

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6837246号
(P6837246)

(45) 発行日 令和3年3月3日(2021.3.3)

(24) 登録日 令和3年2月12日(2021.2.12)

(51) Int.Cl. F I
F O 3 G 7/06 (2006.01) F O 3 G 7/06 E

請求項の数 22 (全 25 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2019-500693 (P2019-500693) (86) (22) 出願日 平成30年9月28日 (2018.9.28) (86) 国際出願番号 PCT/JP2018/036207 (87) 国際公開番号 W02019/102714 (87) 国際公開日 令和1年5月31日 (2019.5.31) 審査請求日 令和1年12月4日 (2019.12.4) (31) 優先権主張番号 特願2017-226836 (P2017-226836) (32) 優先日 平成29年11月27日 (2017.11.27) (33) 優先権主張国・地域又は機関 日本国 (JP)</p>	<p>(73) 特許権者 314012076 パナソニックIPマネジメント株式会社 大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号 (74) 代理人 100106518 弁理士 松谷 道子 (74) 代理人 100132241 弁理士 岡部 博史 (74) 代理人 100091524 弁理士 和田 充夫 (72) 発明者 金子 由利子 大阪府門真市大字門真1006番地 パナ ソニック株式会社内 (72) 発明者 平岡 牧 大阪府門真市大字門真1006番地 パナ ソニック株式会社内</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アクチュエータ装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

アクチュエータ装置であって、
 アクチュエータワイヤ、
 前記アクチュエータワイヤの側面を被覆し、かつ複数の電熱線を具備する網状の発熱体、および
 前記網状の発熱体を加熱する電力を前記網状の発熱体に供給する制御装置を具備し、
 ここで、
 前記アクチュエータワイヤは、加熱により縮み、そして放熱により復元し、
 前記アクチュエータワイヤの側面は、高分子から形成されており、
 前記網状の発熱体の一端は、前記アクチュエータワイヤの一端に接合されており、
 前記網状の発熱体の他端は、前記アクチュエータワイヤの他端に接合されており、
 各電熱線は、絶縁性の第1弾性糸および金属線を具備し、
 前記金属線は、前記第1弾性糸に螺旋状に巻き付いており、
 前記網状の発熱体が加熱されていない場合には、前記網状の発熱体は前記アクチュエータワイヤの側面に接しており、かつ
 前記網状の発熱体が加熱された場合には、前記アクチュエータワイヤが縮むために前記網状の発熱体は前記アクチュエータワイヤの側面から外側に離間する、
 アクチュエータ装置。

10

20

【請求項 2】

請求項 1 に記載のアクチュエータ装置であって、
 各電熱線は、絶縁性の第 2 弾性系をさらに具備し、
 前記金属線は、S 撚りに組まれており、かつ
 前記第 2 弾性系は、前記金属線が螺旋状に巻き付けられた前記第 1 弾性系に螺旋状に巻き付いており、
 前記第 2 弾性系は、Z 撚りに組まれている、
 アクチュエータ装置。

【請求項 3】

請求項 1 に記載のアクチュエータ装置であって、
 各電熱線は、絶縁性の第 2 弾性系をさらに具備し、
 前記金属線は、Z 撚りに組まれており、かつ
 前記第 2 弾性系は、前記金属線が螺旋状に巻き付けられた前記第 1 弾性系に螺旋状に巻き付いており、
 前記第 2 弾性系は、S 撚りに組まれている、
 アクチュエータ装置。

【請求項 4】

請求項 1 から 3 のいずれか 1 つに記載のアクチュエータ装置であって、
 各電熱線は前記アクチュエータワイヤの側面に螺旋状に巻き付いており、かつ
 前記複数の電熱線が、前記網状の発熱体を形成するように、組まれている、
 アクチュエータ装置。

【請求項 5】

請求項 1 から 4 のいずれか 1 つに記載のアクチュエータ装置であって、
 前記複数の電熱線が、S 撚りに組まれている、
 アクチュエータ装置。

【請求項 6】

請求項 1 から 4 のいずれか 1 つに記載のアクチュエータ装置であって、
 前記複数の電熱線が、Z 撚りに組まれている、
 アクチュエータ装置。

【請求項 7】

請求項 1 から 3 のいずれか 1 つに記載のアクチュエータ装置であって、
 各電熱線が矩形波の形状を有しており、かつ
 前記矩形波の形状を有する前記複数の電熱線が、前記網状の発熱体を形成するように、
 編まれている、
 アクチュエータ装置。

【請求項 8】

請求項 1 から 3 のいずれか 1 つに記載のアクチュエータ装置であって、
 各電熱線はアクチュエータワイヤの側面に螺旋状に巻き付いており、かつ
 前記複数の電熱線が、前記網状の発熱体を形成するように、織られている、
 アクチュエータ装置。

【請求項 9】

請求項 1 から 8 のいずれか 1 つに記載のアクチュエータ装置であって、
 前記アクチュエータワイヤは、繊維から形成され、
 前記繊維は、その長軸の周りに沿って捩られており、
 前記繊維は、円筒状のコイルの形状を有するように折り畳まれており、
 前記繊維は、直鎖状低密度ポリエチレンからなり、かつ
 以下の数式 (I) が充足される：

$$D / d < 1 \quad (I)$$

ここで、

D は、前記円筒状のコイルの平均直径を表し、かつ

10

20

30

40

50

d は、前記繊維の直径を表す、
アクチュエータ装置。

【請求項 10】

請求項 1 から 9 のいずれか 1 つに記載のアクチュエータ装置であって、
前記金属線の引張強さと前記金属線の断面積との積が 0.27 N より大きく、かつ、 0.63 N 以下である、
アクチュエータ装置。

【請求項 11】

アクチュエータであって、
アクチュエータワイヤ、および
前記アクチュエータワイヤの側面を被覆し、かつ複数の電熱線を具備する網状の発熱
体

10

を具備し、
ここで、

前記アクチュエータワイヤは、加熱により縮み、そして放熱により復元し、
前記アクチュエータワイヤの側面は、高分子から形成されており、
各電熱線は、絶縁性の第 1 弾性系および金属線を具備し、かつ、
前記金属線は、前記第 1 弾性系に螺旋状に巻き付いている、
アクチュエータ。

【請求項 12】

請求項 11 に記載のアクチュエータであって、
前記網状の発熱体の一端は、前記アクチュエータワイヤの一端に接合されており、
前記網状の発熱体の他端は、前記アクチュエータワイヤの他端に接合されており、前記
第 1 弾性系の一部は外部に露出されている、
アクチュエータ。

20

【請求項 13】

請求項 11 または 12 に記載のアクチュエータであって、さらに
第 1 接合具および第 2 接合具を具備し、
前記網状の発熱体の一端は、前記第 1 接合具によって前記アクチュエータワイヤの一端
に接合されており、かつ
前記網状の発熱体の他端は、前記第 2 接合具によって前記アクチュエータワイヤの他端
に接合されている、
アクチュエータ。

30

【請求項 14】

請求項 11 から 13 のいずれか 1 つに記載のアクチュエータであって、
各電熱線は、絶縁性の第 2 弾性系をさらに具備し、
前記金属線は、S 撚りに組まれており、かつ
前記第 2 弾性系は、前記金属線が螺旋状に巻き付けられた前記第 1 弾性系に螺旋状に巻
き付いており、
前記第 2 弾性系は、Z 撚りに組まれている、
アクチュエータ。

40

【請求項 15】

請求項 11 から 13 のいずれか 1 つに記載のアクチュエータであって、
各電熱線は、絶縁性の第 2 弾性系をさらに具備し、
前記金属線は、Z 撚りに組まれており、かつ
前記第 2 弾性系は、前記金属線が螺旋状に巻き付けられた前記第 1 弾性系に螺旋状に巻
き付いており、
前記第 2 弾性系は、S 撚りに組まれている、
アクチュエータ。

【請求項 16】

50

請求項 1 1 から 1 5 のいずれか 1 つに記載のアクチュエータであって、各電熱線は前記アクチュエータワイヤの側面に螺旋状に巻き付いており、かつ前記複数の電熱線が、前記網状の発熱体を形成するように、組まれている、アクチュエータ。

【請求項 1 7】

請求項 1 1 から 1 6 のいずれか 1 つに記載のアクチュエータであって、前記複数の電熱線が、S 撚りに組まれている、アクチュエータ。

【請求項 1 8】

請求項 1 1 から 1 6 のいずれか 1 つに記載のアクチュエータであって、前記複数の電熱線が、S 撚りに組まれている、アクチュエータ。

10

【請求項 1 9】

請求項 1 1 から 1 5 のいずれか 1 つに記載のアクチュエータであって、各電熱線が矩形波の形状を有しており、かつ前記矩形波の形状を有する前記複数の電熱線が、前記網状の発熱体を形成するように、編まれている、アクチュエータ。

【請求項 2 0】

請求項 1 1 から 1 5 のいずれか 1 つに記載のアクチュエータであって、各電熱線はアクチュエータワイヤの側面に螺旋状に巻き付いており、かつ前記複数の電熱線が、前記網状の発熱体を形成するように、織られている、アクチュエータ。

20

【請求項 2 1】

請求項 1 1 から 2 0 のいずれか 1 つに記載のアクチュエータであって、前記アクチュエータワイヤは、繊維から形成され、前記繊維は、その長軸の周りに沿って撚られており、前記繊維は、円筒状のコイルの形状を有するように折り畳まれており、前記繊維の材料は、直鎖状低密度ポリエチレンからなり、かつ以下の数式 (I) が充足される：

30

$$D / d < 1 \quad (I)$$

ここで、

D は、前記円筒状のコイルの平均直径を表し、かつ

d は、前記繊維の直径を表す、

アクチュエータ。

【請求項 2 2】

請求項 1 1 から 2 1 のいずれか 1 つに記載のアクチュエータであって、前記金属線の引張強さと前記金属線の断面積との積が 0 . 2 7 N より大きく、かつ、0 . 6 3 N 以下である、

アクチュエータ。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本開示は、アクチュエータ装置に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

特許文献 1 は、コイル状および非コイル状ナノファイバー撚糸およびポリマーファイバーのねじりおよび引張アクチュエータを開示している。平岡牧らは、非特許文献 1 において、直鎖状低密度ポリエチレンから形成されているコイル状ポリマー繊維を開示している。非特許文献 1 によれば、当該コイル状ポリマー繊維は、加熱により縮み、かつ放熱によ

50

り復元する。非特許文献1は、コイル状ポリマー繊維に螺旋状に巻き付けられた電熱線を開示している。当該電熱線はコイル状ポリマー繊維を加熱するために用いられる。特許文献2は、軸方向に収縮可能なアクチュエータを開示している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】国際公開第2014/022667号

【特許文献2】米国特許第4733603号明細書

【特許文献3】特開2016-211104号公報

【特許文献4】特開2015-059276号公報

【特許文献5】特許第6111438号公報

【非特許文献1】Maki Hiraoka et. al. "Power-efficient low-temperature woven coiled fibre actuator for wearable applications" Scientific Reports volume 6, Article number: 36358 (2016)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本開示の目的は、加熱および放熱が繰り返されても網状の発熱体の電気抵抗値がほぼ変化しないアクチュエータ装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

前記課題を解決するための本開示の1つの態様にかかるアクチュエータ装置は、
アクチュエータ装置であって、

アクチュエータワイヤ、

前記アクチュエータワイヤの側面を被覆し、かつ複数の電熱線を具備する網状の発熱体、および

前記網状の発熱体を加熱する電力を前記網状の発熱体に供給する制御装置を具備し、

ここで、

前記アクチュエータワイヤは、加熱により縮み、そして放熱により復元し、

前記アクチュエータワイヤの側面は、高分子から形成されており、

前記網状の発熱体の一端は、前記アクチュエータワイヤの一端に接合されており、

前記網状の発熱体の他端は、前記アクチュエータワイヤの他端に接合されており、

各電熱線は、絶縁性の第1弾性系および金属線を具備し、

前記金属線は、前記第1弾性系に螺旋状に巻き付いており、

前記網状の発熱体が加熱されていない場合には、前記網状の発熱体は前記アクチュエータワイヤの側面に接しており、かつ

前記網状の発熱体が加熱された場合には、前記アクチュエータワイヤが縮むために前記網状の発熱体は前記アクチュエータワイヤの側面から外側に離間する、

アクチュエータ装置。

【発明の効果】

【0006】

電熱線は、第1弾性系および金属線を具備する。第1弾性系は絶縁性である。したがって、電熱線の電気抵抗値は、金属線の電気抵抗値に主に依存する。アクチュエータワイヤの伸縮に伴い、金属線の破断や磨耗は発生しがたい。このため、アクチュエータワイヤが繰り返し伸縮しても、電熱線の電気抵抗値はほぼ変化しない。したがって、複数の電熱線を具備する網状の発熱体の電気抵抗値もほぼ変化しない。これにより、網状の発熱体が加熱されたとき、その発熱量がほぼ一定となる。この結果、アクチュエータワイヤの収縮量

10

20

30

40

50

を一定に維持することができる。

【0007】

本開示は、加熱および放熱が繰り返されても網状の発熱体の電気抵抗値がほぼ変化しないアクチュエータ装置を提供する。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】図1は、本開示の実施の形態1におけるアクチュエータ装置60の模式図を示す。

【図2A】図2Aは、互いに撚り合わされた2本のコイル状ポリマー繊維111a、111bから構成されているアクチュエータワイヤ1の模式図を示す。

10

【図2B】図2Bは、本開示の実施の形態1における電熱線21の模式図を示す。

【図2C】図2Cは、本開示の実施の形態1の変形例における電熱線21の模式図を示す。

【図2D】図2Dは、加熱前における、複数本のアクチュエータ68を具備するアクチュエータ装置60が太腿100hに取り付けられた状態の模式図を示す。

【図2E】図2Eは、加熱後における、複数本のアクチュエータ68を具備するアクチュエータ装置60が太腿100hに取り付けられた状態の模式図を示す。

【図3A】図3Aは、加熱前におけるアクチュエータ68の簡略図を示す。

【図3B】図3Bは、図3Aに含まれる線3B-3Bに沿って切断した断面図を示す。

【図3C】図3Cは、加熱時におけるアクチュエータ68の簡略図を示す。

20

【図3D】図3Dは、図3Cに含まれる線3D-3Dに沿って切断した断面図を示す。

【図3E】図3Eは、編まれた複数の電熱線21の模式図を示す。

【図3F】図3Fは、織られた複数の電熱線21の模式図を示す。

【図3G】図3Gは、織られた複数の電熱線21の模式図を示す。

【図4】図4は、特許文献3に示される製紐機の図を示す。

【図5】図5は、アクチュエータ68を製造するために用いられる製紐機の模式図を示す。

【図6A】図6Aは、実施例1によるアクチュエータ68が収縮した状態の模式図を示す。

【図6B】図6Bは、実施例1によるアクチュエータ68が伸長した状態の模式図を示す。

30

【図7A】図7Aは、加熱試験において用いられた試験装置の概略図を示す。

【図7B】図7Bは、放射温度計15によって測定されたアクチュエータワイヤ1の側面の温度を示すグラフである。

【図7C】図7Cは、レーザー変位計14を用いて測定されたアクチュエータワイヤ1の長さを示すグラフである。

【図8】図8は、実施例1における網状の発熱体2の電気抵抗値の変化を示すグラフである。

【図9A】図9Aは、比較例1において用いられたアクチュエータの模式図を示す。

【図9B】図9Bは、図9Aに含まれる線9B-9Bに沿って切断した断面図を示す。

40

【図9C】図9Cは、電熱線に電流が流された場合の断面図を示す。

【図10A】図10Aは、比較例1および比較例2によるアクチュエータワイヤの伸縮率を示すグラフである。

【図10B】図10Bは、比較例1および比較例2によるアクチュエータワイヤの側面の表面温度を示すグラフである。

【図10C】図10Cは、比較例2における網状の発熱体の電気抵抗値の変化を示す図である。

【図11A】図11Aは、比較例3によるアクチュエータが収縮した状態の模式図を示す。

【図11B】図11Bは、比較例3によるアクチュエータが伸長した状態の模式図を示す。

50

。【発明を実施するための形態】

【0009】

本発明者らは、非特許文献1に開示されたコイル状ポリマー繊維から形成されるアクチュエータの加熱源として、コイル状ポリマー繊維の外側面を被覆する、複数の電熱線から構成される網状の発熱体を用いることを検討した。

【0010】

本発明者らは、撚られた銀メッキナイロン糸を電熱線として用いた。本発明者らは、図11Bに示されるように、コイル状ポリマー繊維の外側面の周りに複数の電熱線を組み、網状の発熱体を形成した。本発明者らがこの網状の発熱体を加熱源として用いてコイル状ポリマー繊維を繰返し収縮させたところ、網状の発熱体の抵抗値が変化した。これは、メッキ金属の熱膨張係数およびナイロン糸の熱膨張係数の違いにより、ナイロン糸からメッキ金属が剥がれたためであると推察された。

10

【0011】

本発明者らは、網状の発熱体の電気抵抗値の変化を抑制するために鋭意研究を行った。その結果、本発明者らは、上述の一態様に想到した。

【0012】

以下、本開示の実施形態が図面を参照しながら詳細に説明される。

【0013】

図1は、実施形態によるアクチュエータ装置60の模式図を示す。実施形態によるアクチュエータ装置60は、アクチュエータワイヤ1、網状の発熱体2、および制御装置5を具備する。アクチュエータ装置60のアクチュエータワイヤ1の外側面に発熱体2が配置され、発熱体2と制御装置5とが電氣的に接続されている。なお、アクチュエータ68はアクチュエータワイヤ1および発熱体2を具備する。

20

【0014】

(アクチュエータワイヤ1) アクチュエータワイヤ1の詳細は、本特許出願に先行する特許文献5を参照せよ。この特許文献5(すなわち、特許第6111438号)、特許文献5に対応する米国特許出願15/245,145、中国特許出願20168000857.0、および欧州特許出願16767126.2は本願に参照として援用される。

【0015】

アクチュエータワイヤ1は、非特許文献1に開示されている。本開示は、当該特許文献5に開示されたアクチュエータワイヤ1の改良に係るとも言える。本明細書において用いられる用語「アクチュエータワイヤ」および「発熱体」は、それぞれ、当該特許文献5において用いられる用語「繊維」および「温度調節装置」に対応する。

30

【0016】

当該特許文献5に開示されているように、アクチュエータワイヤ1は、直鎖状低密度ポリエチレンから形成されているコイル状ポリマー繊維から構成され得る。アクチュエータワイヤ1は、加熱により縮み、かつ放熱により復元する。一例として、10MPaの加重をその一端に印加されたアクチュエータワイヤ1が摂氏90度に加熱されると、アクチュエータワイヤ1は、23%ほど縮む。アクチュエータワイヤ1が室温まで冷却されると、アクチュエータワイヤ1は元の長さになるように復元する。特許文献5にも開示されているように、アクチュエータワイヤ1は、例えば、摂氏30度以上摂氏100度以下の温度に加熱され得る。なお、コイル状ポリマー繊維の材質は、直鎖状低密度ポリエチレンに限られない。例えば、ポリエチレン(例えば、低密度ポリエチレン、または、高密度ポリエチレン)、ナイロン(例えば、ナイロン6、ナイロン6,6、ナイロン12)、ポリエステル、またはエラストマー(例えば、シリコンゴム)でもよい。

40

【0017】

アクチュエータワイヤ1は、1本のコイル状ポリマー繊維から構成され得る。図2Aに示されるように、アクチュエータワイヤ1は、互いに撚り合わされた2本以上のコイル状ポリマー繊維111から構成され得る。言い換えれば、アクチュエータワイヤ1は、撚ら

50

れた1本のコイル状ポリマー繊維111aの側面に捻られた他のコイル状ポリマー繊維111bの側面が接するように、2本以上のコイル状ポリマー繊維111を捻ることで形成され得る。図2Aでは、アクチュエータワイヤ1は、互いに撚り合わされるように一体化された2本のコイル状ポリマー繊維111から構成されている。

【0018】

(網状の発熱体2)

網状の発熱体2は、アクチュエータワイヤ1の側面を被覆している。網状の発熱体2は、アクチュエータワイヤ1を内部に含むように、筒状であることが望ましい。網状の発熱体2は、複数の電熱線21から構成されている。後述されるように、網状の発熱体2は、複数の電熱線21を組む、編む、または織ることによって、形成される。

10

【0019】

(電熱線21)

図2Bは、電熱線21の一例を示す。電熱線21は、絶縁性の弾性系51(すなわち、芯糸)および金属ワイヤ52(すなわち、鞘糸)を具備する。図2Bに示される電熱線21は、「シングルカバリング電熱線」と称される。シングルカバリング電熱線において、鞘糸は、芯糸の周りにS撚りまたはZ撚りに組まれている。図2Bに示される例では、金属ワイヤ52がZ撚りに組まれている。

【0020】

電熱線21の電気抵抗値は、金属ワイヤ52の電気抵抗値に主に依存する。アクチュエータワイヤ1が伸縮したとき、金属ワイヤ52の破断や磨耗は発生しがたい。このため、アクチュエータワイヤ1が繰り返し伸縮しても、電熱線21の電気抵抗値はほぼ変化しない。これにより、網状の発熱体2が加熱されたとき、その発熱量がほぼ一定となる。この結果、アクチュエータワイヤ1の収縮量をほぼ一定に維持することができる。金属ワイヤ52の代わりに金属がメッキされた糸が用いられる場合、アクチュエータワイヤ1の繰り返し伸縮の繰り返しにより電熱線の電気抵抗値は変化する可能性がある。これは、メッキ金属の熱膨張係数が糸の熱膨張係数とは異なることにより、糸からメッキ金属が剥がれると考えられるためである。この場合、アクチュエータワイヤ1の収縮量を一定に維持することができない。

20

【0021】

電熱線21において、金属ワイヤ52は弾性系51に巻き付けられている。このため、電熱線21の剛性は、弾性系51の剛性に主に依存する。弾性系51は、糸状かつ弾性体であるため、低い剛性を有する。このため、電熱線21は低い剛性を有する。これにより、複数の電熱線21から構成される網状の発熱体2はアクチュエータワイヤ1の収縮に追従できる。弾性系51の代わりに非弾性糸が用いられる場合、電熱線は低い剛性を有さない。このため、この場合、網状の発熱体がアクチュエータワイヤ1の収縮に追従することは困難である。

30

【0022】

このように、電熱線21は、2つの利点を有する。すなわち、それらは、経時変化がほとんどない電気抵抗値、および低い剛性である。

40

【0023】

また、電熱線21は、後述されるダブルカバリング電熱線よりも製造工程の数および部材の数が少ないという利点も有する。

【0024】

図2Bに示されるように、弾性系51は複数の露出された部分を有することが望ましい。これは、弾性系51が露出された部分を有しない程度に密に金属ワイヤ52が巻き付けられている場合、電熱線21をアクチュエータワイヤ1の周りに巻き付けにくいからである。なお、大きな伸縮量を有する弾性系51、例えば、スパンデックス(spandex)が用いられる場合、弾性系51が露出された部分を有しない程度に密に金属ワイヤ52が巻き付けられていてもよい。これは、アクチュエータワイヤ1の周りに電熱線21が巻

50

きつけられる際に電熱線 2 1 に張力が印加され、複数の露出された部分が形成されるからである。

【 0 0 2 5 】

図 2 C は、電熱線 2 1 の別の例を示す。図 2 C に示される電熱線 2 1 は、「ダブルカバーリング電熱線」と称される。ダブルカバーリング電熱線は、芯糸、第 1 鞘糸、および第 2 鞘糸を有する。ダブルカバーリング電熱線において、芯糸の周りに第 1 鞘糸の S 撚りに組まれ、さらに第 1 鞘糸が組まれた芯糸の周りに第 2 鞘糸が Z 撚りに組まれている。あるいは、芯糸の周りに第 1 鞘糸の Z 撚りに組まれ、さらに第 1 鞘糸が組まれた芯糸の周りに第 2 鞘糸が S 撚りに組まれている。

【 0 0 2 6 】

図 2 C に示されるように、第 2 弾性系 5 3 の一部は金属線 5 2 を被覆し、かつ第 2 弾性系 5 3 の他の部分は、第 1 弾性系 5 1 を被覆している。言い換えれば、第 1 弾性系 5 1 の長軸方向に垂直な断面において、金属線 5 2 は、第 1 弾性系 5 1 および第 2 弾性系 5 3 の間に位置している。第 2 弾性系 5 3 は、金属線 5 2 が螺旋状に巻き付けられた第 1 弾性系 5 1 に螺旋状に巻き付けられている。

【 0 0 2 7 】

ダブルカバーリング電熱線が絶縁性を有する第 1 弾性系 5 1 (すなわち、芯糸)、金属ワイヤ 5 2 (すなわち、第 1 鞘糸)、および絶縁性を有する第 2 弾性系 5 3 (すなわち、第 2 鞘糸)を備える場合、金属ワイヤ 5 2 を第 2 弾性系 5 3 で押さえることができる。これにより、金属ワイヤ 5 2 が第 1 弾性系 5 1 から離間することが抑制される。

【 0 0 2 8 】

ダブルカバーリング電熱線が絶縁性を有する第 1 弾性系 (すなわち、芯糸)、絶縁性を有する第 2 弾性系 (すなわち、第 1 鞘糸)、および金属ワイヤ (すなわち、第 2 鞘糸)を具備する場合、芯糸および第 1 鞘糸の間に空気層が形成されている。このため、保温効果を得ることができる。

【 0 0 2 9 】

弾性系の種類または材料を選ぶことで、異なる性質を有する電熱線 2 1 を得ることができる。例えば、弾性系としてスパンデックスを用いることで、優れた伸縮性を有する電熱線 2 1 が得られる。これは、スパンデックスが非常に高い弾性を有するためである。また、延伸された高密度ポリエチレンのように熱伝導性に異方性がある材料から弾性系が形成

【 0 0 3 0 】

絶縁性を有する弾性系の材料の例は、ポリウレタン、ポリエステル、ポリエチレン、またはナイロンである。弾性系は、100度以下の耐熱性を有することが望ましい。金属ワイヤの材料は、導電性材料、例えば、ステンレス、銅、または金であればよい。なお、1本の金属ワイヤの引張強さ (N/mm^2) およびその断面積 (mm^2) の積が、0.27 N より大きく、かつ 0.63 N より小さいことが望ましい。ここで引張強さとは、金属ワイヤが破断するときの引張応力を意味する。この積が 0.63 N 以上の場合、金属ワイヤの剛性が高すぎるため、弾性系に金属ワイヤを密着させにくい。一方で、この積が 0.27 N 以下では、金属ワイヤの剛性が低いため、電熱線 2 1 の作製が困難になる。この積が

【 0 0 3 1 】

網状の発熱体 2 は、複数の電熱線 2 1 から形成され得る。図 1 に示されるように、網状の発熱体 2 は全体として網の形状を有するように、複数の電熱線 2 1 は互いに交差することが望ましい。

【 0 0 3 2 】

網状の発熱体 2 は、組まれた複数の電熱線 2 1、編まれた複数の電熱線 2 1、または織られた複数の電熱線 2 1 のいずれかから形成される。

【 0 0 3 3 】

図 1 に示される網状の発熱体 2 は、組まれた複数の電熱線 2 1 から形成されている。図

10

20

30

40

50

3 Aは、組まれた複数の電熱線 2 1 から形成されている網状の発熱体 2 を具備するアクチュエータ 6 8 の簡略的な模式図を示す。各電熱線 2 1 がアクチュエータワイヤ 1 の外側面に螺旋状に巻き付くように、複数の電熱線 2 1 a、2 1 b が組まれ、アクチュエータワイヤ 1 の外側面を被覆している網状の発熱体 2 を構成している。3 本以上の電熱線 2 1 が組まれて網状の発熱体 2 を構成することが望ましい。各電熱線 2 1 (すなわち、2 1 a、2 1 b) は、コイル(すなわち、螺旋)の形状を有し得る。各電熱線 2 1 は、糸の形状を有し得る。ここで、各電熱線 2 1 は、S 撚りまたは Z 撚りに組まれている。

【0034】

図 3 E は、編まれた複数の電熱線 2 1 の模式図を示す。各電熱線 2 1 は、矩形波の形状を有し得る。矩形波の形状を有する複数の電熱線 2 1 が、網状の発熱体 2 を形成するように、編まれている。編まれた複数の電熱線 2 1 から構成される網状の発熱体 2 がアクチュエータワイヤ 1 の外側面に巻き付けられる。図 3 F および図 3 G は、織られた複数の電熱線 2 1 の模式図を示す。各電熱線 2 1 は、細長い板の形状を有し得る。各電熱線 2 1 としてアクチュエータワイヤ 1 の外側面に螺旋状に巻き付くように、複数の電熱線 2 1 a、2 1 b が織られ、アクチュエータワイヤ 1 の外側面を被覆している網状の発熱体 2 を構成している。織られた複数の電熱線 2 1 は、複数の第 1 電熱線 2 1 a および複数の第 2 電熱線 2 1 b に分けられる。第 1 電熱線 2 1 a は、互いに平行である。第 2 電熱線 2 1 a も平行である。各第 1 電熱線 2 1 a は、隣接する 2 本の第 2 電熱線 2 1 b の一方の表側の面および他方の裏側の面に接する。各第 2 電熱線 2 1 b もまた、隣接する 2 本の第 1 電熱線 2 1 a の一方の表側の面および他方の裏側の面に接する。

10

20

後述されるように、アクチュエータワイヤ 1 が繰り返し収縮および復元できる限り、すなわち、網状の発熱体 2 がアクチュエータワイヤ 1 の繰り返し収縮および復元に追従できる限り、網状の発熱体 2 は、組まれた複数の電熱線 2 1、編まれた複数の電熱線 2 1、または織られた複数の電熱線 2 1 のいずれから形成されていてもよい。

【0035】

網状の発熱体 2 の一端は、アクチュエータワイヤ 1 の一端に接合されている。図 1 に示されるように、一例として、接合具 4 を用いて、アクチュエータワイヤ 1 の一端が網状の発熱体 2 の一端と共に加締される。このようにして、網状の発熱体 2 の一端は、アクチュエータワイヤ 1 の一端に第 1 接合具 4 a を用いて接合される。同様に、網状の発熱体 2 の他端もまた、アクチュエータワイヤ 1 の他端に第 2 接合具 4 b を用いて接合されている。すなわち、第 2 接合具 4 b を用いて、アクチュエータワイヤ 1 の他端が網状の発熱体 2 の他端と共に加締により固定される。第 1 および第 2 接合具 4 a、4 b の例は、圧着端子である。圧着端子は、フォーク圧着端子またはリング圧着端子であり得る。図 1 には、第 1 接合具 4 a として、リング圧着端子が図示されている。このように、網状の発熱体 2 は、アクチュエータワイヤ 1 の一端および他端の間に設けられている。接合具 4 は金属から形成されることが望ましい。その理由は後述される。

30

【0036】

(制御装置 5)

制御装置 5 は、網状の発熱体 2 に電力を供給し、網状の発熱体 2 を発熱させてアクチュエータワイヤ 1 を加熱する。制御装置 5 は、網状の発熱体 2 に電力を供給するための電源を具備し得る。網状の発熱体 2 に供給される電力は、交流または直流である。制御装置 5 は、さらにスイッチを具備し得る。スイッチがオンである間には、網状の発熱体 2 に電力が供給される。スイッチがオフである場合には、網状の発熱体 2 に電力は供給されない。

40

【0037】

(アクチュエータ装置 6 0 の製造方法)

以下、本開示によるアクチュエータ装置 6 0 の製造方法が説明される。

【0038】

まず、周知のカバーリング加工機を用いて、金属ワイヤ 5 2 が弾性系 5 1 に螺旋状に巻きつけられ、電熱線 2 1 を形成する。

50

【0039】

次に、周知の製紐機を用いて、アクチュエータワイヤ1の外側面の周りに複数の電熱線21が組まれて、アクチュエータワイヤ1およびその表面を被覆する網状の発熱体2を具備するアクチュエータ68を得る。図4は、特許文献3に示される製紐機である。図4において、参照符号109、110、111a~111h、112a~112h、113、および114は、それぞれ、製紐機、基板、糸巻体(すなわち、キャリア)、軌道、組紐、およびガイドロールを指し示す。特許文献4は、アクチュエータワイヤ1の外側面に電熱線21を螺旋状に巻き付ける製紐機を開示している。

【0040】

図5は、アクチュエータ68を製造するために用いられる製紐機の模式図を示す。図5において、参照符号101、102、103、105a~105d、106(106a~106d)、および107(107a~107d)は、それぞれ、ポピン、滑車、巻き上げ装置、ポピン、スピンドル、および波状軌道を指し示す。図5に示される製紐機は、周知の製紐機に、ポピン101および滑車102を追加することにより構成されている。ポピン101からは、アクチュエータワイヤ1が供給される。アクチュエータワイヤ1は、滑車102によりガイドされる。その後、波状軌道107a~107dおよびスピンドル106a~106dを介してアクチュエータワイヤ1の外側面の周囲に複数の電熱線21が供給されながら、アクチュエータワイヤ1は複数の電熱線21と共に巻き上げられる。このようにして、アクチュエータワイヤ1、およびアクチュエータワイヤ1の外側面を被覆している複数の電熱線21から構成されている網状の発熱体2を具備するアクチュエータ68が得られる。「複数の電熱線21が、S撚りに組まれている」とは、上述の製造方法によって各電熱線21がS撚りに組まれていることを意味する。「複数の電熱線21が、Z撚りに組まれている」とは、上述の製造方法によって各電熱線21がZ撚りに組まれていることを意味する。

【0041】

アクチュエータ68は、所望の長さに切断される。所望の長さに切断されたアクチュエータ68の両端は、第1接合具4aおよび第2接合具4bにより加締される。このようにして、アクチュエータ68を得る。最後に、電線を用いて、接合具4(すなわち、第1接合具4aおよび第2接合具4b)を制御装置5に電気的に接続する。このようにして、本開示によるアクチュエータ装置60が製造される。

【0042】

(アクチュエータ装置60の動作)

以下、アクチュエータ装置60の動作が説明される。

【0043】

図1に示されるように、アクチュエータワイヤ1は、例えば、おもり6を用いて、ピンと張られる。言い換えれば、おもり6により、アクチュエータワイヤ1には、その長手方向に沿って張力が印加される。

【0044】

図3Aは、網状の発熱体2が加熱されておらず、かつ張力が印加されたアクチュエータ68の簡略図を示す。図3Bは、図3Aに含まれる線3B-3Bに沿って切断した断面図を示す。図3Aに示されるように、網状の発熱体2の網目は、アクチュエータワイヤ1の外側面から大きく離間することなく、アクチュエータワイヤ1の伸張に追従して変形する。これは、網状の発熱体2を構成する複数の電熱線21の各々が低い剛性を有するためである。なお、弾性系51に螺旋状に巻き付けられた金属ワイヤ52は、高い剛性を有するものの、その螺旋の形状の変形によって弾性系51の伸縮に追従する。

【0045】

図3A、図3Bに示されるように、網状の発熱体2が加熱されていない場合、網状の発熱体2はアクチュエータワイヤ1の外側面に接している。

【0046】

制御装置5を用いて網状の発熱体2が加熱された直後では、網状の発熱体2はアクチュ

エータワイヤ 1 の外側面に接しているため、網状の発熱体 2 の発熱によって生じた熱は、アクチュエータワイヤ 1 に効率よく伝えられる。

【 0 0 4 7 】

図 3 C は、アクチュエータワイヤ 1 が網状の発熱体 2 によって加熱されているときのアクチュエータ 6 8 の簡略図である。図 3 D は、図 3 C に含まれる線 3 D - 3 D に沿って切断した断面図を示す。網状の発熱体 2 の加熱によって、アクチュエータワイヤ 1 は縮む。このとき、網状の発熱体 2 の網目はアクチュエータワイヤ 1 の外側面から大きく離間することなくアクチュエータワイヤ 1 の収縮に追随する。これにより、アクチュエータワイヤ 1 をほぼ均一に加熱することができる。仮に、網状の発熱体が高い剛性を有する複数の金属ワイヤから構成される場合、網状の発熱体の網目はアクチュエータワイヤ 1 の収縮に追随できず、網状の発熱体を構成する複数の金属ワイヤの一部がアクチュエータワイヤ 1 の外側面から大きく離間する。このため、アクチュエータワイヤ 1 をほぼ均一に加熱することができない。この結果、アクチュエータ装置の効率が低下する。

10

【 0 0 4 8 】

図 3 C および図 3 D に示されるように、電熱線 2 1 a、2 1 b はアクチュエータワイヤ 1 の外側面から離間する。図 3 C に示すように、網状の発熱体 2 がほぼ均一に膨らむことで、図 3 D に示す電熱線 2 とアクチュエータワイヤ 1 との間の距離がほぼ均一になる。これにより、放熱時には、アクチュエータワイヤ 1 における温度分布がほぼ均一になる。仮に、網状の発熱体が高い剛性を有する複数の金属ワイヤから構成される場合、網状の発熱体の網目はほぼ均一に膨らむことができない。このため、放熱によって網状の発熱体が復元したときに、網目が不均一な形状に再構成され易い。

20

【 0 0 4 9 】

このように、筒状の網状の発熱体 2 の両端に接合された両端を有するアクチュエータワイヤ 1 が縮むために、網状の発熱体 2 は、アクチュエータワイヤ 1 の外側面から網状の発熱体 2 がアクチュエータワイヤ 1 の長手方向に直交する方向（すなわち、中心軸に対する半径方向外向き）に移動するように、外側に離間する。言い換えれば、網状の発熱体 2 が電力の印加により加熱されている間は、網状の発熱体 2 が部分的に又は全体的に膨らむように、網状の発熱体 2 は変形する。

【 0 0 5 0 】

このように、加熱時に網状の発熱体 2 がアクチュエータワイヤ 1 の外側面から離間する、すなわち、加熱時には網状の発熱体 2 が膨らむので、網状の発熱体 2 はアクチュエータワイヤ 1 の外側面には接しない。

30

【 0 0 5 1 】

非特許文献 1 に開示されているように、網状の発熱体 2 が冷却された場合、アクチュエータワイヤ 1 は復元する。言い換えれば、網状の発熱体 2 が冷却された場合、アクチュエータワイヤ 1 はその長手方向に沿って伸び、元通りの形状に戻る。そのため、筒状の網状の発熱体 2 はアクチュエータワイヤ 1 の外側面に接する。網状の発熱体 2 は、室温下で自然に冷却され得る。これに代えて、網状の発熱体 2 はペルチェ素子のような冷却器を用いて冷却され得る。前記の収縮および復元は繰り返され得る。

【 0 0 5 2 】

筒状の網状の発熱体 2 の両端は、第 1 接合具 4 a および第 2 接合具 4 b により、アクチュエータワイヤ 1 の両端に接合されている。第 1 接合具 4 a および第 2 接合具 4 b は金属から形成されることが望ましい。なぜなら、網状の発熱体 2 の両端において生じた熱は、金属から形成される第 1 接合具 4 a および第 2 接合具 4 b を介して空気中に放出されるからである。

40

【 0 0 5 3 】

（アクチュエータ装置 6 0 の使用例）

アクチュエータ装置 6 0 の使用例が説明される。

【 0 0 5 4 】

図 2 D は、加熱前における、複数本のアクチュエータ 6 8 を具備するアクチュエータ装

50

置 60 が太腿 100 h に取り付けられた状態の模式図を示す。図 2 E は、加熱後における、複数本のアクチュエータ 68 を具備するアクチュエータ装置 60 が太腿 100 h に取り付けられた状態の模式図を示す。

【0055】

図 2 D および図 2 E に示されるように、一例として、アクチュエータ装置 60 は複数本のアクチュエータ 68、第 1 固定具 150、および第 2 固定具 160 を具備する。

【0056】

第 1 固定具 150 および第 2 固定具 160 として、例えば、面ファスナーが用いられ得る。この場合、第 1 固定具 150 および第 2 固定具 160 の一方は、多数のフック状の突起を表面に有するフック表面を有し、かつ第 1 固定具 150 および第 2 固定具 160 の他
10 方は、多数のループ状の突起を表面に有するループ表面を有する。フック表面をループ表面に押し付けることで、第 1 固定具が第 2 固定具に固定される。第 1 固定具に対する第 2 固定具の固定箇所の調整が可能である。

【0057】

加熱により、図 2 E に示されるように、太腿 100 h の内側に向かって太腿 100 h を締め付ける力が発生する。

【0058】

(アクチュエータ装置 60 の特性)

アクチュエータ装置 60 には 2 つの特性が必要とされる。1 点目は入力エネルギーに対する仕事量の割合である。この割合は、効率とも称される。入力エネルギーは電力と時間
20 との積である。仕事量はおもりの荷重、その引き上げ距離、および重力加速度の積である。アクチュエータ装置 60 の効率は高いほど好ましい。2 点目は、繰り返し動作の耐久性である。電熱線 21 の電気抵抗値が変動すると、電熱線 21 の発熱量が変動する。この結果、アクチュエータ装置 60 の仕事量は変動する。このため、繰り返し動作に伴う電気抵抗値の変動は小さいことが好ましい。

【0059】

(実施例)

以下、本開示が実施例を参照しながら、より詳細に説明される。

【0060】

(実施例 1)

(アクチュエータワイヤ 1 の製造)

特許文献 5 の開示内容に従って、本発明者らはコイル状ポリマー繊維を得た。次に、図
2 A に示されるように、本発明者らは、2 本のコイル状ポリマー繊維を捻り、アクチュエータワイヤ 1 を得た。このように、アクチュエータワイヤ 1 は、互いに撚り合わされた 2 本のコイル状ポリマー繊維から構成された。言い換えれば、捻られた 1 本のコイル状ポリマー繊維の外側面は、捻られた他のコイル状ポリマー繊維の外側面に接していた。

【0061】

(電熱線 21 の製造)

ポリエステルからなるモノフィラメント(東レ株式会社より購入、繊維の太さ: 15 デ
ニール)が弾性系 51 として用いられた。ステンレス線(日本精線株式会社より購入、商
40 品名: ステンレス鋼線、材質: SUS 316L、直径寸法: 0.030 mm)が金属ワイヤ 52 として用いられた。弾性系 51 の周りに金属ワイヤ 52 が S 撚り(撚り数: 2950 T/m)に組まれた。このようにして、本発明者らは電熱線 21 を得た。

【0062】

(アクチュエータワイヤ 1 への電熱線 21 の被覆)

本発明者らは、図 5 に示される製紐機を用いて、アクチュエータワイヤ 1 の外側面を 4 本の電熱線 21 により被覆した。

【0063】

本発明者らは、電熱線 21 により被覆されたアクチュエータワイヤ 1 を切断して、おおよそ 240 ミリメートルの長さを有するアクチュエータ 68 を得た。このようにして、本
50

発明者らは、アクチュエータワイヤ1および当該アクチュエータワイヤ1の外側面を被覆する網状の発熱体2から構成されるアクチュエータ68を得た。

【0064】

(接合具4による接合)

本発明者らは、アクチュエータ68の両端を、金属製の第1接合具4aおよび第2接合具4bを用いて加締した。このとき、第1接合具4aおよび第2接合具4bとして、丸形の圧着端子が用いられた。このようにして、本発明者らは、アクチュエータ68を得た。このアクチュエータ68の伸縮状態を観察した。図6Aにアクチュエータ68が収縮した状態を、図6Bにアクチュエータ68が伸長した状態を示す。両者とも、網状の発熱体2は均一な形状であった。

10

【0065】

(加熱試験)

アクチュエータ68の加熱試験が、以下のように行われた。図7Aは、加熱試験において用いられた試験装置の概略図を示す。第1接合具4aは、固定板7を用いて固定された。第2接合具4bには、0.070kgのおもり6がワイヤ8を介して取り付けられた。このおもり6により、アクチュエータワイヤ1はピンと張られ、アクチュエータ68の全長は47.5mmになった。以下において、「アクチュエータ68の全長」とは、アクチュエータワイヤ1に張力が負荷されて、ピンと張られたときのアクチュエータ68の全長を意味する。ワイヤ8は、滑車12によりガイドされた。第2接合具4bには、鏡13がさらに取り付けられた。このように、第1接合具4aは固定された一方、第2接合具4bはアクチュエータワイヤ1の長手方向に沿って振動可能に配置された。図7Aでは、網状の発熱体2は省略されていることに留意せよ。

20

【0066】

図7Aに示されるように、本発明者らは、第1接合具4aおよび第2接合具4bを電氣的に制御装置5に接続した。制御装置5を用いて、網状の発熱体2に100ミリアンペアの電流、0.25ワットの電力が7秒間の加熱時間の間、印加された。このときの網状の発熱体2の電気抵抗値は33Ωであった。このようにして、アクチュエータワイヤ1の外側面が加熱された。入力エネルギーは、1.75ジュール(=0.25ワット×7秒)であった。ここで、入力エネルギーは、電力に時間を乗じることにより算出された。加熱により、アクチュエータワイヤ1は、その長手方向に、収縮した。この収縮運動によって、0.070kgのおもり6は、0.0033m引き上げられた。このときのアクチュエータワイヤ1の仕事量は、0.00226ジュール(=0.070kg×0.0033m×9.8m/s²)であった。ここで、仕事量は、おもり6の荷重に、おもり6が引き上げられた距離および重力加速度を乗じることにより算出された。以上より、実施例1によるアクチュエータ装置の効率(すなわち、100×仕事量/入力エネルギー)は0.129%(=100×0.00226ジュール/1.75ジュール)であった。次いで、50秒間の冷却時間、電流を網状の発熱体2に流さなかった。このようにして、アクチュエータワイヤ1の外側面を室温下で自然に冷却した。

30

【0067】

放熱により、アクチュエータワイヤ1は、その長手方向に伸び、復元した。アクチュエータワイヤ1の収縮および復元と共に、鏡13は、アクチュエータワイヤ1の長手方向に振動した。鏡13の振動は、レーザー変位計14(キーエンス社から購入、商品名:LK-080)により測定された。アクチュエータワイヤ1の外側面の温度が、放射温度計15(Apiste社から購入、商品名:FSV-210)を用いて測定された。

40

【0068】

図7Bは、放射温度計15によって測定されたアクチュエータワイヤ1の外側面の温度を示すグラフである。図7Bから明らかなように、アクチュエータワイヤ1の外側面の温度がおよそ摂氏70度に到達した後は、アクチュエータワイヤ1の外側面の温度が低下し始める。このことは、網状の発熱体2が、アクチュエータワイヤ1の外側面から離れたことを意味している。電流が網状の発熱体2に流されている間は、アクチュエータワイヤ

50

1の外側面の温度は、およそ摂氏60度以上摂氏70度以下に維持された。電流が網状の発熱体2に流されていない間は、アクチュエータワイヤ1の外側面の温度は、およそ摂氏35度に維持された。

【0069】

図7Cは、レーザー変位計14を用いて測定されたアクチュエータワイヤ1の長さを示すグラフである。図7Cから明らかなように、電流が網状の発熱体2に流されている間、すなわち、アクチュエータワイヤ1が加熱されている間には、アクチュエータワイヤ1は短くなり、53.7ミリメートルの長さになった。一方、アクチュエータワイヤ1が加熱されていない間には、アクチュエータワイヤ1は復元して、元通りの58.3ミリメートルの長さになった。

【0070】

この加熱および冷却が20万回繰り返された。図8は、この間の網状の発熱体2の電気抵抗値の変化を示す。図8において、多数の測定のノイズが見られるものの、網状の発熱体2の電気抵抗値は変化しなかった。その電気抵抗値は、33だった。

【0071】

(実施例2)

実施例2では、電熱線21としてダブルカバリング電熱線が用いられたこと以外は、実施例1と同様の実験が行われた。スパンデックス(東レ・オペロンテックス株式会社から購入、商品名:T-906C、180デニール)が第1弾性系51として用いられた。ステンレス線(日本精線株式会社から購入、商品名:ステンレス鋼線、材質:SUS 316L、直径寸法:0.030mm)が金属ワイヤ52として用いられた。ポリエステルからなるモノフィラメント(THAI POLYESTER CO. LTDから購入、繊維の太さ:75デニール)が第2弾性系として用いられた。まず、第1弾性系51の周りに金属ワイヤ52がS撚り(撚り数:844T/m)に組まれた。次に、金属ワイヤ52がS撚りに組まれた第1弾性系51の周りに第2弾性系がZ撚り(撚り数:1006T/m)に組まれた。このようにして、本発明者らは電熱線21を得た。

【0072】

アクチュエータ68は66mmの長さを有していた。

【0073】

制御装置5を用いて、網状の発熱体2に110ミリアンペアの電流、0.43ワットの電力が7秒間の加熱時間の間、印加された。このようにして、アクチュエータワイヤ1の外側面が加熱された。入力エネルギーは、3.01ジュール(=0.43ワット×7秒)であった。加熱により、アクチュエータワイヤ1は、その長手方向に収縮した。この収縮運動によって、0.070kgのおもり6が0.0044m引き上げられた。仕事量は、0.00302ジュール(=0.070kg×0.0044m×9.8m/s²)であった。以上から実施例2によるアクチュエータ装置60の効率は0.100%(=100×0.00302ジュール/3.01ジュール)であった。また、加熱および冷却が1000回繰り返された。この間、網状の発熱体2の電気抵抗値の変化はなかった。

【0074】

(比較例1)

比較例1では、発熱体2が網状ではなく、1本の電熱線であったこと以外は、実施例1と同様の実験が行われた。言い換えれば、比較例1では、図9Aに示されるように、1本の電熱線が、アクチュエータワイヤ1の側面に螺旋状に巻きつけられた。この電熱線は、銀メッキナイロン系(株式会社ミツフジより購入、商品名:AGPoss、繊維の太さ:30デニール)を捻ることにより得られた。この電熱線は、250T/mの撚り数を有していた。比較例1のアクチュエータはおよそ240ミリメートルの長さを有していた。

【0075】

図7Aに示されるように、本発明者らは、第1圧着端子4aおよび第2圧着端子4bを電氣的に制御装置5に接続した。制御装置5を用いて、網状の発熱体2に70ミリアンペアの電流が流された。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 6 】

図 9 B は、図 9 A に含まれる線 9 B - 9 B に沿って切断した断面図を示す。図 9 B では、電熱線 2 1 に電流が流されていない。図 9 C は、電熱線 2 1 に電流が流された場合の断面図を示す。図 9 B および図 9 C に示されるように、電熱線 2 1 を流れる電流の有無に拘わらず、電熱線 2 1 はアクチュエータワイヤ 1 の側面に接している。そのため、加熱開始からおよそ 3 2 秒が経過したとき、アクチュエータワイヤ 1 は破断した。

【 0 0 7 7 】

図 1 0 A は、比較例 1 によるアクチュエータワイヤ 1 の伸縮率を示すグラフである。比較のため、下記の比較例 2 によるアクチュエータワイヤ 1 の伸縮率も示す。図 1 0 A から明らかなように、比較例 1 および比較例 2 においても、加熱開始から 3 0 秒が経過するまでの間は、伸縮率はマイナス 5 % ~ マイナス 1 0 % 程度であった。すなわち、アクチュエータワイヤ 1 は、5 % ~ 1 0 %、収縮した。しかし、比較例 1 では、加熱からおよそ 3 2 秒が経過した時点で、伸縮率が突然、+ 2 0 % に増加している。これは、比較例 1 のアクチュエータワイヤ 1 は破断したことを意味している。

10

【 0 0 7 8 】

図 1 0 B は、比較例 1 によるアクチュエータワイヤ 1 の側面の表面温度を示すグラフである。比較のため、下記の比較例 2 によるアクチュエータワイヤ 1 の側面の表面温度も示す。図 1 0 B から明らかなように、比較例 2 においては、アクチュエータワイヤ 1 の側面の表面温度は、常に、おおよそ摂氏 7 5 度以下であった。一方、比較例 1 においては、加熱からおよそ 3 2 秒が経過した時点で、アクチュエータワイヤ 1 の側面の温度が、突然、摂氏 9 0 度を超えた。これは、比較例 1 のアクチュエータワイヤ 1 は破断したことを意味している。

20

【 0 0 7 9 】

(比較例 2)

比較例 2 では、電熱線 2 1 として銀メッキナイロン線 (株式会社ミツフジより購入、商品名 : A G P o s s 、繊維の太さ : 3 0 デニール) を燃えることにより得られた線 (燃り数 : 2 5 0 T / m) が用いられたこと以外は、実施例 1 と同様の実験が行われた。銀メッキナイロン線は、ナイロンの弾性をほぼ保持していた。

【 0 0 8 0 】

比較例 2 のアクチュエータは、3 5 m m の長さを有していた。

30

【 0 0 8 1 】

制御装置 5 を用いて、網状の発熱体に 7 5 ミリアンペアの電流、0 . 1 9 ワットの電力が 7 秒間の加熱時間の間、印加された。このときの電気抵抗値は約 7 . 2 であつた。このようにして、アクチュエータワイヤ 1 の外側面が加熱された。入力エネルギーは、1 . 3 3 ジュール (= 0 . 1 9 ワット × 7 秒) であつた。加熱により、アクチュエータワイヤ 1 は、その長手方向に、収縮した。この収縮運動によって、0 . 0 5 0 k g のおもり 6 は 0 . 0 0 2 6 m 引き上げられた。仕事量は、0 . 0 0 1 2 7 ジュール (= 0 . 0 5 0 k g × 0 . 0 0 2 6 m × 9 . 8 m / s ²) であつた。すなわち、このアクチュエータ装置の効率は 0 . 0 9 6 % (= 1 0 0 × 0 . 0 0 1 2 7 ジュール / 1 . 3 4 ジュール) であつた。また、加熱および冷却が 5 0 0 回繰り返された。5 0 0 回終了後の網状の発熱体の電気抵抗値は 8 . 3 であつた。図 1 0 C は、この間の網状の発熱体の電気抵抗値の変化を示す。初期に電気抵抗値が 6 . 7 まで低下し、その後、増加した。電気抵抗値は、その最小値から最大値まで 2 3 % 変化した。

40

【 0 0 8 2 】

(比較例 3)

比較例 3 では、電熱線 2 1 としてステンレス線 (日本精線株式会社より購入、商品名 : ステンレス鋼線、材質 : S U S 3 1 6 L、直径寸法 : 0 . 0 5 0 m m) が用いられたこと以外は、実施例 1 と同様の実験が行われた。このステンレス線の引張強さは 9 0 0 (N / m m ²) で、断面積は 0 . 0 0 2 (m m ²) であつた。すなわち、それらの積は、1 . 8 0 (N) であつた。

50

【0083】

比較例3のアクチュエータは28mmの長さを有していた。このアクチュエータの伸縮状態が観察された。図11Aは、アクチュエータが収縮した状態を示す。図11Bは、アクチュエータが伸長した状態を示す。図11Aの領域50に示されるように、アクチュエータが収縮した状態において、網状の発熱体を構成する複数の電熱線の一部がアクチュエータワイヤ1の外側面から大きく離間した。

【0084】

制御装置5を用いて、網状の発熱体に230ミリアンペアの電流、0.276ワットの電力が7秒間の加熱時間の間、印加された。このようにして、アクチュエータワイヤ1の外側面が加熱された。入力エネルギーは、1.932ジュール(=0.276ワット×7秒)であった。加熱により、アクチュエータワイヤ1は、その長手方向に、収縮した。この収縮運動によって、0.050kgのおもり6は0.0030m引き上げられた。仕事量は、0.00147ジュール(=0.050kg×0.0030m×9.8m/s²)であった。すなわち、このアクチュエータ装置の効率は0.076%(=100×0.00147ジュール/1.932ジュール)であった。

【0085】

実施例1、2および比較例2、3の実験結果が表1に示される。

【0086】

【表1】

	電熱線形状	製紐	浮き	電気抵抗値変化	効率
実施例1	シングル カバーリング	可	なし	なし(20万回)	0.130
実施例2	ダブル カバーリング	可	なし	なし(1000回)	0.100
比較例2	金属メッキ単線	可	なし	23%増加(500回)	0.096
比較例3	金属単線	可	あり	測定せず	0.076

【0087】

比較例2によるアクチュエータ装置では、網状の発熱体の電気抵抗値が変化した。これは、メッキ金属の熱膨張係数および弾性系の熱膨張係数の違いにより、弾性系からメッキ金属が剥がれたためであると推察される。比較例2によるアクチュエータ装置では、アクチュエータワイヤ1の加熱および冷却の繰り返し動作において、網状の発熱体の発熱量が変動し、アクチュエータワイヤ1の収縮量は安定しないと考えられる。

【0088】

一方、実施例1および実施例2によるアクチュエータ装置では、網状の発熱体2の電気抵抗値が変化しなかった。このため、実施例1および実施例2によるアクチュエータ装置では、アクチュエータワイヤ1の収縮量を一定に維持できると考えられる。

【0089】

なお、比較例3のアクチュエータは、加熱および冷却の繰り返し動作試験に供されなかった。アクチュエータの伸縮に伴い、網状の発熱体を構成する複数のステンレス線が破断もしくは磨耗しない限り、網状の発熱体の電気抵抗値はほぼ変化しないと考えられる。表1に示されるように、実施例1および実施例2によるアクチュエータ装置の効率は、比較例2および比較例3によるアクチュエータ装置の効率よりも高かった。従って、実施例1および実施例2によるアクチュエータ装置は低消費電力の観点から好ましい。

【産業上の利用可能性】

【0090】

10

20

30

40

50

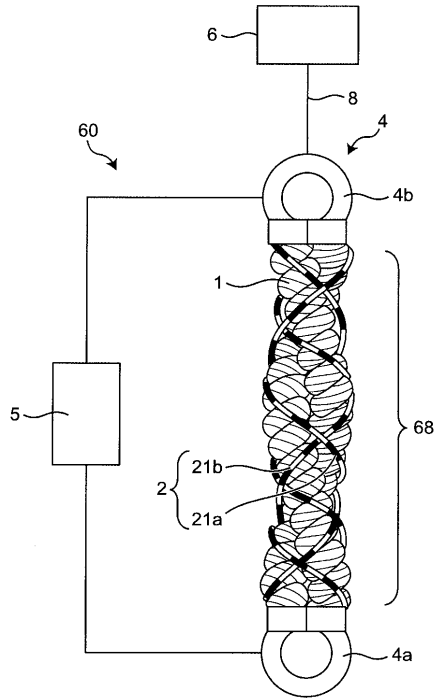
本開示によるアクチュエータ装置は、人工筋肉として用いられ得る。

【符号の説明】

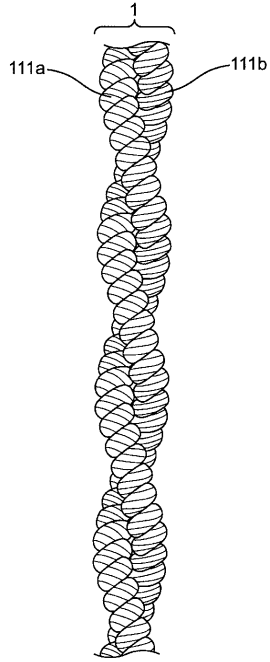
【0091】

1	アクチュエータワイヤ	
2	発熱体	
4	接合具	
4 a	第1接合具	
4 b	第2接合具	
5	制御装置	
6	おもり	10
7	固定板	
8	ワイヤ	
1 3	鏡	
1 4	レーザー変位計	
1 5	放射温度計	
2 1	電熱線	
2 2	滑車	
2 3	鏡	
5 0	領域	
5 1	弾性糸	20
5 2	金属ワイヤ	
5 3	第2弾性糸	
6 0	アクチュエータ装置	
6 8	アクチュエータ	
1 0 0 h	装着部	
1 0 1	ボビン	
1 0 2	滑車	
1 0 3	巻き上げ装置	
1 0 5 a ~ 1 0 5 d	ボビン	
1 0 6 a ~ 1 0 6 d	スピンドル	30
1 0 7 a ~ 1 0 7 d	波状軌道	
1 0 9	製紐機	
1 1 0	基板	
1 1 1 a ~ 1 1 1 h	糸巻体	
1 1 2 a ~ 1 1 2 h	軌道	
1 1 3	組紐	
1 1 4	ガイドロール	
1 5 0	第1固定具	
1 6 0	第2固定具	40

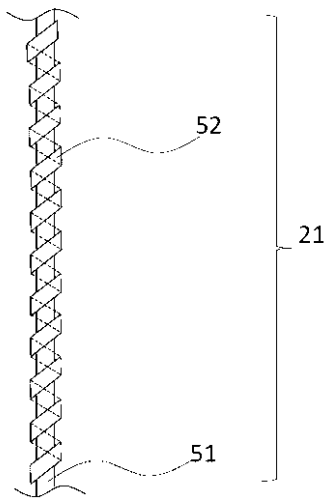
【図 1】



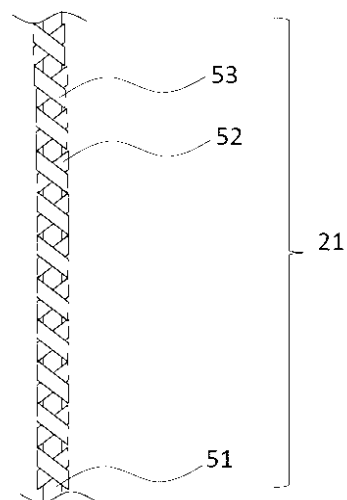
【図 2 A】



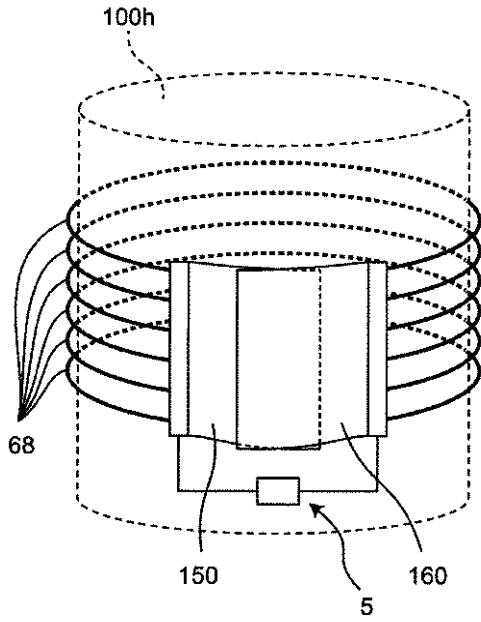
【図 2 B】



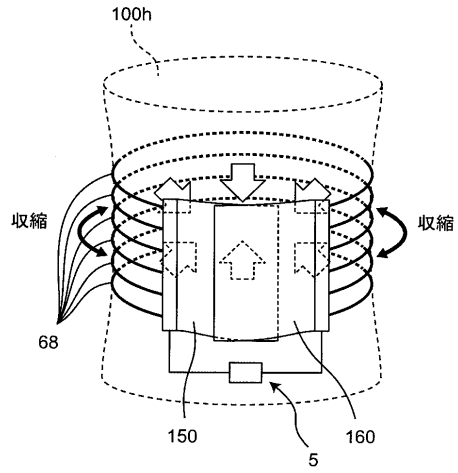
【図 2 C】



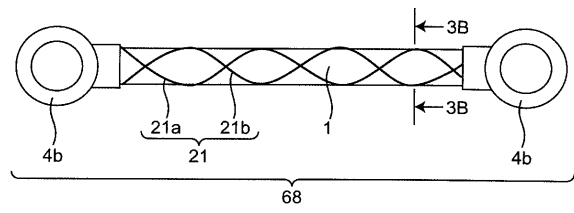
【図 2 D】



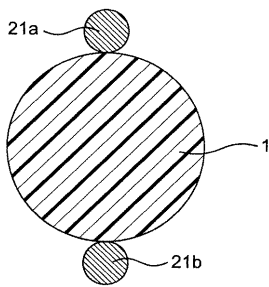
【図 2 E】



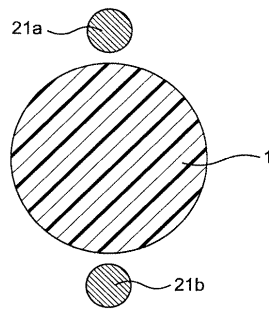
【図 3 A】



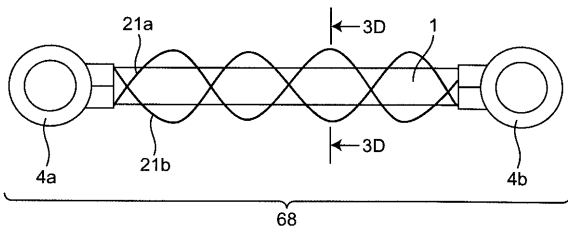
【図 3 B】



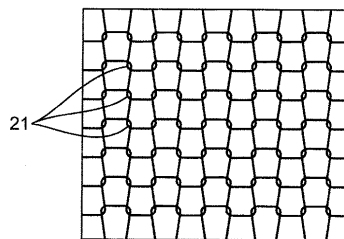
【図 3 D】



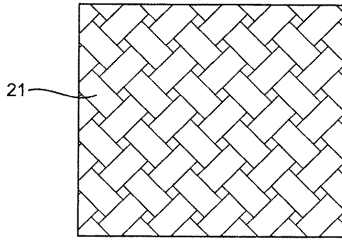
【図 3 C】



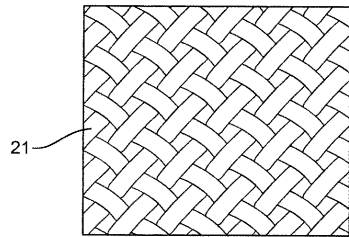
【図 3 E】



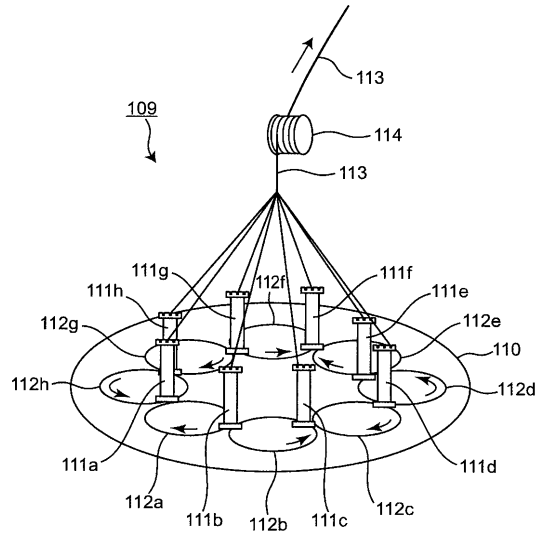
【 図 3 F 】



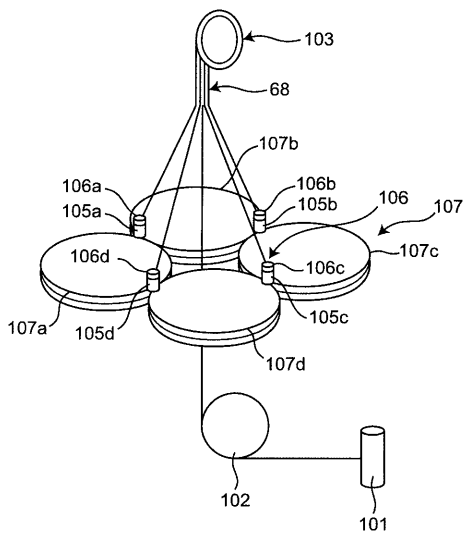
【 図 3 G 】



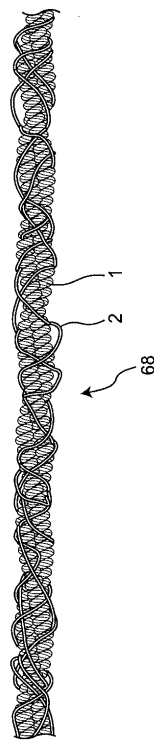
【 図 4 】



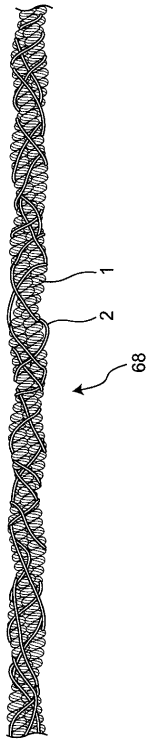
【 図 5 】



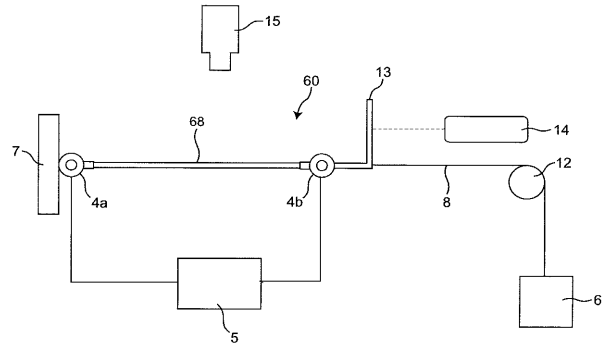
【 図 6 A 】



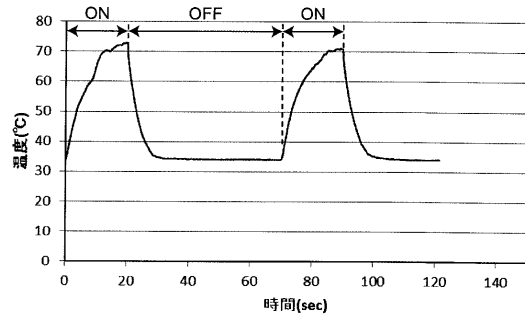
【図 6 B】



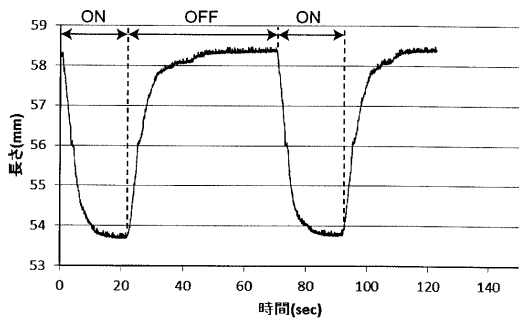
【図 7 A】



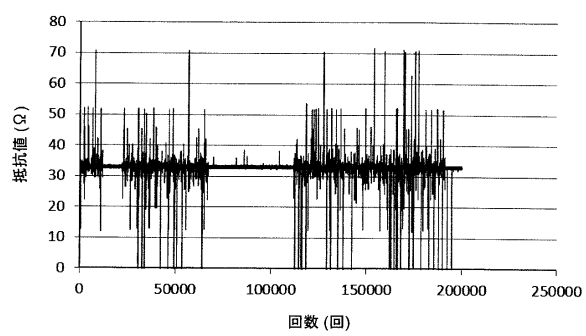
【図 7 B】



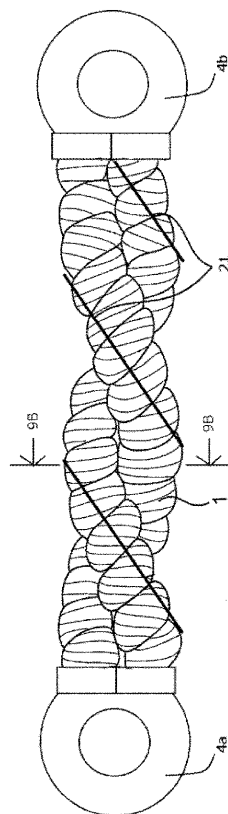
【図 7 C】



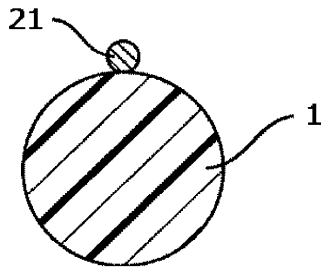
【図 8】



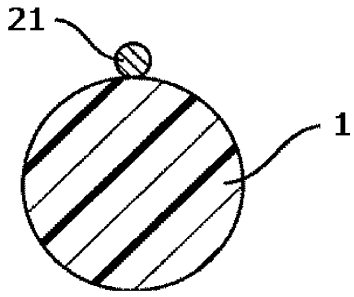
【図 9 A】



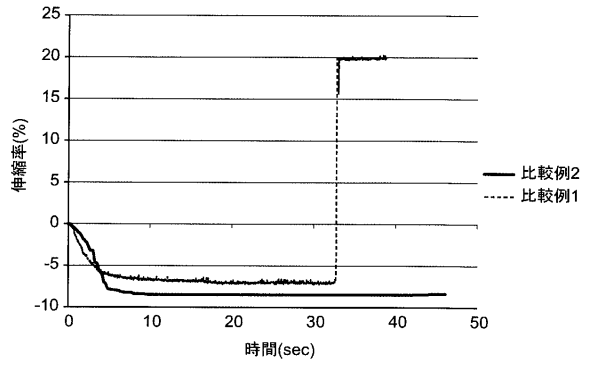
【図9B】



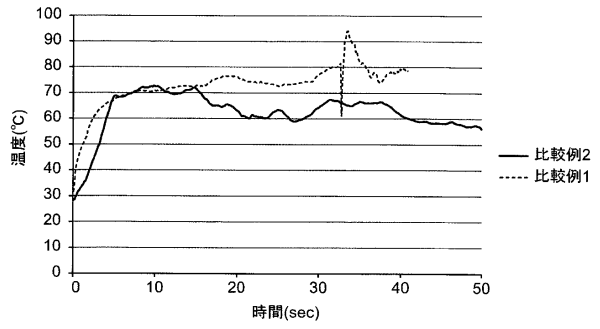
【図9C】



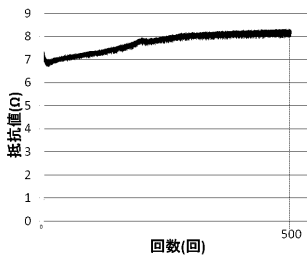
【図10A】



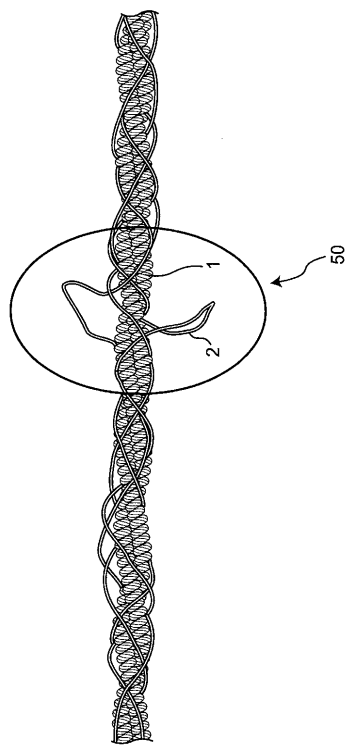
【図10B】



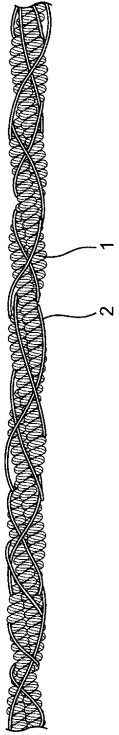
【図10C】



【図11A】



【 1 1 B】



フロントページの続き

- (72)発明者 林 直毅
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 田頭 健司
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

審査官 沼生 泰伸

- (56)参考文献 特開平9 - 312984 (JP, A)
特許第6111438 (JP, B1)
特開2004 - 188523 (JP, A)
特開2007 - 170326 (JP, A)
実開平1 - 111183 (JP, U)
国際公開第2019 / 106944 (WO, A1)
米国特許出願公開第2017 / 0314539 (US, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F03G 7 / 06