

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6789065号
(P6789065)

(45) 発行日 令和2年11月25日(2020.11.25)

(24) 登録日 令和2年11月5日(2020.11.5)

| | |
|-------------------------|---------------|
| (51) Int. Cl. | F I |
| HO 1 L 41/087 (2006.01) | HO 1 L 41/087 |
| HO 1 L 41/113 (2006.01) | HO 1 L 41/113 |
| HO 1 L 41/193 (2006.01) | HO 1 L 41/193 |
| HO 1 L 41/45 (2013.01) | HO 1 L 41/45 |
| HO 1 L 41/047 (2006.01) | HO 1 L 41/047 |

請求項の数 15 (全 39 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2016-212254 (P2016-212254)
 (22) 出願日 平成28年10月28日(2016.10.28)
 (65) 公開番号 特開2017-120885 (P2017-120885A)
 (43) 公開日 平成29年7月6日(2017.7.6)
 審査請求日 令和1年7月31日(2019.7.31)
 (31) 優先権主張番号 特願2015-257496 (P2015-257496)
 (32) 優先日 平成27年12月28日(2015.12.28)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 日本国(JP)

(73) 特許権者 501270287
 帝人フロンティア株式会社
 大阪府大阪市北区中之島三丁目2番4号
 (73) 特許権者 399030060
 学校法人 関西大学
 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号
 (74) 代理人 100099759
 弁理士 青木 篤
 (74) 代理人 100077517
 弁理士 石田 敬
 (74) 代理人 100087413
 弁理士 古賀 哲次
 (74) 代理人 100123593
 弁理士 関根 宣夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 複数の組紐状圧電素子を有する布帛状圧電素子を用いたデバイス

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくとも2本の組紐状圧電素子を含む布帛を備え、前記少なくとも2本の組紐状圧電素子のそれぞれが、導電性繊維で形成された芯部と、前記芯部を被覆するように組紐状の圧電性繊維で形成された鞘部とを有する布帛状圧電素子と、

印加された圧力に応じて前記布帛状圧電素子から出力される電気信号を検出する電気回路と、

前記組紐状圧電素子それぞれの信号を比較演算し、前記布帛の変形の様態を判別する比較演算手段と

を備えるデバイス。

【請求項2】

前記少なくとも2本の組紐状圧電素子が略平行に配置されている、請求項1に記載のデバイス。

【請求項3】

各組紐状圧電素子の外側に導電性繊維からなる層をさらに設けた、請求項1または2に記載のデバイス。

【請求項4】

前記布帛状圧電素子がテープ形である、請求項1～3のいずれか一項に記載のデバイス

【請求項5】

前記布帛に前記組紐状圧電素子が織り込まれる状態または編み込まれる状態で固定された、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載のデバイス。

【請求項 6】

前記圧電性繊維の総繊維度は、前記導電性繊維の総繊維度の 1 倍以上、20 倍以下である、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載のデバイス。

【請求項 7】

前記圧電性繊維の一本あたり繊維度は、前記導電性繊維の総繊維度の $1/20$ 倍以上、2 倍以下である、請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載のデバイス。

【請求項 8】

前記布帛は、前記組紐状圧電素子の少なくとも一部と交差して接触する導電性繊維を更に含む、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載のデバイス。

10

【請求項 9】

前記布帛を形成する繊維であり且つ前記組紐状圧電素子と交差する繊維のうちの 30% 以上が導電性繊維である、請求項 8 に記載のデバイス。

【請求項 10】

前記少なくとも 2 本の組紐状圧電素子のうち少なくとも 1 本の組紐状圧電素子と他の少なくとも 1 本の組紐状圧電素子が前記布帛中で互いに間隔を置いて配置され、これら 2 本の組紐状圧電素子はそれぞれ伸縮により電気信号を出力する、請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載のデバイス。

【請求項 11】

前記少なくとも 1 本の組紐状圧電素子と前記他の少なくとも 1 本の組紐状圧電素子は、前記布帛の中央面を基準とした相対位置が互いに異なるように前記布帛中に固定されている、請求項 10 に記載のデバイス。

20

【請求項 12】

前記少なくとも 1 本の組紐状圧電素子と前記他の少なくとも 1 本の組紐状圧電素子は互いに逆極性の電気信号を出力する、請求項 10 または 11 に記載のデバイス。

【請求項 13】

前記少なくとも 2 本の組紐状圧電素子のうち少なくとも 1 本の組紐状圧電素子と他の少なくとも 1 本の組紐状圧電素子が前記布帛中で互いに間隔を置いて配置され、前記少なくとも 1 本の組紐状圧電素子は伸縮により電気信号を出力し、前記他の少なくとも 1 本の組紐状圧電素子はねじりにより電気信号を出力する、請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載のデバイス。

30

【請求項 14】

伸縮により電気信号を出力する組紐状圧電素子の圧電性繊維は、配向軸を 3 軸とした時の圧電定数 d_{14} の絶対値が 0.1 pC/N 以上 1000 pC/N 以下の値を有する結晶性高分子を主成分として含む圧電性高分子であり、該圧電性高分子によって被覆された前記芯部の中心軸の方向に対する前記圧電性高分子の配向角度が 15° 以上 75° 以下であり、前記圧電性高分子は、圧電定数 d_{14} の値が正の結晶性高分子を主成分として含む P 体と、負の結晶性高分子を主成分として含む N 体とを含み、前記中心軸が 1 cm の長さを持つ部分について、配向軸が Z 撚り方向にらせんを巻いて配置された該 P 体の質量を ZP、配向軸が S 撚り方向にらせんを巻いて配置された該 P 体の質量を SP、配向軸が Z 撚り方向にらせんを巻いて配置された該 N 体の質量を ZN、配向軸が S 撚り方向にらせんを巻いて配置された該 N 体の質量を SN とし、 $(ZP + SN)$ と $(SP + ZN)$ とのうち小さい方を T1、大きい方を T2 としたとき、 $T1/T2$ の値が 0 以上 0.8 以下である、請求項 10 ~ 13 のいずれか一項に記載のデバイス。

40

【請求項 15】

ねじりにより電気信号を出力する組紐状圧電素子の圧電性繊維は、配向軸を 3 軸とした時の圧電定数 d_{14} の絶対値が 0.1 pC/N 以上 1000 pC/N 以下の値を有する結晶性高分子を主成分として含む圧電性高分子であり、該圧電性高分子によって被覆された前記芯部の中心軸の方向に対する前記圧電性高分子の配向角度が 0° 以上 40° 以下また

50

は50°以上90°以下であり、前記圧電性高分子は、圧電定数 d_{14} の値が正の結晶性高分子を主成分として含むP体と、負の結晶性高分子を主成分として含むN体とを含み、前記中心軸が1cmの長さを持つ部分について、配向軸がZ撚り方向にらせんを巻いて配置された該P体の質量をZP、配向軸がS撚り方向にらせんを巻いて配置された該P体の質量をSP、配向軸がZ撚り方向にらせんを巻いて配置された該N体の質量をZN、配向軸がS撚り方向にらせんを巻いて配置された該N体の質量をSNとし、 $(ZP + SN)$ と $(SP + ZN)$ のうち小さい方をT1、大きい方をT2としたとき、 $T1 / T2$ の値が0.8超1.0以下である、請求項13に記載のデバイス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、圧電性繊維を用いた組紐状圧電素子を複数有する布帛状圧電素子およびそれを用いたデバイスに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、いわゆるウェアラブルセンサーが注目を浴びており、眼鏡型や腕時計といった形状の商品が世に出始めた。しかし、これらのデバイスは、装着しているという感覚があり、究極のウェアラブルである、布状、つまり衣類のような形状のものが望まれている。そのようなセンサーとして、圧電性繊維の圧電効果を用いた圧電素子が知られている。例えば、特許文献1には、2本の導電性繊維および1本の圧電性繊維を含み、これらが互いに接点を有しつつ、略同一平面上に配置されている圧電単位を含む圧電素子が開示されている。また、特許文献2には、圧電高分子からなる繊維状物、または成形物であり、この軸方向に付加される張力によって圧電性を発生させるために、かかる張力の付加方向と異なる方向に捩りを加えて構成したことを特徴とする圧電材が開示されている。

20

【0003】

一方、近年、いわゆるタッチパネル方式を採用した入力装置、すなわちタッチ式入力装置が大幅に増加している。銀行ATMや駅の券売機のみならず、スマートフォン、携帯電話機、携帯ゲーム機、携帯音楽プレーヤなどにおいて、薄型ディスプレイ技術の発展と相まって、入力インターフェースとしてタッチパネル方式を採用した機器が大幅に増加している。そのようなタッチパネル方式を実現する手段として、圧電シートや圧電性繊維を用いる方式が知られている。例えば、特許文献3には、所定方向に向く延伸軸を有するL型ポリ乳酸からなる圧電シートを用いるタッチパネルが開示されている。

30

【0004】

これらウェアラブルセンサーやタッチパネル方式のセンサーでは、圧電材料に印加される小さな変形により圧電材料内に生じる小さな応力に対しても、大きな電気信号を取り出すことが望まれる。例えば、指の曲げ伸ばし動作や指などで表面を擦る行為により圧電材料に生じる比較的小さな応力によっても大きな電気信号を安定的に取り出すことが望まれる。また、単純な動きを検出するだけでなく、曲げやねじりといった動きの種類を区別検出することも求められている。

【0005】

40

特許文献1の圧電性繊維は、様々な用途に適用可能な優れた素材であるが、比較的小さな変形で生じる応力に対して大きい電気信号を出力できるとは必ずしもいえず、大きな電気信号を得る技術についても明示していない。

【0006】

特許文献2の圧電性繊維は、特殊な製造方法で圧電性繊維をあらかじめ捩じらせておくことにより、圧電性繊維への引張や圧縮に対して電気信号を出力できる。しかし、特許文献2には、圧電性繊維を曲げたり伸ばしたりする屈曲や、圧電性繊維の表面を擦る行為によるせん断応力に対して十分な電気信号を発生させる技術は開示されていない。したがって、このような圧電性繊維を用いた場合、表面を擦るような比較的小さい変形で生じる応力だけで十分な電気信号を取り出すことは困難である。また特許文献1, 2の方法でも曲

50

げやねじりを区別して検出することは不可能ではない。しかしながら安定してこれを検出するためにも、前記の通り十分な電気信号を発生させることが必須である。

【0007】

特許文献3の圧電シートは、圧電シートに対する変形（応力）によって電気信号を出力できる。しかしながら、そもそもシート状であるために柔軟性に乏しく布のように自由に屈曲できるような使い方は不可能である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】国際公開第2014/058077号

10

【特許文献2】特許第3540208号公報

【特許文献3】特開2011-253517号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

本発明の目的は、比較的小さな変形で生じる応力によっても、大きな電気信号を取り出すことが可能な、複数の組紐状圧電素子を有する布帛状圧電素子を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明者らは、導電性繊維と圧電性繊維との組み合わせとして、芯となる導電性繊維の表面を組紐状の圧電性繊維で被覆した組紐状圧電素子を、複数有する布帛状圧電素子により効率よく電気信号を取り出し、変形の種類を区別して検出することができることを発見し、本発明に到達した。

20

【0011】

すなわち、本発明は以下の発明を包含する。

1. 少なくとも2本の組紐状圧電素子を含む布帛を備え、前記少なくとも2本の組紐状圧電素子のそれぞれが、導電性繊維で形成された芯部と、前記芯部を被覆するように組紐状の圧電性繊維で形成された鞘部とを有する布帛状圧電素子と、

印加された圧力に応じて前記布帛状圧電素子から出力される電気信号を検出する電気回路と、

30

前記組紐状圧電素子それぞれの信号を比較演算し、前記布帛の変形の様態を判別する比較演算手段と

を備えるデバイス。

2. 前記少なくとも2本の組紐状圧電素子が略平行に配置されている、上記1に記載のデバイス。

3. 各組紐状圧電素子の外側に導電性繊維からなる層をさらに設けた、上記1または2に記載のデバイス。

4. 前記布帛状圧電素子がテープ形である、上記1～3のいずれか一項に記載のデバイス。

5. 前記布帛に前記組紐状圧電素子が織り込まれる状態または編み込まれる状態で固定された、上記1～4のいずれか一項に記載のデバイス。

40

6. 前記圧電性繊維の総織度は、前記導電性繊維の総織度の1倍以上、20倍以下である、上記1～5のいずれか一項に記載のデバイス。

7. 前記圧電性繊維の一本あたり織度は、前記導電性繊維の総織度の1/20倍以上、2倍以下である、上記1～6のいずれか一項に記載のデバイス。

8. 前記布帛は、前記組紐状圧電素子の少なくとも一部と交差して接触する導電性繊維を更に含む、上記1～7のいずれか一項に記載のデバイス。

9. 前記布帛を形成する繊維であり且つ前記組紐状圧電素子と交差する繊維のうちの30%以上が導電性繊維である、上記8に記載のデバイス。

10. 前記少なくとも2本の組紐状圧電素子のうち少なくとも1本の組紐状圧電素子と

50

他の少なくとも1本の組紐状圧電素子が前記布帛中で互いに間隔を置いて配置され、これら2本の組紐状圧電素子はそれぞれ伸縮により電気信号を出力する、上記1～9のいずれか一項に記載のデバイス。

11．前記少なくとも1本の組紐状圧電素子と前記他の少なくとも1本の組紐状圧電素子は、前記布帛の中央面を基準とした相対位置が互いに異なるように前記布帛中に固定されている、上記10に記載のデバイス。

12．前記少なくとも1本の組紐状圧電素子と前記他の少なくとも1本の組紐状圧電素子は互いに逆極性の電気信号を出力する、上記10または11に記載のデバイス。

13．前記少なくとも2本の組紐状圧電素子のうち少なくとも1本の組紐状圧電素子と他の少なくとも1本の組紐状圧電素子が前記布帛中で互いに間隔を置いて配置され、前記少なくとも1本の組紐状圧電素子は伸縮により電気信号を出力し、前記他の少なくとも1本の組紐状圧電素子はねじりにより電気信号を出力する、上記1～9のいずれか一項に記載のデバイス。

14．伸縮により電気信号を出力する組紐状圧電素子の圧電性繊維は、配向軸を3軸とした時の圧電定数 d_{14} の絶対値が 0.1 pC/N 以上 1000 pC/N 以下の値を有する結晶性高分子を主成分として含む圧電性高分子であり、該圧電性高分子によって被覆された前記芯部の中心軸の方向に対する前記圧電性高分子の配向角度が 15° 以上 75° 以下であり、前記圧電性高分子は、圧電定数 d_{14} の値が正の結晶性高分子を主成分として含むP体と、負の結晶性高分子を主成分として含むN体とを含み、前記中心軸が 1 cm の長さを持つ部分について、配向軸がZ撚り方向にらせんを巻いて配置された該P体の質量をZP、配向軸がS撚り方向にらせんを巻いて配置された該P体の質量をSP、配向軸がZ撚り方向にらせんを巻いて配置された該N体の質量をZN、配向軸がS撚り方向にらせんを巻いて配置された該N体の質量をSNとし、 $(ZP + SN)$ と $(SP + ZN)$ のうち小さい方をT1、大きい方をT2としたとき、 $T1/T2$ の値が 0 以上 0.8 以下である、上記10～13のいずれか一項に記載のデバイス。

15．ねじりにより電気信号を出力する組紐状圧電素子の圧電性繊維は、配向軸を3軸とした時の圧電定数 d_{14} の絶対値が 0.1 pC/N 以上 1000 pC/N 以下の値を有する結晶性高分子を主成分として含む圧電性高分子であり、該圧電性高分子によって被覆された前記芯部の中心軸の方向に対する前記圧電性高分子の配向角度が 0° 以上 40° 以下または 50° 以上 90° 以下であり、前記圧電性高分子は、圧電定数 d_{14} の値が正の結晶性高分子を主成分として含むP体と、負の結晶性高分子を主成分として含むN体とを含み、前記中心軸が 1 cm の長さを持つ部分について、配向軸がZ撚り方向にらせんを巻いて配置された該P体の質量をZP、配向軸がS撚り方向にらせんを巻いて配置された該P体の質量をSP、配向軸がZ撚り方向にらせんを巻いて配置された該N体の質量をZN、配向軸がS撚り方向にらせんを巻いて配置された該N体の質量をSNとし、 $(ZP + SN)$ と $(SP + ZN)$ のうち小さい方をT1、大きい方をT2としたとき、 $T1/T2$ の値が 0.8 超 1.0 以下である、上記13に記載のデバイス。

【発明の効果】

【0012】

本発明により、比較的小さな変形で生じる応力によっても、効率よく電気を取り出し、動きの種類、特に曲げおよびねじりに関する動きを検出することが可能な布帛状の圧電素子を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】実施形態に係る組紐状圧電素子の構成例を示す模式図である。

【図2】配向角度の計算方法を説明する模式図である。

【図3】実施形態に係る布帛状圧電素子の構成例を示す模式図である。

【図4】実施形態に係る布帛状圧電素子の他の構成例を示す模式図であり、(a)は斜視図であり、(b)は側面図である。

【図5】実施形態に係る圧電素子を備えるデバイスを示すブロック図である。

10

20

30

40

50

【図6】実施形態に係る布帛状圧電素子を備えるデバイスの構成例を示す模式図である。

【図7】比較例に係る圧電性繊維を含む織物の構成例を示す模式図である。

【図8】実施例5に係る布帛状圧電素子を示す模式図である。

【図9】実施形態に係る組紐状圧電素子の断面写真である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

(組紐状圧電素子)

図1は実施形態に係る組紐状圧電素子の構成例を示す模式図である。

組紐状圧電素子1は、導電性繊維Bで形成された芯部3と、芯部3を被覆するように組紐状の圧電性繊維Aで形成された鞘部2と、を備えている。

10

【0015】

組紐状圧電素子1では、少なくとも一本の導電性繊維Bの外周面を多数の圧電性繊維Aが緻密に取り巻いている。組紐状圧電素子1に変形が生じると、多数の圧電性繊維Aそれぞれに変形による応力が生じ、それにより多数の圧電性繊維Aそれぞれに電場が生じ(圧電効果)、その結果、導電性繊維Bを取り巻く多数の圧電性繊維Aの電場を重畳した電圧変化が導電性繊維Bに生じる。すなわち圧電性繊維Aの組紐状の鞘部2を用いない場合と比較して導電性繊維Bからの電気信号が増大する。それにより、組紐状圧電素子1では、比較的小さな変形で生じる応力によっても、大きな電気信号を取り出すことが可能となる。なお、導電性繊維Bは複数本であってもよい。

【0016】

組紐状圧電素子1は、その中心軸(図1中のCL)方向への伸縮変形に対して選択的に大きな電気信号を出力するか、あるいはその中心軸を軸としたねじり変形に対して選択的に大きな電気信号を出力するものが好ましく、その中心軸方向への伸縮変形に対して選択的に大きな電気信号を出力するものがより好ましい。

20

【0017】

(伸縮変形に対して選択的に大きな電気信号を出力する組紐状圧電素子)

中心軸方向への伸縮変形に対して選択的に大きな電気信号を出力する組紐状圧電素子1としては、例えば、圧電性繊維Aとして、一軸配向した高分子の成型体であり、配向軸を3軸とした時の圧電定数 d_{14} の絶対値が 0.1 pC/N 以上 1000 pC/N 以下の値を有する結晶性高分子を主成分として含む圧電性高分子を使用することができる。本発明において「主成分として含む」とは、構成成分の50質量%以上を占めることを指す。また、本発明において結晶性高分子とは、1質量%以上の結晶部と、結晶部以外の非晶部とからなる高分子であり、結晶性高分子の質量とは結晶部と非晶部とを合計した質量である。なお、 d_{14} の値は成型条件や純度および測定雰囲気によって異なる値を示すが、本発明においては、実際に使用される圧電性高分子中の結晶性高分子の結晶化度および結晶配向度を測定し、それと同等の結晶化度および結晶配向度を有する1軸延伸フィルムを当該結晶性高分子を用いて作成し、そのフィルムの d_{14} の絶対値が、実際に使用される温度において 0.1 pC/N 以上 1000 pC/N 以下の値を示せばよく、本実施形態の圧電性高分子に含まれる結晶性高分子としては、後述されるような特定の結晶性高分子には限定されない。フィルムサンプルの d_{14} の測定は公知の様々な方法を取ることができるが、例えばフィルムサンプルの両面に金属を蒸着して電極としたサンプルを、延伸方向から45度傾いた方向に4辺を有する長方形に切り出し、その長尺方向に引張荷重をかけた時に両面の電極に発生する電荷を測定することで、 d_{14} の値を測定することができる。

30

40

【0018】

また、中心軸方向への伸縮変形に対して選択的に大きな電気信号を出力する組紐状圧電素子1においては、中心軸の方向と圧電性高分子の配向方向とがなす角度(配向角度)は 15° 以上 75° 以下であることが好ましい。この条件を満たす時、組紐状圧電素子1に対し中心軸方向の伸縮変形(引張応力および圧縮応力)を与えることで、圧電性高分子に含まれる結晶性高分子の圧電定数 d_{14} に対応する圧電効果を効率よく利用し、組紐状圧電素子1の中心軸側と外側とに効率的に逆極性(逆符号)の電荷を発生させることがで

50

きる。かかる観点から、配向角度は 25° 以上 65° 以下であることが好ましく、 35° 以上 55° 以下であることがより好ましく、 40° 以上 50° 以下であることがさらに好ましい。このように圧電性高分子を配置すると、圧電性高分子の配向方向はらせんを描くことになる。

【0019】

また、このように圧電性高分子を配置することで、組紐状圧電素子1の表面を擦るようなせん断変形や、中心軸を曲げるような曲げ変形や、中心軸を軸としたねじり変形に対しては組紐状圧電素子1の中心軸側と外側とは大きな電荷を発生させないようにする、即ち中心軸方向の伸縮に対して選択的に大きな電荷を発生させる組紐状圧電素子1とすることができる。

10

【0020】

配向角度は、可能な限り下記の方法で測定する。組紐状圧電素子1の側面写真を撮影し、圧電性高分子A'のらせんピッチHPを測定する。らせんピッチHPは図2の通り、1本の圧電性高分子A'が表面から裏面を回って再び表面に来るまでに要した、中心軸方向の直線距離である。また、必要に応じて接着剤で構造を固定後に、組紐状圧電素子1の中心軸に垂直な断面を切り出して写真を撮影し、鞘部2が占める部分の外側半径 R_o および内側半径 R_i を測定する。断面の外縁および内縁が楕円形や扁平な円形の場合は、長径と短径の平均値を R_o および R_i とする。下記式から中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度を計算する。

$$= \arctan(2 R_m / HP) \quad (0^\circ \sim 90^\circ)$$

20

ただし $R_m = 2(R_o^3 - R_i^3) / 3(R_o^2 - R_i^2)$ 、即ち断面積で加重平均した組紐状圧電素子1の半径である。

【0021】

組紐状圧電素子1の側面写真において圧電性高分子が均一な表面を有しており、圧電性高分子のらせんピッチが判別できない場合は、接着剤等で固定した組紐状圧電素子1を中心軸を通る平面で切断し、切断面に垂直な方向に、中心軸を通るよう十分に狭い範囲でX線を透過するよう広角X線回折分析を行い、配向方向を決定して中心軸との角度をとり、とする。

【0022】

本発明に係る組紐状圧電素子1では、圧電性高分子の配向方向に沿って描かれるらせんについて、らせん方向(S撚り方向またはZ撚り方向)やらせんピッチを異にする2つ以上のらせんが同時に存在する場合があるが、それぞれのらせん方向およびらせんピッチの圧電性高分子についてそれぞれ上記測定を行い、いずれか一つのらせん方向およびらせんピッチの圧電性高分子が前述の条件を満たすことが必要である。

30

【0023】

中心軸方向の伸縮変形に対して中心軸側と外側とに発生する電荷の極性は、圧電性高分子の配向方向をS撚りのらせんに沿って配置した場合と、同じ圧電性高分子の配向方向をZ撚りのらせんに沿って配置した場合とでは、互いに逆の極性になる。このため、圧電性高分子の配向方向をS撚りのらせんに沿って配置すると同時にZ撚りのらせんに沿って配置した場合は、伸縮変形に対する発生電荷がS撚り方向とZ撚り方向とで互いに打消し合っ

って効率的に利用できないため、好ましくない。したがって、上記の圧電性高分子は、圧電定数 d_{14} の値が正の結晶性高分子を主成分として含むP体と、負の結晶性高分子を主成分として含むN体とを含み、組紐状圧電素子1の中心軸が1cmの長さを持つ部分について、配向軸がZ撚り方向にらせんを巻いて配置されたP体の質量をZP、配向軸がS撚り方向にらせんを巻いて配置されたP体の質量をSP、配向軸がZ撚り方向にらせんを巻いて配置されたN体の質量をZN、配向軸がS撚り方向にらせんを巻いて配置されたN体の質量をSNとし、 $(ZP + SN)$ と $(SP + ZN)$ とのうち小さい方をT1、大きい方をT2としたとき、 $T1 / T2$ の値が0以上0.8以下であることが好ましく、さらに0以上0.5以下であることが好ましい。

40

【0024】

50

(ねじり変形に対して選択的に大きな電気信号を出力する組紐状圧電素子)

中心軸を軸としたねじり変形に対して選択的に大きな電気信号を出力する組紐状圧電素子1としては、上記と同様に、例えば、圧電性繊維Aとして、一軸配向した高分子の成型体であり、配向軸を3軸とした時の圧電定数 d_{14} の絶対値が 0.1 pC/N 以上 1000 pC/N 以下の値を有する結晶性高分子を主成分として含む圧電性高分子を使用することができる。また、中心軸を軸としたねじり変形に対して選択的に大きな電気信号を出力する組紐状圧電素子1においては、中心軸の方向と圧電性高分子の配向方向とがなす角度は 0° 以上 40° 以下または 50° 以上 90° 以下であることが好ましい。この条件を満たす時、組紐状圧電素子1に対し中心軸を軸としたねじり変形(ねじり応力)を与えることで、圧電性高分子に含まれる結晶性高分子の圧電定数 d_{14} に対応する圧電効果を効率よく利用し、組紐状圧電素子1の中心軸側と外側とに効率的に逆極性の電荷を発生させることができる。かかる観点から、中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度は 0° 以上 35° 以下または 55° 以上 90° 以下であることが好ましく、 0° 以上 30° 以下または 60° 以上 90° 以下であることがより好ましく、 0° 以上 25° 以下または 65° 以上 90° 以下であることがさらに好ましい。中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度が 0° を超えて 90° 未満である場合には、圧電性高分子の配向方向はらせんを描くことになる。

10

【0025】

また、このように圧電性高分子を配置することで、組紐状圧電素子1の表面を擦るようなせん断変形や、中心軸を曲げるような曲げ変形や、中心軸方向の伸縮変形に対しては組紐状圧電素子1の中心軸側と外側とには大きな電荷を発生させないようにする、即ち中心軸を軸としたねじりに対して選択的に大きな電荷を発生させる組紐状圧電素子1とすることができる。

20

【0026】

圧電性高分子の配向方向がらせんをなす場合、らせん方向(S撚り方向またはZ撚り方向)がどちらであるかは、ねじり変形に対して発生する電荷の極性に影響しない。ただし、中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度が 0° 以上 40° 以下である場合と、 50° 以上 90° 以下である場合とでは、ねじり変形に対して発生する電荷の極性が逆転する。また、ポリ-L-乳酸とポリ-D-乳酸のように、 d_{14} の符号が互いに異なる結晶性高分子を含む圧電性高分子も、ねじり変形に対して発生する電荷の極性が逆転する。従って、ねじり変形に対して組紐状圧電素子1の中心軸側と外側とに効率的に逆極性の電荷を発生させるためには、 d_{14} の符号が同一の結晶性高分子を主成分として含む圧電性高分子のみを用い、組紐状圧電素子1の中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度は 0° 以上 40° 以下または 50° 以上 90° 以下のどちらかのみ揃えることが好ましい。

30

【0027】

伸縮変形に対して組紐状圧電素子1の中心軸側と外側とには大きな電荷を発生させないようにする観点から、上記の圧電性高分子は、圧電定数 d_{14} の値が正の結晶性高分子を主成分として含むP体と、負の結晶性高分子を主成分として含むN体とを含み、組紐状圧電素子1の中心軸が 1 cm の長さを持つ部分について、配向軸がZ撚り方向にらせんを巻いて配置されたP体の質量をZP、配向軸がS撚り方向にらせんを巻いて配置されたP体の質量をSP、配向軸がZ撚り方向にらせんを巻いて配置されたN体の質量をZN、配向軸がS撚り方向にらせんを巻いて配置されたN体の質量をSNとし、 $(ZP + SN)$ と $(SP + ZN)$ とのうち小さい方をT1、大きい方をT2としたとき、 $T1/T2$ の値が 0.8 超であることがより好ましく、さらに 0.9 超であることが好ましい。ここで上記の $T1/T2$ の値を満足しない場合でも、中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度が 0° 以上 10° 以下、または 80° 以上 90° 以下の場合は、 10° 超 80° 未満の場合に比べ伸縮変形に対して発生する電荷量が小さくなる結果、ねじり変形に対して選択的に電気信号を発生させることができ、好ましい。

40

【0028】

50

本発明の圧電性繊維として主成分としてポリ乳酸が含まれる繊維を用いる場合、ポリ乳酸中の乳酸ユニットは90モル%以上であることが好ましく、95モル%以上であることがより好ましく、98モル%以上がさらに好ましい。

【0029】

なお、組紐状圧電素子1では、本発明の目的を達成する限り、鞘部2では圧電性繊維A以外の他の繊維と組み合わせて混織等を行ってもよいし、芯部3では導電性繊維B以外の他の繊維と組み合わせて混織等を行ってもよい。

【0030】

導電性繊維Bの芯部3と組紐状の圧電性繊維Aの鞘部2とで構成される組紐状圧電素子の長さは特に限定はない。例えば、その組紐状圧電素子は製造において連続的に製造され、その後に必要な長さに切断して利用してもよい。組紐状圧電素子の長さは1mm~10m、好ましくは、5mm~2m、より好ましくは1cm~1mである。長さが短過ぎると繊維形状である利便性が失われ、また、長さが長過ぎると導電性繊維Bの抵抗値を考慮する必要が出てくるであろう。

【0031】

以下、各構成について詳細に説明する。

【0032】

(導電性繊維)

導電性繊維Bとしては、導電性を示すものであればよく、公知のあらゆるものが用いられる。導電性繊維Bとしては、例えば、金属繊維、導電性高分子からなる繊維、炭素繊維、繊維状あるいは粒状の導電性フィラーを分散させた高分子からなる繊維、あるいは繊維状物の表面に導電性を有する層を設けた繊維が挙げられる。繊維状物の表面に導電性を有する層を設ける方法としては、金属コート、導電性高分子コート、導電性繊維の巻付けなどが挙げられる。なかでも金属コートが導電性、耐久性、柔軟性などの観点から好ましい。金属をコートする具体的な方法としては、蒸着、スパッタ、電解メッキ、無電解メッキなどが挙げられるが生産性などの観点からメッキが好ましい。このような金属をメッキされた繊維は金属メッキ繊維ということが出来る。

【0033】

金属をコートされるベースの繊維として、導電性の有無によらず公知の繊維を用いることができ、例えば、ポリエステル繊維、ナイロン繊維、アクリル繊維、ポリエチレン繊維、ポリプロピレン繊維、塩化ビニル繊維、アラミド繊維、ポリスルホン繊維、ポリエーテル繊維、ポリウレタン繊維等の合成繊維の他、綿、麻、絹等の天然繊維、アセテート等の半合成繊維、レーヨン、キュブラ等の再生繊維を用いることができる。ベースの繊維はこれらに限定されるものではなく、公知の繊維を任意に用いることができ、これらの繊維を組み合わせて用いてもよい。

【0034】

ベースの繊維にコートされる金属は導電性を示し、本発明の効果を奏する限り、いずれを用いてもよい。例えば、金、銀、白金、銅、ニッケル、スズ、亜鉛、パラジウム、酸化インジウム錫、硫化銅など、およびこれらの混合物や合金などを用いることができる。

【0035】

導電性繊維Bに屈曲耐性のある金属コートした有機繊維を使用すると、導電性繊維が折れることが非常に少なく、圧電素子を用いたセンサーとしての耐久性や安全性に優れる。

【0036】

導電性繊維Bはフィラメントを複数本束ねたマルチフィラメントであっても、また、フィラメント一本からなるモノフィラメントであってもよい。マルチフィラメントの方が電気特性の長尺安定性の観点で好ましい。モノフィラメント(紡績系を含む)の場合、その単糸径は1 μ m~5000 μ mであり、好ましくは2 μ m~100 μ mである。さらに好ましくは3 μ m~50 μ mである。マルチフィラメントの場合、フィラメント数としては、1本~10000本が好ましく、より好ましくは5本~500本、さらに好ましくは10本~100本である。ただし、導電性繊維Bの織度・本数とは、組紐を作製する際に

10

20

30

40

50

用いる芯部 3 の織度・本数であり、複数本の単系（モノフィラメント）で形成されるマルチフィラメントも一本の導電性繊維 B と数えるものとする。ここで芯部 3 とは、導電性繊維以外の繊維を用いた場合であっても、それを含めた全体の量とする。

【 0 0 3 7 】

繊維の直径が小さいと強度が低下しハンドリングが困難となり、また、直径が大きい場合にはフレキシブル性が犠牲になる。導電性繊維 B の断面形状としては円または楕円であることが、圧電素子の設計および製造の観点で好ましいが、これに限定されない。

【 0 0 3 8 】

また、圧電性高分子からの電気出力を効率よく取り出すため、電気抵抗は低いことが好ましく、体積抵抗率としては $10^{-1} \cdot \text{cm}$ 以下であることが好ましく、より好ましくは $10^{-2} \cdot \text{cm}$ 以下、さらに好ましくは $10^{-3} \cdot \text{cm}$ 以下である。ただし、電気信号の検出で十分な強度が得られるのであれば導電性繊維 B の抵抗率はこの限りではない。

【 0 0 3 9 】

導電性繊維 B は、本発明の用途から、繰り返しの曲げやねじりといった動きに対して耐性がなければならない。その指標としては、結節強さが、より大きいものが好まれる。結節強さは J I S L 1 0 1 3 8 . 6 の方法で測定することができる。本発明に適切な結節強さの程度としては、 $0.5 \text{ cN} / \text{d t e x}$ 以上であることが好ましく、 $1.0 \text{ cN} / \text{d t e x}$ 以上であることがより好ましく、 $1.5 \text{ cN} / \text{d t e x}$ 以上であることがさらに好ましく、 $2.0 \text{ cN} / \text{d t e x}$ 以上であることが最も好ましい。また、別の指標としては、曲げ剛性が、より小さいものが好まれる。曲げ剛性は、カトーテック（株）製 K E S F B 2 純曲げ試験機などの測定装置で測定されるのが一般的である。本発明に適切な曲げ剛性の程度としては、東邦テナックス（株）製の炭素繊維“テナックス”（登録商標）H T S 4 0 - 3 K よりも小さいほうが好ましい。具体的には、導電性繊維の曲げ剛性が $0.05 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{m}$ 以下であることが好ましく、 $0.02 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{m}$ 以下であることがより好ましく、 $0.01 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{m}$ 以下であることがさらに好ましい。

【 0 0 4 0 】

（圧電性繊維）

圧電性繊維 A の材料である圧電性高分子としてはポリフッ化ビニリデンやポリ乳酸のような圧電性を示す高分子を利用できるが、本実施形態では上記のように圧電性繊維 A は主成分として配向軸を 3 軸とした時の圧電定数 d_{14} の絶対値が高い結晶性高分子、とりわけポリ乳酸を含むことが好適である。ポリ乳酸は、例えば熔融紡糸後に延伸によって容易に配向して圧電性を示し、ポリフッ化ビニリデンなどで必要となる電界配向処理が不要な点で生産性に優れている。しかしこのことは、本発明を実施するに際してポリフッ化ビニリデンその他の圧電性材料の使用を排除することを意図するものではない。

【 0 0 4 1 】

ポリ乳酸としては、その結晶構造によって、L - 乳酸、L - ラクトドを重合してなるポリ - L - 乳酸、D - 乳酸、D - ラクトドを重合してなるポリ - D - 乳酸、さらに、それらのハイブリッド構造からなるステレオコンプレックスポリ乳酸などがあるが、圧電性を示すものであればいずれも利用できる。圧電率の高さの観点で好ましくは、ポリ - L - 乳酸、ポリ - D - 乳酸である。ポリ - L - 乳酸、ポリ - D - 乳酸はそれぞれ、同じ応力に対して分極が逆になるために、目的に応じてこれらを組み合わせて使用することも可能である。

【 0 0 4 2 】

ポリ乳酸の光学純度は 99 % 以上であることが好ましく、99.3 % 以上であることがより好ましく、99.5 % 以上であることがさらに好ましい。光学純度が 99 % 未満であると著しく圧電率が低下する場合があり、圧電性繊維 A の形状変化によって十分な電気信号を得ることが難しくなる場合がある。特に、圧電性繊維 A は、主成分としてポリ - L - 乳酸またはポリ - D - 乳酸を含み、これらの光学純度が 99 % 以上であることが好ましい。

【 0 0 4 3 】

10

20

30

40

50

ポリ乳酸を主成分とする圧電性繊維Aは、製造時に延伸されて、その繊維軸方向に一軸配向している。さらに、圧電性繊維Aは、その繊維軸方向に一軸配向しているだけでなく、ポリ乳酸の結晶を含むものであることが好ましく、一軸配向したポリ乳酸の結晶を含むものであることがより好ましい。なぜなら、ポリ乳酸はその結晶性が高いことおよび一軸配向していることでより大きな圧電性を示し、 d_{14} の絶対値が高くなるためである。

【0044】

結晶性および一軸配向性はホモPLA結晶化度 X_{homo} (%)および結晶配向度 A_o (%)で求められる。本発明の圧電性繊維Aとしては、ホモPLA結晶化度 X_{homo} (%)および結晶配向度 A_o (%)が下記式(1)を満たすことが好ましい。

$$X_{\text{homo}} \times A_o \times A_o \div 10^6 \geq 0.26 \quad (1)$$

10

上記式(1)を満たさない場合、結晶性および/または一軸配向性が十分でなく、動作に対する電気信号の出力値が低下したり、特定方向の動作に対する信号の感度が低下したりするおそれがある。上記式(1)の左辺の値は、0.28以上がより好ましく、0.3以上がさらに好ましい。ここで、各々の値は下記に従って求める。

【0045】

ホモポリ乳酸結晶化度 X_{homo} ：

ホモポリ乳酸結晶化度 X_{homo} については、広角X線回折分析(WAXD)による結晶構造解析から求める。広角X線回折分析(WAXD)では、リガク製ultra x18型X線回折装置を用いて透過法により、以下条件でサンプルのX線回折図形をイメージングプレートに記録する。

20

X線源： Cu-K線(コンフォーカルミラー)

出力： 45kV × 60mA

スリット： 1st：1mm, 2nd：0.8mm

カメラ長： 120mm

積算時間： 10分

サンプル： 35mgのポリ乳酸繊維を引き揃え3cmの繊維束とする。

得られるX線回折図形において方位角にわたって全散乱強度 I_{total} を求め、ここで $2\theta = 16.5^\circ, 18.5^\circ, 24.3^\circ$ 付近に現れるホモポリ乳酸結晶に由来する各回折ピークの積分強度の総和 I_{HMi} を求める。これらの値から下式(2)に従い、ホモポリ乳酸結晶化度 X_{homo} を求める。

30

$$X_{\text{homo}}(\%) = I_{\text{HMi}} / I_{\text{total}} \times 100 \quad (2)$$

なお、 I_{HMi} は、全散乱強度においてバックグラウンドや非晶による散漫散乱を差し引くことによって算出する。

【0046】

(2)結晶配向度 A_o ：

結晶配向度 A_o については、上記の広角X線回折分析(WAXD)により得られるX線回折図形において、動径方向の $2\theta = 16.5^\circ$ 付近に現れるホモポリ乳酸結晶に由来する回折ピークについて、方位角($^\circ$)に対する強度分布をとり、得られた分布プロファイルの半値幅の総計 W_i ($^\circ$)から次式(3)より算出する。

$$A_o(\%) = (360 - W_i) \div 360 \times 100 \quad (3)$$

40

【0047】

なお、ポリ乳酸は加水分解が比較的速いポリエステルであるから、耐湿熱性が問題となる場合においては、公知の、イソシアネート化合物、オキサゾリン化合物、エポキシ化合物、カルボジイミド化合物などの加水分解防止剤を添加してもよい。また、必要に応じてリン酸系化合物などの酸化防止剤、可塑剤、光劣化防止剤などを添加して物性改良してもよい。

【0048】

圧電性繊維Aはフィラメントを複数本束ねたマルチフィラメントであっても、また、フィラメント一本からなるモノフィラメントであってもよい。モノフィラメント(紡績糸を含む)の場合、その単糸径は $1\mu\text{m} \sim 5\text{mm}$ であり、好ましくは $5\mu\text{m} \sim 2\text{mm}$ 、さらに

50

好ましくは $10 \mu\text{m} \sim 1 \text{mm}$ である。マルチフィラメントの場合、その単糸径は $0.1 \mu\text{m} \sim 5 \text{mm}$ であり、好ましくは $2 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ 、さらに好ましくは $3 \mu\text{m} \sim 50 \mu\text{m}$ である。マルチフィラメントのフィラメント数としては、1本～10000本が好ましく、より好ましくは50本～5000本、さらに好ましくは100本～2000本である。ただし、圧電性繊維Aの織度や本数については、組紐を作製する際のキャリア1つあたりの織度、本数であり、複数本の単糸（モノフィラメント）で形成されるマルチフィラメントも一本の圧電性繊維Aと数えるものとする。ここで、キャリア1つの中に、圧電性繊維以外の繊維を用いた場合であっても、それを含めた全体の量とする。

【0049】

このような圧電性高分子を圧電性繊維Aとするためには、高分子から繊維化するための公知の手法を、本発明の効果を奏する限りいずれも採用することができる。例えば、圧電性高分子を押し出し成型して繊維化する手法、圧電性高分子を熔融紡糸して繊維化する手法、圧電性高分子を乾式あるいは湿式紡糸により繊維化する手法、圧電性高分子を静電紡糸により繊維化する手法、フィルムを形成した後に細くカットする手法、などを採用することができる。これらの紡糸条件は、採用する圧電性高分子に応じて公知の手法を適用すればよく、通常は工業的に生産の容易な熔融紡糸法を採用すればよい。さらに、繊維を形成後には形成された繊維を延伸する。それにより一軸延伸配向しかつ結晶を含む大きな圧電性を示す圧電性繊維Aが形成される。

【0050】

また、圧電性繊維Aは、上記のように作製されたものを組紐とする前に、染色、撚糸、合糸、熱処理などの処理をすることができる。

【0051】

さらに、圧電性繊維Aは、組紐を形成する際に繊維同士が擦れて断糸したり、毛羽が出たりする場合があるため、その強度と耐摩耗性は高い方が好ましく、強度は 1.5cN/dtex 以上であることが好ましく、 2.0cN/dtex 以上であることがより好ましく、 2.5cN/dtex 以上であることがさらに好ましく、 3.0cN/dtex 以上であることが最も好ましい。耐摩耗性は、JIS L1095 9.10.2 B法などで評価することができ、摩擦回数は100回以上が好ましく、1000回以上であることがより好ましく、5000回以上であることがさらに好ましく、10000回以上であることが最も好ましい。耐摩耗性を向上させるための方法は特に限定されるものではなく、公知のあらゆる方法を用いることができ、例えば、結晶化度を向上させたり、微粒子を添加したり、表面加工したりすることができる。また、組紐に加工する際に、繊維に潤滑剤を塗布して摩擦を低減させることもできる。

【0052】

また、圧電性繊維の収縮率は、前述した導電性繊維の収縮率との差が小さいことが好ましい。収縮率差が大きいと、組紐作製後や布帛作製後の後処理工程や実使用時に熱がかかった時や経時変化により組紐が曲がったり、布帛の平坦性が悪くなったり、圧電信号が弱くなってしまう場合がある。収縮率を後述の沸水収縮率で定量化した場合、圧電性繊維の沸水収縮率 $S(p)$ および導電性繊維の沸水収縮率 $S(c)$ が下記式(4)を満たすことが好適である。

$$|S(p) - S(c)| \leq 10 \quad (4)$$

上記式(4)の左辺は5以下であることがより好ましく、3以下であればさらに好ましい。

【0053】

また、圧電性繊維の収縮率は、導電性繊維以外の繊維、例えば絶縁性繊維の収縮率との差も小さいことが好ましい。収縮率差が大きいと、組紐作製後や布帛作製後の後処理工程や実使用時に熱がかかった時や経時変化により組紐が曲がったり、布帛の平坦性が悪くなったり、圧電信号が弱くなってしまう場合がある。収縮率を沸水収縮率で定量化した場合、圧電性繊維の沸水収縮率 $S(p)$ および絶縁性繊維の沸水収縮率 $S(i)$ が下記式(5)を満たすことが好適である。

$$|S(p) - S(i)| < 10 \quad (5)$$

上記式(5)の左辺は5以下であることがより好ましく、3以下であればさらに好ましい。

【0054】

また、圧電性繊維の収縮率は小さい方が好ましい。例えば収縮率を沸水収縮率で定量化した場合、圧電性繊維の収縮率は15%以下であることが好ましく、より好ましくは10%以下、さらに好ましくは5%以下、最も好ましくは3%以下である。収縮率を下げる手段としては、公知のあらゆる方法を適用することができ、例えば、熱処理により非晶部の配向緩和や結晶化度を上げることにより収縮率を低減することができ、熱処理を実施するタイミングは特に限定されず、延伸後、撚糸後、組紐化後、布帛化後などが挙げられる。なお、上述の沸水収縮率は以下の方法で測定するものとする。枠周1.125mの検尺機で捲数20回のカセを作り、0.022cN/dtexの荷重を掛けて、スケール板に吊るして初期のカセ長L0を測定した。その後、このカセを100の沸騰水浴中で30分間処理後、放冷し再び上記荷重を掛けてスケール板に吊るし収縮後のカセ長Lを測定した。測定されたL0およびLを用いて下記式(6)により沸水収縮率を計算する。

$$\text{沸水収縮率} = (L0 - L) / L0 \times 100 (\%) \quad (6)$$

【0055】

(被覆)

導電性繊維B、すなわち芯部3は、圧電性繊維A、すなわち組紐状の鞘部2で表面が被覆されている。導電性繊維Bを被覆する鞘部2の厚みは1μm~10mmであることが好ましく、5μm~5mmであることがより好ましく、10μm~3mmであることがさらに好ましい、20μm~1mmであることが最も好ましい。薄すぎると強度の点で問題となる場合があり、また、厚すぎると組紐状圧電素子1が硬くなり変形し難くなる場合がある。なお、ここで言う鞘部2とは芯部3に隣接する層のことを指す。

【0056】

組紐状圧電素子1において、鞘部2の圧電性繊維Aの総繊度は、芯部3の導電性繊維Bの総繊度の1/2倍以上、20倍以下であることが好ましく、1倍以上、15倍以下であることがより好ましく、2倍以上、10倍以下であることがさらに好ましい。圧電性繊維Aの総繊度が導電性繊維Bの総繊度に対して小さ過ぎると、導電性繊維Bを囲む圧電性繊維Aが少な過ぎて導電性繊維Bが十分な電気信号を出力できず、さらに導電性繊維Bが近接する他の導電性繊維に接触するおそれがある。圧電性繊維Aの総繊度が導電性繊維Bの総繊度に対して大き過ぎると、導電性繊維Bを囲む圧電性繊維Aが多過ぎて組紐状圧電素子1が硬くなり変形し難くなる。すなわち、いずれの場合にも組紐状圧電素子1がセンサーとして十分に機能しなくなる。

ここでいう総繊度とは、鞘部2を構成する圧電性繊維A全ての繊度の和であり、例えば、一般的な8打組紐の場合には、8本の繊維の繊度の総和となる。

【0057】

また、組紐状圧電素子1において、鞘部2の圧電性繊維Aの一本あたりの繊度は、導電性繊維Bの総繊度の1/20倍以上、2倍以下であることが好ましく、1/15倍以上、1.5倍以下であることがより好ましく、1/10倍以上、1倍以下であることがさらに好ましい。圧電性繊維A一本あたりの繊度が導電性繊維Bの総繊度に対して小さ過ぎると、圧電性繊維Aが少な過ぎて導電性繊維Bが十分な電気信号を出力できず、さらに圧電性繊維Aが切断するおそれがある。圧電性繊維A一本あたりの繊度が導電性繊維Bの総繊度に対して大き過ぎると、圧電性繊維Aが太過ぎて組紐状圧電素子1が硬くなり変形し難くなる。すなわち、いずれの場合にも組紐状圧電素子1がセンサーとして十分に機能しなくなる。

【0058】

なお、導電性繊維Bに金属繊維を用いた場合や、金属繊維を導電性繊維Bあるいは圧電性繊維Aに混織した場合は、繊度の比率は上記の限りではない。本発明において、上記比率は、接触面積や被覆率、すなわち、面積および体積の観点で重要であるからである。例

えば、それぞれの繊維の比重が2を超えるような場合には、繊維の平均断面積の比率が上記繊維度の比率であることが好ましい。

【0059】

圧電性繊維Aと導電性繊維Bとはできるだけ密着していることが好ましいが、密着性を改良するために、導電性繊維Bと圧電性繊維Aとの間にアンカー層や接着層などを設けてもよい。

【0060】

被覆の方法は導電性繊維Bを芯糸として、その周りに圧電性繊維Aを組紐状に巻きつける方法が取られる。一方、圧電性繊維Aの組紐の形状は、印加された荷重で生じる応力に対して電気信号を出力することが出来れば特に限定されるものではないが、芯部3を有する8打組紐や16打組紐が好ましい。

【0061】

導電性繊維Bと圧電性繊維Aの形状としては特に限定されるものではないが、できるだけ同心円状に近いことが、好ましい。なお、導電性繊維Bとしてマルチフィラメントを用いる場合、圧電性繊維Aは、導電性繊維Bのマルチフィラメントの表面(繊維周面)の少なくとも一部が接触しているように被覆していればよく、マルチフィラメントを構成するすべてのフィラメント表面(繊維周面)に圧電性繊維Aが被覆していてもよいし、被覆していなくてもよい。導電性繊維Bのマルチフィラメントを構成する内部の各フィラメントへの圧電性繊維Aの被覆状態は、圧電性素子としての性能、取扱い性等を考慮して、適宜設定すればよい。

【0062】

本発明における組紐状圧電素子1は、その表面に電極を存在させる必要が無いため、組紐状圧電素子1自体をさらに被覆する必要がなく、また、誤動作しにくいという利点がある。

【0063】

(布帛状圧電素子)

図3は実施形態に係る組紐状圧電素子を用いた布帛状圧電素子の構成例を示す模式図である。布帛状圧電素子5は、少なくとも2本の組紐状圧電素子1を含む布帛6を備えており、これらの組紐状圧電素子1は略平行に配置されている。布帛6は、布帛を構成する繊維(組紐を含む)の少なくとも2本が組紐状圧電素子1であり、組紐状圧電素子1が圧電素子としての機能を発揮可能である限り何らの限定は無く、どのような織編物であってもよい。図3に示す例では、布帛状圧電素子5は、経糸として、少なくとも2本の組紐状圧電素子1および絶縁性繊維7を配し、緯糸として導電性繊維8および絶縁性繊維7を交互に配した平織物である。導電性繊維8は導電性繊維Bと同一種であっても異種の導電性繊維であってもよく、また絶縁性繊維7については後述される。なお、絶縁性繊維7及び/又は導電性繊維8の全部又は一部が組紐形態であってもよい。

【0064】

組紐状圧電素子1は、変形すると圧電信号を発するが、この信号は変形の様態に応じて大きさや形状が変化する。図3に示す布帛状圧電素子5の場合、布帛状圧電素子5が2本の組紐状圧電素子1に直交する線を屈曲部として曲げ変形したとき、2本の組紐状圧電素子1は同一の変形をする。したがって、2本の組紐状圧電素子1からは同一の信号が検出される。一方で、ねじりなどの複雑な変形を与えた場合、2本の組紐状圧電素子1には別々の変形が誘起されることとなり、それぞれの組紐状圧電素子1が発生する信号は異なるものになる。この原理により、複数の組紐状圧電素子1を組み合わせ、それぞれの組紐状圧電素子1で発生する信号を比較演算することで、組紐状圧電素子1の複雑な変形の解析が可能になる。例えば、各組紐状圧電素子1で発生する信号の極性、振幅、位相などを比較して得られる結果に基づき、ねじりなどの複雑な変形を検出することができる。

【0065】

例えば、2本の組紐状圧電素子にそれぞれ伸縮により電気信号を出力するものを用い、図3のように布帛の上面図において2本の組紐状圧電素子1は異なった位置に配置された

布帛状圧電素子 5 を好ましい形態として挙げるができる。この形態では、図 3 の布帛状圧電素子 5 の下辺を固定し、上辺の左端を引き上げ、右端を引き下げのような変形に対しては、2 本の組紐状圧電素子 1 が受ける伸縮変形は互いに異なったものになる、すなわち左の組紐状圧電素子 1 が伸び、右の組紐状圧電素子 1 が縮むため、それぞれの組紐状圧電素子 1 で発生する信号を比較することで、上記の曲げを検知することができる。この場合、布帛の一方方向への伸縮では 2 本の組紐状圧電素子 1 が受ける伸縮変形は同様なものになるため、上記の曲げ変形と区別して検知することが可能となる。

【 0 0 6 6 】

また、図 4 に示す例の通り、それぞれ伸縮により電気信号を出力する 2 本の組紐状圧電素子 1 を、布帛 6 の中央面 6 a を基準とした相対位置が互いに異なるように布帛中に固定することで、布帛 6 に垂直な方向への曲げにより、1 本の組紐状圧電素子 1 には圧縮変形が与えられ、他方の組紐状圧電素子 1 には伸長変形が与えられることから、これら 2 本の組紐状圧電素子 1 のそれぞれ、より具体的にはこれら 2 本の組紐状圧電素子 1 に含まれる導電性繊維 B のそれぞれから出力される電気信号を用いて布帛 6 に垂直な方向への布帛の曲げを検知する布帛状圧電素子 5 が好ましい形態として挙げられる。この形態では、例えば 2 本の組紐状圧電素子 1 に同等の性能の素子を用いた場合は、布帛状圧電素子 5 が組紐状圧電素子 1 の軸方向への伸縮変形をした時に 2 本の組紐状圧電素子 1 から同等の出力が得られるため、前記の布帛の曲げ変形と区別して検知することが可能となる。図 4 では布帛 6 の中央面 6 a を対称面として面対称の位置に 2 本の組紐状圧電素子 1 を配置しているが、布帛 6 の中央面 6 a を基準とした相対位置が互いに異なるように布帛中に固定されていればよく、布帛 6 の同じ面に布帛の中央面 6 a からの距離を異にして 2 本の組紐状圧電素子 1 が固定されていてもよい。

【 0 0 6 7 】

また、このような形態において、2 本の組紐状圧電素子に、それぞれの組紐状圧電素子の伸縮により互いに逆極性の電気信号（すなわち逆符号の電気信号）を出力するものを用いた場合は、それらの信号の和により布帛の曲げに対して大きな出力を発生し、布帛の伸縮に対して小さな出力を発生する素子とすることも、好ましい形態として挙げるができる。互いに逆極性の電気信号を出力する組紐状圧電素子は、前述の通り使用する圧電性高分子の主な成分としてポリ - L - 乳酸とポリ - D - 乳酸とをそれぞれ用いたり、同じ圧電性高分子を用いて配向方向が S 撚り方向と Z 撚り方向とになるようそれぞれ配置したりすることで実現することができる。また、2 本の組紐状圧電素子の信号の和を取る方法としては、2 本の組紐状圧電素子の芯部を短絡させる方法や、電子回路上およびソフトウェア上で和を取る方法のいずれも用いることができる。

【 0 0 6 8 】

上記の形態では、布帛の曲げに対して 2 本の組紐状圧電素子 1 が異なる変形を受けるようにする観点から、2 本の組紐状圧電素子 1 は、互いに間隔を置いて配置され、具体的には圧電性繊維が互いに最も近い部分の距離が 0 . 0 5 mm 以上 5 0 0 mm 以下離れていることが好ましく、0 . 1 mm 以上 2 0 0 mm 以下離れていることがより好ましく、0 . 5 mm 以上 1 0 0 mm 以下離れていることが更に好ましい。また信号検出に使用しない組紐状圧電素子が布帛中に含まれる場合、その組紐状圧電素子と他の組紐状圧電素子の距離が 0 . 0 5 mm 未満であってもよい。

【 0 0 6 9 】

さらに別の例として、布帛状圧電素子に含まれる組紐状圧電素子のうち少なくとも 1 本の組紐状圧電素子に伸縮により電気信号を出力するものを用い、それとは別の少なくとも 1 本の組紐状圧電素子にねじりにより電気信号を出力するものを用いて、当該少なくとも 1 本の組紐状圧電素子から出力される電気信号により布帛の伸縮あるいは曲げ変形を検知し、当該別の少なくとも 1 本の組紐状圧電素子から出力される電気信号により布帛のねじり変形を検知する形態を挙げるができる。この形態では、布帛の伸縮変形あるいは曲げ変形を検知する組紐状圧電素子は、前述した伸縮変形により選択的に電気信号を出力するものを用い、布帛のねじり変形を検知する組紐状圧電素子は、前述したねじり変形によ

10

20

30

40

50

り選択的に電気信号を出力するものを用いることが好ましい。この例では、組紐状圧電素子の間の距離は問わない。

【0070】

以上の通り、複数の組紐状圧電素子1を組み合せ、それぞれの組紐状圧電素子1で発生する信号を比較演算することで、曲げやねじりなどの複雑な変形の解析が可能になるので、例えば衣類形状のウェアラブルセンサーに適用することができる。この場合、布帛状圧電素子5が曲げられるなどして変形したとき、その変形に伴い組紐状圧電素子1も変形するので、組紐状圧電素子1から出力される電気信号に基づいて、布帛状圧電素子5の変形を検出できる。そして、布帛状圧電素子5は、布帛（織編物）として用いることができるので、例えば衣類形状のウェアラブルセンサーに適用することができる。

10

【0071】

また、図3に示す布帛状圧電素子5では、組紐状圧電素子1に導電性繊維8が交差して接触している。したがって、導電性繊維8は、組紐状圧電素子1の少なくとも一部と交差して接触し、それを覆っており、外部から組紐状圧電素子1へ向かおうとする電磁波の少なくとも一部を遮っている、と見ることができる。このような導電性繊維8は、接地（アース）されることにより、組紐状圧電素子1への電磁波の影響を軽減する機能を有している。すなわち導電性繊維8は組紐状圧電素子1の電磁波シールドとして機能することができる。それにより、例えば布帛状圧電素子5の上下に電磁波シールド用の導電性の布帛を重ねなくても、布帛状圧電素子5のS/N比を著しく向上させることができる。この場合、電磁波シールドの観点から組紐状圧電素子1と交差する緯糸（図3の場合）における導電性繊維8の割合が高いほど好ましい。具体的には、布帛6を形成する繊維であり且つ組紐状圧電素子1と交差する繊維のうちの30%以上が導電性繊維であることが好ましく、40%以上がより好ましく、50%以上が更に好ましい。このように布帛状圧電素子5において、布帛を構成する繊維の少なくとも一部として導電性繊維を入れることで、電磁波シールド付の布帛状圧電素子5とすることができる。

20

【0072】

（絶縁性繊維）

布帛状圧電素子5では、組紐状圧電素子1（及び導電性繊維8）以外の部分には、絶縁性繊維を使用することができる。この際、絶縁性繊維は布帛状圧電素子5の柔軟性を向上する目的で伸縮性のある素材、形状を有する繊維を用いることができる。

30

【0073】

このように組紐状圧電素子1（及び導電性繊維8）以外にこのように絶縁性繊維を配置することで、布帛状圧電素子5の操作性（例示：ウェアラブルセンサーとしての動き易さ）を向上させることが可能である。

【0074】

このような絶縁性繊維としては、体積抵抗率が $10^6 \cdot \text{cm}$ 以上であれば用いることができ、より好ましくは $10^8 \cdot \text{cm}$ 以上、さらに好ましくは $10^{10} \cdot \text{cm}$ 以上がよい。

【0075】

絶縁性繊維として例えば、ポリエステル繊維、ナイロン繊維、アクリル繊維、ポリエチレン繊維、ポリプロピレン繊維、塩化ビニル繊維、アラミド繊維、ポリスルホン繊維、ポリエーテル繊維、ポリウレタン繊維等の合成繊維他、綿、麻、絹等の天然繊維、アセテート等の半合成繊維、レーヨン、キュブラ等の再生繊維を用いることができる。これらに限定されるものではなく、公知の絶縁性繊維を任意に用いることができる。さらに、これらの絶縁性繊維を組み合わせて用いてもよく、絶縁性を有しない繊維と組み合わせ、全体として絶縁性を有する繊維としてもよい。

40

また、公知のあらゆる断面形状の繊維も用いることができる。

【0076】

（製造方法）

本発明における組紐状圧電素子1は少なくとも1本の導電性繊維Bの表面を組紐状の圧

50

電性繊維 A で被覆しているが、その製造方法としては例えば以下の方法が挙げられる。すなわち、導電性繊維 B と圧電性繊維 A を別々の工程で作製し、導電性繊維 B に圧電性繊維 A を組紐状に巻きつけて被覆する方法である。この場合には、できるだけ同心円状に近くなるように被覆することが好ましい。

【 0 0 7 7 】

この場合、圧電性繊維 A を形成する圧電性高分子としてポリ乳酸を用いる場合の好ましい紡糸、延伸条件として、熔融紡糸温度は 1 5 0 ~ 2 5 0 が好ましく、延伸温度は 4 0 ~ 1 5 0 が好ましく、延伸倍率は 1 . 1 倍から 5 . 0 倍が好ましく、結晶化温度は 8 0 ~ 1 7 0 が好ましい。

【 0 0 7 8 】

導電性繊維 B に巻きつける圧電性繊維 A としては、複数のフィラメントを束ねたマルチフィラメントを用いてもよく、また、モノフィラメント（紡績糸を含む）を用いても良い。また、圧電性繊維 A を巻きつけられる導電性繊維 B としては、複数のフィラメントを束ねたマルチフィラメントを用いてもよく、また、モノフィラメント（紡績糸を含む）を用いても良い。

【 0 0 7 9 】

被覆の好ましい形態としては、導電性繊維 B を芯糸とし、その周囲に圧電性繊維 A を組紐状に製紐して、丸打組物（Tubular Braid）を作製することで被覆することができる。より具体的には芯部 3 を有する 8 打組紐や 1 6 打組紐が挙げられる。ただし、例えば、圧電性繊維 A を編組チューブのような形態とし、導電性繊維 B を芯として当該編組チューブに挿入することで被覆してもよい。

【 0 0 8 0 】

以上のような製造方法により、導電性繊維 B の表面を組紐状の圧電性繊維 A で被覆した組紐状圧電素子 1 を得ることができる。

【 0 0 8 1 】

本発明における組紐状圧電素子 1 は、表面に電気信号を検出するための電極の形成を必要としないため、比較的簡単に製造することができる。

【 0 0 8 2 】

本発明の布帛状圧電素子 5 は、製織、製編により製造される。本発明の目的を達成する限り、他の繊維（組紐を含む）と組み合わせ、交織、交編、交組等を行ってもよい。もちろん、組紐状圧電素子 1 を、布帛を構成する繊維（例えば、経糸や緯糸）の一部として用いてもよいし、組紐状圧電素子 1 を布帛に刺繍してもよいし、接着してもよく、それらの方法を組み合わせてもよい。また、組紐状圧電素子 1 の近傍のみに布帛が存在するテープ形の布帛状圧電素子とすると、他の布帛に縫い付けや貼付けによって容易に設置することができるため好ましい。この時、テープの端と組紐状圧電素子との距離（テープの幅方向の距離）は、1 mm 以上 1 0 0 mm 以下が好ましく、3 mm 以上 5 0 mm 以下がより好ましく、5 mm 以上 2 0 mm 以下がさらに好ましい。テープ形の布帛状圧電素子とする場合は、広幅の布帛状圧電素子を組紐状圧電素子 1 と平行にカットして製造してもよいが、布テープの製織、製編時に交織、交編、交組等を行うことや、布テープに組紐状圧電素子 1 を刺繍、接着することが、製造工程の簡素化の観点から好ましい。

【 0 0 8 3 】

織物の織組織としては、平織、綾織、朱子織等の三原組織、変化組織、たて二重織、よこ二重織等の片二重組織、たてピロードなどが例示される。編物の種類は、丸編物（緯編物）であってもよいし経編物であってもよい。丸編物（緯編物）の組織としては、平編、ゴム編、両面編、パール編、タック編、浮き編、片畔編、レース編、添え毛編等が好ましく例示される。経編組織としては、シングルデンビー編、シングルアトラス編、ダブルコード編、ーフトリコット編、裏毛編、ジャガード編等が例示される。層数も単層でもよいし、2 層以上の多層でもよい。更には、カットパイルおよび/またはループパイルからなる立毛部と地組織部とで構成される立毛織物、立毛編み物であってもよい。

【 0 0 8 4 】

10

20

30

40

50

製造工程の簡素化ならびに耐久性および固定性向上の観点から、布帛に組紐状圧電素子が織り込まれる状態または編み込まれる状態で固定されていることがより好ましく、多重織り布帛あるいは多重編み布帛の層間に組紐状圧電素子が挟み込まれていることがさらに好ましい。多重とは二重以上のものを指す。

【0085】

(保護層)

本発明における組紐状圧電素子1の最表面には保護層を設けてもよい。この保護層は絶縁性であることが好ましく、フレキシブル性などの観点から高分子からなるものがより好ましい。保護層に絶縁性を持たせる場合には、もちろん、この場合には保護層ごと変形させたり、保護層上を擦ったりすることになるが、これらの外力が圧電性繊維Aまで到達し、その分極を誘起できるものであれば特に限定はない。保護層としては、高分子などのコーティングによって形成されるものに限定されず、フィルム、布帛、繊維などを巻付けてもよく、あるいは、それらが組み合わされたものであってもよい。

10

【0086】

保護層の厚みとしては出来るだけ薄い方が、せん断応力を圧電性繊維Aに伝えやすいが、薄すぎると保護層自体が破壊される等の問題が発生しやすくなるため、好ましくは10nm~200 μ m、より好ましくは50nm~50 μ m、さらに好ましくは70nm~30 μ m、最も好ましくは100nm~10 μ mである。この保護層により圧電素子の形状を形成することもできる。

【0087】

また、ノイズ低減を目的として電磁波シールド層を組紐構造に取り入れることも可能である。電磁波シールド層は特に限定されるものではないが、導電性の物質をコーティングしてもよいし、導電性を有するフィルム、布帛、繊維などを巻付けてもよい。電磁波シールド層の体積抵抗率としては $10^{-1} \cdot \text{cm}$ 以下であることが好ましく、より好ましくは $10^{-2} \cdot \text{cm}$ 以下、さらに好ましくは $10^{-3} \cdot \text{cm}$ 以下である。ただし、電磁波シールド層の効果が得られるのであれば抵抗率はこの限りではない。この電磁波シールド層は、鞘の圧電性繊維Aの表面に設けてもよく、前述の保護層の外側に設けてもよい。もちろん、電磁波シールド層と保護層が複数層積層されていてもよく、その順番も目的に応じて適宜決められる。

20

【0088】

さらには、圧電性繊維からなる層を複数層設けたり、信号を取り出すための導電性繊維からなる層を複数層設けたりすることもできる。もちろん、これらの保護層、電磁波シールド層、圧電性繊維からなる層、導電性繊維からなる層は、その目的に応じて、その順番および層数は適宜決められる。なお、巻付ける方法としては、鞘部2のさらに外層に組紐構造を形成したり、カバーリングしたりする方法が挙げられる。

30

【0089】

(圧電素子の適用技術)

本発明の布帛状圧電素子5のような圧電素子はいずれの様態であっても、表面への接触、圧力、形状変化を電気信号として出力することができるので、その圧電素子に印加された応力の大きさおよび/又は印加された位置を検出するセンサー(デバイス)として利用することができる。また、この電気信号を他のデバイスを動かすための電力源あるいは蓄電するなど、発電素子として用いることもできる。具体的には、人、動物、ロボット、機械など自発的に動くものの可動部に用いることによる発電、靴底、敷物、外部から圧力を受ける構造物の表面での発電、流体中での形状変化による発電、などが挙げられる。また、流体中での形状変化により電気信号を発するために、流体中の帯電性物質を吸着させたり付着を抑制させたりすることも可能である。

40

【0090】

図5は、本発明の圧電素子11を備えるデバイス10を示すブロック図である。デバイス10は、圧電素子11(例示:複数の組紐状圧電素子1を有する布帛状圧電素子5)と、任意選択で、印加された圧力に応じて圧電素子11の出力端子から出力される電気信号

50

を増幅する増幅手段 1 2、当該任意選択の増幅手段 1 2 で増幅された電気信号を出力する出力手段 1 3、および出力手段 1 3 から出力された電気信号を外部機器（図示せず）へ送信する送信手段 1 4 を有する電気回路とを備える。このデバイス 1 0 を用いれば、圧電素子 1 1 の表面への接触、圧力、形状変化によりそれぞれの組紐状圧電素子 1 の出力端子から出力された電気信号を、外部機器（図示せず）に設けられた比較演算手段（図示せず）にて比較演算することで、圧電素子 1 1 の変形の解析結果を得ることができる。比較演算手段を設けることで、例えば各組紐状圧電素子 1 で発生する電気信号の極性、振幅、位相などを比較して得られる結果に基づき、伸縮やねじりなどの複雑な変形の態様を判別することができる。すなわち、圧電素子 1 1 の出力端子から出力される電気信号が、圧電性高分子の配向方向と変形の様態とに応じて大きさ（振幅）や形状（波形）が変化することは既に説明した通りであるが、組紐状圧電素子 1 として伸縮変形により電気信号を出力するものとねじり変形により電気信号を出力するものとを適用用途に応じて適宜組み合わせ配置し、比較演算手段にてそれぞれの組紐状圧電素子 1 から出力される電気信号の極性、振幅、位相などを比較演算することで、当該適用用途における伸縮やねじりなどの複雑な変形の態様を判別する。

10

【 0 0 9 1 】

任意選択の増幅手段 1 2、出力手段 1 3、及び送信手段 1 4 は、例えばソフトウェアプログラム形式で構築されてもよく、あるいは各種電子回路とソフトウェアプログラムとの組み合わせで構築されてもよい。例えば、演算処理装置（図示せず）に当該ソフトウェアプログラムがインストールされ、演算処理装置が当該ソフトウェアプログラムに従って動作することで、各部の機能を実現する。またあるいは、任意選択の増幅手段 1 2、出力手段 1 3、及び送信手段 1 4 を、これら各部の機能を実現するソフトウェアプログラムを書き込んだ半導体集積回路として実現してもよい。なお、送信手段 1 4 による送信方式を無線によるもの有線によるものにするかは、構成するセンサーに応じて適宜決定すればよい。あるいはまた、デバイス 1 0 内に、出力手段 1 3 から出力されたそれぞれの組紐状圧電素子 1 の電気信号に基づき圧電素子 1 1 の変形を解析する比較演算手段を設けてもよい。また、増幅手段だけではなく、ノイズを除去する手段や他の信号と組み合わせる処理する手段などの公知の信号処理手段を組み合わせる用いることができる。これらの手段の接続の順序は目的に応じて適宜変えることができる。

20

【 0 0 9 2 】

図 6 は、実施の形態に係る組紐布帛状圧電素子を備えるデバイスの構成例を示す模式図である。図 6 の増幅手段 1 2 は、図 5 を参照して説明したものに相当するが、図 6 に示す例では、出力手段 1 3 の後段に、出力手段 1 3 から出力されたそれぞれの組紐状圧電素子 1 の電気信号を比較演算することで圧電素子 1 1 の変形を解析する比較演算手段 1 5 が設けられている。布帛状圧電素子 5 を備えるデバイスを構成する場合、増幅手段 1 2 の入力端子に組紐状圧電素子 1 の芯部 3（導電性繊維 B で形成される）の出力端子からの引出し線を接続し、接地（アース）端子には、増幅手段 1 2 の入力端子に接続した組紐状圧電素子 1 とは別の組紐状圧電素子または導電性繊維 8 を接続する。例えば、図 6 に示すように、布帛状圧電素子 5 において、組紐状圧電素子 1 の芯部 3 の出力端子からの引出し線を増幅手段 1 2 の入力端子に接続し、組紐状圧電素子 1 に交差して接触した導電性繊維 8 を接地（アース）する。なお、図 6 では、比較演算手段 1 5 をデバイス 1 0 内に設けたが、図 5 を参照して説明したように比較演算手段 1 5 を、外部機器内に設けてもよい。

30

40

【 0 0 9 3 】

組紐状圧電素子 1 に変形が生じると、圧電性繊維 A は変形して分極が発生する。圧電性繊維 A の分極により発生した正負各電荷の配列につられて、組紐状圧電素子 1 の芯部 3 を形成する導電性繊維 B の出力端子からの引出し線上において、電荷の移動が発生する。導電性繊維 B からの引出し線上における電荷の移動は微小な電気信号（すなわち電流または電位差）として現れる。つまり、組紐状圧電素子 1 に変形が与えられた時に発生する電荷に応じて、出力端子から電気信号が出力される増幅手段 1 2 はこの電気信号を増幅し、出力手段 1 3 は、増幅手段 1 2 で増幅された電気信号を出力する。組紐状圧電素子 1 の変形

50

の種類によって出力手段 13 から出力される電気信号の極性、振幅、位相などが異なるが、比較演算手段 15 では、出力手段 13 から出力される電気信号の極性、振幅、位相などを比較して得られる結果に基づき、ねじりなどの複雑な変形の態様を判別する。

【0094】

本発明のデバイス 10 は柔軟性があり、非常に広範な用途が考えられる。本発明のデバイス 10 の具体的な例としては、帽子や手袋、靴下などを含む着衣、サポーター、ハンカチ状などの形状をした、タッチパネル、人や動物の表面感圧センサー、例えば、手袋やバンド、サポーターなどの形状をした関節部の曲げ、捻じり、伸縮を感知するセンサーが挙げられる。例えば人に用いる場合には、接触や動きを検出し、医療用途などの関節などの動きの情報収集、アミューズメント用途、失われた組織やロボットを動かすためのインターフェースとして用いることができる。他には、動物や人型を模したぬいぐるみやロボットの表面感圧センサー、関節部の曲げ、捻じり、伸縮を感知するセンサーとして用いることができる。他には、シーツや枕などの寝具、靴底、手袋、椅子、敷物、袋、旗などの表面感圧センサーや形状変化センサーとして用いることができる。

10

【0095】

さらに、本発明のデバイス 10 は布帛状であり、柔軟性があるので、あらゆる構造物の全体あるいは一部の表面に貼付あるいは被覆することにより表面感圧センサー、形状変化センサーとして用いることができる。

【0096】

さらに、本発明のデバイス 10 は、組紐状圧電素子 1 の僅かな伸縮変形により十分な電気信号を発生することができるので、タッチセンサーのようなタッチ式入力装置やポインティングデバイスなどに用いることができる。また、組紐状圧電素子 1 で被計測物の表面を擦ることによって被計測物の高さ方向の位置情報や形状情報を得ることができるので、表面形状計測などに用いることができる。

20

【実施例】

【0097】

以下、本発明を実施例によりさらに具体的に記載するが本発明はこれによって何らの限定を受けるものではない。

【0098】

本実施例で示される圧電性繊維の特性は、以下の方法によって決定した。

30

(1) ポリ-L-乳酸結晶化度 $X_{h.o.m.o.}$:

ポリ-L-乳酸結晶化度 $X_{h.o.m.o.}$ については、広角X線回折分析(WAXD)による結晶構造解析から求めた。広角X線回折分析(WAXD)では、リガク製 *ultra x 18* 型 X 線回折装置を用いて透過法により、以下条件でサンプルの X 線回折図形をイメージングプレートに記録した。

X線源: Cu-K 線 (コンフォーカル ミラー)

出力: 45 kV x 60 mA

スリット: 1st: 1 mm, 2nd: 0.8 mm

カメラ長: 120 mm

積算時間: 10 分

40

サンプル: 35 mg のポリ乳酸繊維を引き揃え 3 cm の繊維束とする

得られた X 線回折図形において方位角にわたって全散乱強度 I_{total} を求め、ここで $2\theta = 16.5^\circ, 18.5^\circ, 24.3^\circ$ 付近に現れるポリ-L-乳酸結晶に由来する各回折ピークの積分強度の総和 I_{HMi} を求めた。これらの値から下式(3)に従い、ポリ-L-乳酸結晶化度 $X_{h.o.m.o.}$ を求めた。

[数3]

$$\text{ポリ-L-乳酸結晶化度 } X_{h.o.m.o.} (\%) = I_{HMi} / I_{total} \times 100$$

(3)

なお、 I_{HMi} は、全散乱強度においてバックグラウンドや非晶による散漫散乱を差し引くことによって算出した。

50

【0099】

(2) ポリ-L-乳酸結晶配向度 A :

ポリ-L-乳酸結晶配向度 A については、上記の広角 X 線回折分析 (WAXD) により得られた X 線回折図形において、動径方向の $2\theta = 16.5^\circ$ 付近に現れるポリ-L-乳酸結晶に由来する回折ピークについて、方位角 ($^\circ$) に対する強度分布をとり、得られた分布プロファイルの半値幅の総計 $W_i (^\circ)$ から次式 (4) より算出した。

[数4]

$$\text{ポリ-L-乳酸結晶配向度 A (\%)} = (360 - W_i) \div 360 \times 100 \quad (4)$$

【0100】

(3) ポリ乳酸の光学純度 :

布帛を構成する 1 本 (マルチフィラメントの場合は 1 束) のポリ乳酸繊維 0.1 g を採取し、5 モル/リットル濃度の水酸化ナトリウム水溶液 1.0 mL とメタノール 1.0 mL を加え、65 に設定した水浴振とう器にセットして、ポリ乳酸が均一溶液になるまで 30 分程度加水分解を行い、さらに加水分解が完了した溶液に 0.25 モル/リットルの硫酸を加え pH 7 まで中和し、その分解溶液を 0.1 mL 採取して高速液体クロマトグラフィー (HPLC) 移動相溶液 3 mL により希釈し、メンブレンフィルター (0.45 μ m) によりろ過した。この調整溶液の HPLC 測定を行い、L-乳酸モノマーと D-乳酸モノマーの比率を定量した。1 本のポリ乳酸繊維が 0.1 g に満たない場合は、採取可能な量に合わせ他の溶液の使用量を調整し、HPLC 測定に供するサンプル溶液のポリ乳酸濃度が上記と同等から 100 分の 1 の範囲になるようにした。

< HPLC 測定条件 >

カラム : 住化分析センター社製「スミキラル (登録商標)」OA-5000 (4.6 mm \times 150 mm)、

移動相 : 1.0 ミリモル/リットルの硫酸銅水溶液

移動相流量 : 1.0 ミリリットル/分

検出器 : UV 検出器 (波長 254 nm)

注入量 : 100 マイクロリットル

L 乳酸モノマーに由来するピーク面積を S_{LLA} とし、D-乳酸モノマーに由来するピーク面積を S_{DLA} とすると、 S_{LLA} および S_{DLA} は L-乳酸モノマーのモル濃度 M_{LLA} および D-乳酸モノマーのモル濃度 M_{DLA} にそれぞれ比例するため、 S_{LLA} と S_{DLA} のうち大きい方の値を S_{MLA} とし、光学純度は下記式 (5) で計算した。

[数5]

$$\text{光学純度 (\%)} = S_{MLA} \div (S_{LLA} + S_{DLA}) \times 100 \quad (5)$$

【0101】

圧電素子用の布帛は以下の方法で製造した。

(ポリ乳酸の製造)

実施例において用いたポリ乳酸は以下の方法で製造した。

L-ラクチド ((株) 武蔵野化学研究所製、光学純度 100%) 100 質量部に対し、オクチル酸スズを 0.005 質量部加え、窒素雰囲気下、攪拌翼のついた反応機にて 180 で 2 時間反応させ、オクチル酸スズに対し 1.2 倍当量のリン酸を添加しその後、13.3 Pa で残存するラクチドを減圧除去し、チップ化し、ポリ-L-乳酸 (PLLA1) を得た。得られた PLLA1 の質量平均分子量は 15.2 万、ガラス転移点 (T_g) は 55、融点は 175 であった。

【0102】

(圧電性繊維)

240 にて熔融させた PLLA1 を 24 ホールのキャップから 20 g/min で吐出し、887 m/min にて引き取った。この未延伸マルチフィラメント系を 80、2.3 倍に延伸し、100 で熱固定処理することにより 84 dTex / 24 フィラメントのマルチフィラメント一軸延伸系 PF1 を得た。また、240 にて熔融させた PLLA1 を 12 ホールのキャップから 8 g/min で吐出し、1050 m/min にて引き取った

10

20

30

40

50

。この未延伸マルチフィラメント糸を80、2.3倍に延伸し、150で熱固定処理することにより33d tex / 12フィラメントのマルチフィラメント一軸延伸糸PF2を得た。これらの圧電性繊維PF1およびPF2を圧電性高分子として用いた。PF1およびPF2のポリ-L-乳酸結晶化度、ポリ-L-乳酸結晶配向度および光学純度は上記の方法で測定し、表1の通りであった。

【0103】

【表1】

表1

| 圧電性繊維 | ポリ-L-乳酸結晶化度 X_{homo} [%] | ポリ-L-乳酸結晶配向度 A [%] | ポリ乳酸の光学純度 [%] |
|-------|--------------------------------------|-----------------------|------------------|
| PF1 | 35.9 | 95.6 | 99.7 |
| PF2 | 36.8 | 94.8 | 99.9 |

10

【0104】

(導電性繊維)

ミツフジ(株)製の銀メッキナイロン、品名『AGposs』100d34f(CF1)を導電性繊維Bおよび導電性繊維8として使用した。この繊維の体積抵抗率は $1.1 \times 10^{-3} \cdot \text{cm}$ であった。

20

また、ミツフジ(株)製の銀メッキナイロン、品名『AGposs』30d10f(CF2)を導電性繊維Bとして使用した。CF2の導電性は950 / mであった。

【0105】

(絶縁性繊維)

280にて溶融させたポリエチレンテレフタレート(PE)を24ホールのキャップから45g/minで吐出し、800m/minにて引き取った。この未延伸糸を80、2.5倍に延伸し、180で熱固定処理することにより84d Tex / 24フィラメントのマルチフィラメント延伸糸IF1、および33d Tex / 12フィラメントのマルチフィラメント延伸糸IF2を得、これらを絶縁性繊維とした。

【0106】

(組紐状圧電素子)

図1に示すように、上記の導電性繊維CF1を芯糸とし、上記の圧電性繊維PF1の8本を芯糸の周りに組紐状に巻きつけて、八打組紐とし、組紐状圧電素子1-1を形成した。ここで、導電性繊維の繊維軸CLに対する圧電性繊維の巻きつけ角度(配向角度)は45°とした。

30

【0107】

図1に示すように、導電性繊維CF1を芯糸とし、8打ち丸組紐製組紐機の8本のキャリアのうち、Z撚り方向に組まれる4本のキャリアに上記の圧電性繊維PF1をセットし、S撚り方向に組まれる4本のキャリアに上記の絶縁性繊維IF1をセットして組むことで、芯糸の周りにZ撚り方向に圧電性繊維PF1がらせん状に巻かれた組紐状圧電素子を作成した。次いで、この組紐状圧電素子を芯糸とし、製組紐機の8本のキャリアのうち、Z撚り方向に組まれる4本のキャリアおよびS撚り方向に組まれる4本のキャリア全てに上記の導電性繊維CF2をセットして組むことで、組紐状圧電素子の周りを導電性繊維で覆ったものを作製し、組紐状圧電素子1-2とした。

40

【0108】

組紐状圧電素子1-2における組紐のPF1とIF1とを入れ替えた以外は組紐状圧電素子1-2と同様にして組紐状圧電素子1-3を作製した。

【0109】

図1に示すように、導電性繊維CF1を芯糸とし、8打ち丸組紐製組紐機の8本のキャリアのうち、Z撚り方向に組まれる4本のキャリアおよびS撚り方向に組まれる4本のキャ

50

リア全てに上記の圧電性繊維 P F 1 をセットして組むことで、芯系の周りに Z 撚り方向および S 撚り方向ともに圧電性繊維 P F 1 がらせん状に巻かれた組紐状圧電素子を作成した。次いで、この組紐状圧電素子を芯系とし、製紐機の 8 本のキャリアのうち、Z 撚り方向に組まれる 4 本のキャリアおよび S 撚り方向に組まれる 4 本のキャリア全てに上記の導電性繊維 C F 2 をセットして組むことで、組紐状圧電素子の周りを導電性繊維で覆ったものを作製し、組紐状圧電素子 1 - 4 とした。

【 0 1 1 0 】

(製織)

実施例 1 の試料として、図 3 に示すように経系に絶縁性繊維 7 および 2 本の組紐状圧電素子 1 - 1 を 3 . 0 ~ 3 . 1 c m の間隔で略平行に配し、緯系に絶縁性繊維 7 および導電性繊維 8 を交互に配して平織物を作製し、布帛状圧電素子 5 - 1 とした。

10

【 0 1 1 1 】

比較例 1 の試料として、図 7 に示すように経系に絶縁性繊維 7 および一本の組紐状圧電素子 1 - 1 を配し、緯系に絶縁性繊維 7 および導電性繊維 8 を交互に配して平織物を作製し、布帛状圧電素子 5 - 2 とした。

【 0 1 1 2 】

実施例 2 の試料として、絶縁性のポリエステル系による 2 重織りテープ (幅 1 6 m m 、厚み 0 . 3 m m) の層間に、経系に平行に 5 カ所の筒状部分を形成し、それぞれの筒状部分の中に組紐状圧電素子 1 - 2 を 1 本、組紐状圧電素子 1 - 4 を 3 本、組紐状圧電素子 1 - 2 を 1 本の順に入れて織った布帛状圧電素子 5 - 3 を作成した。1 カ所の筒状部分は 2 層合わせて 1 6 本の 8 4 d T e x の経系で構成し、筒状部分以外の部分は 1 6 7 d T e x の経系で構成した。緯系は 8 4 d T e x の糸を用いた。5 本の組紐状圧電素子同士の間には 1 6 7 d T e x の経系を 2 本 (各層 1 本) 入れた。

20

【 0 1 1 3 】

実施例 3 の試料として、絶縁性のポリエステル系による 2 重織りテープ (幅 1 6 m m 、厚み 0 . 3 m m) の層間に、経系に平行に 5 カ所の筒状部分を形成し、その両端の筒状部分の中に組紐状圧電素子 1 - 2 および組紐状圧電素子 1 - 3 をそれぞれ 1 本ずつ入れて織った布帛状圧電素子 5 - 4 を作成した。中央の 3 カ所の筒状部分には組紐状圧電素子を入れなかった。1 カ所の筒状部分は 2 層合わせて 1 6 本の 8 4 d T e x の経系で構成し、筒状部分以外の部分は 1 6 7 d T e x の経系で構成した。緯系は 8 4 d T e x の糸を用いた。5 カ所の筒状部分同士の間には 1 6 7 d T e x の経系を 2 本 (各層 1 本) 入れた。

30

【 0 1 1 4 】

実施例 4 の試料として、ポリエステル系 (3 3 0 d T e x / 7 2 フィラメント) を経系および緯系に用いた平織布を基材として用い、この基材の片面に、前記の布帛状圧電素子 5 - 4 を縫い付けて固定し、その布帛状圧電素子 5 - 4 に重なるように基材の反対側の面に別の布帛状圧電素子 5 - 4 を縫い付けて固定した布帛状圧電素子 5 - 5 を作成した。

【 0 1 1 5 】

実施例 5 の試料として、ポリエステル系 (3 3 0 d T e x / 7 2 フィラメント) を経系および緯系に用い、1 / 2 の綾織布を織り、その緯系の一部に組紐状圧電素子 1 - 2 および 1 - 3 を用い、その部分の組織を図 8 の通り変化させた布帛状圧電素子 5 - 6 を作成した。組紐状圧電素子を緯系として入れる際に箆の打ち込みを強くすることで、組紐状圧電素子 1 - 2 および 1 - 3 は重なり、組紐状圧電素子 1 - 2 は図 8 における紙面手前側に配置され、組紐状圧電素子 1 - 3 は図 8 における紙面奥側に配置された。

40

【 0 1 1 6 】

(性能評価及び評価結果)

布帛状圧電素子 5 の性能評価及び評価結果は以下のとおりである。

【 0 1 1 7 】

(実施例 1)

布帛状圧電素子 5 - 1 中の 2 本の組紐状圧電素子の芯部 3 を形成する導電性繊維 B を、別々に信号線としてオシロスコープ (横河電機 (株) 製デジタルオシロスコープ D L 6 0

50

00シリーズ商品名『DL6000』)に配線を介して1000倍増幅回路を経由して接続した。また、布帛状圧電素子5-1中の導電性繊維8を接地(アース)した。この状態で、布帛状圧電素子5-1中の2本の組紐状圧電素子1-1に平行で、2本の組紐状圧電素子1-1間の中心線から約0.5cm離れた線を回転軸とし、布帛状圧電素子を90°ひねってねじり変形を与えたところ、布帛状圧電素子5-1からの出力として、オシロスコープによりノイズのほとんどない電気信号が得られ、それぞれ70mVおよび100mVの電位差が検出された。また、同様の装置構成で布帛状圧電素子5-1を2本の組紐状圧電素子1-1に直交する線を屈曲部として90度折り曲げたところ、布帛状圧電素子5-1からの出力として、オシロスコープによりノイズのほとんどない電気信号が得られ、それぞれ100mVの電位差が検出された。以上の結果から、布帛状圧電素子5-1は変形により十分な大きさの電気信号を検出可能で、布帛状圧電素子5-1中の2本の組紐状圧電素子1-1の信号の組み合わせにより、布帛の変形の種類を区別できることが確認された。

10

【0118】

(比較例1)

布帛状圧電素子5-2中の組紐状圧電素子の芯部3を形成する導電性繊維Bを、信号線としてオシロスコープ(横河電機(株)製デジタルオシロスコープDL6000シリーズ商品名『DL6000』)に配線を介して1000倍増幅回路を経由して接続した。また、布帛状圧電素子5-2中の導電性繊維8を接地(アース)した。この状態で、布帛状圧電素子5-2中の組紐状圧電素子1-1に平行で約2.0cm離れた線を回転軸とし、布帛状圧電素子を90°ひねってねじり変形を与えたところ、布帛状圧電素子5-2からの出力として、オシロスコープによりノイズのほとんどない電気信号が得られ、100mVの電位差が検出された。また、同様の装置構成で布帛状圧電素子5-2を組紐状圧電素子1-1に直行する線を屈曲部として90度折り曲げたところ、布帛状圧電素子5-2からの出力として、オシロスコープによりノイズのほとんどない電気信号が得られ、100mVの電位差が検出された。以上の結果から、1本の組紐状圧電素子1-1からは、変形の種類を区別できないことがわかった。

20

【0119】

(実施例2)

布帛状圧電素子5-3中の2本の組紐状圧電素子1-2の2本の導電性繊維Bおよび3本の組紐状圧電素子1-4の3本の導電性繊維Bを、信号線としてオシロスコープ(横河電機(株)製デジタルオシロスコープDL6000シリーズ商品名『DL6000』)に配線を介して1000倍増幅回路を経由して接続した。2本の組紐状圧電素子1-2の導電性繊維Bをそれぞれチャンネル1および2に接続し、3本の組紐状圧電素子1-4の3本の導電性繊維Bは短絡させてチャンネル3に接続した。また、布帛状圧電素子5-3中の2本の組紐状圧電素子1-2の外側の導電性繊維を接地(アース)した。布帛状圧電素子5-3の上面図において、チャンネル1および2に接続された2本の組紐状圧電素子1-2は、8mmの間を空けて平行に配置されている。この状態で、立っている被験者の右腕を体の横に水平に持ち上げた状態で、布帛状圧電素子5-3を被験者の右肩上面に、チャンネル1に接続された組紐状圧電素子が被験者の前方に来るようにして、首付け根から肘にかけて直線状に両面テープで貼りつけた。被験者が右腕を真っ直ぐ下げたところ、チャンネル1、2および3からの出力として、オシロスコープによりノイズのほとんどない電気信号が得られ、それぞれ静置状態を0mVとして-400mV、-450mVおよび0mVの電位差が検出された。被験者の腕を水平に戻す動きを行ったところ、チャンネル1、2および3からの出力として、オシロスコープによりノイズのほとんどない電気信号が得られ、それぞれ静置状態を0mVとして+350mV、+390mVおよび0mVの電位差が検出された。腕を水平に持ち上げたまま腕を前方に移動させる動きを行ったところ、チャンネル1、2および3からの出力として、オシロスコープによりノイズのほとんどない電気信号が得られ、それぞれ静置状態を0mVとして+150mV、-270mVおよび0mVの電位差が検出された。腕を水平に持ち上げたまま腕を横に戻す動きを行っ

30

40

50

たところ、チャンネル1、2および3からの出力として、オシロスコープによりノイズのほとんどない電気信号が得られ、それぞれ静置状態を0 mVとして-170 mV、+250 mVおよび0 mVの電位差が検出された。さらに、被験者の腕を水平に保ち、下方に向けた右の手のひらを前方を經由して上方に向ける動きを行ったところ、チャンネル1、2および3からの出力として、オシロスコープによりノイズのほとんどない電気信号が得られ、それぞれ静置状態を0 mVとして-50 mV、+90 mVおよび-50 mVの電位差が検出された。以上の結果から、布帛状圧電素子5-3は変形により十分な大きさの電気信号を検出可能で、布帛状圧電素子5-3中の2本の組紐状圧電素子1-2の信号の組み合わせにより、方向の異なる曲げ変形やねじり変形という複数の変形の種類を判別できることが確認された。

10

【0120】

(実施例3)

布帛状圧電素子5-4中の組紐状圧電素子1-2の導電性繊維Bおよび組紐状圧電素子1-3の導電性繊維Bを短絡させたものを、チャンネル1の信号線としてオシロスコープ(横河電機(株)製デジタルオシロスコープDL6000シリーズ商品名『DL6000』)に配線を介して1000倍増幅回路を經由して接続した。また、布帛状圧電素子5-4中の2本の組紐状圧電素子の外側の導電性繊維を接地(アース)した。布帛状圧電素子5-4の上面図において、チャンネル1に接続された2本の組紐状圧電素子は、8 mmの間を空けて平行に配置されている。この状態で、立っている被験者の右腕を体の横に水平に持ち上げた状態で、布帛状圧電素子5-4を被験者の右肩上面に、被験者の前方に組紐状圧電素子1-2が配置され、被験者の後方に組紐状圧電素子1-3が配置されるようにして、首から肘にかけて直線となるよう両面テープで貼りつけた。被験者が右腕を真っ直ぐ下げたところ、チャンネル1からの出力として、静置状態を0 mVとして+10 mVの電位差が検出された。また、被験者の腕を水平に戻し、腕を水平に持ち上げたまま腕を前方に移動させる動きを行ったところ、チャンネル1からの出力として、オシロスコープによりノイズのほとんどない電気信号が得られ、静置状態を0 mVとして+350 mVの電位差が検出された。また、被験者の腕を水平に戻す際には-280 mVの電位差が検出された。以上の結果から、布帛状圧電素子5-4は変形により十分な大きさの電気信号を検出可能で、布帛状圧電素子5-4中の2本の組紐状圧電素子を短絡させることにより、特定の曲げ方向にのみ大きな信号を出力するセンサ素子とすることができ、その信号の大小により曲げ方向を判別できることが確認された。

20

30

【0121】

(実施例4)

布帛状圧電素子5-5中の2枚の布帛状圧電素子5-4のうち、片方の布帛状圧電素子5-4中の組紐状圧電素子1-2の導電性繊維Bをチャンネル1の信号線とし、他方の布帛状圧電素子5-4中の組紐状圧電素子1-2の導電性繊維Bをチャンネル2の信号線としてオシロスコープ(横河電機(株)製デジタルオシロスコープDL6000シリーズ商品名『DL6000』)に配線を介して1000倍増幅回路を經由して接続した。また、布帛状圧電素子5-5中の4本の組紐状圧電素子の外側の導電性繊維を接地(アース)した。チャンネル1および2に接続された2本の組紐状圧電素子1-2は、ポリエステル系(330 dTex/72フィラメント)の平織布の中央面を基準としてそれぞれ+0.4 mmと-0.4 mmの位置に固定されている。この状態で、布帛状圧電素子5-5を組紐状圧電素子1-2に直交して布帛状圧電素子5-5に平行な線を屈曲部としてチャンネル2に接続された組紐状圧電素子がある方向に90度折り曲げたところ、チャンネル1および2からの出力として、オシロスコープによりノイズのほとんどない電気信号が得られ、それぞれ静置状態を0 mVとして-80 mVおよび+80 mVの電位差が検出された。さらに布帛状圧電素子5-5を直線状に戻したところ、チャンネル1および2からの出力として、オシロスコープによりノイズのほとんどない電気信号が得られ、それぞれ静置状態を0 mVとして+100 mVおよび-100 mVの電位差が検出された。また、組紐状圧電素子の長尺方向に引っ張ったところ、チャンネル1および2からの出力として、オシロ

40

50

スコープによりノイズのほとんどない電気信号が得られ、それぞれ静置状態を0 mVとして-80 mVおよび-100 mVの電位差が検出された。以上の結果から、布帛状圧電素子5-5は変形により十分な大きさの電気信号を検出可能で、布帛状圧電素子5-5中の2本の組紐状圧電素子1-2の信号の組み合わせにより、布帛の曲げ変形と伸縮変形とを判別でき、曲げ方向も判別できることが確認された。

【0122】

さらに、布帛状圧電素子5-5中の2枚の布帛状圧電素子5-4のうち、片方の布帛状圧電素子5-4の組紐状圧電素子1-2の導電性繊維Bと、他方の布帛状圧電素子5-4の組紐状圧電素子1-3の導電性繊維Bを短絡させ、チャンネル1の信号線としてオシロスコープ(横河電機(株)製デジタルオシロスコープDL6000シリーズ商品名『DL6000』)に配線を介して1000倍増幅回路を経由して接続した。また、布帛状圧電素子8中の4本の組紐状圧電素子の外側の導電性繊維を接地(アース)した。チャンネル1に接続された2本の組紐状圧電素子は、ポリエステル系(330dTex/72フィラメント)の平織布の中央面を基準としてそれぞれ+0.4 mmと-0.4 mmの位置に固定されている。この状態で、布帛状圧電素子5-5を組紐状圧電素子1-2に直交して布帛状圧電素子5-5に平行な線を屈曲部としてチャンネル1に接続された組紐状圧電素子1-3がある方向に90度折り曲げたところ、チャンネル1からの出力として、オシロスコープによりノイズのほとんどない電気信号が得られ、静置状態を0 mVとして-160 mVの電位差が検出された。その後曲げる前の状態に戻したところ、チャンネル1からの出力として、オシロスコープによりノイズのほとんどない電気信号が得られ、静置状態を0 mVとして+170 mVの電位差が検出された。また、組紐状圧電素子の長尺方向に引っ張ったところ、チャンネル1からは電位差が検出されなかった。以上の結果から、布帛状圧電素子5-5は変形により十分な大きさの電気信号を検出可能で、布帛状圧電素子5-5中の2本の組紐状圧電素子を短絡させることにより、曲げ変形にのみ大きな信号を出力するセンサ素子とすることができ、その信号の極性により曲げ方向を判別できることが確認された。

【0123】

(実施例5)

布帛状圧電素子5-6中の組紐状圧電素子1-2の導電性繊維Bをチャンネル1の信号線とし、組紐状圧電素子1-3の導電性繊維Bをチャンネル2の信号線としてオシロスコープ(横河電機(株)製デジタルオシロスコープDL6000シリーズ商品名『DL6000』)に配線を介して1000倍増幅回路を経由して接続した。また、布帛状圧電素子5-6中の2本の組紐状圧電素子の外側の導電性繊維を接地(アース)した。チャンネル1および2に接続された2本の組紐状圧電素子は、ポリエステル系(330dTex/72フィラメント)の平織布の中央面を基準としてそれぞれ+0.2 mmと-0.2 mmの位置に固定されている。この状態で、布帛状圧電素子5-6を組紐状圧電素子1-2に直交して布帛状圧電素子5-6に平行な線を屈曲部として組紐状圧電素子1-3がある方向に90度折り曲げたところ、チャンネル1および2からの出力として、オシロスコープによりノイズのほとんどない電気信号が得られ、それぞれ静置状態を0 mVとして-80 mVおよび-70 mVの電位差が検出された。さらに布帛状圧電素子5-6を直線状に戻したところ、チャンネル1および2からの出力として、オシロスコープによりノイズのほとんどない電気信号が得られ、それぞれ静置状態を0 mVとして+110 mVおよび+100 mVの電位差が検出された。また、組紐状圧電素子の長尺方向に引っ張ったところ、チャンネル1および2からの出力として、オシロスコープによりノイズのほとんどない電気信号が得られ、それぞれ静置状態を0 mVとして-80 mVおよび+80 mVの電位差が検出された。以上の結果から、布帛状圧電素子5-6は変形により十分な大きさの電気信号を検出可能で、布帛状圧電素子5-6中の2本の組紐状圧電素子の信号の組み合わせにより、布帛の曲げ変形と伸縮変形とを判別できることが確認された。

【0124】

さらに、布帛状圧電素子5-6中の組紐状圧電素子1-2の導電性繊維Bと、組紐状圧

10

20

30

40

50

電素子 1 - 3 の導電性繊維 B を短絡させ、チャンネル 1 の信号線としてオシロスコープ（横河電機（株）製デジタルオシロスコープ DL 6 0 0 0 シリーズ商品名『DL 6 0 0 0』）に配線を介して 1 0 0 0 倍増幅回路を経由して接続した。また、布帛状圧電素子 5 - 6 中の 2 本の組紐状圧電素子の外側の導電性繊維を接地（アース）した。チャンネル 1 に接続された 2 本の組紐状圧電素子は、ポリエステル系（3 3 0 d T e x / 7 2 フィラメント）の平織布の中央面を基準としてそれぞれ + 0 . 2 m m と - 0 . 2 m m の位置に固定されている。この状態で、布帛状圧電素子 5 - 6 を組紐状圧電素子 1 - 2 に直交して布帛状圧電素子 5 - 6 に平行な線を屈曲部として組紐状圧電素子 1 - 3 がある方向に 9 0 度折り曲げたところ、チャンネル 1 からの出力として、オシロスコープによりノイズのほとんどない電気信号が得られ、静置状態を 0 m V として - 1 5 0 m V の電位差が検出された。その後曲げる前の状態に戻したところ、チャンネル 1 からの出力として、オシロスコープによりノイズのほとんどない電気信号が得られ、静置状態を 0 m V として + 2 1 0 m V の電位差が検出された。また、組紐状圧電素子の長尺方向に引っ張ったところ、チャンネル 1 からは電位差が検出されなかった。以上の結果から、布帛状圧電素子 5 - 6 は変形により十分な大きさの電気信号を検出可能で、布帛状圧電素子 5 - 6 中の 2 本の組紐状圧電素子を短絡させることにより、曲げ変形にのみ大きな信号を出力するセンサ素子とすることができ、その信号の極性により曲げ方向を判別できることが確認された。

【 0 1 2 5 】

次に、実施例 6 および 7 において、本発明の布帛状圧電素子において用いられる圧電素子に関し、圧電性高分子の配向角度 および $T 1 / T 2$ の値が伸縮変形（実施例 6）およびねじり変形（実施例 7）に対する電気信号に及ぼす影響について調べた。

【 0 1 2 6 】

本実施例で示される圧電素子の特性は、以下の方法によって決定した。

(1) 中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度

中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度 は、下記式から計算した。

$$= \arctan(2 R_m / H P) \quad (0^\circ \quad 90^\circ)$$

ただし $R_m = 2 (R_o^3 - R_i^3) / 3 (R_o^2 - R_i^2)$ 、即ち断面積で加重平均した組紐状圧電素子（または他の構造体）の半径である。らせんピッチ $H P$ 、組紐状圧電素子（または他の構造体）が占める部分の外側半径 R_o および内側半径 R_i は以下の通り測定した。

(1 - 1) 組紐状圧電素子の場合、（組紐状圧電素子の圧電性高分子以外による被覆がなされている場合は必要に応じて被覆を除去して側面から圧電性高分子が観察できる状態としてから）側面写真を撮影し、任意の 5 カ所で図 2 のように圧電性高分子のらせんピッチ $H P$ (μm) を測定し、平均値を取った。また、組紐状圧電素子に低粘性の瞬間接着剤「アロンアルファ EX TRA 2 0 0 0」（東亜合成）を染み込ませて固化させた後、組紐の長軸に垂直な断面を切り出して断面写真を撮影し、1 枚の断面写真について後述の通り組紐状圧電素子が占める部分の外側半径 R_o (μm) および内側半径 R_i (μm) を測定し、同様の測定を別の任意の断面 5 カ所について測定し、平均値を取った。圧電性高分子と絶縁性高分子とが同時に組まれている場合、例えば圧電性繊維と絶縁性繊維を合系したものをを用いている場合や、8 打ち組紐の 4 本の繊維が圧電性高分子であり、残る 4 本の繊維が絶縁性高分子である場合は、様々な場所で断面を取った時、圧電性高分子が存在する領域と絶縁性高分子が存在する領域とが互いに入れ替わるため、圧電性高分子が存在する領域と絶縁性高分子が存在する領域とを合せて組紐状圧電素子が占める部分とみなす。ただし、絶縁性高分子が圧電性高分子と同時に組まれていない部分については、組紐状圧電素子の一部とはみなさない。

外側半径 R_o と内側半径 R_i については、以下の通り測定した。図 9 (a) の断面写真の通り、圧電性構造体（圧電性繊維 A で形成された鞘部 2）が占める領域（以後 $P S A$ と記載する）と、 $P S A$ の中央部にあり $P S A$ ではない領域（以後 $C A$ と記載する）を定義する。 $P S A$ の外側にあり、 $P S A$ に重ならない最小の真円の直径と、 $P S A$ の外側を通らない（ $C A$ は通ってもよい）最大の真円の直径との平均値を R_o とする（図 9 (b)）

。また、CAの外側にあり、CAに重ならない最小の真円の直径と、CAの外側を通らない最大の真円の直径との平均値を R_i とする(図9(c))。

(1-2)カバリング糸状圧電素子の場合、圧電性高分子をカバリングする時の巻き速度が T 回/m(カバリング系の長さあたりの圧電性高分子の回転数)のとき、らせんピッチ $HP(\mu m) = 1000000/T$ とした。また、カバリング糸状圧電素子に低粘性の瞬間接着剤「アロンアルファEXTRA2000」(東亜合成)を染み込ませて固化させた後、組紐の長軸に垂直な断面を切り出して断面写真を撮影し、1枚の断面写真について組紐状圧電素子の場合と同様にカバリング糸状圧電素子が占める部分の外側半径 $R_o(\mu m)$ および内側半径 $R_i(\mu m)$ を測定し、同様の測定を別の任意の断面5カ所について測定し、平均値を取った。圧電性高分子と絶縁性高分子とが同時にカバリングされている場合、例えば圧電性繊維と絶縁性繊維を合糸したものをカバリングしてある場合や、圧電性繊維と絶縁性繊維とが重ならないように同時にカバリングしてある場合は、様々な場所で断面を取った時、圧電性高分子が存在する領域と絶縁性高分子が存在する領域とが互いに入れ替わるため、圧電性高分子が存在する領域と絶縁性高分子が存在する領域とを合せてカバリング糸状圧電素子が占める部分とみなす。ただし、絶縁性高分子が圧電性高分子と同時にカバリングされていない、即ちどの断面を取っても絶縁性高分子が常に圧電性高分子の内側または外側にある部分については、カバリング糸状圧電素子の一部とはみなさない。

【0127】

(2)電気信号測定

エレクトロメータ(Key-sight社 B2987A)を、同軸ケーブル(芯:Hi極、シールド:Lo極)を介して圧電素子の導電体に接続した状態で、圧電素子に対し下記2-1~5のいずれかの動作試験をしながら50m秒の間隔で電流値を計測した。

(2-1)引張試験

株式会社オリエンテック製万能試験機「テンシロンRTC-1225A」を用い、圧電素子の長尺方向に12cmの間隔を空けて圧電素子をチャックで掴み、素子が弛んだ状態を0.0Nとし、0.5Nの張力まで引っ張った状態で変位を0mmとし、100mm/minの動作速度で1.2mmまで引っ張った後、0mmまで-100mm/minの動作速度で戻す動作を10回繰り返した。

(2-2)ねじり試験

圧電素子を掴む2か所のチャックのうち、片方のチャックはねじり動作を行わず圧電素子の長軸方向に自由に動くようなレール上に設置されて圧電素子に0.5Nの張力が常にかかる状態とし、他方のチャックは圧電素子の長軸方向には動かさずねじり動作を行うよう設計されたねじり試験装置を用い、圧電素子の長尺方向に72mmの間隔を空けて圧電素子をこれらのチャックで掴み、素子の中央からチャックを見て時計回りにねじるように100°/sの速度で0°から45°まで回転した後、-100°/sの速度で45°から0°まで回転する往復ねじり動作を10回繰り返した。

(2-3)曲げ試験

上部と下部との2つのチャックを備え、下部のチャックは固定され、上部のチャックは下部のチャックの72mm上方に位置し、2つのチャックを結ぶ線分を直径とする仮想の円周上を上部のチャックが移動する試験装置を用い、圧電素子をチャックに把持して固定し、該円周上にて上部のチャックを12時の位置、下部のチャックを6時の位置としたとき、圧電素子を9時方向に凸に僅かに撓ませた状態とした後、上部のチャックを12時の位置から該円周上の1時、2時の位置を経由して3時の位置に一定速度で0.9秒かけて移動させた後、12時の位置まで0.9秒かけて移動させる往復曲げ動作を10回繰り返した。

(2-4)せん断試験

50番手の綿糸で織られた平織布を表面に貼り付けた2枚の剛直な金属板によって、圧電素子の中央部64mmの長さの部分を上下から水平に挟み(下部の金属板は台に固定されている)、上から3.2Nの垂直荷重をかけ、金属板表面の綿布と圧電素子との間が滑

10

20

30

40

50

らないようにした状態のまま、上の金属板を0 Nから1 Nの荷重まで1秒かけて圧電素子の長尺方向に引っ張った後、引張荷重を0 Nまで1秒かけて戻すせん断動作を10回繰り返した。

(2-5) 押圧試験

株式会社オリエンテック製万能試験機「テンシロンRTC-1225A」を用い、水平で剛直な金属台上に静置した圧電素子の中央部64 mmの長さの部分を、上部のクロスヘッドに設置された剛直な金属板により水平に圧電素子を挟み、圧電素子から上部の金属板への反力が0.01 Nから20 Nとなるまで0.6秒かけて上部のクロスヘッドを下げて押圧し、反力が0.01 Nとなるまで0.6秒かけて除圧する動作を10回繰り返した。

【0128】

(実施例6)

(例A)

例Aの試料として、図1に示すように、導電性繊維CF1を芯系とし、8打ち丸組紐製組紐機の8本のキャリアのうち、Z撚り方向に組まれる4本のキャリアに上記の圧電性繊維PF1をセットし、S撚り方向に組まれる4本のキャリアに上記の絶縁性繊維IF1をセットして組むことで、芯系の周りにZ撚り方向に圧電性繊維PF1がらせん状に巻かれた組紐状圧電素子1-Aを作成した。

【0129】

(例B)

組紐状圧電素子1-Aを芯系とし、製紐機の8本のキャリアのうち、Z撚り方向に組まれる4本のキャリアおよびS撚り方向に組まれる4本のキャリア全てに上記の導電性繊維CF2をセットして組むことで、組紐状圧電素子1-Aの周りを導電性繊維で覆ったものを作製し、組紐状圧電素子1-Bとした。

【0130】

(例C、D)

PF1の巻付け速度を変更した以外は組紐状圧電素子1-Aと同様にして、2本の組紐状圧電素子を作成し、これらの組紐状圧電素子を芯系とし、組紐状圧電素子1-Bと同様に導電性繊維で覆ったものを作製し、組紐状圧電素子1-Cおよび1-Dとした。

【0131】

(例E~H)

製紐機の8本のキャリアのうち、表2の通りZ撚り方向およびS撚り方向に組まれるキャリアにそれぞれPF1あるいはIF1をセットして組むことで、芯系の周りにZ撚り方向およびS撚り方向のそれぞれに所定の割合で圧電性繊維PF1がらせん状に巻かれた組紐状圧電素子を作成し、これらの組紐状圧電素子を芯系とし、組紐状圧電素子1-Bと同様に導電性繊維で覆ったものを作製し、組紐状圧電素子1-E~1-Hとした。

【0132】

(例I)

PF1の代わりにPF2を使用し、IF1の代わりにIF2を使用し、巻付け速度を調整した以外は組紐状圧電素子1-Aと同様にして組紐状圧電素子を作成し、この組紐状圧電素子を芯系とし、組紐状圧電素子1-Bと同様に導電性繊維で覆ったものを作製し、組紐状圧電素子1-Iとした。

【0133】

(例J)

PF2の代わりにIF2を使用し、IF2の代わりにPF2を使用した以外は組紐状圧電素子1-Aと同様にして組紐状圧電素子を作成し、この組紐状圧電素子を芯系とし、組紐状圧電素子1-Bと同様に導電性繊維で覆ったものを作製し、組紐状圧電素子1-Jとした。

【0134】

(例K)

CF1を芯系とし、PF1を芯系の周りにS撚り方向に3000回/mのカバリング回

10

20

30

40

50

数で巻きつけ、その外側にさらに I F 1 を Z 撚り方向に 3 0 0 0 回 / m のカバリング回数で巻きつけ、その外側にさらに C F 2 を S 撚り方向に 3 0 0 0 回 / m のカバリング回数で巻きつけ、その外側にさらに C F 2 を Z 撚り方向に 3 0 0 0 回 / m のカバリング回数で巻きつけ、芯系の周りに S 撚り方向に圧電性繊維 P F 1 がらせん状に巻かれ、さらに外側を導電性繊維で覆ったカバリング系状圧電素子 1 - K を作成した。

【 0 1 3 5 】

(例 L)

P F 1 の代わりに I F 1 を使用した以外は組紐状圧電素子 1 - A と同様にして組紐状圧電素子を作成し、この組紐状素子を芯系とし、組紐状圧電素子 1 - B と同様に導電性繊維で覆ったものを作製し、組紐状素子 1 - L とした。

10

【 0 1 3 6 】

(例 M)

P F 1 の代わりに I F 1 を使用した以外はカバリング系状圧電素子 1 - K と同様にしてカバリング系状素子を作成し、カバリング系状素子 1 - M とした。

【 0 1 3 7 】

(例 N)

I F 1 の代わりに P F 1 を使用した以外は組紐状圧電素子 1 - B と同様にして組紐状圧電素子 1 - N を作成した。

【 0 1 3 8 】

(例 O)

I F 2 の代わりに P F 2 を使用した以外は組紐状圧電素子 1 - I と同様にして組紐状圧電素子 1 - O を作成した。

20

【 0 1 3 9 】

(例 P)

導電性繊維 C F 1 を芯系とし、16 打ち丸組紐製紐機の 16 本のキャリアのうち、Z 撚り方向に組まれる 8 本のキャリアに上記の圧電性繊維 P F 1 をセットし、S 撚り方向に組まれる 8 本のキャリアに上記の絶縁性繊維 I F 1 をセットして組むことで、芯系の周りに Z 撚り方向に圧電性繊維 P F 1 がらせん状に巻かれた組紐状圧電素子を作成し、この組紐状圧電素子を芯系とし、組紐状圧電素子 1 - B と同様に導電性繊維で覆ったものを作製し、組紐状圧電素子 1 - P とした。

30

【 0 1 4 0 】

(例 Q)

C F 1 を芯系とし、P F 1 を芯系の周りに S 撚り方向に 6 0 0 0 回 / m のカバリング回数で巻きつけ、その外側にさらに I F 1 を Z 撚り方向に 6 0 0 0 回 / m のカバリング回数で巻きつけ、その外側にさらに C F 2 を S 撚り方向に 3 0 0 0 回 / m のカバリング回数で巻きつけ、その外側にさらに C F 2 を Z 撚り方向に 3 0 0 0 回 / m のカバリング回数で巻きつけ、芯系の周りに S 撚り方向に圧電性繊維 P F 1 がらせん状に巻かれ、さらに外側を導電性繊維で覆ったカバリング系状圧電素子 1 - Q を作成した。

【 0 1 4 1 】

各圧電素子の R_i 、 R_o 、 H_P を測定し、計算された中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度の値、および T_1 / T_2 の値を表 2 に示す。組紐状圧電素子については、 R_i および R_o は、断面において圧電性繊維と絶縁性繊維が存在する領域を合わせて圧電素子の占める領域として測定した。カバリング系状圧電素子については、 R_i および R_o は、断面において圧電性繊維が存在する領域を圧電素子の占める領域として測定した。また、各圧電素子を 15 cm の長さに切断し、芯の導電性繊維を H_i 極とし、周辺をシールドする金網または鞘の導電性繊維を L_o 極としてエレクトロメータ (K e y s i g h t 社 B 2 9 8 7 A) に接続し、電流値をモニタした。引張試験、ねじり試験、曲げ試験、せん断試験および押圧試験時の電流値を表 2 に示す。なお、例 L、M は圧電性高分子を含まないため、および T_1 / T_2 の値は測定できない。

40

【 0 1 4 2 】

50

【 表 2 】

表 2

| 例 | 素子 | 芯の導電性繊維 | | | 圧電性繊維 | | | 鞘の導電性繊維 | | | | | 電流信号 [pA] | | | | |
|---|----------------|------------------|------------------|--------------|-------|--------|--------|--------------|--------|--------|-------|------|-----------|-------|------|--|--|
| | | Z 撻り方向 | S 撻り方向 | θ [°] | T1/T2 | Z 撻り方向 | S 撻り方向 | θ [°] | Z 撻り方向 | S 撻り方向 | ねじり試験 | 引張試験 | 曲げ試験 | せん断試験 | 押圧試験 | | |
| A | 組紐状圧電素子1-A | PF1 4本 | IF1 4本 | 38 | 0 | なし | なし | なし | なし | 49 | -992 | 3 | -11 | 9 | | | |
| B | 組紐状圧電素子1-B | PF1 4本 | IF1 4本 | 38 | 0 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | 58 | -1262 | -1 | 13 | -18 | | | |
| C | 組紐状圧電素子1-C | PF1 4本 | IF1 4本 | 44 | 0 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | -15 | -1718 | -1 | 0 | 9 | | | |
| D | 組紐状圧電素子1-D | PF1 4本 | IF1 4本 | 29 | 0 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | 45 | -1060 | -8 | -1 | -2 | | | |
| E | 組紐状圧電素子1-E | PF1 4本 | PF1 1本 IF1 3本 | 44 | 0.25 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | -19 | -1443 | -7 | 8 | 4 | | | |
| F | 組紐状圧電素子1-F | PF1 4本 | PF1 2本 IF1 2本 | 43 | 0.5 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | -16 | -1115 | 8 | 3 | -3 | | | |
| G | 組紐状圧電素子1-G | PF1 4本 | PF1 3本 IF1 1本 | 45 | 0.75 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | -10 | -872 | -3 | 2 | 0 | | | |
| H | 組紐状圧電素子1-H | PF1 1本 IF1 3本 | IF1 4本 | 43 | 0 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | -4 | -355 | -11 | 0 | 13 | | | |
| I | 組紐状圧電素子1-I | PF2 4本 | IF2 4本 | 44 | 0 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | -13 | -3165 | -5 | -7 | 42 | | | |
| J | 組紐状圧電素子1-J | IF2 4本 | PF2 4本 | 42 | 0 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | 24 | 3347 | 10 | 1.2 | 41 | | | |
| K | かゝリング系状圧電素子1-K | IF1 1本 | PF1 1本 | 60 | 0 | CF2 1本 | CF2 1本 | CF2 1本 | CF2 1本 | -41 | 650 | 19 | 4 | 21 | | | |
| L | 組紐状素子1-L | IF1 4本 | IF1 4本 | - | - | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | -9 | 12 | 5 | 7 | 45 | | | |
| M | かゝリング系状素子1-M | IF1 1本 | IF1 1本 | - | - | CF2 1本 | CF2 1本 | CF2 1本 | CF2 1本 | 0.9 | 11 | 1 | 1 | 5 | | | |
| N | 組紐状圧電素子1-N | PF1 4本 | PF1 4本 | 35 | 1 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | 80 | 85 | 3 | -5 | 5 | | | |
| O | 組紐状圧電素子1-O | PF2 4本 | PF2 4本 | 43 | 1 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | -10.0 | -33 | 5 | 10 | 50 | | | |
| P | 組紐状圧電素子1-P | PF1 8本 | IF1 8本 | 3.5 | 0 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | 183 | 29 | -6 | 1 | 8 | | | |
| Q | かゝリング系状圧電素子1-Q | PF1 1本 | IF1 1本 | 80 | 0 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | CF2 4本 | -257 | -220 | 5 | -3 | -12 | | | |

【 0 1 4 3 】

表 2 の 結果 から、中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度 が 15 ° 以上 75 ° 以下であり、T1 / T2 の値が 0 以上 0 . 8 以下であるとき、引張動作（伸縮変形）に対し大きな信号を発生し、引張以外の動作には大きな信号を発生せず、引張動作に選択的に応答する素子であることが分かる。また例 I と J とを比べると、Z 撻り方向に多く圧電性繊維を巻いた場合と、S 撻り方向に多く圧電性繊維を巻いた場合とを比べると、引張試験

時の信号の極性が逆となっており、巻き方向が信号の極性に対応していることが分かる。

【 0 1 4 4 】

さらに、表には示していないが、例 A ~ K の素子は引張荷重を与えた時の信号と、引張荷重を除いた時の信号とを比べると、極性が互いに逆で絶対値が概ね同じ信号を発生したため、これらの素子は引張荷重や変位の定量に適していることが分かる。一方、例 N および O の素子は引張荷重を与えた時の信号と、引張荷重を除いた時の信号とを比べると、極性が互いに逆である場合も同じである場合もあったため、これらの素子は引張荷重や変位の定量に適していないことが分かる。また、表には示していないが、例 B の引張試験時のノイズレベルは、例 A の引張試験時のノイズレベルより低く、組紐状圧電素子の外側に導電性繊維を配置してシールドとした素子ではノイズを低減できることが分かる。

10

【 0 1 4 5 】

(実施例 7)

(例 A A)

実施例 1 の試料として、図 1 に示すように、導電性繊維 C F 1 を芯系とし、8 打ち丸組紐製紐機の 8 本のキャリアのうち、Z 撚り方向に組まれる 4 本のキャリアおよび S 撚り方向に組まれる 4 本のキャリア全てに上記の圧電性繊維 P F 1 をセットして組むことで、芯系の周りに Z 撚り方向および S 撚り方向ともに圧電性繊維 P F 1 がらせん状に巻かれた組紐状圧電素子 1 - A A を作成した。

【 0 1 4 6 】

(例 A B)

組紐状圧電素子 1 - A A を芯系とし、製紐機の 8 本のキャリアのうち、Z 撚り方向に組まれる 4 本のキャリアおよび S 撚り方向に組まれる 4 本のキャリア全てに上記の導電性繊維 C F 2 をセットして組むことで、組紐状圧電素子 1 - A A の周りを導電性繊維で覆ったものを作製し、組紐状圧電素子 1 - A B とした。

20

【 0 1 4 7 】

(例 A C)

P F 1 の代わりに P F 2 を使用し、巻付け速度を調整した以外は組紐状圧電素子 1 - A A と同様にして組紐状圧電素子を作成し、この組紐状圧電素子 1 - A A を芯系とし、組紐状圧電素子 1 - A B と同様に導電性繊維で覆ったものを作製し、組紐状圧電素子 1 - A C とした。

30

【 0 1 4 8 】

(例 A D)

C F 1 の代わりに C F 2 を使用し、巻付け速度を調整した以外は組紐状圧電素子 1 - A A と同様にして組紐状圧電素子を作成し、この組紐状圧電素子 1 - A A を芯系とし、組紐状圧電素子 1 - A B と同様に導電性繊維で覆ったものを作製し、組紐状圧電素子 1 - A D とした。

【 0 1 4 9 】

(例 A E)

導電性繊維 C F 1 を芯系とし、16 打ち丸組紐製紐機の 16 本のキャリアのうち、Z 撚り方向に組まれる 8 本のキャリアおよび S 撚り方向に組まれる 8 本のキャリア全てに上記の圧電性繊維 P F 1 をセットして組むことで、芯系の周りに Z 撚り方向および S 撚り方向ともに圧電性繊維 P F 1 がらせん状に巻かれた組紐状圧電素子を作成し、この組紐状圧電素子を芯系とし、組紐状圧電素子 1 - A B と同様に導電性繊維で覆ったものを作製し、組紐状圧電素子 1 - A E とした。

40

【 0 1 5 0 】

(例 A F)

C F 1 を芯系とし、P F 1 を芯系の周りに S 撚り方向に 3 0 0 0 回 / m のカバリング回数で巻きつけ、その外側にさらに P F 1 を Z 撚り方向に 3 0 0 0 回 / m のカバリング回数で巻きつけ、その外側にさらに C F 2 を S 撚り方向に 3 0 0 0 回 / m のカバリング回数で巻きつけ、その外側にさらに C F 2 を Z 撚り方向に 3 0 0 0 回 / m のカバリング回数で巻

50

きつけ、芯系の周りにZ撚り方向およびS撚り方向に圧電性繊維PF1がらせん状に巻かれ、さらに外側を導電性繊維で覆ったカバリング系状圧電素子1-AFを作成した。

【0151】

(例AG)

CF1を芯系とし、PF1を芯系の周りにS撚り方向に6000回/mのカバリング回数で巻きつけ、その外側にさらにPF1をZ撚り方向に6000回/mのカバリング回数で巻きつけ、その外側にさらにCF2をS撚り方向に3000回/mのカバリング回数で巻きつけ、その外側にさらにCF2をZ撚り方向に3000回/mのカバリング回数で巻きつけ、芯系の周りにZ撚り方向およびS撚り方向に圧電性繊維PF1がらせん状に巻かれ、さらに外側を導電性繊維で覆ったカバリング系状圧電素子1-AGを作成した。

10

【0152】

(例AH)

PF1の代わりにIF1を使用した以外は組紐状圧電素子1-AAと同様にして組紐状圧電素子を作成し、この組紐状素子を芯系とし、組紐状圧電素子1-ABと同様に導電性繊維で覆ったものを作製し、組紐状素子1-AHとした。

【0153】

(例AI)

PF1の代わりにIF1を使用した以外はカバリング系状圧電素子1-AFと同様にしてカバリング系状素子を作成し、カバリング系状素子1-AIとした。

【0154】

20

(例AJ、AK)

PF1またはPF2の巻付け速度を変更した以外は組紐状圧電素子1-ABおよび1-ACと同様にして、2本の組紐状圧電素子を作成し、組紐状圧電素子1-AJおよび1-AKとした。

【0155】

(例AL)

S撚り方向に巻いたPF1の代わりにIF1を使用した以外は組紐状圧電素子1-ABと同様にして組紐状圧電素子1-ALを作成した。

【0156】

(例AM)

30

Z撚り方向に巻いたPF2の代わりにIF2を使用した以外は組紐状圧電素子1-ACと同様にして組紐状圧電素子1-AMを作成した。

【0157】

(例AN)

Z撚り方向に巻いたPF1の代わりにIF1を使用した以外はカバリング系状圧電素子1-AFと同様にしてカバリング系状圧電素子1-ANを作成した。

【0158】

各圧電素子の R_i 、 R_o 、HPを測定し、計算された中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度の値、および T_1/T_2 の値を表3に示す。組紐状圧電素子については、 R_i および R_o は、断面において圧電性繊維と絶縁性繊維が存在する領域を合わせて圧電素子の占める領域として測定した。カバリング系状圧電素子については、 R_i および R_o は、断面において圧電性繊維が存在する領域を圧電素子の占める領域として測定した。また、各圧電素子を15cmの長さに切断し、芯の導電性繊維をHi極とし、周辺をシールドする金網または鞘の導電性繊維をLo極としてエレクトロメータ(Key-sight社B2987A)に接続し、電流値をモニタした。引張試験、ねじり試験、曲げ試験、せん断試験および押圧試験時の電流値を表3に示す。なお、例AH、AIは圧電性高分子を含まないため、および T_1/T_2 の値は測定できない。

40

【0159】

【 表 3 】

表 3

| 例 | 素子 | 芯の導電性繊維 | | 圧電性繊維 | | | 鞘の導電性繊維 | | 電流信号 [pA] | | | | |
|----|----------------|---------|--------|--------------|-------|--------|---------|-------|-----------|------|-------|------|--|
| | | Z燃り方向 | S燃り方向 | θ [°] | T1/T2 | Z燃り方向 | S燃り方向 | 引張試験 | ねじり試験 | 曲げ試験 | せん断試験 | 押圧試験 | |
| AA | 組紐状圧電素子1-AA | PF1 4本 | PF1 4本 | 35 | 1 | なし | なし | 20 | 80 | 6 | -1 | -14 | |
| AB | 組紐状圧電素子1-AB | PF1 4本 | PF1 4本 | 35 | 1 | CF2 4本 | CF2 4本 | -9 | 80 | 3 | -5 | 5 | |
| AC | 組紐状圧電素子1-AC | PF2 4本 | PF2 4本 | 31 | 1 | CF2 4本 | CF2 4本 | 21 | 89 | -1 | 0 | 3 | |
| AD | 組紐状圧電素子1-AD | PF1 4本 | PF1 4本 | 33 | 1 | CF2 4本 | CF2 4本 | 9 | 106 | -7 | 1 | -2 | |
| AE | 組紐状圧電素子1-AE | PF1 8本 | PF1 8本 | 3.5 | 1 | CF2 4本 | CF2 4本 | -14 | 235 | 5 | 8 | -4 | |
| AF | 加リング糸状圧電素子1-AF | PF1 1本 | PF1 1本 | 63 | 1 | CF2 4本 | CF2 4本 | 52 | -123 | -10 | 5 | 9 | |
| AG | 加リング糸状圧電素子1-AG | PF1 1本 | PF1 1本 | 80 | 1 | CF2 4本 | CF2 4本 | -16 | -306 | -1 | -9 | -3 | |
| AH | 組紐状素子1-AH | IF1 4本 | IF1 4本 | - | - | CF2 4本 | CF2 4本 | 8 | -1 | 2 | 2 | 0 | |
| AI | 加リング糸状素子1-AI | IF1 1本 | IF1 1本 | - | - | CF2 1本 | CF2 1本 | 11 | 0.9 | 1 | 1 | 5 | |
| AJ | 組紐状圧電素子1-AJ | PF1 4本 | PF1 4本 | 43 | 1 | CF2 4本 | CF2 4本 | -31 | -15 | 0 | -11 | 4 | |
| AK | 組紐状圧電素子1-AK | PF2 4本 | PF2 4本 | 43 | 1 | CF2 4本 | CF2 4本 | -33 | -10 | 5 | 10 | 50 | |
| AL | 組紐状圧電素子1-AL | PF1 4本 | IF1 4本 | 38 | 0 | CF2 4本 | CF2 4本 | -1262 | 58 | -1 | 13 | -18 | |
| AM | 組紐状圧電素子1-AM | IF2 4本 | PF2 4本 | 30 | 0 | CF2 4本 | CF2 4本 | 1007 | 95 | 8 | 2 | 15 | |
| AN | 加リング糸状圧電素子1-AN | IF1 1本 | PF1 1本 | 60 | 0 | CF2 1本 | CF2 1本 | 650 | -41 | 19 | 4 | 25 | |

【 0 1 6 0 】

表 3 の 説 明 から、 中 心 軸 の 方 向 に 対 す る 圧 電 性 分 子 の 配 向 角 度 が 0 ° 以 上 4 0 ° 以 下 また は 5 0 ° 以 上 9 0 ° 以 下 で あり、 T 1 / T 2 の 値 が 0 . 8 を 超 え て 1 . 0 以 下 で あり、 ね じ り 動 作 (ね じ り 変 形) に 対 し 大 き な 信 号 を 発 生 し、 ね じ り 以 外 の 動 作 に は 大 き な 信 号 を 発 生 せ ず、 ね じ り 動 作 に 選 択 的 に 応 答 す る 素 子 で あり、 ま た、 例 A A ~ A E と 例 A F ~ A G と を 比 べ る と、 θ が 0 ° 以 上 4 0 ° 以 下 の 場 合 と、 $T 1 / T 2$ が 5

10

20

30

40

50

0°以上90°以下の場合とで、ねじり試験時の信号の極性が逆となっており、がねじり試験時の信号の極性に対応していることが分かる。

【0161】

さらに、表には示していないが、例AA～AGの素子はS撚り方向にねじりを与えた時の信号と、Z撚り方向にねじりを与えた時の信号とを比べると、極性が互いに逆で絶対値が概ね同じ信号を発生したため、これらの素子はねじり荷重や変位の定量に適していることが分かる。一方、例AJおよび例AKの素子はS撚り方向にねじりを与えた時の信号と、Z撚り方向にねじりを与えた時の信号とを比べると、極性が互いに逆である場合も同じである場合もあったため、これらの素子はねじり荷重や変位の定量に適していないことが分かる。また、表には示していないが、例ABのねじり試験時のノイズレベルは、例AAのねじり試験時のノイズレベルより低く、組紐状圧電素子の外側に導電性繊維を配置してシールドとした素子ではノイズを低減できることが分かる。

10

【符号の説明】

【0162】

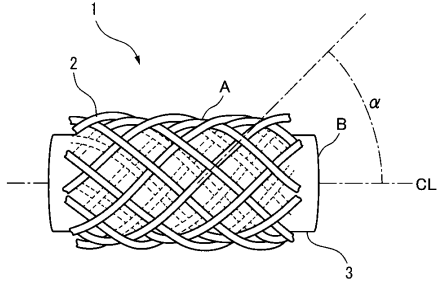
- A 圧電性繊維
- A' 圧電性高分子
- B 導電性繊維
- 1 組紐状圧電素子
- 2 鞘部
- 3 芯部
- 5 布帛状圧電素子
- 6 布帛
- 6a 布帛の中央面
- 7 絶縁性繊維
- 8 導電性繊維
- 10 デバイス
- 11 圧電素子
- 12 増幅手段
- 13 出力手段
- 14 送信手段
- 15 比較演算手段
- CL 繊維軸
- 巻きつけ角度

20

30

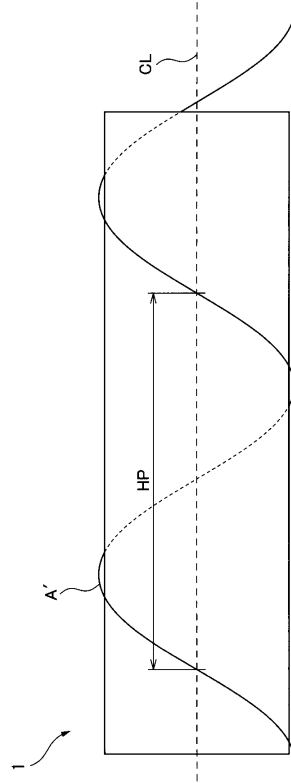
【 図 1 】

図1



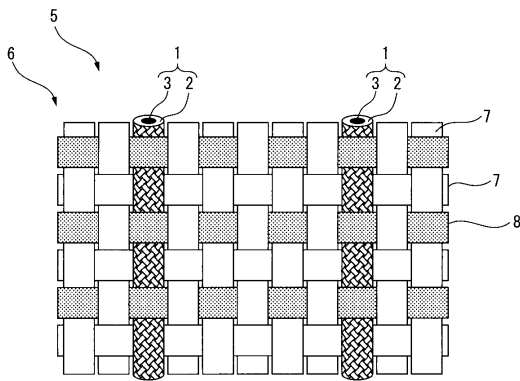
【 図 2 】

図2



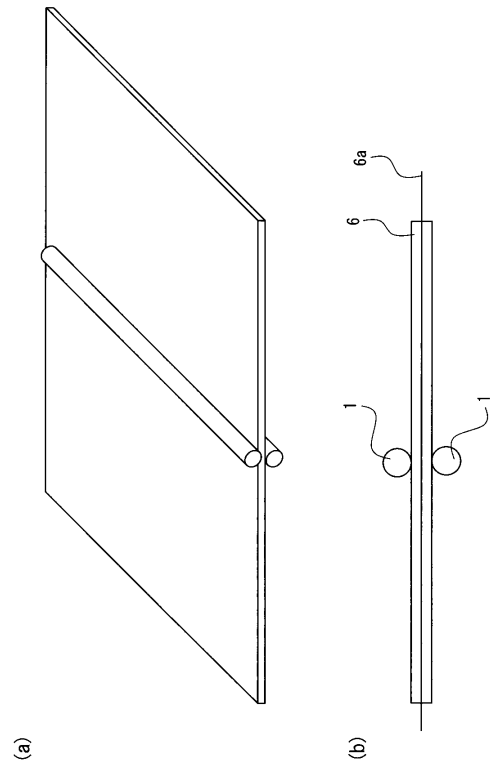
【 図 3 】

図3



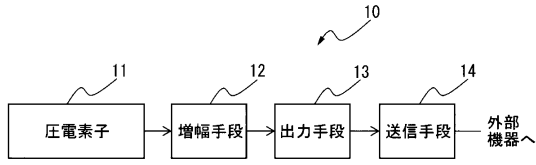
【 図 4 】

図4



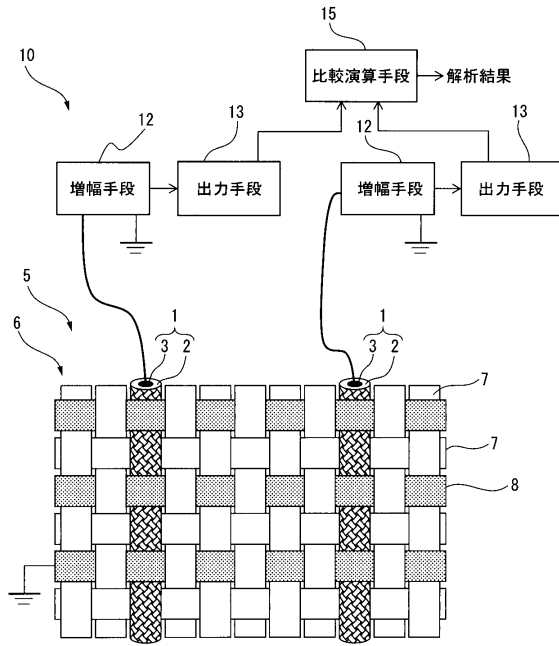
【 図 5 】

図5



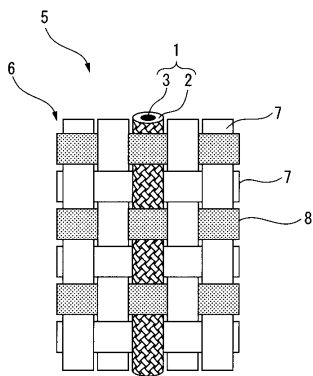
【 図 6 】

図6



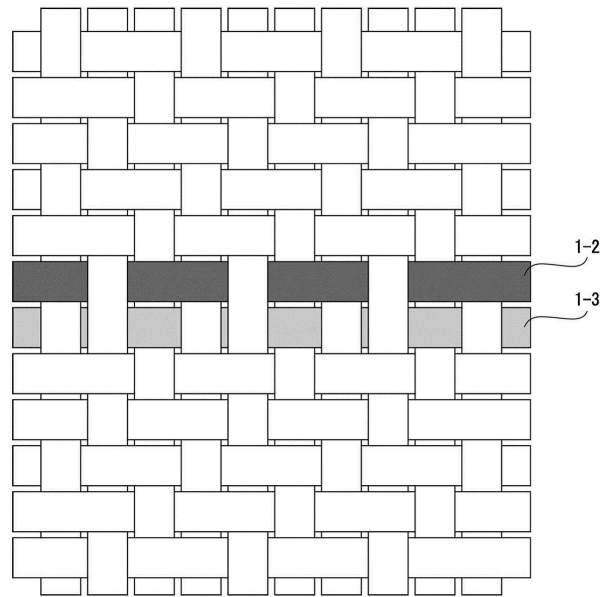
【 図 7 】

図7



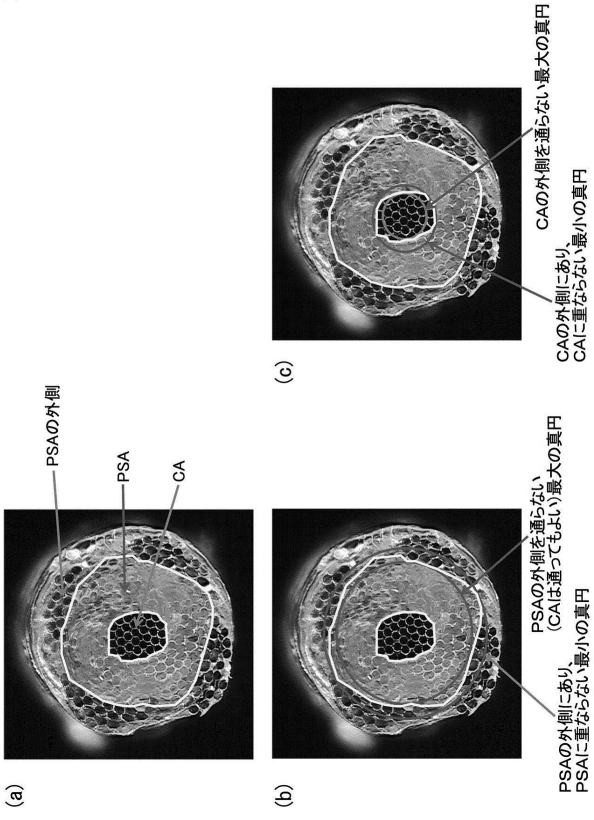
【 図 8 】

図8



【 図 9 】

図9



フロントページの続き

| (51)Int.Cl. | | F I | | | |
|-------------|-------|-----------|---------|-------|---|
| H 0 1 L | 41/04 | (2006.01) | H 0 1 L | 41/04 | |
| G 0 1 L | 1/16 | (2006.01) | G 0 1 L | 1/16 | B |
| G 0 1 L | 5/00 | (2006.01) | G 0 1 L | 5/00 | Z |
| D 0 4 C | 1/02 | (2006.01) | D 0 4 C | 1/02 | |
| D 0 4 C | 1/12 | (2006.01) | D 0 4 C | 1/12 | |
| D 0 3 D | 15/00 | (2006.01) | D 0 3 D | 15/00 | A |
| D 0 3 D | 1/00 | (2006.01) | D 0 3 D | 15/00 | D |
| D 0 4 B | 1/14 | (2006.01) | D 0 3 D | 1/00 | Z |
| D 0 4 B | 21/00 | (2006.01) | D 0 3 D | 1/00 | C |
| | | | D 0 4 B | 1/14 | |
| | | | D 0 4 B | 21/00 | B |

(74)代理人 100128495

弁理士 出野 知

(72)発明者 田實 佳郎

大阪府吹田市山手町3丁目3番35号 学校法人関西大学内

(72)発明者 兼松 俊介

大阪府大阪市中央区南本町1丁目6番7号 帝人株式会社内

(72)発明者 小野 雄平

大阪府大阪市中央区南本町1丁目6番7号 帝人株式会社内

(72)発明者 小澤 優

大阪府大阪市中央区南本町1丁目6番7号 帝人株式会社内

(72)発明者 山本 智義

大阪府大阪市中央区南本町1丁目6番7号 帝人株式会社内

(72)発明者 吉崎 さと子

大阪府大阪市中央区南本町1丁目6番7号 帝人株式会社内

審査官 小山 満

(56)参考文献 国際公開第2014/058077(WO, A1)

特開2002-203996(JP, A)

特開2015-204429(JP, A)

米国特許出願公開第2015/0280102(US, A1)

欧州特許出願公開第02908357(EP, A1)

米国特許出願公開第2017/0029985(US, A1)

欧州特許出願公開第03133654(EP, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 1 L 4 1 / 0 0 - 4 1 / 4 7

D 0 3 D 1 / 0 0

D 0 3 D 1 5 / 0 0

D 0 4 B 1 / 1 4

D 0 4 B 2 1 / 0 0

D 0 4 C 1 / 0 2

D 0 4 C 1 / 1 2

G 0 1 L 1 / 1 6

G 0 1 L 5 / 0 0