

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2017-534475
(P2017-534475A)

(43) 公表日 平成29年11月24日(2017.11.24)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 2 5 J 17/00 (2006.01)	B 2 5 J 17/00	Z 3 C 7 0 7
B 2 5 J 15/08 (2006.01)	B 2 5 J 15/08	N

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 30 頁)

(21) 出願番号 特願2017-527656 (P2017-527656)
 (86) (22) 出願日 平成27年11月18日 (2015.11.18)
 (85) 翻訳文提出日 平成29年7月10日 (2017.7.10)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2015/061352
 (87) 国際公開番号 W02016/081605
 (87) 国際公開日 平成28年5月26日 (2016.5.26)
 (31) 優先権主張番号 14/857,648
 (32) 優先日 平成27年9月17日 (2015.9.17)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 62/081,323
 (32) 優先日 平成26年11月18日 (2014.11.18)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 517173950
 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 O 2
 4 4 5, ブルックライン, フェアマウ
 ント ストリート 7 0
 (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】 ソフトロボットアクチュエータの向上

(57) 【要約】

例示的な実施形態は、ソフトロボットアクチュエータに向上を提供する。いくつかの実施形態では、角度調整システムが、アクチュエータとハブとの間または2つのアクチュエータ間の角度を変更するために提供される。角度調整システムはまた、アクチュエータ間の相対距離または離間を変更するために使われ得る。さらなる実施形態によると、剛化層が、比較的高い歪みの1つまたはそれより多くの位置においてアクチュエータの1つまたはそれより多くの部分を補強するために提供される。さらなる実施形態によると、力増幅構造が、アクチュエータによって対象に印加される力の量を増加させるために、提供される。力増幅構造は、膨張すると曲がる対象となるアクチュエータの長さを短縮するために機能し得る。またさらなる実施形態によると、把持パッドが、アクチュエータの把持プロファイルのカスタマイズし、把持される物の表面によりよく適合するために提供される。

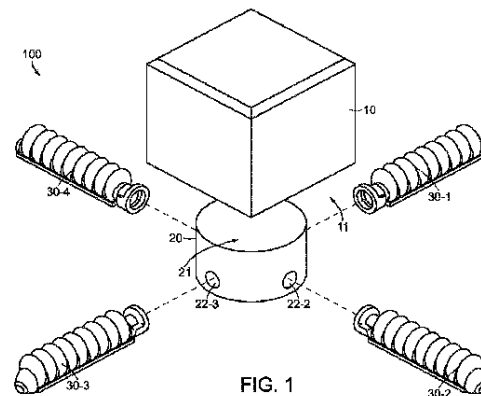


FIG. 1

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

装置であって、該装置は、

1つまたはそれより多くのソフトロボットアクチュエータであって、該ソフトロボットアクチュエータは、エラストマー材料を含む中空の本体を備え、該中空の本体は、膨張流体を受容するように構成される、ソフトロボットアクチュエータと、

該1つまたはそれより多くのソフトロボットアクチュエータに接続するためのインターフェイスを備えるハブと、

該1つもしくはそれより多くのソフトロボットアクチュエータの角度を、該ハブに対してもしくは互いに対して調整するための角度調整デバイス、または、該1つもしくはそれより多くのソフトロボットアクチュエータの位置を、該ハブに対してもしくは互いに対して調整するための角度調整デバイスと

を備える、装置。

【請求項 2】

前記角度調整デバイスは、アクチュエータを取り付けるためのインターフェイスを有する回転可能な構成要素を備え、該回転可能な構成要素は、該取り付けられたアクチュエータと前記ハブとの間の相対角度を変えるために該ハブに対して回転する、請求項1に記載の装置。

【請求項 3】

前記角度調整デバイスは、前記1つまたはそれより多くのソフトロボットアクチュエータに隣接して配置される1つまたはそれより多くのソフト角度調整器を備え、該ソフト角度調整器は、該ソフトロボットアクチュエータ間の角度を変更するために該ソフトロボットアクチュエータとは独立して膨張させられるように構成される、請求項1に記載の装置。

【請求項 4】

前記1つまたはそれより多くのアクチュエータは、少なくとも2つのアクチュエータを含み、前記角度調整デバイスは、該少なくとも2つのアクチュエータの前記角度を独立して調整するように構成される、請求項1に記載の装置。

【請求項 5】

前記1つまたはそれより多くのアクチュエータは、少なくとも2つのアクチュエータを含み、前記角度調整デバイスは、該少なくとも2つのアクチュエータの前記角度を独立して調整するように構成される、請求項1に記載の装置。

【請求項 6】

装置であって、該装置は、

1つまたはそれより多くのソフトロボットアクチュエータであって、該ソフトロボットアクチュエータは、エラストマー材料を含む中空の本体を備え、該中空の本体は、膨張流体を受容するように構成され、該ソフトロボットアクチュエータのそれぞれは、遠位端および近位端を有する、ソフトロボットアクチュエータと、

少なくとも部分的に該1つまたはそれより多くのアクチュエータの周りに提供される力増幅デバイスであって、該力増幅デバイスは、該力増幅デバイスを採用しないアクチュエータと比べて、1つまたはそれより多くのアクチュエータの該遠位端において加えられる力を増幅するように構成される、力増幅デバイスと

を備える、装置。

【請求項 7】

前記力増幅デバイスは、前記1つまたはそれより多くのソフトロボットアクチュエータを前記近位端と前記遠位端との間の位置で少なくとも部分的に取り囲むバンドを備える、請求項6に記載の装置。

【請求項 8】

前記力増幅デバイスは、前記1つまたはそれより多くのソフトロボットアクチュエータを前記近位端と前記遠位端との間の位置で少なくとも部分的に取り囲むカフまたは蛇腹を

10

20

30

40

50

備える、請求項 6 に記載の装置。

【請求項 9】

前記カフまたは蛇腹は、長手方向に拡張可能な長さを有し、該カフまたは蛇腹の該長さを調整することは、前記 1 つまたはそれより多くのソフトロボットアクチュエータの前記遠位端で加えられる力の量を変える、請求項 8 に記載の装置。

【請求項 10】

前記力増幅デバイスは、前記 1 つまたはそれより多くのソフトロボットアクチュエータを前記近位端と前記遠位端との間の位置で少なくとも部分的に取り囲む可撓性または伸縮性のストラップを備える、請求項 6 に記載の装置。

【請求項 11】

装置であって、該装置は、

ソフトロボットアクチュエータであって、該ソフトロボットアクチュエータは、エラストマー材料を含む中空の本体および歪み制限層を備え、該中空の本体は、膨張流体を受容するように構成され、該ソフトロボットアクチュエータは、曲がることの中立軸を有する、ソフトロボットアクチュエータと、

該歪み制限層に隣接して、または、該歪み制限層と一体で提供される剛化層であって、該剛化層は、該曲がることの中立軸に対して垂直に配向される 1 つまたはそれより多くの剛性の構成要素を備える、剛化層と

を備える、装置。

【請求項 12】

前記剛性の構成要素は、前記歪み制限層内に成形される複数の剛性のスラットを備える、請求項 11 に記載の装置。

【請求項 13】

前記複数の剛性のスラットは、互いに対して平行に配向される、請求項 12 に記載の装置。

【請求項 14】

前記 1 つまたはそれより多くの剛性の構成要素は、真空がアクチュエータに印加されるときに、該アクチュエータの掴握側がキャビテーションすることまたは凹状になることを妨げるように構成される、請求項 11 に記載の装置。

【請求項 15】

前記剛化層は、アクチュエータの掴握しない側上の 1 つまたはそれより多くの谷にわたって延在する 1 つまたはそれより多くのレース、ストラップ、リングまたはコードで該アクチュエータに固定される、請求項 11 に記載の装置。

【請求項 16】

装置であって、該装置は、

ソフトロボットアクチュエータであって、該ソフトロボットアクチュエータは、エラストマー材料を含む中空の本体を備え、該中空の本体は、膨張流体を受容するように構成される、ソフトロボットアクチュエータと、

物体を掴握するために構成される、該ソフトロボットアクチュエータの側に隣接して、または、該ソフトロボットアクチュエータの側と一体で提供される把持構造であって、該把持構造は、該把持構造を欠いているソフトロボットアクチュエータと比べて該アクチュエータの把持を強める形状またはテクスチャを有する、把持構造と

を備える、装置。

【請求項 17】

前記把持構造は、適合性のあるパッドであり、該適合性のあるパッドは、前記アクチュエータが加圧されないときに実質的に凸状であり、該アクチュエータが加圧されるときに実質的に平らである、請求項 16 に記載の装置。

【請求項 18】

前記装置は、複数のアクチュエータを備え、該アクチュエータのうちの少なくとも 2 つは異なる把持構造を有する、請求項 16 に記載の装置。

10

20

30

40

50

【請求項 19】

前記ソフトロボットアクチュエータは、該アクチュエータの掴握側上の異なる位置で提供される複数の異なる把持表面を備える、請求項 16 に記載の装置。

【請求項 20】

前記把持構造は、1本またはそれより多くの針を備える、請求項 16 に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

(関連出願)

本出願は、「Soft Robotic Actuator Attachment Hub and Grasper Assembly, Reinforced Actuators, and Electro adhesive Actuators」と題され、2015年9月17日に出願された、米国特許出願番号14/857,648の一部継続出願である。本出願はまた、その内容が参照により本明細書中に援用される、「Soft Robotic Actuator Enhancements」と題され、2014年11月18日に出願された、米国特許出願番号62/081,323への優先権を主張する。

【0002】

(開示の分野)

本開示は、概してロボット工学の分野に関係し、特に、ソフトロボットアクチュエータを別の機械式システムとインターフェイス接続するためのハブおよびアセンブリ、ならびにソフトロボットアクチュエータシステムのための向上に係る。

【背景技術】

【0003】

(背景)

ロボット工学は、産業用の適用(例えば、製造および包装)ならびに医療用の適用などの多くの産業で使用されている。ソフトロボット工学は、ソフトで、適合性があり、適応性がある掴握部およびアクチュエータを提供し、ロボットが従来のロボット工学においてよりも適応性のある態様で物体と相互作用することを可能とする、ロボット工学の開発中の領域である。例えば、単一の掴握部は、ちょうど人間の手ができるように、各タスクにおける様々な物体の大きさ、重さおよび形状に適応し得る。

【0004】

「ハード」ロボット工学と「ソフト」ロボット工学を組み合わせる、磁気アセンブリは、A Hybrid Combining Hard and Soft Robotics, Stokes Adam A., Shepherd Robert F., Morin Stephen A., Ilievski Filip, および Whitesides George M., Soft Robotics. 2014年3月, 1(1): 70-74. doi: 10.1089/soro.2013.0002において開示されており、その文献はその全体が本明細書中に参照により援用される。しかし、ハードロボット工学とソフトロボット工学との提案された組み合わせは、人間に似た動作をするのに必要な汎用性を提供しない。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0005】

本開示は、既存のシステムの上記および他の制限に関する。特に、本開示は、ハードロボット工学およびソフトロボット工学をインターフェイス接続する際の改良を提供し、さらに、改良されたアクチュエータを提供する。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献1】A Hybrid Combining Hard and Soft Robotics, Stokes Adam A., Shepherd Robert F., Morin Stephen A., Ilievski Filip, および Whitesides George M., Soft Robotics. 2014年3月, 1(1): 70-74. doi: 10.1089/soro.2013.0002

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】図1は、本開示の様々な例によるハブアセンブリおよびソフトロボットアクチュエータの例示的な実施形態を示す斜視図である。

【0008】

【図2】図2A~2Cは、図1のハブアセンブリの分解図である。

【0009】

【図3A】図3A~3Eは、図1のハブアセンブリおよびソフトロボットアクチュエータの組立図である。

【図3B】図3A~3Eは、図1のハブアセンブリおよびソフトロボットアクチュエータの組立図である。

【図3C】図3A~3Eは、図1のハブアセンブリおよびソフトロボットアクチュエータの組立図である。

【図3D】図3A~3Eは、図1のハブアセンブリおよびソフトロボットアクチュエータの組立図である。

【図3E】図3A~3Eは、図1のハブアセンブリおよびソフトロボットアクチュエータの組立図である。

【0010】

【図4】図4A~4Dは、図1のハブアセンブリのための例示的なツイストロックインターフェイスを示す斜視図である。

【0011】

【図5】図5A~5Cは、図1のハブアセンブリと、機械式または電気機械式部分を有するソフトアクチュエータとを使う例示的な掴握部を示す斜視図である。

【0012】

【図6A】図6A~6Eは、図1のハブアセンブリと、構成可能な迎え角を有するソフトアクチュエータとを使う掴握部を示す斜視図である。

【図6B】図6A~6Eは、図1のハブアセンブリと、構成可能な迎え角を有するソフトアクチュエータとを使う掴握部を示す斜視図である。

【図6C】図6A~6Eは、図1のハブアセンブリと、構成可能な迎え角を有するソフトアクチュエータとを使う掴握部を示す斜視図である。

【図6D】図6A~6Eは、図1のハブアセンブリと、構成可能な迎え角を有するソフトアクチュエータとを使う掴握部を示す斜視図である。

【0013】

【図7A】図7A~7Dは、複数の角度的に調整可能な把持アクチュエータと、把持アクチュエータの迎え角を調整するための複数の調整アクチュエータとを有するソフトロボットアクチュエータアセンブリを示す斜視図である。

【図7B】図7A~7Dは、複数の角度的に調整可能な把持アクチュエータと、把持アクチュエータの迎え角を調整するための複数の調整アクチュエータとを有するソフトロボットアクチュエータアセンブリを示す斜視図である。

【図7C】図7A~7Dは、複数の角度的に調整可能な把持アクチュエータと、把持アクチュエータの迎え角を調整するための複数の調整アクチュエータとを有するソフトロボットアクチュエータアセンブリを示す斜視図である。

【図7D】図7A~7Dは、複数の角度的に調整可能な把持アクチュエータと、把持アクチュエータの迎え角を調整するための複数の調整アクチュエータとを有するソフトロボットアクチュエータアセンブリを示す斜視図である。

10

20

30

40

50

【図 7 E】図 7 A ~ 7 D は、複数の角度的に調整可能な把持アクチュエータと、把持アクチュエータの迎え角を調整するための複数の調整アクチュエータとを有するソフトロボットアクチュエータアセンブリを示す斜視図である。

【0014】

【図 8 A】図 8 A ~ 8 F は、ソフトアクチュエータを補強するための例示的な補強構造を示す。

【図 8 B】図 8 A ~ 8 F は、ソフトアクチュエータを補強するための例示的な補強構造を示す。

【図 8 C】図 8 A ~ 8 F は、ソフトアクチュエータを補強するための例示的な補強構造を示す。

【図 8 D】図 8 A ~ 8 F は、ソフトアクチュエータを補強するための例示的な補強構造を示す。

【図 8 E】図 8 A ~ 8 F は、ソフトアクチュエータを補強するための例示的な補強構造を示す。

【図 8 F】図 8 A ~ 8 F は、ソフトアクチュエータを補強するための例示的な補強構造を示す。

【0015】

【図 9】図 9 A および 9 B は、例示的な補強層を示す斜視図である。

【0016】

【図 10 A】図 10 A は、力増幅バンドによって取り囲まれた複数のアクチュエータを有するソフトロボットアクチュエータアセンブリを示す斜視図である。

【0017】

【図 10 B】図 10 B は、自動で調整可能な力増幅バンドによって取り囲まれた複数のアクチュエータを有するソフトロボットアクチュエータアセンブリを示す斜視図である。

【0018】

【図 10 C】図 10 C は、例示的な 8 の字の力増幅バンドを示す斜視図である。

【0019】

【図 11 A】図 11 A ~ 11 E は、様々な例示的な把持パッド、テクスチャおよびツールが提供されたソフトロボットアクチュエータを示す側面図である。

【図 11 B】図 11 A ~ 11 E は、様々な例示的な把持パッド、テクスチャおよびツールが提供されたソフトロボットアクチュエータを示す側面図である。

【図 11 C】図 11 A ~ 11 E は、様々な例示的な把持パッド、テクスチャおよびツールが提供されたソフトロボットアクチュエータを示す側面図である。

【図 11 D】図 11 A ~ 11 E は、様々な例示的な把持パッド、テクスチャおよびツールが提供されたソフトロボットアクチュエータを示す側面図である。

【図 11 E】図 11 A ~ 11 E は、様々な例示的な把持パッド、テクスチャおよびツールが提供されたソフトロボットアクチュエータを示す側面図である。

【図 11 F】図 11 A ~ 11 E は、様々な例示的な把持パッド、テクスチャおよびツールが提供されたソフトロボットアクチュエータを示す側面図である。

【0020】

(概要)

例示的な実施形態によると、角度調整システムが、アクチュエータとハブとの間または 2 つのアクチュエータ間の角度を変更するために提供される。角度調整システムはまた、アクチュエータ間の相対距離または離間を変更するために使われ得る。そのようなシステムは、ロボットマニピュレータが、個々のアクチュエータまたはマニピュレータ全体を取り替える必要なしに、動的に調整されることを可能にする。したがって、マニピュレータは、様々な大きさおよび形状の物体を掴握するために変更され得る。

【0021】

さらなる実施形態によると、剛化層が、アクチュエータの 1 つまたはそれより多くの部分を補強するために提供される。いくつかの場合に、補強は、比較的高い歪みの区域に布

10

20

30

40

50

置され得、アクチュエータの早期の故障を妨げるのを助け得る。例えば、レースが、特定の領域が拡大するのを妨げるために提供され得る。他の状況では、補強は、アクチュエータのベース壁が中立な曲がる面から離れて曲がることを妨げるために使われ得、アクチュエータがより効果的に曲がることを可能とする。両方の場合に、アクチュエータは、より高い膨張圧力に対応することが可能であり得る。より高い膨張圧力では、より多くの力が対象に印加され得る。

【0022】

さらなる実施形態によると、力増幅構造が、アクチュエータによって対象に印加される力の量を増加させるために提供される。いくつかの実施形態では、力増幅構造は、物体を把持するときを使用されるアクチュエータの長さを短縮するために機能する。より多くの力が、同じ断面のより長いアクチュエータと等しい距離だけより短いアクチュエータを偏向させるために必要であるので、力増幅構造の使用を通してアクチュエータを短縮することは、所与の対象物体を掴握るときに把持部のアクチュエータを偏向するのに必要とされる力を増加させる効果を有する。把持中により短いフィンガを偏向させるのに必要とされるより高い力は、力増幅構造によって補強されない効果的により長いアクチュエータによって与えられるものより、対象物体に印加されるより高い把持力をもたらす。さらに、力増幅構造は、捻じれないようにおよび重複しないように、(1つまたは複数の)アクチュエータを安定させ得る。

10

【0023】

さらなる実施形態によると、把持パッドが、アクチュエータの把持プロフィールをカスタマイズし、把持される物の表面によりよく適合するために提供される。把持パッドは、(1つまたは複数の)アクチュエータに追加され得るか、(例えば、成形することによって)(1つまたは複数の)アクチュエータ内に構築され得る、テクスチャ加工された表面を有し得る。個々のアクチュエータは、複数の異なるパッドを含み得、パッドそれぞれは、所望の態様でまたは所望の位置で、把持される物と接触する。

20

【0024】

例示的な実施形態のこれらおよび他の利点は、以下の詳細な説明から明らかである。

【発明を実施するための形態】

【0025】

(好ましい実施形態の詳細な説明)

30

ここで、本発明は、本発明の好ましい実施形態が示される添付の図面を参照して、以下でさらに十分に記載される。しかし、本発明は、多くの異なる形態で具体化され得、本明細書中で説明された実施形態に限定されると解釈されるべきではない。むしろ、これらの実施形態は、本開示が、綿密かつ完全であり、本発明の範囲を当業者に十分に伝えるように、提供される。図面では、全体を通して同じ数字が同じ要素を指す。

【0026】

ソフトアクチュエータおよびアクチュエータハブアセンブリに対する複数の向上は、本明細書中で議論される。議論を容易にするために、これらの概念のそれぞれは、以下に別々の項で記載される。しかし、本明細書中に記載された実施形態は、本明細書中に記載された利益を達成するために、任意の組み合わせで共に使われ得ると理解されるべきである。

40

【0027】

ここで、上述の向上が採用され得るソフトロボットシステムの一般的な概要は、図1から図5Cを参照して記載される。

【0028】

(システムの概要)

旧来のロボットの把持部またはアクチュエータは、高価であり得、取り扱い対象の物体の重さ、大きさおよび形状の不確定性および多様性が自動化されたソリューションが稼働することをこれまで妨げてきた特定の環境において動作することができなくあり得る。本出願は、適応性があり、安価で、軽量で、カスタマイズ可能で、かつ使うことが簡単な、

50

新規なソフトロボットアクチュエータの適用を記載する。

【0029】

ソフトロボットアクチュエータは、ゴムなどのエラストマー材料か、圧力下で広がるように構成されたアコーディオン構造に配列されるプラスチックの薄壁か、他の適切な比較的ソフトな材料から形成され得る。ソフトロボットアクチュエータは、例えば、エラストマー材料の1つまたはそれよりも多くの部分を所望の形状に成形することによって、作り出され得る。ソフトロボットアクチュエータは、アクチュエータを膨張および作動させるために空気、水または生理食塩水などの流体で充填され得る中空の内部を含み得る。作動すると、アクチュエータの形状またはプロファイルは変わる。(以下でより詳細に記載される)アコーディオン状のアクチュエータの場合には、作動は、アクチュエータを所定の目標形状へと、湾曲または真っすぐにさせ得る。完全に未作動の形状と完全に作動させられた形状との間の、1つまたはそれよりも多くの中間の目標形状は、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。代わりにまたは加えて、アクチュエータは、膨張流体をアクチュエータから取り除くために真空を使って作動させられ得、それによって、アクチュエータが曲がる程度および/またはアクチュエータが伸びる程度を変え得る。

10

【0030】

作動はまた、アクチュエータが、掴握される物体または押される物体などの物体に力を加えることを可能にし得る。しかし、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、ソフトアクチュエータが掴握される物体の形状に部分的にまたは完全に適合し得るように、作動したときに、適応性のある特性を維持する。さらに、印加される力の量は、材料が容易に変形し得るので、より広い表面積にわたって制御された態様で分散され得る。このように、ソフトロボットアクチュエータは、物体を傷つけることなく、物体を把持し得る。

20

【0031】

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では達成するのが難しくあり得るか不可能であり得る、新たな種類の動きまたは動きの組み合わせ(曲がること、捻じれること、伸びることおよび収斂することを含む)を可能にする。

【0032】

本開示によると、ソフトロボットアクチュエータをハードロボットアセンブリにインターフェイス接続するためのハブおよび/または掴握部アセンブリが提供される。その上、アクチュエータの新たな構成および種類が記載される。アクチュエータは、ハブおよび/または掴握部アセンブリとともに使われ得る。

30

【0033】

アクチュエータは、空気、水または生理食塩水などの膨張流体で膨張可能なソフトロボットアクチュエータであり得る。膨張流体は、流体接続を通して膨張デバイスを介して提供され得る。アクチュエータは、周囲の環境と実質的に同じ圧力で、限られた量の膨張流体がアクチュエータ内に存在する、膨張していない状態にあり得る。アクチュエータはまた、所定量の膨張流体がアクチュエータ内に存在する(所定量はアクチュエータによって印加される所定の最大力、または膨張流体によってアクチュエータに印加される所定の最大圧力に対応)、完全に膨張した状態にあり得る。アクチュエータはまた、すべての流体がアクチュエータから取り除かれる完全真空状態にあり得るか、一部の流体がアクチュエータ内に存在するが周囲の圧力より低い圧力にある部分的真空状態にあり得る。さらに、アクチュエータは、アクチュエータが完全に膨張した状態で存在する膨張流体の所定量より少ないが皆無の(または非常に限られた)膨張流体よりは多くを含む、部分的に膨張した状態にあり得る。

40

【0034】

膨張した状態では、アクチュエータは中心軸の周りに湾曲し得る。議論を容易にするために、いくつかの方向が本明細書中で定義される。軸方向は中心軸を通り、その中心軸の

50

周りをアクチュエータが湾曲する。半径方向は、軸方向に対して垂直の方向に、膨張したアクチュエータによって形成された部分円の半径の方向に延びる。周囲方向は、膨張したアクチュエータの周囲に沿って延びる。

【0035】

膨張した状態では、アクチュエータは、アクチュエータの内側周囲縁に沿って半径方向に力を加え得る。例えば、アクチュエータの遠位先端部の内側は、中心軸に向かって内側に力を加える。ソフトロボットアクチュエータは、使用される材料およびアクチュエータの全体構造に起因して、膨張したときに比較的適合性のあるままであり得る。

【0036】

アクチュエータは、比較的ソフトなまたは適合性のある構造を可能とする、1つまたはそれより多くのエラストマー材料から作られ得る。適用に応じて、エラストマー材料は、食品安全性があるか、生体適合性があるか、または医学的に安全性があるFDAに承認された材料の群から選択され得る。アクチュエータは、適正製造工程(“GMP”)が可能施設で製造され得る。

10

【0037】

アクチュエータは、実質的に平らなベースを含み得る。アクチュエータはまた、1つまたはそれより多くのアコーディオン拡張部を含み得る。アコーディオン拡張部は、膨張したときにアクチュエータが曲がることまたは屈曲することを可能にし、膨張した状態にあるときにアクチュエータの形状を定めることを助ける。アコーディオン拡張部は、一連の隆起および谷を含む。アコーディオン拡張部の大きさならびに隆起および谷の布置は、異なる形状または拡張プロファイルを得るために変更され得る。

20

【0038】

アクチュエータ100の本体の形状か、アコーディオン拡張部104の大きさ、位置または構成を変えることによって、異なる大きさ、形状および構成が達成され得る。さらに、アクチュエータに提供される膨張流体の量を変化させることは、アクチュエータが、膨張していない状態と膨張した状態との間の、1つまたはそれより多くの中間の大きさまたは形状を呈することを可能にする。このように、個々のアクチュエータは、膨張量を変化させることによって、大きさおよび形状を拡大縮小可能であり得、アクチュエータを含む装置はさらに、あるアクチュエータを異なる大きさ、形状または構成を有する別のアクチュエータと取り替えることによって、大きさおよび形状を拡大縮小可能であり得る。

30

【0039】

アクチュエータは、近位端から遠位端に延在する。近位端は、随意に、インターフェイスに接続し得る。インターフェイスは、アクチュエータがハブアセンブリの他の部分に解放可能に連結されることを可能にする。インターフェイスは、ステンレス鋼、アルミニウム、プラスチック、またはアクリロニトリル-ブタジエン-スチレン(“ABS”)もしくはDelrinなどの食品安全性があるかもしくは医学的に安全性がある材料から作られ得る。インターフェイスは、アクチュエータと、ハブへの流体インターフェイスのうちの1つまたは両方に解放可能に連結され得る。インターフェイスは、アクチュエータ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イスは、より大きなまたはより小さなアクチュエータ、異なる数のアクチュエータ、または異なる構成にあるアクチュエータを収納するために、異なる大きさ、数または構成のアクチュエータポートを有し得る。

40

【0040】

アクチュエータは、流体接続を通して膨張デバイスから供給される膨張流体で膨張させられ得る。インターフェイスは、流体がアクチュエータに入ることを可能にするが(バルブが開かれていなければ)流体がアクチュエータから出るのを妨げるためのバルブを含み得るか、そのバルブに取り付けられ得る。流体接続が、それに加えて、あるいは代わりに、膨張デバイスの位置で膨張流体の供給を調節するために、膨張デバイスにある膨張バルブに取り付き得る。

【0041】

膨張流体は、例えば、空気、水または生理食塩水であり得る。空気の場合、膨張デバイ

50

スは、周囲の空気を供給するための、球状部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、シリンジまたは他の適切な流体送達システムを含み得る。代わりにまたは加えて、膨張デバイス 120 は、膨張流体を供給するための、圧縮器、ポンプ、調節器、または圧縮ガスか液化ガスのタンクを含み得る。

【0042】

例えば、膨張デバイスは、膨張流体を供給するための流体供給源を含み得る。ある実施形態では、流体供給源は、圧縮された、空気または生理食塩水を貯蔵するための貯蔵器であり得るか、周囲の空気を流体接続に供給するためのベントであり得る。

【0043】

膨張デバイスはさらに、流体接続を通して膨張流体を流体供給源からアクチュエータに供給するために、ポンプ、調節器または圧縮器などの流体送達デバイスを含み得る。流体送達デバイスは、流体をアクチュエータに供給すること、または（例えば、真空もしくは類似の動作を通して）流体をアクチュエータから取り出すことが可能であり得る。流体送達デバイスは、電気によって動力を供給され得る。電気を供給するために、膨張デバイスは、バッテリーまたはコンセントへのインターフェイスなどの、電力供給源を含み得る。

10

【0044】

電力供給源はまた、電力を制御デバイスに供給し得る。制御デバイスは、ユーザが、例えば、一つもしくはそれより多くの作動ボタン（またはスイッチなどの代替デバイス）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。制御デバイスは、制御信号を流体送達デバイスに送り、流体送達デバイスに、膨張流体をアクチュエータに供給させるか、膨張流体をアクチュエータから取り出させるためのコントローラを含み得る。

20

【0045】

上記に記載された構成要素は、ハブを使って共に接続され得る。図1を参照して、本開示による例示的なハブ100が示される。ハブ100はマスター側アセンブリ10およびツール側アセンブリ20を含む。概して、マスター側アセンブリ10は、ロボットアーム、ロボットガントリシステム、ロボットマニピュレータ、または概してロボット（例えば、ハードロボット）アセンブリの任意のエンドエフェクタなどの、機械的アセンブリに接続され得るか、接続可能であり得る。ツール側アセンブリ20は、様々なソフトアクチュエータ30-a（aは正の整数）を作用可能に接続するように構成され得る。特に、ツール側アセンブリ20に、アクチュエータ取り付け部分20-b（bは正の数）が提供され得る。ツール側アセンブリ20が、任意の数のソフトアクチュエータ30-aを接続するように構成され得ることに留意することは重要である。しかし、便宜上および明確性のために、いくつかのソフトアクチュエータ30-a（例えば、30-1、30-2、30-3および30-4）ならびにいくつかのアクチュエータ取り付け部分20-a（例えば、20-1、20-2、20-3および20-4）が、図で示される。その上、アクチュエータ取り付け部分20-bの数が、ツール側アセンブリ20に接続されたアクチュエータ30-aの数と異なり得ることに留意することは重要である。

30

【0046】

概して、マスター側アセンブリ10およびツール側アセンブリ20のそれぞれは、アセンブリ10および20を互いに解放可能に連結するように構成されたインターフェイスを含む。特に、ツール側アセンブリ20は、インターフェイス部分21を含み、マスター側アセンブリは、（見る角度によって分かりにくい）インターフェイス部分11を含む。インターフェイス部分11および21は、アセンブリ10および20を連結するように構成され得、膨張ライン（例えば、気圧式、液圧式など）接続、電気接続、または他の接続に封止を提供するように構成され得る。

40

【0047】

図2A~2Cは、様々な観点からハブ100の分解図を示す。特に、図2Aは、マスター側アセンブリ10およびツール側アセンブリ20を示す、真横の視点からハブ100を示す。さらに、アクチュエータ取り付け部分22-1は、ツール側アセンブリ20に示さ

50

れる。その上、インターフェイス部分 1 1 および 2 1 が示される。図 2 B は、マスター側アセンブリ 1 0 およびツール側アセンブリ 2 0 を示す、斜め下から上への斜視的視点からハブ 1 0 0 を示す。さらに、アクチュエータ取り付け部分 2 2 - 1 および 2 2 - 2 が、ツール側アセンブリ 2 0 に示される。図 2 B は、マスター側アセンブリ 1 0 およびツール側アセンブリ 2 0 を示す、斜め下から上への斜視的視点からハブ 1 0 0 を示す。さらに、アクチュエータ取り付け部分 2 2 - 1 および 2 2 - 2 が、ツール側アセンブリ 2 0 に示される。その上、インターフェイス部分 1 1 および 2 1 が示される。図 2 C は、マスター側アセンブリ 1 0 およびツール側アセンブリ 2 0 を示す、斜め上から下への斜視的視点からハブ 1 0 0 を示す。さらに、アクチュエータ取り付け部分 2 2 - 1 および 2 2 - 2 が、ツール側アセンブリ 2 0 に示される。その上、インターフェイス部分 1 1 および 2 1 が示される。

10

【 0 0 4 8 】

インターフェイス部分 1 1 および 2 1 の区域は、図 1 および図 2 A ~ 2 C に示されるが、インターフェイス部分は様々な構成を有し得、インターフェイス部分は図 1 および図 2 A ~ 2 C に示されるインターフェイス部分に限定されるべきではないと理解されるべきである。

【 0 0 4 9 】

図 3 A ~ 3 E は、様々な観点から、ハブ 1 0 0 および取り付けられたアクチュエータ 3 0 の組立図を示す。特に、図 3 A は、マスター側アセンブリ 1 0 およびツール側アセンブリ 2 0 を示す、真横の視点からハブ 1 0 0 を示す。さらに、アクチュエータ 3 0 - 2 および 3 0 - 3 は、ツール側アセンブリ 2 0 に取り付けられて示される。アクチュエータ 3 0 - 2 および 3 0 - 3 は、(例えば、膨張または収縮などしていない)「中立な」位置で示される。図 3 B は、マスター側アセンブリ 1 0 およびツール側アセンブリ 2 0 ならびに膨張した状態にある取り付けられたアクチュエータ 3 0 - 2 および 3 0 - 3 を示す、真横の視点から、ハブ 1 0 0 を示す。図 3 C は、ハブ 1 0 0 を斜め横の視点から示し、図 3 D および 3 E は、ハブ 1 0 0 を(それぞれ)斜め下から上への、斜め上から (t o m) 下への、斜視的視点から示す。特に、アセンブリ 1 0 および 2 0 は、共に連結されて示され、アクチュエータ 3 0 - 1、3 0 - 2、3 0 - 3 および 3 0 - 4 が、ツール側アセンブリに取り付けられ膨張して示される。

20

【 0 0 5 0 】

したがって、ハブアセンブリ 1 0 0 は、ツール側アセンブリ 2 0 を変えることによって、様々な掴握部アセンブリ間で素早く切り替えるために使われ得る。例示的な掴握部アセンブリが、ここで記載される。システムが 1 つのマスター側アセンブリ 1 0 および複数のツール側アセンブリ 2 0 でインプリメントされ得、複数のツール側アセンブリがそれぞれ、異なる掴握部構成を有することに留意することは重要である。そのようなものとして、システムは、異なる掴握部またはソフトアクチュエータを必要とする異なる動作を行うために、素早く再構成および使用され得る。

30

【 0 0 5 1 】

図 4 A ~ 4 D は、ツイストロックインターフェイスを含むハブアセンブリ 1 0 0 の一例を示す。特に、図 4 A は、マスター側アセンブリ 1 0 およびツール側アセンブリ 2 0 を示す、ハブアセンブリ 1 0 0 の分解した上から下への斜視図を示す。さらに、アクチュエータ取り付け部分(例えば、2 2 - 1)は、ツール側アセンブリ 2 0 に示される。さらに、インターフェイス部分 1 1 および 2 1 の詳細が示される。特に、インターフェイス部分 1 1 はペグ 1 5 および接続ポート 1 6 を含み、インターフェイス部分 2 1 はスロット 2 5 および接続ポート 2 6 を含む。ペグおよびスロットは、互いに解放可能に固定されるように構成される。特に、スロット 2 5 は様々な直径を有し得、各スロットの一端は、ペグ 1 5 のうちの対応するペグの端を受け止めるように適合される。ペグ 1 5 がスロット 2 5 に嵌ると、アセンブリ 1 0 かアセンブリ 2 0 のいずれかが、ペグ 1 5 を所定の位置でロックするために捻られ得、それによってアセンブリ 1 0 をアセンブリ 2 0 に固定する。

40

【 0 0 5 2 】

50

図 4 B ~ 4 C は、ツール側アセンブリ 20 の、(それぞれ)上からの斜視図と上から下への図を示す。見られるように、ツール側アセンブリ 20 は、アクチュエータ取り付け部分(例えば、22-1)、スロット 25 および接続ポート 26 を含む。図 4 D はツール側アセンブリ 20 の側面図を示す。見られるように、ツール側アセンブリ 20 は、マスター側アセンブリ 10 のインターフェイス部分 11 において、対応する凹状の部分に嵌るように構成された上部が段状または凹状の部分 23 を含み得る。

【0053】

その上、接続ポート 16 および 26 は、アセンブリ 10 および 20 が共に固定された場合、封止し得るか封止を形成し得る。そのようなものとして、電気信号ラインに加えて、膨張ライン(例えば、気圧式、液圧式など)のための、封止された経路または接続点が、接続点 16 および 26 を通して提供され得る。

10

【0054】

代わりに、または、それに加えて、ツール側アセンブリ 20 は、磁気インターフェイス、静電気接着インターフェイス、または任意の他の適切な種類のインターフェイスを通して、マスター側アセンブリ 10 に固定され得る。

【0055】

ハブは、アクチュエータの角度、および/またはアクチュエータ間の相対距離を調整するために、多くの方法で調整可能であり得る。そのようなハブおよびアクチュエータの例示的な実施形態が、次に記載される。

【0056】

(角度および相対距離調整)

調整可能なハブは、アクチュエータの、ピッチの広がり、数または種類を作動させられることまたは調整されることを可能にし得る。そのようなハブは、アクチュエータの角度が互いに対して変えられることを可能とし得るか、アクチュエータが互いに対して線形的に移動させられ、それによってアクチュエータ間の離間を調整することを可能とし得る。これらのパラメータの調整は、制御デバイスを使って自動で、またはオペレータによる操作に応じて手動で行われ得る。(自動または手動調整の)いずれの場合でも、調整は、アクチュエータをハブから取り除く必要、またはアクチュエータを異なる特徴を有する異なるアクチュエータと取り替える必要なく、動的に行われ得る。

20

【0057】

図 5 A ~ 5 C は、例示的なハブアセンブリ 100、および電気機械式部分 31 を含むソフトアクチュエータ 30 の例示的な構成を示す。示されるように、電気機械式部分 31 は、アクチュエータを、ハブアセンブリ 100 の中心に向かって内側に、またはハブアセンブリ 100 の中心から離れて外側に、回転させるように起動され得る。ハブアセンブリ 100 に対する電気機械式部分 31 の角度を変えることによって、アクチュエータの角度が、ハブアセンブリ 100 に対して変わり得、したがって互いに対して変わり得る。電気機械式部分 31 は、アクチュエータが中立な位置にあるとき(例えば、図 5 A ~ 5 B を参照)からアクチュエータが膨張した位置にあるとき(例えば、図 5 C を参照)まで、アクチュエータの迎え角を変更および/または調整するために使われ得る。迎え角を調整することによって、アクチュエータは様々な大きさまたは構成の物体を掴握するように構成され得る。

30

40

【0058】

代わりに、または、電気機械式部分 31 (例えば、モータ)に加えて、アクチュエータの角度を調整する装置の部分は、機械式(例えば、手駆動式クランク)、流体式(例えば、気圧駆動式回転アクチュエータなどの、液圧式か気圧式)もしくはこれらの任意の組み合わせ、または他の適切な調整技術であり得る。

【0059】

図 6 A ~ D は、複数のアクチュエータ 2702 a、2702 b、2702 c および 2702 d が角度的に調整可能な態様でハブ 2704 に搭載された、ソフトロボットアクチュエータアセンブリ 2700 の別の例を示す。例えば、図 6 A を参照すると、アクチュエー

50

タ 2702 a ~ d は、アクチュエータ 2702 a ~ d が互いに実質的に平行関係に配置された、中立な構成で示される。図 6 B は、アクチュエータ 2702 a ~ d が加圧され（すなわち、湾曲および掴握し）、アクチュエータ 2702 a ~ d の内側に略囲まれたスペース S_n を画定する状態の、図 6 A の中立な構成にあるアクチュエータ 2702 a ~ d を示す。図 6 C は、アクチュエータ 2702 a ~ d がハブ 2704 への取り付けのそれぞれの点の周りを旋回し、アクチュエータ 2702 a ~ d をハブ 2704 の長手方向軸 y に対してそれぞれの角度 α 、 β 、 γ および δ だけ偏向させる、角度的に調整された構成にあるアクチュエータ 2702 a ~ d を示す。アクチュエータ 2702 a ~ d は、約 30 度の角度に偏向されてそれぞれ示されるが、アクチュエータ 2702 a ~ d が任意の所望の角度（例えば、0 ~ 180 度の間）に偏向され得ることが企図される。図 6 D は、アクチュエータ 2702 a ~ d が加圧され（すなわち、湾曲および掴握し）、アクチュエータ 2702 a ~ d の内側に略囲まれたスペース S_a を画定する状態の、図 6 C の角度的に調整された構成におけるアクチュエータ 2702 a ~ d を示す。見られるように、加圧されたアクチュエータ 2702 a ~ d の角度的に調整された構成によって画定された囲まれたスペース S_a は、加圧されたアクチュエータの中立な構成によって画定された囲まれたスペース S_n より大きい。アクチュエータ 2702 a ~ d の角度調整は、したがって、様々な大きさおよび外形の物に接近およびそれらの物を掴握するためのアセンブリ 2700 を動的に構成するのに有用であり得る。

10

【0060】

アクチュエータ 2702 a ~ d の角度調整が、自動で（例えば、ハブ 2704 およびアクチュエータ 2702 a ~ d に取り付けられた 1 つまたはそれより多くのサーボモータの作動を介して）または手動で実施され得ることが企図される。アクチュエータ 2702 a ~ d の角度調整が、ギヤ配列を通してなどによって、相互依存であり得、それによって偏向の角度 α 、 β 、 γ および δ が常に等しくなっていることがさらに企図される。代わりに、偏向の角度 α 、 β 、 γ および δ は必ずしも常に等しいわけでもあり得るが、それでもなお、各アクチュエータのための調整メカニズム間で提供される異なるギヤ比の結果として互いに依存し得る（例えば、アクチュエータ 2702 a の角度を α に変えることは、アクチュエータ 2702 b の角度を 2α に変えるという影響を有し得る）。ギヤの代わりに、ベルトまたはカムシステムなどの、依存した態様で偏向の角度を調整するための他の機械式の選択肢が、使われ得る。アクチュエータ 2702 a ~ d の角度調整が独立し得、それによって偏向の角度 α 、 β 、 γ および δ のうちの 1 つまたはそれより多くが、アクチュエータのそれぞれの角度が互いに依存しない方法で、他の偏向の角度と異なり得ることがさらに企図される。アセンブリ 2700 の構成を変化させ、様々な大きさおよび外形の掴握物をよりよく収納するために、アクチュエータ 2702 a ~ d のうちの 1 つまたはそれより多くがハブ 2704 から取り外され得るか 1 つまたはそれより多くの追加のアクチュエータがハブ 2704 に取り付けられ得ることが、さらに企図される。

20

30

【0061】

他の実施形態では、ツール側アセンブリ 20 および / またはソフトアクチュエータ 30 は、アクチュエータの広がり調整されることを可能にする構成要素を含み得る。例えば、図 7 A ~ 7 E は、ツール側アセンブリ 20 および取り付けられたソフトアクチュエータ 30 の一例を示す。いくつかの例では、ツール側アセンブリ 20 に、迎え角を調整し物体を持ち上げるために、この例に示されるソフトアクチュエータが提供され得る。

40

【0062】

図 7 A は、様々な角度および観点から、ツール側アセンブリ 20 およびソフトアクチュエータ 30 を示す。示されるように、ソフトアクチュエータ 30 は、ソフト角度調整器 32 を含む。図 7 B は、ソフトアクチュエータ 30 が取り付けられたツール側アセンブリ 20 の底面図、およびソフト角度調整器 32 の拡大図 200 を示す。見られるように、ソフト角度調整器 32 は、ソフトアクチュエータ 30 間に横方向に配置される。動作中、ソフト角度調整器 32 は、ソフトアクチュエータ 30 間の角度を調整するために、独立して膨

50

張および収縮し得る（例えば、互いに独立、および/またはソフトアクチュエータから独立している）。

【0063】

図7C～7Eは、様々な状態にある、ソフトアクチュエータ30およびソフト角度調整器32を示す。特に、図7Cは、中立な位置にあるソフトアクチュエータ30および収縮したソフト角度調整器32を示す。そのようなものとして、対のソフトアクチュエータ30間（例えば、30-1と30-2との間、および30-3と30-4との間など）の角度が小さくなる。図7Dは、中立な位置にあるソフトアクチュエータ30および膨張したソフト角度調整器32を示す。そのようなものとして、対のソフトアクチュエータ30間（例えば、30-1と30-2との間、および30-3と30-4との間など）の角度が大きくなる。図7Eは、膨張した位置にあるソフトアクチュエータ30および膨張したソフト角度調整器32を示す。そのようなものとして、対のソフトアクチュエータ30間（例えば、30-1と30-2との間、および30-3と30-4との間など）の角度が大きくなり、膨張したソフトアクチュエータ30の迎え角もまた大きくなる。

10

【0064】

図7A～7Eは、広がりソフトアクチュエータの動きによって変えられる一例を示すが、当業者は広がりを変えるための他の方法もまた可能であることを認める。例えば、いくつかの実施形態では、パネがアクチュエータを離して保持し得る。パネは、パネに対して動作して働くロッキングクランクメカニズムに接続され得る。クランクを一方方向に動作させるとき、クランクはパネを圧縮しアクチュエータを引き合わせ、クランクを反対方向に動作させるとき、クランクはパネを解放しアクチュエータを離す。

20

【0065】

他の実施形態では、他の機械式、電気機械式または気圧式デバイスが、アクチュエータの広がりを変えるために使われ得る。

【0066】

（剛化層）

さらなる実施形態が、スラットなどの、1つまたはそれより多くの剛性の構成要素を組み込む、異方性の補強ベースを提供する。構成要素は、金属、プラスチックまたは任意の他の適切に剛性の材料から作られ得る。剛性の構成要素は、圧力が印加されるときにアクチュエータが正方向に（把持された物体に向かって）曲がることをより難しくする歪み制限層において曲折するのを妨げるために、アクチュエータ内に直接、ストラップで付けられ得るか、包まれ得るか、接着され得るか、成形され得る。剛性の構成要素はまた、真空が印加されるときに負方向に曲がるのを難しくする把持表面のキャビテーションを妨げるように機能する。この場合、剛性の構成要素は、キャビテーションする表面がスラットから離れていくのを妨げるために、フィンガ内に成形またはフィンガ上に接着され得る。

30

【0067】

より詳しくは、いくつかのアクチュエータが、特定の所望の挙動に対応するために、異なる硬さまたは壁厚のエラストマーを組み込む。様々な厚さまたは硬さのこの層は、歪み制限層と呼ばれることがある。

【0068】

図8A～8Fを参照すると、歪み制限層での曲折を妨げるための補強されたアクチュエータが、ここで記載される。ソフトアクチュエータの歪み制限層は、膨張中、アクチュエータの中立な曲がる面から離れて曲折する傾向を有し得る。歪み制限層のこの曲折は、アクチュエータの断面の断面2次モーメントを増加させ、それによって曲がることへのアクチュエータの抵抗を高める。この挙動は、アクチュエータの機能を減殺する。

40

【0069】

この問題は、剛性の要素（例えば、プラスチック、金属、セラミックまたはより硬いエラストマー）を歪み制限層内にオーバーモールド成形することによって、軽減され得る。これは、複数の剛性の要素を、歪み制限層内に布置することによって、達せられ、ここで、各要素の長軸が、曲がることの中立軸に対して垂直に配向される。この配向は、剛性の

50

要素が中立軸に対して垂直な方向で歪み制限層の曲折を妨げることを可能にするが、中立軸に沿って曲がることを最低限阻害するのみである。

【0070】

剛性の要素は、ソフトアクチュエータ本体の歪み制限層とオーバーモールド成形された封入エラストマー層との間の所定の位置に保持され得る。図8Aは、封入エラストマー層が歪み制限層3002上にないソフトアクチュエータ本体3001（左）および封入エラストマー層3003を有する同じソフトアクチュエータ本体（右）の並んだ底面図を示す。封入エラストマー層3003は、ソフトアクチュエータ本体と同じ材料（例えば、同じエラストマー材料）から作られ得るか、比較的より剛性の材料から作られ得る。図30Bは、封入エラストマー層3003が歪み制限層3002上にある状態およびない状態（それぞれ、上と下）の、ソフトアクチュエータ本体3001の並んだ側面図である。

10

【0071】

いくつかの実施形態では、封入エラストマー層3003は、歪み制限層3002での曲折を妨げるために、補強スラット3004を覆い得る。ソフトアクチュエータ本体3001に、補強スラット3004を受け止めるための成形されたトレンチ3005が提供され得る。代わりに、または、それに加えて、成形されたトレンチ3005は封入エラストマー層3003内に位置し得るか、トレンチ3005はソフトアクチュエータ本体3001内および封入エラストマー層3003内の両方に位置し得る。アセンブリでは、補強スラットは、トレンチ3005内にスロット嵌合され得、封入エラストマー層3003で覆われ得る。スラット3004は、プラスチック、金属、セラミックまたはより硬いエラストマーなどの、ソフトアクチュエータ本体3001と比べると、比較的剛性の、1つの材料または複数の材料から作られ得る。

20

【0072】

図8Cは、封入エラストマー層3003を有するソフトアクチュエータ本体3001の側面を示し、図8Dは、剛性のスラット3004の位置を示す、図8Cに示されたアクチュエータの断面図である。図8Eは、歪み制限層3002と封入エラストマー層3003との間に剛性のスラット3004を示す、分解図である。

【0073】

図8Fは、封入エラストマー層3003を有し、さらに、ソフトアクチュエータブラダのアコーディオン状の谷3006を補強するための、オーバーモールド成形された剛性のまたはエラストマーの構造3007を有する、ソフトアクチュエータ本体3001の一例を示す。構造3007は、アコーディオン状の谷3006での歪みを最小限にまたは小さくするために機能する。ソフトアクチュエータ本体3001の膨張の圧力は、アコーディオン形状のソフトアクチュエータの谷3006を歪ませ得る。これは、谷3006において応力集中の点を生じさせ、上昇した圧力では、アクチュエータの故障につながり得る。それでもなお、アクチュエータの膨張圧力を上昇させることは、アクチュエータが把持部の一部として使われるときにアクチュエータによって送られ得る力を増加させるか、または、アクチュエータが適用において構造的要素として使われるときにアクチュエータの剛性を高めるので、アクチュエータの膨張圧力を上昇させることは望ましい。その結果、アクチュエータが上昇した圧力で動作させられるとき、これらの点でアクチュエータの歪みを最小限にするために、剛性の材料（例えば、プラスチック、金属、セラミックまたはより硬いエラストマー）でこれらの谷を補強することが望ましい。

30

40

【0074】

図9Aは、平行で離間した関係で可撓性のバックキング3104に貼り付けられる複数の剛性のスラット3102を含む、例示的な剛化層3100を示す。スラット3102は、様々な金属、プラスチックおよび複合材を含むが、それらに限定されない、任意の適切に剛性の材料から形成され得る。図9Bに示されるように、剛化層3100は、例えば（示されるような）レース、接着剤、機械式留め具、および硬いリング（例えば、ショア80Aまたはショア90Aのエラストマーから構築されるリング）などによる、取り付けの様々な手段を使って、アクチュエータ3106の掴握側に貼り付けられ得る（スラット

50

3 1 0 2 はアクチュエータ 3 1 0 6 の方を向いており、したがってこの視点では見えない)。取り付けの手段は、アクチュエータのアコーディオン拡張部の谷にわたって接続し得る。いくつかの実施形態では、可撓性のバックリング 3 1 0 4 は省かれ得、剛性のスラット 3 1 0 2 は、(例えば、オーバーモールド成形することによって)アクチュエータ 3 1 0 6 自体の材料へと一体化され得る。

【0075】

剛化層 3 1 0 0 が、上記に記載された態様でアクチュエータ 3 1 0 6 の掴握側に付与されると、剛性のスラット 3 1 0 2 は、アクチュエータ 3 1 0 6 が加圧されるときに、アクチュエータ 3 1 0 6 の掴握側が膨出することまたは凸状になることを妨げ、ここで、そのような膨出は、物を掴握しようとするときに内側に曲がる、アクチュエータ 3 1 0 6 の能力を阻害し得る。さらに、剛性のスラット 3 1 0 2 は、真空がアクチュエータ 3 1 0 6 に印加されるときに、アクチュエータ 3 1 0 6 の掴握側がキャビテーションすることまたは凹状になることを妨げ得、ここで、そのようにキャビテーションすることは他の態様では、物から離れるように開こうとするときに外側に曲がる、アクチュエータ 3 1 0 6 の能力を阻害し得る。剛性のスラット 3 1 0 2 は、互いに離間し、かつ、開く間におよび閉じる間にアクチュエータ 3 1 0 6 が曲がる方向に対して、垂直であるため、剛性のスラット 3 1 0 2 は、アクチュエータ 3 1 0 6 の通常の動作を阻害または妨害しない。

10

【0076】

アコーディオン拡張部間の谷は、最も高い応力集中の点である傾向がある。上述されたレースは、この領域が圧力下で拡大することを妨げるように機能し、アクチュエータの故障を妨げることを助ける。これは、アクチュエータが中立な曲がる面から離れて膨出することを妨げることによって達成される。

20

【0077】

(力増幅)

次に記載されるのは力増幅構造であり、力増幅構造は、そのような力増幅構造を採用しないアクチュエータと比べて、膨張したアクチュエータの遠位先端部での力を増幅するためのものである。

【0078】

力増幅構造は、アクチュエータの偏向可能な区域を短縮させ得る。梁理論から、同じ作動圧力では、より短いアクチュエータは、同等の断面のより長いアクチュエータと同じ距離だけ偏向させるために、より多くの力を必要とすると理解される。把持するアクチュエータに印加されるとき、把持する力は、アクチュエータが邪魔されていなければアクチュエータが達成する、曲がる程度をアクチュエータが達成することを、掴握対象の物体が妨げるということから生じる。したがって、アクチュエータを邪魔している掴握対象は、効果的にアクチュエータを偏向している。この偏向と等しくかつ反対の力が、掴握する力である。

30

【0079】

力増幅構造は、1つまたはそれより多くのアクチュエータを共に保持し、かつ、アクチュエータの長さに沿った静的または調整可能な拘束を提供する、リング、カフ、シリンダ、ロッドおよびアコーディオン様構造などを含み得る。力増幅構造は、1つまたは複数のアクチュエータに取り付けられ得るか、(例えば、力増幅構造を1つまたは複数のアクチュエータ内に成形することによって)1つまたは複数のアクチュエータと一体にさせられ得る。力増幅構造は、力増幅の量が動的に調整されることを可能にする、1つまたはそれより多くのセンサを含み得る。

40

【0080】

複数の力増幅構造は、所望の力適用プロファイルを達成するために、組み合わせられ得る。力増幅構造の構成、種類および数は、異なる力増幅結果を達成するために、アクチュエータ間で変更され得るか、同じアクチュエータに対して変えられ得る。

【0081】

力増幅構造はまた、短縮されたアクチュエータをより安定させるために機能し得る。把

50

持部が（例えば、掴握された物体をある位置から別の位置に動かすために）加速または減速させられるときに、アクチュエータは揺れる傾向にあり得る。いくつかの適用では、特に、布置精度が重要な場合は、どこに物体が布置され得るかを予測することが難しくなるので、アクチュエータの揺れは望ましくなくあり得る。同じ断面積を有するより長いアクチュエータと比べて、同等の距離だけより短いアクチュエータを偏向させることは、より多くの力を必要とするので、より短いアクチュエータは、より長いアクチュエータと比べて、加速または減速の同じ力の下では、より少なく揺れる傾向がある。したがって、（例えば、力増幅構造を取り付けることによって）アクチュエータの有効長さを減少させることで、揺れが減少され得る。このように、（例えば、力増幅バンドを使うことによって）把持部の1つまたは複数のアクチュエータを、手元の所与の把持タスクのために、可能な限り最短の長さに短縮することは、動作中の揺れを減少または除去するために有用であり得、ひいては、持ち上げる精度および布置する精度を向上させる。

10

【0082】

力増幅構造は、（例えば、力増幅構造およびハブに固定された1つまたはそれより多くの梁などの機械式接続を通して）アクチュエータを保持しているハブに直接固定され得る。これは、アクチュエータの短縮した掴握端のみを自由に動ける状態にすることによって、アクチュエータが全体として、揺れることを妨げることを助ける。

【0083】

力増幅構造はまた、捻じれないようにおよび/または重複しないように、1つまたはそれより多くのアクチュエータを安定させるように機能し得る。比較的小さな物体を持ち上げるときは、通常アクチュエータの先端部のみが対象を掴握するために使われる。その結果、アクチュエータの中間および近位の部分の多くは、アクチュエータのこれらの部分を邪魔する任意の物がなければ、自由なスペースに置かれる。アクチュエータの邪魔されていない部分は、互いに捻じれる傾向または互いに重複する傾向を有し得、その傾向は、捻じれたアクチュエータまたは重複したアクチュエータを含む把持部を正確に制御することを難しくする。

20

【0084】

本明細書中に記載された力増幅構造の別の利点は、力増幅構造がアクチュエータのプロファイルを変え得、したがって掴握された対象と対象を掴握するアクチュエータとの間の適合性のある接触の程度を変え得ることである。結果として、アクチュエータは、力増幅されないアクチュエータと比べて、対象とのより高い程度の表面接触を達成し得る。この増加した接触は、アクチュエータと掴握された対象との間のより多くの摩擦を意味し、ひいては、より良い把持を意味する。このように、力増幅構造は、力増幅されない構造によってうまく掴握されない、特定の形状の物体の把持に把持部を合わせるために、1つまたはそれより多くのアクチュエータを有する把持部の外形プロファイルを変え得る。

30

【0085】

図10Aは、複数のアクチュエータ2802a、2802b、2802cおよび2802dがハブ2804に搭載され、力増幅バンド2806がアクチュエータ2802a~dを取り囲む、ソフトロボットアクチュエータアセンブリ2800の一例を示す。力増幅バンド2806は、リングまたはカフ（または、さらに下記に記載されるような複数の相互接続されたリング/カフ）の一般的な形状を有する、（例えば、金属、プラスチック、ゴム、布、様々な複合材などから形成される）剛性または可撓性の部材であり得る。力増幅バンド2806は、ハブ2804から距離dに位置する長手方向の位置においてアクチュエータ2802a~dを取り囲み得、かつそのアクチュエータ2802a~dを拘束し得る。このようにアクチュエータ2802a~dを拘束することによって、各アクチュエータ2802a~dのモーメントアームは短縮され、アクチュエータ2802a~dが加圧されるときに、掴握された物に対して各アクチュエータ2802a~dの先端部によって印加される垂直力は増加する。力増幅バンド2806は、したがって、アクチュエータ2802a~dの把持強度を向上させるために使われ得る。

40

【0086】

50

各アクチュエータ2802a~dの先端部に加えられる垂直力を増加させることに加え、力増幅バンド2806はまた、拘束されていない構成と比べて、互いに対するアクチュエータ2802a~dの外側への曲折を拘束し、それによって、力増幅バンド2806が所定の位置にないときに比べて、アクチュエータが加圧されるときには、アクチュエータ2802a~dの遠位部分に、より平らなプロファイルを呈させる。そのように平らになったプロファイルは、特定の大きさまたは外形の物を掴握するのに適切であり得る。その上さらに、力増幅バンド2806は、アクチュエータ2802a~dを安定させるように機能し、アクチュエータが加圧されるときに、アクチュエータ2802a~dの捻じれ、重複および/またはずれを軽減する。

【0087】

アクチュエータ2802a~dに沿った力増幅バンド2806の長手方向位置が、手動または自動で調整され得ることが、企図される。例えば、図10Bは、可変の長手方向位置pで一群のアクチュエータ2902a~dを拘束するために、自動で(例えば、様々な、電気式、液圧式または気圧式駆動メカニズムを介して)、長手方向に伸ばされ得かつ後退させられ得る、調整可能なカフまたは蛇腹2900によって具体化された力増幅バンドを示す。

【0088】

図10Cは、2つのループ3002および3004を定める8の字形状を有する、可撓性のストラップ3000によって具体化された力増幅バンドを示す。各ループ3002、3004は、力増幅および/または安定を提供するための、上記に記載された態様で、1つまたはそれより多くのアクチュエータを拘束するために使われ得る。力増幅バンド3000は、1x2の構成を表すが、多くの他の力増幅バンドの構成(例えば、2x2、1x4、2x4など)が、本開示から逸脱することなく、様々な数および配列のアクチュエータを拘束するために、インプリメントされ得ることが企図される。代わりに、または、それに加えて、可撓性のストラップ3000が、四角、円、楕円または三角の形状などの、他の形状または構成を有し得る。

【0089】

(把持構造)

いくつかの実施形態では、ソフトロボットアクチュエータは、アクチュエータの把持プロファイルのカスタマイズするために、1つまたはそれより多くの把持構造とともに設計され得るか、1つまたはそれより多くの把持構造で補われ得る。これは、アクチュエータが、把持される表面によりよく適合することを可能とし得るか、アクチュエータの把持性能を向上させる構造またはテクスチャを有することを可能とし得る。

【0090】

把持構造は、アクチュエータの把持側表面に取り付けられるかその把持側表面と一体である、適合性のあるパッドまたは他の構成要素であり得る。把持パッドは、任意の種類のテクスチャ加工された表面を有し得、様々な異なる摩擦剪断力が可能である。同じハブに取り付けられた異なるアクチュエータは、異なる把持構造を有し得る。代わりに、または、それに加えて、同じアクチュエータが、アクチュエータ上の異なる位置に位置する複数の異なる把持構造を有し得、アクチュエータが所望の態様で物体を把持することを可能にし得る。把持構造の数、種類および構成は、把持される物体の大きさ、形状またはテクスチャに基づいて選択され得る。

【0091】

図11Aは、2つのアクチュエータ3202aおよび3202bがハブ3204に搭載され、アクチュエータ3202aおよび3202bにそれぞれの把持パッド3206aおよび3206bが提供される、ソフトロボットアクチュエータアセンブリ3200を示す。把持パッド3206aおよび3206bは、アクチュエータ3202aおよび3202bと一体であり得る(すなわち、アクチュエータ3202aおよび3202bの部分として形成される)か、(例えば、機械式留め具、接着剤などで)アクチュエータに取り外し可能に貼り付けられ得、特定の物を掴握および保持するために、アクチュエータ3202

10

20

30

40

50

a および 3 2 0 2 b の能力を向上させるのに適応した、形状、配列、テクスチャを有し得、かつ/または、特定の物を掴握および保持するために、アクチュエータ 3 2 0 2 a および 3 2 0 2 b の能力を向上させるのに適応した、材料から形成され得る。

【 0 0 9 2 】

図 1 1 A に示される例では、把持パッド 3 2 0 6 a および 3 2 0 6 b は、弾性で圧縮可能な材料（例えば、発泡ゴム）から形成され得、アクチュエータ 3 2 0 2 a および 3 2 0 2 b が加圧されないとき（すなわち、アクチュエータ 3 2 0 2 a および 3 2 0 2 b が実質的に真っすぐであるとき）に、把持パッド 3 2 0 6 a および 3 2 0 6 b はそれぞれ、凸状である把持表面を有し得る。しかし、アクチュエータ 3 2 0 2 a および 3 2 0 2 b が、図 1 1 B に示されるように、加圧されるときには、屈曲したアクチュエータ 3 2 0 2 a および 3 2 0 2 b は、把持パッド 3 2 0 6 a および 3 2 0 6 b を圧縮し得、それによって、把持表面が実質的に平らかつ平行となり、本などの実質的に平面的な物を把持するために有利であり得る。

10

【 0 0 9 3 】

図 1 1 C ~ 1 1 D は、様々な形状および構成の把持パッドを有するアクチュエータの、追加の非限定的な例を示す。既に述べられたように、様々な形状および構成を有することに加えて、把持パッドには、特定の物を把持するのを補助し得る、様々な表面テクスチャ（隆起した、格子縞である、同心円状である、ダイヤモンドである、など）、または、形状（例えば、フック、ウェッジなど）が提供され得る。

20

【 0 0 9 4 】

図 1 1 E は、針または他の比較的長く細いピン様の構造の形態で把持構造を有するアクチュエータの、さらなる例を示す。針は、アクチュエータで食品を持ち上げるために針を食品内に挿入することによって、アクチュエータが、カップケーキ、生地玉またはチーズボールなどの比較的ソフトな食品を把持することを可能にし得る。針は、アクチュエータの先端部内にオーバーモールド成形され得るか、アクチュエータを少なくとも部分的に取り囲むラップに取り付けられ得る。図 1 1 E は単一の針を示すが、アクチュエータには、複数の針が任意の適切な構成で提供され得る。

【 0 0 9 5 】

（用語）

本明細書中で使われているように、単数形で記載された要素またはステップおよび「a」または「an」という語が先行した（proceeded）要素またはステップは、複数の要素またはステップを除外しないものと、そのような除外が明示的に記載されない限り、理解されるべきである。さらに、本発明の「ある実施形態」への言及は、記載された特色をも組み込む追加の実施形態の存在を除外すると解釈されることを意図したものではない。

30

【 0 0 9 6 】

本発明は特定の実施形態を参照して開示されているが、記載された実施形態への多数の修正、改変および変更が、添付された特許請求の範囲に定められるように、本発明の領域および範囲から逸脱することなく、可能である。したがって、本発明は、記載された実施形態に限定されるのではなく、以下の特許請求の範囲の文言およびその均等物によって定められる全範囲を有することが意図される。

40

【 図 1 】

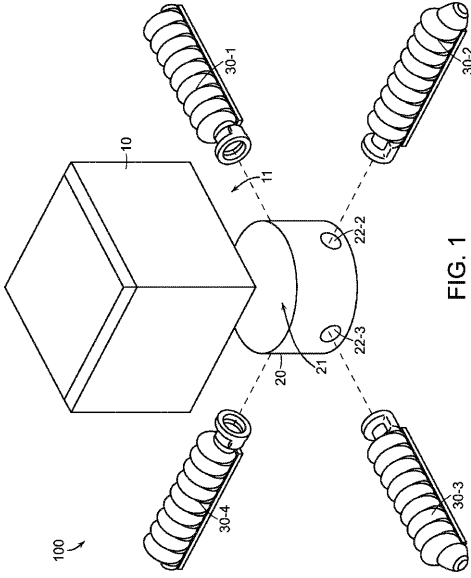


FIG. 1

【 図 2 A 】

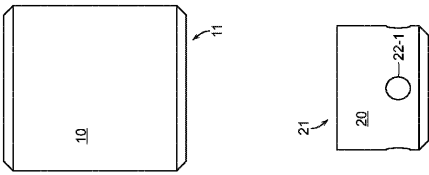


FIG. 2A

【 図 2 B 】

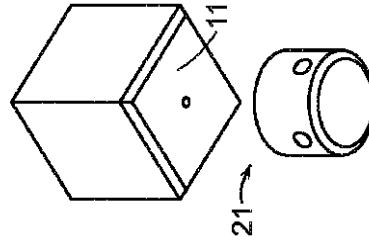


FIG. 2B

【 図 2 C 】

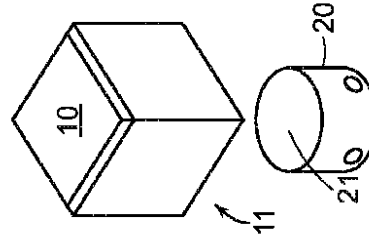


FIG. 2C

【 図 3 A 】

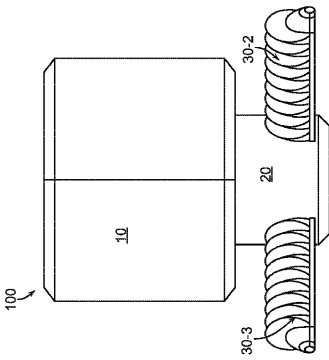


FIG. 3A

【 図 3 B 】

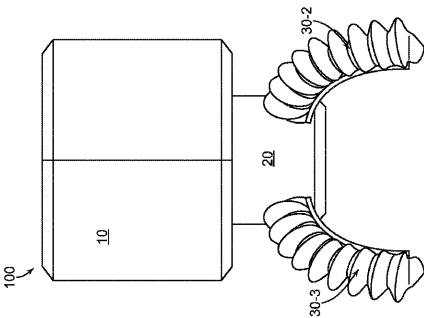


FIG. 3B

【 図 3 C 】

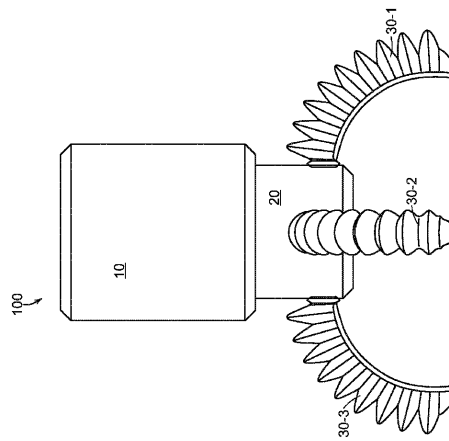


FIG. 3C

【 図 3 D 】

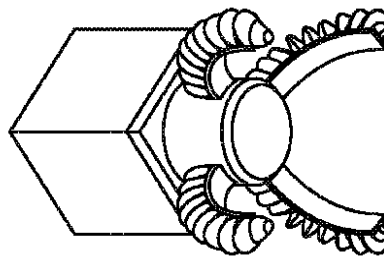


FIG. 3D

【 図 3 E 】

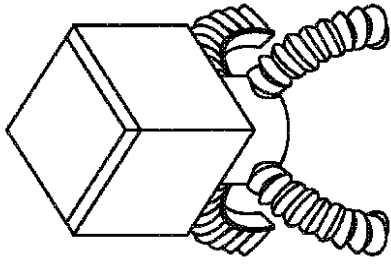


FIG. 3E

【 図 4 A 】

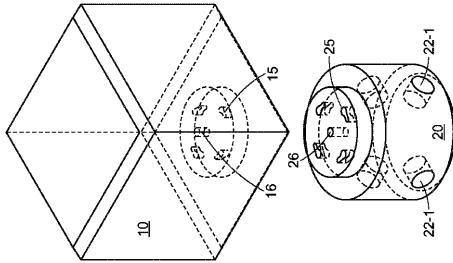


FIG. 4A

【 図 4 B 】

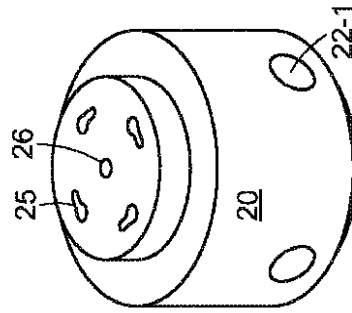


FIG. 4B

【 図 4 C 】

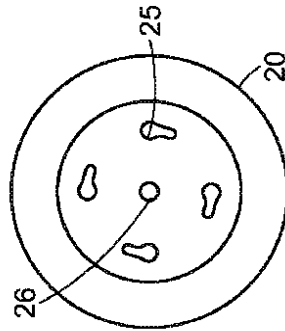


FIG. 4C

【 図 4 D 】

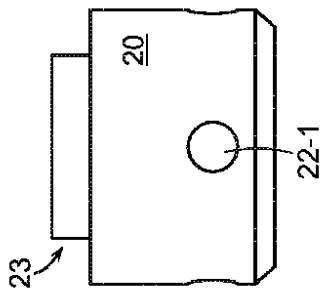


FIG. 4D

【 図 5 B 】

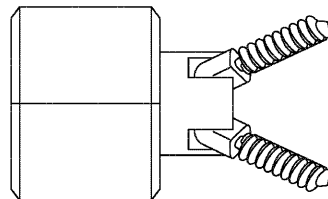


FIG. 5B

【 図 5 A 】

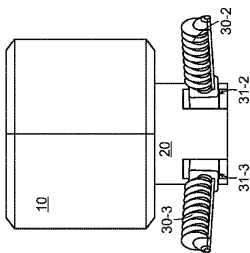


FIG. 5A

【 図 5 C 】

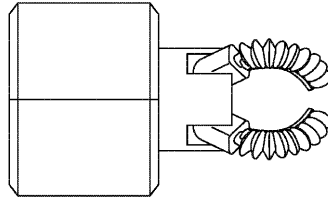


FIG. 5C

【 図 6 A 】

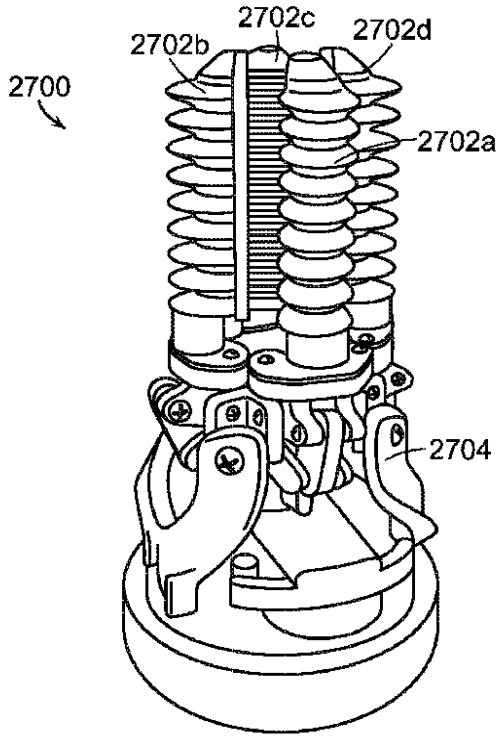


FIG. 6A

【 図 6 B 】

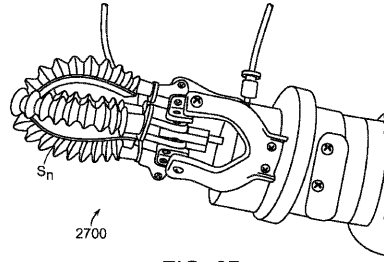


FIG. 6B

【 図 6 C 】

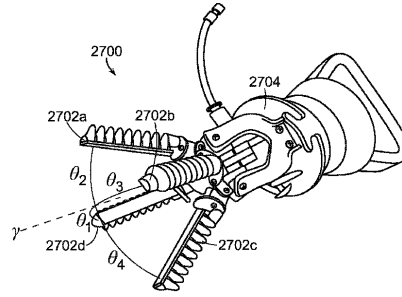


FIG. 6C

【 図 6 D 】

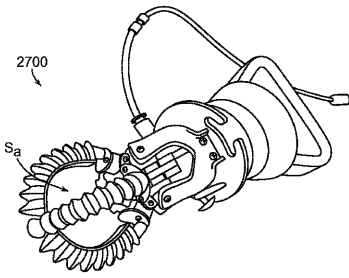


FIG. 6D

【 図 7 A 】

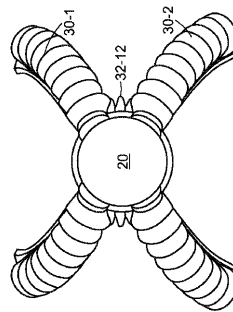
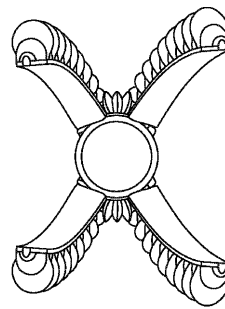


FIG. 7A

【 図 7 B 】

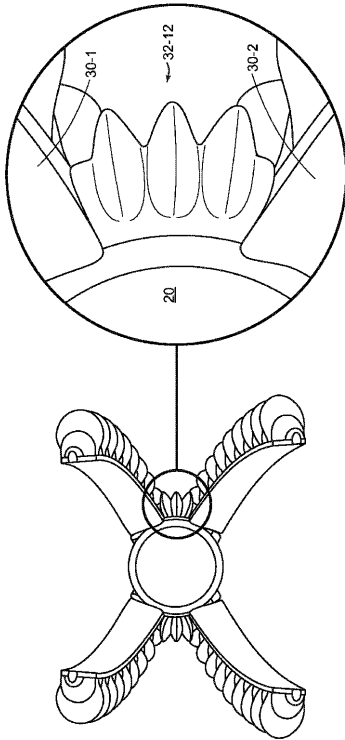


FIG. 7B

【 図 7 C 】

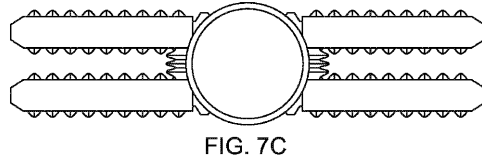


FIG. 7C

【 図 7 D 】

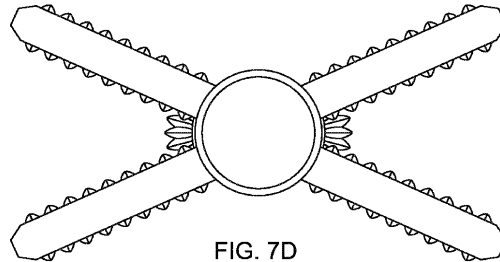


FIG. 7D

【 図 7 E 】

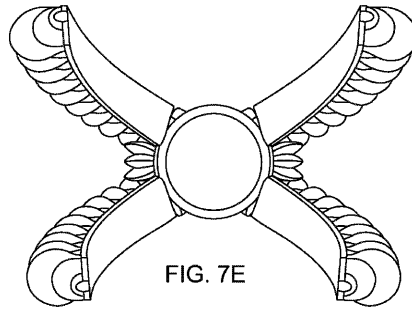


FIG. 7E

【 図 8 A 】

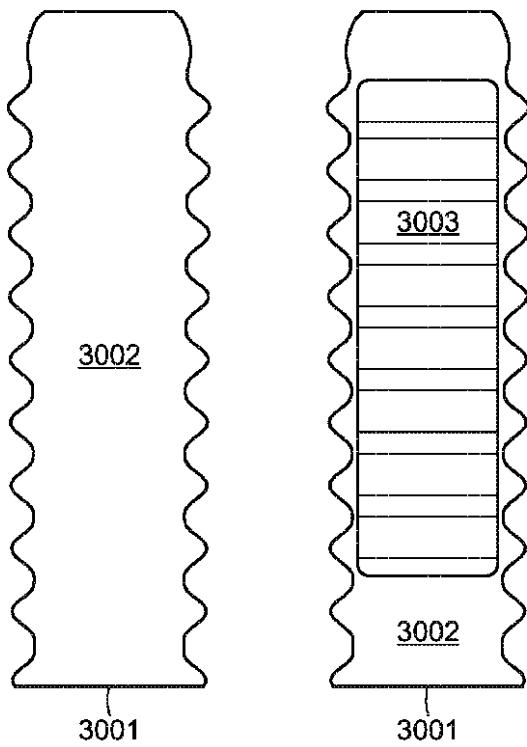


FIG. 8A

【 図 8 B 】

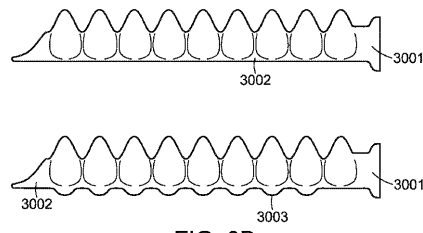


FIG. 8B

【 8 C 】

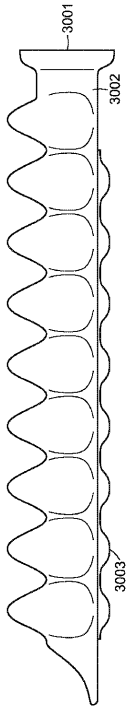


FIG. 8C

【 8 D 】

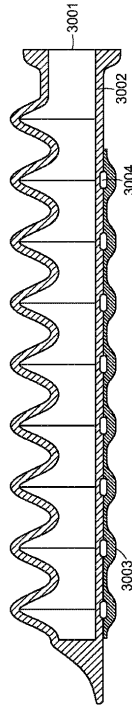


FIG. 8D

【 8 E 】

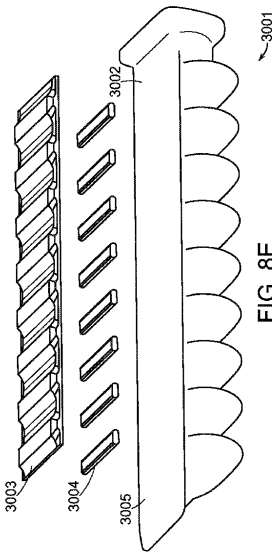


FIG. 8E

【 8 F 】

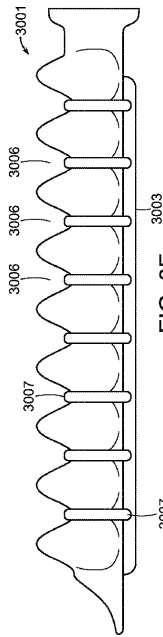


FIG. 8F

【 9 A 】

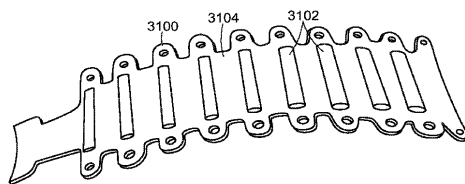


FIG. 9A

【 図 9 B 】

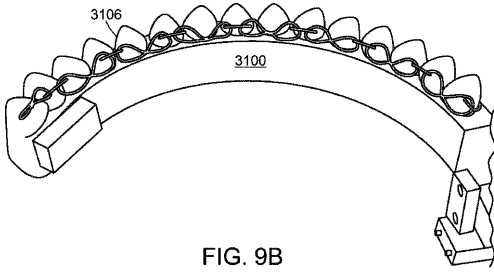


FIG. 9B

【 図 1 0 A 】

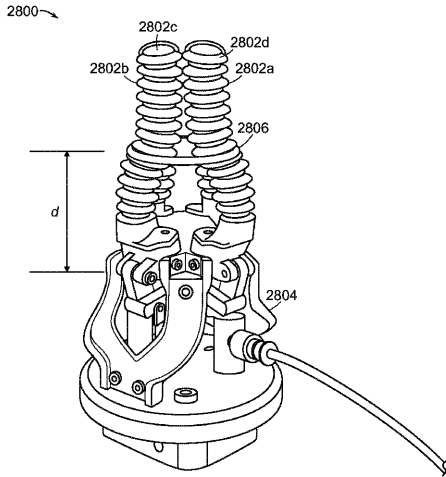


FIG. 10A

【 図 1 0 C 】

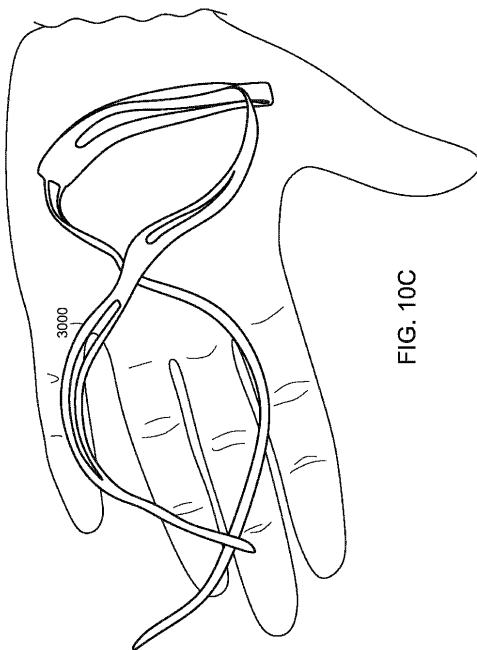


FIG. 10C

【 図 1 0 B 】

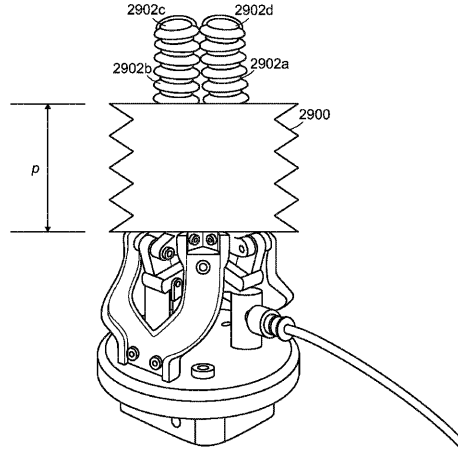


FIG. 10B

【 図 1 1 A 】

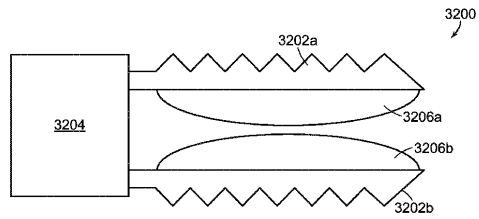


FIG. 11A

【 図 1 1 B 】

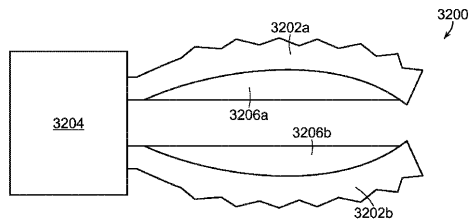


FIG. 11B

【 図 1 1 C 】



FIG. 11C

【 図 1 1 D 】



FIG. 11D

【 図 1 1 E 】

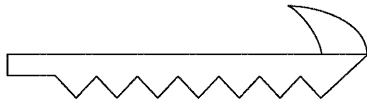


FIG. 11E

【 図 1 1 F 】

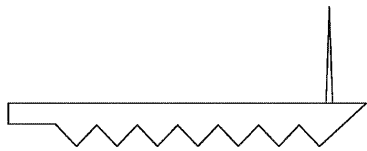


FIG. 11F

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US 15/61352
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(B) - F03G 7/06, F15B 15/10, B25J 9/10, B25J 15/02 (2015.01) CPC - F03G7/06, F15B15/10, B25J9/1075, B25J9/142, B25J9/10, B25J15/02 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC (B) F03G 7/06, F15B 15/10, B25J 9/10, B25J 15/02 (2015.01) CPC: F03G7/06, F15B15/10, B25J9/1075, B25J9/142, B25J9/10, B25J15/02 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched IPC (B) F03G 7/06, F15B 7/06, F15B 15/10, F15B 13/04, B25J 11/00, B25J 9/10, B25J 15/02, B25J 16/06, A61F 2/08 (2015.01) CPC: F03G7/06, F15B7/06, F15B15/10, F15B13/04, B25J9/1075, B25J9/142, B25J11/00, B25J9/10, B25J15/02 (keyword limited; terms below) Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) PatBase; Google Patents; Google Scholar; Google web; Search terms used: Soft pneumatic robotic actuator hub base angular positioning angle adjustment modification alter manipulate control multiple plurality more many actuators legs arms rotating swivel turning coupler connection joint adapter		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2005/0218679 A1 (Yokoyama et al.) 06 October 2005 (06.10.2005), entire document, especially Fig. 1A, 1B, 1C, 1D, 3A; para[0080]; para[0079]; para[0076]; para[0077]; para[0078]; para[0084];	1-5
A	US 2014/0318118 A1 (Mazzeo et al.) 30 October 2014 (30.10.2014), entire document	1-5
A	WO 2012/150551 A1 (Scuola Superiore Di Studi Universitari E Di Perfezionamento Sant'anna) 08 November 2012 (08.11.2012), entire document	1-5
A	US 5,156,081 A (Suzumori) 20 October 1992 (20.10.1992), entire document	1-5
A	WO 2013/103412 A2 (President and Fellows of Harvard College) 11 July 2013 (11.07.2013), entire document	1-5
A	US 2002/0157388 A1 (Seto et al.) 31 October 2002 (31.10.2002), entire document	1-5
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/>		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 19 January 2016		Date of mailing of the international search report 30 MAR 2016
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-8300		Authorized officer: Lee W. Young PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US 15/61352

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
This application contains the following inventions or groups of inventions which are not so linked as to form a single general inventive concept under PCT Rule 13.1. In order for all inventions to be examined, the appropriate additional examination fees must be paid.

Group I: Claims 1-5 directed to an angular adjustment device for a soft robotic actuator apparatus.

Group II: Claims 6-10 directed to a force amplification device for a soft robotic actuator apparatus.

Group III: Claims 11-15 directed to a rigidizing layer for a soft robotic actuator apparatus.

Group IV: Claims 16-20 directed to a gripping structure for a soft robotic actuator apparatus.

-- Continued in supplemental box --

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:
1-5

- Remark on Protest**
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US 15/61352

--- Continuation of Box No. III Observations where unity of invention is lacking ---

The inventions listed as Groups I-IV do not relate to a single general inventive concept under PCT Rule 13.1 because, under PCT Rule 13.2, they lack the same or corresponding special technical features for the following reasons:

SPECIAL TECHNICAL FEATURES

The invention of Group I includes the special technical feature of a soft robotic actuator apparatus including a hub, and an angular adjustment device for adjusting the angles or positioning of the soft robotic actuators, not required by the claims of Group II, III and IV.

The invention of Group II includes the special technical feature of a soft robotic actuator apparatus including a force amplification device for amplifying a force exerted by the distal end of the soft fluid actuators, not required by the claims of Group I, III and IV.

The invention of Group III includes the special technical feature of a soft robotic actuator apparatus including a strain limiting layer, and rigidizing layer having one or more rigid components orientated perpendicular to the neutral axis of bending, not required by the claims of Group I, II and IV.

The invention of Group IV includes the special technical feature of a soft robotic actuator apparatus including a gripping structure for grasping objects, the gripping structure having a shape or texture to increase the actuators grip, configured to cut the tape, not required by the claims of Group I, II and III.

COMMON TECHNICAL FEATURES

Groups I-IV share the common technical features of an apparatus comprising: one or more soft robotic actuators, the soft robotic actuators comprising a hollow body including an elastomeric material, the hollow body configured to accept an inflation fluid.

However, this shared technical feature does not represent a contribution over prior art as being anticipated by US 2005/0218679 A1 to Yokoyama et al. (hereinafter 'Yokoyama'), which discloses an apparatus (Fig. 1A, 3A - see apparatus arm as shown in Fig. 1A, or assembled as shown in Fig. 3A) comprising: one or more soft robotic actuators (3-1, 3-2, 3-3, Fig. 1A; para[0080], 'the individual pneumatic actuators 3-1, 3-2, 3-3, which are the elastically expanding/contracting members 3-1, 3-2, 3-2'), the soft robotic actuators comprising a hollow body (Fig. 1A - see how the soft actuators 3-1, 3-2, 3-3 have hollow bodies for receiving air; para[0079], 'and have in their interior a pneumatic operation chamber' including an elastomeric material (Fig. 1A - see how the actuator bodies are elastomeric to account for expanding/contracting; para[0079], 'are formed of neoprene or silicon or other rubber'), the hollow body configured to accept an inflation fluid (Fig. 1A - see how each actuator 3-1, 3-2, 3-3 has an air-pressure introducing passage 5-1, 5-2, 5-3 for introducing inflation air to the hollow bodies; para[0079], 'and have in their interior a pneumatic operation chamber communicating with air-pressure introducing passages 5').

As the common technical features were known in the art at the time of the invention, these cannot be considered special technical feature that would otherwise unify the groups.

Therefore, Groups I-IV lack unity under PCT Rule 13 because they do not share a same or corresponding special technical feature.

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(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

(72)発明者 ノップフ, ライアン

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 ボウス, カール

アメリカ合衆国 マサチューセッツ 01742, コンコード, ホウソーン レーン 140

Fターム(参考) 3C707 DS01 ES05 ES10 ET03 EV12 EV14 HS02