

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6879562号
(P6879562)

(45) 発行日 令和3年6月2日 (2021. 6. 2)

(24) 登録日 令和3年5月7日 (2021. 5. 7)

(51) Int. Cl.

F I

B 2 5 J 9/08 (2006. 01)

B 2 5 J 9/08

B 2 5 J 15/04 (2006. 01)

B 2 5 J 15/04

C

B 2 5 J 15/12 (2006. 01)

B 2 5 J 15/12

B 2 5 J 18/06 (2006. 01)

B 2 5 J 18/06

F 1 5 B 15/10 (2006. 01)

F 1 5 B 15/10

H

請求項の数 10 (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2017-563575 (P2017-563575)
 (86) (22) 出願日 平成28年6月13日 (2016. 6. 13)
 (65) 公表番号 特表2018-518377 (P2018-518377A)
 (43) 公表日 平成30年7月12日 (2018. 7. 12)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2016/037197
 (87) 国際公開番号 W02016/201418
 (87) 国際公開日 平成28年12月15日 (2016. 12. 15)
 審査請求日 令和1年6月12日 (2019. 6. 12)
 (31) 優先権主張番号 62/174, 234
 (32) 優先日 平成27年6月11日 (2015. 6. 11)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 米国 (US)

(73) 特許権者 517091414
 ソフト ロボティクス, インコーポレイ
 テッド
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ 01
 730, ベドフォード, クロスビー
 ドライブ 32, スイート 101
 (74) 代理人 100078282
 弁理士 山本 秀策
 (74) 代理人 100113413
 弁理士 森下 夏樹
 (74) 代理人 100181674
 弁理士 飯田 貴敏
 (74) 代理人 100181641
 弁理士 石川 大輔

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 モジュール式ロボットシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

モジュール式ロボットシステムであって、前記モジュール式ロボットシステムは、
 膨張流体を受け取るように構成されているエラストマブラダを備えている第1のソフト
 アクチュエータと、

デカルト平面内の前記第1のソフトアクチュエータの絶対位置または前記デカルト平面
 内の第2のソフトアクチュエータに対する前記第1のソフトアクチュエータの位置を動的
 に調節するように構成されている位置付けシステムと、

前記第1のソフトアクチュエータを異なるタイプまたは異なるサイズのアクチュエータ
 と交換するための迅速変更アセンブリであって、前記迅速変更アセンブリは、2つ以上の
 嵌合表面を備え、前記2つ以上の嵌合表面は、前記第1のソフトアクチュエータの形状に
 対応し、かつ、前記第1のソフトアクチュエータの周囲にシールを形成するように嵌合す
 る、迅速変更アセンブリと、

前記第1のソフトアクチュエータへの前記膨張流体の流動を断つための遮断弁と
 を備えている、モジュール式ロボットシステム。

【請求項 2】

前記第1のソフトアクチュエータは、T押し出し成形部を有するレール上で展開され、
 前記位置付けシステムは、前記第1のソフトアクチュエータを前記レール上で移動させる
 ことにより、前記第1のソフトアクチュエータと前記第2のソフトアクチュエータとの間の
 距離を変化させる、請求項1に記載のモジュール式ロボットシステム。

10

20

【請求項 3】

前記第 1 のソフトアクチュエータは、第 1 のアレイまたはマトリクスを表す第 1 の構成において複数のソフトアクチュエータ間で展開され、前記位置付けシステムは、前記複数のソフトアクチュエータを第 2 のアレイまたはマトリクスを表す第 2 の構成に再展開するように構成されており、前記第 2 の構成は、前記第 1 の構成とは異なる、請求項 1 に記載のモジュール式ロボットシステム。

【請求項 4】

前記位置付けシステムは、前記第 1 のソフトアクチュエータをその基部の周りで回転させるための回転機構をさらに備えている、請求項 1 に記載のモジュール式ロボットシステム。

10

【請求項 5】

前記位置付けシステムは、前記第 1 のソフトアクチュエータの位置を 3 次元で動的に調節する、請求項 1 に記載のモジュール式ロボットシステム。

【請求項 6】

方法であって、前記方法は、

ソフトアクチュエータと迅速変更アセンブリと遮断弁とを提供することであって、前記ソフトアクチュエータは、デカルト平面内の第 1 の位置において膨張流体を受け取るように構成されているエラストマブラダを備え、前記迅速変更アセンブリは、前記ソフトアクチュエータを異なるタイプまたは異なるサイズのアクチュエータと交換するためのものであり、前記迅速変更アセンブリは、2 つ以上の嵌合表面を備え、前記 2 つ以上の嵌合表面は、前記ソフトアクチュエータの形状に対応し、かつ、前記ソフトアクチュエータの周囲にシールを形成するように嵌合し、前記遮断弁は、前記ソフトアクチュエータへの前記膨張流体の流動を断つためのものである、ことと、

20

前記デカルト平面内の前記ソフトアクチュエータの位置を動的に調節することにより、前記ソフトアクチュエータを前記第 1 の位置とは異なる第 2 の位置に設置することを含む、方法。

【請求項 7】

前記ソフトアクチュエータの位置を調節することは、前記ソフトアクチュエータをレールに沿って移動させることを含む、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

30

前記ソフトアクチュエータは、第 1 のアレイまたはマトリクスを表す第 1 の構成において複数のソフトアクチュエータ間で展開され、前記ソフトアクチュエータの位置を調節することは、前記複数のソフトアクチュエータを第 2 のアレイまたはマトリクスを表す第 2 の構成に再展開することを含み、前記第 2 の構成は、前記第 1 の構成とは異なる、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 9】

前記ソフトアクチュエータの位置を調節することは、前記ソフトアクチュエータをその基部の周りで回転させることをさらに含む、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 10】

前記ソフトアクチュエータの位置を調節することは、前記ソフトアクチュエータの位置を 3 次元で調節することを含む、請求項 6 に記載の方法。

40

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

(関連出願)

本願は、米国仮特許出願第 62 / 174, 234 号 (2015 年 6 月 11 日出願、名称「Modular Robotic Systems」) に対する優先権を主張する。上記出願の内容は、参照により本明細書に組み込まれる。

【0002】

50

(背景)

ロボットシステムは、いくつかの異なる状況において採用され、多種多様な異なるタスクを行うことが要求され得る。ロボットは、典型的には、個々のアクチュエータ、グリップ、またはエンドエフェクタ等のロボットマニピュレータを使用して、それらの周囲の物体を操作する。

【0003】

慣例的に、ロボットは、固定された特定のタイプのマニピュレータを用いて展開され得る。故に、異なる状況では、ロボットは、異なるタイプのマニピュレータを伴う異なるロボットと交換され得る。代替として、ロボットのマニピュレータは、他のタイプのマニピュレータと相互交換可能であり得る。しかしながら、ロボットマニピュレータの交換は、10

【0004】

さらに、ロボットは、タスクのための適切なタイプのマニピュレータを有し得るが、マニピュレータは、準最適（または非有用でさえある）方法において設定され得る。例えば、ロボットは、テニスボールおよびサッカーボールを取り上げるために同一タイプのマニピュレータを使用し得るが、テニスボールを取り上げるようにサイズ決定および構成されたマニピュレータは、サッカーボールを取り上げるために不適切であり得る。

【0005】

マニピュレータはまた、群として展開され得る。例えば、産業用アセンブリラインが、ロボットが複数の部品に対してタスクを同時に行うことができるように、直列に接続されたいくつかのマニピュレータを有するロボットによって動作させられ得る。しかしながら、そのようなマニピュレータの群は、多くの場合、オンザフライで変更することが困難な所定の構成において展開される。マニピュレータが採用される状況が変化する場合、マニピュレータは、手動で再構成される必要があり得る。カスタム調節可能グリップも、高価であり得、開発のためのかなりのエンジニアリング時間を要求し得る。20

【0006】

ある場合には、マニピュレータは、摩耗し、交換される必要があり得る。これはまた、典型的には、手動プロセスであり、それは、古いマニピュレータを除去し、それを新しいものと交換することを伴う。破損したマニピュレータがマニピュレータの群の一部である場合、群全体が、1つのマニピュレータが破損したとき、動作から取り除かれ得る。30

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0007】

本願は、ロボットシステムに関連付けられたこれらおよび他の問題に対処する。例示的实施形態によると、モジュール式システムが、説明される。モジュール式ロボットシステムは、ロボットマニピュレータまたマニピュレータの群のある側面が、単純かつ動的 방식으로修正されることを可能にする。故に、同じロボットマニピュレータが、複数の異なる状況において複数の目的のために使用され得、マニピュレータは、オンザフライで交換されることができ、ロボットシステムは、新しいタスクを行うために動的に再構成され得る。例えば、本発明は、以下の項目を提供する。40

(項目1)

モジュール式ロボットシステムであって、前記システムは、膨張流体を受け取るように構成されているエラストマーマブラダを備えているソフトアクチュエータと、

デカルト平面内の前記アクチュエータの絶対位置または前記デカルト平面内の別のアクチュエータに対する前記アクチュエータの位置を動的に調節するように構成されている位置付けシステムと

を備えている、モジュール式ロボットシステム。

(項目2)

前記ソフトアクチュエータは、T押し出し成形部を有するルール上で展開され、前記位

置付けシステムは、前記アクチュエータを前記レール上で移動させ、前記アクチュエータと別のアクチュエータとの間の距離を変化させる、項目 1 に記載のモジュール式ロボットシステム。

(項目 3)

前記アクチュエータは、第 1 のアレイまたはマトリクスを表す第 1 の構成において複数のアクチュエータ間で展開され、前記位置付けシステムは、前記複数のアクチュエータを第 2 のアレイまたはマトリクスを表す第 2 の構成に再展開するように構成され、前記第 2 の構成は、前記第 1 の構成と異なる、項目 1 に記載のモジュール式ロボットシステム。

(項目 4)

前記位置付けシステムは、前記アクチュエータをその基部の周りで回転させるための回転機構をさらに備えている、項目 1 に記載のモジュール式ロボットシステム。

10

(項目 5)

前記位置付けシステムは、前記アクチュエータの位置を 3 次元で動的に調節する、項目 1 に記載のモジュール式ロボットシステム。

(項目 6)

方法であって、前記方法は、

ソフトアクチュエータを提供することであって、前記ソフトアクチュエータは、デカルト平面内の第 1 の位置において膨張流体を受け取るように構成されているエラストマープラダを備えている、ことと、

前記デカルト平面内の前記アクチュエータの位置を動的に調節し、前記アクチュエータを前記第 1 の位置と異なる第 2 の位置に設置することとを含む、方法。

20

(項目 7)

前記アクチュエータの位置を調節することは、前記アクチュエータをレールに沿って移動させることを含む、項目 6 に記載の方法。

(項目 8)

前記アクチュエータは、第 1 のアレイまたはマトリクスを表す第 1 の構成において複数のアクチュエータ間で展開され、前記アクチュエータの位置を調節することは、前記複数のアクチュエータを第 2 のアレイまたはマトリクスを表す第 2 の構成に再展開することを含み、前記第 2 の構成は、前記第 1 の構成と異なる、項目 6 に記載の方法。

30

(項目 9)

前記アクチュエータの位置を調節することは、前記アクチュエータをその基部の周りで回転させることをさらに含む、項目 6 に記載の方法。

(項目 10)

前記アクチュエータの位置を調節することは、前記アクチュエータの位置を 3 次元で調節することを含む、項目 6 に記載の方法。

(項目 11)

モジュール式ロボットシステムであって、前記システムは、

膨張流体を受け取るように構成されているエラストマープラダを備えているソフトアクチュエータと、

40

周期的孔アレイを備えている基板であって、前記周期的孔アレイの孔は、前記膨張流体を前記ソフトアクチュエータに供給するためのそれぞれの経路を提供し、前記ソフトアクチュエータは、前記周期的孔アレイの第 1 の孔の上に解放可能に搭載されている、基板とを備えている、モジュール式ロボットシステム。

(項目 12)

前記アクチュエータは、前記アクチュエータのフランジ内に展開されているオーバーモールドされた磁石を使用して、前記基板上に展開されている、項目 11 に記載のモジュール式ロボットシステム。

(項目 13)

前記オーバーモールドされた磁石は、貫通孔を有する環状磁石であり、空気圧流体が、

50

前記貫通孔を通過し、前記アクチュエータを作動させる、項目 1 2 に記載のモジュール式ロボットシステム。

(項目 1 4)

モジュール式ロボットシステムであって、前記システムは、
膨張流体を受け取るように構成されているエラストマブラダを備えている第 1 のソフトアクチュエータと、

前記ソフトアクチュエータに搭載されている第 1 の基板であって、前記第 1 の基板は、第 2 のソフトアクチュエータを搭載している第 2 の基板と相互係止するように構成されている基部と、前記膨張流体を前記第 1 のソフトアクチュエータに供給するための経路とを備えている、第 1 の基板と

を備えている、モジュール式ロボットシステム。

(項目 1 5)

第 1 の基板は、相互接続の方向と垂直な方向における剪断力に抵抗するように構成されている機械的接続を使用して、前記第 2 の基板と相互接続されている、項目 1 4 に記載のモジュール式ロボットシステム。

(項目 1 6)

前記基板は、空気圧流体または電荷を前記アクチュエータに分配するための 1 つ以上の空気圧相互接続または電気相互接続を備えている、項目 1 4 に記載のモジュール式ロボットシステム。

(項目 1 7)

モジュール式ロボットシステムであって、前記システムは、
膨張流体を受け取るように構成されているエラストマブラダを備えている第 1 のソフトアクチュエータと、

前記アクチュエータを異なるタイプまたはサイズのアクチュエータと交換するための迅速変更アセンブリであって、前記迅速変更アセンブリは、2 つ以上の嵌合表面を備え、前記 2 つ以上の嵌合表面は、前記アクチュエータの形状に対応し、シールを前記アクチュエータの周囲に形成するように嵌合する、迅速変更アセンブリと

を備えている、モジュール式ロボットシステム。

(項目 1 8)

前記アクチュエータへの前記膨張流体の流動を断つための遮断弁をさらに備えている、項目 1 7 に記載のモジュール式ロボットシステム。

(項目 1 9)

前記遮断弁は、前記アクチュエータの切迫した故障に対応するパターンが検出されると、前記膨張流体の流動を断つ、項目 1 8 に記載のモジュール式ロボットシステム。

(項目 2 0)

モジュール式ロボットシステムであって、前記システムは、
膨張流体を受け取るように構成されているエラストマブラダを備えている第 1 のソフトアクチュエータと、

前記ソフトアクチュエータの剛性、前記ソフトアクチュエータの把持表面によって示される摩擦の量、または前記ソフトアクチュエータの曲がりプロファイルのうちの 1 つ以上のものを修正するための展開可能補剛スリーブと

を備えている、モジュール式ロボットシステム。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図 1 A】図 1 A - 1 D は、本明細書に説明される例示的实施形態との使用のために好適な例示的ソフトロボットアクチュエータを描写する。

【図 1 B】図 1 A - 1 D は、本明細書に説明される例示的实施形態との使用のために好適な例示的ソフトロボットアクチュエータを描写する。

【図 1 C】図 1 A - 1 D は、本明細書に説明される例示的实施形態との使用のために好適な例示的ソフトロボットアクチュエータを描写する。

10

20

30

40

50

【図1D】図1A-1Dは、本明細書に説明される例示的实施形態との使用のために好適な例示的ソフトロボットアクチュエータを描写する。

【図2】図2A-2Cは、例示的实施形態による、レールを使用するロボットアクチュエータの位置を調節するためのシステムの例を描写する。

【図3】図3A-3Dはさらに、例示的实施形態による、複数のレールを使用するロボットアクチュエータの位置を調節するためのシステムの例を描写する。

【図4】図4A-4Cは、例示的实施形態による、アクチュエータのモジュール式アレイの例を描写する。

【図5】図5A-5Dは、例示的实施形態による、モジュール式ロボットグリッパを周期的孔アレイを含む搭載プレートに搭載する例を描写する。

10

【図6】図6A-6Dは、例示的实施形態による、迅速接続フランジ内に提供されるオーバーモールドされた磁石を有するソフトアクチュエータの例を描写する。

【図7-1】図7A-7Fは、例示的实施形態による、適合可能フィンガ回転のためのシステムの例を描写する。

【図7-2】図7A-7Fは、例示的实施形態による、適合可能フィンガ回転のためのシステムの例を描写する。

【図8】図8A-8Eは、例示的实施形態による、モジュール式相互係止グリッパアレイの例を描写する。

【図9】図9A-9Dは、例示的实施形態による、グリッパアレイ間の作動式機械接続の例を描写する。

20

【図10】図10A-10Eは、例示的实施形態による、グリッパアレイ間の電気、機械、空気圧接続の例を描写する。

【図11】図11A-11Dは、例示的实施形態による、把持のために使用されるアクチュエータの長さを調節するための再構成可能カラー構成要素の例を描写する。

【図12】図12A-12Bは、例示的实施形態との使用のために好適な例示的補剛アダプタを描写する。

【図13-1】図13A-13Kは、例示的实施形態による、物体把持および振動低減のための適合可能補強材の例を描写する。

【図13-2】図13A-13Kは、例示的实施形態による、物体把持および振動低減のための適合可能補強材の例を描写する。

30

【図13-3】図13A-13Kは、例示的实施形態による、物体把持および振動低減のための適合可能補強材の例を描写する。

【図14】図14A-14Bは、例示的实施形態との使用のために好適なフィンガウェブ膜の例を描写する。

【図15】図15A-15Cは、例示的实施形態による、自動アクチュエータポップ検出および遮断のためのシステムの例を描写する。

【図16】図16A-16Dは、例示的实施形態による、アクチュエータを迅速かつ動的に変更するためのシステムの例を描写する。

【発明を実施するための形態】

【0009】

40

例示的实施形態は、システムを再構成するために、システムの種々のパラメータが動的に調節されることを可能にするモジュール式ロボットシステムに関する。より具体的には、例示的实施形態は、異なる状況において、異なる把持標的と動作するように動的に再構成されることができるモジュール式ロボットマニピュレータを提供する。本明細書で 사용되는場合、モジュール式とは、ロボットアクチュエータ、マニピュレータ、エンドエフェクタ、またはグリッパ（用語「マニピュレータ」、「アクチュエータ」、「エンドエフェクタ」、および「グリッパ」は、概して、本明細書では同義的に使用される）の1つ以上の動作パラメータを変更する能力を指す。そのような動作パラメータは、限定ではないが、とりわけ、デカルト平面または3次元空間におけるアクチュエータの絶対位置；アクチュエータの向き（ ϕ 、 θ 、 ψ ）；X、Y、および／またはZ平面における他のアクチュ

50

エータに対するアクチュエータの位置；その基部に対するアクチュエータのピッチ；アクチュエータの回転角度；アクチュエータの曲がりまたは曲率の程度；および、アレイまたはマトリクスにおけるアクチュエータの配置または構成を含む。

【0010】

例示の実施形態は、有利には、ソフトロボットアクチュエータと共に採用され得る。ソフトロボットアクチュエータは、比較的に非剛体のアクチュエータであり、それは、アクチュエータを、例えば、空気または水等の流体で充填することによって作動させられ得る。ソフトアクチュエータは、アクチュエータ内の流体の圧力を変動させることによって、アクチュエータの形状が変化するように構成され得る。故に、アクチュエータは、例えば、物体に巻き付くように作製されることができ、それは、比較的に非剛体であるので、アクチュエータは、把持された物体の表面により良好に適合し、それは、アクチュエータが物体におけるより良好な保持を得るか、またはより優しく壊れやすい物体を保持することを可能にし得る。したがって、ソフトアクチュエータは、剛体アクチュエータと比較して、多種多様な用途において採用されることができ、それは、例示的モジュール式システムをソフトアクチュエータとの使用のために特に好適なものにする。

10

【0011】

ロボットアクチュエータおよびグリッパの簡単な概略が、最初に提供され、その後、例示の実施形態の種々の側面の詳細な説明が続くであろう。別様に記載されない限り、説明される実施形態の各々は、互いとの任意の組み合わせにおいて使用されることが想定される（例えば、アクチュエータの平行移動および回転を可能にすること、グリッパのモジュール式アレイをレール上に搭載すること等）。

20

（ソフトロボットグリッパに関する背景）

【0012】

従来のロボットグリッパまたはアクチュエータは、高価であり、かつある環境においては動作することが不可能であり得、過去において、取り扱われている物体の重量、コンプライアンス、サイズ、および形状の不確実性および多様性が、自動化された解決策が機能することを妨げる。本願は、適応性があり、安価、軽量、カスタマイズ可能、かつ使用が単純である新規ソフトロボットアクチュエータの用途を説明する。

【0013】

ソフトロボットアクチュエータは、ゴム等のエラストマー材料、または、圧力下で広げられ、伸び、および／または曲がるように構成されているアコーディオン状構造で配置されたプラスチックの薄壁、または、他の好適な比較的軟質の材料から形成され得る。それらは、例えば、エラストマー材料の1つ以上の部片を所望の形状に成形することによって生成され得る。ソフトロボットアクチュエータは、空気、水、または生理食塩水等の流体で充填され、アクチュエータを加圧、膨張、および／または作動させることができる中空内部を含み得る。作動時、アクチュエータの形状またはプロファイルは、変化する。アコーディオン状アクチュエータ（以下により詳細に説明される）の場合、作動は、アクチュエータを所定の標的形状に湾曲または直線化させ得る。完全非作動形状と完全作動形状との間の1つ以上の中間標的形状が、アクチュエータを部分的に膨張させることによって達成され得る。代替として、または加えて、アクチュエータは、真空を使用して作動させられ、膨張流体をアクチュエータから除去し、それによって、アクチュエータが曲がり、捻じれ、および／または伸びる程度を変化させ得る。

30

40

【0014】

作動は、アクチュエータが、握持され、または押されている物体等の物体に力を及ぼすことも可能にし得る。しかしながら、従来のハードロボットアクチュエータと異なり、ソフトアクチュエータは、作動させられるとき、適応特性を維持し、それによって、ソフトアクチュエータは、部分的または完全に、握持されている物体の形状に適合し得る。それらは、物体との衝突時、たわむことができ、それは、特に、物体を積み重ねた山または容器から取り上げるのに関連し得る。なぜなら、アクチュエータが、握持標的ではない積み重ねた山内の近隣物体、または容器の側面に衝突する可能性があるからである。さらに

50

、加えられる力の量は、材料が容易に変形し得るので、制御様式においてより大きい表面積にわたって拡散させられることができる。このように、ソフトロボットアクチュエータは、物体を損傷させずに、それらを把持することができる。

【0015】

さらに、ソフトロボットアクチュエータは、従来のハードロボットアクチュエータを用いて達成することが困難であり得る、運動のタイプまたは運動の組み合わせ（曲がること、捻じること、伸びること、および収縮することを含む）を可能にする。

【0016】

図1A-1Dは、例示的ソフトロボットアクチュエータを描写する。より具体的には、図1Aは、ソフトロボットアクチュエータの一部の側面図を描写する。図1Bは、上からの図1Aの一部を描写する。図1Cは、ユーザによって操作され得るポンプを含むソフトロボットアクチュエータの一部の側面図を描写する。図1Dは、図1Cに描写される部分の代替実施形態を描写する。

10

【0017】

アクチュエータは、図1Aに描写されるように、ソフトロボットアクチュエータ100であり得、空気、水、または生理食塩水等の膨張流体で膨張可能である。膨張流体は、流体接続118を通して、膨張デバイス120を介して提供され得る。

【0018】

アクチュエータ100は、限定量の膨張流体が周囲環境と実質的に同一圧力においてアクチュエータ100内に存在する非膨張状態にあり得る。アクチュエータ100は、所定の量の膨張流体がアクチュエータ100内に存在する完全膨張状態にもあり得る（アクチュエータ100によって加えられるべき所定の最大力に対応する所定の量または膨張流体によってアクチュエータ100に加えられる所定の最大圧力）。アクチュエータ100は、全流体がアクチュエータ100から除去される完全真空状態、または一部の流体がアクチュエータ100内に存在するが、周囲圧力未満の圧力にある部分的真空状態にもあり得る。さらに、アクチュエータ100は、アクチュエータ100が、完全膨張状態にあるときに存在する所定の量未満の膨張流体であるが、ゼロを上回る（または非常に限定された）膨張流体を含む部分膨張状態にあり得る。

20

【0019】

膨張状態では、アクチュエータ100は、図1Aに示されるように、中心軸の周囲で湾曲する傾向を示し得る。議論を容易にするために、いくつかの方向が、ここで定義される。図1Bに示されるように、軸方向は、その周囲でアクチュエータ100が湾曲する中心軸を通る。半径方向は、軸方向と垂直方向、すなわち、膨張させられたアクチュエータ100によって形成される部分的円形の半径方向に延びている。円周方向は、膨張させられたアクチュエータ100の円周に沿って延びている。

30

【0020】

膨張状態では、アクチュエータ100は、アクチュエータ100の内側円周方向縁に沿って、半径方向に力を及ぼし得る。例えば、アクチュエータ100の遠位先端の内側は、中心軸に向かって内向きに力を及ぼし、それは、アクチュエータ100が、物体を握持することを可能にするために活用され得る（潜在的に、1つ以上の追加のアクチュエータ100と連動して）。ソフトロボットアクチュエータ100は、使用される材料およびアクチュエータ100の一般的構造により、膨張させられると、比較的に適合性を留め得る。

40

【0021】

アクチュエータ100は、比較的軟質または適合性構造を可能にする1つ以上のエラストマー材料から作製され得る。用途に応じて、エラストマー材料は、食品安全性、生体適合性、または医療安全性FDA承認材料の群から選択され得る。アクチュエータ100は、適正製造基準（「GMP」）対応設備内で製造され得る。

【0022】

アクチュエータ100は、実質的に平坦な基部102を含み得る（但し、種々の修正または付属品が、アクチュエータの把持および／または曲がり能力を改良するために、基部

50

102に追加され得る)。基部102は、標的物体を握持する把持表面を形成し得る。

【0023】

アクチュエータ100は、1つ以上のアコーディオン状延長部104を含み得る。アコーディオン状延長部104は、アクチュエータ100が、膨張させられると、曲がること、または屈曲することを可能にし、膨張状態にあるとき、アクチュエータ100の形状を画定することに役立つ。アコーディオン状延長部104は、一連の山106および谷108を含む。アコーディオン状延長部104のサイズならびに山106および谷108の場所は、異なる形状または延長部プロファイルを得るために変動させられることができる。

【0024】

図1A-1Dの例示的アクチュエータは、展開されると、「C」または卵形形状に描写されるが、当業者は、本発明がそのように限定されないことを認識するであろう。アクチュエータ100の本体の形状、またはアコーディオン状延長部104のサイズ、位置、もしくは構成を変化させることによって、異なるサイズ、形状、および構成が、達成され得る。さらに、アクチュエータ100に提供される膨張流体の量を変動させることは、開創器が、非膨張状態と膨張状態との間の1つ以上の中間サイズもしくは形状をとることを可能にする。したがって、個々のアクチュエータ100は、膨張量を変動させることによって、サイズおよび形状においてスケラブルであることができ、アクチュエータはさらに、1つのアクチュエータ100を異なるサイズ、形状、または構成を有する別のアクチュエータ100と置換することによって、サイズおよび形状においてスケラブルであることができる。

【0025】

アクチュエータ100は、近位端112から遠位端110に延びている。近位端112は、インターフェース114に接続する。インターフェース114は、アクチュエータ100が、切開開創器の他の部品に解放可能に結合されることを可能にする。インターフェース114は、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリカーボネート、ポリエーテルエーテルケトン、アクリロニトリルブタジエンスチレン（「ABS」）、またはアセタールホモポリマー等の医療安全性材料から作製され得る。インターフェース114は、アクチュエータ100および可撓性管類118の一方または両方に解放可能に結合され得る。インターフェース114は、アクチュエータ100に接続するためのポートを有し得る。異なるインターフェース114は、より大きいもしくはより小さいアクチュエータ、異なる数のアクチュエータ、または異なる構成におけるアクチュエータに適応するために、異なるサイズ、数、または構成のアクチュエータポートを有し得る。

【0026】

アクチュエータ100は、膨張デバイス120から可撓性管類118等の流体接続を通して供給される膨張流体で膨張させられ得る。インターフェース114は、流体がアクチュエータ100に進入することを可能にするが、流体がアクチュエータから退出することを防止する（弁が開放されない限り）ための弁116を含み得るか、またはそれに取り付けられ得る。可撓性管類118はまた、または代替として、膨張デバイス120の場所において膨張流体の供給を調整するために、膨張デバイス120におけるインフレータ弁124に取り付き得る。

【0027】

可撓性管類118はまた、一端においてインターフェース114に、他端において膨張デバイス120に解放可能に接続するために、アクチュエータ接続インターフェース122を含み得る。アクチュエータ接続インターフェース122の2つの部品を分離することによって、異なる膨張デバイス120が、異なるインターフェース114および／またはアクチュエータ100に接続され得る。

【0028】

膨張流体は、例えば、空気または生理食塩水であり得る。空気の場合、膨張デバイス120は、周囲空気を供給するための手動式球状部分または蛇腹を含み得る。生理食塩水の場合、膨張デバイス120は、注入器または他の適切な流体送達システムを含み得る。代

10

20

30

40

50

替として、または加えて、膨張デバイス120は、膨張流体を供給するためのコンプレッサまたはポンプを含み得る。

【0029】

膨張デバイス120は、膨張流体を供給するための流体供給源126を含み得る。例えば、流体供給源126は、圧縮空気、液状もしくは圧縮二酸化炭素、液状もしくは圧縮窒素、もしくは生理食塩水を貯蔵するためのリザーバであり得るか、または周囲空気を可撓性管類118に供給するための通気口であり得る。

【0030】

膨張デバイス120はさらに、膨張流体を流体供給源126からアクチュエータ100に可撓性管類118を通して供給するためのポンプまたはコンプレッサ等の流体送達デバイス128を含む。流体送達デバイス128は、流体をアクチュエータ100に供給するか、または流体をアクチュエータ100から引き込むことが可能であり得る。流体送達デバイス128は、電気によって力を供給され得る。電気を供給するために、膨張デバイス120は、バッテリーまたは電気コンセントへのインターフェース等の電力供給源130を含み得る。

【0031】

電力供給源130は、電力を制御デバイス132にも供給し得る。制御デバイス132は、ユーザが、例えば、1つ以上の作動ボタン134（またはスイッチ等の代替デバイス）を通して、アクチュエータの膨張または収縮を制御することを可能にし得る。制御デバイス132は、流体送達デバイス128に、膨張流体をアクチュエータ100に供給させるか、または膨張流体をそこから引き込ませるための制御信号を流体送達デバイス128に送信するコントローラ136を含み得る。

【0032】

（調節可能位置を有するアクチュエータ／グリッパ）

図2A-4Cに描写される例示的实施形態は、アクチュエータをレールを使用して互いに対して再位置付けすることによってアクチュエータが再構成される例を描写する。レール（より具体的には、Tスロットレール）が、これらの図に描写される実施形態では使用されるが、本発明は、そのように限定されず、任意の特定のタイプの誘導機構を使用して、アクチュエータを再位置付けする。Tスロットに加え、アクチュエータと共に展開され、位置決めねじを介してロッド上の定位置に固定される円形金属カラーを使用するシステム等、他のタイプのレールベースのシステムが、採用され得る。さらに、非レールベースのシステムも、採用され得る。非レールベースのシステムの例が、本明細書に説明され、当業者にも明白であろう。

【0033】

図2A-2Cに示されるように、ソフトアクチュエータ100は、個々のアクチュエータの位置が迅速に調節され得るように、Tスロット押し出し成形部を採用するレールシステム202に搭載されることができる。図2Aは、レールシステム202に搭載される2つのアクチュエータ100が、ロボットグリッパまたはエンドエフェクタを集合的に形成するシステムの側面図を描写する。この例では、アクチュエータ100は、ボルトを採用するインターフェース114（この場合、アクチュエータ100の底部におけるプラスチッククリップ）を使用して、ある長さのレールシステムに保持される。図2Bは、アクチュエータ100がレール202に沿ってスライドし、アクチュエータ100間の距離を減少させた後の同一システムの側面図を描写する。例えば、インターフェース114のボルトが、緩められ、アクチュエータ100がレール202に沿ってスライドすることを可能にし得る。この調節可能性は、同一デバイスを用いて様々な異なるサイズの物体の操作を可能にするために、エンドエフェクタの迅速再構成を可能にする。ここに示されるインターフェース114がソフトアクチュエータを加圧および減圧するためのシールされた空気圧入口を提供することにも留意されたい（空気圧経路は、示されない）。

【0034】

このエンドエフェクタは、アームが着目物体を採取し、設置することを可能にするため

10

20

30

40

50

に、レール 202 上の搭載フランジ 204 を介して、例えば、ロボットアーム 206 に取り付けられることができる（図 2C）。レール 202 上の搭載フランジ 204 は、ロボットアーム 206 上の対応するフランジと嵌合し、エンドエフェクタシステムをロボットアーム 206 に固定するように構成され得る。空気圧通路が、搭載フランジ 204 を通して提供され、膨張流体が、ロボットアーム 206 から、搭載フランジ 204 を通して、レール 202 を通して、アクチュエータ 100 の中に入ることを可能にし得る。

【0035】

このスタイルの調節可能グリッパは、T スロット押し出し成形部の使用に限定されないことに留意されたい。当業者は、任意の好適なモジュール式レール搭載システムが類似機能性を提供し得ることを認識するであろう。

【0036】

図 2C は、エンドエフェクタがロボットアーム 206 上に展開される、特定の例を描写するが、本発明は、この適用に限定されない。例えば、いくつかの実施形態では、アクチュエータ 100 は、ガントリまたは他の機構上に展開され得る。

【0037】

図 2A-2C は、再位置付け可能な個々のアクチュエータ 100 を描写するが、同一原理は、互いに対して移動するアクチュエータ 100 の群に適用され得ることに留意されたい。例えば、図 2A-2C の個々のアクチュエータは、アクチュエータ 100 の群と交換され、把持機構を形成し得る。

【0038】

レール 202（または他の誘導機構）に沿ったアクチュエータ 100 の移動は、手動で（例えば、オペレータによって移動させられる調節可能構成要素を使用して）、または自動的に（例えば、モータ、空気圧給送、またはアクチュエータ 100 の移動をもたらすために好適な別のデバイスを使用して）、達成され得る。

【0039】

このアレイにおけるアクチュエータ 100 またはグリッパは、アクチュエータ 100 もしくはグリッパの位置が機械の作用を介して変更されることができるという点において駆動され得る。例えば、アクチュエータ 100 は、アクチュエータ 100 に取り付けられるねじもしくはベルトを駆動するモータを介して、またはソフトアクチュエータ 100 もしくはグリッパに取り付けられる空気圧作動式ピストンによって、駆動され得る。

【0040】

T スロット押し出し成形部は、グリッパを生成するために使用されることができ、そのアクチュエータは、1 次元（図 2A-2C に示されるように）、2 次元、および 3 次元において再構成されることができる。例えば、図 3A は、「X」パターンにおいて T スロット押し出し成形部 202 に搭載される 4 つのソフトアクチュエータ 100 の側面図を描写し、アクチュエータ 100 は、近接構成に設定される。図 3B は、図 3A に示されるグリッパの上面図を描写する。

【0041】

図 3C（側面図）および 3D（上面図）では、図 3A-3B のアクチュエータ 100 は、さらに離れて間隔を置かれるように再構成されている。当業に者明白であろうように、利用可能なアクチュエータ構成は、アクチュエータ 100 が搭載されるレール 202 の構成を修正することによって変更され得る。

【0042】

複数のアクチュエータ 100 が、モジュール式アレイにおいて配置され、例えば、図 4A-4C に示されるように、異なる目的のために互いに対して再構成され得る。図 4A は、レールシステム 202 に沿って側方に平行移動可能なインターフェース 114 に搭載される 2 つのアクチュエータを含む例示的グリッパ 100 を描写する。複数のそのようなグリッパ（またはグリッパの代わりに、個々のアクチュエータ 100）が、レール 202 上の各グリッパの位置を変化させることによって、異なる動的構成を形成するために一緒に展開され得る。

10

20

30

40

50

【0043】

図4B-4Cは、タスク特定の構成に適合するために、それらの相対的位置を変化させる作動レール202上のアクチュエータまたはグリッパの能力を実証する。このアレイは、ロボットプラットフォーム上に搭載され得、ロボットプラットフォームは、アレイがその向きを把持されるべき物体に対して変化させることを可能にするか、またはアクチュエータ100もしくはアクチュエータの群が異なるアレイ構成に並べ替えられることを可能にする。例えば、4つのアクチュエータの組が、 2×2 配置（図4B）で展開され、次いで、 1×4 配置（図4C）に動的に再構成され得る。そのような能力が有用であり得る状況の一例は、商品が積荷配送業者から受け取られ、販売地点または消費者への出荷のために再包装される、中間倉庫の状況におけるものである。積荷配送業者は、例えば、 4×3 マトリクスに配置された製品のケースを提供し得、製品は、より小さい 2×2 のケースに再包装され得る。図4Bおよび4Cに示される配置を使用して、グリッパは、最初に、 1×4 配置に配置され、製品を積荷配送業者のケースから取り出し得、次いで、自らを 2×2 配置に動的に再構成し、製品をより小さい 2×2 のケースの中に配置し得る。

10

【0044】

さらに、プラットフォームは、握持されるべき標的に応じて、その把持構成を最適化するように動的に再構成され得る。例えば、グリッパが書籍等の平坦物体を握持するように意図される場合、対のアクチュエータ100は、互いに平行に、かつ面して展開され得る（図7Cに描写されるものに類似する構成において）。グリッパが、次いで、ボールを握持する必要がある場合、4つのアクチュエータ100は、新しい物体をより効果的に握持するために、正方形構成に並べ替えられ、その共通中心に向かって面し得る（図7Dに描写されるものに類似する構成において）。

20

【0045】

別の例では、グリッパは、同一全体形状を維持し得るが、形状の寸法を変化させ得る。例えば、グリッパは、最初に、焼いた商品をトレイ上に配置し得、次いで、焼いた商品を取り出し、自らを包装のためにより密集隊形に再構成し得る。典型的には、焼いた商品は、合理的量だけトレイ上で離れて広げられ、焼いた時の拡大を可能にしなければならない。しかしながら、焼いた商品が出荷のために包装されるとき、出荷サイズを縮小させ、より多くの商品を容器の中に適合させることを可能にするために、商品間の空間の量を減少させることが有用である。グリッパ構成を動的に再構成し、グリッパ間の空間の量を減少させることによって、商品は、単一口ロボットシステムを使用して、天板から取り出され、次いで、配達のために包装されることができ。

30

【0046】

（アクチュエータ基板）

図5A-7Fは、基板に搭載されるアクチュエータの例を描写する。

【0047】

図5A-5Dに示されるように、ソフトアクチュエータは、孔の周期的アレイを伴う搭載プレートを利用することによって、迅速に並べ替えられ、新しいグリッパを形成することができる。代替として、または加えて、搭載プレートは、アクチュエータ100が、スロットトラック中に挿入され、搭載プレートに固定され得るように、スロットのアレイを含み得る。

40

【0048】

図5Aは、ソフトアクチュエータを搭載するとともに、結果として生じるグリッパをロボットアーム（図示せず）に取り付けるために使用されるフランジを保持するように構成される孔502の周期的アレイを伴うプレート500の形態における基板を描写する。いくつかの実形態では、孔502は、アクチュエータの基部またはインターフェースを通して膨張流体をアクチュエータに提供するための経路も形成し得る。

【0049】

図5Bは、ホルダ504内のそのインターフェース114に搭載されるソフトアクチュエータ100を描写し、ホルダ504は、アクチュエータ100を搭載プレート500に

50

固定し、かつソフトアクチュエータ100を作動させるためのシールされた空気圧入口を提供するために使用される。ここでは、ナット508およびボルト506が、アクチュエータホルダ504を搭載プレート500に固定するために使用されるが、当業者は、アクチュエータホルダ504を搭載プレート500に留める他の手段も、採用され得ることを認識するであろう。いくつかの実施形態では、アクチュエータホルダ504は、完全に省略され得、アクチュエータ100は、直接、インターフェース114を介して搭載プレート500に固定され得る。

【0050】

図5Cは、2つの組の対向アクチュエータ100が互いに垂直に搭載されるソフトアクチュエータ100の1つの可能な構成を描写する。この構成は、リングのような半球状物体を操作するために有用であり得る。図5Dに示されるのは、3つの組の対向アクチュエータ100が互いに平行に搭載されるソフトアクチュエータ100の別の可能な構成である。この構成は、書籍等の長方形角柱形状の物体を操作するために有用であり得る。

10

【0051】

図6A-6Dに描写されるように、エンドエフェクタを迅速に再構成する別の方法は、磁石を使用して、ソフトアクチュエータを加圧流体を供給する搭載プレート上の孔に素早く取り付けることである。

【0052】

図6Aは、強磁性搭載プレート600上に搭載される2つのソフトアクチュエータ100を描写し、その下には、空気圧供給ライン602がある。図6Bは、図6Aに示されるアセンブリの断面図を描写する。図6Bに示されるように、環状磁石604が、アクチュエータ100の基部の中にオーバーモールドされ、環状磁石604は、アクチュエータ100を搭載プレート600に保持するために使用される。これらの磁石604はまた、加圧流体が、空気圧ライン602に接続される搭載プレート600内の空気圧供給孔606を介してアクチュエータに送達され得るように、アクチュエータ100と搭載プレート600との間のインターフェースをシールする。

20

【0053】

図6Cは、モジュール式エンドエフェクタを形成する磁氣的に取り付けられたアクチュエータの1つの可能な構成の側面図を描写し、図6Dは、斜視図を描写する。いくつかの実施形態では、オーバーモールドされた磁気プレートが、個々の空気圧供給孔606に蓋をし、エンドエフェクタからの把持領域の迅速除去を可能にするために使用され得る。

30

【0054】

図6A-6Dには示されないが、磁石が、アクチュエータの代わりに、基板内に展開され得る。代替として、磁石は、設計者がアクチュエータが位置付けられることができる構成を限定することを可能にする様式において、基板およびアクチュエータの両方内に展開され得る。例えば、反対極性の磁石をアクチュエータおよび基板上の対応する場所に展開することによって、アクチュエータは、対応する磁石が整列する好ましい位置において基板上に配置されることができ、反対磁石が整列する好ましくない位置には配置されることができない。この特徴は、アクチュエータが展開されることができ、物理的相互係止機構（例えば、ペグおよびカットアウト）と組み合わせられ得る。

40

【0055】

説明される実施形態のうちのいくつかは、空気圧作動を指すが、油圧および真空作動を含む他の形態の作動も可能なことに留意されたい。

【0056】

図7A-7Dは、基板700上に搭載されるロボットアクチュエータ100の例を描写し、個々のアクチュエータ100は、タスク特定の把持のために向きを変化させる能力を有する（例えば、図7Bに示されるように、角度 θ を変化させることによって）。図7Cでは、対のアクチュエータ100は、回転し、面し、各々が、例えば、書籍を取り上げるために有用な把持構成を形成する。図7Dでは、4つのアクチュエータ100の各々は、回転し、基板700の中心エリアに面し、例えば、球状物体を取り上げるために有用な把

50

持構成を形成する。

【0057】

図7Eおよび7Fは、そのような回転を提供するための2つの例示的技法を実証する。

【0058】

図7Eは、歯車付きモータ702を通して回転させられるアクチュエータ100を描写する。そのようなモータ702は、エンコーダセンサの使用を通して精密な角度制御を提供し得る。モータ702の歯車704は、モータ702がアクティブにされると、アクチュエータ100に取り付けられる歯車706に接触し、アクチュエータを回転させる。

【0059】

図7Fは、回転式空気圧アクチュエータ708を通して回転させられるアクチュエータ100を描写する。そのようなアクチュエータ708は、ライン710の各側を空気で充填することによって機能する。ライン710の各側における空気の量に応じて、アクチュエータ708に接続されるレバー712の角度は、改変され得る。

【0060】

図7A-7Dは、図5A-6Dの搭載プレート等の基板上に搭載されるアクチュエータとともに示されているが、当業者は、図7A-7Fに描写されるアクチュエータ回転機構が、図2A-4Cのルールシステム等の他の状況において展開され得ることも認識するであろう。さらに、回転機構は、個々のアクチュエータではなく、複数のアクチュエータを備えているグリッパ全体を回転させるために使用され得る。

【0061】

さらに、図7E-7Fの回転機構に機能性が類似する機構も、基板に対するアクチュエータのピッチを調節し、（例えば）個々のアクチュエータが、基板上で内方および外方に「傾く」ことを可能にするために使用され得る。

【0062】

（グリッパのモジュール式アレイ）

いくつかの例示的实施形態では、グリッパおよび／またはアクチュエータのモジュール式アレイが、図8A-8Eに示されるように、グリッパ800を他のタイル802と機械的に相互係止可能なタイル802に搭載することによって提供される。

【0063】

図8Aは、グリッパ／タイルユニットの側面図を描写し、図8Bは、ユニットの斜視図を描写する。各ユニットは、他のユニットと組み合わせられ、モジュール式システムを形成し得る。タイル802は、ペグ804と、ペグ804と嵌合するように構成されているレセプタクル806と等の相互係止特徴を含み、タイルは、他のタイルと共に、アレイを形成し得る。本実施形態では、機械的相互係止ペグ804およびレセプタクル806は、ありつぎの形態にあるが、他の相互係止特徴幾何学形状も、利用され得る。

【0064】

図8Cは、近隣タイルのありつぎ特徴を相互係止することによって形成されるグリッパの線形アレイを示す側面図である。図8Dは、このタイルアセンブリ概念を使用して作製され得る、1つの可能な2次元グリッパアレイを描写する。

【0065】

図8Eは、図8Dに描写されるものに類似するグリッパアレイであり、タイルの1つは、グリッパの代わりにセンサ（この場合、カメラ808）を含む。使用時、センサは、グリッパアレイが、各グリッパが握持されるべき標的物体を覆って位置付けられ得るように、精密に位置付けられることを可能にし得る。センサは、標的物体の識別、距離識別等も可能にし得る。自動化用途のために好適なセンサのいくつかの例は、QRコード（登録商標）リーダ、バーコードスキャナ、RFIDタグリーダ、レーザスコープファインダ、および音響スコープファインダを含むであろう。

【0066】

タイル内の各アクチュエータまたはアクチュエータの群は、アクチュエータへの流体の流動が個々に制御され得るように、独立弁制御を具備し得る（例えば、図15A-15C

10

20

30

40

50

参照)。故に、群内の単一グリップが故障する場合、他のグリップは、動作し続け得る。

【0067】

そのようなシステムは、選択的把持（例えば、アレイ内の全グリップを作動させずに、アレイ内の1つ以上のグリップを作動させる）のためにも使用され得る。例えば、倉庫内のロボット採取システムは、製品を含む瓶に接近し得、グリップを選択的に係合し、瓶内の1つ、2つ、3つ、または任意の数のアイテムを取り上げ得る。ロボットシステムは、次いで、販売地点への分配のために、把持されたアイテムを配送袋内に配置し得る。そのようなシステムは、配送業者が、その時点で必要とされるアイテムのみを精密に提供することによって、販売地点（例えば、個々の店舗）のための在庫の規則的（例えば、毎日の）補充を行うことを可能にする。

10

【0068】

ここで示される相互係止タイルは、グリップの1次元および2次元配置のみを可能にするが、ペグならびにレセプタクル（または代替機械的相互係止特徴）の他の構成が、グリップの3次元アレイのアセンブリを可能にすることに留意されたい。

【0069】

図8A-8Eは、全体的グリップを含むモジュール式タイルを描写するが、他の実施形態では、各タイル（またはタイルのある組み合わせ）は、単一アクチュエータのみを含み得ることに留意されたい。この場合、一連のアクチュエータは、それらのそれぞれのタイルを相互係止することによって、互いに対して向けられ得る。アクチュエータの結果として生じる配置は、グリップを形成し得る。

20

【0070】

アクチュエータまたはグリップと一緒にアレイもしくはマトリクスとして接続するとき、アクチュエータを引き離す力およびアクチュエータをその相互接続特徴と垂直方向に押す剪断力に抵抗するために十分な様式において、グリップが互いに機械的に接続されることを確実にする必要がある。図8A-8Eのありつぎ配置は、そのような接続を提供する。図9A-9Dは、引っ張り力および剪断力に抵抗し得るグリップアレイ間の作動式機械的接続のさらなる例を描写する。

【0071】

図9Aは、アクチュエータ100から成るグリップが作動機構を通して互いに接続する能力を実証する。これは、グリップ間の接続としての役割を果たすだけでなく、再構成も可能にする。陰影エリア902は、そのような作動接続が行われ得る場所の概要である（但し、本発明は、作動式接続をこの特定のエリアに提供することに限定されない）。

30

【0072】

例えば、陰影エリア902は、図9Bに示されるように、空気圧線形アクチュエータ接続を表し得る。この例では、シリンダ904が、近隣グリップに取り付けられ得、近隣グリップと一緒により近接して、またはさらに離して移動させるように空気圧式に作動させられ得る。

【0073】

図9Cに示されるような別の例では、陰影エリア902は、ねじ906が近隣グリップを互いに対して移動させるように回転させられる送りねじ作動式システムを表し得る。図9Dに示されるようなさらに別の例では、ベルト駆動作動式機構908は、近隣グリップを互いに対して移動させ得る。

40

【0074】

図9A-9Dに示される接続は、2つの部品を互いに対して移動させることによって構成を変化させるために使用され得る。加えて、いくつかのタイプの接続（例えば、図9Bおよび9C）はまた、グリップを相互接続し、グリップ間の距離を変化させ、引っ張り力および剪断力に抵抗するために使用され得る。

【0075】

機械的接続に加え、グリップをアレイまたはマトリクスとして電氣的もしくは空気圧式に相互接続することも有用または必要であり得る。

50

【0076】

図10A-10Eは、電気および空気圧相互接続の例を描写する。電気および空気圧相互接続は、機械的接続としての役割も果たし得、この目的のために補強され得ることに留意されたい。

【0077】

図10Aは、グリッパが互いに機械的、電氣的、および空気圧式に接続する能力を実証する。陰影エリア1002は、そのような接続が行われ得る場所を表す。いくつかの実施形態では、別個のグリッパが、螺旋コード1004を通して接続されることができ、電気信号または加圧空気がそれを通して得る。

【0078】

図10B、10C、10D、および10Eは、これらの接続が行われ得る方法を図示するためのいくつかの例を提供する。図10Bは、電気接続のためのばね負荷伝導性パッド1006を描写する。パッド1006は、近隣グリッパ上の受け取りパッド1008と接触し、それと電気接続を確立する。図10Cは、1つのグリッパ上のピン1010が別のグリッパ上のレセプタクル1012と嵌合し、電気接続を確立するピン留めされる電気接続を描写する。図10Dは、1つのグリッパ上の磁石1014が近隣グリッパ上の対応する（例えば、反対極性を有する）磁石1016と嵌合する、グリッパ間の磁気接続を描写する。図10Eは、作動フィンガを駆動する空気圧ラインのための押し込み式接続を描写する。この例では、1つのグリッパ上のオス型空気圧ポート1018が、第2のグリッパ上のメス型空気圧ポート1020と嵌合し、接続を形成する。この接続は、通常、連鎖内の最終グリッパが加圧空気を漏出しないように、閉鎖構成にあり得る（例えば、弁の使用を通して）。

【0079】

電気接続は、グリッパ間で通信信号を送信するために使用され得ることに留意されたい。したがって、アクチュエータのアレイは、あるタイプの通信バスを具備し、アクチュエータが互いに通信することを可能にする（例えば、位置付け、修理、または保守、感知、もしくは他の能力を提供する目的のために）。故に、単一組のワイヤのみが、中心プロセッサから通信バスに接続するために必要であり、ワイヤを各アクチュエータに個々に延びる必要なく、プロセッサがアクチュエータのアレイまたはマトリクス全体を動作させることを可能にする。

【0080】

（アクチュエータプロファイル修正、補強、および把持修正）

図11A-11Bは、アクチュエータ曲がりプロファイル、剛性、揺れ特性、および把持特性を含む個々のアクチュエータの側面を修正するためのモジュール式構成要素を描写する。

【0081】

外部補強が、図11A-11Dに示されるように、把持するために利用されるアクチュエータの長さを修正するために使用されることができ。図11Aは、その加圧されていない「中立」状態におけるアクチュエータ100を描写し、図11Bは、その加圧された「作動」状態における同一アクチュエータ100を示す。各アクチュエータ100のインターフェース114は、ありつぎカットアウト等のレセプタクル1112を具備し、インターフェース114が補強カラーを受け取ることを可能にし得る。

【0082】

例えば、図11Cは、フィンガの半分を一緒に封入する2つのありつぎ相互係止モジュール式補強カラー1114の追加を伴う、図11Aのアクチュエータアセンブリを描写する。図11Cでは、アクチュエータは、その「中立」状態に示される。図11Dは、その「作動」状態における同一アクチュエータを描写する。モジュール式補強カラー1114を追加することによって、アクチュエータ100のより少ない部分が把持動作を行うために利用可能であることが分かる。このアクチュエータ100の短縮は、全体的アクチュエータ100を使用して一般に握持されるものより小さい部品を操作するためにグリッパを

再構成するときに有用であり得る。この図では、2つのモジュール式カラー1114が使用されるが、一般に、1つ以上のカラーが、把持タスクのために必要とされるアクチュエータ100の長さに応じて使用されることができる。これらのカラー1114は、互いにスナップ嵌めし（例えば、適切に成形される嵌合レセプタクルと突出部とを使用して）、異なる長さのアクチュエータ補強の迅速組立を可能にするように設計され得る。

【0083】

いくつかの他の方法のうちのいずれかが、アクチュエータアクセス可能長さを迅速に修正するために使用され得ることに留意されたい。例えば、硬質プレートをアクチュエータの歪み限定表面の一部に当接させ得る。

【0084】

加えて、例示的实施形態はまた、エラストマー管をアクチュエータの長さの一部を覆って設置することによって、アクチュエータの曲率を調整するために使用され得る。この場合、アクチュエータの全長は、使用のために利用可能なままであろう。しかしながら、アクチュエータの一部を追加の伸張可能材料で被覆することによって、アクチュエータの曲率は、加圧時、修正され得る。これは、覆いが無いアクチュエータを使用して操作することが困難な新しい形状の物体を操作するために、グリッパの迅速修正を可能にするであろう。

【0085】

図12A-12Bは、アクチュエータ100に適合する、エラストマー／コンプライアント中空アダプタ1200を図示する。アダプタ1200は、アクチュエータ100を実質的に包囲し、アクチュエータ100の長さに延びている一対の対向長さ部材1202を含む。アダプタ1200はさらに、アクチュエータ100のアコーディオン状延長部間をアクチュエータ100の非把持表面に沿って延びている複数のアコーディオン状表面部材1204を含む。アダプタ1200はまた、アクチュエータ100の把持表面に沿って延びている、複数の把持表面部材1206を含み得る。

【0086】

アダプタ1200は、供給ポート1208を通して、液体またはガスで加圧され、物体を把持するとき、加力を増加させるか、またはアクチュエータ100を補剛し得る。高速移動中の動作中のアクチュエータ100を補剛することは、フィンガの振動を減衰させる役割を果たす。

【0087】

図13A-13Kは、物体把持および振動低減のための適応可能補強を描写する。

【0088】

図13A-13Dは、高速移動中、グリッパのアクチュエータが、把持されている物体とグリッパとの間のばね式接続として作用し得ることを示す。図13Aは、グリッパが静止したままである間の物体1302を把持直後の基部1300およびアクチュエータ100を含むグリッパを示す。図13Bでは、グリッパは、基部1300を略図内の右に移動させることによって加速される。これは、慣性に起因して、アクチュエータ100を略図の左にたわませる。図13Cでは、グリッパがその標的速度を達成するにつれて、アクチュエータ100は、基部1300の中心に向かって揺れ戻り、グリッパが減速するにつれて（図13D）、アクチュエータ100は、画像の右にたわむ。停止すると、アクチュエータ100は、中心点の周りに前後に揺れ得る。その結果、迅速取り上げおよび配置動作中、物体1302は、高周波数振動を経験し得る。

【0089】

図13E-13Iは、これらの高周波数振動を防止または低減させるための技法を実証する。これらの技法は、アクチュエータ100の裏側（すなわち、アコーディオン状延長部を含む、非把持側）を金属またはプラスチック等の補強材料で封入することを伴う。補強材料は、物体が握持された後、またはグリッパが1つの場所から別の場所に移動している間、アクチュエータの側面および／または裏面に接近するように展開可能な種々の構成のレールの形態をとり得る。レールは、ラック・アンド・ピニオンシステムを通して、ま

10

20

30

40

50

たは空気圧式に等、いくつかの方法で作動させられ得る。

【0090】

例えば、図13E-13Fは、一对のレール1304が、アクチュエータ100の外部のグリッパの基部1300内のスロットの中に格納されるシステムを描写する。非展開構成（図13E）では、レール1304は、部分的または完全に筐体1300の中に後退させられ得る。後退させられるとき、レール1304は、アクチュエータ100を妨害せず、それによって、アクチュエータが物体を握持するために完全運動範囲を示すことを可能にするような構成にあり得る。展開されると（図13F）、レール1304は、基部1300が移動させられるとき、少なくともグリッパシステムの運動方向においてアクチュエータ100に対抗するように延び得る。レール1304は、最大でアクチュエータ100の完全包囲を含む、アクチュエータ100の追加の部分を含み得る。

10

【0091】

露出されるレールの長さも、アクチュエータの把持特性を変化させるために操作されることができる。例えば、レールの完全展開（図13Fに示されるように）は、アクチュエータ全体を補剛し得る一方、レールの部分的展開は、図11A-11Dに関して前述のように、アクチュエータの曲がりプロファイルを変化させ得る。

【0092】

封入材料は、アクチュエータ100に接触する表面上の形状記憶発泡体等の減衰材料でパッド詰めされ得る。減衰材料は、前述の振動を減衰させるように選択され得る。

【0093】

20

図13G-13Hは、13E-13Fと類似概念を描写するが、例えば、モータ式接続を通して作動させられ得るヒンジ1308上に搭載されるプレート1306を伴う。プレート1306は、アクチュエータ100が物体を把持するときのアクチュエータ100の予期される曲率に適合する曲線を有すること等によって、アクチュエータ100の裏面に適合し得る。図13Iは、図13G-13Hのプレート1306の斜視図を提供する。

【0094】

図13J-13Kは、アクチュエータ100および把持された物体を覆うように延び、潜在的に、グリッパシステムを完全に包含し得る、アコーディオン状構造体1310を描写する。図13Jは、非展開構成における構造体1310を描写する一方、図13Kは、展開構成における構造体1310を描写する。

30

【0095】

図14A-14Bは、近傍アクチュエータ間に延び、それらを接合するウェブ形状におけるエラストマー材料1400を描写する。エラストマー材料1400は、アクチュエータ100のシステムの有効把持面積を変化させるために使用され得る。例えば、グリッパは、リング等の小物体の握持に好適な構成（図14A）からメロン等のより大きい物体の握持に好適な構成（図14B）に動的に再構成され得る。グリッパを再構成するので、アクチュエータ100は、エラストマー材料1400を引き伸ばすために再位置付けされ得る（例えば、図2A-2Cに描写されるもの等のシステムを使用して）。アクチュエータ100間に把持された物体は、エラストマー材料1400を加圧し、それは、追加の把持表面および摩擦を物体上に提供し得る。このウェブ膜は、物体がフィンガ間でスリップすることによって落下することを防止することにも役立ち得る。

40

【0096】

（動的アクチュエータ交換）

アクチュエータ故障は、アクチュエータの材料（例えば、ゴム）が弱化するフィードバック状況を伴う突然の現象であり得、それは、より多くの流体が、アクチュエータの中に入ることを可能にする。対応する圧力の増加は、アクチュエータを弱化させ、アクチュエータの故障で終わるフィードバックループをさらにもたらす。このパターンは、流動センサによって検出されることができ、流動センサは、この現象に対応する所定のパターンの検出に応答して、遮断弁を閉鎖し得る。

【0097】

50

センサは、流量センサである必要はない。例えば、アクチュエータ破裂から生じる圧力降下を測定する圧力センサまたは一連の圧力センサであり得る。代替として、アクチュエータの破裂から引き起こされる異常空気流動から生じるであろう、冷却変化を測定する温度センサであり得る。それは、アクチュエータの破裂から引き起こされるであろう異常空気流動から生じる空気流を測定する、カンチレバーに取り付けられる圧電センサでもあり得る。

【0098】

例えば、図15A-15Cは、個々のアクチュエータ100に関する問題を検出し、対処するためのシステムを描写する。制御ユニット1500（図15A）は、流動センサと、遮断弁とを含み得る。遮断弁は、ボール弁等の機械的弁であり得る。それは、例えば、

10

【0099】

アクチュエータ100の作動時（例えば、図15Bに示されるように、膨張流体をアクチュエータ100に追加することによって）、流動センサは、アクチュエータ100内の漏出に起因して生じる余分な空気流動を検出し得る。この状態が検出されると（図15C）、遮断弁は、膨張流体をアクチュエータ100に供給する供給ライン1502を閉鎖し得る。そのような構成は、アクチュエータのアレイ内の1つ以上のアクチュエータ100が故障するときには有用であり得る。このように、アレイ内の故障したアクチュエータ100は、全ての他のアクチュエータを損なうことなく、切り離され得る。

20

【0100】

流動センサが各個々のアクチュエータの摩耗を測定するために有用であり得ることにも留意されたい。アクチュエータがその寿命サイクルの終了に近づくと、エラストマーが歪みを受けているので、より多くの空気が、空間を充填し得る。流動センサを使用して、空気の本余分な体積が、検出され得、アクチュエータ故障が、予測されることができ

【0101】

アクチュエータ故障は、他の方法でも同様に測定および予測されることができ

例えば、アクチュエータの中への膨張流体の圧力が調整される場合（例えば、圧力センサが、アクチュエータの圧力を4 p. s. i. に保つために使用される）、アクチュエータの壁が弱化または故障すると、所望の圧力に到達するために、より多量の流体流動を要求し得る。同様に、計測された体積流動において、圧力も、壁が弱化するにつれて低下し得る（同一量の流動を前提として）。これらの技法は、差し迫ったアクチュエータ故障を予測するために使用され得る。さらに、十分なデータを前提として、圧力プロファイルまたは流動プロファイルは、アクチュエータの残りの寿命を予測するために使用され得、それは、倉庫または製造ラインの管理における効率を可能にし得る。アクチュエータがラインが稼働中に故障する場合、ライン全体が、アクチュエータが交換される間、ある期間にわたって遮断される必要があり得る（かなりの費用をもたらす）。ある場合には、差し迫ったアクチュエータ故障の指示は、故障が問題の潜在的連続を生じさせる前にアクチュエータを交換するために、故障前にラインを一時的に遮断させ得る。しかしながら、差し迫った故障が検出されるが、圧力または膨張プロファイルが、アクチュエータがラインが保守のために遮断されるようにスケジュールされるまで持続するであろうことを示唆する場合（例えば、保守時間が所定の閾値を下回る前のアクチュエータ故障の確率）、即時遮断は、回避され得、アクチュエータは、次のスケジュールされた保守遮断まで交換を待ち得る。

30

40

【0102】

同様に、故障は、異常流動信号または圧力信号の存在によっても検出されることができ

る。例えば、圧力調整システムが、アクチュエータを所定の圧力まで膨張させるために十分な膨張流体を提供するが、アクチュエータにおけるセンサが、より少ない圧力を検出する場合、それは、アクチュエータ内の漏出の存在を示し得る。同様に、漏出は、流体流動がアクチュエータ膨張の所定の時間内に要求される場合にも検出され得る。例えば、アクチュエータが4 p. s. i. まで膨張させられるが、膨張流体の流動が膨張後、ある時間

50

(例えば、2秒)以内に4 p. s. i. を維持するために要求される場合、それは、漏れの存在を示し得る。

【0103】

問題がアクチュエータに関して検出されると、アクチュエータを別のものと迅速かつ動的に交換可能であることが有用であり得る。代替として、異なるサイズまたはタイプのアクチュエータ間で迅速に変更する必要があるあり得る。これらおよび他の目的のために、迅速変更装置が、採用され得る。例示的迅速変更装置1600の一例は、図16A-16Dに描写される。図16Aは、迅速変更機構を含むロボットアームシステムの斜視図を描写し、図16Bは、4つのアクチュエータ100を含むロボットアームシステムのグリッパの拡大図である。

【0104】

迅速変更装置1600は、アクチュエータ100と嵌合するように成形および構成されている嵌合表面1602を含み、それは、嵌合表面1602がアクチュエータ100に適合し、シールを生成することを可能にする(図16C)。アクチュエータ100を変更すべきとき、表面1602は、分離され(例えば、モータまたは他のデバイスによって)、アクチュエータ100を解放し得る。迅速変更装置1600の基部1604は、新しいアクチュエータ1606の上で操縦され得、それは、視覚的検出手段を使用して、グリッパ上のバーコード、QRコード(登録商標)、またはRFIDコードを走査することによって等、識別され得る。基部は、新しいアクチュエータ100の上方の位置に操縦され得、表面は、アクチュエータ100の周囲に閉鎖され、新しいシールをもたらし、アクチュエータ100を定位置に固定し得る(図16D)。各アクチュエータ100は、カスタマイズされた嵌合表面1602を有するそれ自身のシール機構を含み得るか、または汎用シール機構がグリッパ基部上に提供され得る。

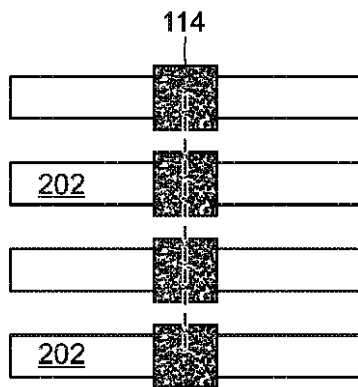


FIG. 4B

【図1A】

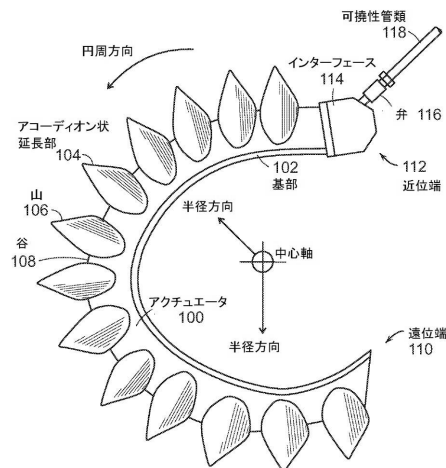


FIG. 1A

【図1B】

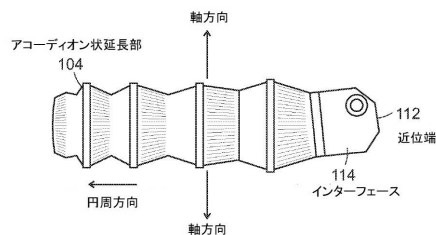
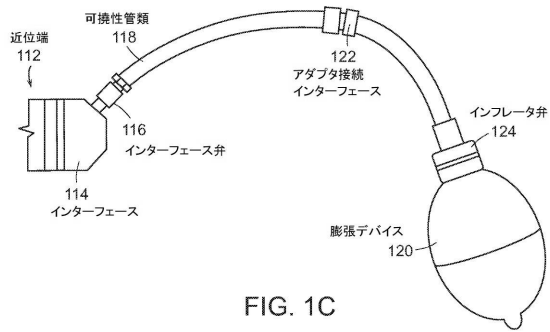
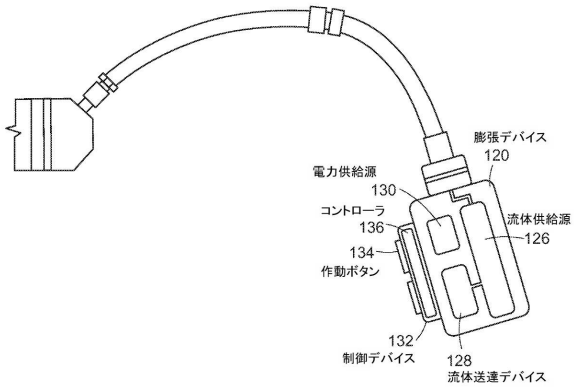


FIG. 1B

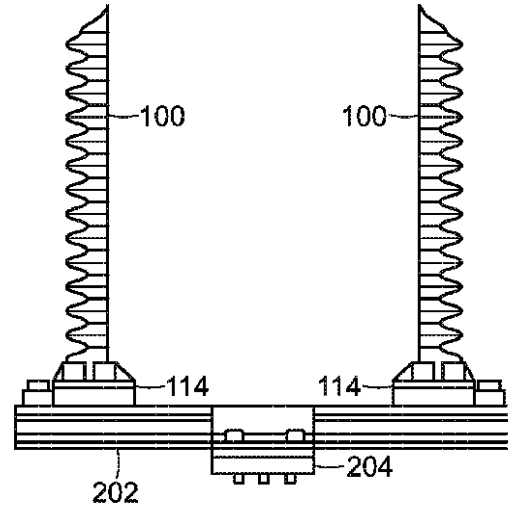
【図 1 C】



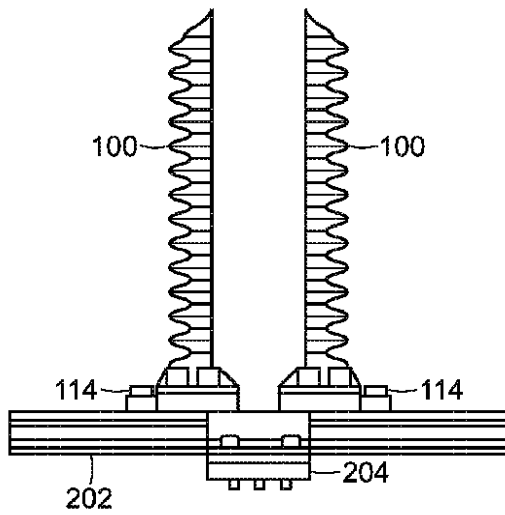
【図 1 D】



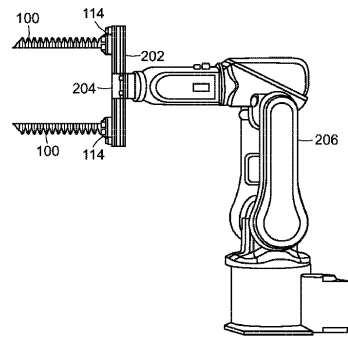
【図 2 A】



【図 2 B】



【図 2 C】



【図 3 A】

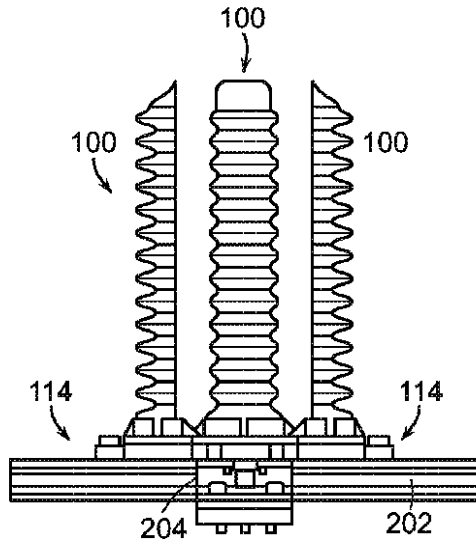


FIG. 3A

【図 3 B】

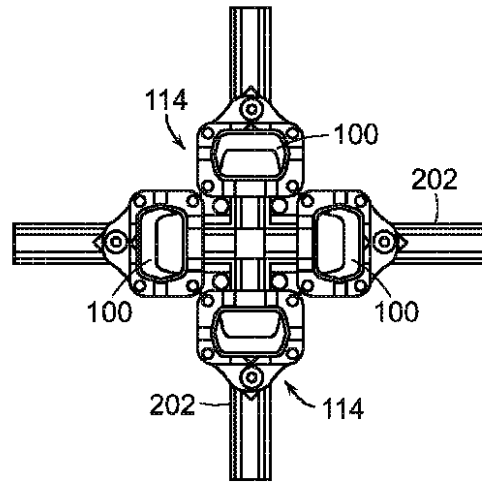


FIG. 3B

【図 3 C】

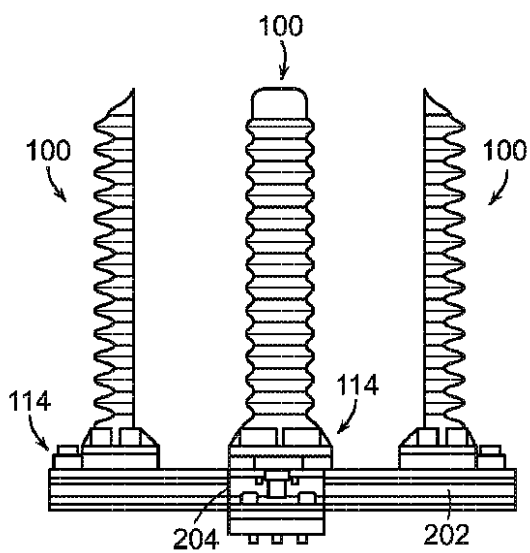


FIG. 3C

【図 3 D】

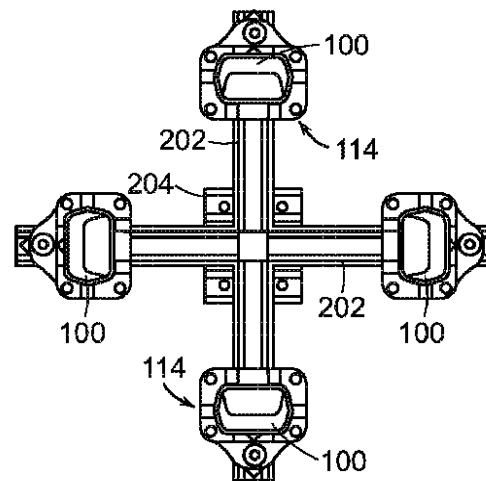


FIG. 3D

【図 4 A】

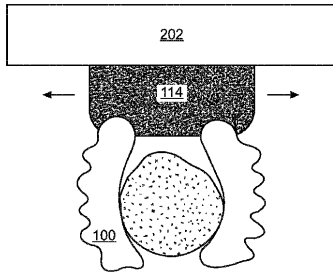


FIG. 4A

【図 5 A】

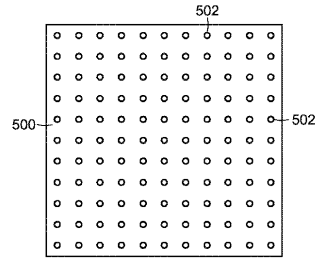


FIG. 5A

【図 4 B】

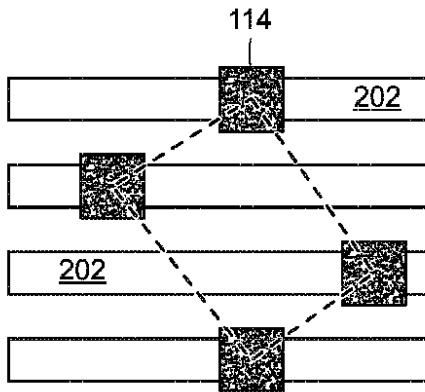


FIG. 4B

【図 5 B】

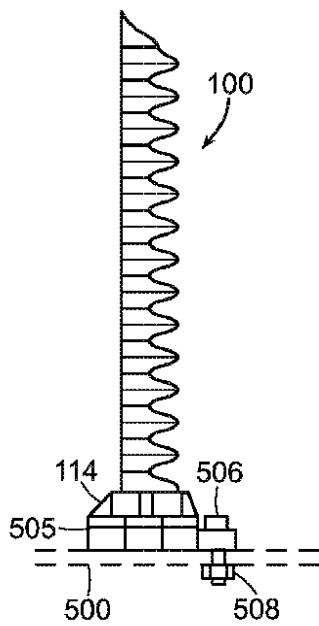


FIG. 5B

【図 5 C】

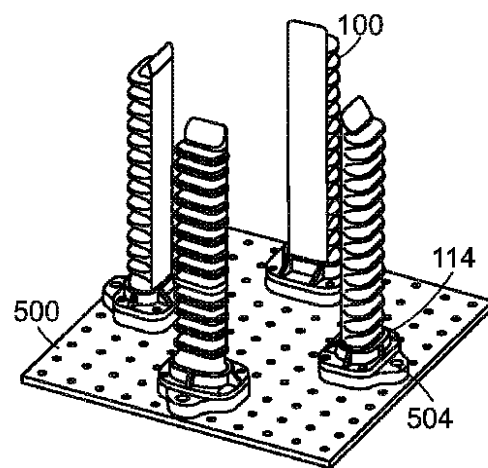


FIG. 5C

【図 5 D】

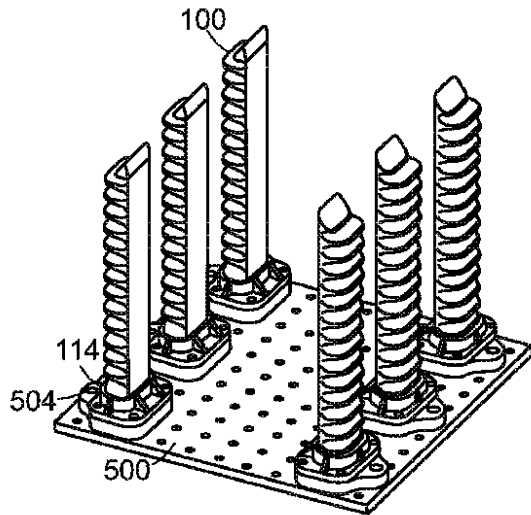


FIG. 5D

【図 6 A】

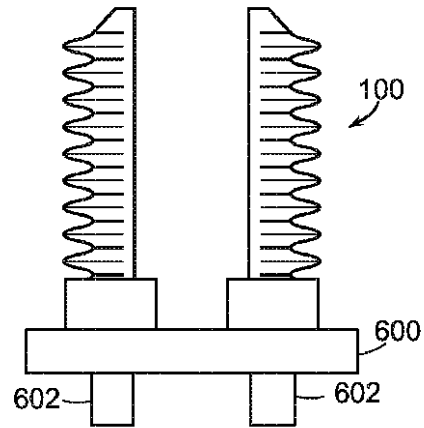


FIG. 6A

【図 6 B】

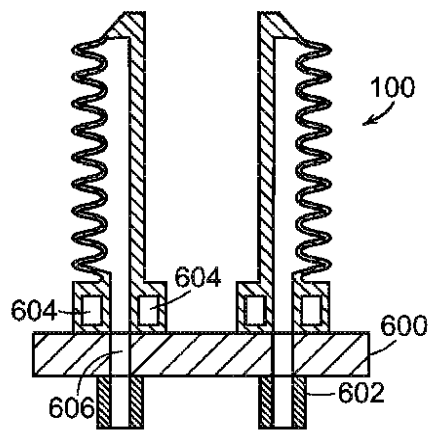


FIG. 6B

【図 6 D】

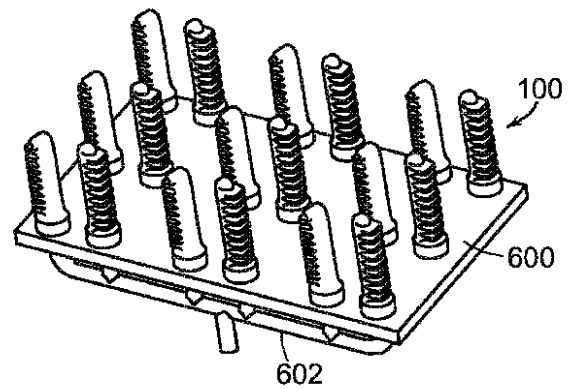


FIG. 6D

【図 6 C】

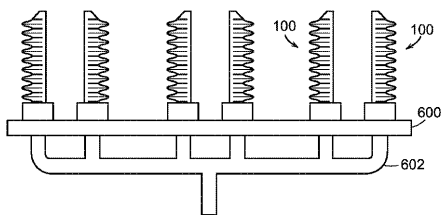


FIG. 6C

【図 7 A】

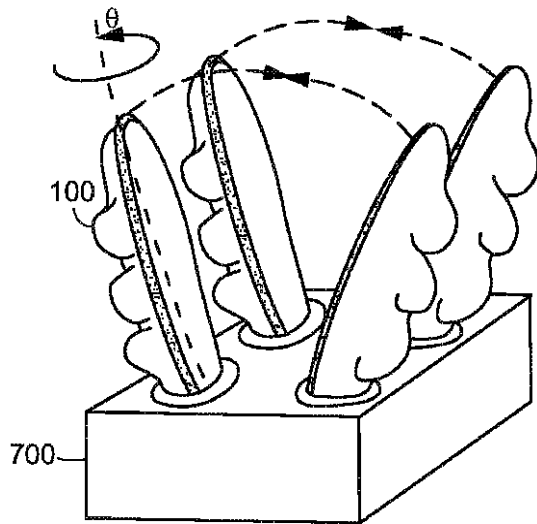


FIG. 7A

【図 7 B】

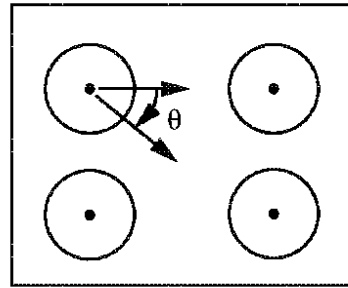


FIG. 7B

【図 7 C】

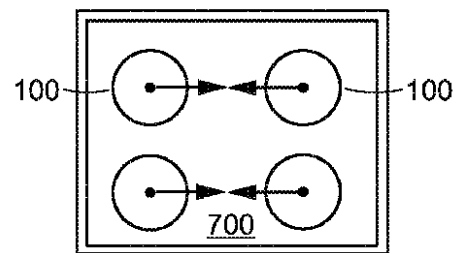


FIG. 7C

【図 7 D】

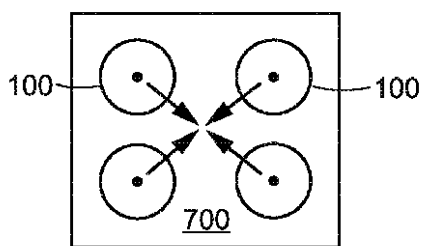


FIG. 7D

【図 7 E】

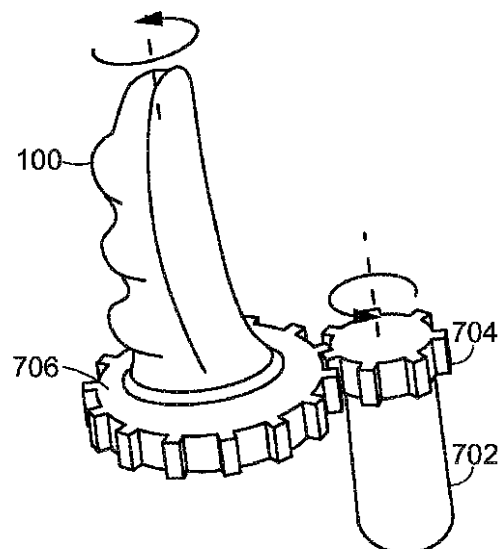


FIG. 7E

【図 7 F】

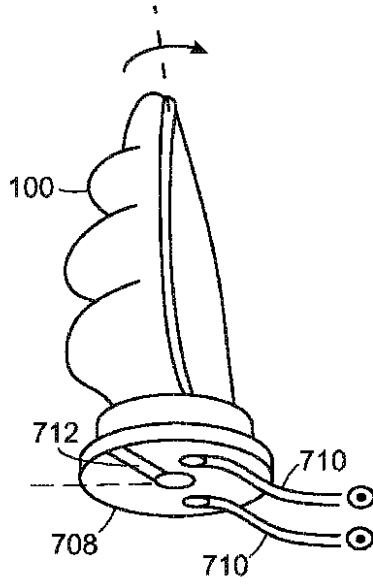


FIG. 7F

【図 8 A】

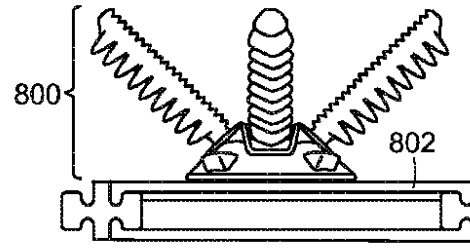


FIG. 8A

【図 8 B】

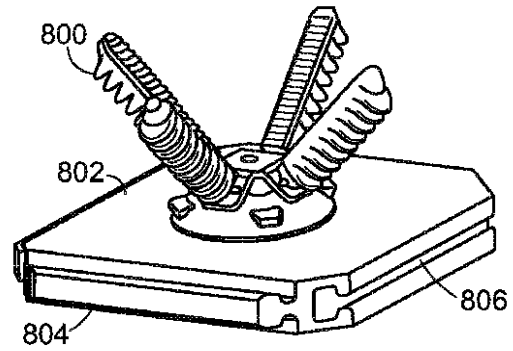


FIG. 8B

【図 8 C】

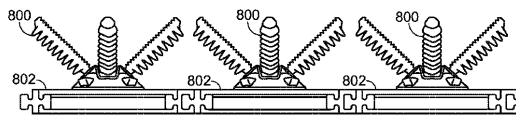


FIG. 8C

【図 8 D】

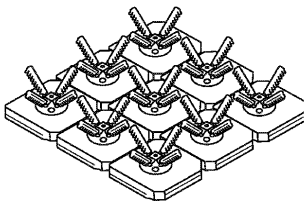


FIG. 8D

【図 8 E】

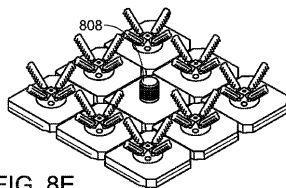


FIG. 8E

【図 9 A】

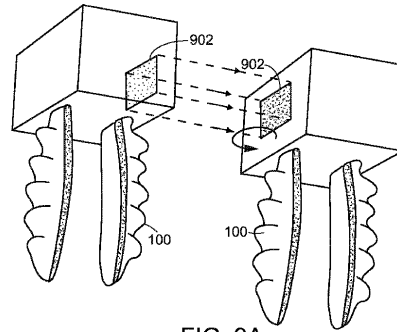


FIG. 9A

【図 9 B】

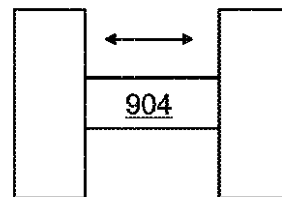


FIG. 9B

【図 9 C】

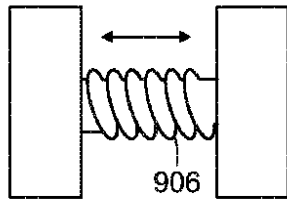


FIG. 9C

【図 9 D】

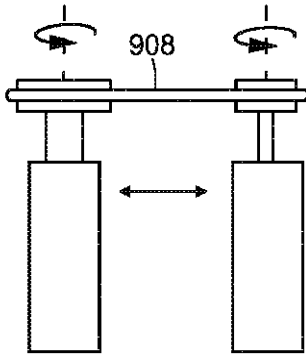


FIG. 9D

【図 10 A】

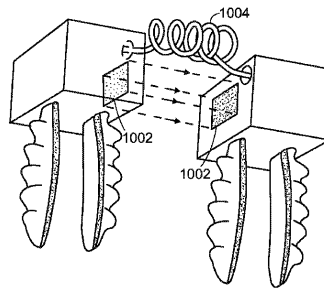


FIG. 10A

【図 10 B】

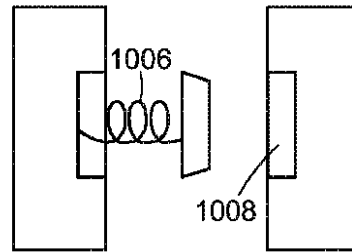


FIG. 10B

【図 10 C】

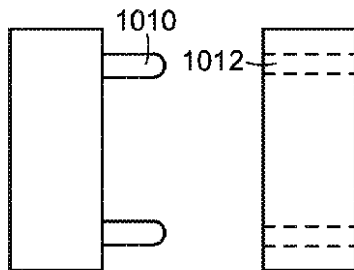


FIG. 10C

【図 10 E】

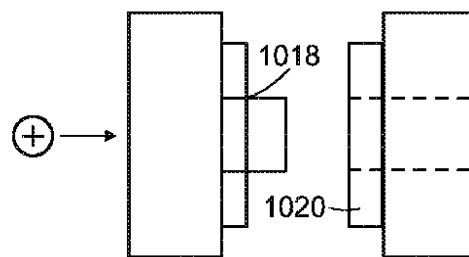


FIG. 10E

【図 10 D】

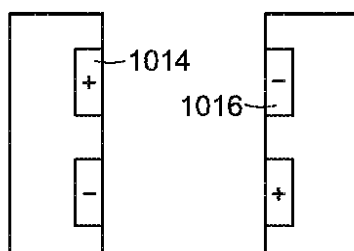


FIG. 10D

【図 1 1 A】

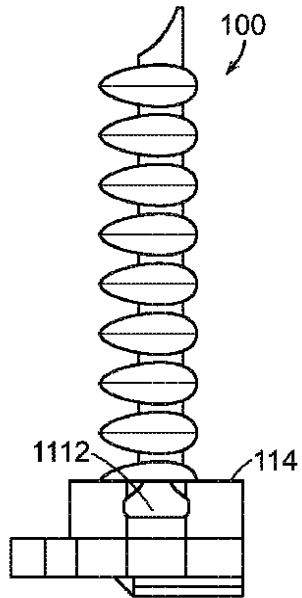


FIG. 11A

【図 1 1 B】

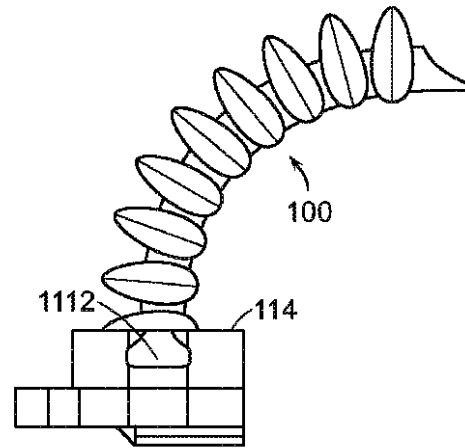


FIG. 11B

【図 1 1 C】

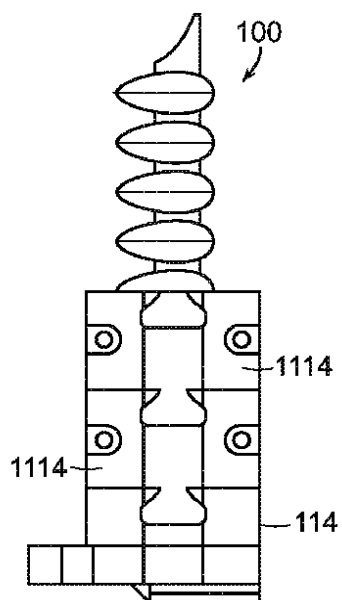


FIG. 11C

【図 1 1 D】

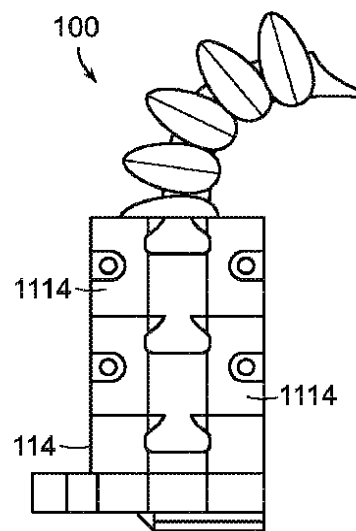


FIG. 11D

【図 12 A】

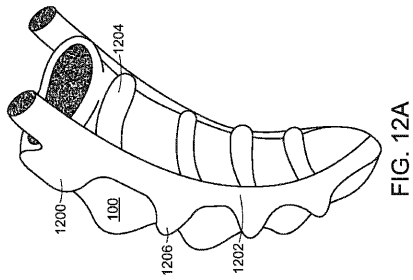


FIG. 12A

【図 12 B】

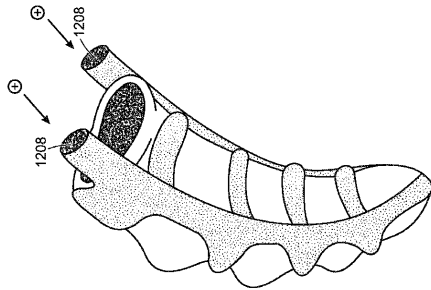


FIG. 12B

【図 13 A - 13 D】

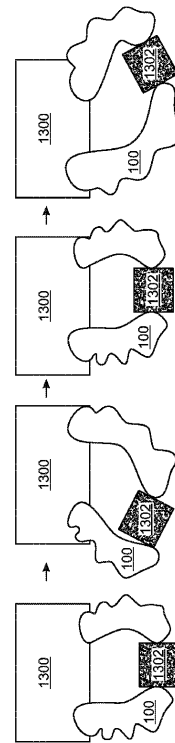


FIG. 13D

FIG. 13C

FIG. 13B

FIG. 13A

【図 13 E】

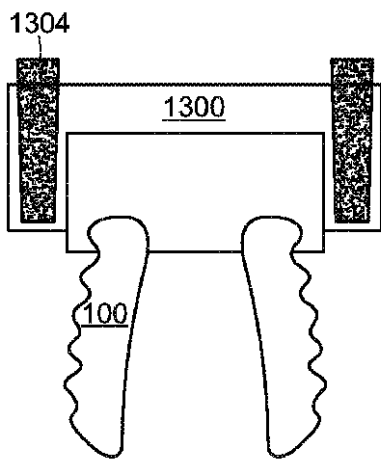


FIG. 13E

【図 13 F】

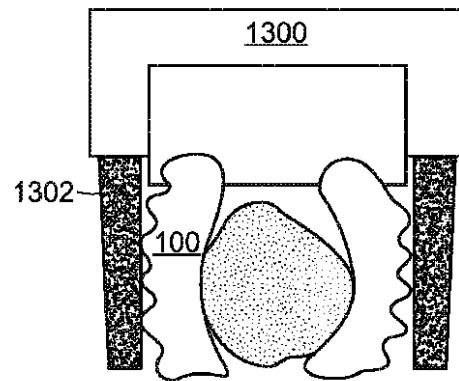


FIG. 13F

【図 13 G】

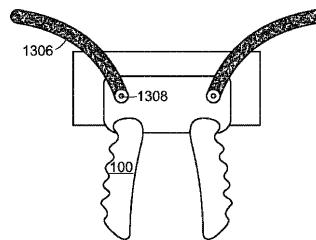


FIG. 13G

【図 13 H】

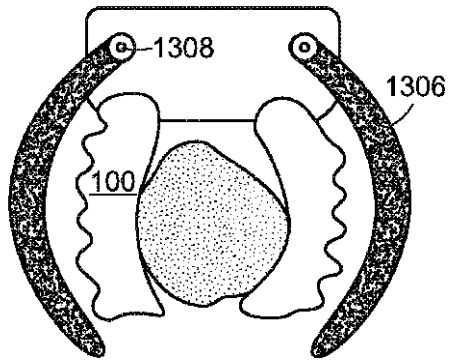


FIG. 13H

【図 13 I】

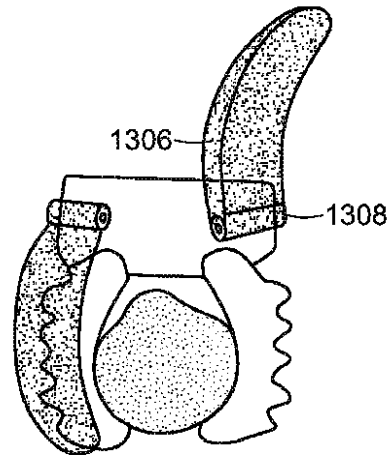


FIG. 13I

【図 13 J】

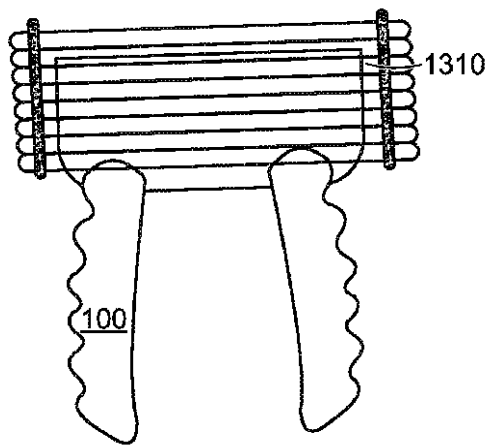


FIG. 13J

【図 13 K】

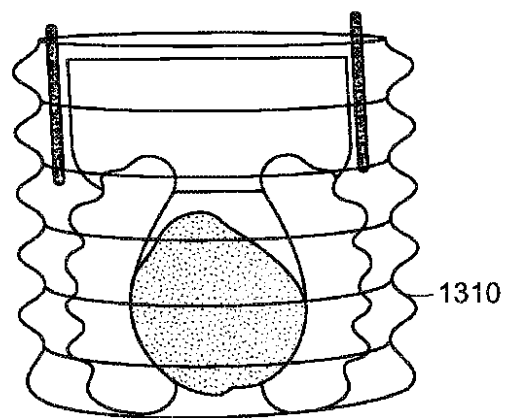


FIG. 13K

【図 1 4 A】

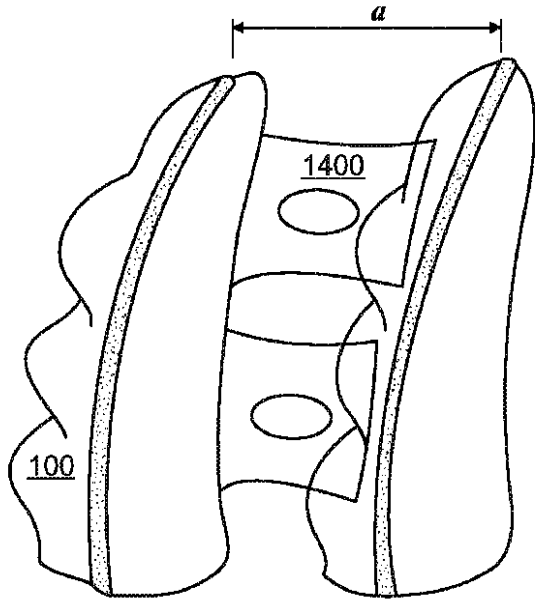


FIG. 14A

【図 1 4 B】

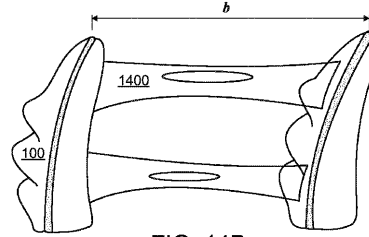


FIG. 14B

【図 1 5 A - 1 5 C】

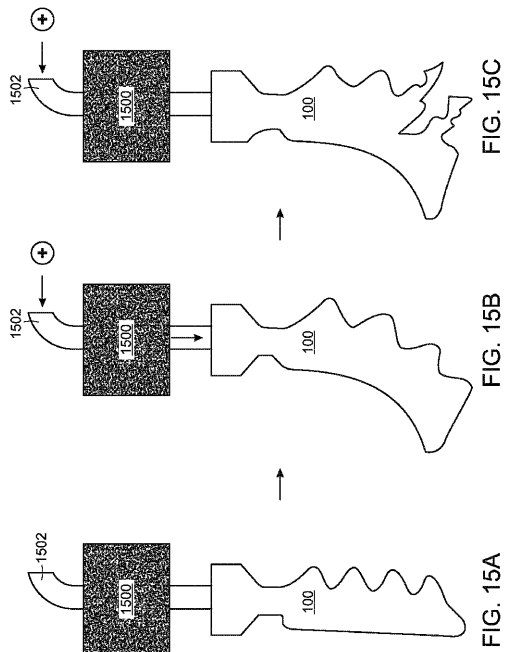


FIG. 15A

FIG. 15B

FIG. 15C

【図 1 6 A】

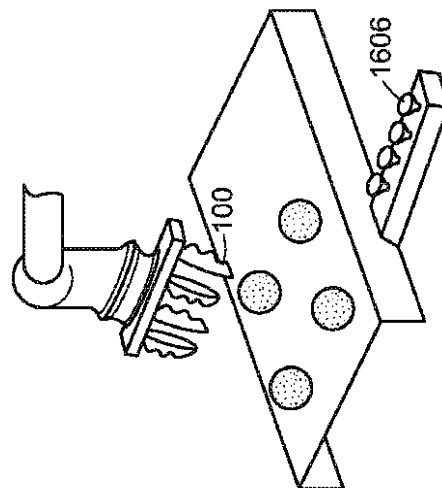
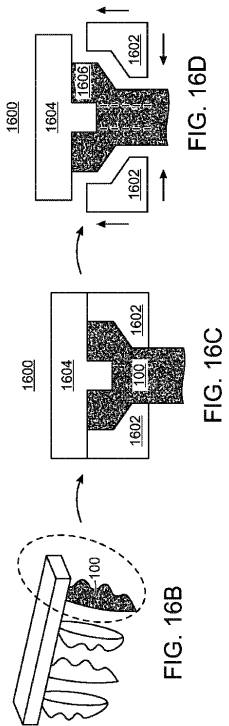


FIG. 16A

【図 16 B - 1 6 D】



フロントページの続き

(74)代理人 230113332

弁護士 山本 健策

(72)発明者 レッシング, ジョシュア アーロン

アメリカ合衆国 マサチューセッツ 02141, ケンブリッジ, ミュージアム ウェイ 10, アpartment 1524

(72)発明者 アルセド, ケビン

アメリカ合衆国 フロリダ 33071, コーラル スプリングス, リバーサイド ドライブ 9601, ユニット 5エー

(72)発明者 ノップフ, ライアン リチャード

アメリカ合衆国 マサチューセッツ 02140, ケンブリッジ, フォレスト ストリート 18, アpartment 23

(72)発明者 ハーバード, ダニエル ビンセント

アメリカ合衆国 マサチューセッツ 02445, ブルックライン, フェアマウント ストリート 70

審査官 松浦 陽

(56)参考文献 特開平03-190692 (JP, A)

特開2004-181585 (JP, A)

特開平05-305506 (JP, A)

国際公開第2001/072479 (WO, A1)

特開2008-260110 (JP, A)

特開2006-255805 (JP, A)

特開2011-240421 (JP, A)

特開2012-176461 (JP, A)

国際公開第2014/074840 (WO, A1)

特開2002-018762 (JP, A)

特開2010-076050 (JP, A)

特開2013-000853 (JP, A)

特表2015-512795 (JP, A)

再公表特許第2004/000508 (JP, A1)

国際公開第2014/138123 (WO, A1)

特開2014-168834 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B25J 1/00 - 21/02

F15B 15/10