

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6497786号
(P6497786)

(45) 発行日 平成31年4月10日(2019.4.10)

(24) 登録日 平成31年3月22日(2019.3.22)

(51) Int.Cl.

F I

B 2 5 J 19/00 (2006.01)

B 2 5 J 19/00

A

F 1 5 B 15/10 (2006.01)

F 1 5 B 15/10

H

請求項の数 21 (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2016-523917 (P2016-523917)
 (86) (22) 出願日 平成26年10月16日 (2014.10.16)
 (65) 公表番号 特表2017-504489 (P2017-504489A)
 (43) 公表日 平成29年2月9日 (2017.2.9)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2014/060870
 (87) 国際公開番号 W02015/102723
 (87) 国際公開日 平成27年7月9日 (2015.7.9)
 審査請求日 平成29年6月30日 (2017.6.30)
 (31) 優先権主張番号 61/893,093
 (32) 優先日 平成25年10月18日 (2013.10.18)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 507044516
 プレジデント アンド フェローズ オブ
 ハーバード カレッジ
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ 02
 138, ケンブリッジ, クインシー
 ストリート 17
 (74) 代理人 110001302
 特許業務法人北青山インターナショナル
 (72) 発明者 ギャロウェイ, ケヴィン
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 0
 2138, ケンブリッジ, オックスフォ
 ードストリート 60, ハーバードユニヴァ
 ーシティ, ルーム 403

審査官 貞光 大樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ソフトアクチュエータ本体及び適合スリーブを備えた機械的にプログラムされたアクチュエータ
 並びに機械的作動方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

機械的にプログラムされたアクチュエータにおいて、
 制限なしに作動させたときに、屈曲し、直線状に延び、収縮し、捻れ、またはそれらの
 組み合わせとなるように構成された少なくとも1つのソフトアクチュエータ本体と、
 前記ソフトアクチュエータ本体を作動させるように構成された作動機構と、
 前記ソフトアクチュエータ本体の少なくとも一部分の周りに配置されるとともに、作動
 させたときにスリーブの内側で前記ソフトアクチュエータ本体を拘束しかつ前記ソフトア
 クチュエータ本体が前記スリーブで覆われていない場所で前記ソフトアクチュエータ本体
 が変形することを可能にするように構成された少なくとも1つのスリーブと

を備えており、

前記スリーブが、前記ソフトアクチュエータ本体が覆われない少なくとも1つの開口を
 規定する単一片の材料を備えており、

前記単一片の材料が、前記開口と反対側を前記ソフトアクチュエータ本体に沿って連続
 的に延在することを特徴とする機械的にプログラムされたアクチュエータ。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の機械的にプログラムされたアクチュエータにおいて、前記ソフトア
 クチュエータ本体が内部室を画定し、かつ前記作動機構が、前記ソフトアクチュエータ本体
 を変形させるために前記内部室内に流体を圧送するように構成されたポンプを含むことを
 特徴とする機械的にプログラムされたアクチュエータ。

10

20

【請求項 3】

請求項 2 に記載の機械的にプログラムされたアクチュエータにおいて、前記ソフトアクチュエータ本体が、可撓性およびエラストマー性の少なくともいずれかである少なくとも 1 つの材料であって、超弾性シリコン、熱可塑性ウレタン、熱可塑性エラストマー、ゴム、ナイロン、織布材料、不織布材料、弾性ポリウレタン、およびポリエチレンから選択される前記少なくとも 1 つの材料を含むことを特徴とする機械的にプログラムされたアクチュエータ。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の機械的にプログラムされたアクチュエータにおいて、前記ソフトアクチュエータ本体が、前記ソフトアクチュエータ本体の側部に沿った歪み抑制層を含み、かつ前記ソフトアクチュエータ本体が、前記ソフトアクチュエータ本体の側部の膨張を抑えることにより前記ソフトアクチュエータ本体の屈曲をもたらすように構成されることを特徴とする機械的にプログラムされたアクチュエータ。

10

【請求項 5】

請求項 1 に記載の機械的にプログラムされたアクチュエータにおいて、複数のスリーブが前記ソフトアクチュエータ本体のそれぞれの部分の周りに配置され、前記スリーブの少なくとも 1 つが、(a) 前記スリーブの別のスリーブと異なる組成を有し、かつ (b) 前記スリーブが、前記スリーブの別のスリーブと異なる異方性機械的特性を有することを特徴とする機械的にプログラムされたアクチュエータ。

20

【請求項 6】

請求項 5 に記載の機械的にプログラムされたアクチュエータにおいて、前記スリーブの少なくとも 2 つの間に間隙が設けられ、前記ソフトアクチュエータ本体を前記スリーブ間の前記間隙において変形させることを特徴とする機械的にプログラムされたアクチュエータ。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の機械的にプログラムされたアクチュエータにおいて、前記スリーブが開口を画定し、前記ソフトアクチュエータ本体を前記開口において変形させることを特徴とする機械的にプログラムされたアクチュエータ。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の機械的にプログラムされたアクチュエータにおいて、前記スリーブが複数の開口を含み、前記ソフトアクチュエータ本体を前記開口において変形させることを特徴とする機械的にプログラムされたアクチュエータ。

30

【請求項 9】

請求項 8 に記載の機械的にプログラムされたアクチュエータにおいて、前記開口が、前記スリーブにおける異なる長手方向位置および径方向位置に画定されることを特徴とする機械的にプログラムされたアクチュエータ。

【請求項 10】

請求項 1 に記載の機械的にプログラムされたアクチュエータにおいて、前記スリーブが、電子機器、センサ、磁石、配索機構、および連結機構から選択されるインターフェースを含むことを特徴とする機械的にプログラムされたアクチュエータ。

40

【請求項 11】

請求項 1 に記載の機械的にプログラムされたアクチュエータにおいて、前記スリーブが、複数の前記ソフトアクチュエータ本体間の連結具としての役割を果たすことを特徴とする機械的にプログラムされたアクチュエータ。

【請求項 12】

請求項 1 に記載の機械的にプログラムされたアクチュエータにおいて、複数のスリーブが、互いに連結されるとともに、それぞれのソフトアクチュエータ本体の部分を収容することを特徴とする機械的にプログラムされたアクチュエータ。

【請求項 13】

請求項 1 に記載の機械的にプログラムされたアクチュエータにおいて、前記スリーブが

50

、前記スリーブに収容される前記ソフトアクチュエータ本体の体積量を変化させるために調節可能な長さを有するように構成されることを特徴とする機械的にプログラムされたアクチュエータ。

【請求項 1 4】

請求項 1 に記載の機械的にプログラムされたアクチュエータにおいて、硬化材または硬化剤を用いて前記スリーブの少なくとも一部が剛性化されることを特徴とする機械的にプログラムされたアクチュエータ。

【請求項 1 5】

請求項 1 に記載の機械的にプログラムされたアクチュエータにおいて、前記スリーブが、剛性部分を前記ソフトアクチュエータ本体に固定することを特徴とする機械的にプログラムされたアクチュエータ。

10

【請求項 1 6】

請求項 1 に記載の機械的にプログラムされたアクチュエータにおいて、前記スリーブが取り外し可能であることを特徴とする機械的にプログラムされたアクチュエータ。

【請求項 1 7】

請求項 1 に記載の機械的にプログラムされたアクチュエータにおいて、前記ソフトアクチュエータ本体よりも高い剛性を有する少なくとも 1 つの要素が、前記ソフトアクチュエータ本体の変形を更に制御するために前記スリーブ上または前記スリーブの内側に配置されることを特徴とする機械的にプログラムされたアクチュエータ。

【請求項 1 8】

20

請求項 1 に記載の機械的にプログラムされたアクチュエータにおいて、前記アクチュエータが、前記ソフトアクチュエータ本体の周りに同心状に配置された内側スリーブと外側スリーブとを含み、間隙または開口が前記外側スリーブに設けられ、前記内側スリーブの一部を露出させることを特徴とする機械的にプログラムされたアクチュエータ。

【請求項 1 9】

機械的作動方法において、

室を画定する少なくとも 1 つのソフトアクチュエータ本体と、前記ソフトアクチュエータ本体の一部分の周りに配置された少なくとも 1 つのスリーブとを含む機械的にプログラムされたアクチュエータを使用するステップであって、前記スリーブが、前記ソフトアクチュエータ本体が覆われない少なくとも 1 つの開口を規定する単一片の材料を備えており、前記単一片の材料が、前記開口と反対側を前記ソフトアクチュエータ本体に沿って連続的に延在する、ステップと、

30

前記ソフトアクチュエータ本体により画定された室内に流体を圧送し、前記ソフトアクチュエータ本体が前記スリーブで覆われていない場所で前記ソフトアクチュエータ本体を変形させ、その一方で、前記スリーブが前記ソフトアクチュエータ本体を覆っている場所で前記スリーブが前記ソフトアクチュエータ本体の変形を抑制するステップと

を含むことを特徴とする方法。

【請求項 2 0】

請求項 1 9 に記載の方法において、前記アクチュエータが、少なくとも 2 つのソフトアクチュエータ本体を含み、各ソフトアクチュエータ本体が、各ソフトアクチュエータ本体の一部分の周りに配置された少なくとも 1 つのスリーブを備えることを特徴とする方法。

40

【請求項 2 1】

請求項 2 0 に記載の方法において、前記ソフトアクチュエータ本体間に物体を挟むように前記ソフトアクチュエータ本体を作動させるステップを更に含むことを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

政府支援

本発明は、国防高等研究計画局 (Defense Advanced Research

50

h Projects Agency)により与えられた助成番号W911NF-11-1-0094に基づく政府支援によりなされたものである。米国政府は、本発明において一定の権利を保有する。

【背景技術】

【0002】

ソフトアクチュエータは、複雑な動作を一体構造に組み込む能力と、エラストマー材料および加圧流体に起因した本来の柔軟性を含む、剛性の機械システムに見られないいくつかの望ましい特徴を提供する。コンピュータ支援製図(CAD)プログラムおよび3次元(3D)プリンタは、アクチュエータ製造のための金型設計の(数日程度での)比較的迅速な繰り返しを可能にするが、これらの手法は、ソフトアクチュエータの出力動作、接

10

【発明の概要】

【0003】

機械的にプログラムされたソフトアクチュエータならびにその製造方法および使用方法が本明細書で説明される。装置および方法の種々の実施形態は、以下に説明する要素、特徴、およびステップの一部または全てを含み得る。

【0004】

機械的にプログラムされたソフトアクチュエータは、制限なしに作動させたときに、ソフトアクチュエータ本体の少なくとも一部が、屈曲し、直線状に延び、収縮し、捻れ、またはそれらの組み合わせとなるように構成される少なくとも1つのソフトアクチュエータ本体と、ソフトアクチュエータ本体を作動させるように構成された作動機構(例えば、流体ポンプ)と、ソフトアクチュエータ本体の一部分の周りに配置されるとともに、作動させたときにスリーブの内側でソフトアクチュエータ本体を拘束しかつスリーブで覆われていない場所でソフトアクチュエータ本体を屈曲させるように構成された少なくとも1つの適合スリーブを含む。

20

【0005】

機械的作動方法では、流体(例えば、空気または液体)がソフトアクチュエータ本体により画定された室内に圧送され、ソフトアクチュエータ本体がスリーブで覆われていない場所でソフトアクチュエータ本体を屈曲させ、その一方で、スリーブがソフトアクチュエータ本体を覆っている場所でスリーブがソフトアクチュエータ本体の屈曲を制限する。

30

【0006】

これらのアクチュエータの実施形態は、快適性を向上させかつ使用者に対する負傷の危険性を低減するために軟組織(例えば、皮膚)が軟質でかつ柔軟性があるロボットアクチュエータと相互作用可能である、人間とロボットとの安全な相互作用をもたらすことができる。これらのソフトアクチュエータは、人間の動きを補助するためのロボットアクチュエータとしての使用、物体を取り扱うための形状適合性グリッパとしての使用、玩具での(例えば、ビデオゲーム用のインターフェースとしての)使用を含む様々な使用に適している。

40

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】図1は、スリーブのない湾曲するソフトアクチュエータ本体14の撮影画像である。

【図2】図2は、アクチュエータ本体14内の圧力変化後の図1の湾曲するソフトアクチュエータ本体14の撮影画像である。

【図3】図3は、ソフトアクチュエータ本体14の基部と遠位端部がそれぞれスリーブ16で取り囲まれた図1のソフトアクチュエータ本体14の撮影画像である。

【図4】図4は、アクチュエータ本体14内の圧力変化後の図3のアクチュエータ12の撮影画像である。

50

【図 5】図 5 は、歪み抑制層 5 4 がソフトアクチュエータ本体 1 4 の右側にあるソフトアクチュエータ本体 1 4 の図であり、アクチュエータ本体 1 4 の初期位置が左に示され、その一方で、アクチュエータ本体 1 4 内の圧力変化後の、歪み抑制層 5 4 によるアクチュエータ本体 1 4 の湾曲が右に示される。

【図 6】図 6 は、ソフトアクチュエータ本体 1 4 の基部がそれぞれスリーブ 1 6 で取り囲まれかつ歪み抑制層 5 4 がソフトアクチュエータ本体 1 4 の右側にあるソフトアクチュエータ本体 1 4 の図であり、アクチュエータ本体 1 4 の初期位置が左に示され、その一方で、アクチュエータ本体 1 4 内の圧力変化後の、スリーブ 1 6 の上方の歪み抑制層 5 4 によるアクチュエータ本体 1 4 の湾曲が右に示される。

【図 7】図 7 は、ソフトアクチュエータ本体 1 4 の基部と遠位端部がそれぞれスリーブ 1 6 で取り囲まれかつ歪み抑制層 5 4 がソフトアクチュエータ本体 1 4 の右側にあるソフトアクチュエータ本体 1 4 の図であり、アクチュエータ本体 1 4 の初期位置が左に示され、その一方で、アクチュエータ本体 1 4 内の圧力変化後の、スリーブ 1 6 間の歪み抑制層 5 4 によるアクチュエータ本体 1 4 の屈曲が右に示される。

【図 8】図 8 は、加熱によりソフトアクチュエータ本体 1 4 に熱成形されるスリーブ 1 6 を示す。

【図 9】図 9 は、スリーブ 1 6 が熱成形されたソフトアクチュエータ本体 1 4 を示す。

【図 10】図 10 は、スリーブ 1 6 の周囲に固定された締め付けクランプ 2 4 ' によりソフトアクチュエータ本体 1 4 に取り付けられたスリーブ 1 6 を示す。

【図 11】図 11 は、スリーブ 1 6 の周囲に固定されたジップタイ 2 4 ' ' によりソフトアクチュエータ本体 1 4 に取り付けられたスリーブ 1 6 を示す。

【図 12】図 12 は、スリーブ 1 6 の一端部の上側面とスリーブ 1 6 の対向端部の底側面とにおけるフックとループ 2 4 ' ' ' のそれぞれの表面によりソフトアクチュエータ本体 1 4 に固定されたスリーブ 1 6 を示す。

【図 13】図 13 は、スリーブ 1 6 の互いに対向する端部の各々に沿った開口に通されたレース 2 4 ' ' ' によりソフトアクチュエータ本体 1 4 に固定されたスリーブ 1 6 を示す。

【図 14】図 14 は、スリーブ 1 6 とソフトアクチュエータ本体 1 4 との間に挿入された接着剤 2 4 ' ' ' ' によりソフトアクチュエータ本体 1 4 に固定されたスリーブ 1 6 を示す。

【図 15】図 15 は、3 つ以上のスリーブ 1 6 間に形成された複数の関節部がアクチュエータ 1 2 の長さに沿って離間したアクチュエータ 1 2 を示す。

【図 16】図 16 は、ソフトアクチュエータ本体 1 4 がスリーブ 1 6 間で屈曲している、ソフトアクチュエータ本体 1 4 内の圧力変化後の図 15 のアクチュエータ 1 2 を示す。

【図 17】図 17 は、ソフトアクチュエータ本体 1 4 が 1 つ、2 つまたは 3 つのスリーブセクション 1 6 で覆われ、かつスリーブ 1 6 がソフトアクチュエータ本体 1 4 にわたって異なる距離だけ延びているアクチュエータの様々な実施形態を示す。

【図 18】図 18 は、電子機器用の実装基板（例えば、接触センサ 2 6 および回路基板 2 8）として機能できるスリーブ 1 6 を示す。

【図 19】図 19 は、（例えば、フックとループにより接続する、縫合される、接着されるなど）歪みゲージ 3 0 などのソフトセンサ用の固定点として機能できるスリーブ 1 6 を示す。

【図 20】図 20 は、（例えば、フックとループにより接続する、縫合される、接着されるなど）歪みゲージ 3 0 などのソフトセンサ用の固定点として機能できるスリーブ 1 6 を示す。

【図 21】図 21 は、剛性装置を軟質コネクタに接続するためのインターフェース（例えば、スクープ、レバー、ばね、または作動させる任意の機構）として機能できるスリーブ 1 6 を示す。本実施形態において、スリーブ 1 6 は、インターフェースとしての役割を果たすねじ付き支柱 3 2 を含む。

【図 22】図 22 は、剛性装置を軟質コネクタに接続するためのインターフェース（例え

10

20

30

40

50

ば、スクープ、レバー、ばね、または作動させる任意の機構)として機能できるスリーブ16を示す。本実施形態において、スリーブ16は、インターフェースとしての役割を果たすねじ付き支柱32を含む。

【図23】図23は、剛性装置を軟質コネクタに接続するためのインターフェース(例えば、スクープ、レバー、ばね、または作動させる任意の機構)として機能できるスリーブ16を示す。本実施形態において、スリーブ16は、インターフェースとしての役割を果たすねじ付き支柱32を含む。

【図24】図24は、剛性装置を軟質コネクタに接続するためのインターフェース(例えば、スクープ、レバー、ばね、または作動させる任意の機構)として機能できるスリーブ16を示す。本実施形態において、スリーブ16は、インターフェースとしての役割を果たすねじ付き支柱32を含む。

10

【図25】図25は、(例えば、掴むときに位置合わせを容易にするための、工具を取り付けるための、または鉄系金属物体の迅速な収集に使用するための)磁石38の一体化または埋設を示す。

【図26】図26は、(例えば、掴むときに位置合わせを容易にするための、工具を取り付けるための、または鉄系金属物体の迅速な収集に使用するための)磁石38の一体化または埋設を示す。

【図27】図27は、(例えば、掴むときに位置合わせを容易にするための、工具を取り付けるための、または鉄系金属物体の迅速な収集に使用するための)磁石38の一体化または埋設を示す。

20

【図28】図28は、アクチュエータ本体14を直列に接続するための連結具としてのスリーブ16の使用を示す。

【図29】図29は、アクチュエータ本体14を直列に接続するための連結具としてのスリーブ16の使用を示す。

【図30】図30は、ソフトアクチュエータ本体14を互いに並列に連結するために並列に接続されたスリーブ16の使用を示す。

【図31】図31は、ソフトアクチュエータ本体14を互いに並列に連結するために並列に接続されたスリーブ16の使用を示す。

【図32】図32は、4つのソフトアクチュエータ本体14を接合して「X形関節」を形成するスリーブ16の使用を示す。

30

【図33】図33は、3つのソフトアクチュエータ本体14を接合して「T形関節」を形成するスリーブ16の使用を示す。

【図34】図34は、2つのソフトアクチュエータ本体14の端部同士を接合するスリーブ16の使用を示す。

【図35】図35は、スリーブ16の表面から延びるブラシ44を示す。

【図36】図36は、スリーブ16の表面上に突出する突起46を示す。

【図37】図37は、スリーブ16の表面上のループ48(代替的または追加的に、フックが設けられる)を示す。

【図38】図38は、引っ掛かりや絡まりを最小限に抑えるように管およびワイヤを配索するための周辺チャンネル50を備えたスリーブ16を示す。

40

【図39】図39は、周辺チャンネル50に通された管およびワイヤ52と、ソフトアクチュエータ本体14上に装着されたスリーブ16とを備えた図38のスリーブ16を示す。

【図40】図40は、下層のソフトアクチュエータ本体14に多数の屈曲位置を設けるために幅が狭くかつ剛性の接続ストリップに沿って間隔を置いて配置されるスリーブリング16を示す。

【図41】図41は、下層のソフトアクチュエータ本体14に多数の屈曲位置を設けるために幅が狭くかつ剛性の接続ストリップに沿って間隔を置いて配置されるスリーブリング16を示す。

【図42】図42は、0mmのスリーブ間隔でのソフトアクチュエータ本体14の屈曲を示し、影画像は、異なる圧力で屈曲するアクチュエータを示す。

50

【図 4 3】図 4 3 は、15 mm のスリーブ間隔でのソフトアクチュエータ本体 1 4 の屈曲を示し、影画像は、異なる圧力で屈曲するアクチュエータを示す。

【図 4 4】図 4 4 は、30 mm のスリーブ間隔でのソフトアクチュエータ本体 1 4 の屈曲を示し、影画像は、異なる圧力で屈曲するアクチュエータを示す。

【図 4 5】図 4 5 は、開口 2 2 において下層のソフトアクチュエータ本体の屈曲を可能にするための開口 2 2 を備えたスリーブ 1 6 を示す。

【図 4 6】図 4 6 は、異なる箇所にかつ異なる向きに沿った異なる軸線の周囲で屈曲をもたらすために、スリーブ 1 6 上の異なる長手位置および方位角位置に位置決めされた複数の開口 2 2 を備えたスリーブ 1 6 を示す。

【図 4 7】図 4 7 は、異なる箇所にかつ異なる向きに沿った異なる軸線の周囲で屈曲をもたらすために、スリーブ 1 6 上の異なる長手位置および方位角位置に位置決めされた複数の開口 2 2 を備えたスリーブ 1 6 を示す。

【図 4 8】図 4 8 は、異なる箇所にかつ異なる向きに沿った異なる軸線の周囲で屈曲をもたらすために、スリーブ 1 6 上の異なる長手位置および方位角位置に位置決めされた複数の開口 2 2 を備えたスリーブ 1 6 を示す。

【図 4 9】図 4 9 は、埋設された電気回路および配線 6 2 を備えたスリーブ 1 6 を示す。

【図 5 0】図 5 0 は、ソフトアクチュエータ 1 2 を身体部分 6 3（ここでは、指）に接続できるスリーブ 1 6 を示す。

【図 5 1】図 5 1 は、スリーブのない湾曲するソフトアクチュエータ 1 2 を含むマニピュレータを用いて正方形の物体 6 6 を掴む様子を示す。

【図 5 2】図 5 2 は、掴むべき物体 6 6 の側面の長さ一致する長さを有するスリーブ 1 6 で覆われた湾曲するソフトアクチュエータ 1 2 を備えたマニピュレータを示す。

【図 5 3】図 5 3 は、物体 6 6 を掴む、図 5 2 のマニピュレータのスリーブ付きソフトアクチュエータ 1 2 を示す。

【図 5 4】図 5 4 は、荷重がかかった状態で物体 6 6 を支持する、スリーブのないソフトアクチュエータ本体 1 4 を示す。

【図 5 5】図 5 5 は、より大きな荷重がかかった状態で物体 6 6 を支持する、スリーブ 1 6 を備えたソフトアクチュエータを示す。

【図 5 6】図 5 6 は、更に大きな荷重がかかった状態で物体 6 6 を支持する、繊維強化積層構造を有するスリーブ 1 6 を備えたソフトアクチュエータを示す。

【図 5 7】図 5 7 は、物体 6 6 を掴む、スリーブ 1 6 のないソフトアクチュエータ本体 1 4 の追加の実施形態を示す。

【図 5 8】図 5 8 は、物体 6 6 を掴む、スリーブ 1 6 を備えたソフトアクチュエータ本体 1 4 の追加の実施形態を示す。

【図 5 9】図 5 9 は、湾曲するソフトアクチュエータ本体 1 4 上のスリーブ 1 6 とスリーブのない湾曲する第 2 のアクチュエータとを備えた形状適合マニピュレータを示す。

【図 6 0】図 6 0 は、湾曲するソフトアクチュエータ本体 1 4 上のスリーブ 1 6 とスリーブのない湾曲する第 2 のアクチュエータとを備えた形状適合マニピュレータを示す。

【図 6 1】図 6 1 は、下層のソフトアクチュエータ本体 1 4 上に調節可能な長さでの屈曲制限をもたらすために巻き広げることができるスリーブ 1 6 を示す。

【図 6 2】図 6 2 は、下層のソフトアクチュエータ本体 1 4 上に調節可能な長さでの屈曲制限をもたらすために巻き広げることができるスリーブ 1 6 を示す。

【図 6 3】図 6 3 は、下層のソフトアクチュエータ本体 1 4 上に調節可能な長さでの屈曲制限をもたらすために巻き広げることができるスリーブ 1 6 を示す。

【図 6 4】図 6 4 は、下層のソフトアクチュエータ本体 1 4 上に調節可能な長さでの屈曲制限をもたらすために巻き広げることができるスリーブ 1 6 を示す。

【図 6 5】図 6 5 は、下層のソフトアクチュエータ本体 1 4 上に調節可能な長さでの屈曲制限をもたらすために延出させることができるセグメントを含むスリーブ 1 6 を示す。

【図 6 6】図 6 6 は、下層のソフトアクチュエータ本体 1 4 上に調節可能な長さでの屈曲制限をもたらすために延出させることができるセグメントを含むスリーブ 1 6 を示す。

10

20

30

40

50

【図 6 7】図 6 7 は、下層のソフトアクチュエータ本体 1 4 上に調節可能な長さでの屈曲制限をもたらすために延出させることができるセグメントを含むスリーブ 1 6 を示す。

【図 6 8】図 6 8 は、ソフトアクチュエータ本体 1 4 の両端部に図 6 1 および図 6 4 の長さ調整可能なスリーブ 1 6 を備えたソフトアクチュエータ本体 1 4 を示し、スリーブ 1 6 が更なる巻き広げにより長くなるにつれてソフトアクチュエータ本体 1 4 の屈曲半径が減少することを示す。

【図 6 9】図 6 9 は、ソフトアクチュエータ本体 1 4 の両端部に図 6 1 および図 6 4 の長さ調整可能なスリーブ 1 6 を備えたソフトアクチュエータ本体 1 4 を示し、スリーブ 1 6 が更なる巻き広げにより長くなるにつれてソフトアクチュエータ本体 1 4 の屈曲半径が減少することを示す。

10

【図 7 0】図 7 0 は、非弾性（歪み抑制）繊維強化積層構造 5 4 を備えた（c と d）および非弾性（歪み抑制）繊維強化積層構造 5 4 のない（a と b）、繊維強化アクチュエータ本体 1 4 の断面比較を示し、図 7 0（a）は、未加圧の繊維強化アクチュエータ本体 1 4 の図示の断面図および実際の側面図を示し、図 7 0（b）は、流体加圧に起因したアクチュエータ本体 1 4 の壁の膨張を示し、図 7 0（c）は、繊維強化アクチュエータ本体 1 4 上の非弾性繊維強化積層体 5 4 の配置を示し、かつ図 7 0（d）は、スリーブ 1 6 が追加されたときのアクチュエータの図示の断面図を示す。

【図 7 1 a】図 7 1 a は、0 mm のスリーブ 1 6 間隔を有する、ソフトアクチュエータの平坦表面上に非弾性繊維強化積層体を備えた屈曲するソフトアクチュエータの動作の範囲を示す。

20

【図 7 1 b】図 7 1 b は、15 mm のスリーブ 1 6 間隔を有する、ソフトアクチュエータの平坦表面上に非弾性繊維強化積層体を備えた屈曲するソフトアクチュエータの動作の範囲を示す。

【図 7 1 c】図 7 1 c は、30 mm のスリーブ 1 6 間隔を有する、ソフトアクチュエータの平坦表面上に非弾性繊維強化積層体を備えた屈曲するソフトアクチュエータの動作の範囲を示す。

【図 7 2】図 7 2 は、屈曲関節としての役割を果たす両方のスリーブ 1 6 を貫通する開口 2 2 と、内側スリーブ 1 6 ' が長手方向に延びることができる延在セグメント 7 0 としての役割を果たす外側スリーブ 1 6 ' ' における間隙とを備えた、内側スリーブ 1 6 ' と外側スリーブ 1 6 ' ' を備えた未作動の直線状に延びるソフトアクチュエータ 1 2 を示す。スリーブは多セグメント動作を可能にする。

30

【図 7 3】図 7 3 は、作動状態にある図 7 2 のソフトアクチュエータ 1 2 を示す。

【図 7 4】図 7 4 は、アクチュエータの屈曲を生じさせるためのスリットの形態の開口を備えたスリーブ 1 6 内に収容された直線状に延びるソフトアクチュエータ本体 1 4 の撮影画像である。

【図 7 5】図 7 5 は、ソフトアクチュエータ本体 1 4 内に圧送された流体により作動させたときの図 7 4 の直線状に延びるソフトアクチュエータの撮影画像である。

【図 7 6】図 7 6 は、開口の向きにより各開口におけるアクチュエータの屈曲を互いに逆方向に生じさせる 2 つの開口を備えたスリーブ 1 6 内に収容された直線状に延びるソフトアクチュエータ本体 1 4 の撮影画像である。

40

【図 7 7】図 7 7 は、スリーブ 1 6 の複数の開口および非切断部 6 9 が異なる向きの複数の軸線の周囲でアクチュエータの屈曲を生じさせるように構成された、スリーブ 1 6 内に収容された直線状に延びるソフトアクチュエータの撮影画像である。

【図 7 8】図 7 8 は、共通の向きと一定の間隔とを共有する複数の開口と非切断部 6 9 とを備えたスリーブ 1 6 により屈曲するアクチュエータに変換された直線状に延びるソフトアクチュエータの撮像画像である。

【図 7 9】図 7 9 は、各アクチュエータが、ソフトアクチュエータの直線作動を屈曲 / 湾曲動作に変換するための複数の開口を有するスリーブ 1 6 内に収容された直線状に延びるソフトアクチュエータを含む、湾曲するソフトアクチュエータを各指に含むパワーグリップグローブの撮像画像である。

50

【図 8 0】図 8 0 は、各アクチュエータが、ソフトアクチュエータの直線作動を屈曲 / 湾曲動作に変換するための複数の開口を有するスリーブ 1 6 内に収容された直線状に延びるソフトアクチュエータを含む、湾曲するソフトアクチュエータを各指に含むパワーグリップグローブの撮像画像である。

【図 8 1】図 8 1 は、リールから繰り出されかつ所望の長さをもたらすために切断可能なソフトアクチュエータ本体 1 4 を示す。

【図 8 2】図 8 2 は、各端部に挿入されるキャップ 6 8 と、ソフトアクチュエータ本体 1 4 内への流体の導入を可能にするための、端部キャップの一方における空気圧または油圧接続部 6 0 とを備えた、図 8 1 のソフトアクチュエータ本体 1 4 の切断されたセグメントを示す。

10

【図 8 3】図 8 3 は、把持特徴部 4 9 を含むスリーブ 1 6 を先端部に備えたソフトアクチュエータ本体 1 4 の斜視図を提示する。

【図 8 4】図 8 4 は、把持特徴部 4 9 を含むスリーブ 1 6 を先端部に備えたソフトアクチュエータ本体 1 4 の斜視図を提示する。

【図 8 5】図 8 5 は、把持特徴部 4 9 を含むスリーブ 1 6 を先端部に備えたソフトアクチュエータ本体 1 4 の斜視図を提示する。

【図 8 6】図 8 6 は、スリーブ 1 6 上に装着された真空ジャミングボーチ 8 0 の作動により強固となり得る（それゆえ、これにより変形を制御できる）セグメントを備えたアクチュエータ 1 2 の実施形態を図示する。

【図 8 7】図 8 7 は、スリーブ 1 6 上に装着された真空ジャミングボーチ 8 0 の作動により強固となり得る（それゆえ、これにより変形を制御できる）セグメントを備えたアクチュエータ 1 2 の実施形態を図示する。

20

【図 8 8】図 8 8 は、スリーブ 1 6 上に装着された真空ジャミングボーチ 8 0 の作動により強固となり得る（それゆえ、これにより変形を制御できる）セグメントを備えたアクチュエータ 1 2 の実施形態を図示する。

【図 8 9】図 8 9 は、スリーブ 1 6 上に装着された真空ジャミンググリッパ 8 2 を含むアクチュエータ 1 2 を図示する。

【発明を実施するための形態】

【0008】

添付図面において、類似の参照記号は異なる図を通じて同じまたは同様の部分を指し、また、アポストロフィは、同じ参照番号を共用する同じまたは同様の物品の複数の例を区別するために使用される。図面は、必ずしも原寸に比例したものではなく、むしろ、以下に述べる特定の原理を例示することに重点が置かれている。

30

【0009】

本発明の種々の態様の前述および他の特徴ならびに利点が、以下の、種々の概念のより詳細な説明と、本発明のより広い範囲内の特定の実施形態とから明らかになるであろう。上で紹介しかつ以下により詳細に述べる主題の種々の態様は、その主題がいかなる特定の実施態様にも限定されないので、多数の方法のいずれかで実施してもよい。特定の実施態様および用途の例は、主として例示の目的で提供される。

【0010】

40

本明細書において別段の定義、使用、または特徴付けがない限り、本明細書で使用される用語（技術的および科学的用語を含む）は、関連技術の文脈において許容されるそれらの意味と一致する意味を有するものとして解釈されるべきであり、本明細書において明示的に定義されない限り、理想化された意味または過度に形式的な意味に解釈されるべきではない。例えば、特定の組成について言及する場合には、現実的に実用的だが不完全なものが適用される場合があるので、組成は、完全にではないが実質的に純粋なものであってもよく、例えば、少なくとも微量（例えば、1 または 2 % 未満）の不純物が存在し得ることも本説明の範囲内にあると理解することができ、同様に、特定の形状について言及する場合には、その形状は、例えば、製造公差による、理想的な形状でない不完全な変形を含むように意図される。本明細書に示される百分率または濃度は、重量または体積のいずれか

50

で表すことができる。

【0011】

本明細書では、種々の要素を説明するために、第1の、第2の、第3のなどの用語が使用されることがあるが、これらの要素は、これらの用語によって限定されるものではない。これらの用語は、単に1つの要素を別の要素と区別するために使用される。したがって、例示的な実施形態の教示から逸脱することなく、以下に述べる第1の要素を第2の要素と呼ぶことができる。

【0012】

「上方 (above)」、「下方 (below)」、「左側 (left)」、「右側 (right)」、「前方 (in front)」および「後方 (behind)」などの空間的な相対用語は、本明細書では、図に示すように、1つの要素と別の要素との関係を説明するのに説明しやすくするために使用され得る。当然のことながら、空間的な相対用語および図示の構成は、本明細書で説明されかつ図に描かれた向きに加えて、使用時または動作時の装置の異なる向きを包含するように意図されている。例えば、図中の装置を反転させた場合には、他の要素または特徴の「下方」または「真下」にあると説明された要素が他の要素または特徴の「上方」に位置することになる。したがって、「上方」という例示的な用語は、上方と下方の両方の向きを包含する場合がある。装置を別の方向に向け（例えば、90度または他の向きに回転させ）てもよく、本明細書で使用される空間的な相対的記述用語は、それに応じて解釈される。

【0013】

更にまた、本開示では、ある要素が、別の要素「の上にある (on)」、「に接続される (connected to)」、「に連結される (coupled to)」、「に接触する (in contact with)」などと称される場合、別段の規定がない限り、要素は、他の要素の直ぐ上にあるか、他の要素に直接接続されるか、直接連結されるか、直接接触してもよく、または、介在要素が存在してもよい。

【0014】

本明細書で使用する専門用語は、特定の実施形態を説明するためのものであり、例示的な実施形態を限定するものとは意図されていない。本明細書で使用する場合、「a」および「an」などの単数形は、文脈からそうでないと分かる場合を除き、複数形も含むものと意図されている。加えて、「含む (includes)」、「含んでいる (including)」、「備える (comprises)」、および「備えている (comprising)」という用語は、言及された要素またはステップの存在を規定するが、1つもしくは複数の他の要素またはステップの存在または追加を排除するものではない。

【0015】

本明細書では、開示する方法およびアクチュエータ設計は、ソフトアクチュエータのカスタマイズの権限を使用者の手に委ねることができ、かつ特定の用途に適合するように新たなソフトアクチュエータを成形する必要をなくすることができる。本明細書で説明するように、スリーブ16を使用してソフトアクチュエータ12を機械的にプログラムすることができ、このことは、ソフトアクチュエータの動作および性能の（例えば、数分程度での）迅速な修正を可能にする。例として、図1および図2は、作動機構18により作動させたとき（例えば、ポンプがソフトアクチュエータ本体14に流体を充填したとき）の湾曲するソフトアクチュエータ12の動作を示している。湾曲動作を生じさせる1つの手段は、（ソフトアクチュエータ本体14の非拘束部に対して）歪み抑制層54の長さに沿って弾性変形または塑性変形に抗する歪み抑制層54を接着し、それにより、応力を受けた（例えば、内圧が上昇した）ときに、図5に示すように、アクチュエータ12の湾曲を生じさせることである。この動作は、図3および図4に示すように、スリーブ16（収縮管など）をソフトアクチュエータ本体14に適用し、屈曲動作が望ましい場所に完全またな部分的な開口を残すことにより、調節することができる。このようなスリーブ16でソフトアクチュエータ本体14を包むことにより、湾曲するソフトアクチュエータ本体14をより鋭角に屈曲するアクチュエータに変換することができ、（または、以下に述べるように

また図72～図80に示すように、直線状のアクチュエータを屈曲するアクチュエータに変換することができ、)かつ明らかに異なる動作(例えば、関節のような屈曲)をもたらすことができる。スリーブ16の使用はまた、センサ26、電子機器、機械工具、および他のソフトアクチュエータとのインターフェース接続、および実装されるプリント回路基板28を含めることなどの、様々な特徴および性能をソフトアクチュエータ本体14に追加する新たな機会を可能にする(図18～図24、図35～図39、および図49を参照)。図21および図22に示すように、スリーブはまた、他の物体33をスリーブ16に装着するためまたはスリーブ16を他の構造に装着するための(本実施形態ではねじ付き支柱の形態の)取付具32を含むことができる。図23および図24に示すように、アクチュエータ12を剛性リンク34に装着することができ、この剛性リンク34は、作動する駆動構造を形成するために駆動軸36において接合される。

10

【0016】

本開示のソフトアクチュエータ本体14は、例えば、超弾性シリコン、熱可塑性エラストマー、熱可塑性ウレタン、ゴム、弾性ポリウレタン、またはポリエチレンで形成することができる、室20を画定する壁を含む。よって、ソフトアクチュエータ本体14は、破損するまでに、例えば、その元の寸法の200%まで寸法を膨張させるように設計でき、その一方で、ソフトアクチュエータ本体14を内側で拘束するスリーブ16を(例えば、ソフトアクチュエータ本体14の、例えば、10分の1以下の弾性を有する非膨張性布帛の形態の)可撓性材料、剛性材料、および/またはエラストマー材料で形成でき、その結果、スリーブ16がソフトアクチュエータ本体14を拘束し、かつソフトアクチュエータ本体14が(例えば、内圧の上昇により)膨張したときにソフトアクチュエータ本体14がスリーブ16を押圧する。

20

【0017】

ソフトアクチュエータ本体14と拘束スリーブ16の組み合わせは、以下の特徴のいずれかまたは全てを含むことができる。まず、スリーブ16は、ソフトアクチュエータ本体14の動作を変化させることができる。図6に示すように、スリーブ16に取り囲まれるソフトアクチュエータ本体14の任意の部分の変形を抑制することと、スリーブ16における(図45に示すような、例えば、スリット状または切り欠き状の)開口22において変形を促進することにより、ソフトアクチュエータ本体14の長さに沿った任意の場所に屈曲位置を移動させるために、単一のスリーブ16を使用することができる。追加の実施形態では、図3、図4、および図7に示すように、屈曲位置を移動させ、アクチュエータの曲率半径を変化させて、関節のような屈曲を生じさせるために、2つのスリーブを離間して位置決めし配置することができる。加えて、図8～図14に示すように、スリーブ16は、熱成形することができ、または締め付けクランプ24'、(例えば、ケーブルタイを備えた)レース24''、ゴム帯24'''、ジップタイ24''''、相互係止するフックとループ構造24''''(例えば、VELCRO接着)、または縫製糸などの、固定機構24で固定することができ、またはソフトアクチュエータ本体14に巻き付け、熱溶着し、もしくは接着することができる。ソフトアクチュエータ12が医療用途に使用される特定の実施形態では、ソフトアクチュエータ本体14とスリーブ16の両方を、シリコンまたはパリレンポリマーなどの、生体適合性材料で形成または被覆することができる。追加の実施形態では、ソフトアクチュエータ12に作製される「関節」の箇所および屈曲半径を変更するために、スリーブ16を異なる長さに切断することができる。加えて、スリーブ16は、再使用のためにソフトアクチュエータ本体14を解放するためにソフトアクチュエータ本体14から取り外し可能であるように設計することができる(例えば、スリーブ16を、切り取り、滑落させ、解き、引き離し(詳細には、フックとループ構造を使用する場合)、加熱により除去することができる)。

30

40

【0018】

更に多くの実施形態では、図15～図17および図46～図48に示すように、単一のソフトアクチュエータ本体14における多数の軸線の周りに異なる曲率半径を有する多数の関節を作製するためにスリーブ16を使用することができる。ソフトアクチュエータ本

50

体 1 4 は、必ずしも歪み抑制層を含まなくてもよい。代替的に、ソフトアクチュエータ本体は、直線状の延びるソフトアクチュエータまたは任意のエラストマー性袋体とすることができ、かつ開口 2 2 の後ろのスリーブ材料の非切断帯は、図 7 3 ~ 図 8 0 に示すように、歪み抑制層 5 4 の機能を果たすことができる。

【 0 0 1 9 】

スリーブ 1 6 はまた、以下、すなわち、電子機器（例えば、慣性計測ユニットおよび機械式接点スイッチ）用の固定点として機能することと、ソフトセンサ 2 6 および 3 0（例えば、フックとループ構造を相互係止させることにより固定され、互いに縫合され、互いに接着され得るなど）用の固定点として機能することと、剛性装置をソフトアクチュエータ本体 1 4 に接続する（例えば、取付具 3 2、スクープ、レバー、ばね、または作動させる必要がある任意の機構により、アクチュエータ 1 2 に連結する）ためのインターフェースとして機能することと、図 2 5 ~ 図 2 7 に示すように、（例えば、掴むときに位置合わせを容易にするために、工具 3 9 を取り付けのために、または鉄系金属物体 4 0 の迅速な収集に使用するために）磁石 3 8 を一体化させるかまたは埋設することと、3 D 構造を作製するためにスリーブ 1 6 を使用できる、図 3 0 および図 3 1 に示すように、多数のソフトアクチュエータ本体 1 4 を並列に接続するかまたは直列に接続する（例えば、図 2 8、2 9、および図 3 2 ~ 図 3 4 に示すように、X 形関節、T 形関節、および L 形関節または端部同士の関節としての役割を果たす）ことと、（例えば、図 3 5 ~ 図 3 7 に示すように、ブラシ 4 4、粘着性表面、凸凹表面 4 6 により、ならびに、フックおよび / またはループ 4 8 などの取付機構により）物体を把持する、捻る、摺動させる、または転動させるための様々なテクスチャのいずれかを提供することと、図 3 8 および図 3 9 に示すように、管およびワイヤ 5 2 の引っ掛かりや絡まりを最小限に抑えるために周辺チャネル 5 0 を通して管および配線 5 2 を配索することと、を含む全ての一連の用途に対してインターフェース接続する媒体として機能することができる。

【 0 0 2 0 】

図 8 3 ~ 図 8 5 には、物体とインターフェース接続するための把持特徴部 4 9 を含むスリーブ 1 6 が示されており、スリーブ 1 6 はまた、ソフトアクチュエータ本体 1 4 を横切って更に延び、かつ他の実施形態に示すように、屈曲または他の形態の作動のための開口 2 2 または他の特徴部を含む。

【 0 0 2 1 】

他の実施形態において、図 4 0 および図 4 1 に示すように、幅が狭くかつ歪み抑制層 5 4 に沿って間隔を置いて配置される接続されたリング状のスリーブ 1 6 セクションは、上で説明したように、アクチュエータ 1 2 の湾曲動作を大幅に変更することなく、多くのインターフェース用途を達成することができる。

【 0 0 2 2 】

スリーブ 1 6 は、図 4 6 ~ 図 4 8、図 7 6 および図 7 7 に示すように、多数の軸線に沿った多数の屈曲位置を画定する、スリーブ 1 6 に沿ってかつスリーブ 1 6 の周囲に異なる長手方向位置および径方向位置に切り欠きまたはスリット 2 2 を備えた単一片の材料で形成することができ、かつ、図 3 2 ~ 図 3 4 に示すように、複数のソフトアクチュエータ本体 1 4 を接合するために使用できる（例えば、相互接続された多数のスリーブ端部を備えた）単一片の材料で形成することができる。

【 0 0 2 3 】

図 4 2 ~ 図 4 4 に示すように、スリーブ 1 6 の一端部には、ソフトアクチュエータ本体 1 4 に取り付けられかつ空気圧接続部 6 0 を含む固定具 5 8 が存在し、その空気圧接続部 6 0 は、ポンプ 1 8 と、ソフトアクチュエータ本体 1 4 の壁により画定された室 2 0 との間に流体連通をもたらす。（a）0 mm、（b）1 5 mm、および（c）3 0 mm のスリーブ間隔における 2 8 A デュロメータ（2 8 A durometer）スリーブ付きの屈曲するソフトアクチュエータ 1 2 の動作の範囲が、図 4 2 ~ 図 4 4 に比較のためにそれぞれ示されている。影画像 5 6 は、異なる圧力で屈曲するアクチュエータ 1 2 を示している。

【 0 0 2 4 】

スリーブ 1 6 は、ソフトアクチュエータ本体 1 4 の表面上の機械的特徴部（例えば、突起、ペローズ、ケブラー（K e v l a r）リブ、他の幾何学的係止特徴部など）によりソフトアクチュエータ本体 1 4 の表面にしっかりと固定することができ、かつスリーブ 1 6 は、繊維強化材を用いて形成することができる。スリーブ 1 6 はまた、（図 4 9 に示すような）集積電気配線 6 2、回路基板 2 8、加熱要素、冷却要素、温度センサ、配索チャネル 5 0、容量センサ、力センサ 2 6、歪みセンサ 3 0 およびその他を有することができる。

【 0 0 2 5 】

特定の用途において、スリーブ 1 6 は、図 5 0（ここでは、アクチュエータ 1 2 は、例えば 0.5 ~ 2 c m の厚みを有し、例えば長さが 3 ~ 1 5 c m であり得る）に示すように、ソフトアクチュエータ本体 1 4 を人間（または他の動物）の身体部分 6 3、指など、または任意の他の関節のある身体部分に接続することができる。他の実施形態において、スリーブ 1 6 は、ソフトアクチュエータ本体 1 4 を衣類に接続することができる。

【 0 0 2 6 】

追加の実施形態では、図 5 2、図 5 3、図 5 5、図 5 5、および図 5 8 ~ 図 6 0 に示すように、ソフトアクチュエータ 1 2 をマニピュレータ本体 6 4 に組み付けることができ、ここでは、掴むべき物体 6 6 の形状 / 寸法に（例えば、5 % の範囲内で）一致するように、スリーブ 1 6 を異なる長さに切断することができる。比較のために、スリーブのない湾曲するソフトアクチュエータ本体 1 4 を備えたマニピュレータが図 5 1、図 5 4、および図 5 7 に示されており、ここでは、湾曲したソフトアクチュエータ 1 2 が、取り扱うべき物体 6 6 の表面に密着していないことが分かる。図 5 4 ~ 図 5 6 の実施形態では、追加の下向きの力が、物体 6 6 から延びるフック 6 7 を介して物体 6 6 に加えられる。提案されたスリーブ 1 6 の使用は、角張った物体 6 6 に一致する改善された形状と、向上した保持強度とを可能にする。これらの実施形態において、スリーブの長さは、図 6 1 ~ 図 6 9 に示すように、取り扱うべき物体 6 6 の側面の長さに一致するように（例えば、転動、摺動、螺合 / 螺合解除などにより）調整 / 調節することができ、かつスリーブ 1 6 は、剛性と可撓性とエラストマー性とを有する材料から構成するかまたはこれら材料と組み合わせることができる。例えば、スリーブ 1 6 は、図 7 0 および図 7 1 に示すように、柔軟性のある関節部を作るために 2 つの剛性の構成要素 5 4 を接合することができる。

【 0 0 2 7 】

図 7 0 は、繊維強化積層体を備えた繊維強化アクチュエータ 1 2 および繊維強化積層体のない繊維強化アクチュエータ 1 2 の断面比較を示し、図 7 0 (a) は、未加圧の繊維強化アクチュエータ 1 2 の図示の断面図および実際の側面図を示し、図 7 0 (b) は、流体加圧に起因したアクチュエータ壁の膨張を示し（平坦面 1 5 の外側への撓みに留意）、図 7 0 (c) は、繊維強化アクチュエータ 1 2 上の繊維強化積層体の配置を示し、かつ図 7 0 (d) は、スリーブ 1 6 が追加されたときのアクチュエータ 1 2 の図示の断面図を示す。スリーブ 1 6 と繊維強化積層体との組み合わせは、平坦面 1 5 を補強しかつ視覚的に表れる撓みを排除または低減する。

【 0 0 2 8 】

図 8 6 は、図 7 0 の実施形態 (c) の設計に対する代替案を提示しており、ここでは、アクチュエータの部分に補強するために剛性要素 5 4 をスリーブ 1 6 と一体化させる代わりに、真空ジャミングポーチ 8 0 がスリーブ 1 6 に一体化される。本実施形態において、流体ライン 6 0 は真空源に接続する。最初、大気圧においては遊離した粒子または積層層が真空ジャミングポーチ 8 0 内に収容されている。しかしながら、これらのセクションが真空にさらされると、ポーチ壁が、内容物を包囲して、内容物の移動を抑え、より剛性の状態へのポーチ 8 0 の相転移（すなわち、ジャミング）を生じさせる。この構成の有利な特徴は、真空圧力を調節することによりポーチ 8 0 の剛性を調節する能力と、真空を解除することによりポーチ 8 0 の初期の可撓状態に戻すことができる可逆性を含む。

【 0 0 2 9 】

図 8 7 は、開口 2 2 におけるアクチュエータ 1 2 の変形を能動的に制御するために、真空ジャミングポート 8 0 が開口 2 2 と反対側に配置される、スリーブ 1 6 の構成を提示している。図 8 8 は、ソフトアクチュエータ本体 1 4 が加圧されるその概念の図を提示しているが、真空ジャミングポート 8 0 ' は真空下にあり、大気圧下にある外側ポート 8 0 よりも硬くなるので、1 つの開口 2 2 (最も右側) におけるソフトアクチュエータ本体 1 4 の一部が拘束される。

【0030】

Cornell University および Empire Robotics, Inc. により実証されているように、真空ジャミングはまた物体を把持する有効な手段を提供することも判明している (例えば、米国特許出願公開第 20130106127A1 号明細書を参照)。図 8 9 に示すように、大気中において内圧で物体を拾い上げるために、真空ジャミンググリッパ (vacuum jamming gripper) 8 2 は、物体の上部に配置され、かつ物体に適合する。グリッパ 8 2 を硬化させるために真空が適用され、挟持による摩擦、取り込みおよび真空吸引により把持力を発生させる。更に、グリッパ 8 2 内に空気を注入して真空を解除することにより物体を解放することができる。図 8 9 は、目下の作業に応じて、この把持性能を任意にアクチュエータ 1 2 に追加するかまたはアクチュエータ 1 2 から除去することができるように、真空ジャミンググリッパ 8 2 をスリーブ 1 6 と一体化させることができる概念を提示している。

【0031】

図 7 1 は、ソフトアクチュエータ本体 1 4 の平坦表面 1 5 上に 0.8 mm の厚さの繊維強化積層体を備えたスリーブ 1 6 における開口 2 2 を横切る (a) 0 mm、(b) 15 mm、および (c) 30 mm の間隔を有する 28 A デュロメータの屈曲するソフトアクチュエータ 1 2 の動作の範囲を図示している。局所的な延出を許容する延在セグメント 7 0 を備えたソフトアクチュエータ 1 2 が、図 7 2 および図 7 3 に示されている。本実施形態では、実質的に非弾性の外側スリーブ 1 6 ' のセクション間の間隙と、ソフトアクチュエータ本体 1 4 を覆う膨張可能な内側スリーブ 1 6 ' とにより延出を容易にする。外側スリーブ 1 6 ' が除去された (間隙をもたらす) 場所では、露出した内側スリーブ 1 6 ' が径方向に膨張して、ソフトアクチュエータ 1 2 に対して流入および流出する流体流れに接触することができる。屈曲関節では、これらの箇所でのソフトアクチュエータ 1 2 の屈曲を容易にするために、スリーブ 1 6 ' および 1 6 ' ' を完全に切断せずにスリーブ 1 6 ' と 1 6 ' ' の両方に開口 2 2 を作ることができる。更に、(数例を挙げると、屈曲、延出、収縮、捻り延出、および捻り屈曲などの) 2 つ以上のタイプの動作をもたらすアクチュエータ 1 2 については、これらの動作をロックまたはアンロックする手段としてスリーブ 1 6 を使用することができる。

【0032】

図 7 4 ~ 図 7 6 に示すように、スリーブ 1 6 は、屈曲 / 枢動箇所の各々に連続した長さのスリーブ材料を提供するために開口 2 2 の後ろに非切断部 6 9 を含む。図 7 7 には、異なる向きの複数の軸線の周囲でアクチュエータの屈曲を生じさせるように構成された複数の開口 (スリット) 2 2 を備えたスリーブ 1 6 内に収容された直線状に延びるソフトアクチュエータ本体 1 4 が示されており、かつ図 7 8 には、共通の向きと一定の間隔とを共有する複数の開口 2 2 を備えたスリーブ 1 6 により屈曲するアクチュエータに変換された直線状に延びるソフトアクチュエータ本体 1 4 が示されている。

【0033】

各アクチュエータ 1 2 が、ソフトアクチュエータ本体 1 4 の直線作動を屈曲 / 湾曲動作に変換するための複数の開口 2 2 を有するスリーブ 1 6 内に収容された直線状に延びるソフトアクチュエータ本体 1 4 を含む、湾曲するソフトアクチュエータ 1 2 を各指に含むパワーグリッパグローブ (power grip glove) 7 2 が、図 7 9 および図 8 0 に示されている。装着者の関節の箇所に一致するように開口 2 2 の位置をカスタマイズすることができる。ソフトアクチュエータ本体 1 4 の弾性は、例えば、アクチュエータ 1 2 が接触する屈曲する指との接触を (滑らすことなく) 維持するために、アクチュエータ

１２が関節において延びることを可能にする。他の実施形態では、アクチュエータ１２を別のタイプの着用可能な衣服に組み込むことができ、ここでは、アクチュエータ１２を、他の関節に沿って構成し、かつ必要に応じて、より大きな力またはより小さな力を生じさせるように設計することができる。また、ポンプ１８を制御し、それによりアクチュエータ１２の作動を制御するために、制御電子機器を衣服に組み込むことができる。

【００３４】

いくつかの用途では、長期間の再使用のためにポンプ１８が保持される一方で、アクチュエータ１２を使い捨て可能として（例えば、１カ月間の使用後など、一定期間の使用後に廃棄して）取り替えることができる。

【００３５】

他の実施形態において、ソフトアクチュエータ１２は、人間または他の生物の身体部分にソフトアクチュエータ１２を接続することなく（例えば、ロボットハンドを作製するために）単独で 사용할 ことができる。例えば、複数のアクチュエータ１２は、人間が立ち入れない環境（例えば、海底２００メートル以上の深さなどの、かなりの深度）において物体を拾い上げて取り扱うことができる掴み器を形成するために、ハブから延びることができる。

【００３６】

特定の実施形態では、ソフトアクチュエータ本体１４を、図８１に示すようにリールで提供し、所望の長さに切断することができる。本実施形態を使用して、リールから所望の長さのソフトアクチュエータ本体１４を切断し、次いで、図８２に示すようにソフトアクチュエータ本体１４の端部にキャップを被せることにより、ソフトアクチュエータ１２を迅速に組み立てることができる。図８２に図示する端部キャップ６８の少なくとも一方は、アクチュエータ本体１４の作動のための動力を供給するためにソフトアクチュエータ本体１４内への流体の圧送を可能にするための、端部キャップ６８を貫通する組み込み式の空気圧または油圧接続部であって（流体源に連結された空気圧または油圧ポンプ１８が接続される）空気圧または油圧接続部を含み、かつ所望通りにアクチュエータ、１２の屈曲または湾曲を可能にするための開口２２を備えたスリーブ１６をソフトアクチュエータ本体１４に外嵌することができる。

【００３７】

追加の実施形態において、スリーブ１６は、異なる軸線に沿った異なる特性（例えば、異なる歪み特性）をアクチュエータ１２に付与するために異方性材料で形成することができる。加えて、スリーブ１６は、後にスリーブ１６をエポキシまたはポリウレタンで被覆することにより剛性化できる織布材料で形成することができる。更にまた、スリーブ１６は、複数の空気室を収容する一体型ソフトアクチュエータ本体１４に適用することができる。更に多くの実施形態において、スリーブ１６は、本開示のソフトアクチュエータ１２により機械的に補助できる、動作を生じさせるために筋肉を動かす人間の活動に付随して生じる信号（例えば、電気信号、筋活動）を検出するように構成された電子センサ（例えば、筋電図（ＥＭＧ））を含むことができる。

【００３８】

本発明の実施形態を説明する際に、明確にするために特定の専門用語が使用される。説明の目的で、特定の用語は、同様の結果を実現するために同じように動作する技術的および機能的等価物を少なくとも含むように意図されている。加えて、本発明の特定の実施形態が複数のシステム要素または方法ステップを含むいくつかの例では、それらの要素またはステップを単一の要素またはステップに置き換えてもよく、同様に、単一の要素またはステップを同じ目的を果たす複数の要素またはステップに置き換えてもよい。更に、本発明の実施形態に関して種々の特性に関するパラメータまたは他の値が本明細書に規定されている場合、別段の規定がない限り、それらのパラメータまたは値を、１００分の１、５０分の１、２０分の１、１０分の１、５分の１、３分の１、２分の１、３分の２、４分の３、５分の４、１０分の９、２０分の１９、５０分の４９、１００分の９９などだけ上方もしくは下方に（または１、２、３、４、５、６、８、１０、２０、５０、１００倍など

10

20

30

40

50

だけ上方に)、または四捨五入したそれらの近似値により調整することができる。その上、本発明についてその特定の実施形態を参照して示し説明してきたが、当業者であれば、本発明の範囲から逸脱することなく、形態と細部における種々の置換および変更を施してもよいことを理解するであろう。更にまた、他の態様、機能、および利点も本発明の範囲内にあり、かつ、本発明の全ての実施形態は、必ずしも上で説明した利点の全てを達成する必要はないし、上で説明した特徴の全てを有する必要もない。加えて、ステップ、要素および特徴を、他の実施形態との関連で同様に使用することができる。本文の全体を通じて引用された参考文献のテキスト、雑誌論文、特許、特許出願などを含む参考文献の内容は、その全体が参照により本明細書に組み込まれ、これらの参考文献からの適切な構成要素、ステップ、および特徴は、本発明の実施形態に含まれても、含まなくてもよい。また更に、「背景技術」の項で特定された構成要素およびステップは、本開示に不可欠なものであり、本発明の範囲内における本開示の別の箇所で説明された構成要素およびステップとの関連でまたはそれらの代わりに使用することができる。方法請求項において、段階が特定の順序で列挙される場合には(参照を容易にするために加えられた順序付け先頭文字の有無にかかわらず)、それら段階は、用語および語句により別段の規定または暗示がない限り、列挙される順序に時間的に限定されるものと解釈されるべきではない。

10

【図 1】

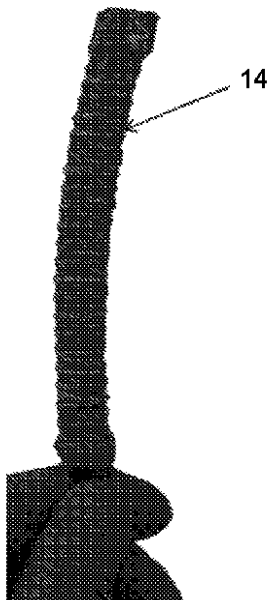


FIG. 1

【図 2】

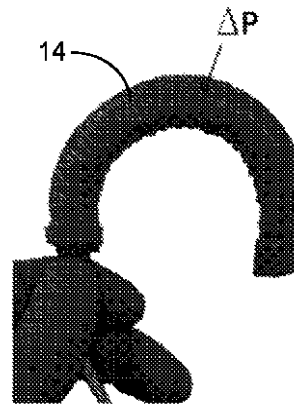


FIG. 2

【図 3】

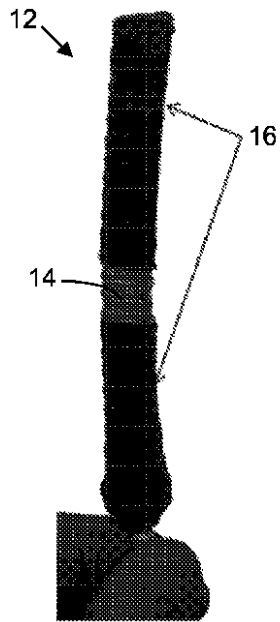


FIG. 3

【図 4】

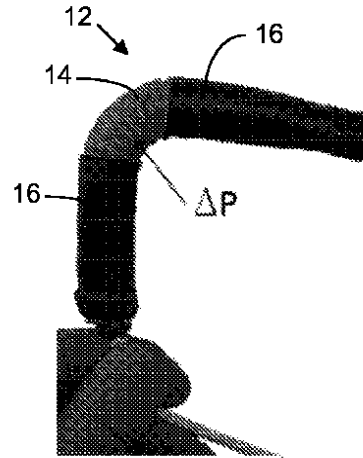


FIG. 4

【図 5】

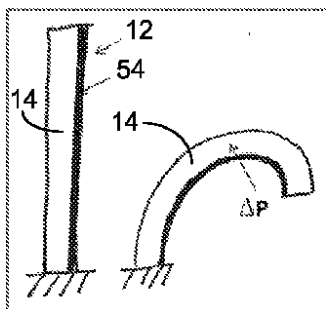


FIG. 5

【図 7】

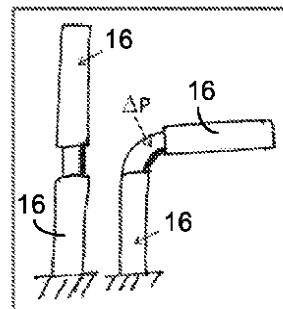


FIG. 7

【図 6】

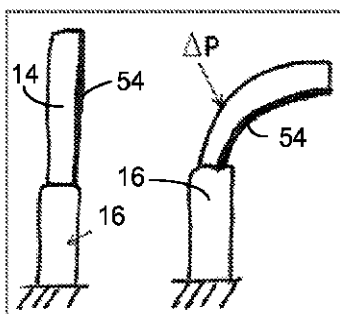


FIG. 6

【図 8】

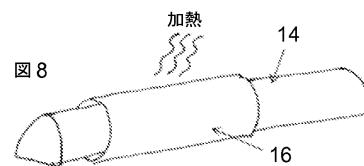
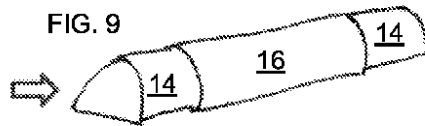
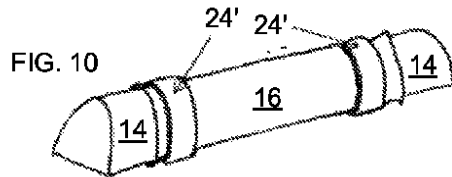


図 8

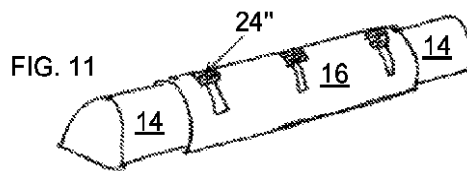
【図 9】



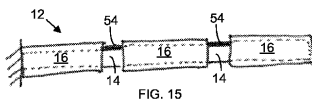
【図 10】



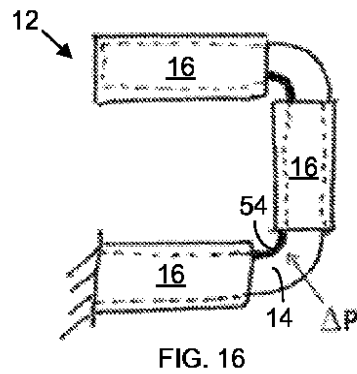
【図 11】



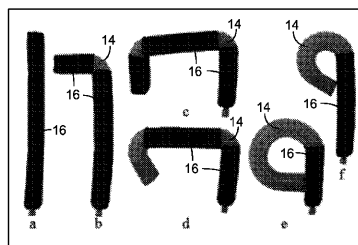
【図 15】



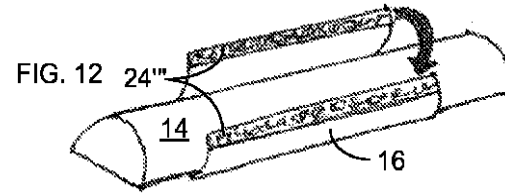
【図 16】



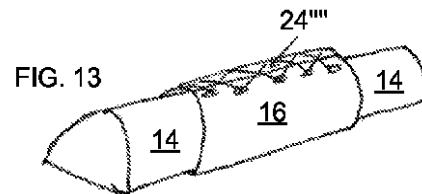
【図 17】



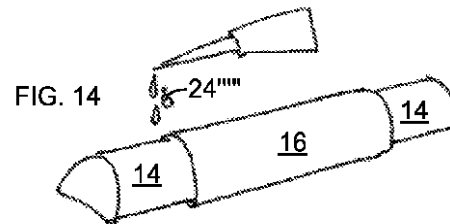
【図 12】



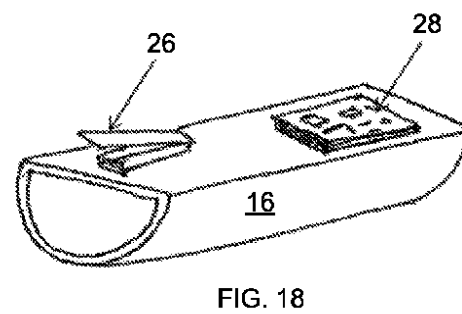
【図 13】



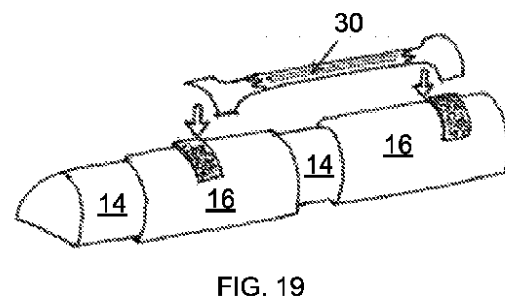
【図 14】



【図 18】



【図 19】



【図 20】

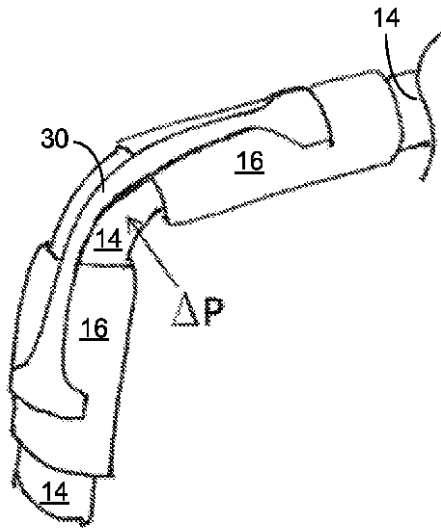


FIG. 20

【図 21】

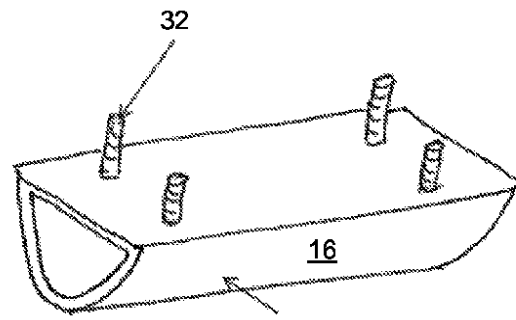


FIG. 21

【図 22】

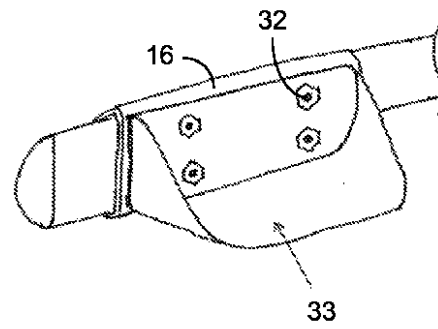


FIG. 22

【図 23】

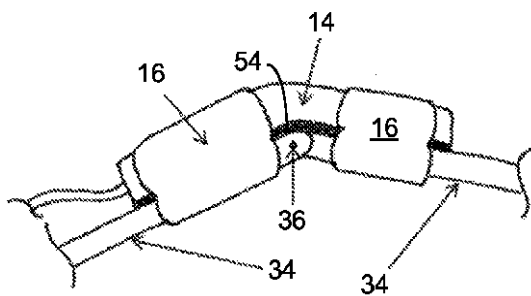


FIG. 23

【図 25】

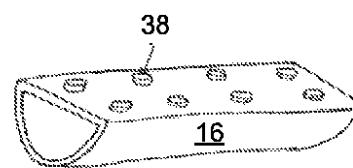


FIG. 25

【図 24】

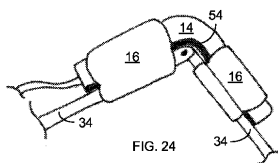


FIG. 24

【図 26】

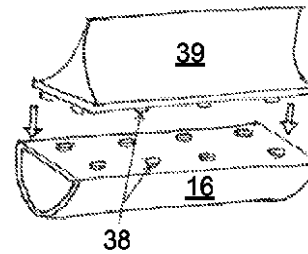


FIG. 26

【図 27】

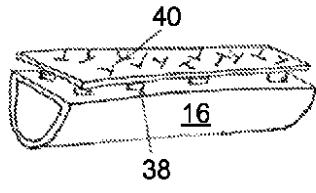


FIG. 27

【図 28】

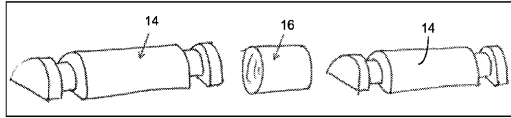


FIG. 28

【図 29】

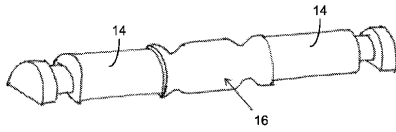


FIG. 29

【図 31】

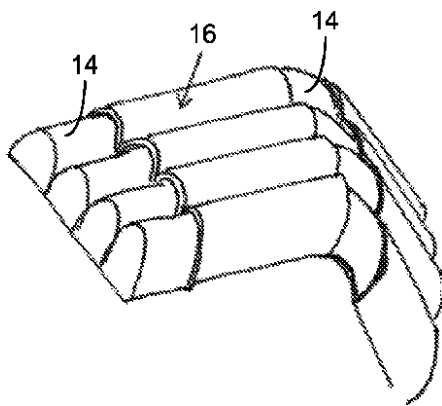


FIG. 31

【図 30】

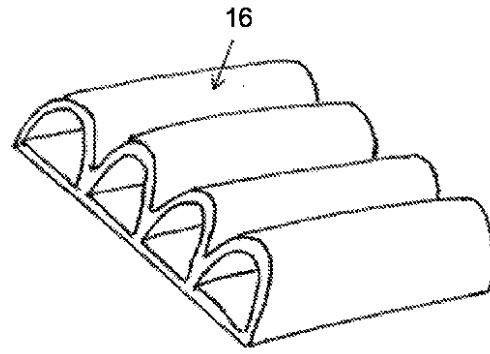


FIG. 30

【図 32】

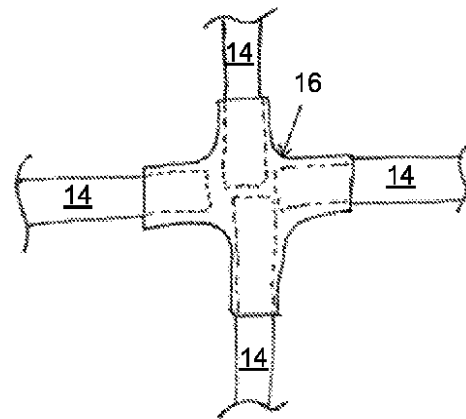


FIG. 32

【図 4 3】

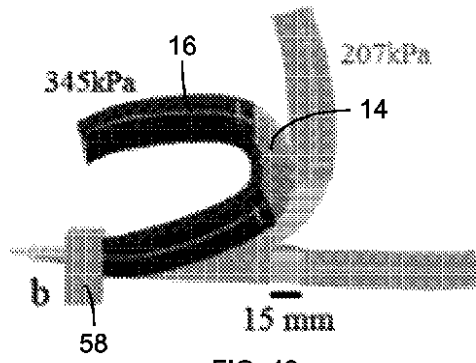


FIG. 43

【図 4 4】

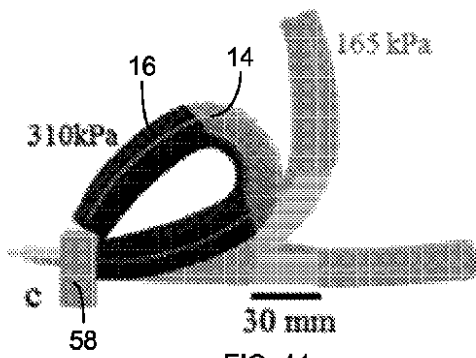


FIG. 44

【図 4 5】

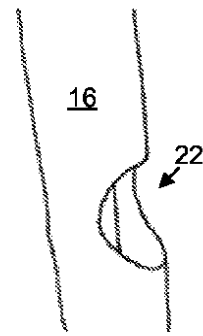


FIG. 45

【図 4 6】

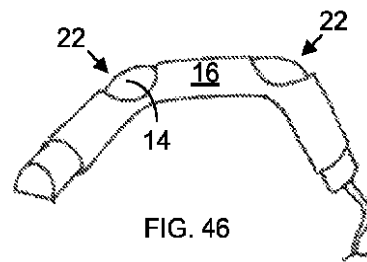


FIG. 46

【図 4 7】

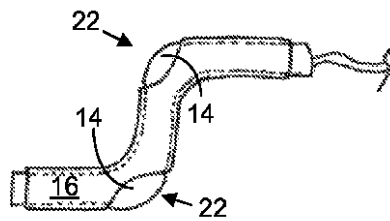


FIG. 47

【図 4 9】

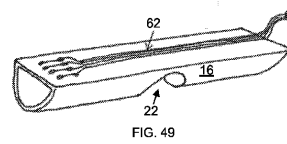


FIG. 49

【図 5 0】

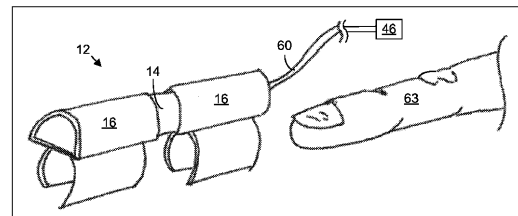


FIG. 50

【図 4 8】

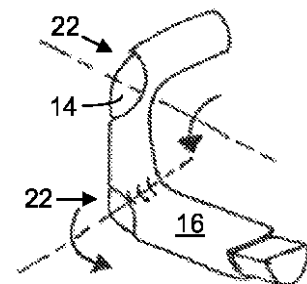


FIG. 48

【図 5 1】

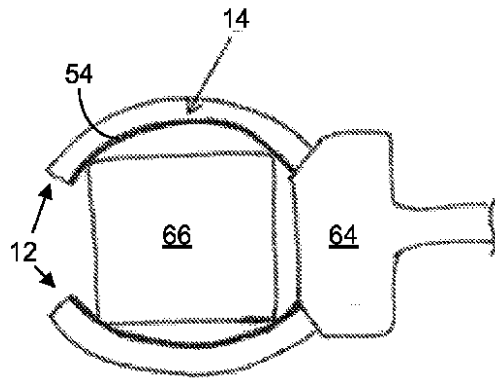


FIG. 51

【図 5 2】

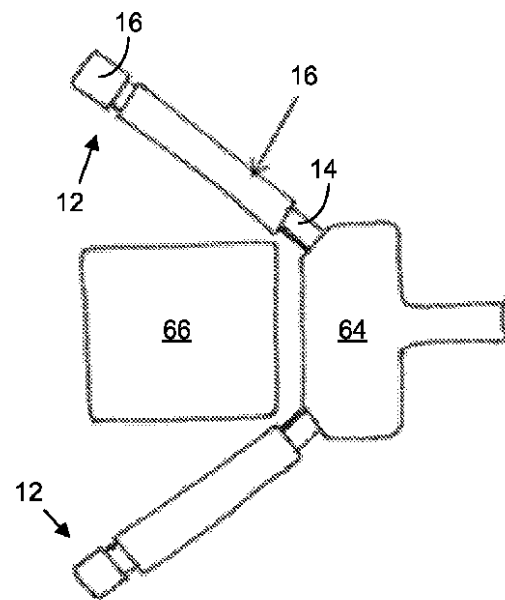


FIG. 52

【図 5 3】

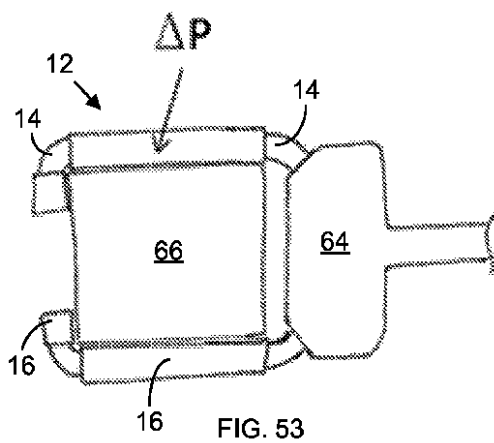


FIG. 53

【図 5 5】

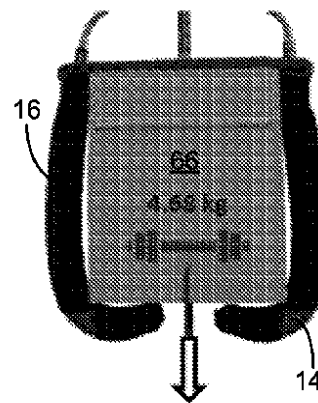


FIG. 55

【図 5 4】

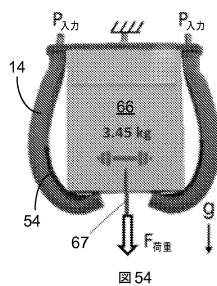


図 54

【図 5 6】

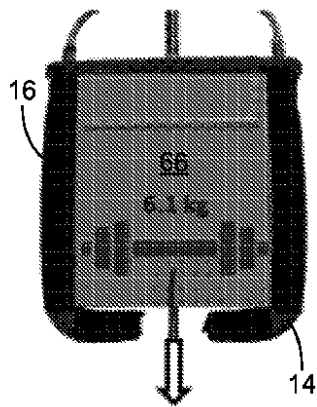


FIG. 56

【図 5 7】

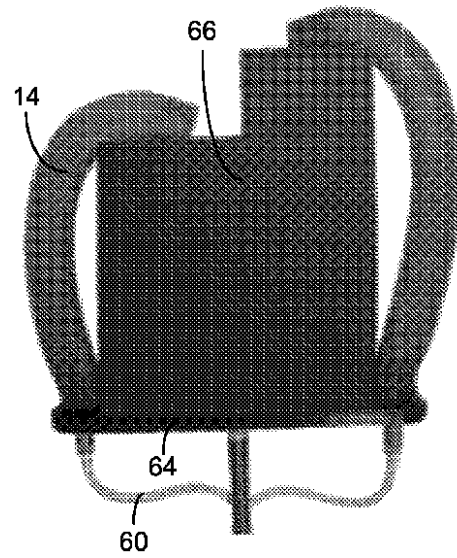


FIG. 57

【図 5 8】

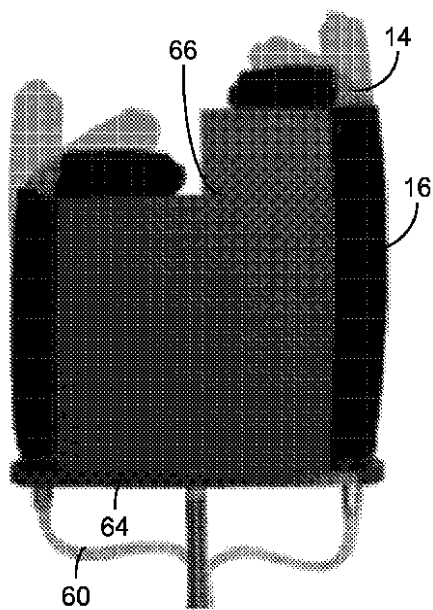


FIG. 58

【図 5 9】

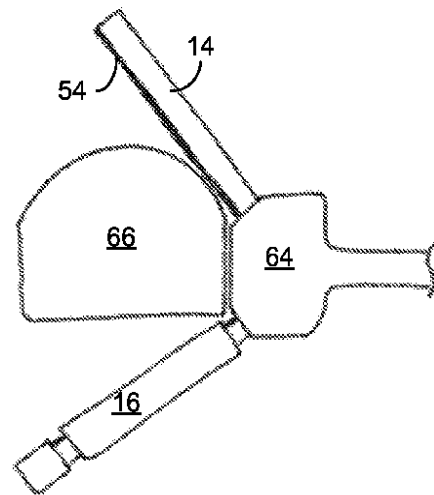


FIG. 59

【図 6 0】

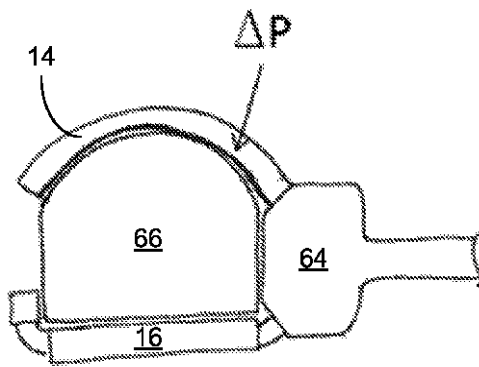
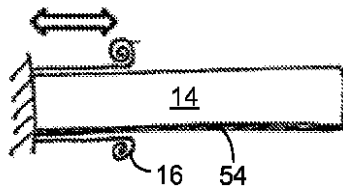


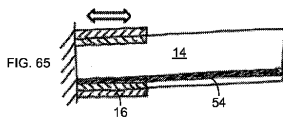
FIG. 60

【図 6 1】

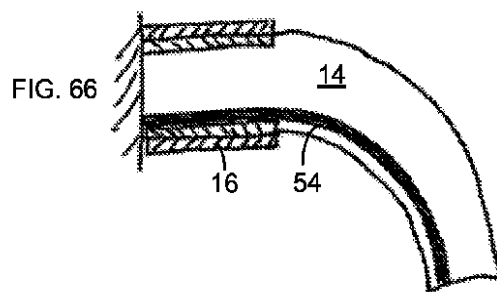
FIG. 61



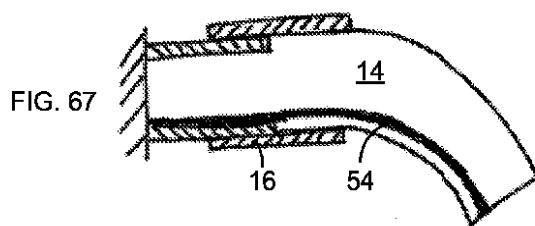
【図 6 5】



【図 6 6】

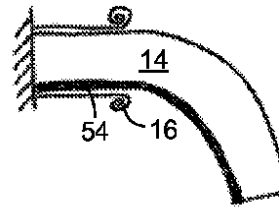


【図 6 7】



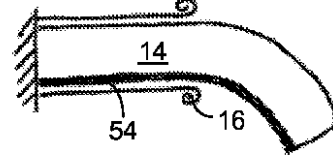
【図 6 2】

FIG. 62



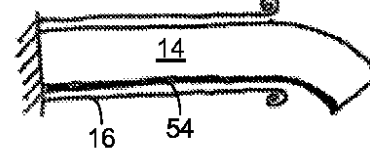
【図 6 3】

FIG. 63



【図 6 4】

FIG. 64



【図 6 8】

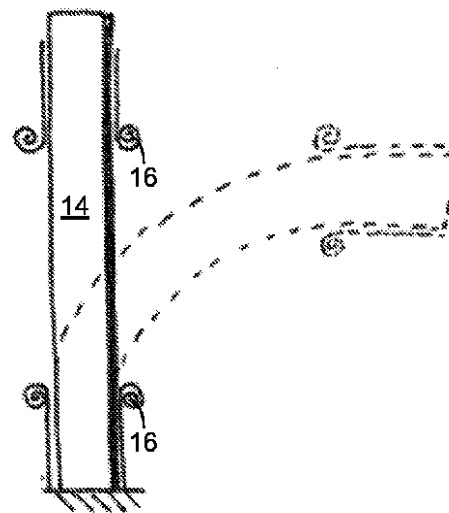


FIG. 68

【図 69】

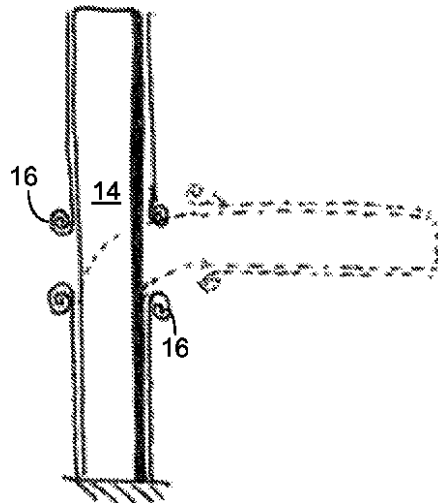


FIG. 69

【図 70】

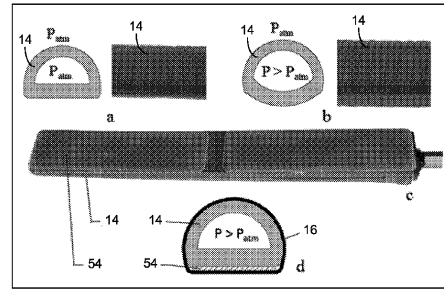


FIG. 70

【図 71】

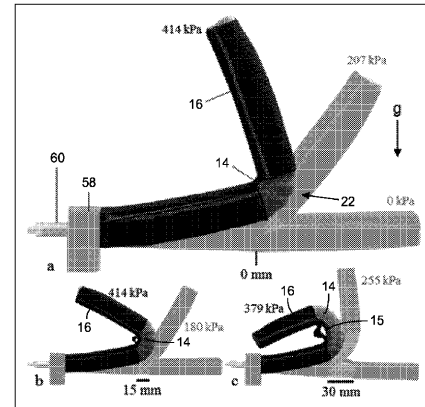


FIG. 71

【図 72】

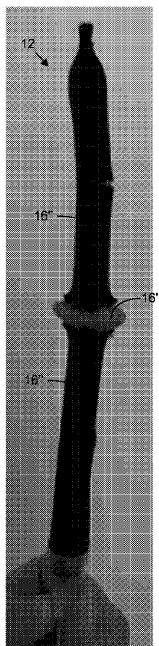


FIG. 72

【図 73】

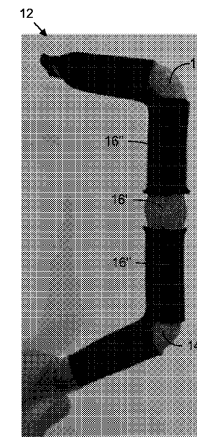


FIG. 73

【図 74】

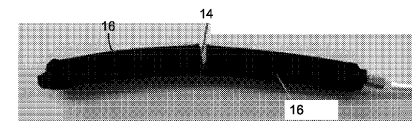


FIG. 74

【図 75】

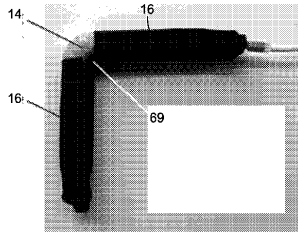


FIG. 75

【図 78】

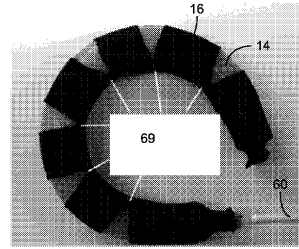


FIG. 78

【図 76】

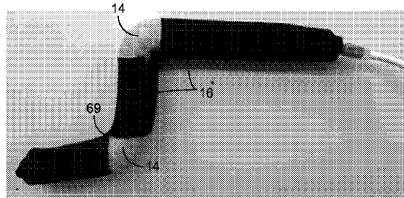


FIG. 76

【図 79】

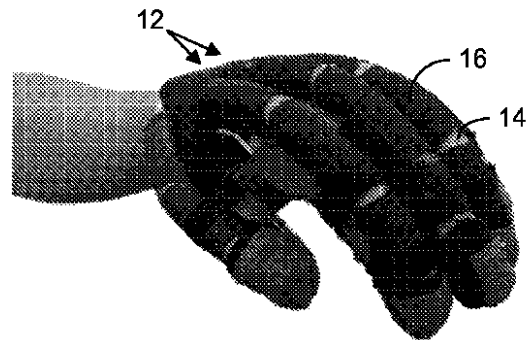


FIG. 79

【図 77】

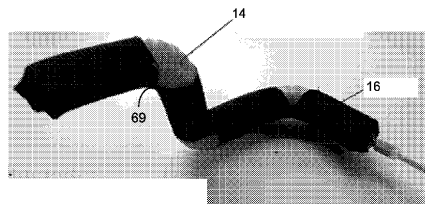


FIG. 77

【図 80】

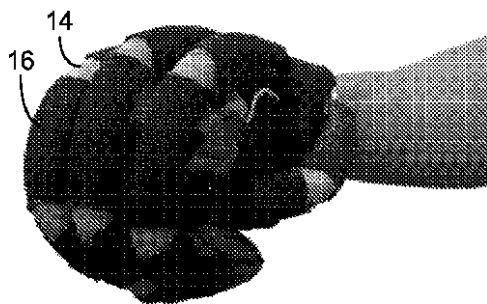


FIG. 80

【図 82】

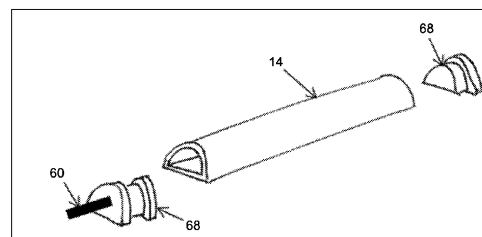


FIG. 82

【図 81】

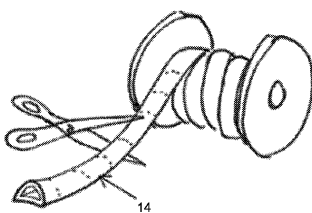


FIG. 81

【図 83】

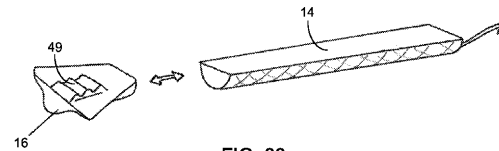


FIG. 83

【図 84】

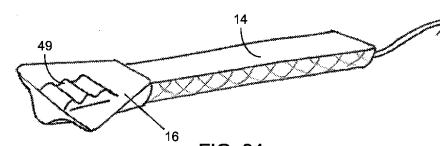


FIG. 84

【図 85】

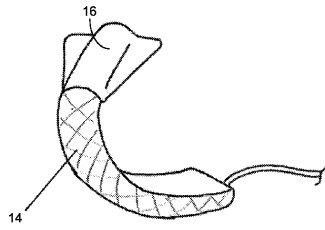


FIG. 85

【図 88】

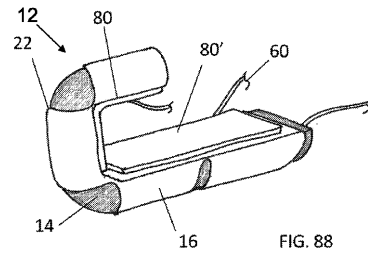


FIG. 88

【図 86】

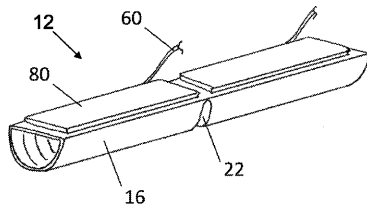


FIG. 86

【図 89】

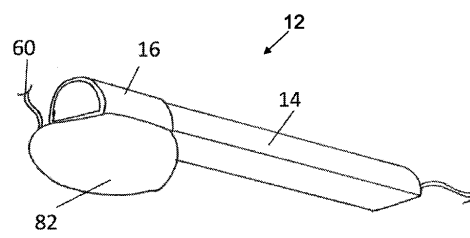


FIG. 89

【図 87】

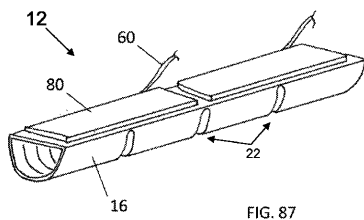


FIG. 87

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平 5 - 3 3 2 3 2 5 (J P , A)
独国特許出願公開第 1 0 3 1 6 9 5 9 (D E , A 1)
特開平 4 - 1 1 1 7 9 2 (J P , A)
国際公開第 0 1 / 7 9 7 0 7 (W O , A 1)
国際公開第 0 1 / 7 2 4 7 9 (W O , A 1)
特開 2 0 0 9 - 6 8 5 3 1 (J P , A)
国際公開第 2 0 1 2 / 1 2 4 5 4 6 (W O , A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

B 2 5 J	1 / 0 0	-	2 1 / 0 2
F 1 5 B	1 5 / 0 0	-	1 5 / 2 8