

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7237932号

(P7237932)

(45)発行日 令和5年3月13日(2023.3.13)

(24)登録日 令和5年3月3日(2023.3.3)

(51)国際特許分類

F 0 3 G 7/06 (2006.01)

F I

F 0 3 G 7/06

D

請求項の数 17 (全22頁)

(21)出願番号	特願2020-508553(P2020-508553)	(73)特許権者	520049503
(86)(22)出願日	平成30年8月29日(2018.8.29)		アルマテック ソシエテ アノニム
(65)公表番号	特表2020-532672(P2020-532672 A)		スイス 1 0 1 5 ローザンヌ ウペエフ
(43)公表日	令和2年11月12日(2020.11.12)		エル イノヴェイション パーク バティ
(86)国際出願番号	PCT/IB2018/056595	(74)代理人	100094569
(87)国際公開番号	WO2019/043599		弁理士 田中 伸一郎
(87)国際公開日	平成31年3月7日(2019.3.7)	(74)代理人	100103610
審査請求日	令和3年6月15日(2021.6.15)		弁理士 ▲吉▼田 和彦
(31)優先権主張番号	17188787.0	(74)代理人	100109070
(32)優先日	平成29年8月31日(2017.8.31)		弁理士 須田 洋之
(33)優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁(EP)	(74)代理人	100095898
			松下 満
		(74)代理人	100098475
			弁理士 倉澤 伊知郎

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 形状記憶ベースのアクチュエータ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

形状記憶材料（SMM）で作られた少なくとも1つのストランド（10a、10b、10c、10d、10e、10f）であって、前記ストランドが、前記SMMのストランドの収縮状態に対応する第1の長さと同前記SMMのストランドの伸長状態に対応する第2の長さとの間で可変の長さを有し、前記収縮状態と同前記伸長状態の一方が非変形状態であり、前記収縮状態と同前記伸長状態の他方が、前記非変形状態からの前記SMMのストランドの所定の長手方向の変形を伴い、前記SMMのストランドは、所定の温度に加熱されたときに所定の長手方向の変形を伴う前記状態から前記非変形状態に戻るよう構成され、前記SMMのストランドは、支持構造体の固定機械的接続部に装着された固定端部と、第1及び第2の位置の間で移動可能な可動機械的接続部（14）に装着されて前記SMMのストランドの前記可変の長さが前記第1の長さ及び前記第2の長さの一方から他方に変わる時に前記可動機械的接続部が前記第1及び第2の位置の一方から他方に移動することができるようにする移動端部と、を含む、少なくとも1つのストランドと、

前記SMMのストランド（10a、10b、10c、10d、10e、10f）の周りにコイル状にされた少なくとも1つのコイル状加熱線（16a、16b、16c、16d）を含み、前記SMMのストランドと熱的且つ機械的接触する抵抗電気加熱手段（16a、16b、16c、16d、24a、24b、26）であって、熱が、前記少なくとも1つのコイル状加熱線を通る電流によって前記少なくとも一つのコイル状加熱線（16a、16b、16c、16d）内で生成され、前記少なくとも一つのコイル状加熱線（16a

、16b、16c、16d)内で生成された熱は、前記SMMのストランド内に流れて前記SMMのストランドを所定の温度を超えるように加熱する、抵抗電気加熱手段(16a、16b、16c、16d、24a、24b、26)と、
を備えたアクチュエータ(100)において、

前記コイル状にされた加熱線(16a、16b、16c、16d)が円形螺旋を形成し、前記円形螺旋のピッチは、前記ストランドの長さが前記第1の長さから前記第2の長さになるときに前記ストランドの長さと共に増加するように構成され、前記ストランドの長さが前記第2の長さから前記第1の長さになるときに前記ストランドの長さと共に減少するように構成され、前記円形螺旋の均一な勾配は、前記SMMのストランド(10a、10b、10c、10d、10e、10f)が前記第1の長さから前記第2の長さに伸長するか、又は前記第2の長さから前記第1の長さに収縮することによって引き起こされる前記円形螺旋の弧長の任意の実質的な変化を回避するように選択される、
ことを特徴とする、アクチュエータ(100)。

10

【請求項2】

前記円形螺旋の均一な勾配は、前記SMMのストランド(10a、10b、10c、10d、10e、10f)が前記第1の長さから前記第2の長さに伸長するか、又は前記第2の長さから前記第1の長さに収縮することによって引き起こされる前記円形螺旋の弧長の任意の実質的な変化が0.2%を超えないほどになるように選択される、請求項1に記載のアクチュエータ。

20

【請求項3】

前記SMMのストランド(10a、10b、10c、10d、10e、10f)の長さが前記第1の長さであるときに、前記円形螺旋の均一な勾配 b/a の大きさは、以下の区間：

【数1】

$$b/a = \sqrt[2]{\frac{\epsilon + 1 - \delta}{\epsilon(\epsilon + 1)(\epsilon + 2)}} \pm 0.07$$

に含まれ、式中、 $2\% \leq \epsilon \leq 4\%$ 、及び $(\delta < \epsilon + 1)$ である、請求項1又は2に記載のアクチュエータ。

30

【請求項4】

前記SMMのストランド(10a、10b、10c、10d、10e、10f)の長さが前記第1の長さであるときに、前記円形螺旋の均一な勾配 b/a の大きさは、以下の区間：

【数2】

$$b/a = \sqrt[2]{\frac{\epsilon + 1 - \delta}{\epsilon(\epsilon + 1)(\epsilon + 2)}} \pm 0.05$$

に含まれ、式中、 $5\% \leq \epsilon \leq 7\%$ 、及び $(\delta < \epsilon + 1)$ である、請求項1又は2に記載のアクチュエータ。

40

【請求項5】

前記SMMのストランド(10a、10b、10c、10d、10e、10f)の長さが前記第1の長さであるときに、前記円形螺旋の均一な勾配 b/a の大きさは、以下の区間：

【数3】

$$b/a = \sqrt[2]{\frac{\epsilon + 1 - \delta}{\epsilon(\epsilon + 1)(\epsilon + 2)}} \pm 0.03$$

50

に含まれ、式中、 $8\% \leq \varepsilon \leq 10\%$ 、及び $(\delta < \varepsilon + 1)$ である、請求項1又は2に記載のアクチュエータ。

【請求項6】

前記円形螺旋の均一な勾配は、前記SMMのストランド(10a、10b、10c、10d、10e、10f)の長さが前記第1の長さであるときに0.62~0.76(好ましくは0.625~0.73)である、請求項1又は2に記載のアクチュエータ。

【請求項7】

前記ストランド(10a、10b、10c、10d、10e、10f)が、導電性形状記憶合金(SMA)で作られ、前記加熱線(16a、16b、16c、16d)の第1の端部(24b)は、前記移動端部近傍で前記ストランドに電氣的に接続され、前記ストランドの前記固定端部は、電力供給装置の極の一方に接続され、前記加熱線の前記第2の端部(24a)は、前記電力供給装置の他方の極に接続される、請求項1から6の何れか一項に記載のアクチュエータ。

【請求項8】

前記電気加熱手段(16a、16b、16c、16d、24a、24b、26)は、並列に接続されて同じ軸線を有する合同の円形螺旋のセットを形成する複数の加熱線(16a、16b、16c、16d)を含む、請求項1から7の何れか一項に記載のアクチュエータ。

【請求項9】

前記アクチュエータが、並列に配置された複数のSMMのストランド(10a、10b、10c、10d、10e、10f)を備え、前記各ストランドが、前記固定機械的接続部(12)に装着された固定端部と、前記可動機械的接続部(14)に装着された移動端部とを含む、請求項1から8の何れか一項に記載のアクチュエータ。

【請求項10】

前記アクチュエータが、前記第1及び第2の位置間の前記可動機械的接続部(14)の前後の移動を2つの異なる安定位置間の機械出力接続部(140)の一方向又は他方向の変位に変換するように配置された双安定機構を備える、請求項1から9の何れか一項に記載のアクチュエータ。

【請求項11】

前記ストランド(10a、10b、10c、10d、10e、10f)を加熱する前記電気手段(16a、16b、16c、16d、24a、24b、26)は、前記SMMのストランドが所定の長手方向の変形を伴う状態から前記非変形状態に戻ると、前記電気手段をオフにするように配置されたスイッチ(142)を含む、請求項1から10の何れか一項に記載のアクチュエータ。

【請求項12】

前記アクチュエータは、前記SMMのストランドが前記非変形状態からその所定の長手方向の変形に到達したときに前記可動機械的接続部(14)のバンパー要素が当接するように配置された機械的ストッパ(152)を備える、請求項1から11の何れか一項に記載のアクチュエータ。

【請求項13】

断熱材の第1の部片(28a)が、前記SMMのストランド(10)の前記固定端部と前記固定機械的接続部(12)との間に差し込まれ、断熱材の第2の部片(28b)が、前記移動端部と前記可動機械的接続部(14)との間に差し込まれる、請求項1から12の何れか一項に記載のアクチュエータ。

【請求項14】

前記SMMは、Cu-Al-Niである、請求項1から13の何れか一項に記載のアクチュエータ。

【請求項15】

前記SMAストランドは、Cu-Al-Niの単結晶で作られる、請求項14に記載のアクチュエータ。

10

20

30

40

50

【請求項 16】

前記 SMM は、Ni-Ti である、請求項 1 から 13 の何れか一項に記載のアクチュエータ。

【請求項 17】

前記加熱線は、Ni-Cr で作られる、請求項 1 から 16 の何れか一項に記載のアクチュエータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、形状記憶材料（SMM）で作られたストランドであって、該ストランドが、SMM のストランドの非変形状態に対応する第 1 の長さとは非変形状態から所定の長手方向の変形を伴う状態に対応する第 2 の長さとの間で可変である長さを有する、ストランドを備えたアクチュエータに関し、SMM ストランドは、所定の温度に加熱されたときに所定の長手方向の変形を伴う状態から非変形状態に戻るよう構成され、SMM ストランドは、支持構造体の固定機械的接続部に装着された固定端部と、第 1 及び第 2 の位置の間で移動可能な可動機械的接続部に装着され、SMM ストランドの可変の長さが第 1 の長さ及び第 2 の長さの一方から他方に変わるときに可動機械的接続部が第 1 及び第 2 の位置の一方から他方に移動することができるようにする移動端部と、を含み、上記アクチュエータは、ストランドの周りにコイル状にされた少なくとも 1 つの加熱電線を含む、ストランドを加熱する電気手段を更に備える。

【背景技術】

【0002】

アクチュエータは、多種多様な用途で必要とされる。特に、宇宙船の設計者は、高度に信頼性が高く、軽量且つ効率的な単一の又は多重使用のアクチュエータを探し求めている。

【0003】

一般的に形状記憶材料（SMM）、特に形状記憶合金（SMA）は、比較的低い温度で擬塑性変形させることができる材料であり、何らかのより高い温度に晒されると、元の形状に戻るようになる。比較的幅広い種類の材料が形状記憶効果を示すことが知られているが、大きな歪み量を回復させることができるもの、又は形状が変わると大きな力を発生するものだけが、アクチュエータでは一般的に使用されている。

【0004】

新しい SMA デバイス、特にアクチュエータの開発が盛んになっている。材料 CTE（熱膨張率）に基づいて動作するバイメタルアクチュエータ又はデバイスに関する事例とは異なり、SMA アクチュエータでは、1 つの状態からもう 1 つの状態への回復は、狭い温度範囲（ほぼ 10℃）にわたって発生する。これは、100℃に達したときの水の沸騰に類似している（すなわち、材料が臨界温度に達したときに比較的突然に起こる「状態変化」がある）。更に、SMA 技術を使用することは、標準技術を使用した同じシステムと比較すると、システムの複雑さを低減するのに有効な方法とすることができる。実際に、SMA の利点は、システムにおいて同じ構成要素が構造的な役割と能動的な役割の両方を果たすことができる点である。加えて、一部の既知の SMA アクチュエータは、緩やかな動作で（従って、衝撃を回避しながら）複数回起動させることができ、極めて信頼性が高い。

【0005】

最も一般的に使用される SMA は、「ニチノール」合金としても知られている、ニッケルチタン（Ni-Ti）合金である。ニチノール合金の 1 つの顕著な特徴は、遷移温度が比較的低いこと（典型的には約 70℃）である。もう 1 つの顕著な特徴は、ニチノールが、約 70～100 μΩ・cm の抵抗率の電気抵抗があることである。抵抗率が比較的高いという利点は、単に電流を通すことによって、ニチノールの部片の温度を引き上げることが可能になる点である。実際に、物体の電気抵抗は、物体が作られている材料の抵抗率に正比例し、物体の断面積に反比例する。従って、電線形の Ni-Ti 片の場合、電気抵抗が極めて大きく、適度に強い電流が、ニチノール電線の温度を形状記憶遷移温度よりも上

回って上昇させるのに十分に大きくすることができることは、理解されるであろう。対照的に、ニチノール部片が電線形ではないとき、又は電線形であるが大きな断面積を有する場合でも、チノール部片の温度を引き上げるのに必要な電流の強度は、宇宙船の搭載される電力インフラの能力を超えることが多い。これらの状況においては、他の加熱法が必要とされる。

【0006】

代替の加熱法が知られている。例えば、特許文献の米国特許第5,312,152号明細書では、154.9mmの非変形（記憶）長を有するNi-Ti SMA管の周りに構築されたアクチュエータが開示されている。この管状要素は、最初に、擬塑性的に約10mm伸長し、その後、遷移温度にまで加熱されると記憶長に収縮して戻ることができる。SMA管は、外径8.13mm及び内径7.11mmを有する。従って、有効断面積はほぼ12.2mm²である。このような場合、SMA要素に電流を流すことによってSMA要素の遷移温度を上回って加熱することは、電流に必要とされる最小強度の点で過剰要求である可能性がある。

【0007】

SMA管の温度を上昇させるために、上述の特許文献では、2つの可撓性サーモfoil電気抵抗加熱器を管の円筒状外壁に当接して配置することを教示している。この従来技術の文献では更に、熱収縮性テープのオーバーラップを使用して、2つの加熱器を所定の場所に保持することを教示している。上記従来技術文献の図1は、SMA管が変形（すなわち伸長）状態にあるアクチュエータを示している。図面から判断して、2つの組み付けられたサーモfoil加熱器によって形成されたスリーブは、SMA管の円筒状中心分の75～80%を覆うのに十分に長い。管は、遷移温度まで加熱されると、伸長前の形状を回復する。プロセスにおいて、管の長さは、約6.5%低減される。サーモfoilと管の表面との間に接着剤がないので、管の一部は、サーモfoilスリーブの内側で長手方向に滑動することができ、その結果、長さの変化に対応する。

【0008】

このような配置は、サーモfoilのスリーブが円筒体の周りに緊密に固定されていない場合にのみ可能であると理解されるであろう。この従来技術の構成に関する1つの問題は、サーモfoilのスリーブは、SMA管の周りに緩くフィットする必要があるため、サーモfoil加熱器とSMAとの直接的な熱接触が制限されることである。熱接触が制限されることは、伝導性熱伝達が制限され、従って、SMA管の加熱が緩慢になることを意味する。この問題を回避する1つの方法は、弾性変形可能なサーモfoil加熱器を使用することである。このサーモfoilは、弾性であるため、原理上はSMAの任意変化に適合することができる。従って、サーモfoilのスリーブは、SMA管の周りに緊密にフィットされて、SMA管に取り付けられるように構成することができる。この解決策に関する1つの欠点は、実際の動作条件において弾性変形可能なサーモfoilの製品寿命が比較的制限されることである。

【0009】

上述したように、ニチノール合金の遷移温度は、約70℃ほどの低さであることが多い。一方では、この特徴によって、アクチュエータのSMA構成要素を遷移温度より高く加熱することがかなり容易になる。他方では、宇宙船に搭載時の特定の動作条件において、低い遷移温度は、SMA構成要素の温度を遷移温度未満に保つことが困難になる可能性があり、また、加熱後にSMA構成要素を冷却することが困難になる可能性がある。実際に、対流冷却は真空中では起こらない。更に、能動冷却は通常、利用可能な電力に制限があることに起因して、実質的な代替策ではない。

【0010】

直前で検討したニッケルチタン（Ni-Ti）合金とは別に、宇宙用途で検討されることが最も多いSMAは、銅系合金、例えば、特にCu-Al-NiのようなCu-Al系合金である。これらの銅系合金の遷移温度は、繰り返して周囲温度～200℃の範囲、及び1ショットモードでも最大250℃までにわたることができる。Ni-チタン合金とは

10

20

30

40

50

対照的に、Cu-Al-X合金は、良好な導電体である（例えば、Cu-Al-Niの抵抗率は、およそ $11 \sim 13 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ であると報告されている）。低い抵抗率の帰結として、単に適度に強い電流をCu-Al-Ni合金片に流しても、通常は、Cu-Al-Ni合金の比較的小さな電線形状の部片の場合でも、温度を遷移温度より高く上昇させる仕事は行わない。他方、より一般的なNi-チタン合金の代わりにCu-Al-Ni合金をSMAとして使用する利点は、SMAの温度を遷移温度未満に維持ことがはるかに容易になることである。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【文献】米国特許第5,312,152号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

従って、本発明の目的は、効率的で且つ作動寿命が長いことを享受する加熱手段を有するSMA系アクチュエータを提供することにより、従来技術のアクチュエータの上述の問題を解決することである。本発明は、添付の請求項1による形状記憶ベースのアクチュエータを提供することによってこの目的及びその他を達成する。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明によれば、ストランドの周りにコイル状にされた加熱線は、円形螺旋を形成する。円形螺旋の1つの定義は、シリンダ上で、一定の斜角でシリンダの横断面を横切る点の回転によって追跡することができる曲線である (<https://www.merriam-webster.com/dictionary>)。従って、本発明によれば、コイル状にされた加熱線は、シリンダ上で、一定の斜角でその横断面を横切る点の回転によって追跡された曲線上で重なり合うことができる曲線を辿ることは、理解されるであろう。上記一定の斜角はまた、円形螺旋の任意の点の接線と螺旋の軸線に垂直な平面との間で測定された角度である。一般に、螺旋は、斜角が一定である、すなわち換言すると、特定の螺旋の任意の点で同じであることである（すなわち、斜角は均一である）特性を有する。

【0014】

数学では、円形螺旋は、3次元空間の曲線である。デカルト座標における以下のパラメータ表示は、半径 a 及び斜面 b/a

【数1】

$$t \rightarrow (a \cos t, a \sin t, bt)$$

の円形螺旋を定義する。

パラメータ t が $t=0$ から $t=2\pi$ になると、パラメータ表示は完全な螺旋巻きに沿って進むことが理解されるであろう。更に、1つの完全な螺旋巻きの高さ（すなわち、螺旋の「ピッチ」）は、 $2\pi b$ に等しく、同じ完全な巻きの「弧長」は、

【数2】

$$2\pi \cdot \sqrt{a^2 + b^2}$$

に等しい。最後に、 α を螺旋の斜角とすると、斜面 b/a は、

【数3】

$$\tan \alpha$$

及び

【数4】

10

20

30

40

50

$$\alpha = \tan^{-1}(b/a)$$

に等しい。

【0015】

添付の請求項1によれば、「第1の長さ」は、SMMストランドの収縮状態に対応し、「第2の長さ」は、ストランドの伸長状態に対応する。従って、第1の長さは、第2の長さよりも小さいと理解されたい。実際に、伸長及び収縮は、線形歪みの類型であって、特許請求の範囲における2つの表現「収縮した」及び「伸長した」は、両方とも、長手方向（すなわち軸方向）の収縮及び伸長を指すと理解されたい。

10

【0016】

発明者らは、材料CTE（熱膨張率）に基づいて動作するアクチュエータと比較したときに、SMMアクチュエータの幾つかの特異性を観測した。具体的には、これらの特異性の1つは、一般的には見落されるが、形状記憶材料の状態変化に関連した軸方向歪みが、ほぼ必ず関連の体積変化率よりも大きいことである。この特異性の帰結は、SMMで作製されたストランドは、通常、状態変化の際に反対の種類の横方向歪み及び軸方向歪みを示すことになる。換言すると、SMMのストランドが、より短くなるように変形するとより幅広になり、逆に、ストランドがより長くなるとより薄肉になる。

【0017】

加熱線が円形螺旋を形成するようにSMMのストランドの周りにコイル状にされる場合、反対の種類の横方向歪み及び軸方向歪みの共存は、有用な意味合いを有することができる。実際に、例えば、ストランドが第1の長さから第2の長さに伸長したときには、一方では薄肉になり、ストランドの胴回り（すなわち周囲）の結果として生じる減少は、加熱線の巻きを弛める一因となる。他方、ストランドは、これと同時に長くなり、螺旋のピッチ（すなわち、高さ）の結果として生じる増加は、加熱線の巻きの締め付けの一因となる。上記に鑑みて、発明者らは、螺旋の均一な勾配が適切に選ばれた場合、螺旋の弧長に作用する軸方向歪み及び横方向歪みの影響は相殺することができ、歪み及びひいては応力への加熱線の有意な暴露が回避されることを確認するよう対処した。

20

【0018】

本発明によれば、均一な斜角は、SMMストランドが第1の長さから第2の長さに伸長すること、又は第2の長さから第1の長さに収縮することによって引き起こされる円形螺旋の弧長の実質的な変化を回避するように選択される。この特徴によってもたらされる利点は、加熱線が、形状記憶材料（SMM）のストランドの長さの変化に関わらず、有意な応力を受けないことである。この有意な応力が存在しないことによって、加熱システムの耐用期間がかなり向上する。

30

【0019】

本発明の好ましい実施形態によれば、SMMストランドの可変の長さが第1の長さに等しいときに、円形螺旋の均一な勾配の大きさは、0.62～0.76の間で含まれる。

【0020】

本発明の他の特徴及び利点は、添付図面を参照しながら単に非限定的な実施例として以下の説明を読むと明らかになる。

40

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1A】本発明の第1の特定の実施形態によるSMMアクチュエータの内部側からの斜視図である。

【図1B】図1AのSMMアクチュエータを長手方向断面で示している。

【図2】SMAロッド及び並列に接続されて4重螺旋を形成するようにロッドの周りにコイル状にされた4つの加熱電線を示す斜視図である。

【図3A】1つの形式の軸方向の歪み及び反対の種類の横方向の歪みの共役効果によってどのようにして螺旋の弧長が一定のままであるかを示す図である。

50

【図 3 B】 1つの形式の軸方向の歪み及び反対の種類の横方向の歪みの共役効果によってどのようにして螺旋の弧長が一定のままであるかを示す図である。

【図 4 A】 加熱電線が本発明の第 2 の特定の実施形態により電力供給装置にどのように接続することができるかを示す概略図である。

【図 4 B】 加熱電線が本発明の第 2 の特定の実施形態により電力供給装置にどのように接続することができるかを示す概略図である。

【図 5 A】 複数の S M A ロッドの固定端部と本発明の第 3 の特定の実施形態による支持構造体との間の機械的及び電氣的接続部を示す部分斜視図である。

【図 5 B】 プリント回路を示すために熱電気断熱体の最上層が取り外された図 5 A の機械的及び電氣的接続部を示す斜視図である。

【図 6 A】 本発明の第 4 の特定の実施形態による S M M アクチュエータの双安定機構のプッシャ管の前端部の斜視図である。

【図 6 B】 第 4 の特定の実施形態による S M M アクチュエータの双安定機構のフレームキャップの斜視図である。

【図 6 C】 第 4 の特定の実施形態による S M M アクチュエータの双安定機構のロータの斜視図である。

【図 7 A】 周期動作中に本発明の第 4 の特定の実施形態によるアクチュエータの一部である双安定機構によって連続的に取られる 8 つの構成の 1 つを示す。

【図 7 B】 周期動作中に本発明の第 4 の特定の実施形態によるアクチュエータの一部である双安定機構によって連続的に取られる 8 つの構成の 1 つを示す。

【図 7 C】 周期動作中に本発明の第 4 の特定の実施形態によるアクチュエータの一部である双安定機構によって連続的に取られる 8 つの構成の 1 つを示す。

【図 7 D】 周期動作中に本発明の第 4 の特定の実施形態によるアクチュエータの一部である双安定機構によって連続的に取られる 8 つの構成の 1 つを示す。

【図 7 E】 周期動作中に本発明の第 4 の特定の実施形態によるアクチュエータの一部である双安定機構によって連続的に取られる 8 つの構成の 1 つを示す。

【図 7 F】 周期動作中に本発明の第 4 の特定の実施形態によるアクチュエータの一部である双安定機構によって連続的に取られる 8 つの構成の 1 つを示す。

【図 7 G】 周期動作中に本発明の第 4 の特定の実施形態によるアクチュエータの一部である双安定機構によって連続的に取られる 8 つの構成の 1 つを示す。

【図 7 H】 周期動作中に本発明の第 4 の特定の実施形態によるアクチュエータの一部である双安定機構によって連続的に取られる 8 つの構成の 1 つを示す。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 2 】

図 1 A 及び図 1 B は、本発明の例示的な実施形態によるアクチュエータの例図である。本発明によれば、アクチュエータは、非変形状態からの所定の変形を有し、所定の温度に加熱されたときに非変形状態に戻る形状記憶材料（S M M）の少なくとも 1 つのストランドを含む。例示された実施例において、（全体的に符号 1 0 0 で参照される）アクチュエータは、S M M の 8 つのストランドを実際を含み、各ストランドは、C u - A l - N i 形状記憶合金（S M A）の単結晶で作られた 1 m m 径の円筒ロッドにある。本明細書において、S M A ロッドは、全体的に符号 1 0 で参照され、個々のロッドは、添付文字を使用することによって区別されている。従って、図 1 A にて見える 6 つの個々のロッドは、それぞれ、参照符号 1 0 a、1 0 b、1 0 c、1 0 d、1 0 e 及び 1 0 f とされる。アクチュエータの 8 つの S M A ロッドは、並列に配置され、（それぞれ参照符号 1 2 及び 1 4 とされた）2 つのリング状の機械的接続部によって両端で所定位置に保持される。ロッドの端部は、2 つのピッチ円を定義するように 2 つのリング状接続部に装着され、これに沿ってロッドの端部が規則的に離間されている。

【 0 0 2 3 】

2 つの機械的接続部のうちの第 1 の機械的接続部 1 2 は、アクチュエータの支持フレームに固定される。従って、第 1 の機械的接続部 1 2 に装着されているロッド 1 0 の端部は

10

20

30

40

50

、ロッドの固定端部と呼ばれる。反対の端部では、第2の機械的接続部14は、移動可能であり、SMAロッドによって駆動されるように配置された機構の一部である（上記機構について更に説明する）。可動機械的接続部14に装着されたロッドの端部は、ロッドの移動端部と呼ぶ。

【0024】

第2の機械的接続部14は、参照符号20とされた円筒状プッシャ管を搭載している。プッシャ管は、可動機械的接続部14に剛体固定され、SMAロッド10と並列に固定機械的接続部12に向けて伸長する。プッシャ管20の長手方向軸線は、2つのピッチ円の中心と整合されている。形状記憶合金ロッド10は、非変形状態を回復したときに、プッシャ管20を作動させるように配置されている。本実施例において、ロッドは、変形状態よりも非変形状態の方が短い。SMAの温度形状遷移は、プッシャ管20を、アクチュエータハウジング110の前端部に向けて軸方向に移動させる（前端部は、図1A及び1Bでは右側にある）。プッシャ管20を作動させるために、SMAロッドが1回目に使用されると、2回目に使用することができる前に、所定の変形を回復するように歪みを受ける必要がある。この動作を「リセット」と呼ぶ。リセットに必要なとされる応力は、リセットバネ38によって提供される。図1Bをより詳しく参照すると、リセットバネは、プッシャ管20を取り囲み、ハブ形フレームキャップ42によって提供される固定環状当接によって前端部で所定位置に保持され且つ後端部にて機械的接続部14に当接するコイルバネであることが分かる。フレームキャップ42は、プッシャ管20が通過できる軸方向の開口部を含む。

【0025】

本発明によれば、アクチュエータ100は、上記の少なくとも1つのストランドを加熱する電気手段を更に備える。電気手段は、円形螺旋を形成するようにストランドの周りにコイル状にされる少なくとも1つの加熱線を備える。例示された実施例において、4つの加熱線16a、16b、16cは、16d（図2）は、SMAロッド10の各々の周りにコイル状にされる。図2は、アクチュエータ100の（参照符号10とされた）SMAロッドの1つを示す斜視図である。例示する実施形態によれば、4つの加熱線は、並列に接続され、同じ軸線を有する合同な円形螺旋のセットを形成するように配置される。単一の加熱線を使用する代わりに、並列に接続された4つの加熱線の使用は、加熱手段の冗長性を向上させることを目的としている。実際に、単一の加熱線のみが各SMAロッド10の周りにコイル状にされた場合、加熱線が破損すると、SMAロッドが使用不能となる。対照的に、例示するアクチュエータ100は、幾つかの加熱線の破損を耐え抜くことができる。本実施例において、SMAロッドの周りにコイル状にされた加熱線16a、16b、16c、16dは、高抵抗NiCrで作られている。

【0026】

ロッド10のCu-Al-Ni合金は高い導電率を有するので、加熱線16a、16b、16c、16dとSMAロッドとの間を絶縁することが必要である。従って、本実施例において、加熱線は、ポリイミド薄膜によって、互いから及びSMAロッドから絶縁されている。ポリイミド薄膜はまた、4つの加熱線を加熱リボン16に統合する役割を果たす。好ましい実施形態によれば、加熱リボンとSMAロッドとの熱的及び機械的接触を向上させるために、熱伝導性電気絶縁エラストマが更に使用されている（エラストマは、図4A及び4Bに示されており、参照符号18とされる）。図2を再び参照すると、例示するSMAロッド10は、ロッドの各端部を2つの機械的接続部12、14の一方に装着するために設けられた末端部22が取り付けられていることが分かる。図示するように、末端部22は、幅広の頭部及びSMAロッドの一方端が挿入される小径の円筒突出部を有する小さいハブの形状とすることができる。

【0027】

図3A及び図3Bは、本発明によるアクチュエータのSMMストランドの周りにコイル状にされた加熱線によって形成された円形螺旋の1つの巻きを示す、2つのペアの概略図であり、各ペアの第2の概略図は、接平面上に展開された螺旋を描いている。このように

、一巻きの円形螺旋を螺旋の接平面上に展開すると、直線（一定の又は均一な角度）が得られる。

【0028】

本発明によれば、加熱線がコイル状にされているSMMストランドの長さは、収縮状態に対応する第1の長さ、伸長状態に対応する第2の長さとの間で可変である。更に、SMMストランドの長手方向の伸長により、螺旋のピッチが増大し、他方、長手方向の収縮により、螺旋のピッチが減少することになる点は理解されるであろう。図3Aは、SMMストランドが収縮状態にあるときの一巻きの円形螺旋を示し、図3Bは、SMMストランドが伸長状態にあるときの同じ一巻きの円形螺旋を示す。

【0029】

上述したように、コイル状にされた加熱線によって形成された円形螺旋は、デカルト座標において以下のパラメータ表示によって数学的に記述することができ、

【数5】

$$t \rightarrow (a \cos t, a \sin t, bt)$$

式中、 a は円形螺旋の半径、 b/a は均一な勾配である。

【0030】

1つの完全な螺旋巻きの高さ（すなわち螺旋の「ピッチ」）は、 $2\pi b$ に等しく、同じ完全な巻きの「弧長」は、

【数6】

$$2\pi \cdot \sqrt{a^2 + b^2}$$

に等しい。

【0031】

発明者らは、SMMストランド変形後の螺旋の弧長が変形前の螺旋弧長に等しいよう横方向歪み及び軸方向歪みが相殺されるように、螺旋の均一な斜角又は同等に螺旋の均一な勾配を見出す試みにアイデアを得た。以下の式により、SMMストランドの伸長及び体積変化の両方の関数として弧長の変化がない平衡勾配の値が得られる。

【数7】

$$b/a = \sqrt[2]{\frac{\epsilon + 1 - \delta}{\epsilon(\epsilon + 1)(\epsilon + 2)}}$$

式中、 ϵ はSMMストランドの伸長歪みであり、 δ は体積変化率

【数8】

$$(\delta = V_{final} / V_{initial})$$

である。

平衡勾配の数式の導出は、付属書にて与えられる。更に、上記で定義された平衡勾配は、 $\delta < \epsilon + 1$ である場合にのみ、換言すると、体積変化率が対応する軸方向の収縮又は伸長率よりも小さい場合にのみ存在する点に留意されたい。

【0032】

図3A及び図3Bを再度参照すると、図3Aに示す螺旋の半径は、図3Bに示す螺旋の半径よりも実質的に大きいことが分かるであろう。換言すると、ストランドが作製されたSMMは、反対の種類の横方向歪み及び軸方向歪みを示すSMMである。ここで、図3A及び図3Bを同時に参照すると、1つの種類の軸方向歪み及び反対の種類の横方向歪みの共役効果がどのようにして螺旋の弧長が一定のままであるようになることができるのかを直観的に把握することができる。

【0033】

本発明によれば、ストランドが作製されるSMMは、状態変化の際には反対の種類の横方向歪み及び軸方向歪みを示すSMMであり、換言すると、体積変化率は、対応する軸方向の収縮又は伸長率（ $\delta < \epsilon + 1$ ）よりも小さい。SMM内の体積歪みの大きさは、通常、軸方向歪みの大きさをかなり下回るので、この限界は問題ではない。例えば、ニチノールの場合、体積変形歪みは、ほぼ0.16%であることが報告されており、一方、軸変形歪みは、8.5%ほどとすることができる。しかしながら、「形状記憶」は、所定の温度にまで加熱されたときに非変形状態に戻るSMMの特性を指すことを留意すべきである。SMMの形状遷移は熱転移であるので、非変形状態へのSMMの戻りには、昇温が伴っている。通常の熱膨張も起こり、体積変化の実際の量に影響を及ぼすことになる。

【0034】

本発明の上記の実施形態によれば、SMMは、Cu-Al系SMA（特にCu-Al-Ni）にある。この特定の事例では、体積変形歪みは無視することができ、以下の式によって平衡勾配の値が得られる。

【数9】

$$b/a = \sqrt[2]{\frac{1}{(\epsilon + 1)(\epsilon + 2)}}$$

特に、上記の式はまた、SMMストランドがNi-Tiで作られている場合にも適用されることは理解されるであろう。

【0035】

正確にどれだけの歪みが加熱線に許容可能であるかは、加熱線が作られる材料、特に材料の熱膨張係数に左右される。出願人は、Ni-Cr加熱線の場合に0.2%の歪みが許容可能であると観測した。従って、本実施例において、加熱線によって形成された円形螺旋の均一な勾配の大きさは、SMAロッドがより短い非変形状態にあるときには、0.62～0.76に含まれる必要がある。

【0036】

加熱線は、SMAロッドの温度を遷移温度より上に上昇させるために、電流を供給する必要がある。図4A及び図4Bは、加熱線をどのように電力供給装置に接続することができるかを概略的に示している。上記で説明したように、例示する実施形態によれば、ポリイミド薄膜で包まれた加熱線16a、16b、16c、16dを含む加熱リボン16は、熱伝導エラストマによって緩みなくSMAロッド10に緊密に巻回され、任意選択的にロッドの表面に装着される。その端部の各端部では、加熱リボンは、短い末端部分を備え、NiCr電線16a、16b、16c及び16dは露出され、加熱リボンを接続するために使用されるリード部（lead）を形成するように一緒に振られている。図4Aに示すように、リード部の一方（参照符号24aとされた）は、ロッド10の固定端部近傍に位置し、一方、リード部の他方（参照符号24bとされた）は、ロッドの移動端部近傍に位置する。

【0037】

固定端部近傍に位置するリード部24aを電力供給装置に接続することは、容易とすることができる。しかしながら、移動端部近傍に位置するリード部24bを接続するには、原理的には、移動電線の使用が必要である。このような浮動接続部は、アクチュエータの動作寿命に悪影響を与える可能性があることは理解されるであろう。この問題を回避するために、本実施例の加熱システムは、電流を固定端部に導くように配置された戻りループとしてSMAロッド10を使用する。従って、金属クリンプ26が、ロッドの移動端部近傍に位置し、リード部24bとSMAロッド10の間で必要とされる電気接続部を提供するように配置される。反対側では、図4Bに示すように、SMAロッドの固定端部は、電力供給装置の端子の一方に接続され、一方、リード部24aは、電力供給装置の他方の端子に接続される。このような構成によって、ロッドの固定端部のみを介して加熱線に電気を供給することが可能である。

【0038】

電流が加熱線の流れると、電流によって生成された熱は、熱伝導ポリイミド薄膜を介してSMAロッドに流れ込む。SMAロッドの温度が上昇し始めると、SMAロッドに流れ込む熱の一部は、ロッド内に保持されずに熱散逸介して失われる。空間において、熱損失は、2種類、すなわち、放射及び導電のみとすることができる。放射を介した熱損失は、ロッドの全長にわたって実質的に同じである必要がある。対照的に、導電損失は、SMAロッドとアクチュエータの残りの部分との間の機械的接点に限定されるべきである。図1A及び図1Bを再度参照すると、SMAロッドは2つの端部によって保持されていることが分かる。従って、両端での機械的接点が唯一の経路であり、この経路に沿って伝導性熱伝達が起こることができる。このような配置では、導電損失は、SMAロッドの端部の温度を有意に下げる可能性がある。このような熱勾配は、ロッドの正味ストロークの低減を誘起することになる。本実施例によれば、ロッドの長さに沿った温度の均一性を高めるために、ロッドの端部は、アクチュエータの残りの部分から断熱される。この結果は、断熱材料の少なくとも1つの層をロッドと機械的接続部との間に配置することによって得られる。

10

【0039】

図5A及び図5Bは、各SMAロッドの末端部22を固定機械的接続部から熱的に分離する断熱材の層を提供するために、二層プリント回路基板(PCB)28a(例えば、Arлонから作製された)をSMAロッド10の固定端部にどのように配置することができるかを示している。略円板状のPCB28aの外側縁部は、SMAロッド10の末端部22のうちの一方の末端部の小径円筒突出部を受けるように適合された8つの規則的に離間されたノッチ32を備える。図5Bにおいて、二層PCB28aの上層は、PCBの導体トラック30を示すために取り外されている。例示するように、各ノッチ32は、導体トラック30によって囲まれている。ロッド10が末端部22と共にPCBのノッチ32に挿入されると、末端部22の各末端部の頭部は、導体トラック30のうちの1つと接触する。更に、導体トラック30の外形は対称形ではなく、各導体トラックは、円板状PCBの縁部に沿ってノッチの片側からかなりの距離を延びることが分かる。実際には、特定のノッチ32を囲む各導体トラック30は、次のノッチを囲む導体トラックと接合の直前で留まっている。ノッチ32の特定の1つを囲む各非対称導体トラック30は、次のSMAロッドの周りにコイル状にされた加熱リボンのリード部24aとその特定のノッチに挿入される末端部22の頭部を接続するように配置されている。従って、異なるSMAロッドの周りにコイル状にされた加熱リボンは、直列に接続される。この配置によって、SMAロッドを加熱するために必要とされる電流量が低減される。二層プリント回路基板28aで固定機械的接続部12の外側を覆う利点は、スリーインワンの解決策が得られることである。PCBは、SMAロッドをアクチュエータの残りの部分から断熱する役割を果たし、また、異なるSMAロッドの周りにコイル状にされた加熱線を加熱手段の残りの部分に接続する役割も果たし、最後に、PCBはまた、SMAロッドをピッチ円に沿って位置付ける役割も果たす。詳細には図示されていないが、断熱材28b(例えば、Arлонから作製された)の層は、好ましくは、各SMAロッドの他方の末端部22を可動機械的接続部14から熱的に分離するようにSMAロッドの移動端部にて配置されることを更に理解されたい。断熱材28bの層は、SMAロッドをアクチュエータの残りの部分から断熱する役割を果たし、また、SMAロッドを移動側でピッチ円に沿って位置付ける役割も果たす。

20

30

40

【0040】

図1A及び1Bに再び戻ると、アクチュエータ100は、前端部112及び後端部114を有する円筒状ハウジング110を備えることが分かる。前端部は、軸方向スライダシャフト51の一方端が延びる中央開口部を備える。スライダシャフト51の突出端部は、機械出力接続部140を支持する。ハウジングの後端部114もまた中央開口部を備え、短いネジ付きシャフト146が、この開口部を通して軸方向に延びる。ネジ付きシャフト146は、一方端によって可動機械的接続部14の背面に剛体的に取り付けられている。

50

従って、SMAロッドの長さの変化により、ネジ付きシャフト146の軸方向の移動が生じることが理解されるであろう。図1A及び1Bを更に参照すると、電気スイッチボックス142が後端部114上に取り付けられていることが分かる。電気スイッチボックス142上のスイッチレバーは、弾性ストリップバネ144によって下側位置に維持されている。一方端近傍でストリップバネを通して孔が形成され、ネジ付きシャフト146が孔を通して延びるように、屈曲したストリップが配置されている。屈曲したストリップバネの他方端は、ハウジングの後部114に装着される。調整ナット148が更に、ネジ付きシャフト146に螺合される。

【0041】

加熱電線を通して電流が流れると、SMAロッド10の温度は、遷移温度を超えて上昇し、これによりSMAが伸長前の元の形状に戻る。このプロセスにより、SMAロッドが短縮される。ネジ付きシャフト146は、SMAロッドの移動端部に剛性接続されているので、ネジ付きシャフト及びナット148は、ハウジング110の内部の方向で軸方向に引き寄せられる。SMAロッドが元の記憶形状に近づくと、ナット148は、屈曲したストリップバネ144に突き当たり、これによりストリップバネ144は、スイッチボックス142のスイッチレバーを解除するように屈曲する。スイッチレバーが解除されると、加熱線を通る電流の流れが遮断される。このようにして、スイッチは、SMAが変形を完了したときに電力供給装置を遮断することができる。

【0042】

本実施例のアクチュエータはまた、リセット中にSMAロッド10の過剰な伸長を阻止するように配置された機械的ストッパを備えている。例示された実施例によれば、機械的ストッパは、ハウジングの後端部114の中央開口部にプラグ接続された硬化ステンレス鋼リング152である。硬化ステンレス鋼リング及び可動機械的接続部は、形状相補性を有する。SMAロッドがリセットバネ38の動作によって所定の変形長さにまで伸長したときに、機械的接続部は、機械的ストッパと当接し、その結果、SMAを過大応力から保護する。

【0043】

ここまで説明してきたアクチュエータ100の要素は、全体として単安定SMAアクチュエータ、すなわち、給電されたときに推力動作が可能であるが、電力供給装置が遮断されると到達位置を維持することができない単安定SMAアクチュエータを構成する。以下のセクションでは、プッシャ管20によって駆動され、前端部には機械出力接続部140が取り付けられている上述のスライダシャフト51を駆動するように配置された双安定機構を説明する。スライダシャフトは、略円筒形状を有し、アクチュエータの幾何学的主軸に沿って延びる。従って、スライダシャフト51及びプッシャ管20の両方は、機械的接続部12、14上でピッチ円の中心と同心状に整合されていることが理解されるであろう。図1Bの断面図を詳細に参照すると、プッシャ管20が中空であること、及びスライダシャフト51の後方部分はこの中空の管に滑動可能に挿入されることが分かる。

【0044】

図1Bを更に参照すると、スライダシャフト51は、圧縮コイルバネ56の一方端と協働するように配置された環状当接部55を備え、該圧縮コイルバネ56が、スライダシャフトの前方部分を囲み、他方端にて、アクチュエータ100のハウジングの前端部112の中央開口部にプラグ接続されたハブの形態で固定環状当接部57に当接することが分かるであろう。固定式環状当接部は、スライダシャフト51がほとんど遊びなしで通過できる軸方向開口部を備える。以下でより詳細に説明するように、双安定機構は、2つの安定位置の間の何れかの方向に軸方向に変位させるようにしてスライダシャフトを制御するように適合されている。2つの安定した軸方向の位置を区別するために、機械出力接続部140がハウジング110から最も離れている位置を「伸長位置」と呼び、他方の位置を「後退位置」呼ぶことにする。スライダシャフト51の伸長位置への変位は、圧縮バネ56の作用に抗して行われ、スライダシャフトの後退位置に戻る変位は、バネ56の圧力の作用を受けて行われる。

10

20

30

40

50

【0045】

双安定機構は更に、（図6cにより詳細に示される）ロータ65を備える。ロータは、スライダシャフト51上に同心状に取り付けられて、環状当接部65の後方側に当接するように配置された中空シリンダにある。ロータ65の円筒状外面には、ロータの軸線の周りに規則的に離間された6つの長手方向に延びる溝67が設けられている。更に、ロータ65の後端面は、12個の三角歯79が形成され、各々が後方フランク（tailing flank）よりも急勾配で傾斜した前方フランク（leading flank）を有する。最後に、溝67の各溝は、歯のうちの1つの歯の前方フランクの下端部と位置合わせされる点に留意されたい。

【0046】

ロータ65の直径は、ロータが理論的にほとんど遊びなしでフレームキャップ42の円筒状開口部を通ることができるようになっている。しかしながら、円筒状開口部は、内部に設けられ、6つの半径方向のキー又はリブ82が互いに60°に設定されている。これらのキーは、ロータ65が円筒状開口部へ滑動するのを防ぐことができるような高さがある。しかしながら、キー82がロータの溝67と一直線に並んだときには、ロータは、開口部に滑動することができ、溝67は、交互する歯79の前方フランクの下端部から延びることは理解されるであろう。

【0047】

プッシャ管20の前端部は、ロータ65と同じ直径である。更に、プッシャ管20の前端部は、数が同じで、ロータの後端面上に形成された歯と同じ特性の歯が形成され、プッシャ管20の末端部分の円筒状外面は、ロータ65の側面上に形成された溝67と同じ特性の6つの長手方向に延びる溝86を備える。キー82と協働することによって、プッシャ管20の長手方向に延びる溝86は、プッシャ管20がフレームキャップ42の内側で滑動できるが、フレームキャップがプッシャ管に対して回転するのを防止することができる。

【0048】

ここで、双安定機構の動作について、図7A～図7Hを参照しながら説明する。フレームキャップ42のキー82がロータ65の溝67に係合されると同時に、可動機械的接続部14及びプッシャ管20にSMAロッドによって牽引が印加されないときには、圧縮コイルバネ56の圧力は、ロータ65の歯の後方フランクが最終的にプッシャ管20の歯のフランクに載るようになるまで、スライダシャフト51を軸方向に付勢する。この位置（図7A）において、双安定機構は、スライダシャフト51の後退位置に対応する安定状態にある。ここでSMAロッドが遷移温度を超えて加熱された場合、変形によって、プッシャ管20が軸方向前方に移動するようになる。ロータは、プッシャ管の歯のフランクに載っているため、ロータ65及びスライダシャフト51は、圧縮コイルバネ56の作用に抗して軸方向に前に付勢される（図7B）。ロータ65の前方移動により、最終的には、溝67が、キー82から完全に係合解除される。この位置（図7C）において、双安定機構は、スライダシャフト51の最大ストローク位置に対応する過渡状態にある。その後、ロータは、自由に回転することができ、ロータの歯の傾斜したフランクは、2つの対向するセットの歯が完全な入れ子位置にあるまでロータが駆動しながら、プッシャ管20の歯の後方フランクに当接して滑動することができる。この時点（図7D）で、ロータ65の角度位置は、キー82がその歯の後方フランクの頂部に面しているようになっている。ここでSMAロッドの加熱手段がオフにされた場合、ロッドは、徐々に冷却され、リセットバネ38によって所定の変形状態にリセットされるようになる。この新たな変形によって、プッシャ管20は、軸方向後方に移動するようになる。プッシャ管が後退すると、圧縮コイルバネ56の圧力は、同じ方向でロータを付勢する。しかしながら、溝67は、もはやキー82と一直線状ではなく、従って、ロータは、フレームキャップ42に当接するようになり、歯の後方フランクがキー82に当接する。ロータは、依然として自由に回転することができるので、ロータの歯の後方フランクは、キーがフランクの底部に置かれるまで、ロータが再度駆動する間にフレームキャップのキーに当接して滑動することができる。

10

20

30

40

50

この位置（図 7 E）では、双安定機構は、スライダシャフト 5 1 の伸長位置に対応する安定状態にある。ここで S M A ロッドが遷移温度を超えて再び加熱された場合、変形により、プッシャ管 2 0 は、再度軸方向前方に移動し、プッシャ管の歯のフランクは、最終的には、ロータ 6 5 の歯の後方フランクに載るようになる（図 7 F）。ここから、ロータの歯の後方フランクは、2 つの対向するセットの歯が再び完全入れ子位置となるまで（図 7 G）、ロータが駆動する間にプッシャ管 2 0 の歯の傾斜フランクに当接して滑動することができる。ここで S M A ロッドの加熱手段がオフにされた場合、ロッドは、徐々に冷却されて、これによりプッシャ管 2 0 が軸方向後方に移動するようになる。プッシャ管が後退すると、圧縮コイルバネ 5 6 の圧力が同じ方向でロータを付勢する。しかしながら、溝 6 7 は、キー 8 2 と未だ一直線状になく、ロータは引き留められ、歯の後方フランクがキー 8 2 に当接する（図 7 H）。ロータは、未だ自由に回転することができるので、歯の後方フランクは、キー 8 2 が再びロータ（図 7 A）の溝 6 7 と一直線になるまで、ロータが再度駆動する間にフレームキャップのキーに当接して滑動することができる。

【 0 0 4 9 】

添付の特許請求の範囲によって定義された本発明の範囲から逸脱することなく、本明細書の主題を形成する実施形態に対して、当業者には明らかである様々な変更及び／又は改良を行うことができることは理解されるであろう。

【 0 0 5 0 】

（付属書）

数式の導出

【 0 0 5 1 】

コイル状にされた加熱線によって形成された円形螺旋は、デカルト座標において以下のパラメータ表示により数学的に記述することができ、

【数 1 0】

$$t \rightarrow (a \cos t, a \sin t, bt)$$

式中、 a は円形螺旋の半径、 b/a は均一な勾配である。

1 つの完全な螺旋巻きの高さ（すなわち、螺旋の「ピッチ」）は、 $2\pi b$ に等しく、同じ完全な巻きの「弧長」は、

【数 1 1】

$$2\pi \cdot \sqrt{a^2 + b^2}$$

に等しい。

発明者らは、S M M ストランド変形後の螺旋の弧長が変形前の螺旋弧長に等しいよう横方向歪み及び軸方向歪みが相殺されるように、螺旋の均一な斜角又は同等に螺旋の均一な勾配を見出す試みにアイデアを得た。

ε が S M M ストランドの伸長歪みである場合、以下のように書くことができ、

【数 1 2】

$$L_{final} = L_{initial} (1 + \varepsilon) \quad (i)$$

式中、 L は S M M ストランドの長さであり、

V が S M M ストランドの容積である場合、以下のように書くことができ、

【数 1 3】

$$V_{initial} = L_{initial} \cdot 2\pi r_{initial}^2 \quad (ii)$$

δ が体積変化率

【数 1 4】

$$(\delta = V_{final} / V_{initial})$$

である場合、以下のように書くこともできる。

【数 1 5】

$$V_{final} = V_{initial} \cdot \delta = L_{initial} \cdot (1 + \varepsilon) \cdot 2\pi r_{final}^2 \quad (i i i)$$

ここで、(i i) 及び (i i i) を結合すると、以下になる。

【数 1 6】

$$r_{final}^2 = \frac{\delta}{1 + \varepsilon} \cdot r_{initial}^2 \quad (i v)$$

円形螺旋の半径が S M M スtrand の半径と共に増減する場合、(i v) は、以下を意味し、

【数 1 7】

$$a_{final}^2 = \frac{\delta}{1 + \varepsilon} \cdot a_{initial}^2 \quad (v)$$

円形螺旋のピッチが S M M スtrand の長さ L と共に増減する場合、(i) は、以下を意味する。

【数 1 8】

$$b_{final}^2 = (1 + \varepsilon)^2 \cdot b_{initial}^2 \quad (v i)$$

ここで、円形螺旋の弧長が一定のままである場合、

【数 1 9】

$$2\pi \cdot \sqrt{a_{initial}^2 + b_{initial}^2} = 2\pi \cdot \sqrt{a_{final}^2 + b_{final}^2} \quad (v i i)$$

これは、以下を意味する。

【数 2 0】

$$a_{initial}^2 + b_{initial}^2 = a_{final}^2 + b_{final}^2 \quad (v i i i)$$

(v i i i) を (v) 及び (v i) と結合すると、更に以下に書くことができる。

【数 2 1】

$$a_{initial}^2 + b_{initial}^2 = \frac{\delta}{1 + \varepsilon} \cdot a_{initial}^2 + (1 + 2\varepsilon + \varepsilon^2) \cdot b_{initial}^2 \quad (i x)$$

最後に、(i x) は、以下のように変形される。

【数 2 2】

$$b/a = \sqrt[2]{\frac{\varepsilon + 1 - \delta}{\varepsilon(\varepsilon + 1)(\varepsilon + 2)}}$$

式中、b / a は円形螺旋の均一な勾配である。

10

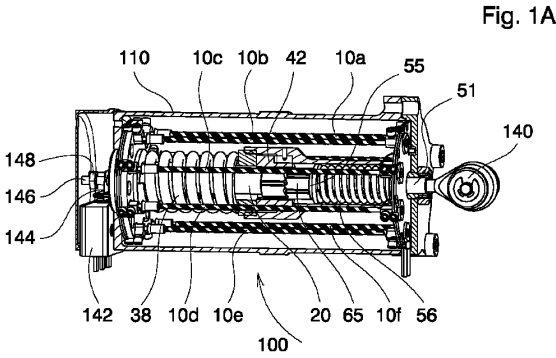
20

30

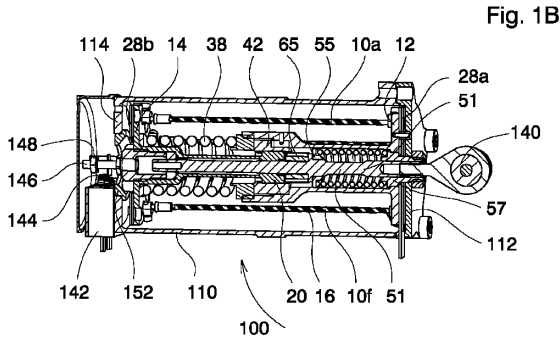
40

50

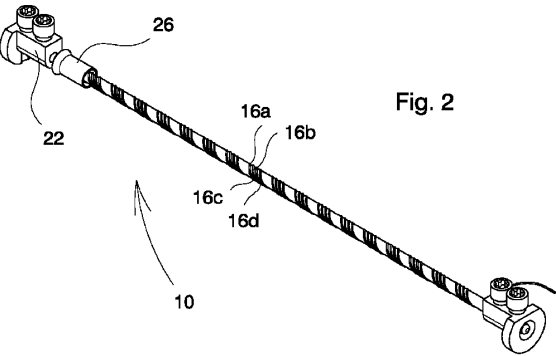
【図面】
【図 1 A】



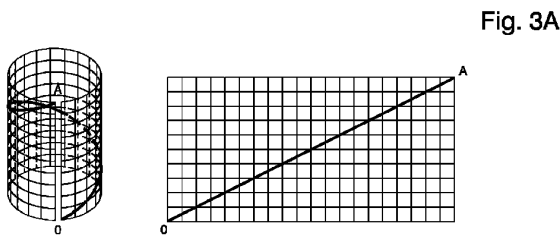
【図 1 B】



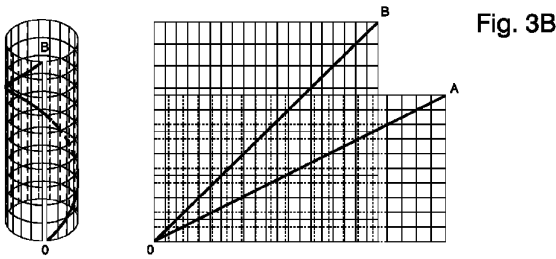
【図 2】



【図 3 A】



【図 3 B】



【図 4 A - 4 B】

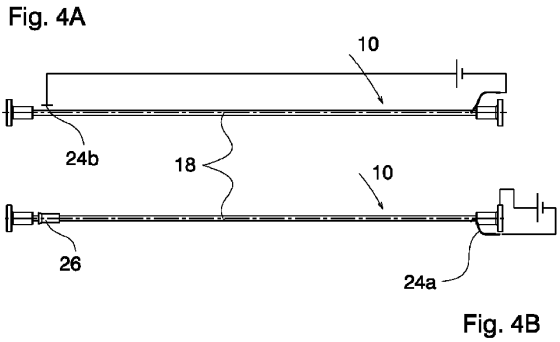


Fig. 4B

10

20

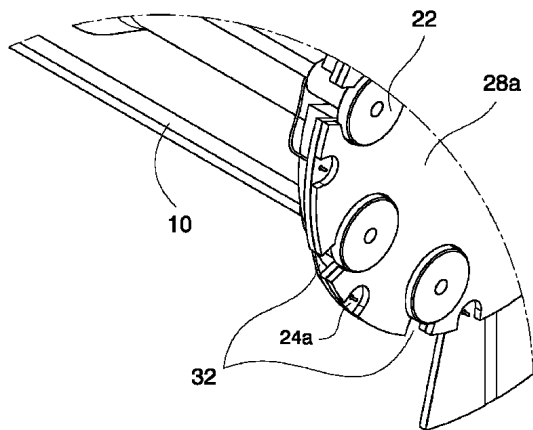
30

40

50

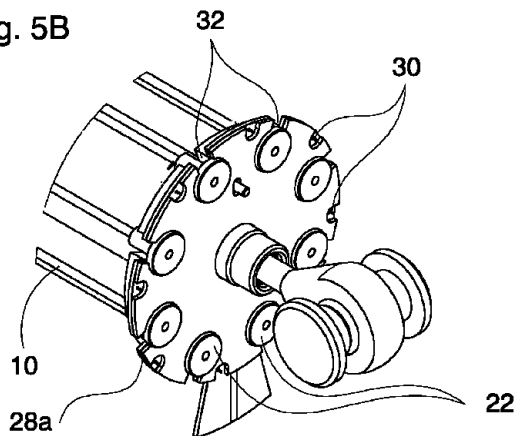
【図 5 A】

Fig. 5A



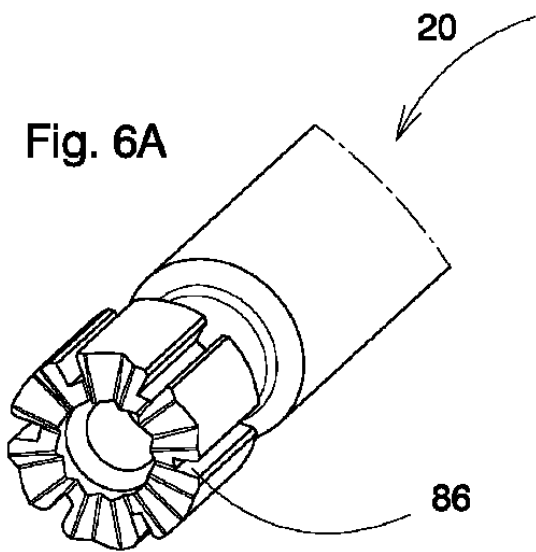
【図 5 B】

Fig. 5B



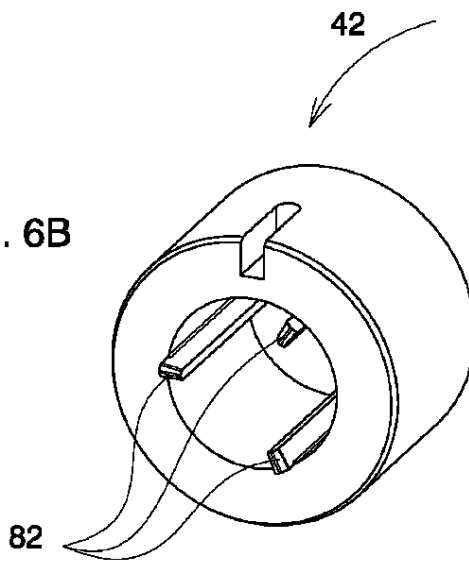
【図 6 A】

Fig. 6A



【図 6 B】

Fig. 6B



10

20

30

40

50

【図 6 C】

【図 7 A】

Fig. 6C

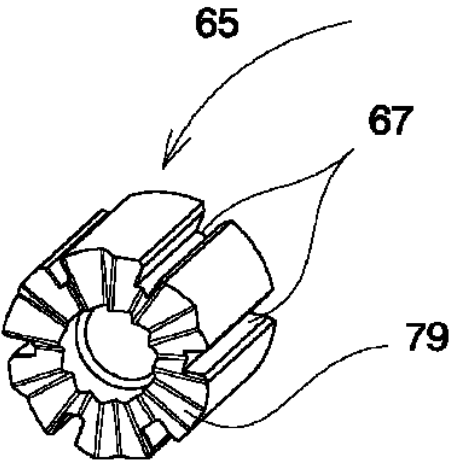
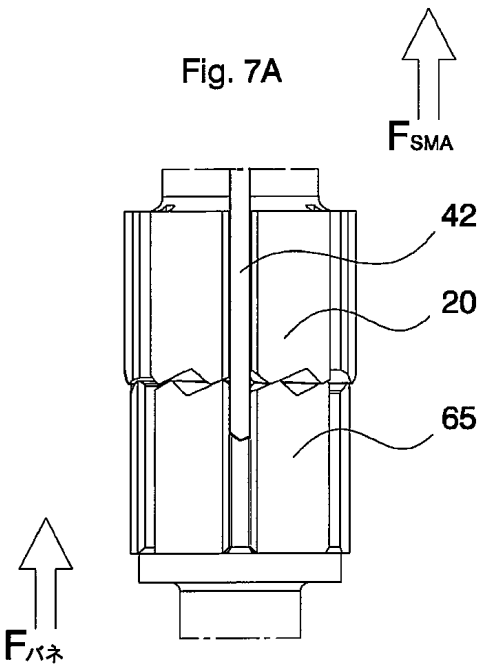


Fig. 7A



【図 7 B】

【図 7 C】

Fig. 7B

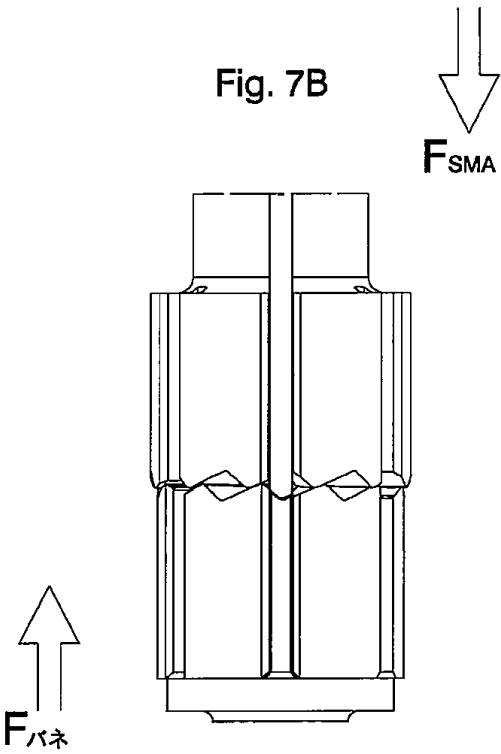
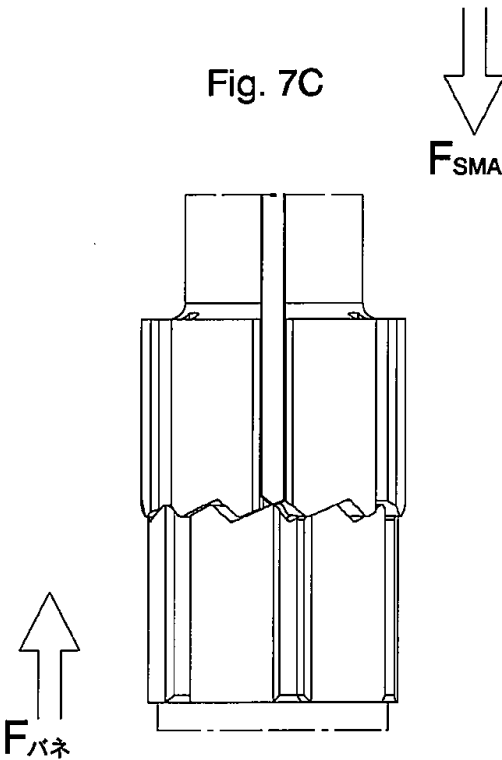


Fig. 7C



10

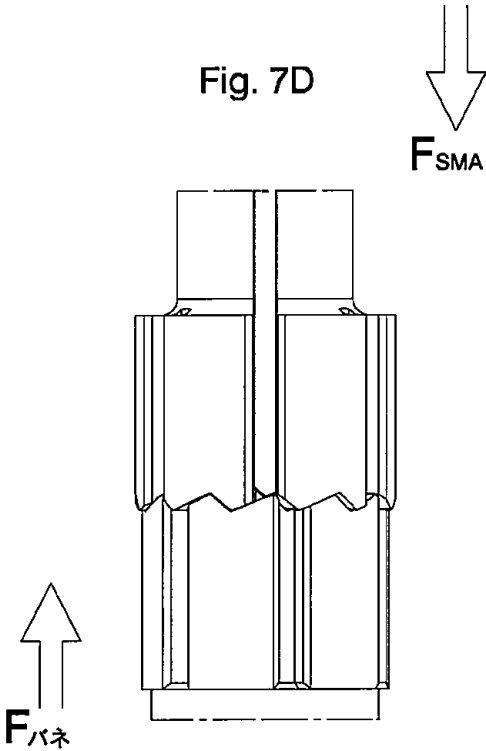
20

30

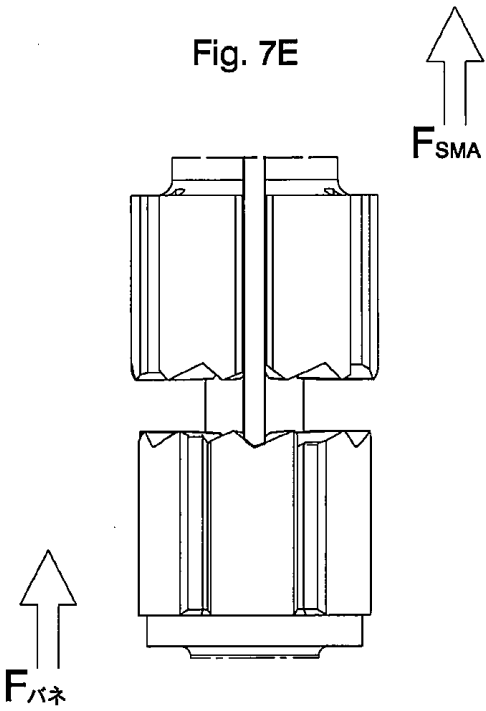
40

50

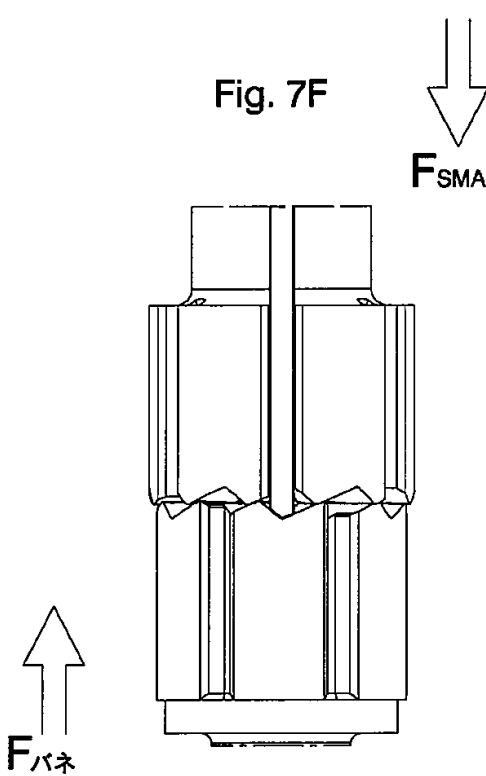
【図 7 D】



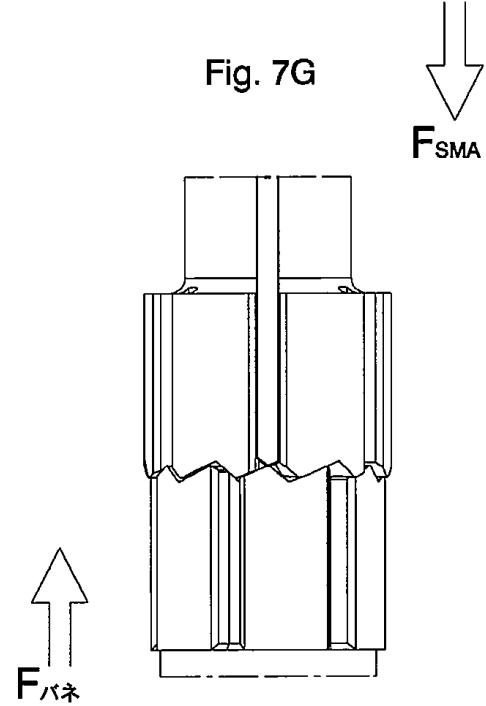
【図 7 E】



【図 7 F】



【図 7 G】



10

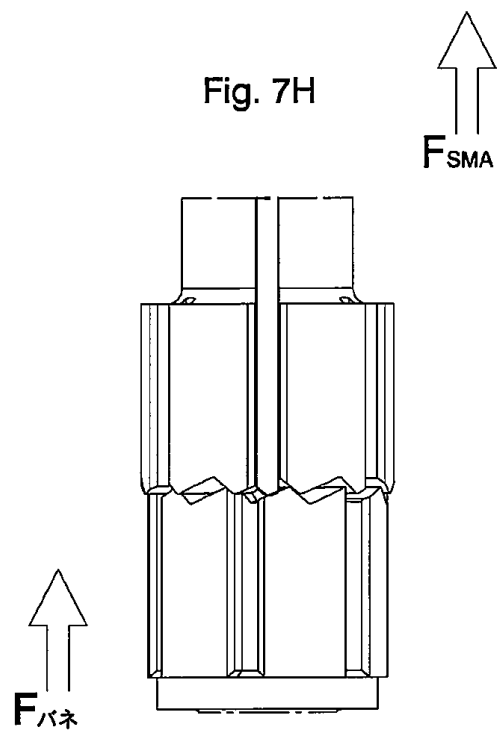
20

30

40

50

【図 7 H】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (74)代理人 100130937
弁理士 山本 泰史
- (74)代理人 100144451
弁理士 鈴木 博子
- (72)発明者 ブレハ リュック
スイス 1005 ローザンヌ プラス デュ テュネル 18
- (72)発明者 パチョッティ ガブリエル
スイス 1880 ベー ルート デュ スタンド 24
- 審査官 北村 亮
- (56)参考文献 米国特許出願公開第2016/0369784 (US, A1)
特開昭59-010789 (JP, A)
実開昭57-107863 (JP, U)
米国特許第04790624 (US, A)
特開2001-304095 (JP, A)
実開昭59-186488 (JP, U)
米国特許第05127228 (US, A)
特表2016-539269 (JP, A)
米国特許第05312152 (US, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
F03G 7/06