム８１８は、任意の形態の軸受面または回転軸受面を含むことができる。

【００３７】

図１０は、回転フレーム８２０の分解斜視図を示し、図１１は、回転フレーム８２０が取り外された外側フレーム８１０の斜視図を示す。回転フレーム８２０は、ロボットを推

進するために駆動システム 802 を所望の向きに位置決めすることを可能にするように回転するように構成されるが、駆動システム 802 を移動させて、回転運動の一部の間に駆動システムがロボットを推進する表面との接触のために外側フレーム 810 からさらに遠くに延在するように構成された傾斜部 856 も含む。より具体的には、回転フレーム 820 の回転運動の第 1 の部分の間、回転フレーム 820 は、駆動システム 802 を、外側フレーム 810 に対する第 1 の位置と、駆動システム 802 が外側フレーム 810 から第 1 の位置よりも大きい範囲で外側に延在する第 2 の位置との間で移動させる。回転フレーム 820 の回転運動の第 2 の部分の間、回転フレーム 820 は、ロボットを推進するために駆動システム 802 を所望の向きに位置決めする。図 12 ~ 図 15 の側面図を参照すると、本開示の実施形態によれば、アクチュエータ 822 が、回転フレーム 820 を回転させて、駆動システム 802 を、より低いプロファイルを提供する外側フレーム 810 に対して第 1 の（フラットモード）位置（図 12 および図 14）と、駆動システム 802 が外側フレーム 810 から第 1 の位置（図 12 および図 14）よりも大きい範囲で外側に延在する第 2 の（障害物またはクリアランスモード）位置（図 13 および図 15）との間で移動させることができる。このようにして、ロボットクローラ 110 とそれが進行している表面との間のクリアランスをより慎重に制御することができる。

【0038】

図 12 は、外側フレーム 810 から最小距離 P1 だけ延在する第 1 の位置にある、例えば牽引駆動構成要素 678、680、682 を有する駆動システム 802 を示し、図 13 は、外側フレーム 810 からより大きい距離または範囲 P2 だけ延びる第 2 の位置、すなわち $P2 > P1$ 、にある駆動システム 802 を示す。フラットモードでは、駆動システム 802 は、円筒状中央部材 226（図 2）の軸に対して外側フレーム 810 から半径方向に遠くまで延在しない。クリアランスモードでは、外側フレーム 810 の位置に応じて、駆動システム 802 は、フラットモードと比較して、より半径方向内側（円筒状中央部材上にある場合）またはより半径方向外側（周囲の円筒状部材 224（図 2）上にある場合）に延在することができる。フラットモードでは、ローラ 832、834 またはローラギア 833、835（場合によっては）などの牽引駆動構成要素の各回転軸 804 は、外側フレーム 810 の長手方向軸方向平面 AF と共通の単一平面に整列させることができる。クリアランスモードでは、牽引駆動構成要素（ローラ 832、834 またはローラギア 833、835）の各回転軸 804 は、長手方向軸方向平面 AF の共通の単一平面から外れており、別個の動作平面 DP を画定する。平面 DP は、平面 AF とは異なる。さらに説明するように、牽引駆動構成要素 678、680、682 は、ロボットクローラ 110 を移動させるための任意の所望の向きにあってもよい。

【0039】

図 10 に示すように、回転フレーム 820 は、外側フレーム 810 内で回転運動するように配置された外側円形部材 840 と、駆動システム 802 に動作可能に結合された内側部材 842 とを含むことができる。駆動システム 802 は、回転フレーム 820 で使用するために位置決めされる。例えば、牽引駆動構成要素 678、680、682 の一部が、円筒状部材 224（図 2）を取り囲む内側表面 234（図 2）または円筒状中央部材 226（図 3）の外側表面 236（図 3）と接触することができるように、内側部材 842 から延在する。

【0040】

内側部材 842 が駆動システム 802 を第 1 の位置と第 2 の位置との間で移動させると、内側部材 842 は、外側円形部材 840 に対して非回転の入れ子式に移動する。さらに、内側部材 842 および外側円形部材 840 は、互いに対して回転しない。いくつかの実施形態では、牽引モジュール 800 は、外側円形部材 840 上の第 1 の要素 846 と、内側部材 842 上の嵌合する第 2 の要素 848 とを含むガイドシステム 844 を含んでもよい。第 1 および第 2 の要素 846、848 は、内側部材が第 1 の位置から第 2 の位置へ移動する際に、外側円形部材 840 に対する内側部材 842 の非回転入れ子式運動を維持するように構成されている。一例では、第 1 の要素 846 は、外側円形部材 840 の内周に

スロットを含み、第2の要素848は、内側部材842の外周に嵌合ガイド要素を含み、それぞれのスロット内で摺動するように構成されている。このようにして、第1および第2の要素846、848は、外側円形部材840および内側部材842の回転を防止するように摺動係合し、内側部材842が第1の位置と第2の位置との間を移動するときその非回転入れ子式運動を誘導または案内する。任意の数のガイドシステム844が、外側円形部材840および内側部材842の周りに設けられてもよい。スロットおよび延長部（雌－雄）配置が示されているが、多種多様な代替実施形態が適用可能であり、本開示の範囲内であると考えられる。スロットおよび延長部の位置は、必要に応じて切り替えることもできる。

【0041】

図16の断面図に示すように、牽引モジュール800は、内側部材842を第2の位置に向かって押し付ける付勢部材828を含むことができる。付勢部材828は、任意の現在知られているまたは今後開発される付勢システム、例えば、圧縮ばね、油圧または空気圧ラム、ばねクリップなどを含むことができる。任意の数の付勢部材828を使用することができる。付勢部材828は、所望の任意の位置に位置決めすることができる。図16では、付勢部材828は、外側円形部材840とともに回転するブラシボードプレート829と、付勢部材828の付勢下で外側円形部材840に対して回転および並進移動する内側部材842の底面との間に位置決めされた圧縮ばねである。図16はまた、外側フレーム810のスリップリングボード833（図1も参照）に当接する回転フレーム820の軸受831を示す。スリップリングボード833およびブラシボードプレート829は、限定はしないが、トラック837に接触するばね荷重ピン835などの回転部品間の電気通信を維持するための任意の現在知られているまたは今後開発されるシステムを含むことができる。ピンおよびトラックは、それぞれ外側フレーム810（およびロボットクロウラ110の残りの部分）および駆動システム802に電氣的に結合され、部品の相対回転にもかかわらず一定の電氣的接続を可能にする。

【0042】

例えば図10、図14および図15に示すように、内側部材842は、内側部材842の周囲面852に露出した複数の溝850を含むことができる。各溝850は、内側部材842の周囲面852の周りに部分的に延在する。例えば、各溝850は、約120度の全弧にわたって延在することができる。各溝850は、駆動システム802を第1の位置（図12および図14）と第2の位置（図13および図15）との間で移動させるために、回転フレーム820の回転運動の第1の部分の間に外側フレーム810のそれぞれの固定カム818（図11、図14および図15）と相互作用するように構成された傾斜部856を有する第1のセクション854を含む。各傾斜部856は、外側フレーム810に対してある角度および長さで延在して、外側フレーム810から駆動システム802の所望の延長部を形成することができる。角度および長さは、例えば、ユーザおよび／またはアプリケーション固有であり得る。各溝850はまた、第1のセクション854と隣接し、回転フレーム820の回転運動の第2の部分の間にそれぞれの固定カム818（図11、図14および図15）と相互作用して駆動システム802を所望の向きに回転させてロボットを推進するように構成された第2のセクション858を含んでもよい。第2のセクション858は、実質的に平面であり、駆動システム802が傾斜部856の位置決めによって設定された外側フレーム810から延在する範囲を維持しながら、回転フレーム820、したがって駆動システム802の回転を可能にする。第1のセクション854は、例えば、それぞれの溝850の120度の全弧の20～25度の間を含んでもよく、第2のセクション858は溝の残りの部分を含んでもよい。いくつかの実施形態では、3つの溝と固定カムの組合せが使用される。この場合、各溝850は、約120度の全弧を描き、牽引駆動構成要素678、680、682の多方向制御によって駆動システム802を十分に回転させて、任意の方向への推進を可能にする。駆動システム802の回転運動が制限されているため、ロボットの利用可能な推進方向のいくつかの制限を受け入れる必要があり得ることを理解して、より少ない数の溝850と固定カム818の組合せを採用す

10

20

30

40

50

ることができる。溝 8 5 0 内の傾斜部 8 5 6 は、回転フレーム 8 2 0 の周りに螺旋セクションを集合的に形成する。

【0043】

牽引モジュール 8 0 0 はまた、回転フレームを制御可能に回転させるために回転フレーム 8 2 0 に動作可能に接続されたアクチュエータ 8 2 2 を含むことができる。アクチュエータ 8 2 2 は、牽引モジュール 8 0 0 の回転フレーム 8 2 0 および／または外側フレーム 8 1 0 に接続されてもよい。アクチュエータ 8 2 2 は、外側円形部材 8 4 0 に回転力を加えて回転フレームを回転運動させるためのモータを含む。さらに説明するように、回転フレーム 8 2 0 は、フラットモードとクリアランスモードとの間で変化するように一定量回転することができ、進行の向きおよび方向を変更するために別の量、例えば 9 0 度回転することができ、所望の進行方向に操舵するために他の量で回転することができる。いくつかの実施形態では、回転フレーム 8 2 0 は、第 2 のセクション 8 5 8 の弧長に応じて、少なくとも 9 0 度の弧および／または最大 1 2 0 度の弧に沿って様々な位置または向きで移動または停止することができる。アクチュエータ 8 2 2 は、回転フレーム 8 2 0 の回転運動を駆動するための任意の様々な形態をとることができる。いくつかの実施形態では、アクチュエータ 8 2 2 は、ウォームギアのシャフトの回転が回転フレーム 8 2 0 の向きの定義された角度変化に変換されるように、外側円形部材 8 4 0 の外周 8 6 4 (図 1 0) (直径) 上の嵌合するギア付き縁部 8 6 2 (図 1 0) と係合するリードスクリュー 8 6 0 (図 1 1) (モータに結合されている) を含むことができる。別の例 (図示せず) では、駆動ホイール (モータに結合されている) は、駆動ホイールのシャフトの回転が回転フレーム 8 2 0 の向きの定義された角度変化に変換されるように、回転フレーム 8 2 0 の一部の外周 8 6 4 の滑らかな縁部に係合してもよい。多種多様な代替の回転アクチュエータシステムを使用することもできる。回転フレーム 8 2 0 の角度位置または向きを測定するために、位置エンコーダ 8 6 6 (図 9) を設けることができる。いくつかの実施形態では、図 9 に示すように、位置エンコーダ 8 6 6 (図 9) は、エンコーダ 8 6 6 が牽引モジュール 8 0 0 の向きを確認することを可能にするために、反射コーティングおよび非反射コーティングを介して視覚的基準を提供するためにおそらく基準弧 8 2 4、8 2 6 を使用する光学センサを含むことができる。別の実施形態では、位置エンコーダは、アクチュエータ 8 2 2 に接続された磁気エンコーダを含むことができ、アクチュエータ 8 2 2 のパラメータ、例えば、回転フレームの角度位置に相関するリードスクリュー 8 6 0 (図 1 1) の回転数に基づいて回転フレーム 8 2 0 の位置を検出することができる。別の実施形態では、位置エンコーダ 8 6 6 は、アクチュエータ 8 2 2 のモータ内の第 1 のエンコーダと、リードスクリュー 8 6 0 の出力、例えばウォームギアのシャフトにおける第 2 のエンコーダ (例えば、磁性) との、2 つのエンコーダを含んでもよい。エンコーダの測定値は、回転フレーム 8 2 0 の角度位置に相関させることができる。いずれの場合でも、ロボット 1 0 8 (図 1) の制御システム 1 5 0 (図 1) は、回転フレーム 8 2 0 の角度位置を使用してロボットを操舵することができる。

【0044】

牽引モジュール 8 0 0 はまた、回転フレーム 8 2 0 に動作可能に結合され、牽引駆動構成要素 6 7 8、6 8 0、6 8 2 (図 6、図 9 および図 1 0) を駆動してロボットを推進するように構成された駆動システム 8 0 2 を含むことができる。駆動システムまたは駆動装置 8 0 2 は、以下に限定されないが、ローラ、ホイールまたはボールのような転動システム、またはベルトもしくはトラック、または他のシステムなどの牽引駆動構成要素 6 7 8、6 8 0、6 8 2 を、それらに関連するアクチュエータ (例えば、電気モータ) とともに含む、機械的移動の任意の動力システムであってもよい。いくつかの実施形態では、図 6 に示すように、牽引駆動構成要素 6 7 8、6 8 0、6 8 2 は、回転フレーム 8 2 0 内に配置されたローラアセンブリ 8 3 0 を含むことができ、ロボットクローラを回転方向に移動させるために回転牽引を提供するためのローラ 8 3 2、8 3 4 の構成を含むことができる。ローラアセンブリ 8 3 0 はまた、ローラ 8 3 2、8 3 4 を回転させるためのモータまたは他のアクチュエータを含んでもよい。ローラアセンブリ 8 3 0 および／または回転ロー

10

20

30

40

50

ラ 8 3 2、8 3 4 ならびにそれらのそれぞれのアクチュエータは、牽引駆動構成要素、駆動システムまたは駆動装置の例であり得る。いくつかの実施形態では、図 9 および図 1 0 に示すように、牽引駆動構成要素 6 7 8、6 8 0、6 8 2 は、牽引モジュール 8 0 0 に牽引力を提供するためのベルトまたは軌道駆動装置 8 3 6、8 3 8 を含むことができる。例えば、ベルトまたは軌道駆動装置 8 3 6、8 3 8 は、ローラまたはローラギア 8 3 3、8 3 5 の長さを実質的に覆い、隣接する機械表面との大きな接触面積を提供することができる。いくつかの実施形態では、ベルトまたは軌道の合計幅は、回転フレーム 8 2 0 の全幅の少なくとも半分であってもよい。いくつかの実施形態では、ベルトまたは軌道駆動装置 8 3 6、8 3 8 は、油性表面にグリップを提供するためのテクスチャ加工された表面など、牽引力を改善するための表面特徴部または処理を含むことができる。いずれの場合でも、牽引駆動構成要素 6 7 8、6 8 0、6 8 2 は、回転フレーム 8 2 0 の回転による向きの変化に加えて、順方向または逆方向に駆動されてもよい。いくつかの実施形態では、ベルトまたは軌道駆動装置 8 3 6、8 3 8 の運動および方向は、独立して制御されてもよい。対応するローラまたはローラギア（図示せず）およびベルト駆動装置 8 3 6 を反対方向に駆動しながら、ローラまたはローラギア 8 3 3、8 3 5 およびベルト駆動装置 8 3 8 を一方向に駆動することにより、向きの変化を作動させることができる。

【0045】

再び図 1 6 の牽引モジュール 8 0 0 の断面図を参照すると、牽引モジュール 8 0 0 のいくつかの実施形態は、駆動システム 8 0 2 と回転フレーム 8 2 0 との間に配置され、動作中に駆動システム 8 0 2 に加えられる力を測定する力センサ 8 7 0 を含むことができる。力センサ 8 7 0 は、牽引モジュール 8 0 0 の動作位置を調整して、牽引モジュールと駆動システム 8 0 2 がロボットフレームを推進する表面との間の表面接触力を変化させるために、力測定信号を制御システム 1 5 0（図 1）に提供することができる。すなわち、力の測定値を使用して、牽引モジュール 8 0 0 と、駆動システム 8 0 2 がロボットを推進する表面 2 3 4、2 3 6（図 2 および図 3）との間の表面接触を制御することができる。例えば、制御システム 1 5 0 は、力測定信号を使用して、本体フレーム（例えば、その展開および／または収縮）、駆動システム 8 0 2、および／またはアクチュエータ 8 2 2 を制御することができる。アクチュエータ 8 2 2 は、駆動システム 8 0 2 をフラットモード位置とクリアランスモード位置との間で移動させ、駆動システム 8 0 2 を所望の向きに移動させるように制御されてもよい。駆動システム 8 0 2 は、ロボットを推進するように制御されてもよい。

【0046】

図 1 2～図 1 5 および図 1 7～図 1 9 の溝 8 5 0 とカム 8 1 8 との界面の拡大斜視図を参照して、回転フレーム 8 2 0 およびアクチュエータ 8 2 2（図 9 および図 1 0）の動作を説明する。図 1 2、図 1 4 および図 1 7 は、第 1 の（フラットモード）位置にある内側部材 8 4 2 およびその中の駆動システム 8 0 2 を示す。この位置では、各カム 8 1 8 は、内側部材 8 4 2 が外側部材 8 4 0 内に完全に載置され、付勢部材 8 2 8（図 1 1 および図 1 6）の付勢に抗してカム 8 1 8 によってその中に保持されるように、傾斜部 8 5 6 の上端の位置にある。内側フレーム 8 4 2 内の駆動システム 8 0 2 は、第 1 の（フラットモード）位置にあり、図 2 に示すように、環状ギャップ内に容易に配置することができる。環状ギャップに入ると、図 3 に示すように、展開可能なロータ本体を展開させて、駆動システム 8 0 2 を表面 2 3 4、2 3 6 と係合またはほぼ係合することができる。この段階で、アクチュエータ 8 2 2 は、可能な完全な回転運動の少なくとも第 1 の部分の間に回転フレーム 8 2 0 を回転させるように作動されてもよい。図 1 7 に示すように、内側部材 8 4 2 および駆動システム 8 0 2 を第 1 の位置（図 1 2、図 1 4 および図 1 7）から第 2 の位置（図 1 3、図 1 5 および図 1 9）に移動させるための回転フレーム 8 2 0 の回転運動 R 1 の第 1 の部分の間、各固定カム 8 1 8 は、それぞれの溝 8 5 0 の第 1 のセクション 8 5 4 の傾斜部 8 5 6 と係合する。傾斜部 8 5 6 は、カム 8 1 8 が傾斜部 8 5 6 に沿って移動するにつれて、内側部材 8 4 2 および駆動システム 8 0 2 を外側フレーム 8 1 0 から外側に徐々に押し付ける。回転フレーム 8 2 0 の回転が生じると、ガイドシステム 8 4 4 の第 1

および第2の要素846、848は、外側円形部材840に対する内側部材842の非回転入れ子式運動を可能にし、すなわち、ガイドシステム844は、外側円形部材840に対して内側部材842を摺動式に案内する。内側部材842および駆動システム802が外側円形部材840から外側に移動する距離は、ユーザおよび／または用途に固有であり得る。例えば、牽引モジュール800に特定の力を加えるように選択することができる。カム818が傾斜部856の端部、すなわち溝850の第1のセクション854の端部に到達すると、平坦な溝850の第2のセクション858に入る。回転フレーム820の完全な回転運動の第2の部分R2の間、各固定カム818は、それぞれの溝850の第2のセクション858と係合して、駆動システム802をロボットを推進するための所望の向きに回転させる。駆動システム802および内側部材842は、ロボットを推進するために駆動システム802を所望の向きに位置決めするために回転フレーム820が連続的に回転する間、第2の位置（図13、図15および図18）に維持される。図18は、回転フレーム820の完全回転時の溝850の第2のセクション858内のカム818を示す。【0047】

回転フレーム820の動作をさらに説明するために、図20は、回転フレーム820の例示的な回転運動の概略平面図を示す。図9および図12に示すフラットモードでは、回転フレーム820は第1の（フラットモード）位置にあり、環状ギャップへのロボットクローラ110の進入を可能にする。位置Aは、図12、図14、および図17に示す第1の（フラットモード）位置に対応する。図示の例では、回転フレーム820は位置Aにある。図示の例では、点Aから点Bへの移動は、回転フレーム820の回転移動の第1の部分R1を表す。非限定的な一例では、傾斜部856（図17）の長さによって規定される第1の部分R1は、約22度延在する。点Bから点Eまでの回転は、回転フレーム820の回転運動の第2の部分R2、より詳細には、本体フレームを推進するための所望の向きにおける駆動システム802の位置決めを表す。すなわち、点Bから点Eまでの回転フレームの回転は、運動の方向（横方向、軸方向、対角方向など）を変化させ、操舵制御を提供する。位置Bでは、駆動システム802は、ロボットを紙面上で左右に移動させる向きにあり、これは図2および図3の周方向の移動と整列することができる。点Bと点Cとの間の回転は、周方向の操舵を提供し、すなわち、ロボットクローラが環状ギャップ内を周方向に（例えば、経路530（図2）に沿って）移動するときに提供される。BからCへの回転は、例えば、約3度を含むことができる。ロボットが重力および／または他の外力のために検査経路から逸脱する場合、点Bから点Cの間の回転は、位置ずれを修正し、ロボットを軌道、例えば主に周方向の軌道に維持するための操舵制御を可能にする。点Cから点Dへの回転は、駆動システム802の方向を周方向移動から軸方向移動のための位置へと変化させることを可能にし、すなわち、ロボットクローラが環状ギャップ内で軸方向に（例えば、図2の長い経路）移動することを可能にする。回転フレーム820の回転はまた、点Cと点Dとの間の任意の点に対するものであってもよく、周方向と軸方向との間の対角方向の移動を可能にする。CからDへの回転は、例えば、約90度を含むことができる。位置Dでは、駆動システム802は、ロボットを紙面で上または下に移動させる向きにあり、これは図2および図3の軸方向移動と整列することができる。点Dから点Eへの回転は、軸方向操舵、すなわち、ロボットクローラが環状ギャップ内で軸方向に移動するときに提供することができる。DからEへの回転は、例えば、約3度を含むことができる。ロボットが重力および／または他の外力のために検査経路から逸脱する場合、点Dから点Eの間の回転は、位置ずれを修正し、ロボットを軌道、例えば主に軸方向の軌道に維持するための操舵制御を可能にする。集合的に、点Aから点Eまでの弧は、溝850の全弧、例えば120度に等しい。

【0048】

本明細書に記載の回転フレームを有する牽引モジュールの実施形態は、操舵および駆動システムの持ち上げまたは拡張を単一の簡単な解決策と組み合わせる。牽引モジュールは、システムの寿命を延ばしながら、部品の数、複雑さ、およびコストを低減する。より複雑でない機構は、より大きな牽引駆動構成要素などの他の部品のための追加の空間を提供

して、不均一な表面上の牽引および障害物処理を改善する。さらに、力センサを用いた能動力測定は、接触力をリアルタイムで追跡することを可能にし、ロボットクローラをより高い性能で動作させることを可能にする。

【0049】

本明細書で使用される専門用語は、単に特定の実施形態を説明するためのものに過ぎず、本開示を限定するものではない。本明細書で使用する場合、単数形「1つの(a)」、「1つの(an)」、および「この(the)」は、特に明示しない限り、複数形も含むことを意図している。「備える(comprise)」および／または「備えている(comprising)」という用語は、本明細書で使用する場合、記載した特徴、整数、ステップ、動作、要素、および／または構成要素が存在することを明示するが、1つまたは複数の他の特徴、整数、ステップ、動作、要素、構成要素、および／またはそれらの組が存在することまたは追加することを除外しないことがさらに理解されよう。

10

【0050】

以下の特許請求の範囲におけるミーンズプラスファンクションまたはステッププラスファンクションの要素すべての、対応する構造、材料、動作、および均等物は、具体的に請求された他の請求要素と組み合わせてその機能を実施するための、一切の構造、材料、または動作を包含することを意図している。本開示の記述は、例示および説明の目的で提示されており、網羅的であることも、または本開示を開示した形態に限定することも意図していない。当業者には、本開示の範囲および趣旨から逸脱することなく多くの修正および変形が明らかであろう。本開示の原理および実際の用途を最良に説明し、想定される特定の使用に適するように様々な修正を伴う様々な実施形態について本開示を他の当業者が理解することができるようにするために、本実施形態を選択し、かつ説明した。

20

【符号の説明】

【0051】

- 100 ロボットシステム
- 108 ロボット
- 110 ロボットクローラ、オンボードロボットクローラ
- 112 展開可能本体
- 114 前部牽引モジュール
- 116 中間牽引モジュール
- 118 後部牽引モジュール
- 120 センサモジュール
- 122 センサモジュール
- 124 テザーコネクタ
- 126 テザーコネクタ
- 130 テザーリール
- 132 テザー
- 134 互換性端部コネクタ
- 136 ファスナ
- 138 ファスナ
- 142 サーボモータ
- 144 張力管理ロジック
- 146 固定接続
- 148 ワイヤ
- 150 制御システム
- 152 コンピューティングシステム
- 154 メモリ
- 156 プロセッサ
- 158 I/Oインタフェース
- 160 検査制御モジュール

30

40

50

1 6 2	検査経路データソース	
1 6 4	視覚データソース	
1 6 6	試験データソース	
1 6 8	センサプロトコルデータソース	
1 7 0	視覚表示モジュール	
1 7 2	データ表示モジュール	
1 7 4	自律ナビゲーションモジュール	
1 7 6	手動ナビゲーションモジュール	
1 7 8	検査モジュール	
1 8 0	クローラ構成モジュール	10
1 8 2	クローラ調整モジュール	
1 8 4	クローラコマンド	
1 8 6	展開／収縮コマンド	
1 8 8	移動コマンド	
1 9 0	方向転換コマンド	
1 9 2	牽引モードコマンド	
1 9 4	位置センサコマンド	
1 9 6	データ取得コマンド	
2 0 0	現場ギャップ検査システム	
2 1 0	ロボットクローラ	20
2 1 2	折り畳みクローラ幅	
2 1 4	展開クローラ幅	
2 2 0	環状ギャップ	
2 2 2	入口ギャップ	
2 2 4	周囲の円筒状部材	
2 2 6	円筒状中央部材	
2 2 8	環状ギャップ幅	
2 3 0	保持部材	
2 3 2	入口ギャップ幅	
2 3 4	内側表面、対向面	30
2 3 6	外側表面、対向面	
2 4 0	牽引モジュール	
2 4 2	牽引モジュール	
2 4 4	牽引モジュール	
2 4 6	展開可能本体	
5 0 2	機械	
5 1 0	ロボットクローラ	
5 2 0	環状ギャップ	
5 2 2	入口ギャップ	
5 2 4	入口端部	40
5 2 6	ギャップ長	
5 2 8	閉鎖端部	
5 3 0	ライン、経路	
5 3 2	ライン	
6 0 0	ロボットクローラ	
6 0 2	テザーコネクタモジュール	
6 1 0	展開可能本体	
6 1 2	前部フレーム	
6 1 4	中間フレーム	
6 1 6	後部フレーム	50

6 1 8	側方部材	
6 2 0	側方部材	
6 2 2	フレームアタッチメント	
6 2 4	フレームアタッチメント	
6 2 6	フレームアタッチメント	
6 2 7	緊急解放部	
6 2 8	フレームアタッチメント	
6 2 9	緊急解放部	
6 3 0	延長リンク部材	
6 3 2	延長リンク部材	10
6 3 4	旋回アタッチメント	
6 3 6	旋回アタッチメント	
6 3 8	旋回アタッチメント	
6 4 0	旋回アタッチメント	
6 4 2	第 1 のリンク	
6 4 4	第 1 のリンク	
6 4 6	第 2 のリンク	
6 4 8	第 2 のリンク	
6 5 0	旋回アタッチメント	
6 5 2	旋回アタッチメント	20
6 5 4	リニアアクチュエータ	
6 5 6	リニアアクチュエータ	
6 6 0	牽引モジュール	
6 6 2	牽引モジュール	
6 6 4	牽引モジュール	
6 6 6	固定外側フレーム	
6 6 8	固定外側フレーム	
6 7 0	固定外側フレーム	
6 7 2	回転内側フレーム	
6 7 4	回転内側フレーム	30
6 7 6	回転内側フレーム	
6 7 8	牽引駆動構成要素	
6 8 0	牽引駆動構成要素	
6 8 2	牽引駆動構成要素	
6 8 4	インタフェース	
6 8 6	インタフェース	
6 8 8	インタフェース	
6 9 0	インタフェース	
6 9 2	視覚センサモジュール	
6 9 4	視覚センサモジュール	40
6 9 6	視覚センサモジュール	
6 9 8	視覚センサモジュール	
8 0 0	牽引モジュール	
8 0 2	駆動システム、駆動装置	
8 0 4	回転軸	
8 1 0	固定外側フレーム	
8 1 2	取り付け特徴部	
8 1 4	取り付け特徴部	
8 1 6	電氣的相互接続	
8 1 8	固定カム	50

8 1 9	内周部	
8 2 0	回転フレーム	
8 2 2	アクチュエータ	
8 2 4	基準弧	
8 2 6	基準弧	
8 2 8	付勢部材	
8 2 9	ブラシボードプレート	
8 3 0	ローラアセンブリ	
8 3 1	軸受	
8 3 2	ローラ	10
8 3 3	ローラギア、スリップリングボード	
8 3 4	ローラ	
8 3 5	ローラギア、ばね荷重ピン	
8 3 6	ベルトまたは軌道駆動装置	
8 3 7	トラック	
8 3 8	ベルトまたは軌道駆動装置	
8 4 0	外側円形部材、外側部材	
8 4 2	内側部材、内側フレーム	
8 4 4	ガイドシステム	
8 4 6	第 1 の要素	20
8 4 8	第 2 の要素	
8 5 0	溝	
8 5 2	周囲面	
8 5 4	第 1 のセクション	
8 5 6	傾斜部	
8 5 8	第 2 のセクション	
8 6 0	リードスクリュウ	
8 6 2	ギア付き縁部	
8 6 4	外周	
8 6 6	位置エンコーダ	30
8 7 0	力センサ	
A F	長手方向軸方向平面	
D P	動作平面	

【図面】

【図 1】

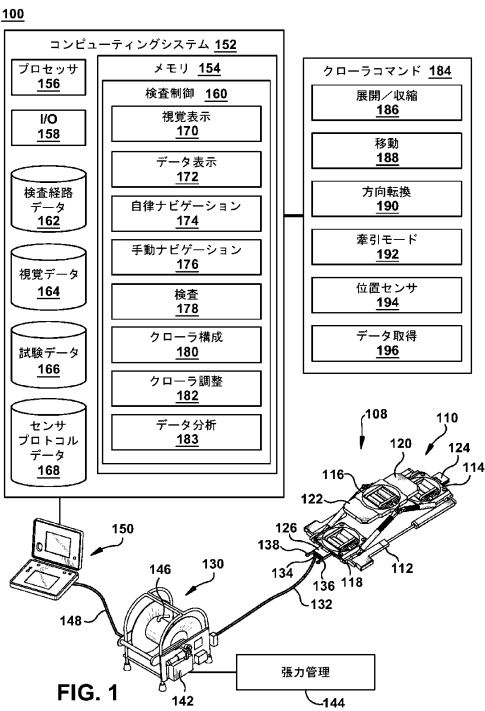


FIG. 1

【図 2】

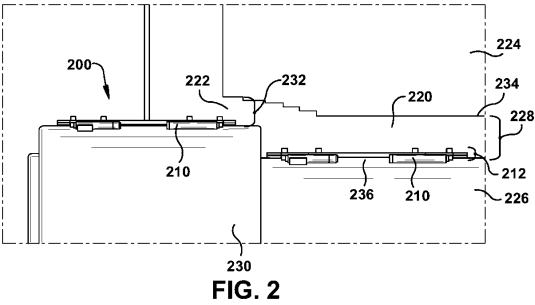


FIG. 2

10

20

【図 3】

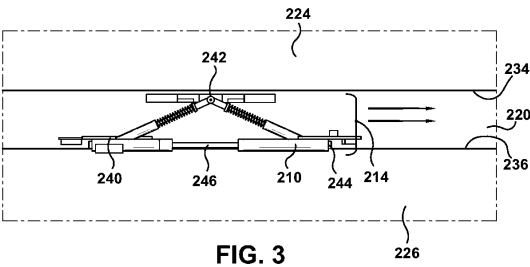


FIG. 3

【図 4】

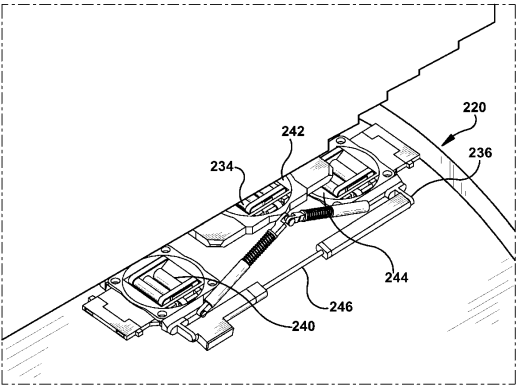


FIG. 4

30

40

50

【図 5 A】

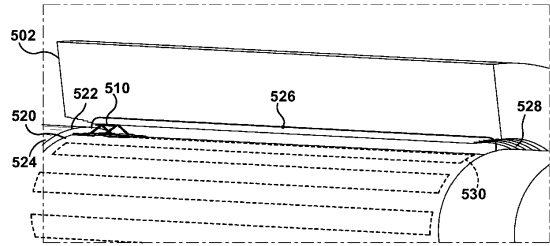


FIG. 5A

【図 5 B】

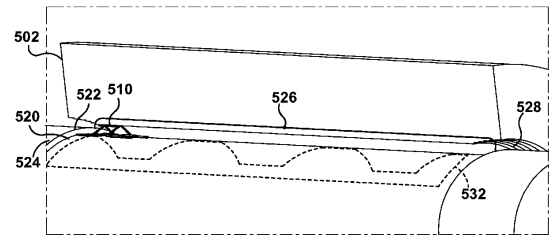


FIG. 5B

【図 6】

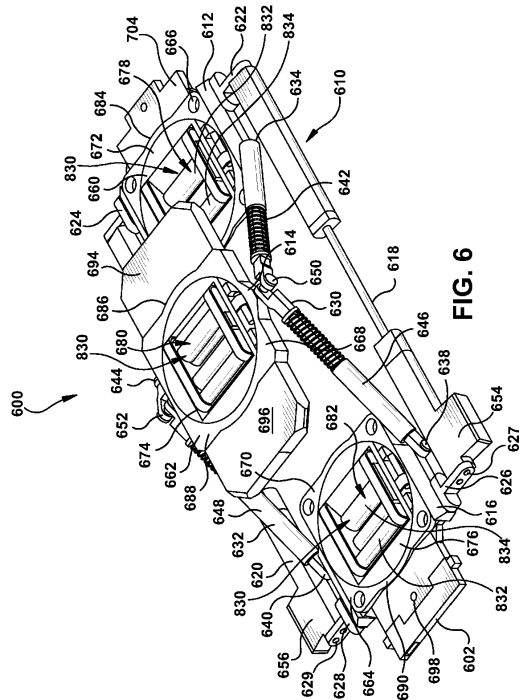


FIG. 6

【図 7】

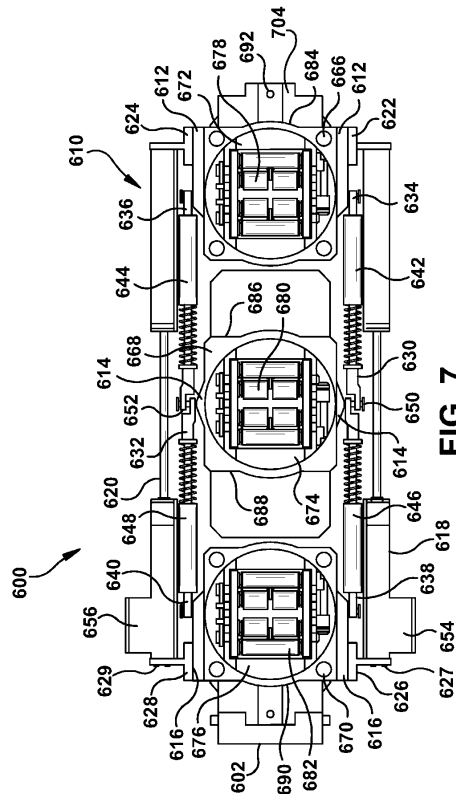


FIG. 7

10

20

30

40

50

【図 8】

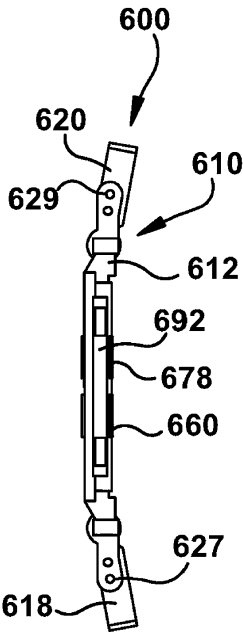


FIG. 8

【図 9】

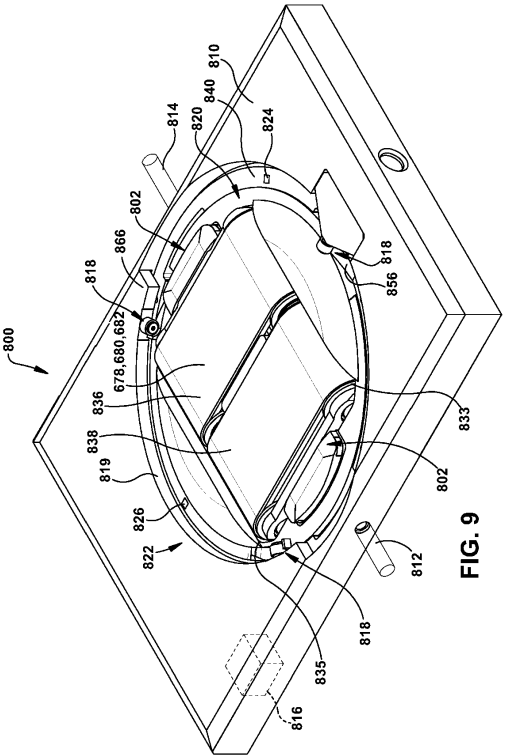


FIG. 9

【図 10】

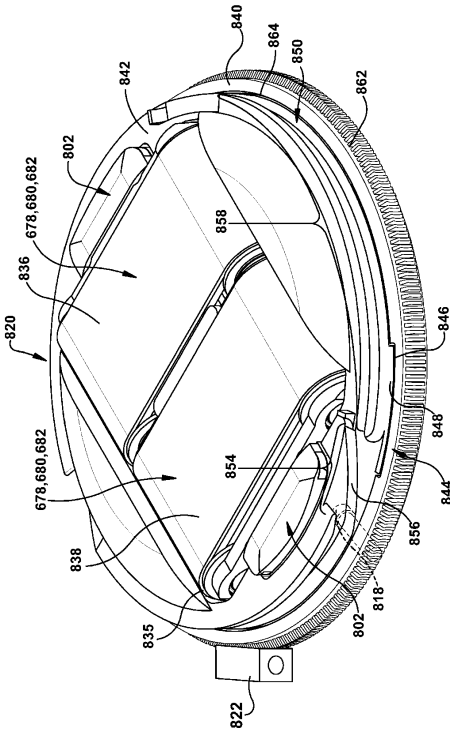


FIG. 10

【図 11】

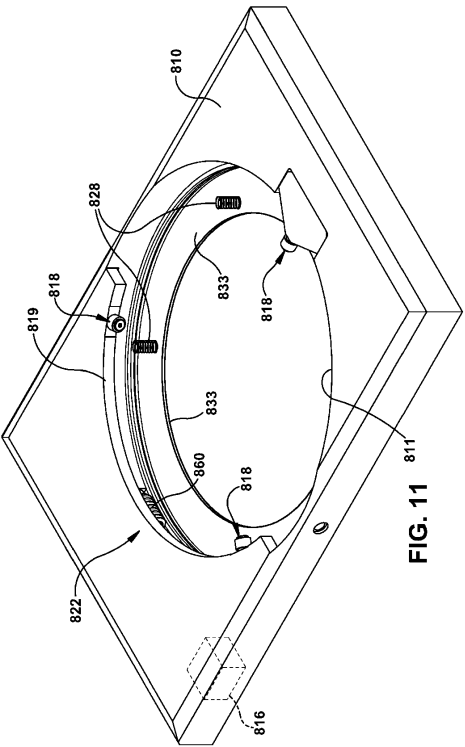


FIG. 11

10

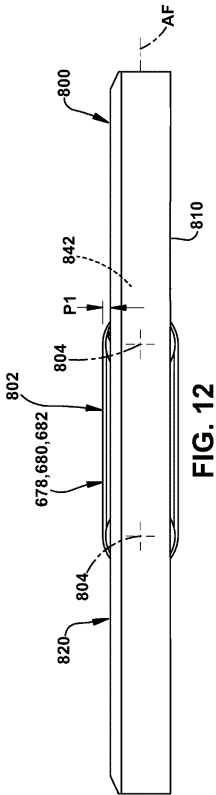
20

30

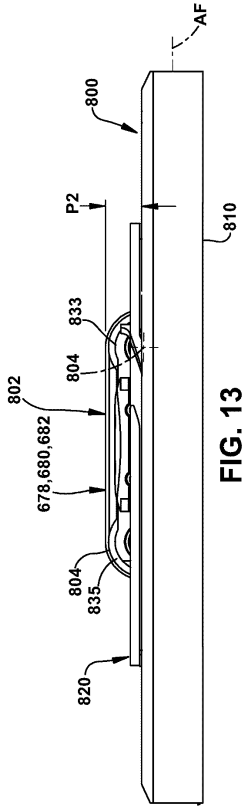
40

50

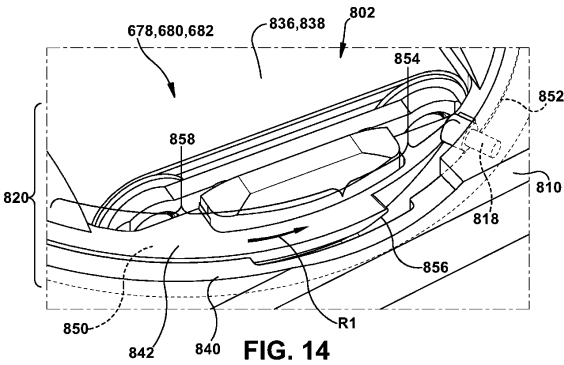
【図 1 2】



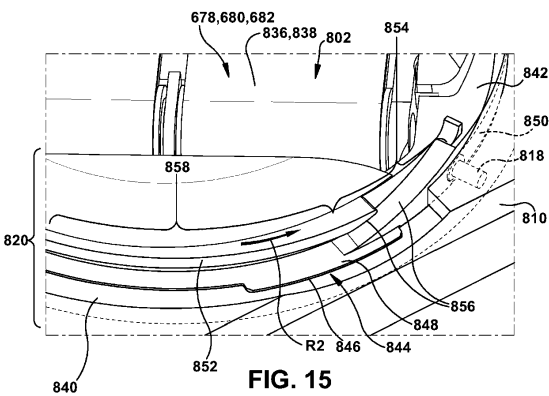
【図 1 3】



【図 1 4】



【図 1 5】



10

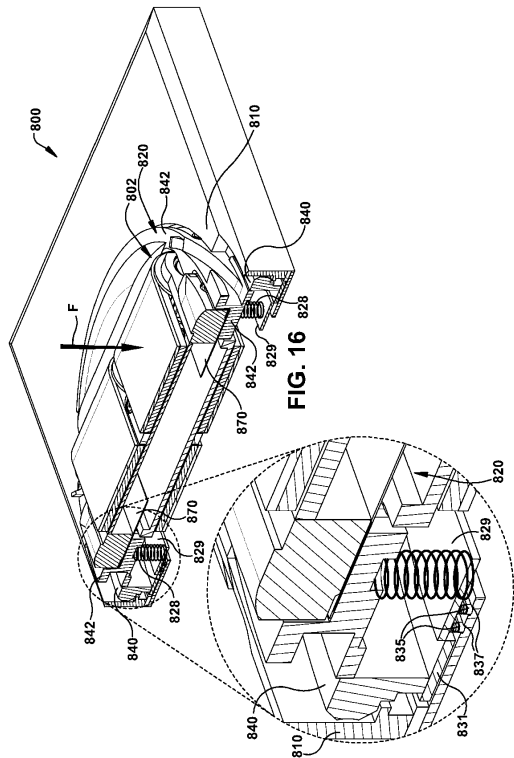
20

30

40

50

【図 16】



【図 17】

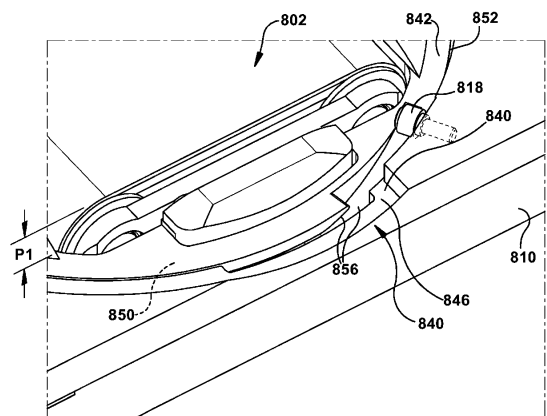


FIG. 17

【図 18】

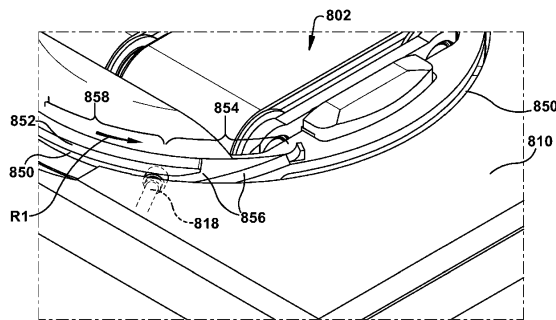


FIG. 18

【図 19】

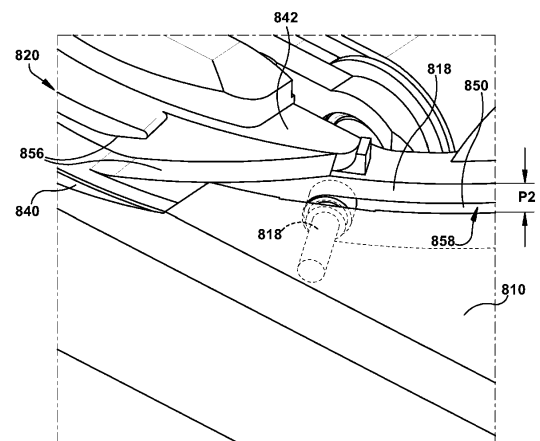


FIG. 19

10

20

30

40

50

【図 20】

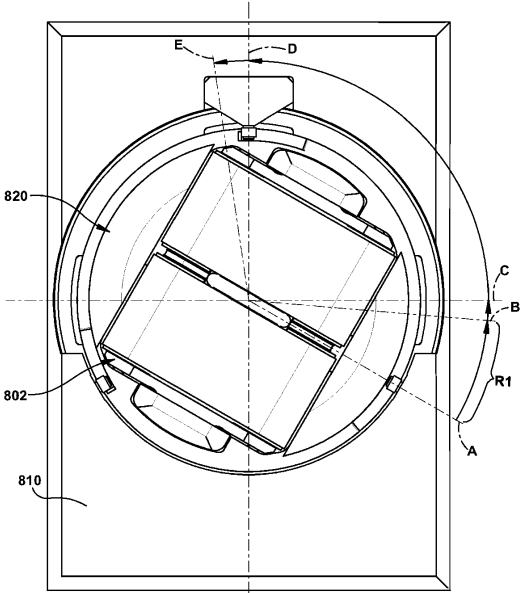


FIG. 20

10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (74)代理人 100151286
弁理士 澤木 亮一
- (73)特許権者 505087230
株式会社ハイボット
東京都品川区北品川5丁目9番15号
- (74)代理人 100105588
弁理士 小倉 博
- (72)発明者 アキン、セリム
トルコ共和国 コジャエリ 41471 ゲブゼ、テクノロジー ゼルベスト ビョルゲス、トゥビタク
ーナム、ジーイーマーマラ テクノロジー センター
- (72)発明者 イクリ、セラミ ハイダル
スイス連邦 アールガウ州 5401 バーデン、ブラウンーボヴェリーシュトラッセ 7
- (72)発明者 チマレッリ、ジャコモ
東京都品川区北品川5-9-15 渡辺コーポレーションビルディング4階 ハイボット
- (72)発明者 デベネスト、パウロ シーザー
東京都品川区北品川5-9-15 渡辺コーポレーションビルディング4階 ハイボット
- (72)発明者 グアルニエリ、ミシェル
東京都品川区北品川5-9-15 渡辺コーポレーションビルディング4階 ハイボット
- (72)発明者 ヴァルセッキ、ジョルジオ
スイス連邦 チューリッヒ 8092 レオンハルトシュトラッセ 21、イーティーエイチ チュー
リッヒーロボティック システムズ ラボ (RSL), リー H219
- 審査官 三宅 龍平
- (56)参考文献 特表2010-517663 (JP, A)
米国特許出願公開第2019/0023334 (US, A1)
特表2020-527472 (JP, A)
特表2015-530646 (JP, A)
米国特許第06889783 (US, B1)
米国特許第07201055 (US, B1)
特開2002-200990 (JP, A)
特表平06-509165 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
B62D 55/06
B62D 57/00 - 57/024
B25J 5/00
B62B 3/00
B62B 5/00
B65G 1/00