

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2023-3244

(P2023-3244A)

(43)公開日 令和5年1月11日(2023.1.11)

(51)国際特許分類

G 0 1 B 7/16 (2006.01)

F I

G 0 1 B 7/16

C

テーマコード(参考)

2 F 0 6 3

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全15頁)

(21)出願番号 特願2021-104313(P2021-104313)

(22)出願日 令和3年6月23日(2021.6.23)

(出願人による申告)令和二年度、国立研究開発法人
科学技術振興機構 研究成果展開事業 センター・オブ・
イノベーションプログラム『運動の生活カルチャー化に
より活力ある未来をつくるアクティブ・フォー・オール
拠点』委託研究開発、産業技術力強化法第17条の適用
を受ける特許出願

(71)出願人 593006630

学校法人立命館

京都府京都市中京区西ノ京東梅尾町8番
地

(74)代理人 100145403

弁理士 山尾 憲人

(74)代理人 100111039

弁理士 前堀 義之

(74)代理人 100184343

弁理士 川崎 茂雄

(72)発明者 塩澤 成弘

滋賀県草津市野路東1-1-1 立命館

大学 びわこ・くさつキャンパス内

(72)発明者 後藤 大輔

滋賀県草津市野路東1-1-1 立命館

最終頁に続く

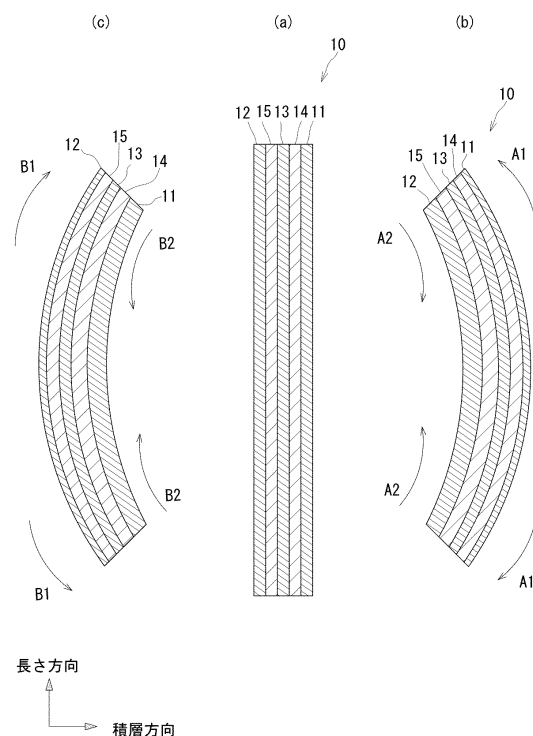
(54)【発明の名称】 静電容量型センサ、変形検出システム及び方法

(57)【要約】

【課題】計測対象の変形の阻害を抑制しつつ、計測対象
の変形を計測することができる静電容量型センサを提供
する。

【解決手段】静電容量型センサ10は、積層方向の第1
の端部に配置されると共に弾性変形可能なシート状の第
1導電層11と、積層方向の第2の端部に配置されると
共に弾性変形可能なシート状の第2導電層12と、第1
導電層11と第2導電層12との間に配置されると共に
弾性変形可能なシート状の第3導電層13と、第1導電
層11と第3導電層13との間に配置されており、弾性
変形可能なシート状の第1絶縁層14と、第2導電層1
2と第3導電層13との間に配置されており、弾性変形
可能なシート状の第2絶縁層15とを備え、第1導電層
11と第3導電層13と第1絶縁層14によって第1コン
デンサ21が構成されており、第2導電層12と第3
導電層13と第2絶縁層15によって第2コンデンサ2
2が構成されている。

【選択図】図4



10

20

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

積層方向の第 1 の端部に配置されると共に弾性変形可能なシート状導体からなる第 1 導電層と、

積層方向の第 2 の端部に配置されると共に弾性変形可能なシート状導体からなる第 2 導電層と、

前記第 1 導電層と前記第 2 導電層との間に配置されると共に弾性変形可能なシート状導体からなる第 3 導電層と、

前記第 1 導電層と前記第 3 導電層との間に配置されており、弾性変形可能なシート状の絶縁体からなる、第 1 絶縁層と、

前記第 2 導電層と前記第 3 導電層との間に配置されており、弾性変形可能なシート状の絶縁体からなる、第 2 絶縁層と

を備え、

前記第 1 導電層と前記第 3 導電層と前記第 1 絶縁層によって第 1 コンデンサが構成されており、

前記第 2 導電層と前記第 3 導電層と前記第 2 絶縁層によって第 2 コンデンサが構成されている静電容量型センサ。

【請求項 2】

変形前の状態において、

前記第 1 コンデンサの静電容量と、前記第 2 コンデンサの静電容量とが同じである請求項 1 に記載の静電容量型センサ。

【請求項 3】

前記第 1 導電層と前記第 2 導電層は、同一の材料で構成される請求項 1 又は請求項 2 に記載の静電容量型センサ。

【請求項 4】

前記導電層と前記絶縁層の伸長率が 120 % 以上に設定される請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の静電容量型センサ。

【請求項 5】

前記導電層と前記絶縁層の積層方向の厚さが 0.5 mm 以下に設定される請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の静電容量型センサ。

【請求項 6】

前記導電層の表面抵抗率が $100 \Omega / sq$ 以下に設定される請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の静電容量型センサ。

【請求項 7】

前記絶縁層の誘電率が 3 以上に設定される請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の静電容量型センサ。

【請求項 8】

請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の静電容量型センサと、

前記第 1 コンデンサの静電容量の変化と、前記第 2 コンデンサの静電容量の変化に基づいて変形を計測する計測部と

を備えた変形検出システム。

【請求項 9】

請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の静電容量型センサを使用した変形検出方法であって、

前記第 1 コンデンサの静電容量の変化量を算出し、

前記第 2 コンデンサの静電容量の変化量を算出し、

前記第 1 コンデンサと前記第 2 コンデンサの静電容量のそれぞれの変化量に基づいて変形を検出する変形検出方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【 0 0 0 1 】

本発明は、静電容量型センサ、変形検出システム及び変形検出方法に関する。

【 背景技術 】

【 0 0 0 2 】

静電容量型センサとして、シート状に形成された一対のコンデンサを積層させて、それぞれの静電容量の変化に基づいて曲げを検出するように構成したものが知られている。

【 0 0 0 3 】

例えば、特許文献 1 には、基準部材に対して積層方向の一方側と他方側とにシート状のコンデンサを一対に設け、一対のコンデンサの静電容量の変化に基づいて曲げ変形を検出する静電容量型センサが開示されている。

10

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 特許文献 1 】 特許第 5 4 9 6 4 4 6 号 公 報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

この種の静電容量型センサのうち、特に、生体の形状変化等を計測対象とした場合、センサを計測対象例えば、皮膚や衣類等に貼り付けた際に、計測対象の変形が阻害されることを抑制するために、計測対象と同等もしくはそれ以上の柔軟性（弾性変形のしやすさ）を有することが望まれる。

20

【 0 0 0 6 】

特許文献 1 に開示された静電容量型センサでは、一対のコンデンサが積層されているため、静電容量型センサが 1 つのコンデンサで構成される場合に比べて、剛性が高くなり柔軟性が低下して計測対象に拘束感を与える虞がある。

【 0 0 0 7 】

本発明は、計測対象の変形の阻害を抑制しつつ計測対象の変形を計測することができる静電容量型センサを提供することを課題とする。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 8 】

30

本発明の第 1 の態様は、積層方向の第 1 の端部に配置されると共に弾性変形可能なシート状導体からなる第 1 導電層と、

積層方向の第 2 の端部に配置されると共に弾性変形可能なシート状導体からなる第 2 導電層と、

前記第 1 導電層と前記第 2 導電層との間に配置されると共に弾性変形可能なシート状導体からなる第 3 導電層と、

前記第 1 導電層と前記第 3 導電層との間に配置されており、弾性変形可能なシート状の絶縁体からなる、第 1 絶縁層と、

前記第 2 導電層と前記第 3 導電層との間に配置されており、弾性変形可能なシート状の絶縁体からなる、第 2 絶縁層と

40

を備え、

前記第 1 導電層と前記第 3 導電層と前記第 1 絶縁層によって第 1 コンデンサが構成されており、

前記第 2 導電層と前記第 3 導電層と前記第 2 絶縁層によって第 2 コンデンサが構成されている静電容量型センサを提供する。

【 0 0 0 9 】

本発明によれば、静電容量型センサは、第 1 コンデンサと第 2 コンデンサとが、第 3 導電層を共有して構成されているので、第 1 コンデンサと第 2 コンデンサとを個別に設ける場合に比べて、基準部材と基準部材の一方側に配置される導電層との 2 つの部材が不要になるので、静電容量型センサの厚みが低減する。その結果、静電容量型センサの剛性が低

50

減されて、計測対象の変形への追従性を向上できる（計測対象の変形が阻害されることが抑制される）。また、部材の削減によって、コストも低減できる。

【0010】

さらに、第1コンデンサと第2コンデンサとは、第3導電層を共有しているため、例えば、第1コンデンサと第2コンデンサの静電容量の差分から曲げ変形を計測する場合に、第1コンデンサと第2コンデンサとの間に基準部材を設ける場合に比べて、第1及び第2コンデンサの特性を合わせやすく、コンデンサのばらつきが抑制されるので、コンデンサのばらつきを校正するためのコストを削減できる。

【0011】

変形前の状態において、前記第1コンデンサの静電容量と、前記第2コンデンサの静電容量とが同じであってもよい。 10

【0012】

変形後の第1コンデンサの静電容量と、第2コンデンサの静電容量との差から変形を検出できるので、変形前に第1コンデンサと第2コンデンサの静電容量の差がある場合に比して、変形量の算出が簡素化できる。変形前後の第1コンデンサの静電容量の変化及び第2コンデンサの静電容量の変化を求める必要がない。

【0013】

前記第1導電層と前記第2導電層は、同一の材料で構成されてもよい。

【0014】

本構成によれば、第1コンデンサと、第2コンデンサの特性を一致させることができるので、第1コンデンサと第2コンデンサのばらつきによるコストの増大が回避できる。 20

【0015】

前記導電層と前記絶縁層の伸長率が120%以上に設定されてもよい。

【0016】

本構成によれば、計測対象に対する追従性が得られる。

【0017】

前記導電層と前記絶縁層の積層方向の厚さが0.5mm以下に設定されてもよい。

【0018】

本構成によれば、静電容量型センサの剛性が過度に増大することによる計測対象の変形を阻害しにくい。 30

【0019】

前記導電層の表面抵抗率が100Ω/sq.以下に設定されてもよい。

【0020】

本構成によれば、導電層内に配合される導電性フィラーの配合量が多いほど導電性フィラー同士の接触が増加し、導電層内の電荷の分布の偏りを抑制できるので、計測精度を向上できる。また、導電層内での導電性フィラー間での静電容量型の結合が抑制されて、応答性と計測精度を確保できる。

【0021】

前記絶縁層の誘電率が3以上に設定されてもよい。

【0022】

本構成によれば、誘電率を高めることで、静電容量を増大させることができるので、変形時の静電容量が計測しやすく、計測対象の変形を計測しやすい。 40

【0023】

本発明の第2の態様は、前記静電容量型センサと、
前記第1コンデンサの静電容量の変化と前記第2コンデンサの静電容量の変化に基づいて変形を計測する計測部と
を備えた変形検出システムを提供する。

【0024】

本発明によれば、前記静電容量型センサで得られる効果に変形検出システムでも得られる。 50

【 0 0 2 5 】

本発明の第 3 の態様は、前記静電容量型センサを使用した変形検出方法であって、
前記第 1 コンデンサの静電容量の変化量を算出し、
前記第 2 コンデンサの静電容量の変化量を算出し、
前記第 1 コンデンサと前記第 2 コンデンサの静電容量のそれぞれの変化量に基づいて変形を検出する変形検出方法を提供する。

【 0 0 2 6 】

本発明によれば、前記静電容量型センサで得られる効果が変形検出方法でも得られる。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 7 】

本発明によれば、計測対象の変形の阻害を抑制しつつ、計測対象の変形を計測することができる静電容量型センサを提供することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 8 】

【 図 1 】 本発明の一実施形態に係る変形検出システムのブロック図。

【 図 2 】 静電容量型センサの使用例を説明するための図。

【 図 3 】 本発明の一実施形態に係る静電容量型センサの斜視図。

【 図 4 】 図 3 における I V - I V 線に沿った静電容量型センサの断面図。

【 図 5 】 静電容量型センサが凸状変形した状態における変形検出システムのブロック図。

【 図 6 】 静電容量型センサが凹状変形した状態における変形検出システムのブロック図。

【 図 7 】 静電容量型センサについて、曲げ変形時の実測値と静電容量値の変化量に基づいた計測値とを比較して示すグラフ。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 9 】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照しながら説明する。図 1 には、本発明の一実施形態として静電容量型センサ 10 を備えた変形検出システム 1 が示されている。

【 0 0 3 0 】

変形検出システム 1 は、全体として曲げ変形可能な静電容量型センサ 10 を備える。静電容量型センサ 10 は、図 2 に示されているように例えば、人体 9 の膝部分 9 1 (計測対象) の皮膚もしくは衣服に貼り付けられた状態で膝部分 9 1 の伸び変形 (長さ) 及び曲げ変形 (角度) が検出されるようになっている。

【 0 0 3 1 】

変形検出システム 1 では、静電容量型センサ 10 で検出される静電容量 C または静電容量の変化量 ΔC から伸び変形 (長さ) 及び曲げ変形 (角度) を変形量として計測するようになっている。なお、図 1 ~ 6 では、静電容量型センサ 10 の構造をわかりやすくするために要部を誇張して示しており、各部材や各部位の寸法や形状を正確に表すものでない。

【 0 0 3 2 】

静電容量型センサ 10 は、図 3 に示すように、積層方向の第 1 の端部 (図 3 において上端部) に配置されると共に弾性変形可能なシート状導体からなる第 1 導電層 11 と、積層方向の第 2 の端部 (図 3 において下端部) に配置されると共に弾性変形可能なシート状導体からなる第 2 導電層 12 と、第 1 導電層 11 と第 2 導電層 12 との間に配置されると共に弾性変形可能なシート状導体からなる第 3 導電層 13 と、第 1 導電層 11 と第 3 導電層 13 との間に配置されており、弾性変形可能なシート状の絶縁体からなる、第 1 絶縁層 14 と、第 2 導電層 12 と第 3 導電層 13 との間に配置されており、弾性変形可能なシート状の絶縁体からなる、第 2 絶縁層 15 とを備える。

【 0 0 3 3 】

静電容量型センサ 10 の製造方法は、以下のようにして製造することができる。まず、第 1 ~ 第 3 導電層 11 , 12 , 13、第 1 及び第 2 絶縁層 14 , 15、及び、各導電層及び各絶縁層 11 ~ 15 を接着するためのホットメルトシート (図示せず) を準備する。

【 0 0 3 4 】

10

20

30

40

50

次に、各導電層及び各絶縁層 11 ~ 15 とホットメルトシートを所定の大きさに切り出し、各導電層及び各絶縁層 11 ~ 15 をそれぞれ当接させて積層する（図 3 参照）。このとき、本実施形態においては、各導電層及び各絶縁層 11 ~ 15 間にホットメルトシートを挟んでおく。

【0035】

その後、積層された各導電層及び各絶縁層 11 ~ 15 とホットメルトシートの積層方向の一方側から、熱圧着機等によって、圧力をかけながら加熱することで、各導電層及び各絶縁層 11 ~ 15 とホットメルトシートが接着されて、静電容量型センサ 10 が完成する。

【0036】

第 1 導電層 11、第 1 絶縁層 14、第 3 導電層 13 により第 1 コンデンサ 21 が形成され、第 2 導電層 12、第 2 絶縁層 15、第 3 導電層 13 により第 2 コンデンサ 22 が形成されている。第 1 コンデンサ 21 と第 2 コンデンサ 22 は、厚み方向に積層されている。

【0037】

第 1 ~ 3 導電層 11, 12, 13 及び第 1 ~ 2 絶縁層 14, 15 は、伸縮性及び柔軟性（フレキシブル性）を有するエラストマによって形成されている。計測対象としての人体の関節部分、背中部分、胸部等に貼付けられた状態で、人体の動き（変形）を阻害せずに容易に弾性変形し得るような伸縮性を備える。

【0038】

例えば、各導電層 11, 12, 13 及び各絶縁層 14, 15 の伸び率（伸長率）は、120% 以上に設定されている。具体的には、例えば、伸縮性及び柔軟性を有するエラストマとして、ウレタンゴム、アクリルゴム、シリコンゴム、ブタジエンゴム、ニトリルゴム、クロロスルホン化ポリエチレンゴム、天然ゴムが用いられる。なお、伸び率は、引張試験において各導電層及び各絶縁層（試験片）が破断するまでに、試験片上の標線間に生じた伸びと標線間距離との比である。また、例えば、人体を計測する上では、各導電層 11, 12, 13 及び各絶縁層 14, 15 の柔軟性は高い方が好ましく、柔軟性と置き換え可能な弾性率（ヤング率）は、120MPa 以下に設定されている。

【0039】

各導電層 11, 12, 13 及び各絶縁層 14, 15 の材料はこれに限られるものではなく、各導電層 11, 12, 13 及び各絶縁層 14, 15 の断面形状や断面積、長さなどの具体的な形状を考慮して曲げ変形の特性を設定することができる。例えば、計測対象とされる人体の筋力や装用する部位などに応じて、耐久性や変形への追従性などを考慮して、材料は適宜に設定できる。

【0040】

図 2 に示すように、計測対象の膝部分の曲げ変形を測定する場合においては、膝部分の変形の検出感度を向上させるために、所定の幅を有する薄肉の一定断面で長さ方向（図 2 の上下方向）に延びる略矩形の短冊状とされることが好ましい。静電容量型センサ 10 の剛性によって膝部分の曲げ変形が阻害されないように、各導電層 11, 12, 13 及び各絶縁層 14, 15 の膜厚（積層方向厚さ）が 0.5mm 以下に設定されている。

【0041】

ここで、導電層の面積 S 、導電層間距離（＝絶縁層の厚さ） d 、絶縁層の誘電率 ε とすると、静電容量 $C = \varepsilon \cdot (S / d)$ の関係があり、導電層間の距離 d が短くなると静電容量は増大し、導電層間の距離 d が長くなると静電容量は減少する。導電層の面積 S が大きくなると静電容量は増大し、導電層の面積 S が小さくなると静電容量は減少する。検出精度の向上のために、各絶縁層 14, 15 の誘電率が 3 以上に設定されている。

【0042】

上述のように、各導電層 11, 12, 13 は、エラストマ製とされるが、導電性を付与するために、炭素材料や金属等の微粒子からなる導電性フィラーとの混合物からなるエラストマ組成物で形成される。導電性フィラーとしては、例えば、銀粉末やカーボン粉末が採用され、各導電層 11, 12, 13 の伸縮性等を確保しつつ所望の導電性を備えさせる

10

20

30

40

50

ために、例えば各導電層 11, 12, 13 の質量を 100%とした場合の 10 ~ 70%以下の配合量で、導電性フィラーがエラストマ材料に混合される。

【0043】

検出精度を高めるために、変形前の状態における第1コンデンサ21と第2コンデンサ22の静電容量を一致させることが好ましい。少なくとも第1導電層11及び第2導電層12は、同一の材料及び配合量で構成されている。例えば、第1導電層11と第2導電層12の導電性フィラーを炭素材料とし、第3導電層13の導電性フィラーを導電性の高い金属材料（例えば、銀）とした場合、高価かつ導電性の高い導電性フィラーを最小限にしつつ、第1コンデンサ21及び第2コンデンサ22の静電容量を一致させると共に各導電層に炭素材料の導電性フィラーを用いる場合に比べて精度を向上させやすい。

10

【0044】

表面抵抗率が高くなることによる導電層内の電荷の分布の偏りを抑制することによって検出精度を確保するために、各導電層11, 12, 13の電気抵抗（表面抵抗率）は100Ω/sq.以下であることが望ましい。また、導電層内導電性フィラー間での静電容量型の結合を抑制することで、応答性と計測精度を向上できる。

【0045】

次に、静電容量型センサ10が曲げ変形した場合における静電容量型センサ10の動きについて図4を参照しながら説明する。

【0046】

図4(b)に示すように、第1導電層11と第2導電層12のいずれか一方の面、例えば第1導電層11が凸となるように静電容量センサ10が湾曲変形すると、第1導電層11の表面が凸状に湾曲し、第2導電層12の表面が凹状に湾曲する。このとき、曲げの中立面が第3導電層13の厚み内にある場合、第3導電層13を基準にすると、凸状に湾曲する第1導電層11及び第1絶縁層14は湾曲頂部から周辺に向けて引っ張り力（矢印A1）が作用して相対的に層厚が薄くなるように変形する。

20

【0047】

一方で、凹状に湾曲する第2導電層12及び第2絶縁層15は周辺から湾曲底部に向けて圧縮力（矢印A2）が作用して相対的に層厚が厚くなると共に表面積が減少するように変形する。その結果、第1コンデンサ21の静電容量C1が増大する一方で、第2コンデンサ22の静電容量C2が減少するので、この静電容量の変化に基づいて曲げを検出できる。

30

【0048】

一方、図4(c)に示すように第1導電層11が凹となるように静電センサが湾曲変形した場合についても、第1導電層11が凸となるように静電容量センサ10が湾曲変形した場合と同様に、静電容量の変化に基づいて曲げを検出することができる。第1導電層11が凹となるように静電容量センサ10が湾曲変形すると、第2導電層12が凸状に湾曲する。

【0049】

このとき、曲げの中立面が第3導電層13の厚み内にある場合、第3導電層13を基準にすると、凹状に湾曲する第1導電層11及び第1絶縁層14は周辺から湾曲底部に向けて圧縮力（矢印B1）が作用して相対的に層厚が厚くなると共に表面積が減少するように変形し、凸状に湾曲する第2導電層12及び第2絶縁層15は湾曲頂部から周辺に向けて引っ張り力（矢印B2）が作用して相対的に層厚が薄くなると共に表面積が増大するように変形する。その結果、第1コンデンサ21の静電容量C1が減少する一方で、第2コンデンサ22の静電容量C2が増大するので、この静電容量の変化に基づいて曲げを検出できる。

40

【0050】

また、厚み方向に積層された第1及び第2コンデンサ21, 22の湾曲変形時に変化する静電容量（C1, C2）の差（ $\Delta C = C1 - C2$ ）に基づいて曲げ角度を算出するようにしてもよい。例えば、予め求めた静電容量の差 ΔC を変数とする所定の関数に基づいて

50

曲げ角度を算出し、或いは容量の差 ΔC に対応して予め設定した角度テーブルに基づいて曲げ角度を求めることができる。所定の関数は、静電容量の差 ΔC を、カメラを使ってマーカーの位置をトラッキングするモーションキャプチャで計測した計測対象の曲げ角度を用いて較正する場合、線形の関数を用いることができる。

【0051】

第1及び第2コンデンサ21, 22の湾曲変形時に変化する静電容量(C_1 , C_2)は、凸状に湾曲する側の静電容量が凹状に湾曲変形する側の静電容量よりも大きくなるため、第1及び第2コンデンサ21, 22の湾曲変形時に変化する静電容量(C_1 , C_2)の差($\Delta C = C_1 - C_2$)の正負によって、湾曲方向を特定できる。静電容量(C_1 , C_2)の差 ΔC が正であった場合は第1コンデンサ21側が凸状に湾曲変形し、静電容量(C_1 , C_2)の差 ΔC が負であった場合は第1コンデンサ21側が凹状に湾曲変形していると判断できる。

10

【0052】

第3導電層13の厚み内に曲げの中立面が位置する場合について説明したが、曲げの中立面が静電容量型センサ10の積層方向の外側に位置する場合においても同様に曲げ及び/又は曲げ角度を検出できる。例えば、中立面が第2導電層12よりも積層方向の外側に位置すると共に、第1導電層11が凸状に変形し第2導電層12が凹状に変形する場合、第1導電層11、第1絶縁層14、第2導電層12、第2絶縁層15は湾曲頂部から周辺に向けて引っ張り力が作用して変形前の状態よりも膜厚が薄くなるように変形する。

【0053】

20

したがって、第1コンデンサ21の静電容量 C_1 及び第2コンデンサ22の静電容量 C_2 は、共に変形前の静電容量よりも大きくなるが、第1コンデンサ21は、第2コンデンサ22よりも凸側に位置するため、より薄く伸長されるため、第1コンデンサ21の静電容量 C_1 が第2コンデンサ22の静電容量 C_2 よりも大きくなる。その結果、上述のように静電容量(C_1 , C_2)の差($\Delta C = C_1 - C_2$)の正負および絶対値の大きさに基づいて曲げの方向及び角度を検出できる。

【0054】

図1には、変形検出システム1の信号処理回路の一例を示すブロック図が示されている。変形検出システム1は、例えば1kHz程度の矩形波信号として基準電圧 V_s をコンデンサ21, 22に出力する交流電源41と、第1コンデンサ21及び第2コンデンサ22の静電容量 C_1 , C_2 の差 ΔC を算出する差分部42と、差分部42で算出された静電容量の差 ΔC に基づいて曲げ角度及び方向を算出する演算部43と、演算部43で算出された曲げ角度を表示する表示部44とを備える。

30

【0055】

差分部42と演算部43と表示部44とは、第1コンデンサ21の静電容量 C_1 の変化と第2コンデンサ22の静電容量 C_2 の変化に基づいて変形を計測する計測部40を構成する。

【0056】

交流電源41から出力された基準電圧 V_s は、第1導電層11及び第2導電層12に印加されると共に、第3導電層13がグラウンドに接続されている。差分部42には、参照信号として、第1コンデンサ21の電圧(第1導電層11と第3導電層13の電位差) V_1 及び第2コンデンサ22の電圧(第2導電層12と第3導電層13の電位差) V_2 が入力される。静電容量はコンデンサの電圧波形の時間積分値に比例するため、差分部42では、第1コンデンサ21と第2コンデンサ22の静電容量 C_1 , C_2 の差 ΔC を算出するために、参照電圧波形 V_1 , V_2 の時間積分値の差 ΔV が算出される。

40

【0057】

具体的には、第1コンデンサ21と第2コンデンサ22からは、それぞれのコンデンサの抵抗によって、基準電圧 V_s に対して歪んだ出力電圧波形 V_1 , V_2 が出力される。図1のように静電容量型センサ10が変形前の状態では、第1コンデンサ21と第2コンデンサ22の静電容量が一致するように設定されているため、第1コンデンサ21と第2コ

50

ンデンサ 2 2 の出力電圧波形 V_1 及び V_2 は一致する。したがって、差分部 4 2 で算出される第 1 コンデンサ 2 1 と第 2 コンデンサ 2 2 の出力電圧波形の時間積分値の差 ΔV はゼロとなって、変形されていないことが検出される。

【 0 0 5 8 】

図 5 のように静電容量型センサ 1 0 の第 1 コンデンサ 2 1 側が凸状となるように湾曲変形した状態では、第 1 コンデンサ 2 1 の静電容量 C_1 が第 2 コンデンサ 2 2 の静電容量 C_2 よりも大きくなるため、第 1 コンデンサ 2 1 の出力電圧波形 V_1 は第 2 コンデンサ 2 2 の出力電圧波形 V_2 よりも相対的に大きくなる。したがって、差分部 4 2 で算出される第 1 コンデンサ 2 1 と第 2 コンデンサ 2 2 の出力電圧波形の時間積分値の差 ΔV が正となつて、第 1 コンデンサ 2 1 側が凸状となるように変形されていることが検出される。

10

【 0 0 5 9 】

図 6 のように静電容量型センサ 1 0 の第 1 コンデンサ 2 1 側が凹状となるように湾曲変形した状態では、第 1 コンデンサ 2 1 の静電容量 C_1 が第 2 コンデンサ 2 2 の静電容量 C_2 よりも小さくなるため、第 1 コンデンサ 2 1 の出力電圧波形 V_1 は第 2 コンデンサ 2 2 の出力電圧波形 V_2 よりも相対的に小さくなる。したがって、差分部 4 2 で算出される第 1 コンデンサ 2 1 と第 2 コンデンサ 2 2 の出力電圧波形の時間積分値の差 ΔV が負となつて、第 1 コンデンサ 2 1 側が凸状となるように変形されていることが検出される。

【 0 0 6 0 】

演算部 4 3 には、算出された出力電圧波形の時間積分値の差 ΔV と、所定の関数またはテーブルとに基づいて曲げ変形の角度が算出され、算出された角度は表示部 4 4 としてのディスプレイ等に表示されるようになっている。

20

【 0 0 6 1 】

このような構造とされた静電容量型センサは、図 2 に示すように人体に装用された状態では、膝部分の屈曲に伴って湾曲変形されることとなり、図 2 の例示では人体の膝部分の動きによって発生する膝部分の変化に伴って、静電容量型センサ 1 0 が湾曲変形するようになっている。なお、静電容量型センサ 1 0 は、積層方向が人体の前後方向とされて、静電容量センサ 1 0 の長さ方向に直交する曲率半径で湾曲変形するように貼り付けられる。

【 0 0 6 2 】

また、静電容量型センサ 1 0 は、人体の姿勢の変化（膝部分の屈曲）に伴う外力の作用により、その長さ方向の両端に曲げモーメントが生じることで円弧形状に弾性変形されるようになっている。具体的には、図 2 に示されているように、センサとして機能する全長 L に亘る曲げ変形領域の長さ方向の両端 P_1 , P_2 が入力点とされることで、長さ方向の中央点 P_0 が屈曲点となる膝部分 9 1 と略一致するように設定されている。

30

【 0 0 6 3 】

具体的には、人体の表面に密着状態で装着された衣服において、体側に沿って膝部分 P_0 を跨いで延びるように配された静電容量型センサ 1 0 の一端 P_1 が大腿骨側に固着されると共に、他端 P_2 が脛骨側に固着されることにより、膝部分 9 1 が屈曲すると静電容量型センサ 1 0 の両端 P_1 , P_2 を通じて曲げモーメントが静電容量型センサ 1 0 の全体に作用する。

【 0 0 6 4 】

これにより、図 2 (a) に示された膝部分の伸長状態から、図 2 (b) に示されているように前方に踏み出した屈曲状態をとることで、静電容量型センサ 1 0 には、両端 P_1 , P_2 間で円弧状の湾曲が生じる。そして、この湾曲状態の曲率半径 R が、膝部分 9 1 の屈曲角度 θ に対応した値となる。

40

【 0 0 6 5 】

上述のように、変形検出システム 1 によって、計測対象に貼付けられた静電容量型センサ 1 0 の静電容量を検出し、計測対象の屈曲に伴って曲げ変形が生じる静電容量型センサ 1 0 の静電容量の初期形状からの変化量を求めることで、静電容量の変化量から静電容量型センサ 1 0 の曲げ角度 θ を算出することができる。

【 0 0 6 6 】

50

なお、本実施形態では、静電容量型センサ 10 の長さ方向の中央点 P 0 が膝部分 9 1 と一致するように設定したが、これに限られるものではなく、静電容量型センサ 10 の曲率と計測部分の曲率とが一致していればよい。具体的には、静電容量型センサ 10 が膝部分 9 1 を十分に跨いだ状態で張り付けられていればよい。

【0067】

図 7 は、図 1 に示された本実施形態の静電容量型センサ 10 を人体の膝部分に貼付け、モーションキャプチャによって実測された膝部分の湾曲変形角度と、静電容量変化量の検出値とを示すグラフである。このグラフは横軸に時間 (s) をとり、縦軸に湾曲変形角度及び静電容量変化量をとっている。モーションキャプチャによって実測された膝部分の湾曲変形角度を破線で示し、静電容量変化量の検出値を実線で示している。

10

【0068】

なお、各絶縁層は、エラストマ製の厚さが約 0.1 mm、誘電率 5、伸び率 100% のシートを採用した。また、各導電層としては、エラストマ製の厚さが約 0.1 mm、表面抵抗率 $1 \Omega / sq$ 、伸び率 100%、導電性フィラー配合量 50 ~ 60 質量% のシートを採用した。

【0069】

図 7 のグラフに示された実験結果から、本発明の静電容量型センサ 10 を備えた変位検出システム 1 が、人体の変形を精度よく検出できることがわかる。

【0070】

以上の構成により、本発明によれば、静電容量型センサ 10 は、第 1 コンデンサ 2 1 と第 2 コンデンサ 2 2 とが、第 3 導電層 1 3 を共有して構成されているので、第 1 コンデンサ 1 1 と第 2 コンデンサ 1 2 とを個別に設ける場合に比べて、基準部材と基準部材の一方側に配置される導電層との 2 つの部材が不要になるので、静電容量型センサ 10 の厚みが低減する。その結果、静電容量型センサ 10 の剛性が低減されて、計測対象の変形への追従性を向上できる。(計測対象の変形が阻害されることが抑制できる。) また、部材の削減によって、コストも低減できる。

20

【0071】

さらに、第 1 コンデンサ 2 1 と第 2 コンデンサ 2 2 とは、第 3 導電層 1 3 を共有しているため、第 1 コンデンサ 2 1 と第 2 コンデンサ 2 2 の静電容量の差分から曲げ変形を計測する場合に、第 1 コンデンサ 2 1 と第 2 コンデンサ 2 2 との間に基準部材を設ける場合に比べて、第 1 及び第 2 コンデンサ 2 1, 2 2 の特性が合わせやすく、コンデンサ 2 1, 2 2 のばらつきが抑制されるので、コンデンサ 2 1, 2 2 のばらつきを較正するためのコストを削減できる。

30

【0072】

変形前の状態において、第 1 コンデンサ 2 1 の静電容量 C 1 と、第 2 コンデンサ 2 2 の静電容量 C 2 とが同じになるように設定されているので、変形後の第 1 コンデンサ 2 1 の静電容量 C 1 と、第 2 コンデンサ 2 2 の静電容量 C 2 との差 ΔC から変形を検出できるので、変形前に第 1 コンデンサ 2 1 と第 2 コンデンサ 2 2 の静電容量に差がある場合に比して、変形量の算出が簡素化できる。変形前後の第 1 コンデンサ 2 1 の静電容量の変化量及び第 2 コンデンサ 2 2 の静電容量の変化量を求める必要がない。

40

【0073】

第 1 導電層 1 1 と第 2 導電層 1 2 は、同一の材料で構成されているので、第 1 コンデンサ 2 1 と、第 2 コンデンサ 2 2 の特性を一致させやすく、第 1 コンデンサ 2 1 と第 2 コンデンサ 2 2 のばらつきによるコストの増大が回避できる。

【0074】

各導電層 1 1, 1 2, 1 3 と各絶縁層 1 4, 1 5 の伸長率が 120% 以上に設定されているので、計測対象に対する良好な追従性が得られる。

【0075】

各導電層 1 1, 1 2, 1 3 と各絶縁層 1 4, 1 5 の厚さが 0.5 mm 以下に設定されているので、静電容量型センサ 10 の剛性が計測対象の変形を阻害することがない。

50

【 0 0 7 6 】

各導電層 1 1 , 1 2 , 1 3 の表面抵抗率が $100 \Omega / sq$ 以下に設定されているので、導電層内に配合される導電性フィラーの配合量が多いほど導電性フィラー同士の接触が増加し、導電層内の電荷の分布の偏りが抑制されて計測精度を向上できる。また、導電層内導電性フィラー間での静電容量型の結合が抑制されて、応答性と計測精度を確保できる。

【 0 0 7 7 】

各絶縁層 1 4 , 1 5 の誘電率が 3 以上に設定されているので、誘電率を高めることで、静電容量を増大させることができるので、変形時の静電容量が計測しやすく、計測対象の変形を計測しやすい。

10

【 0 0 7 8 】

以上、上述の実施形態を挙げて本発明を説明したが、本発明は上述の実施形態に限定されるものではない。

【 0 0 7 9 】

実施形態においては、第 1 コンデンサ 2 1 と第 2 コンデンサ 2 2 の変形前状態の静電容量が一致しており、第 1 及び第 2 コンデンサ 2 1 , 2 2 の湾曲変形時に変化する静電容量 ($C 1$, $C 2$) の差 ($\Delta C = C 1 - C 2$) に基づいて曲げ角度を算出することを例に説明したが、これに限られるものではない。

【 0 0 8 0 】

例えば、第 1 コンデンサ 2 1 と第 2 コンデンサ 2 2 の変形前の状態の静電容量に差があってもよい。この場合、変形時の第 1 及び第 2 コンデンサ 2 1 , 2 2 の静電容量 ($C 1$, $C 2$) から予めコンデンサ 2 1 , 2 2 の仕様によって設定されている変形前の各静電容量 $C 1 0$, $C 2 0$ を除いた変化量 ($\Delta C 1 = C 1 - C 1 0$, $\Delta C 2 = C 2 - C 2 0$) の差 ($\Delta C 1 - \Delta C 2$) から曲げを検出してもよい。

20

【 0 0 8 1 】

また、本実施形態では、静電容量型センサ 1 0 の製造方法として、各導電層及び各絶縁層を予め所定の大きさに切り出した後に熱圧着する構成を説明したが、これに限られるものではない。例えば、既製品の各導電層及び各絶縁層を積層させて熱圧着させた後に所定の大きさに切り出して製造してもよい。

【 0 0 8 2 】

また、本実施形態では、静電容量型センサ 1 0 の製造方法として、各導電層及び各絶縁層のそれぞれを接着するためのホットメルトシートを用いる構成を説明したが、これに限られるものではない。例えば、各導電層及び各絶縁層を未加硫の状態に積層し、所定の条件下でプレスして加硫接着してもよい。この場合、各導電層及び各絶縁層とは、ホットメルトシートを用いずに、互いの粘着力により接着されてもよい。

30

【 0 0 8 3 】

また、例えば、静電容量型センサ 1 0 を構成する絶縁層 1 3 と一対の導電層 1 1 , 1 2 を複数積層することも可能であり、静電容量の変化量を大きくして測定精度の向上を図ることもできる。

【 0 0 8 4 】

実施形態では、膝部分の変形を検出する静電容量型センサ 1 0 を備えた変形検出システム 1 に本発明を適用したものを例示したが、これに限られるものではなく、背中部分、肩、肘、胸部、股関節等の人体の変形を検出する静電容量型センサ 1 0 として、いずれも適用可能である。

40

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 8 5 】

以上のように、本発明によれば、計測対象の変形の阻害を抑制しつつ、計測対象の変形を計測することができる静電容量型センサを提供することができるから、静電容量型センサ関連産業の分野において好適に利用される可能性がある。

【 符号の説明 】

50

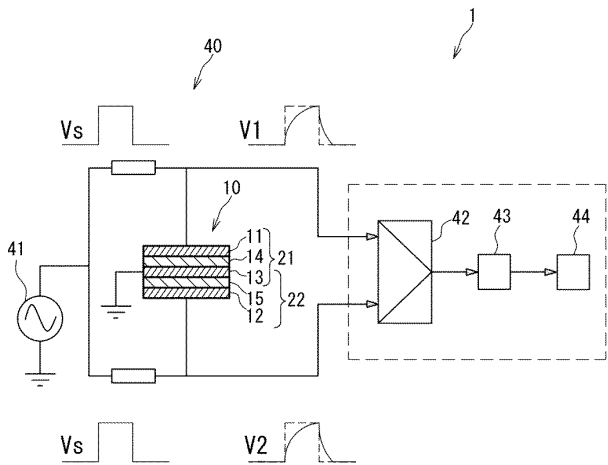
【 0 0 8 6 】

- 1 変形検出システム
- 1 0 静電容量型センサ。
- 1 1 第 1 導電層
- 1 2 第 2 導電層
- 1 3 第 3 導電層
- 1 4 第 1 絶縁層
- 1 5 第 2 絶縁層と
- 2 1 第 1 コンデンサ
- 2 2 第 2 コンデンサ

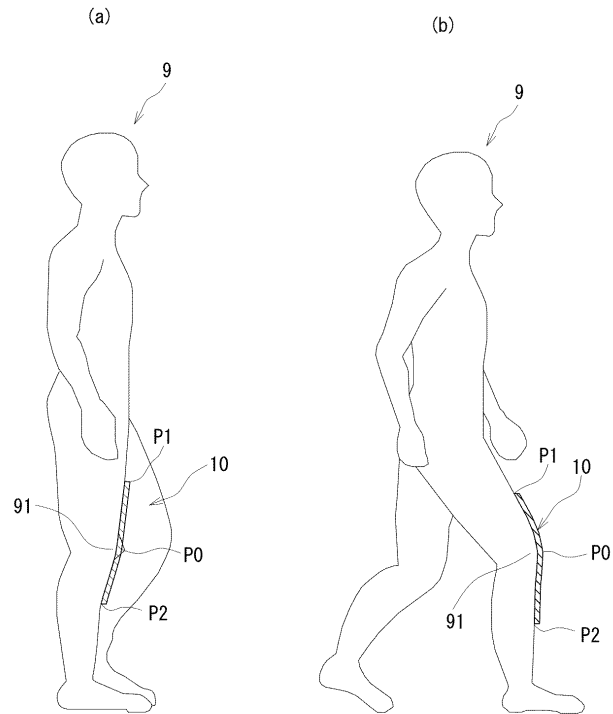
10

【 図 面 】

【 図 1 】



【 図 2 】



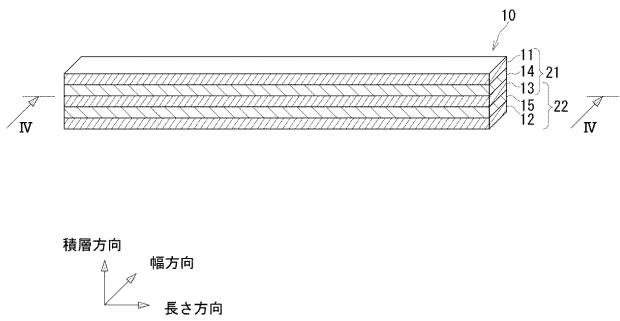
20

30

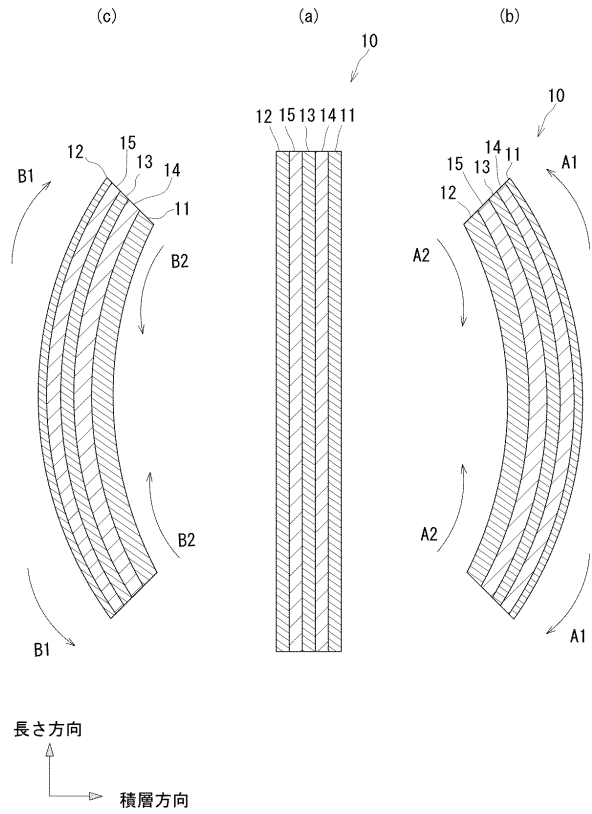
40

50

【図 3】



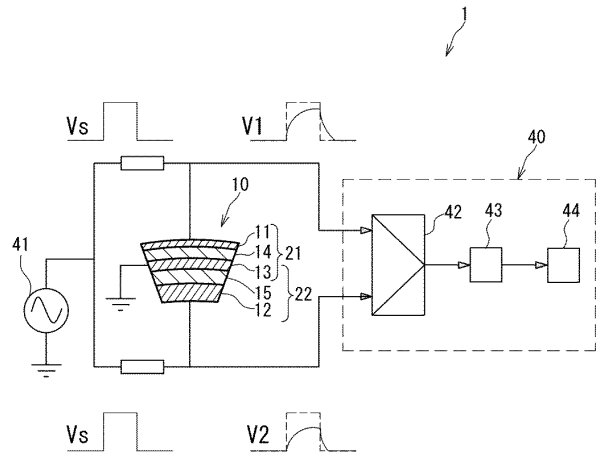
【図 4】



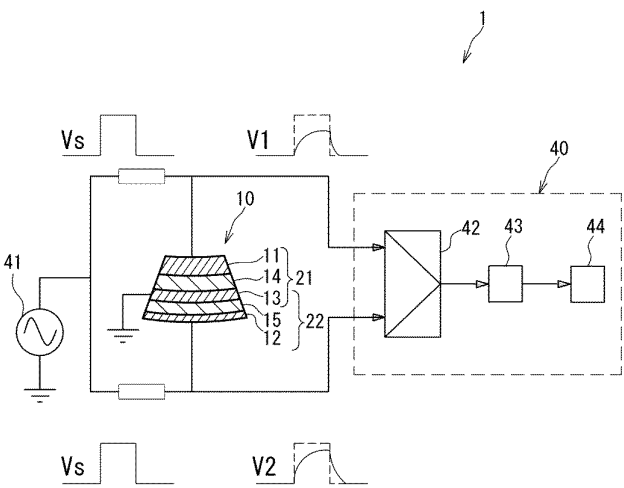
10

20

【図 5】



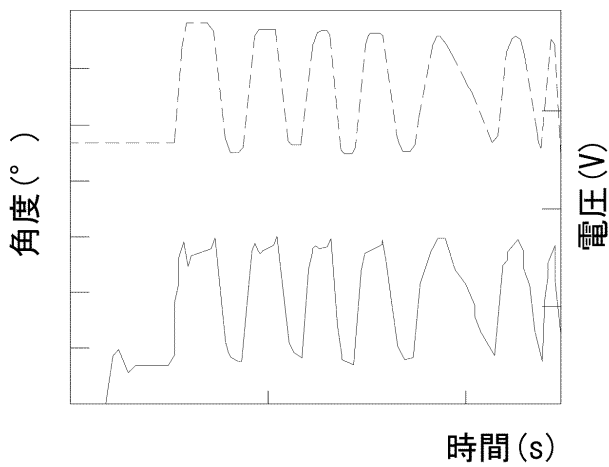
【図 6】



30

40

【 図 7 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

大学 びわこ・くさつキャンパス内

(72)発明者 岡田 志麻

滋賀県草津市野路東 1 - 1 - 1 立命館大学 びわこ・くさつキャンパス内

F ターム (参考) 2F063 AA25 BA29 BB01 BD11 CA09 CA10 CC07 DA02 DA05 DC08
DD02 EC03 EC07 EC14 EC15 EC24