

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02017/179716

発行日 平成31年4月11日 (2019. 4. 11)

(43) 国際公開日 平成29年10月19日 (2017. 10. 19)

| (51) Int.Cl. | F I | テーマコード (参考) |
|--------------------------------|---------------|-------------|
| G 0 1 L 1/04 (2006.01) | G O 1 L 1/04 | 2 F 0 4 9 |
| A 6 1 L 27/10 (2006.01) | A 6 1 L 27/10 | 4 C 0 8 1 |
| A 6 1 L 27/06 (2006.01) | A 6 1 L 27/06 | |
| A 6 1 L 27/18 (2006.01) | A 6 1 L 27/18 | |
| A 6 1 L 31/06 (2006.01) | A 6 1 L 31/06 | |

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 23 頁) 最終頁に続く

出願番号 特願2018-512101 (P2018-512101)
 (21) 国際出願番号 PCT/JP2017/015343
 (22) 国際出願日 平成29年4月14日 (2017. 4. 14)
 (31) 優先権主張番号 特願2016-82472 (P2016-82472)
 (32) 優先日 平成28年4月15日 (2016. 4. 15)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

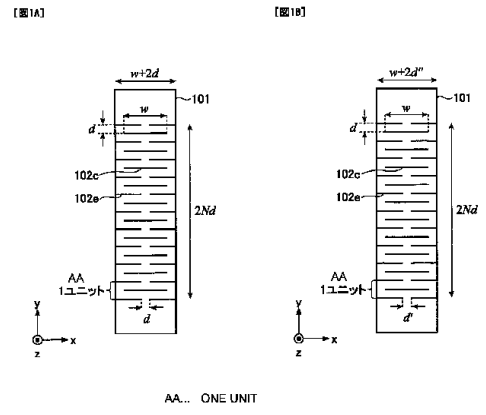
(71) 出願人 305013910
 国立大学法人お茶の水女子大学
 東京都文京区大塚2丁目1番1号
 (74) 代理人 100107766
 弁理士 伊東 忠重
 (74) 代理人 100070150
 弁理士 伊東 忠彦
 (72) 発明者 奥村 剛
 東京都文京区大塚2丁目1番1号 国立大
 学法人お茶の水女子大学内
 (72) 発明者 磯部 翠
 東京都文京区大塚2丁目1番1号 国立大
 学法人お茶の水女子大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 シート材の弾性調整方法、フォースセンサ、及びシート材

(57) 【要約】

切り紙構造の切り込みを有するシート材で所望の弾性率を設計する。シート素材に、面内変形が保たれる初期変形領域での関係式 $K_1 = (\dots) \times E \times d^3 h / w^3$ 、または $E_1 = (d/w)^4 \times E$ に基づいて、第1の方向への幅がw、第1の方向と直交する第2の方向への配列ピッチがd、前記第2の方向への前記切り込みの繰り返しユニット数がNである互い違いの切り紙構造の切り込みを形成し、切り込み幅w、ピッチd、及び繰り返しユニット数Nの値を適切に選択することで、剛さ定数K1またはヤング率E1を所望の値に調整する。ここで、Eはシート素材の構成材料の切り込み前のヤング率、hはシート素材の厚さ、は数値係数である。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

シート素材を準備し、

前記シート素材に、面内変形が保たれる初期変形領域に適用される関係式

$$K 1 = (\quad / 2 N) \times E \times d ^ 3 h / w ^ 3、\text{または}$$

$$E 1 = (d / w) ^ 4 \times E$$

に基づいて、第 1 の方向への幅が w 、第 1 の方向と直交する第 2 の方向への配列ピッチが d 、前記第 2 の方向への繰り返しユニット数が N である互い違いの切り紙構造の切り込みを形成し、ここで、 $K 1$ は剛さ定数、 E は前記シート素材の構成材料の切り込み前のヤング率、 h は前記シート素材の厚さ、 \quad は数値係数であり、

前記 w 、 d 、及び N の値を選択することで剛さ定数 $K 1$ またはヤング率 $E 1$ を目標値に調整する、

ことを特徴とする弾性調整方法。

【請求項 2】

前記シート素材は生体適合材料のシートであり、

前記シートに前記関係式に基づいて切り込みを形成して所望の弾性率の生体シートを製作する、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の弾性調整方法。

【請求項 3】

互い違いに形成された切り紙構造の切り込みを有するシートと、

測定対象を保持する保持手段と、

を有するフォースセンサであって、

前記フォースセンサは、前記シートの面内変形が保たれる初期変形領域において、

$$F c = \quad \times \quad \times E \times d ^ 2 h ^ 3 / w ^ 3$$

で表される荷重閾値を有し、

E は前記シートの構成材料の切り込み前のヤング率、 w は前記切り込みの第 1 の方向への幅、 d は前記第 1 の方向と直交する第 2 の方向への前記切り紙構造の切り込みのピッチ、 h は前記シートの厚さ、 $\quad \times$ は数値係数であることを特徴とするフォースセンサ。

【請求項 4】

前記シートの表面の少なくとも一部に形成されたひずみゲージと、

前記ひずみゲージの抵抗を測定する測定器と、

をさらに有し、前記荷重閾値の範囲内で測定対象物の重さを測定することを特徴とする請求項 3 に記載のフォースセンサ。

【請求項 5】

互い違いに形成された切り紙構造の切り込みを有するシート材であって、

前記切り込みの第 1 の方向への幅を w 、前記第 1 の方向と直交する第 2 の方向への前記切り込みのピッチを d 、前記シート材の厚さを h 、前記第 2 の方向への前記切り込みの繰り返しユニット数を N 、前記シート材の構成材料の切り込み前のヤング率を E とすると、前記シート材の弾性は、面内変形が保たれる初期変形領域において、数値係数 \quad を用いて

$$K 1 = (\quad / 2 N) \times E \times d ^ 3 h / w ^ 3、\text{または}$$

$$E 1 = (d / w) ^ 4 \times E$$

で決まる剛さ定数 $K 1$ またはヤング率 $E 1$ を有するように調整されていることを特徴とするシート材。

【請求項 6】

前記シート材は、面内での変位が維持される前記初期変位領域で前記第 2 の方向に伸長し、数値係数 \quad を用いて、

$$c = \quad \times 2 N \times h ^ 2 / d$$

$$c_c = c / (2 N \times d) = \quad \times h ^ 2 / d ^ 2$$

で決まる臨界伸び量 c または臨界ひずみ c_c を有する

ことを特徴とする請求項 5 に記載のシート材。

10

20

30

40

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、シート材の弾性調整方法とフォースセンサ、及びシート材に関する。

【背景技術】

【0002】

切り紙構造の伸縮性に着目した多数の応用例が研究され、ナノコンポジットと呼ばれるシート状物質に切り込みを入れた伸縮性の電極（たとえば、非特許文献1）、伸縮性のグラフェン（たとえば、非特許文献2参照）、伸縮性のリチウムイオン電池（たとえば、非特許文献3参照）などが提案されている。また、ソーラーパネルのパネル面を太陽に追従させるソーラートラッカーへの応用が提案されている（たとえば、非特許文献4参照）。これらはいずれも切り紙構造の3次元的な変位または変形（回転を含む変位・変形）を利用しており、変位によりシートの平面性が失われる。

10

【0003】

他方、切り込みを入れた歪測定板の中心軸上に誘起される変位をせん断応力として拡大検出する構成が知られている（たとえば、特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開昭57-124203

20

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】T.C. Shyu, et. al., "A kirigami approach to engineering elasticity in nanocomposites through patterned defects" Nature Materials, 14 (2015) 785

【非特許文献2】M.K.Blees, et al., "Graphene kirigami", Nature 524 (2015) 204

【非特許文献3】Z. Song et al., Kirigami-based stretchable lithiumion batteries", Scientific Reports 5 (2015) 10988

【非特許文献4】A. Lamoureux et al. "Dynamic kirigami structures for integrated solar tracking", Nature Communications 6 (2015) 8092

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

従来の技術では、切り紙構造の伸縮性を利用する場合、実際に試作してみなければその弾性率を予測することができなかつた。そこで、本発明は、簡易な数式に基づいて任意のシート状素材の弾性率を制御する手法と、所望の弾性率に調整された切り込みシートの応用例を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記の目的を達成するために、本発明では、シートの平面性が保たれている初期変形領域に着目し、シンプルな数式に基づいて任意の材料で所望の弾性率を設計することを実現にする。

40

【0008】

本発明のひとつの側面では、シート材の弾性調整方法は、シート素材を準備し、

前記シート素材に、面内変形が保たれる初期変形領域に適用される関係式

$$K_1 = \left(\frac{1}{2N} \right) \times E \times d^3 h / w^3、\text{または}$$

$$E_1 = \left(\frac{d}{w} \right)^4 \times E$$

に基づいて、第1の方向への幅がw、第1の方向と直交する第2の方向への配列ピッチがd、前記第2の方向への繰り返しユニット数がNである互い違いの切り紙構造の切り込み

50

を形成し、ここで、 K_1 は剛さ定数、 E は前記シート素材の構成材料の切り込み前のヤング率、 h は前記シート素材の厚さ、 α は数値係数であり、

前記 w 、 d 、及び N の値を選択することで剛さ定数 K_1 またはヤング率 E_1 を目標値に調整する、

ことを特徴とする。

【発明の効果】

【0009】

簡単な方法で任意のシート材の弾性率を調整、制御することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1A】切り紙構造のパラメータを定義する図である。

【図1B】切り紙構造のパラメータを定義する図である。

【図2】本発明の原理を説明する図である。

【図3】面内変位と3次元的な変位を説明する図である。

【図4】シートの剛さ定数（パネ定数）とシート厚さの関係を示す図である。

【図5】シートの剛さ定数（パネ定数）とパラメータ d/w の関係を示す図である。

【図6】実施形態のフォースセンサの概略図である。

【図7】実施例1のフォースセンサの画像である。

【図8】実施例2のフォースセンサの画像である。

【図9】フォースセンサの変形例を示す図である。

【図10】実施形態のフォースセンサが材料を問わないことを示す図である。

【図11】切り込み列が横方向に複数形成された切り紙構造を示す図である。

【図12】図11の構成にも本発明の初期領域での弾性率の設計を適用できることを示す図である。

【図13】医療用再生シートへの発明の適用を示す図である。

【図14】サポータ、コルセット、腰痛ベルト等の装着具への適用を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下で、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。

<原理説明>

図1A及び図1Bは、本発明で用いる切り紙構造のパラメータの定義を説明する図、図2は本発明の原理を説明する図である。実施形態では、切り紙構造のシートの平面性が維持される初期領域での変位を利用して、所望の弾性率を設計する。

【0012】

図1Aの切り紙構造は、シート101に一定間隔で互い違いに形成された切り込み102e、及び切り込み102cを有する。シート101の素材は問わず、紙、プラスチック、ゴム、金属等を用いることができる。

【0013】

シート101の長さ方向（図1の y 方向）に沿って、幅 w の切り込み102cが形成されている。切り込み102cと互い違いに、切り込み102eがシート101の両端から伸びている。切り込み102cは、 x 方向への幅 w を有する。互い違いの切り込み102cと102eは、 y 方向に間隔またはピッチ d で配列されている。 y 方向で隣接する切り込み102eと切り込み102eの間に幅 w の切り込み102cを含む領域（ y 方向の長さが $2d$ ）を、切り込みの繰り返し1ユニットとする。繰り返しユニット数 N は、切り込み102cの y 方向の数 N と一致する。図1の例では、10ユニットの切り込みが形成されている。切り込み領域全体の長さは $2Nd$ であり、シート101の幅は $w+2d$ に設定されている。図1Aでは、説明の簡便のため、切り込み102c及び切り込み102eの x 方向の間隔も d に設定してあるが、本発明で定義されるパラメータ d は、 y 方向への切り込みのピッチである。

【0014】

10

20

30

40

50

図1Bにおいて、y方向の切り込みピッチdと、切り込み102cのx方向の幅wは図1Aと同じである。図1Aと異なり、シート101の幅は $w + d$ 、切り込み102eのx方向の間隔は d' に設定されている。 d' の値は、 d と同等またはそれ以下であれば、後述する弾性率の式が成り立ち、所望の弾性率の設計が可能である。ただし、切り込み102eのx方向の間隔 d' は、シート101が伸長したときに切れてしまわないように、一定程度の幅をもたせる。具体的には、シート101の破断応力を σ_f 、そのときにシートにかかる閾値荷重を F_c 、シート101の厚さを h とすると、

$$F_c / (d' \times h) < \sigma_f、すなわち \\ d' > F_c / (h \times \sigma_f)$$

を満たすように設計する。 d' の値は、 d と同等またはそれ以上であれば、後述する弾性率の式が成り立ち、所望の弾性率の設計が可能である。

10

【0015】

図2は、シート101にかかる力 F と伸び ΔL の関係を示す。図2(a)はシート101としてケント紙を用いて図1の切り込みを形成したときの変化の全体図、図2(b)は図2(a)の初期領域の拡大図である。図2(a)に示すように、シート101の切り込みの幅と直交する方向に力 F [N]がかかると、シート101は伸び ΔL [mm]だけ変位する。このとき、初期領域では、シート101の平面性が保たれたまま、明確な線形応答がみられる。ある一定の力になるまで線形特性が続き、第2領域に移る際に急激な変化が起きてシート101の平面性が失われる。この変化点を遷移点と呼ぶ。

【0016】

第2領域では、シート101の切り込み102c、102eが大きく開口し、シート101が3次元的に変形する。この領域では、わずかな力でシート101が大きく伸びる。ある程度までシート101が延びると、以降は大きな力を加えないとシート101は伸びなくなる。この領域が最終領域である。最終領域でさらに力を加えると、シート101は破断に至る。

20

【0017】

従来の切り紙構造の応用例は、第2領域を利用していた。発明者らは、初期領域においてシートの弾性を表わす剛さ定数と、初期領域から第2領域への遷移点での伸び(ひずみ)が、簡単な数式で容易に予測できることを見出した。初期領域から第2領域に遷移する際に、急激な伸びを呈してシート101の平面性が失われることから、変化の視認が容易であり、遷移点に相当する力を容易に検出することができる。この知見に基づいて初期領域を用いた応用例を提供する。

30

【0018】

ここで、図3を参照して、面内の変位と3次元的な変位の違いを説明する。図3(a)は面内での変形(伸び)を示し、図3(b)は3次元的な変形(曲げ)を示す。切り込み102cをエッジに含む面105に着目すると、図3(a)では、切り込み102cはxy面内での平面性を維持したまま、y方向に Δy 変形する。これに対し、図3(b)では、切り込み102cが開く際にシート101の面がz方向に角度 θ でねじれてxy面を超えて変形する。この面外方向への回転を含む変位を3次元的な変形または曲げと称する。

【0019】

面内変形する初期領域から3次元変形する第2領域への遷移では、面内ひずみエネルギーと面外ひずみエネルギーが競合する。これら2つのエネルギーが等しくなったときに、2つの領域間で遷移が起きる。

40

【0020】

図3(a)において、面105がxy面内での平面性を維持したまま変形し得る臨界伸び量を ϵ_c とすると、臨界伸び量 ϵ_c は、シート101の臨界伸び量 ϵ_c ($\epsilon_c = 2N/\sigma_c$) または臨界ひずみ ϵ_c ($\epsilon_c = \sigma_c/d$)により、式(1)で与えられる。

【0021】

【数 1】

$$\begin{aligned}\varepsilon_c &= \beta \times h^2 / d^2 \\ \delta_c &= \beta \times h^2 / d\end{aligned}\quad (1)$$

10

ここで、 h はシート 101 の厚さ、 d は y 方向への切り込みのピッチ、 β は後述する数値係数である。初期領域では、シート 101 の伸び量 ε は y 方向への繰り返しユニット数 N に比例する。一方、歪み δ は N には依存しない。これらの量は、与えられた力 F または応力 σ に対し、シート 101 の厚さ h が決まっている場合、切り込みピッチ d の関数として表される。ひとつの切り込み 102 c の臨界伸び量 ε_c 及び臨界歪み δ_c は、切り込みのピッチ d によって設計できる。以下で、これについてさらに詳しく説明する。

【0022】

まず、面内変形が生じる初期領域において、シート 101 の応答特性はシート 101 にかかる力 F とシート 101 の伸び ε の関係、または応力 (ストレス σ) と歪み (ストレイン δ) の関係により、式 (A) で与えられる。

20

【0023】

$$F = K_1 \times \varepsilon \quad \text{または} \quad \sigma = E_1 \times \delta \quad (A)$$

ここで、 K_1 は初期領域でのシート 101 の剛さ定数 (stiffness constant)、 E_1 は初期領域でのシート 101 のヤング率であり、

$$\begin{aligned}K_1 &= k_1 / 2N \\ E_1 &= k_1 \times d / hw \\ k_1 &= E \times d^3 h / w^3\end{aligned}\quad (A)'$$

である。 E はシート 101 の素材本来の (切り込み前の) ヤング率である。 K_1 は切り紙構造における初期領域でのバネ定数に相当する量を表わし、以下の説明では便宜上「バネ定数」と称する。 k_1 は切り込み一つあたりの剛さ定数 (バネ定数) である。式 (A)' から、 K_1 と E_1 は式 (B) で与えられる。

30

【0024】

$$\begin{aligned}K_1 &= (1 / 2N) \times E \times d^3 h / w^3 \\ E_1 &= (d / w)^4 \times E\end{aligned}\quad (B)$$

上述のとおり、 d は y 方向への切り込みのピッチ、 h はシート 101 の厚さ、 w は切り込み 102 c の幅、 N は切り込み幅と直交する方向 (y 方向) への繰り返しユニット数 (または切り込み 102 c の数) である。 β は数値係数であり、7.0 程度である。より正確には、 β は 6.92 程度であるが、以下では説明の簡単のため $\beta = 7.0$ とおく。なお、本明細書と特許請求の範囲で「 $\beta = 7.0$ 」というときは誤差も含むものとする。

40

【0025】

式 (B) は、シートの弾性を調整するための基本式であり、 E 、 d 、 h 、 w の組み合わせによって、非常に広い範囲でシート 101 のバネ定数すなわち弾性率を調整・変更できることがわかる。なお、シート 101 の y 方向の端部 (切り込みのない領域) の影響を小さくするために、互い違いの切り込みの繰り返しユニット数 N は大きい方が望ましく、たとえば 10 以上とするのが望ましい。

【0026】

式 (A) が成立する範囲は初期領域であり、初期領域でのシート 101 の伸び ε は、臨界伸び量 ε_c よりも小さくなければならない ($\varepsilon < \varepsilon_c$)。臨界伸び量 ε_c は、式 (C)

50

で表される。

【0027】

$$c = \frac{1}{2} \times 2 N \times h^2 / d \quad (C)$$

式(C)は、印加される伸びの閾値を与える基本式である。は実験的に求められた数値係数であり、3.02程度である。の値には丸め込みによる誤差が含まれ、この明細書と特許請求の範囲で「=3.02」というときは、誤差も含むものとする。シート101は、=cのときに初期領域から第2領域へ遷移する。

【0028】

式(1)及び式(A)~(C)の適用範囲は、次のとおりである。まず、長さのパラメータに関して、

$$h < d < w \quad (D)$$

を満たす必要があり、 $h < d < w$ であればさらに望ましい。図1Bのようにd、d'、d''を区別する場合には、これらの不等式に入るのはd'、d''ではなく、y方向へのピッチ「d」である。現実的には、 $w/d > 4$ 程度であれば、式(1)、及び式(A)~(C)が成立する。シート101の厚さhは問わず、式(D)の条件を満たせば、1μmであっても1mであっても成立する。

【0029】

シート101の材料のヤング率Eについても制限はない。応力を、歪を とすると、ヤング率Eは $E = \sigma / \epsilon$ で表される。柔らかいゲルの典型的なヤング率の値である1MPaであっても、その1000倍であっても問題はない。ただし、微小変形に対して線形弾性を示すことが重要である。この点からは、シート101の遷移点でのひずみ $[\epsilon_c / (2N \times d)]$ が線形弾性応答を示す初期領域に入っていればよい。なお、遷移点でのひずみ ϵ_c は、式(C)から

$$\epsilon_c = \frac{c}{2N \times d} = \frac{1}{2} \times h^2 / d^2$$

と記述される。

【0030】

ゲルやゴムであればd/hが1以上であれば十分に良い。実際には、 $h > d$ でも式(A)及び式(B)は成立するが、シート材料の場合は、加工性の観点から $h < d$ とするのが現実的といえる。

【0031】

図4は、切り込みのピッチdと、切り込み102cの幅wの多様な組み合わせで、K1を厚さhの関数として示す。ここでは、繰り返しユニット数Nを $N = 10$ としている。厚さhが一定であっても、dとwを変えることで、シート101の弾性を制御できることがわかる。

【0032】

図5は、 $N = 10$ とし、dとwの多様な組み合わせで、 $K1 / (E \times h)$ をパラメータd/w(切り込みの幅wに対するピッチdの比)の関数として示す。図5から、式(B)で表されるように、切り込みを形成したシートのパネ定数K1とヤング率E1は、(d/w)によって正確に規定されることが確認される。

【0033】

本発明では、繰り返しユニット数N、切り込みの幅w、及びピッチdを適切に選択することで、任意の素材について所望の剛さまたは弾性率を設計することができる。

【0034】

ここで、図1のデザインで実現されるより好ましい範囲について説明する。まず、使用可能な素材の例と、現実的な厚さおよび代表的な引張り弾性率(ヤング率)を示す。

- ・紙：厚さ $h = 0.05 \sim 0.5$ [mm]、ヤング率Eはおよそ100 [MPa]
- ・プラスチック材料(アクリル樹脂等)：厚さ $h = 0.2 \sim 5$ [mm]、ヤング率Eはおよそ1 [GPa]
- ・ゴムゲル材料：厚さ $h = 0.01 \sim 10$ [mm]、ヤング率Eはおよそ1 [MPa]

これらの範囲と、条件式(D)を加味して、 $d > 10h$ 、 $w > 4d$ を満たす範囲で考え

10

20

30

40

50

る。式 (B) から、 K_1 と E_1 は、

$$K_1 = (7.0 / 2N) \times E \times h \times d^3 / w^3$$

$$E_1 = 7.0 \times E \times (d / w)^4$$

である。 K_1 と E_1 は相関があるので ($K_1 = E_1 \times h \times w / (2N \times d)$)、以下では K_1 について説明する。 N を一定値とした場合、 w の値を大きくとれば、 K_1 の値は限りなく小さくできる。 K_1 の値を大きくするためには、 w の値を小さくすればよいが、最小の w は、上記の前提から $w = 4d$ 程度である。これ以上小さくすると、式 (B) の適用限界となる。したがって、 K_1 のとり得る最大の値 K_{1max} は、

$$K_{1max} = (7.0 / 2N) \times E \times h \times d^3 / (4d)^3$$

$$= (7.0 / (2N \times 64)) \times E \times h$$

10

程度である。 $N = 10$ の場合、

- ・厚さ $h = 0.5$ [mm]、ヤング率 $E = 100$ [MPa] の紙を用いた場合、 K_{1max} は $E \times h / 180 = 2.8 \times 10^2$ [N / m] 程度である。
- ・厚さ $h = 5$ [mm]、ヤング率 $E = 100$ [MPa] のプラスチック材料を用いた場合、 K_{1max} は $E \times h / 180 = 2.8 \times 10^3$ [N / m] 程度である。
- ・厚さ $h = 10$ [mm]、ヤング率 $E = 1$ [MPa] のゴムゲルを用いた場合、 K_{1max} は $E \times h / 180 = 5.5 \times 10$ [N / m] 程度である。

【 0035 】

次に、 c について考える。式 (C) で示されるとおり、 $c = \sqrt{2N \times h^2 / d}$ の関係があり、 c は繰り返しユニット数 N に比例し、 c の値は実験から 3.02 程度である。説明の簡単のため、 $c = 3$ とおく。繰り返しユニット数 N を一定とすると、 c の値を大きくするには d の値を小さくすればよいが、上記の前提範囲から最小の d を $d = 10h$ とする。 $N = 10$ とした場合、最大の c_{max} は、

$$c_{max} = 3 \times \sqrt{2 \times 10 \times h^2 / 10h} = 6h$$

20

程度である。厚さ h が大きければ d と h を同等にすることもできるので、下記の値よりも大きくできる場合もある。 $N = 10$ の場合、

- ・厚さ $h = 0.5$ [mm] の紙を用いた場合、 $c_{max} = 3$ [mm]
- ・厚さ $h = 5$ [mm] のプラスチック材料を用いた場合、 $c_{max} = 30$ [mm]
- ・厚さ $h = 10$ [mm] のはゴムゲル材料を用いた場合、 $c_{max} = 60$ [mm]

このように、実施形態では、初期領域での弾性が式 (B) の $K_1 = (7.0 / 2N) \times E \times d^3 h / w^3$ で表され、平面性を失う臨界伸び量が $c = \sqrt{2N \times h^2 / d}$ (式 (C)) で決まる任意のシート状素材が提供される。

30

【 0036 】

これらの知見に基づいて、以下で具体的な適用例を説明する。

< フォースセンサへの適用 >

図 6 は、本発明を適用したフォースセンサ 10 A の概略図である。切り紙構造のシートでは初期領域から第 2 領域への遷移点が明確であることから、遷移点での力を閾値とするフォースセンサあるいは重量チェッカーが作製可能である。

【 0037 】

フォースセンサ 10 A はシート 11 と、シート 11 に形成された切り込み 12 c 及び 12 e を有する。この例で、互い違いの切り込みの繰り返しユニット数 (または中央の切り込み 12 e の繰り返しユニット数) N は 7 である ($N = 7$)。フォースセンサ 10 A の下端に、測定対象を留める穴 15 が形成されている。穴 15 に替えて測定対象をひっかけるフックをシート 11 の下端に取り付けてもよいし、穴 15 に測定対象を保持するフックをひっかけてもよい。任意の形態の被測定物保持手段を採用し得る。フックやフック付きホルダを用いる場合は、その重量をあらかじめ測定しておき、フックまたはホルダの荷重を考慮して閾値、すなわち切り込み 12 c の幅 w とピッチ d を設計する。

40

【 0038 】

測定対象の荷重が閾値未満の場合、図 6 (a) に示すように、センサ 10 A のシート 11 は平面性を維持したまま変位する。試料の荷重が閾値を超えた場合、図 6 (b) に示す

50

ように、急激に切り込み 12c、12e が開いて、構造が回転を伴って大きく伸びる。

【0039】

通常は、シート 11 の急激な伸び、または切り込みの開口によって、目視により閾値判定を行うことができる。形状によっては平面性を維持したままある程度まで切り込みが開く場合がある。たとえば、ピッチ d と厚さ h が同程度の場合は、初期領域で平面性を保ったまま切り込み 12c、12e が開口する。その場合でも、遷移点を越えた場合には、シート 11 全体が面外方向への回転を伴って急激に伸びるため目視が可能である。精密を要する場合は、シート 11 をタッチセンサ付きのケーシング内に収容してもよい。シート 11 の一部表面に導電薄膜を形成し、シート 11 が 3 次元的な変形を起こしてケーシングの内壁に形成された透明電極と接触したときに、LED 等を点灯させてもよい。

10

【0040】

フォースセンサ 10A で測定可能な荷重の閾値 F_c をもとめるには、式 (A) に基づいて $F_c = K_1 \times c$ を概算すればよい。上述の通り、 K_1 と c は、それぞれ式 (B) と式 (C) で表される。

【0041】

$$K_1 = \left(\frac{1}{2N} \right) \times E \times d^3 h / w^3 \quad (B)$$

$$c = \frac{1}{2} \times 2N \times h^2 / d \quad (C)$$

$$F_c = K_1 \times c = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2N} \times E \times d^2 h^3 / w^3 \quad (E)$$

ここで、 $\frac{1}{2} = 7.0$ 、 $\frac{1}{2N} = 3$ 、とおき簡略化のため $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2N} = 20$ とすると、

$$F_c = 20 \times E \times d^2 h^3 / w^3$$

20

が得られる。実際の設計では、 $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2N}$ を 20 ± 1 とおいてもよい。式 (E) から、閾値 F_c は、 N の値に依らず、切り込みの幅 w とピッチ d で設計できることがわかる。閾値 F_c を大きく取るには w を小さくすればよい。現実的な条件として $w > 4d$ を加味すると、閾値 F_c は、

$$F_c = 20 \times E \times d^2 h^3 / (4d)^3 = 0.31 \times E \times h^3 / d$$

となる。 F_c を大きくとるには d を小さくすればよいが、 $d > 10h$ とすると、最大の閾値は、

$$F_{c_{max}} = 0.31 \times E \times h^3 / 10h = 0.03 \times E \times h^2$$

程度となる。場合によっては、 y 方向への切り込みのピッチ d とシートの厚さ h を同等程度にできるので、これよりも大きな閾値を設定することも可能である。

30

・厚さ $h = 0.5$ [mm] の紙を用いた場合、ヤング率 $E = 100$ [MPa] として、閾値 $F_{c_{max}}$ は $0.03 \times E \times h^2 = 0.75$ [N] 程度である。

・厚さ $h = 5$ [mm] のプラスチック材料を用いた場合、ヤング率 $E = 1$ [GPa] として、閾値 $F_{c_{max}}$ は $0.03 \times E \times h^2 = 0.75 \times 10^3$ [N] 程度である。

・厚さ $h = 10$ [mm] のはゴムゲル材料を用いた場合、ヤング率 $E = 1$ [MPa] として、最大の閾値 $F_{c_{max}}$ は $0.03 \times E \times h^2 = 3$ [N] 程度である。

【0042】

これらの材質を用いる場合は、上限は 7.5×10^2 [N]、あるいは d と h を同等にした場合はその 10 倍程度の閾値を有する重量センサをつくることができる。閾値 $F_{c_{max}}$ の下限は任意に小さくできる。

40

【実施例 1】

【0043】

図 7 は、面内変形と遷移点を利用したフォースセンサ 10A の実施例 1 である。実施例 1 で、フォースセンサ 10A は、シート 11 としてヤング率 E が約 3 GPa のアクリル樹脂を用い、パラメータを、

$$w = 80 \text{ [mm]、}$$

$$d = 10 \text{ [mm]、}$$

$$h = 0.3 \text{ [mm]}$$

に設定する。このフォースセンサは 0.3 [N] センサとして機能する。なお、1 [N] は約 100 グラム重である。図 7 (a) は 0.26 [N] の荷重を加えた場合である。セ

50

ンサは平面性を維持し、荷重は閾値を超えていない。図7(b)は、0.32[N]の荷重を加えた場合である。荷重が0.3[N]を超えるので切り込みが開き、シート11が3次元的に変形する。

【実施例2】

【0044】

図8は、面内変形と遷移点を利用したフォースセンサ10Aの実施例2である。実施例2で、フォースセンサ10Aはヤング率Eが約3GPaの亚克力樹脂を用い、パラメータを、

$$w = 60 \text{ [mm]、}$$

$$d = 15 \text{ [mm]、}$$

$$h = 0.2 \text{ [mm]}$$

に設定している。このフォースセンサは0.6[N]センサとして機能する。図8(a)は、0.58[N]の荷重を加えた場合であり、センサは平面性を維持している。図8(b)は、0.69[N]の荷重を加えた場合である。荷重が0.6[N]を超えるので切り込みが開き、シート11が3次元的に変形して伸びる。図8(b)で色の薄い部分はシート11の回転による反射を示す。

【0045】

実施例1、2のいずれも、荷重の閾値センサとして良く機能することがわかる。 c_{max} がシート材料の弾性限界を超えない伸びになっていることと、 $F_{c_{max}}$ においてシートの切れ込みの先から破壊しないことが満たされれば、小さなひずみで塑性変形が現れる金属等でも応用が可能である。例えば、アルミ箔を用いて極めて軽量の物質の荷重を感度良く閾値判定することができる。

【0046】

逆に、厚さhが0.3[mm]のスチールで、 $d = 2.3$ [mm]、 $w = 12$ [mm]、 $N = 10$ のデザインにした場合、ヤング率Eを100[GPa]とすると、閾値を求める式(E)すなわち $F_c = 20 \times E \times d^2 h^3 / w^3$ から、閾値はおよそ200[N]になり、ほぼ20キログラムのスーツケースを吊るしたときに閾値を超えることになる。

【0047】

金属に替えて、ゴムでセンサを実現する場合は以下のようになる。バネ定数K1を調整する式(B)、最大の臨界伸び量 c_{max} を求めるための式(C)、及び閾値 F_c を求める式(E)は、シートの厚さhと切り込みのピッチdが同程度の場合にも成立する。

【0048】

たとえば、 $h = d = 10$ [mm]、切り込み幅 $w = 40$ [mm]とし、ヤング率Eが10[MPa]のゴムを使用した場合、 $F_c = 20 \times E \times d^2 h^3 / w^3$ より、閾値は300[N]になり、ほぼ30キログラムのスーツケースを吊るしたときに閾値をこえるセンサが実現できる。つまり、硬めのゴムを使えば、たとえば平面サイズが5[cm]×20[cm]で厚さが5[mm]の手軽に持ち運べるスーツケース重量チェッカーが実現できる。この構成は荷物の重量制限がある場合等の簡易チェックに有用である。

<フォースセンサの変形例>

図9は、変形例として、荷重自体を測定するフォースセンサ10Bを示す。図7～図9では、閾値を超えるか超えないかで荷重を判定するものであった。これに対し、図9のフォースセンサ10Bでは、ひずみゲージ16を切り紙構造上に作り込んで、ひずみゲージ16の抵抗値を測定器17で測定することで、切り紙構造にかかる力を測定することができる。ひずみゲージの抵抗変化と力の関係をあらかじめ求めておくことで、試料の重さを測る重量センサとして使用できる。

【0049】

ひずみゲージ16としては、既製のひずみゲージを切り紙構造に張り付けてもよいし、微細加工技術を用いて切り紙構造上に直接ひずみゲージを作り込んでもよい。測定対象となる力のオーダーに応じて切り紙構造の形状をデザインすることで、幅広い範囲の力を計測することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 0 】

フォースセンサ 1 0 A 及びフォースセンサ 1 0 B の双方において、用いるシート素材のヤング率 E と厚さ h が与えられれば、式 (E) から、切り込みの幅 w とピッチ d を適切に設定することで、所望の閾値 F_c のセンサを作製できる。

【 0 0 5 1 】

図 1 0 は、紙だけではなく、アクリルやゴムで所望の閾値 F_c を有するセンサを設計できることを実証する図である。縦軸は荷重の閾値 F_c [N]、横軸は式 (E) の右辺のパラメータ $E d^2 h^3 / w^3$ [N] である。黒丸はシート 1 1 にアクリルを用いたときの閾値、黒四角はゴムを用いたときの閾値である。アクリルとゴムの双方で、互い違いの切り込みの繰り返しユニット数を $N = 7$ として、手作業で 5 種類の切り込み構造を作製した。各データ点のパラメータは、原点に近い方から順に、次のとおりである。

1) $E = 8 \text{ MPa}$ のゴム ;

$w = 30$ [mm] , $d = 5$ [mm] , $h = 1$ [mm]

2) $E = 3 \text{ GPa}$ のアクリル ;

$w = 80$ [mm] , $d = 10$ [mm] , $h = 0.3$ [mm]

3) $E = 3 \text{ GPa}$ のアクリル ;

$w = 60$ [mm] , $d = 15$ [mm] , $h = 0.2$ [mm]

4) $E = 3 \text{ GPa}$ のアクリル ;

$w = 60$ [mm] , $d = 10$ [mm] , $h = 0.4$ [mm]

5) $E = 3 \text{ GPa}$ のアクリル ;

$w = 60$ [mm] , $d = 15$ [mm] , $h = 0.4$ [mm]

図 1 0 のグラフから、 F_c と $E d^2 h^3 / w^3$ は傾き 1 8 のリニアな関係、すなわち、

$$F_c = 18 \times E \times d^2 h^3 / w^3$$

の関係があることがわかる。閾値 F_c の理論式は

$$F_c = 20 \times E \times d^2 h^3 / w^3 \quad (E)$$

であるから、作製誤差の範囲内で理論とよく一致していることがわかる。すなわち、式 (E) は材質を問わず有効である。

【 0 0 5 2 】

図 1 1 と図 1 2 は、切り込みの繰り返しユニットが横方向 (図 1 の x 方向) に複数配置される場合にも、本発明の弾性率の設計が適用されることを示す図である。

【 0 0 5 3 】

図 1 1 は 3 種類の切り紙構造を示し、図 1 2 は図 1 1 の各構成での伸び () と力 (F) の関係を示す。図 1 1 の構成 (1) と (2) は、縦方向への互い違いの切り込みの繰り返し横方向にも連続して複数連なっている構成である。図 1 1 の構成 (3) は、2 本の切り紙構造が独立して配置される構成である。

【 0 0 5 4 】

図 1 2 (a) の全体図に示すように、伸び () と力 (F) の関係において、構成 (1) ~ (3) のいずれも同じ傾向の振る舞いをする。図 1 2 (b) は、図 1 2 (a) の初期領域 A の拡大図である。構成 (1) ~ (3) の初期領域での線形特性、すなわち変位 - 力特性の傾きもほぼ同じである。このことは、横方向に連結された切り紙構造の初期領域のバネ定数は、式 (B)、すなわち切り込みが縦一列の場合の $K_1 = (/ 2 N) \times E \times d^3 h / w^3$ の足し合わせで表現できることを示している。切り込み列が横方向に複数連なったシートを用いる場合も、初期領域での弾性設計やセンサへの適用が可能になる。

【 0 0 5 5 】

図 1 2 (a) に示すように、切り紙構造の列が横方向に連結された構成 (1) の場合、互いに切り離された構成 (3) の場合と比べて、少ない変位で破断が起きる。ただし、構成 (2) のように、切り紙構造の上端付近と下端付近で切り紙の連結部をあらかじめ切り離しておくことで、破断が起きる変位を完全に切り離された構成 (3) の場合に近づけることができる。切り込み列を横方向に複数連ねることで、平方メートルスケールの大面積の切り紙構造も可能である。

10

20

30

40

50

< 医療用シートへの適用例 >

生体材料を用いたシートの説明

生体適合材料である高分子材料やセラミックスや金属などの無機材料を基材としたシートを、ヒトの器官に接着したり挿入したりすることで器官の機能や状態を維持したり促進したりすることができる。例えば骨に巻いたり接合部材に用いたりすることで骨の再形成をサポートしたり、血管に挿入することで硬化した血管の運動をサポートしたりできる。

骨の弾性率は30 GPa程度であるのに対し、金属では弾性率が低いとされているチタンでも110 GPa程度である。その弾性率の差が生体に外となる応力遮蔽効果の原因となっている。本発明を用いれば、式(B)から、金属シートに切り込みを入れた際の弾性率E1は、

$$E1 = \frac{1}{2} E \times d^4 / w^4$$

で表すことができる。

【0056】

= 7.0なので、E = 110 GPaのチタンを用いる場合、d = 2 mm、w = 10 mmとなるように切り込みをいれれば、E1 = 約1 GPaとなるように弾性率をチューニングすることができる。

また、例えば心臓や肺などの内臓の外側に張ることで、内臓に理想とされる弾性をサポートすることができる。この場合、生体適合材料シートの弾性率は、理想とされる弾性と患者の現状の組織の弾性率の測定値または臓器の筋量や運動強度とから導かれるサポート弾性値に応じて、患者ごとにカスタマイズして切り紙構造を設計して得られる。一意の材質の生体適合材料シートを使って幅広い範囲で弾性率の調整が可能である。また、面内変位が維持される領域、すなわち回転を伴う3次元変位に至らない領域で弾性率を設計するので、シートが適用される患者の組織や器官との適合性が良い。

細胞を培養するシートの例

また、重症火傷を負った患者の皮膚移植のための培養表皮に、適用部位に最適な弾性を与えることができる。図13は、医療用再生シートへの切り紙構造の適用例を示す。図13(a)は切り込み12cと12eを持った培地25の模式図である。

【0057】

図13(a)のように設計された培地25に細胞を培養することで、所望の弾性率の細胞シートを作製することができる。細胞シートが適用される細胞組織の弾性率または剛さ定数をあらかじめ取得しておき、細胞シートで所望の弾性率が得られるように切り込みの幅wと、幅wと直交する方向(図1のy方向)へのピッチ(間隔)dを設計する。

【0058】

本発明の切り紙構造による弾性率調整技術を適用すると、細胞(弾性率約10 MPa)の材料を使って、0.1 MPaの弾性率の細胞シートを作ることが可能である。

【0059】

式(B)から、シートに切り込みを入れた際の弾性率E1は、

$$E1 = \frac{1}{2} E \times d^4 / w^4$$

で表すことができる。

【0060】

= 7.0なので、E = 10 MPaの細胞を用いる場合、d = 2.4 mm、w = 12 mmとなるように図13(a)の培地をデザインすれば、その培地に作られる細胞シートがE1 = 約0.1 MPaとなるように弾性率をチューニングすることができる。なお、細胞の弾性率は、E. Moeendarbary et al., "Cell mechanics: principles, practices, and prospects", Wiley Interdisciplinary Reviews: Systems Biology and Medicine, Volume 6, Issue 5, 2014, Pages 371-388 に記載されている。

【0061】

あらかじめ切り込み12c、12eを入れた培地に細胞を培養することで、細胞に機械的な損傷を与えることなく、切り紙構造をもつ細胞シートを作製することができる。このような細胞シートは、医療用再生シートとして用いることができる。この場合、力がかか

10

20

30

40

50

らない状態での培地の切り込み12c及び12eの間隙 δ_0 が、ゼロ以外の適切な値をとる必要がある。切り込み12c、12eの間隙が小さい場合、培養中に細胞が切り込み12c、12eを塞ぐおそれがあるからである。培地の切り込み12c、12eの間隙 δ_0 が有限の値を持つ場合($\delta_0 > 0$)、得られる細胞シートの切り紙構造も有限の切れ込み幅を持つ。

切り込みに隙間があってもデザイン法則が成り立つことの説明

本発明の原理説明とセンサへの適用例では、シートに形成される切り込みの間隙 δ_0 が限りなく小さい場合($\delta_0 = 0$)を想定してきたが、図13(b)に示されるように、切り込みの間隙がゼロでない場合も($\delta_0 > 0$)、本発明の原理が当てはまる。図13(b)は、図13(a)と同様に切り込みの間隙がゼロでない幅を持つ切り紙構造の変位-力特性の図である。実験において $d = 2 \text{ mm}$ 、 $w = 20 \text{ mm}$ 、繰り返しユニット数を $N = 10$ とした。用いた素材は紙である。

10

20

30

40

50

【0062】

図13(b)では、3種類の異なる間隙 δ_0 でサンプルを作製して、切り紙構造の力学応答を測定した。サンプルaは $\delta_0 = 0 \text{ [mm]}$ 、サンプルbは $\delta_0 = 0.1 \text{ [mm]}$ 、サンプルcは $\delta_0 = 0.5 \text{ [mm]}$ である。図13(b)からわかるように、3種類の切り紙構造の初期領域の傾きはほぼ同じである。これは、切り込みの間隙がある程度の大きさをもつ場合でも、理論式(1)及び(A)~(E)が当てはまることを示している。すなわち、切り込みの間隙をもつ培地に細胞を培養して得られる細胞シートもまた、上述した理論式を用いてその剛さまたは弾性率を予測することが可能である。

【0063】

あらかじめ間隙 δ_0 を持った細胞シートを作製するかわりに、細胞シートとして使用する直前に、設計された w と d を用いて細胞膜に切り込みを入れて切り紙構造の細胞シートを使用部位に適用してもよい。

ヒトの皮膚の弾性率をデザインする例

人間の皮膚の弾性率は 1 MPa 程度であることが知られている。生体由来である豚真皮を使った創傷被覆材の弾性率も同程度の弾性率である。またハイドロゲルの弾性率も同程度である。

【0064】

本発明の切り紙構造による弾性調整技術を適用すると、生体分解性を持つPCL(poly-caprolactone; 弾性率 0.4 GPa)の材料を使って、 1 MPa の弾性率のシートを作ることが可能である。式(B)から、シートに切り込みを入れた際の弾性率 E_1 は、

$$E_1 = \frac{1}{N} \times E \times d^4 / w^4$$

で表すことができる。 $N = 7.0$ なので、 $E = 0.4 \text{ GPa}$ のPCLを用いる場合、 $d = 2.4 \text{ mm}$ 、 $w = 12 \text{ mm}$ となるように切込みをいれれば、 $E_1 = 4 \text{ MPa}$ となるように弾性率をチューニングすることができる。この設計では、厚さ h をマイクロスケールから d よりも小さいサブミリメートルのオーダーまでとることができる。面積に関して制限はない。

<その他の適用例>

図14は、さらに別の適用例として、スポーツ用あるいは治療用のサポータ、コルセット、腰痛ベルト等の装着具への適用例を示す。ここでは、装着具30を例にとる。装着具30はその少なくとも一部に切り込み領域31を有する。切り込み領域31には、

$$K_1 = \left(\frac{1}{2N} \right) \times E \times d^3 h / w^3、\text{または}$$

$$E_1 = \left(\frac{d}{w} \right)^4 \times E \quad (B)$$

を満たすように、切り込み32が形成されている。ここで、 K_1 は係数であり、実験的に $K_1 = 7.0$ である。 E は素材テクスチャのヤング率、 h は素材テクスチャの厚さである。切り込み32の幅 w 、ピッチ d および繰り返し数 N を適切に設計することで、装着者にとって最適な弾性を与えることができる。

【0065】

切り込みの方向は、用途、部位に応じて、適宜設定することができる。たとえば、関節

等の曲げ伸ばしの部位に適用する場合は図 1 4 (a) の方向に形成された切り込みを用いる。身体の内筒形の部位 (腕、足、腰など) を圧迫する目的として使うのであれば、図 1 4 (b) の方向に形成された切り込みを用いてもよい。

【 0 0 6 6 】

また、各切り込み 3 2 を粘着テープ等で仮留めしておいて、装着者が所望の範囲の切り込み 3 2 の粘着テープを剥離できる構成としてもよい。この場合、所望の部位で所望の弾性が与えられる快適な装着具が実現する。なお、内筒形の装着具の場合でも、変位は面内のみであり、法線方向への変位を含まない。

【 0 0 6 7 】

以上述べたように、本発明の弾性設計方法によれば、シート状材料の弾性率を幅広い範囲でチューニング可能であり、また、設計の段階で弾性率が予測可能である。

10

【 0 0 6 8 】

弾性率の設計をセンサに適用する場合は、単一のシートで広い範囲の力の測定が実現できる。紙のような安価な素材で、閾値判定型の使い捨てタイプのフォースセンサが実現される。また、ひずみゲージ等のキャリブレーション手段と併用することで、重さ測定センサが得られる。実施形態のフォースセンサは電源が不要である。また、平面構造でセンサを作製できるので、小型で省スペースである。

【 0 0 6 9 】

さらに、再生医療やスポーツ用具、建築の分野への適用も期待される。建築の分野ではフォースセンサを橋げた、柱、横架材などに取り付けて歪みセンサとして用いることができる。フォースセンサが初期領域 (面内変形領域) での伸びを超えて切り込みが大きく開いたか否かにより、建築材が応力限界を超えたか否か、あるいは建築基準に適合しているか否かを目視で簡単に確認することができる。

20

この出願は、2016年4月15日に日本国特許庁に出願された特許出願第2016-082472号に基づき、その全内容を含むものである。

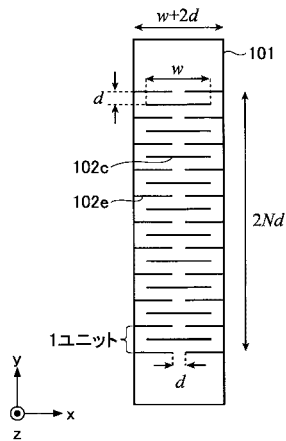
【 符号の説明 】

【 0 0 7 0 】

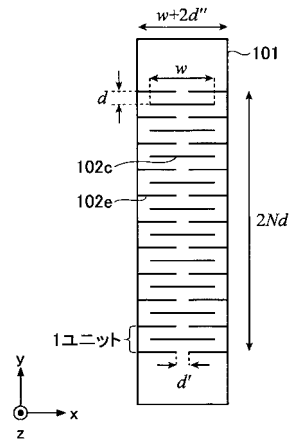
1 0 A、1 0 B フォースセンサ
 1 1 , 1 0 1 シート
 1 2 c、1 2 e、3 2、1 0 2 c、1 0 2 e 切り込み
 2 5 培地
 3 0 装着具
 3 1 切り込み領域
 w 切り込み幅
 d 切り込み幅と直交する方向への切り込みのピッチ
 N 互い違いの切り込みの繰り返しユニット数
 h シートの厚さ

30

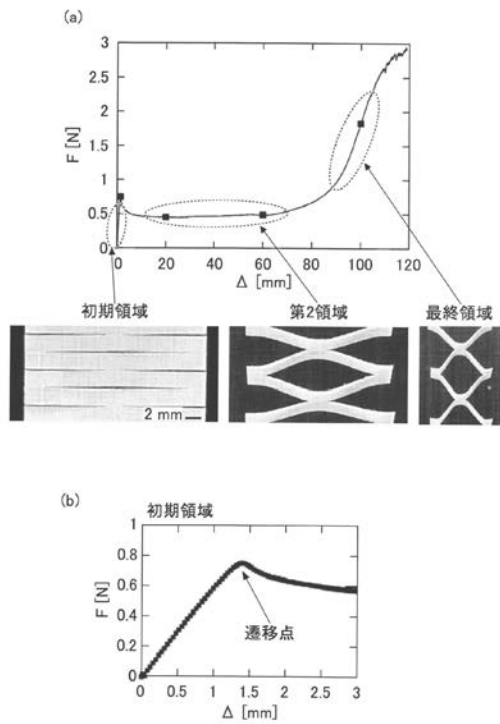
【 図 1 A 】



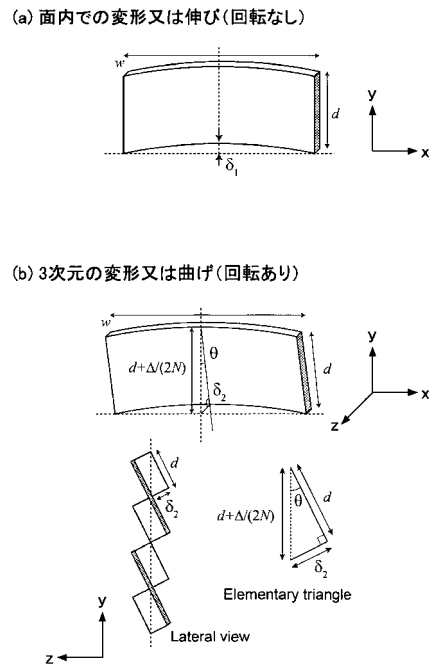
【 図 1 B 】



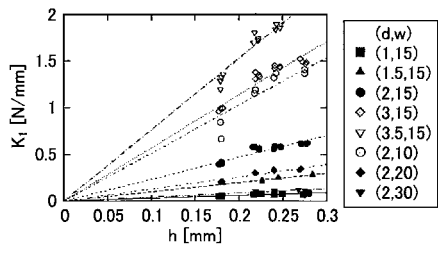
【 図 2 】



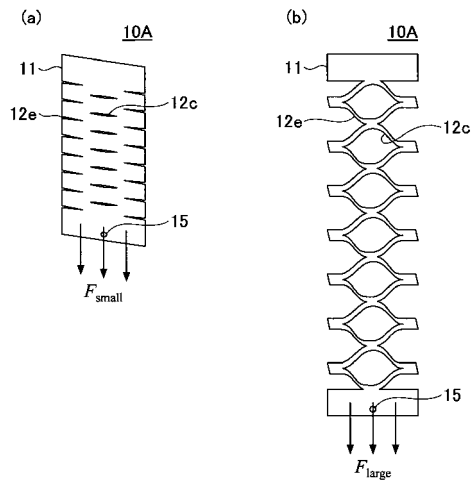
【 図 3 】



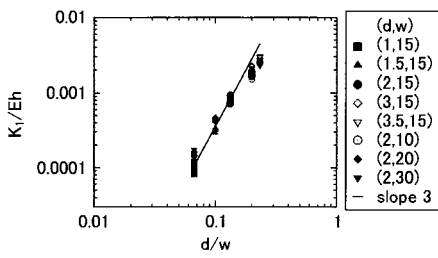
【 図 4 】



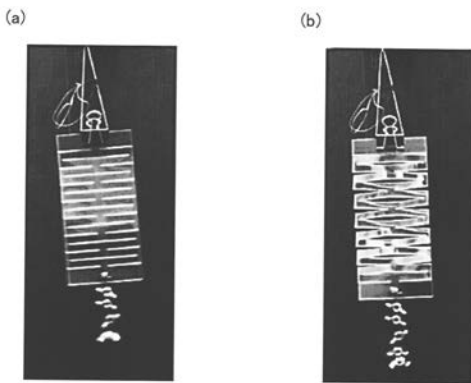
【 図 6 】



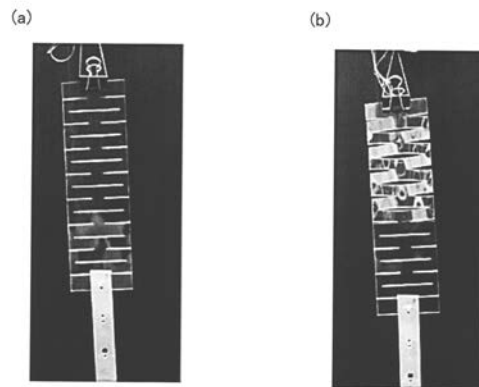
【 図 5 】



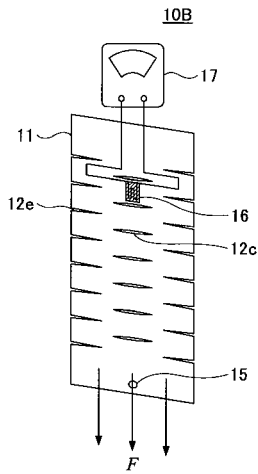
【 図 7 】



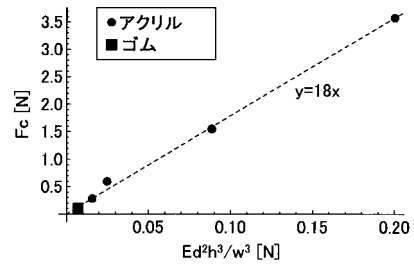
【 図 8 】



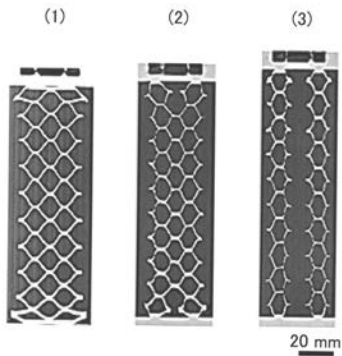
【 図 9 】



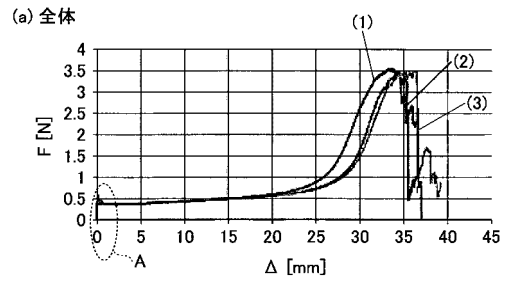
【 図 1 0 】



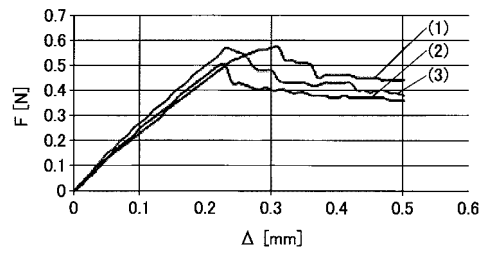
【 図 1 1 】



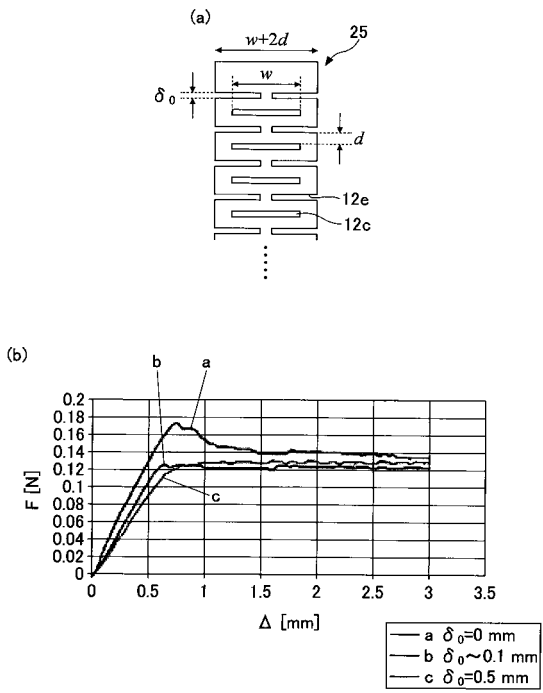
【 図 1 2 】



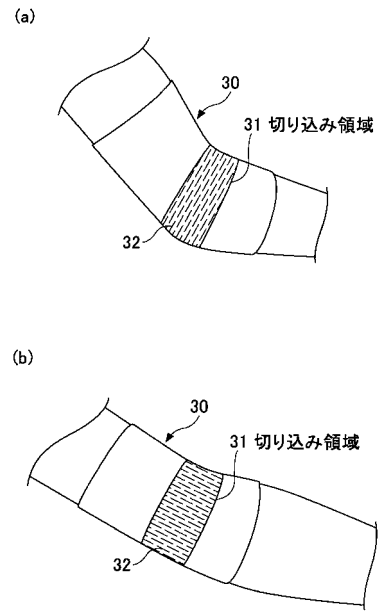
(b) 初期領域A



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/015343

| | | |
|--|--|---|
| A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01L1/04(2006.01)i, A61L27/50(2006.01)i, A61L31/14(2006.01)i, C12M3/00 (2006.01)i, C12N5/07(2010.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC | | |
| B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01L1/00-1/26, G01L5/00-5/28, A61L27/50, A61L31/14, C12M3/00, C12N5/07, B31F07/00, B21D31/04 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2017 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2017 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2017 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) | | |
| C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| P, X P, A A | ISOBE, Midori and OKUMURA, Ko, Initial rigid response and softening transition of highly stretchable kirigami sheet materials, Scientific Reports, 2016.04.27, Vol. 6, 24758, ISSN: 2045-2322, particularly, p.2, lines 13 to 22, p.3, lines 3 to 9, p.5, lines 4 to 31 JP 2012-041657 A (Daio Paper Corp.), 01 March 2012 (01.03.2012), paragraphs [0069] to [0095]; fig. 1 (Family: none) | 1-3, 5-6 4 1, 5 |
| <input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex. | | |
| * Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family | | |
| Date of the actual completion of the international search 16 June 2017 (16.06.17) | | Date of mailing of the international search report 27 June 2017 (27.06.17) |
| Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan | | Authorized officer Telephone No. |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/015343

| C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
|---|---|-----------------------|
| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| A | <p>JP 2006-500173 A (Advanced Bio Prosthetic Surfaces, Ltd.), 05 January 2006 (05.01.2006), paragraphs [0001], [0088] to [0091], [0158]; fig. 6 to 14, 46 & WO 2004/028340 A2 paragraphs [0002], [0145] to [0148]; fig. 6 to 14, 46 & US 2004/0098094 A1 & US 2010/0217373 A1 & EP 1549248 A2 & CA 2499961 A1 & AU 2003270817 A1</p> | 2-3, 6 |
| A | <p>JP 2012-033744 A (Sekisui Chemical Co., Ltd.), 16 February 2012 (16.02.2012), paragraphs [0008] to [0019], [0028]; fig. 1 to 5 (Family: none)</p> | 3-4 |

| 国際調査報告 | | 国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 7 / 0 1 5 3 4 3 | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|----------|--------------|--------------|---------------------------------|---|--|---|--|---|---------------------------|-------------------|------------------------------|--|
| A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01L1/04(2006.01)i, A61L27/50(2006.01)i, A61L31/14(2006.01)i, C12M3/00(2006.01)i, C12N5/07(2010.01)i | | | | | | | | | | | | | | | |
| B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01L1/00-1/26, G01L5/00-5/28, A61L27/50, A61L31/14, C12M3/00, C12N5/07, B31F07/00, B21D31/04 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2017年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2017年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2017年</td> </tr> </table> | | | | 日本国実用新案公報 | 1922-1996年 | 日本国公開実用新案公報 | 1971-2017年 | 日本国実用新案登録公報 | 1996-2017年 | 日本国登録実用新案公報 | 1994-2017年 | | | | |
| 日本国実用新案公報 | 1922-1996年 | | | | | | | | | | | | | | |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2017年 | | | | | | | | | | | | | | |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2017年 | | | | | | | | | | | | | | |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2017年 | | | | | | | | | | | | | | |
| 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) | | | | | | | | | | | | | | | |
| C. 関連すると認められる文献 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求項の番号 | | | | | | | | | | | | | |
| P, X P, A | ISOBE, Midori and OKUMURA, Ko, Initial rigid response and softening transition of highly stretchable kirigami sheet materials, Scientific Reports, 2016.04.27, Vol. 6, 24758, ISSN: 2045-2322, 特に p.2 第13-22行, p.3 第3-9行, p.5 第4-31行 | 1-3, 5-6 4 | | | | | | | | | | | | | |
| A | JP 2012-041657 A (大王製紙株式会社) 2012.03.01, 段落 0069-0095, 図1 (ファミリーなし) | 1, 5 | | | | | | | | | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。 | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>の日の後に公表された文献</td> </tr> <tr> <td>「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</td> <td>「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)</td> <td>「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td>「&」 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</td> <td></td> </tr> </table> | | | | * 引用文献のカテゴリー | の日の後に公表された文献 | 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの | 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの | 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの | 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの | 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) | 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの | 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 | 「&」 同一パテントファミリー文献 | 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 | |
| * 引用文献のカテゴリー | の日の後に公表された文献 | | | | | | | | | | | | | | |
| 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの | 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの | | | | | | | | | | | | | | |
| 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの | 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの | | | | | | | | | | | | | | |
| 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) | 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの | | | | | | | | | | | | | | |
| 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 | 「&」 同一パテントファミリー文献 | | | | | | | | | | | | | | |
| 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 国際調査を完了した日 16.06.2017 | | 国際調査報告の発送日 27.06.2017 | | | | | | | | | | | | | |
| 国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号 | | 特許庁審査官 (権限のある職員) 山下 雅人 電話番号 03-3581-1101 内線 3216 | 2 F 8352 | | | | | | | | | | | | |

| 国際調査報告 | | 国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 7 / 0 1 5 3 4 3 |
|-----------------------|---|--------------------------------------|
| C (続き) . 関連すると認められる文献 | | |
| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求項の番号 |
| A | JP 2006-500173 A (アドヴァンスド バイオ プロセティック サ ーフェシーズ リミテッド) 2006.01.05, 段落 0001, 0088-0091, 0158, 図 6-14, 46 & WO 2004/028340 A2, 段落 0002, 00145-0148, Figs. 6-14, 46 & US 2004/0098094 A1 & US 2010/0217373 A1 & EP 1549248 A2 & CA 2499961 A1 & AU 2003270817 A1 | 2-3, 6 |
| A | JP 2012-033744 A (積水化学工業株式会社) 2012.02.16, 段落 0008-0019, 0028, 図 1-5 (ファミリーなし) | 3-4 |

フロントページの続き

| (51) Int.Cl. | F I | テーマコード (参考) |
|--------------------------------|---------------|-------------|
| A 6 1 L 31/02 (2006.01) | A 6 1 L 31/02 | |
| A 6 1 L 27/60 (2006.01) | A 6 1 L 27/60 | |
| G 0 1 L 1/22 (2006.01) | G 0 1 L 1/22 | Z |

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

(72) 発明者 武居 淳

東京都文京区大塚二丁目1番1号 国立大学法人お茶の水女子大学内

Fターム(参考) 2F049 AA00 BA03 CA05 CA07 DA01

4C081 AA02 AA12 AA14 AB01 AB11 AB19 BA12 BB07 CA17 CF01

CG02 DA02

(注) この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。