

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6753615号
(P6753615)

(45) 発行日 令和2年9月9日(2020.9.9)

(24) 登録日 令和2年8月24日(2020.8.24)

(51) Int.Cl.		F I			
GO 1 L	5/00	(2006.01)	GO 1 L	5/00	1 O 1 Z
GO 1 L	5/1623	(2020.01)	GO 1 L	5/1623	
GO 1 L	1/20	(2006.01)	GO 1 L	1/20	B

請求項の数 12 (全 37 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2018-549097 (P2018-549097)</p> <p>(86) (22) 出願日 平成29年11月6日 (2017.11.6)</p> <p>(86) 国際出願番号 PCT/JP2017/039936</p> <p>(87) 国際公開番号 W02018/084284</p> <p>(87) 国際公開日 平成30年5月11日 (2018.5.11)</p> <p>審査請求日 令和2年6月23日 (2020.6.23)</p> <p>(31) 優先権主張番号 特願2016-216304 (P2016-216304)</p> <p>(32) 優先日 平成28年11月4日 (2016.11.4)</p> <p>(33) 優先権主張国・地域又は機関 日本国 (JP)</p>	<p>(73) 特許権者 504229284 国立大学法人弘前大学 青森県弘前市文京町1番地</p> <p>(74) 代理人 100108372 弁理士 谷田 拓男</p> <p>(72) 発明者 笹川 和彦 青森県弘前市文京町1番地 国立大学法人 弘前大学内</p> <p>審査官 森 雅之</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分布測定センサ、分布測定センサシステム、分布測定プログラムおよび記録媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

平面の各軸（x軸、y軸）方向のせん断応力と該平面に垂直な軸（z軸）方向の接触圧力とを測定するセンサユニットをマトリックス状に配置した構造を有する分布測定センサであって、

前記センサユニットは、

せん断応力及び接触圧力の測定に共通に用いられる上部電極と、該上部電極と感圧材料を介して配置された下部電極であってせん断応力、接触圧力の各測定に個別に用いられる電極から構成されるものと、

前記上部電極と前記下部電極との間に働くx軸方向のせん断応力を測定するx軸せん断応力測定部と、

前記上部電極と前記下部電極との間に働くy軸方向のせん断応力を測定するy軸せん断応力測定部と、

前記上部電極のz軸方向に働く接触圧力を測定する接触圧力測定部とを有しており、

前記マトリックスの同じ列に配置された各センサユニットは各上部電極が該列方向に共通に接続され、前記マトリックスの同じ行に配置された各センサユニットは前記x軸せん断応力測定部、前記y軸せん断応力測定部、前記接触圧力測定部の各下部電極側が各々該行方向に共通に接続されたことを特徴とする分布測定センサ。

【請求項2】

請求項1記載の分布測定センサにおいて、

前記 x 軸せん断応力測定部及び前記 y 軸せん断応力測定部は各々前記上部電極の一部と各測定部の前記下部電極側の一部とが上下に (z 軸方向に) 重なる領域を有し、

前記 x 軸せん断応力測定部は、 x 軸方向のせん断応力が働いた場合に前記重なる領域における感圧材料の x 軸方向のせん断変形による電気抵抗値の変化に基づき x 軸方向のせん断応力を測定し、

前記 y 軸せん断応力測定部は、 y 軸方向のせん断応力が働いた場合に前記重なる領域における感圧材料の y 軸方向のせん断変形による電気抵抗値の変化に基づき y 軸方向のせん断応力を測定し、

前記接触圧力測定部は、前記上部電極の一部と該接触圧力測定部の前記下部電極側の全部とが上下に (z 軸方向に) 重なる領域を有し、 z 軸方向の接触圧力が働いた場合に該重なる領域における感圧材料の z 軸方向の変形による電気抵抗値の変化に基づき z 軸方向の接触圧力を測定することを特徴とする分布測定センサ。

10

【請求項 3】

請求項 2 記載の分布測定センサにおいて、

前記上部電極は x 軸方向に平行な辺を有する x 軸平行部分と y 軸方向に平行な辺を有する y 軸平行部分とを有する所定の形状であり、

前記 x 軸せん断応力測定部の下部電極側は前記上部電極より小さい矩形であって、該矩形の一部の面積が前記 y 軸平行部分と上下に (z 軸方向に) 重なり、

前記 y 軸せん断応力測定部の下部電極側は前記上部電極より小さい矩形であって、該矩形の一部の面積が前記 x 軸平行部分と上下に (z 軸方向に) 重なり、

20

前記接触圧力測定部の下部電極側は前記上部電極より小さい所定の形状であって、該所定の形状の全部の面積が前記上部電極に重なることを特徴とする分布測定センサ。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の分布測定センサにおいて、前記上部電極及び前記下部電極は銅張ポリイミドフィルムを用い、前記感圧素材は導電性高分子材料を用いることを特徴とする分布測定センサ。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の分布測定センサにおいて、前記平面は生体と固体との界面であることを特徴とする分布測定センサ。

【請求項 6】

30

請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の分布測定センサを用いた分布測定センサシステムであって、

前記マトリックスの同じ列に配置された各センサユニットの各上部電極を該列方向に共通に接続した各列ラインを、入力した選択信号に基づき選択可能に構成されたりレー部と、

前記マトリックスの同じ行に配置された各センサユニットの接触圧力測定部の下部電極、 x 軸せん断応力測定部の下部電極、 y 軸せん断応力測定部の下部電極を各々該行方向に共通に接続した各行ラインに、入力側が接続した各反転増幅回路により構成された反転増幅回路部と、

前記反転増幅回路部を構成する各反転増幅回路に入力側が接続した A / D 変換部と、

40

前記 A / D 変換部の出力側と前記リレー部の入力側とに接続されたコンピュータとを備え、

前記コンピュータから前記リレー部へ選択信号が出力され、該リレー部で該選択信号に基づき列ラインが選択され、該列ラインに接続された各センサユニットの各上部電極へ該リレー部に供給された電源電圧が印加され、該列ラインに接続された各センサユニットの接触圧力測定部、 x 軸せん断応力測定部、 y 軸せん断応力測定部に対して働いた各接触圧力、 x 軸せん断応力、 y 軸せん断応力に基づく電圧が、各接触圧力測定部、 x 軸せん断応力測定部、 y 軸せん断応力測定部の各下部電極から各行ラインへ出力され、該各行ラインに接続された前記反転増幅回路部の各反転増幅回路からの各出力電圧が前記 A / D 変換部へ出力され、該 A / D 変換部からの出力が該コンピュータへ出力されることにより、該コ

50

コンピュータは、該選択信号により選択された一列分の各センサユニットからの接触圧力、 x 軸せん断応力、 y 軸せん断応力に基づく電圧を処理し、次の列ラインを選択する選択信号を出力することを繰返すことを特徴とする分布測定センサシステム。

【請求項 7】

請求項 6 記載の分布測定センサシステムにおいて、

前記 A / D 変換部は、前記反転増幅回路部を構成する反転増幅回路に各々スイッチを介して入力側が接続され、前記コンピュータは、

前記マトリックスの指定された列を選択する選択信号を前記リレー部へ出力させる選択信号制御手段と、

前記選択信号制御手段により出力された選択信号により選択された列について、一列分の各センサユニットからの接触圧力、 x 軸せん断応力、 y 軸せん断応力に基づく前記反転増幅回路部の各反転増幅回路からの出力電圧を、前記 A / D 変換部の各スイッチを選択することにより該 A / D 変換部へ順次入力させる A / D 変換部制御手段と、

前記 A / D 変換部制御手段により前記 A / D 変換部へ入力され該 A / D 変換部により A / D 変換された各センサユニットからの接触圧力、 x 軸せん断応力、 y 軸せん断応力に基づく電圧データを、各センサユニット毎の接触圧力記録域、 x 軸せん断応力記録域、 y 軸せん断応力記録域に記録する電圧データ記録手段と、

前記センサユニットに働く接触圧力、 x 軸せん断応力、 y 軸せん断応力と各下部電極に接続された各反転増幅回路からの各出力電圧との間の所定の測定原理による関係に基づき、前記電圧データ記録手段により各センサユニット毎に接触圧力記録域、 x 軸せん断応力記録域、 y 軸せん断応力記録域に記録された各電圧データを、各センサユニットに働く接触圧力、 x 軸せん断応力、 y 軸せん断応力へ換算する換算手段と、

前記換算手段により換算された各センサユニットに働く接触圧力、 x 軸せん断応力、 y 軸せん断応力を所定の表示形式で前記コンピュータの出力表示部に表示する表示手段と、

前記選択信号制御手段により出力された選択信号により選択された列の次の列を指定して、前記選択信号制御手段からの処理を繰返させる繰返し手段とを備えたことを特徴とする分布測定センサシステム。

【請求項 8】

請求項 7 記載の分布測定センサシステムにおいて、前記換算手段における前記センサユニットに働く接触圧力と下部電極に接続された反転増幅回路からの出力電圧との間の所定の測定原理は、

電源電圧 (E)、接触圧力に基づく前記反転増幅回路部の反転増幅回路からの出力電圧 (V_p)、反転増幅回路の帰還抵抗 (R)、圧力が無負荷時の上部電極と下部電極との間の抵抗 (R_0)、接触圧力が負荷時の上部電極と下部電極との間の抵抗変化量 (R_p) とすると、以下の式 1 のように、

【数 1】

$$\frac{V_p}{E} = \frac{R}{(R_0 + \Delta R_p)} \quad (1)$$

接触圧力による出力電圧 (V_p) は接触圧力による抵抗変化量 (R_p) のみで表せるといふ測定原理であることを特徴とする分布測定センサシステム。

【請求項 9】

請求項 7 又は 8 記載の分布測定センサシステムにおいて、前記換算手段における前記センサユニットに働く x 軸せん断応力、 y 軸せん断応力と下部電極に接続された各反転増幅回路からの各出力電圧との間の所定の測定原理は、

電源電圧 (E)、接触圧力に基づく前記反転増幅回路部の反転増幅回路からの出力電圧 (V_p)、せん断応力に基づく前記反転増幅回路部の反転増幅回路からの出力電圧 (V : x 軸分 V_x と y 軸分 V_y との総称)、反転増幅回路の帰還抵抗 (R)、せん断応力

10

20

30

40

50

が負荷時の上部電極と下部電極との間の抵抗変化量（ R_x : x軸分 R_y と y軸分 R_z との総称）とすると、以下の式2のように、

【数2】

$$\left(\frac{1}{V_\tau} - \frac{1}{V_p} \right) \times E = - \frac{\Delta R_\tau}{R} \quad (2)$$

接触圧力による出力電圧（ V_p ）とせん断応力による出力電圧（ V_τ ）とはせん断応力による抵抗変化量（ R ）のみで表せるという測定原理であることを特徴とする分布測定センサシステム。

10

【請求項10】

請求項7乃至9のいずれかに記載の分布測定センサシステムにおいて、前記表示手段における所定の表示形式は、前記マトリクスに対応させて前記センサユニットの表示を配置し、該センサユニット毎に、接触圧力の大小を所定の色別で示し、x軸せん断応力及びy軸せん断応力を合成したせん断応力をベクトルで示すことを特徴とする分布測定センサシステム。

【請求項11】

請求項6乃至10のいずれかに記載の分布測定センサシステムにおける前記コンピュータを動作させる分布測定プログラムであって、該コンピュータに、

20

前記マトリクスの指定された列を選択する選択信号を前記リレー部へ出力させる選択信号制御ステップ、

前記選択信号制御ステップで出力された選択信号により選択された列について、一列分の各センサユニットからの接触圧力、x軸せん断応力、y軸せん断応力に基づく前記反転増幅回路部の各反転増幅回路からの出力電圧を、前記A/D変換部の各スイッチを選択することにより該A/D変換部へ順次入力させるA/D変換部制御ステップ、

前記A/D変換部制御ステップで前記A/D変換部へ入力され該A/D変換部によりA/D変換された各センサユニットからの接触圧力、x軸せん断応力、y軸せん断応力に基づく電圧データを、各センサユニット毎の接触圧力記録域、x軸せん断応力記録域、y軸せん断応力記録域に記録する電圧データ記録ステップ、

30

前記センサユニットに働く接触圧力、x軸せん断応力、y軸せん断応力と下部電極に接続された各反転増幅回路からの各出力電圧との間の所定の測定原理による関係に基づき、前記電圧データ記録ステップで各センサユニット毎に接触圧力記録域、x軸せん断応力記録域、y軸せん断応力記録域に記録された各電圧データを、各センサユニットに働く接触圧力、x軸せん断応力、y軸せん断応力へ換算する換算ステップ、

前記換算ステップで換算された各センサユニットに働く接触圧力、x軸せん断応力、y軸せん断応力を所定の表示形式で前記コンピュータの出力表示部に表示する表示ステップ

、
前記選択信号制御ステップで出力された選択信号により選択された列の次の列を指定して、前記選択信号制御ステップからの処理を繰返させる繰返しステップを実行させるための分布測定プログラム。

40

【請求項12】

請求項11記載の分布測定プログラムを記録したコンピュータ読取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、平面の各軸（x軸、y軸）方向のせん断応力と当該平面に垂直な軸（z軸）

50

方向の接触圧力とを同時に測定可能な分布測定センサ、当該分布測定センサを用いた分布測定センサシステム、分布測定プログラム等に関する。

【背景技術】

【0002】

固体接触面、特に生体と物体との界面に生じる接触圧力およびせん断応力の測定は、スポーツ工学または医学等の様々な分野において需要が高い。しかし、それらの測定に用いられるセンサは厚さがある上に硬いため、生体と物体との界面に生じる接触圧力およびせん断応力の直接的な測定ができないという問題点があった。

上記問題点を解決するため、近年、導電性高分子材料であるポリピロール薄膜を感圧素子に用いた薄くてしなやかな接触圧力およびせん断応力を測定するセンサ装置が開発された（特許文献1参照）。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特許第5688792号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、上記センサ装置は単独で機能する構造であったため、触覚の分布を捉えるには多数のセンサ装置を集積化する必要があった。集積化するには多数のセンサ装置への取り回し配線の領域が増大し、設計が煩雑となる上、製造コストが増大するという問題があった。このため、生体と物体との界面に適用可能な高空間分解能を有するセンサは未だ実現していない。

20

【0005】

そこで、本発明の目的は上記問題を解決するためになされたものであり、生体と物体との界面に働く接触圧力およびせん断応力の測定に適用可能な薄くてしなやかなセンサ装置の特徴を備えつつ、且つ触覚の分布を捉えるために多数のセンサ装置を集積化しても取り回し配線の領域を格段に減らすことができ、設計がシンプルとなる上、製造コストの増大を抑えることができる高空間分解能を有する分布測定センサシステム等を提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0006】

この発明の分布測定センサは、平面の各軸（ x 軸、 y 軸）方向のせん断応力と該平面に垂直な軸（ z 軸）方向の接触圧力とを測定するセンサユニットをマトリックス状に配置した構造を有する分布測定センサであって、前記センサユニットは、せん断応力及び接触圧力の測定に共通に用いられる上部電極と、該上部電極と感圧材料を介して配置された下部電極であってせん断応力、接触圧力の各測定に個別に用いられる電極から構成されるものと、前記上部電極と前記下部電極との間に働く x 軸方向のせん断応力を測定する x 軸せん断応力測定部と、前記上部電極と前記下部電極との間に働く y 軸方向のせん断応力を測定する y 軸せん断応力測定部と、前記上部電極の z 軸方向に働く接触圧力を測定する接触圧力測定部とを有しており、前記マトリックスの同じ列に配置された各センサユニットは各上部電極が該列方向に共通に接続され、前記マトリックスの同じ行に配置された各センサユニットは前記 x 軸せん断応力測定部、前記 y 軸せん断応力測定部、前記接触圧力測定部の各下部電極側が各々該行方向に共通に接続されたことを特徴とする。

40

【0007】

ここで、この発明の分布測定センサにおいて、前記 x 軸せん断応力測定部及び前記 y 軸せん断応力測定部は各々前記上部電極の一部と各測定部の前記下部電極側の一部とが上下に（ z 軸方向に）重なる領域を有し、前記 x 軸せん断応力測定部は、 x 軸方向のせん断応力が働いた場合に前記重なる領域における感圧材料の x 軸方向のせん断変形による電気抵抗値の変化に基づき x 軸方向のせん断応力を測定し、前記 y 軸せん断応力測定部は、 y 軸

50

方向のせん断応力が働いた場合に前記重なる領域における感圧材料の y 軸方向のせん断変形による電気抵抗値の変化に基づき y 軸方向のせん断応力を測定し、前記接触圧力測定部は、前記上部電極の一部と該接触圧力測定部の前記下部電極側の全部とが上下に (z 軸方向に) 重なる領域を有し、 z 軸方向の接触圧力が働いた場合に該重なる領域における感圧材料の z 軸方向の変形による電気抵抗値の変化に基づき z 軸方向の接触圧力を測定することができる。

【 0 0 0 8 】

ここで、この発明の分布測定センサにおいて、前記上部電極は x 軸方向に平行な辺を有する x 軸平行部分と y 軸方向に平行な辺を有する y 軸平行部分とを有する所定の形状であり、前記 x 軸せん断応力測定部の下部電極側は前記上部電極より小さい矩形であって、該矩形の一部の面積が前記 y 軸平行部分と上下に (z 軸方向に) 重なり、前記 y 軸せん断応力測定部の下部電極側は前記上部電極より小さい矩形であって、該矩形の一部の面積が前記 x 軸平行部分と上下に (z 軸方向に) 重なり、前記接触圧力測定部の下部電極側は前記上部電極より小さい所定の形状であって、該所定の形状の全部の面積が前記上部電極に重なるものとする事ができる。

10

【 0 0 0 9 】

ここで、この発明の分布測定センサにおいて、前記上部電極及び前記下部電極は銅張ポリイミドフィルムを用い、前記感圧素材は導電性高分子材料を用いることができる。

【 0 0 1 0 】

ここで、この発明の分布測定センサにおいて、前記平面は生体と固体との界面であるものとする事ができる。

20

【 0 0 1 1 】

この発明の分布測定センサシステムは、本発明のいずれかの分布測定センサを用いた分布測定センサシステムであって、前記マトリックスの同じ列に配置された各センサユニットの各上部電極を該列方向に共通に接続した各列ラインを、入力した選択信号に基づき選択可能に構成されたりレー部と、前記マトリックスの同じ行に配置された各センサユニットの接触圧力測定部の下部電極、 x 軸せん断応力測定部の下部電極、 y 軸せん断応力測定部の下部電極を各々該行方向に共通に接続した各行ラインに、入力側が接続した各反転増幅回路により構成された反転増幅回路部と、前記反転増幅回路部を構成する各反転増幅回路に入力側が接続した A / D 変換部と、前記 A / D 変換部の出力側と前記リレー部の入力側とに接続されたコンピュータとを備え、前記コンピュータから前記リレー部へ選択信号が出力され、該リレー部で該選択信号に基づき列ラインが選択され、該列ラインに接続された各センサユニットの各上部電極へ該リレー部に供給された電源電圧が印加され、該列ラインに接続された各センサユニットの接触圧力測定部、 x 軸せん断応力測定部、 y 軸せん断応力測定部に対して働いた各接触圧力、 x 軸せん断応力、 y 軸せん断応力に基づく電圧が、各接触圧力測定部、 x 軸せん断応力測定部、 y 軸せん断応力測定部の各下部電極から各行ラインへ出力され、該各行ラインに接続された前記反転増幅回路部の各反転増幅回路からの各出力電圧が前記 A / D 変換部へ出力され、該 A / D 変換部からの出力が該コンピュータへ出力されることにより、該コンピュータは、該選択信号により選択された一列分の各センサユニットからの接触圧力、 x 軸せん断応力、 y 軸せん断応力に基づく電圧を処理し、次の列ラインを選択する選択信号を出力することを繰返すことを特徴とする。

30

40

【 0 0 1 2 】

ここで、この発明の分布測定センサシステムにおいて、前記 A / D 変換部は、前記反転増幅回路部を構成する反転増幅回路に各々スイッチを介して入力側が接続され、前記コンピュータは、前記マトリックスの指定された列を選択する選択信号を前記リレー部へ出力させる選択信号制御手段と、前記選択信号制御手段により出力された選択信号により選択された列について、一列分の各センサユニットからの接触圧力、 x 軸せん断応力、 y 軸せん断応力に基づく前記反転増幅回路部の各反転増幅回路からの出力電圧を、前記 A / D 変換部の各スイッチを選択することにより該 A / D 変換部へ順次入力させる A / D 変換部制御手段と、前記 A / D 変換部制御手段により前記 A / D 変換部へ入力され該 A / D 変換部

50

により A / D 変換された各センサユニットからの接触圧力、x 軸せん断応力、y 軸せん断応力に基づく電圧データを、各センサユニット毎の接触圧力記録域、x 軸せん断応力記録域、y 軸せん断応力記録域に記録する電圧データ記録手段と、前記センサユニットに働く接触圧力、x 軸せん断応力、y 軸せん断応力と各下部電極に接続された各反転増幅回路からの各出力電圧との間の所定の測定原理による関係に基づき、前記電圧データ記録手段により各センサユニット毎に接触圧力記録域、x 軸せん断応力記録域、y 軸せん断応力記録域に記録された各電圧データを、各センサユニットに働く接触圧力、x 軸せん断応力、y 軸せん断応力へ換算する換算手段と、前記換算手段により換算された各センサユニットに働く接触圧力、x 軸せん断応力、y 軸せん断応力を所定の表示形式で前記コンピュータの出力表示部に表示する表示手段と、前記選択信号制御手段により出力された選択信号により選択された列の次の列を指定して、前記選択信号制御手段からの処理を繰返させる繰返し手段とを備えることができる。

10

【0013】

ここで、この発明の分布測定センサシステムにおいて、前記換算手段における前記センサユニットに働く接触圧力と下部電極に接続された反転増幅回路からの出力電圧との間の所定の測定原理は、電源電圧 (E)、接触圧力に基づく前記反転増幅回路部の反転増幅回路からの出力電圧 (V_p)、反転増幅回路の帰還抵抗 (R)、圧力が無負荷時の上部電極と下部電極との間の抵抗 (R_0)、接触圧力が負荷時の上部電極と下部電極との間の抵抗変化量 (R_p) とすると、以下の式 5 (特許請求の範囲では式 1) のように、

【0014】

20

【数 1】

$$\frac{V_p}{E} = - \frac{R}{(R_0 + \Delta R_p)} \quad (5)$$

【0015】

接触圧力による出力電圧 (V_p) は接触圧力による抵抗変化量 (R_p) のみで表せるという測定原理である。

【0016】

30

ここで、この発明の分布測定センサシステムにおいて、前記換算手段における前記センサユニットに働く x 軸せん断応力、y 軸せん断応力と下部電極に接続された各反転増幅回路からの各出力電圧との間の所定の測定原理は、電源電圧 (E)、接触圧力に基づく前記反転増幅回路部の反転増幅回路からの出力電圧 (V_p)、せん断応力に基づく前記反転増幅回路部の反転増幅回路からの出力電圧 (V : x 軸分 V_x と y 軸分 V_y との総称)、反転増幅回路の帰還抵抗 (R)、せん断応力が負荷時の上部電極と下部電極との間の抵抗変化量 (R : x 軸分 R_x と y 軸分 R_y との総称) とすると、以下の式 6 (特許請求の範囲では式 2) のように、

【0017】

【数 2】

40

$$\left(\frac{1}{V_t} - \frac{1}{V_p} \right) \times E = - \frac{\Delta R_t}{R} \quad (6)$$

【0018】

接触圧力による出力電圧 (V_p) とせん断応力による出力電圧 (V) とはせん断応力による抵抗変化量 (R) のみで表せるという測定原理である。

【0019】

ここで、この発明の分布測定センサシステムにおいて、前記表示手段における所定の表

50

示形式は、前記マトリックスに対応させて前記センサユニットの表示を配置し、該センサユニット毎に、接触圧力の大小を所定の色別で示し、 x 軸せん断応力及び y 軸せん断応力を合成したせん断応力をベクトルで示すことができる。

【0020】

この発明の分布測定プログラムは、本発明のいずれかの分布測定センサシステムにおける前記コンピュータを動作させる分布測定プログラムであって、該コンピュータに、前記マトリックスの指定された列を選択する選択信号を前記リレー部へ出力させる選択信号制御ステップ、前記選択信号制御ステップで出力された選択信号により選択された列について、一列分の各センサユニットからの接触圧力、 x 軸せん断応力、 y 軸せん断応力に基づく前記反転増幅回路部の各反転増幅回路からの出力電圧を、前記A/D変換部の各スイッチを選択することにより該A/D変換部へ順次入力させるA/D変換部制御ステップ、前記A/D変換部制御ステップで前記A/D変換部へ入力され該A/D変換部によりA/D変換された各センサユニットからの接触圧力、 x 軸せん断応力、 y 軸せん断応力に基づく電圧データを、各センサユニット毎の接触圧力記録域、 x 軸せん断応力記録域、 y 軸せん断応力記録域に記録する電圧データ記録ステップ、前記センサユニットに働く接触圧力、 x 軸せん断応力、 y 軸せん断応力と下部電極に接続された各反転増幅回路からの各出力電圧との間の所定の測定原理による関係に基づき、前記電圧データ記録ステップで各センサユニット毎に接触圧力記録域、 x 軸せん断応力記録域、 y 軸せん断応力記録域に記録された各電圧データを、各センサユニットに働く接触圧力、 x 軸せん断応力、 y 軸せん断応力へ換算する換算ステップ、前記換算ステップで換算された各センサユニットに働く接触圧力、 x 軸せん断応力、 y 軸せん断応力を所定の表示形式で前記コンピュータの出力表示部に表示する表示ステップ、前記選択信号制御ステップで出力された選択信号により選択された列の次の列を指定して、前記選択信号制御ステップからの処理を繰返させる繰返しステップを実行させるための分布測定プログラムである。

【0021】

この発明の記録媒体は、本発明の分布測定プログラムを記録したコンピュータ読取り可能な記録媒体である。

【発明の効果】

【0022】

本発明の分布測定センサは、平面の各軸(x 軸、 y 軸)方向のせん断応力と、当該平面に垂直な軸(z 軸)方向の接触圧力とを測定するセンサユニットをマトリックスの各要素に配置した構造を有している。センサユニットは上部電極と感圧材料を介して上部電極の下側に配置された下部電極とから構成されている。マトリックスの同じ列に配置された x 軸方向の各センサユニットは各上部電極が列方向(x 軸方向)に共通に接続線により接続されている。マトリックスの同じ行に配置された y 軸方向の各センサユニットは各下部電極が行方向(y 軸方向)に共通に別の接続線により接続されている。各センサユニットは上部電極と下部電極とが上下方向(z 軸方向)で重なる領域において、上部電極と下部電極との間に働く x 軸方向のせん断応力を測定する x 軸せん断応力測定部、上部電極と下部電極との間に働く y 軸方向のせん断応力を測定する y 軸せん断応力測定部、および上部電極の z 軸方向に働く接触圧力を測定する接触圧力測定部を備えている。上部電極は、せん断応力の測定および接触圧力の測定に共通に用いられる。

【0023】

以上の本発明のセンサユニットの構成によれば、接触圧力測定部は x 軸方向のせん断応力、 y 軸方向のせん断応力に干渉されずに z 軸方向の接触圧力のみを検出することができる。このため、接触圧力と x 軸せん断応力および y 軸せん断応力との同時測定が可能となるという効果がある。

【0024】

上述したように、本発明の分布測定センサは多数のセンサユニット(測定点)を各共通の接続線により連結することによって、多くの測定点を上下電極の交点(マトリックスの要素)に配置した。このマトリックス状の構成により、測定点毎に一つずつスキャンして

10

20

30

40

50

接触圧力、せん断応力の情報を得るのではなく、マトリックスの1列を選択した状態で順次各行を選択することによりセンサユニット（交点）の情報を得ることができる。さらに、繰返し部により次の列を選択して前に選択した列の際と同様にセンサユニットの情報を得る行列型のスキャンを実施することができるという効果がある。

【0025】

以上より、本発明の分布測定センサシステムによれば、生体（指）と物体（容器）との界面に働く接触圧力、せん断応力の測定に適用可能な薄くてしなやかな分布測定センサという特徴を備えつつ、且つ触覚の分布を捉えるために多数のセンサユニットを集積化しても取り回し配線の領域を格段に減らすことができ、設計がシンプルとなる上、製造コストの増大を抑えることができ、高分解能を有する分布測定センサシステム等を提供することができるという効果がある。

10

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】本発明の分布測定センサ10を示す図である。

【図2】センサユニット U_{ij} を拡大した斜視図である。

【図3】図2に示されるセンサユニット U_{ij} の x 軸せん断応力測定部 U_{ij} 近傍における垂直方向断面図である。

【図4】図2に示されるセンサユニット U_{ij} の接触圧力測定部 U_{ij} 近傍における垂直方向断面図である。

【図5】センサユニット U_{ij} の形状例を示す平面図である。

20

【図6】図2に示されるセンサユニット U_{ij} の拡大斜視図と、それに関連付けた上部電極 U_{ijH} および下部電極 U_{ijL} の電極パターンを示す図である。

【図7】図6に示される上部電極 U_{ijH} および下部電極 U_{ijL} の電極パターン示す図と、当該下部電極 U_{ijL} の電極パターンの一部（センサユニット $U_{i+1, j+1}$ ）の拡大図である。

【図8】図6に示される上部電極 U_{ijH} および下部電極 U_{ijL} の電極パターンを示す図と、当該上部電極 U_{ijH} と当該下部電極 U_{ijL} の各電極パターンを上下（ z 軸方向。紙面に垂直な方向）に重ねた状態とを示す図である。

【図9】本発明の分布測定センサ10を用いた分布測定センサシステム40を示す図である。

30

【図10】分布測定センサシステム40における分布測定センサ10のマトリックス M の一部の電極パターンを示す図である。

【図11】オペアンプ部42のオペアンプ $42-R_i$ と、オペアンプ $42-R_i$ の出力電圧側に接続されるスイッチ部43 SW のスイッチ $43SW-R_i$ との拡大図である。

【図12】本発明の分布測定センサシステム40におけるコンピュータ $PC44$ の機能等ブロック50 F を示す図である。

【図13】本発明の分布測定センサシステム40におけるコンピュータ $PC44$ を動作させる分布測定プログラムの処理の流れを示すフローチャートである。

【図14】較正実験を行うために作製した較正装置70の機能を示すための概要図である。

40

【図15】実験1の結果である接触圧力 p に対する出力電圧変化 (V_p/E) を示すグラフである。

【図16】実験2の結果であるせん断応力 x に対する出力電圧変化 $[\{ (1/V) - (1/V_p) \} \times E]$ を示すグラフである。

【図17】実験3の結果である分布測定センサ10を円筒状の容器に接着し、人の指で持ち上げた際の接触圧力 p およびせん断応力 $(x+y)$ の分布を示す図である。

【図18】実験3の結果である分布測定センサ10を円筒状の容器（瓶等）に接着し、人の指で持ち上げた際の接触圧力 p およびせん断応力 $(x+y)$ の分布の他の例を示す図である。

【図19】センサユニット U_{ij} の他の形状例を示す平面図である。

50

【図20】センサユニット U_{ij} の別の形状例を示す平面図である。

【図21】各実施例において接続線 R_{i+1y} と上部電極 $U_{i+1j+1H}$ とが上下に重なる面積の諸影響を説明するための図である。

【図22】本発明の分布測定プログラムを実行するコンピュータPC44の内部回路100を示すブロック図である。

【図23】図3(A)、(B)とほぼ同様のセンサユニット U_{ij} の x 軸せん断応力測定部 U_{ij} x 近傍における垂直方向断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0027】

以下、各実施例について図面を参照して詳細に説明する。

10

【実施例1】

【0028】

図1は、本発明の分布測定センサ10を示す。図1に示されるように、分布測定センサ10は平面の各軸(x 軸、 y 軸)方向のせん断応力と、当該平面に垂直な軸(z 軸)方向の接触圧力とを測定するセンサユニット U_{ij} をマトリックス M の各要素に配置した構造を有している。 x 、 y 、 z 軸の方向は図1に示す座標軸の通りであり、以下の各図においても各軸の方向を適宜座標軸で示す。図1に示されるセンサユニット U_{ij} のマトリックス M では、 U_{ij} (行 $i = 1 \sim 4$ 、列 $j = 1 \sim 4$)を例示しているが、マトリックス M の行数および列数は 4×4 に限定されるものではない。図1に示されるセンサユニット U_{ij} 、例えばセンサユニット U_{11} は上部電極 U_{11H} と感圧材料(図1では不図示)を介して当該上部電極 U_{11H} の下側に配置された下部電極 U_{11L} とから構成されている。センサユニット U_{11} と同じ列にあるセンサユニット U_{21} 、 U_{31} 、 U_{41} も同様に各々上部電極 U_{21H} と下部電極 U_{21L} 、上部電極 U_{31H} と下部電極 U_{31L} 、上部電極 U_{41H} と下部電極 U_{41L} から構成されている。他のセンサユニット U_{ij} ($i = 1 \sim 4$ 、 $j = 2 \sim 4$)についても同様であり、図面の都合上、上部電極および下部電極の符号は省略する。図1に示されるように、マトリックス M の同じ列 j に配置された x 軸方向の各センサユニット U_{ij} ($i = 1 \sim 4$)は各上部電極 U_{ijH} ($i = 1 \sim 4$)が列 j 方向(x 軸方向)に共通に接続線 C_j により接続されている。加えて図1に示されるように、マトリックス M の同じ行 i に配置された y 軸方向の各センサユニット U_{ij} ($j = 1 \sim 4$)は各下部電極 U_{ijL} ($j = 1 \sim 4$)が行 i 方向(y 軸方向)に共通に接続線 R_i により接続されている。

20

30

【0029】

後に詳述するように、各センサユニット U_{ij} ($i = 1 \sim 4$ 、 $j = 1 \sim 4$)は上部電極 U_{ijH} ($i = 1 \sim 4$ 、 $j = 1 \sim 4$)と下部電極 U_{ijL} ($i = 1 \sim 4$ 、 $j = 1 \sim 4$)とが上下方向(z 軸方向)で重なる領域において、上部電極 U_{ijH} ($i = 1 \sim 4$ 、 $j = 1 \sim 4$)と下部電極 U_{ijL} ($i = 1 \sim 4$ 、 $j = 1 \sim 4$)との間に働く x 軸方向のせん断応力を測定する x 軸せん断応力測定部、上部電極 U_{ijH} ($i = 1 \sim 4$ 、 $j = 1 \sim 4$)と下部電極 U_{ijL} ($i = 1 \sim 4$ 、 $j = 1 \sim 4$)との間に働く y 軸方向のせん断応力を測定する y 軸せん断応力測定部、および上部電極 U_{ijH} ($i = 1 \sim 4$ 、 $j = 1 \sim 4$)の z 軸方向に働く接触圧力を測定する接触圧力測定部を備えている。図1に示されるように、マトリックス M の同じ行 i に配置された各センサユニット U_{ij} ($j = 1 \sim 4$)は各下部電極 U_{ijL} ($j = 1 \sim 4$)における、上記 x 軸せん断応力測定部、上記 y 軸せん断応力測定部、上記接触圧力測定部を構成する電極(後述する U_{ijLx} 、 U_{ijLy} 、 U_{ijLp})が行 i 方向に共通に各々接続線 R_{ix} 、 R_{iy} 、 R_{ip} により接続されている。

40

【0030】

図2は、センサユニット U_{ij} を拡大した斜視図を示す。図2で図1と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図2で、符号 U_{ijp} は接触圧力測定部を示し(円で囲んで示す)、 U_{ijLp} は接触圧力測定部 U_{ijp} を構成する下部電極であり、 p は上部電極 U_{ijH} に対して z 軸方向に働く接触圧力を示す。続いて、符号 U_{ijx} は x 軸せん断応力測定部を示し(円で囲んで示す)、 U_{ijLx} は x 軸せん断応力

50

測定部 U_{ijx} を構成する下部電極であり、 x は上部電極 U_{ijH} と下部電極 U_{ijLx} との間に働く x 軸方向のせん断応力を示す。図 2 で、符号 20 、 $20x$ 、 $20p$ は感圧材料であり、上部電極 U_{ijH} と左右の下部電極 U_{ijLx} および U_{ijLp} とは感圧材料 20 を介し対向して配置されている。上部電極 U_{ijH} は、せん断応力 x の測定 (x 軸せん断応力測定部 U_{ijx}) および接触圧力 p の測定 (接触圧力測定部 U_{ijp}) に共通に用いられる。図 2 に示される感圧材料 $20x$ および $20p$ は、上記した上部電極 U_{ijH} ($i = 1 \sim 4$ 、 $j = 1 \sim 4$) と下部電極 U_{ijL} ($i = 1 \sim 4$ 、 $j = 1 \sim 4$) とが上下に (z 軸方向に) 重なる領域における感圧材料 20 を示している。より詳しくは、感圧材料 $20x$ は x 軸せん断応力測定部 U_{ijx} において上部電極 U_{ijH} の一部と下部電極 U_{ijLx} の一部とが z 軸方向で重なる領域における感圧材料 20 を示し、感圧材料 $20p$ は接触圧力測定部 U_{ijp} において上部電極 U_{ijH} の一部と下部電極 U_{ijLp} の全部とが z 軸方向で重なる領域における感圧材料 20 を示す。感圧材料 20 、 $20x$ 、 $20p$ はせん断応力および接触圧力の圧力変換素子であり、導電性高分子材料のポリチオフェンを用いた。ポリチオフェンは作用圧力に応じて厚さ方向の電気抵抗が変化する特性を有している。より詳しくは、作用圧力が加わるのに応じて導電率が上がるという性質を有している。 y 軸方向のせん断応力および y 軸せん断応力測定部については、向きが異なるだけで x 軸方向のせん断応力 x および x 軸せん断応力測定部 U_{ijx} と同様であるが、図面の都合上図示は省略し、説明は後述する。

【0031】

図 3 (A)、(B) は、図 2 に示されるセンサユニット U_{ij} の x 軸せん断応力測定部 U_{ijx} 近傍における垂直方向断面図であり、図 2 と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図 3 (A) に示されるように、 x 軸せん断応力測定部 U_{ijx} の感圧材料 $20x$ における上部電極 U_{ijH} と下部電極 U_{ijLx} との間の厚さ方向の距離は r である。ここで、 x 軸せん断応力測定部 U_{ijx} に対して x 軸方向にせん断応力 x が働くと、図 3 (B) に示されるように上部電極 U_{ijH} 側が x 軸の正方向へずれ、下部電極 U_{ijLx} 側が x 軸の負方向へずれる。この両電極のずれ (位置関係の変化) の結果、図 3 (B) に示されるように感圧材料 $20x$ の部分に x 軸方向のせん断変形が生じる。この結果、感圧材料 $20x$ の部分では、上部電極 U_{ijH} と下部電極 U_{ijLx} との間の厚さ方向の距離が r となって元の距離 r より増加するため、 x 軸せん断応力測定部 U_{ijx} における電気抵抗が増加する。

【0032】

図 4 (A)、(B) は、図 2 に示されるセンサユニット U_{ij} の接触圧力測定部 U_{ijp} 近傍における垂直方向断面図であり、図 2 と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図 4 (A) に示されるように、接触圧力測定部 U_{ijp} の感圧材料 $20p$ における上部電極 U_{ijH} と下部電極 U_{ijLp} との間の厚さ方向の距離は r である。ここで、接触圧力測定部 U_{ijp} に対して z 軸方向に接触圧力 p が働くと、図 4 (B) に示されるように感圧材料 $20p$ の部分に z 軸方向の変形が生じる。この結果、感圧材料 $20p$ の部分では、上部電極 U_{ijH} と下部電極 U_{ijLp} との間の厚さ方向の距離が r_p となって元の距離 r より減少するため、接触圧力測定部 U_{ijp} における電気抵抗が減少する。

【0033】

図 5 は、センサユニット U_{ij} の形状例を平面図で示す。図 5 で、図 2 と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図 5 で上部電極 U_{ijH} の下部にあって見えない電極 (または電極の一部) は点線で示し、見えない電極等への引出線も点線で示す (以下同様)。図 5 では y 軸方向のせん断応力 y 、 y 軸せん断応力測定部 U_{ijy} (点線円で囲んで示す。当該点線円への引出線も点線で示す。以下、 U_{ijx} 、 U_{ijp} についても同様) および下部電極 U_{ijLy} も示している。図 5 に例示されるように、上部電極 U_{ijH} は正方形で左下隅が欠けた形状 (所定の形状) をしている。上部電極 U_{ijH} は、 x 軸方向に平行な辺を有する x 軸平行部分 (上部電極 U_{ijH} の右下辺近傍部分。 y 軸せん断応力測定部 U_{ijy} を構成する上部電極 U_{ijH} の端辺近傍部分) と

、 y 軸方向に平行な辺を有する y 軸平行部分（上部電極 U_{ijH} の左上辺近傍部分。 x 軸せん断応力測定部 U_{ijx} を構成する上部電極 U_{ijH} の端辺近傍部分）とを有している。

【0034】

図5に示されるように、下部電極 U_{ijLx} は上部電極 U_{ijH} より小さい長方形（矩形）の形状であって、上部電極 U_{ijH} の y 軸平行部分において下部電極 U_{ijLx} の一部の面積（好適には半分の面積）が上部電極 U_{ijH} の一部の面積と上下に（ z 軸方向に）重なるように設計した。当該半分の面積が x 軸方向にせん断応力 σ_x が働いていない場合における上述した重なる領域となる。ここで、上部電極 U_{ijH} と下部電極 U_{ijLx} との間にせん断応力 σ_x が働くと、上述したように当該重なる領域における感圧材料20xの x 軸方向のせん断変形により厚さ方向の距離 r が変化して $r' (> r)$ となる（図3（A）（B）参照）。この結果、せん断応力測定部 U_{ijx} における上部電極 U_{ijH} と下部電極 U_{ijLx} との間の電気抵抗値が変化するため、せん断応力測定部 U_{ijx} は x 軸方向のせん断応力 σ_x を測定することができる。

10

【0035】

図5に示されるように、下部電極 U_{ijLy} （ y 軸せん断応力測定 U_{ijy} 部を構成する下部電極 U_{ijL} 側部分）も下部電極 U_{ijLx} と同様に、上部電極 U_{ijH} より小さい長方形（矩形）の形状であって、上部電極 U_{ijH} の x 軸平行部分において下部電極 U_{ijLy} の一部の面積（好適には半分の面積）が上部電極 U_{ijH} の一部の面積と上下に（ z 軸方向に）重なるように設計した。当該半分の面積が y 軸方向にせん断応力 σ_y が働いていない場合における上述した重なる領域となる。ここで、上部電極 U_{ijH} と下部電極 U_{ijLy} との間にせん断応力 σ_y が働くと、上述したように当該重なる領域における感圧材料20y（不図示）の y 軸方向のせん断変形により厚さ方向の距離 r が変化して $r' (> r)$ となる（図3（A）（B）で x 軸を y 軸に読替えて参照）。この結果、せん断応力測定部 U_{ijy} における上部電極 U_{ijH} と下部電極 U_{ijLy} との間の電気抵抗値が変化するため、せん断応力測定部 U_{ijy} は y 軸方向のせん断応力 σ_y を測定することができる。

20

【0036】

x 軸せん断応力測定部 U_{ijx} に y 軸方向のせん断応力 σ_y が働いた場合、 x 軸せん断応力測定部 U_{ijx} における上記重なる領域では y 軸方向に相互に位置ずれは起きても、 x 軸方向のせん断変形は生じない。つまり、 x 軸せん断応力測定部 U_{ijx} における上部電極 U_{ijH} と下部電極 U_{ijLx} との間の電気抵抗値は変化しない。従って、 x 軸せん断応力測定部 U_{ijx} は y 軸方向のせん断応力 σ_y に干渉されずに x 軸方向のせん断応力 σ_x のみを検出することができる。同様に、 y 軸せん断応力測定部 U_{ijy} に x 軸方向のせん断応力 σ_x が働いた場合、 y 軸せん断応力測定部 U_{ijy} における上記重なる領域では x 軸方向に相互に位置ずれは起きても、 y 軸方向のせん断変形は生じない。つまり、 y 軸せん断応力測定部 U_{ijy} における上部電極 U_{ijH} と下部電極 U_{ijLy} との間の電気抵抗値は変化しない。従って、 y 軸せん断応力測定部 U_{ijy} は x 軸方向のせん断応力 σ_x に干渉されずに y 軸方向のせん断応力 σ_y のみを検出することができる。従って、上部電極 U_{ijH} と下部電極 U_{ijL} （下部電極 U_{ijLx} および U_{ijLy} ）との間に任意の xy 方向を有するせん断応力 σ_m （不図示）が働くと、上記重なる領域における感圧材料20x、20yには各々せん断応力 σ_m の x 軸方向の成分 σ_{mx} （不図示）、せん断応力 σ_m の y 軸方向の成分 σ_{my} （不図示）が働くことになる。この結果、せん断応力測定部 U_{ijx} における上部電極 U_{ijH} と下部電極 U_{ijLx} との間の電気抵抗値はせん断応力 σ_{mx} に応じて変化するため、せん断応力測定部 U_{ijx} は x 軸方向のせん断応力 σ_{mx} を測定することができる。同様に、せん断応力測定部 U_{ijy} における上部電極 U_{ijH} と下部電極 U_{ijLy} との間の電気抵抗値はせん断応力 σ_{my} に応じて変化するため、せん断応力測定部 U_{ijy} は y 軸方向のせん断応力 σ_{my} を測定することができる。以上より、測定されたせん断応力 σ_{mx} と σ_{my} とに基づき、せん断応力 σ_m の大きさと作用方向とを判別することができる。

30

40

50

【0037】

図5に示されるように、接触圧力測定部 U_{ijp} の下部電極 U_{ijLp} は正方形の形状（所定の形状）であり、上部電極 U_{ijH} の中程においてその全部の面積が上部電極 U_{ijH} の一部の面積と上下に（ z 軸方向に）重なるように設計した。当該面積が z 軸方向に接触圧力 p が働いていない場合における上述した重なる領域となる。

【0038】

ここで、上部電極 U_{ijH} と下部電極 U_{ijLp} との間に接触圧力 p が働くと、上述したように当該重なる領域における感圧材料 $20p$ の z 軸方向の変形により厚さ方向の距離 r が変化して $r_p (< r)$ となる（図4（A）（B）参照）。この結果、接触圧力測定部 U_{ijp} における上部電極 U_{ijH} と下部電極 U_{ijLp} との間の電気抵抗値が変化するため、接触圧力測定部 U_{ijp} は z 軸方向の接触圧力 p を測定することができる。

10

【0039】

接触圧力測定部 U_{ijp} に x 軸方向のせん断応力 σ_x 、 y 軸方向のせん断応力 σ_y が働いた場合、接触圧力測定部 U_{ijp} における上記重なる領域では x 、 y 軸方向に相互に位置ずれは起きても、 z 軸方向の辺系は生じない。つまり、接触圧力測定部 U_{ijp} における上部電極 U_{ijH} と下部電極 U_{ijLp} との間の電気抵抗値は変化しない。従って、接触圧力測定部 U_{ijp} は x 軸方向のせん断応力 σ_x 、 y 軸方向のせん断応力 σ_y に干渉されずに z 軸方向の接触圧力 p のみを検出することができる。以上により、接触圧力 p と x 軸せん断応力 σ_x 、 y 軸せん断応力 σ_y との同時測定が可能となる。

【0040】

以上のように、下部電極 U_{ijL} は接触圧力 p 、せん断応力 σ_x 、 σ_y の各測定に個別に用いられる下部電極 U_{ijLp} 、 U_{ijLx} 、 U_{ijLy} から構成されている。これに対し、上部電極 U_{ijH} は接触圧力 p およびせん断応力 σ_x 、 σ_y の測定に共通に用いられる。

20

【0041】

上述したように図5に例示される上部電極 U_{ijH} は正方形で左下隅が欠けた形状をしている。これは下部電極 U_{ijLx} の長方形の長辺の長さ l_x と y 軸平行部分の長さ l_y とを合わせ、且つ下部電極 U_{ijLy} の長方形の長辺の長さ l_x と x 軸平行部分の長さ l_y とを合わせるため（および後述する各センサユニット U_{ij} の下部電極 U_{ijL} の接続のため）の設計上の一選択であって、本発明におけるセンサユニット U_{ij} の上部電極 U_{ijH} の形状は左下隅が欠けた形状に限定されるものではない。

30

【0042】

図6は、図2に示されるセンサユニット U_{ij} の拡大斜視図（図6（A））と、それに関連付けた上部電極 U_{ijH} および下部電極 U_{ijL} の電極パターンとを示す。図6（A）、（B）で図1、2、5と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図6（A）に示される上部電極 U_{ijH} は、図6（B）の左側に示される電極パターン内の破線円で示されるような位置に形成されており、図5に示される上部電極 U_{ijH} のように左下隅が欠けた正方形の形状をしている。図6（B）の左側に示されるように、各上部電極 U_{ijH} は列 j 方向（ x 軸方向）に共通に共通の接続線 C_j により接続されている。図6（A）に示される下部電極 U_{ijLx} は、図6（B）の右側の電極パターン内の矢印で示されるような位置に形成されており、図5に示されるような長方形の形状をしている。図6（B）の右側に示されるように、各下部電極 U_{ijLx} は行 i 方向（ y 軸方向）に共通に接続線 R_{ix} により接続されている。図6（A）には示されていないが、下部電極 U_{ijLy} は、図6（B）の右側の電極パターン内の矢印で示されるような位置に形成されており、図5に示されるような長方形の形状をしている。図6（B）の右側に示されるように、各下部電極 U_{ijLy} は行 i 方向（ y 軸方向）に共通に接続線 R_{iy} により接続されている。図6（A）に示される下部電極 U_{ijLp} は、図6（B）の右側の電極パターン内の矢印で示されるような位置に形成されており、図5に示されるような正方形の形状をしている。図6（B）の右側に示されるように、各下部電極 U_{ijLp} は行 i 方向（ y 軸方向）に共通に接続線 R_{ip} により接続されている。

40

50

【 0 0 4 3 】

図 6 (A)、(B) に示される上部電極 U_{ijH} および下部電極 U_{ijL} の電極材は銅張ポリイミドフィルムを用い、ウェットエッチング処理で上部電極 U_{ijH} 、下部電極 U_{ijL} をそれぞれ形成した。上述したように、感圧材料 20 、 $20x$ 、 $20y$ 、 $20p$ は導電性高分子材料のポリチオフェンを用いており、当該ポリチオフェンをスクリーン印刷法を用いて上部電極 U_{ijH} および下部電極 U_{ijL} に塗布した後、上部電極 U_{ijH} および下部電極 U_{ijL} を保護フィルムで貼り合わせた。分布測定センサ 10 の厚さは $300 \mu\text{m}$ に作製した。各センサユニット U_{ij} (1 点の測定領域) のサイズは全体として $5.0 \times 5.0 \text{ mm}^2$ であり、その中に接触圧力測定部 U_{ijp} の下部電極 U_{ijLp} が正方形電極として $0.7 \times 0.7 \text{ mm}^2$ 、せん断応力測定部 x の下部電極 U_{ijLx} とせん断応力測定部 y の下部電極 U_{ijLy} が各々長方形電極として $0.5 \times 1.96 \text{ mm}^2$ とした。但し、上記サイズは一例であって、本発明における分布測定センサ 10 の厚さ、センサユニット U_{ij} の全体としてのサイズ、下部電極 U_{ijLp} 、 U_{ijLx} および U_{ijLy} のサイズは上記サイズに限定されるものではない。

10

【 0 0 4 4 】

図 7 は、図 6 (B) に示される上部電極 U_{ijH} および下部電極 U_{ijL} の電極パターン (図 7 (A)) と、当該下部電極 U_{ijL} の電極パターンの一部 (センサユニット U_{i+1j+1}) の拡大図 (図 7 (B)) とを示す。図 7 (A)、(B) で図 1、2、5、6 と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図 7 (A) に示されるように、センサユニット間距離 (センサユニット U_{i+1j} とセンサユニット U_{i+1j+1} との間) に例示する。) は 15 mm とした。図 7 (B) に示されるように、1 点の測定領域である各センサユニット U_{ij} のサイズ (センサユニット U_{i+1j+1} で例示する。) は上述したように全体として $5.0 \times 5.0 \text{ mm}^2$ とした。

20

【 0 0 4 5 】

図 8 は、図 6 (B) に示される上部電極 U_{ijH} および下部電極 U_{ijL} の電極パターン (図 8 (A)) と、当該上部電極 U_{ijH} と当該下部電極 U_{ijL} の各電極パターンを上下 (z 軸方向。紙面に垂直な方向) に重ねた状態 (図 8 (B)) とを示す。図 8 (A)、(B) で図 1、2、5、6 と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図 8 (B) に示されるように、各センサユニット U_{ij} の上部電極 U_{ijH} は列 j 方向 (x 軸方向) に共通に接続線 C_j により接続されている。各センサユニット U_{ij} の各下部電極 U_{ijL} は行 i 方向 (y 軸方向) に共通に接続線 R_i により接続されている。より詳しくは、各下部電極 U_{ijLx} は行 i 方向 (y 軸方向) に共通に接続線 R_{ix} により接続され、各下部電極 U_{ijLy} は行 i 方向 (y 軸方向) に共通に接続線 R_{iy} により接続され、各下部電極 U_{ijLp} は行 i 方向 (y 軸方向) に共通に接続線 R_{ip} により接続されている。他のセンサユニットに関しても同様であるため、説明は省略する。

30

【 0 0 4 6 】

図 9 は、上述した本発明の分布測定センサ 10 を用いた分布測定センサシステム 40 を示す。図 9 で、図 1 と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図 9 で、符号 41 はリレー (またはリレーボード) 部であり、リレー部 41 は上述したマトリックス M の同じ列 j ($j = 1 \sim 4$) に配置された各センサユニット U_{ij} ($i = 1 \sim 4$) の各上部電極 U_{ijH} を当該列 j 方向に共通に接続した各接続線 (列ライン) C_j を、入力した選択信号 SEL に基づき選択可能に構成されている。リレー部 41 内には電源電圧 E 側に接続された各電源側端子 (またはリレー接点) $L_{1E} \sim L_{4E}$ と、接地側に接続された各接地側端子 $L_{1G} \sim L_{4G}$ が設けられている。図 9 では、選択信号 SEL により接続線 C_2 を選択した状態 (接続線 C_1 が接地側端子 L_{1G} に接続され、接続線 C_3 が接地側端子 L_{3G} に接続され、接続線 C_4 が接地側端子 L_{4G} に接続されており、接続線 C_2 が電源側端子 L_{2E} に接続されている状態) を例示している。符号 42 はオペアンプ部 (反転増幅回路部) であり、オペアンプ部 42 は上記マトリックス M の同じ行 i ($i = 1 \sim 4$) に配置された各センサユニット U_{ij} ($j = 1 \sim 4$) の接触圧力測定部 U_{ijp} の下部電極 U_{ijLp} 、 x 軸せん断応力測定部 U_{ijx} の下部電極 U_{ijLx} 、 y 軸せん

40

50

断応力測定部 U_{ij} y の下部電極 $U_{ij} L y$ を各々当該行 i 方向に共通に接続した接続線（行ライン） R_i （下部電極 $U_{ij} L p$ に対しては R_{ip} 、下部電極 $U_{ij} L x$ に対しては R_{ix} 、下部電極 $U_{ij} L y$ に対しては R_{iy} 。図 1 参照）に、入力側が接続した各行オペアンプ（反転増幅回路） $42 - R_i$ （ $i = 1 \sim 4$ ）により構成されている。符号 43 は A/D コンバータ（A/D 変換部）であり、A/D コンバータ 43 はオペアンプ部 42 を構成する各行オペアンプ部 $42 - R_i$ にスイッチ部 $43 SW$ の各スイッチ $43 SW - R_i$ （ $i = 1 \sim 4$ ）を介して入力側が接続している。オペアンプ部 42 およびスイッチ部 $43 SW$ に関する詳細は後述する。符号 44 は A/D コンバータ 43 の出力側とリレー部 41 の入力側とに接続されたコンピュータ（パーソナルコンピュータ）PC である。図 9 に示される分布測定センサ 10 のマトリックス M では、 U_{ij} （行 $i = 1 \sim 4$ 、列 $j = 1 \sim 4$ ）を例示しているが、上述したようにマトリックス M の行数および列数は 4×4 に限定されるものではない。

10

【0047】

次に、図 9 を参照して本発明の分布測定センサシステム 40 の動作について説明する。図 9 に示されるように、まずコンピュータ PC 44 からリレー部 41 へ接続線 C_j （列 j ）を選択する選択信号 SEL が出力され、リレー部 41 で選択信号 SEL に基づき接続線 C_j が選択される（または、リレー接点 $L1E \sim L4E$ が選択される）。選択された接続線 C_j に接続された各センサユニット U_{ij} （ $i = 1 \sim 4$ ）の各上部電極 $U_{ij} H$ へリレー部 41 に供給された電源電圧 E が印加される。選択された接続線 C_j に接続された各センサユニット U_{ij} の接触圧力測定部 $U_{ij} p$ 、 x 軸せん断応力測定部 $U_{ij} x$ 、 y 軸せん断応力測定部 $U_{ij} y$ に対して働いた各接触圧力 p 、 x 軸せん断応力 x 、 y 軸せん断応力 y に基づく電気抵抗の変化に応じた電圧が、各接触圧力測定部 $U_{ij} p$ 、 x 軸せん断応力測定部 $U_{ij} x$ 、 y 軸せん断応力測定部 $U_{ij} y$ の各下部電極 $U_{ij} L p$ 、 $U_{ij} L x$ 、 $U_{ij} L y$ から各接続線 R_{ip} 、 R_{ix} 、 R_{iy} へ出力される。各接続線 R_i （ R_{ip} 、 R_{ix} 、 R_{iy} ）に接続されたオペアンプ部 42 の各行オペアンプ $42 - R_i$ 部からの各出力電圧がスイッチ部 $43 SW$ の各スイッチ $43 SW - R_i$ を介して A/D コンバータ 43 へ出力される。A/D コンバータ 43 からの出力がコンピュータ PC 44 へ出力されることにより、コンピュータ PC 44 は、選択信号 SEL により選択された一列 j 分の各センサユニット U_{ij} （ $i = 1 \sim 4$ ）からの接触圧力 p 、 x 軸せん断応力 x 、 y 軸せん断応力 y に基づく電圧を処理（後述する電圧から各圧力への変換処理および各圧力の表示処理）し、次の接続線 C_{j+1} を選択する選択信号を出力すること（リレー制御）を順次繰返す。

20

30

【0048】

図 10 は、図 9 に示される分布測定センサシステム 40 における分布測定センサ 10 のマトリックス M の一部の電極パターンを示す。図 10 で、図 1 と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図 10 は、図 8 (B) に示される上部電極 $U_{ij} H$ と下部電極 $U_{ij} L$ の各電極パターンを上下に重ねた状態を示す図を、左へ 90° 回転させた図に相当する。図 10 では一部のセンサユニット U_{ij} （ $i = 1 \sim 3$ 、 $j = 1 \sim 3$ ）について示している。第 1 列の各センサユニット U_{11} 、 U_{21} 、 U_{31} の上部電極 $U_{11} H$ 、 $U_{21} H$ 、 $U_{31} H$ （不図示）は第 1 列方向（ x 軸方向）に共通に接続線 C_1 により接続されている。他の第 2 列、第 3 列のセンサユニット U_{i2} 、 U_{i3} （ $i = 1 \sim 3$ ）についても同様であるため、説明は省略する。センサユニット U_{11} 、 U_{12} 、 U_{13} の各下部電極 $U_{1j} L$ （ $j = 1 \sim 3$ ）は第 1 行方向（ y 軸方向）に共通に接続線 R_1 により接続されている。より詳しくは、各下部電極 $U_{1j} L x$ （ $j = 1 \sim 3$ ）は第 1 行方向に共通に接続線 R_{1x} により接続され、各下部電極 $U_{1j} L y$ （ $j = 1 \sim 3$ ）は第 1 行方向に共通に接続線 R_{1y} により接続され、各下部電極 $U_{1j} L p$ （ $j = 1 \sim 3$ ）は第 1 行方向に共通に接続線 R_{1p} により接続されている。他の第 2 行、第 3 行のセンサユニット U_{2j} 、 U_{3j} （ $j = 1 \sim 3$ ）についても同様であるため、説明は省略する。

40

【0049】

図 11 は、図 9 に示されるオペアンプ部 42 の行オペアンプ部 $42 - R_i$ と、行オペア

50

ンプ部 4 2 - R i の出力電圧側に接続されるスイッチ部 4 3 S W のスイッチ 4 3 S W - R i との拡大図を示す。図 1 1 で、図 9 と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図 1 1 に示されるように、行オペアンプ部 4 2 - R i は接触圧力測定部 U i j p の下部電極 U i j L p からの接続線 R i p に接続されたオペアンプ O P i p と、x 軸せん断応力測定部 U i j x の下部電極 U i j L x からの接続線 R i x に接続されたオペアンプ O P i x と、y 軸せん断応力測定部 U i j y の下部電極 U i j L y からの接続線 R i y に接続されたオペアンプ O P i y とから構成されている。図 1 1 で、符号 R 0 は接触圧力 p、x 軸せん断応力 x、y 軸せん断応力 y が無負荷時における上部電極 U i j H と各下部電極 U i j L p、U i j L x、U i j L y との間の電極間抵抗であり、無負荷時には 3 つの電極間抵抗が等しくなる (= R 0。例えば 1 0 ~ 1 0 0 k) 10

【 0 0 5 0 】 20

ここで、センサユニット U i j に接触圧力 p が負荷された場合、上部電極 U i j H と下部電極 U i j L p との間の電極間抵抗が R p 変化し、オペアンプ O P i p の入力側抵抗 R 0 は R 0 + R p となる。出力電圧 V i p (以下の式では単に「V p」と略す。)は以下の式 1 で表される。

【 0 0 5 1 】

【数 3】

$$V_p = - \frac{R}{(R_0 + \Delta R_p)} E \quad (1)$$

30

【 0 0 5 2 】

センサユニット U i j にせん断応力 x が負荷された場合、上部電極 U i j H と下部電極 U i j L x との間の電極間抵抗が R x 変化し、オペアンプ O P i x の入力側抵抗 R 0 は R 0 + R p + R x となる。出力電圧 V i x (以下の式では単に「V x」と略す。)は以下の式 2 で表される。

【 0 0 5 3 】

【数 4】

$$V_{tx} = - \frac{R}{(R_0 + \Delta R_p + \Delta R_{tx})} E \quad (2)$$

40

【 0 0 5 4 】

センサユニット U i j にせん断応力 y が負荷された場合、上部電極 U i j H と各下部電極 U i j L y との間の電極間抵抗が R y 変化し、オペアンプ O P i y の入力側抵抗 R 0 は R 0 + R p + R y となる。出力電圧 V i y (以下の式では単に「V y」と略す。)は以下の式 3 で表される。

【 0 0 5 5 】

【数5】

$$V_{\tau y} = - \frac{R}{(R_0 + \Delta R_p + \Delta R_{\tau y})} E \quad (3)$$

【0056】

上述した各出力電圧 V_{ip} 、 V_{ix} 、 V_{iy} は、コンピュータ PC44 からの制御に基づき各スイッチ 43 SW - R_{ip} 、43 SW - R_{ix} 、43 SW - R_{iy} が順次開閉することにより、A/Dコンバータ 43 側へ出力されていく。詳細は後述する。なお、式 2 と式 3 とを纏めて式 4 のように表す。式 4 で、 R は電極間抵抗の変化量 R_x 、 R_y を纏めた電極間抵抗の変化量、 V はオペアンプ OP $_{ix}$ 、OP $_{iy}$ の各出力電圧 V_{ix} 、 V_{iy} を纏めた上、上記のように添え字 i を略した出力電圧である。

10

【0057】

【数6】

$$V_{\tau} = - \frac{R}{(R_0 + \Delta R_p + \Delta R_{\tau})} E \quad (4)$$

20

【0058】

図 12 は、本発明の分布測定センサシステム 40 におけるコンピュータ PC44 の機能（プログラム、ソフトウェアの機能）および記録領域（メモリ、ハードディスク等）60 を示す機能等ブロック 50 F を示す。図 12 で、符号 45 はコンピュータ PC44 の処理結果等を表示するディスプレイ（出力表示部）、46 はコンピュータ PC44 へ指示、データ等を入力するキーボード、マウス等の入力装置である。以下、図 12 に示される機能等ブロック 50 F と図 9 に示される分布測定センサシステム 40 とを用いて、コンピュータ PC44 で動作するプログラムにつき説明する。以下では図 1 または図 9 に示されるマトリックス M を m 行 n 列とする。

【0059】

図 12 の機能等ブロック 50 F に示される選択信号制御部（選択信号制御手段）51 は、マトリックス M の指定された列 j ($j = 1 \sim n$) を選択する選択信号 SEL をリレー部 41 へ出力させる。

30

【0060】

上述したように、A/Dコンバータ 43 はオペアンプ部 42 を構成する各行オペアンプ部 42 - R_i にスイッチ部 43 SW の各スイッチ 43 SW - R_i ($i = 1 \sim m$) を介して入力側が接続している（図 11 参照）。図 12 の機能等ブロック 50 F に示される A/Dコンバータ制御部（A/D変換部制御手段）52 は、選択信号制御部 51 により出力された選択信号 SEL により選択された列 j について、一列 j 分の各センサユニット U_{ij} ($i = 1 \sim m$) から得られた接触圧力 p 、 x 軸せん断応力 x 、 y 軸せん断応力 y に基づくオペアンプ部 42 の各行オペアンプ部 42 - R_i からの出力電圧 V_{ip} 、 V_{ix} 、 V_{iy} を、A/Dコンバータ 43 の各スイッチ 43 SW - R_i を順次選択することにより、A/Dコンバータ 43 へ順次入力させる。具体的には、まず選択された列 j の第 1 行のセンサユニット U_{1j} から得られた接触圧力 p 、 x 軸せん断応力 x 、 y 軸せん断応力 y に基づく行オペアンプ部 42 - R_1 からの出力電圧 V_{1p} 、 V_{1x} 、 V_{1y} を、スイッチ 43 SW - R_1 を選択することにより、A/Dコンバータ 43 へ入力させる。次に、列 j の第 2 行のセンサユニット U_{2j} から得られた接触圧力 p 、 x 軸せん断応力 x 、 y 軸せん断応力 y に基づく行オペアンプ部 42 - R_2 からの出力電圧 V_{2p} 、 V_{2x} 、 V_{2y} を、スイッチ 43 SW - R_2 を選択することにより、A/Dコンバータ 43 へ入力させる。以上の処理を続けて列 j の第 m 行のセンサユニット U_{mj} から得られた接触

40

50

圧力 p 、 x 軸せん断応力 x 、 y 軸せん断応力 y に基づく行オペアンプ部 42 - R_m からの出力電圧 V_{mp} 、 V_{mx} 、 V_{my} を、スイッチ 43 SW - R_m を選択することにより、A/Dコンバータ 43 へ入力させる。以上により、SEL により選択された列 j について、一列 j 分の各センサユニット U_{ij} ($i = 1 \sim m$) から得られた接触圧力 p 、 x 軸せん断応力 x 、 y 軸せん断応力 y に基づくオペアンプ部 42 の各行オペアンプ部 42 - R_i からの出力電圧 V_{ip} 、 V_{ix} 、 V_{iy} を、A/Dコンバータ 43 の各スイッチ 43 SW - R_i を順次選択することにより、A/Dコンバータ 43 へ順次入力させる。

【0061】

図 12 の機能等ブロック 50F に示される電圧データ記録部（電圧データ記録手段）53 は、A/Dコンバータ制御部 52 により A/Dコンバータ 43 へ入力され、A/Dコンバータ 43 により A/D変換された各センサユニット U_{ij} からの接触圧力 p 、 x 軸せん断応力 x 、 y 軸せん断応力 y に基づく電圧データ V_{pd} 、 V_{xd} 、 V_{yd} を、各センサユニット U_{ij} 毎の接触圧力記録エリア（接触圧力記録域）61、 x 軸せん断応力記録エリア（ x 軸せん断応力記録域）62、 y 軸せん断応力記録エリア（ y 軸せん断応力記録域）63 に記録する。具体的には、選択信号 SEL により選択された列 j について、一列分の各センサユニット U_{ij} ($i = 1 \sim m$) から順次得られ、各スイッチ 43 SW - R_i ($i = 1 \sim m$) を順次選択することにより A/Dコンバータ 43 へ順次入力され、A/Dコンバータ 43 により A/D変換された各センサユニット U_{ij} ($i = 1 \sim m$) からの電圧データ V_{pd} 、 V_{xd} 、 V_{yd} を、各センサユニット U_{ij} ($i = 1 \sim m$) 毎の接触圧力記録エリア 61、 x 軸せん断応力記録エリア 62、 y 軸せん断応力記録エリア 63 に記録する。後述する繰返し部 56 が次の列 $j + 1$ を選択し、電圧データ記録部 53 が列 $j + 1$ とについて上記と同様の処理を行うことにより、センサユニット U_{ij} ($i = 1 \sim m$ 、 $j = 1 \sim n$) に対応する $m \times n$ 個の各接触圧力記録エリア 61、 x 軸せん断応力記録エリア 62、 y 軸せん断応力記録エリア 63 に A/D変換された各電圧データ V_{pd} 、 V_{xd} 、 V_{yd} (各 $i = 1 \sim m$ 、 $j = 1 \sim n$ 分) を記録していく。

【0062】

図 12 の機能等ブロック 50F に示される換算部（換算手段）54 は、センサユニット U_{ij} に働く接触圧力 p 、 x 軸せん断応力 x 、 y 軸せん断応力 y と、各下部電極 U_{ijLp} 、 U_{ijLx} 、 U_{ijLy} に接続された各オペアンプ OP_{ip} 、 OP_{ix} 、 OP_{iy} からの各出力電圧 V_{ip} 、 V_{ix} 、 V_{iy} との間の所定の測定原理による関係に基づき、電圧データ記録部 53 により各センサユニット U_{ij} 毎に接触圧力記録エリア 61、 x 軸せん断応力記録エリア 62、 y 軸せん断応力記録エリア 63 に記録された各電圧データ V_{pd} 、 V_{xd} 、 V_{yd} を、各センサユニット U_{ij} に働く接触圧力 p 、 x 軸せん断応力 x 、 y 軸せん断応力 y へ換算する。

【0063】

以下では、上記所定の測定原理につき説明する。まず、換算部 54 におけるセンサユニット U_{ij} に働く接触圧力 p と下部電極 U_{ijLp} に接続された各オペアンプ OP_{ip} からの各出力電圧 V_{ip} との間の所定の測定原理 (1) について説明する。上述した式 1 は以下の式 5 のように表すことができる。

【0064】

【数 7】

$$\frac{V_p}{E} = - \frac{R}{(R_0 + \Delta R_p)} \quad (5)$$

【0065】

式 5 に示されるように、接触圧力 p による出力電圧 V_p は接触圧力 p による抵抗変化量 (ΔR_p) のみで表すことができる。従って、上記所定の測定原理 (1) とは予め実験に

10

20

30

40

50

より接触圧力 p とそれに対する式 5 左辺 (V_p / E) との関係を得ておけば、その後は出力電圧 V_p を測定することにより当該関係から接触圧力 p を得る (換算する) ことができるという測定原理である。上述したように、接触圧力測定部 U_{ijp} に x 軸方向のせん断応力 x 、 y 軸方向のせん断応力 y が働いた場合、接触圧力測定部 U_{ijp} における上記重なる領域では x 、 y 軸方向に相互に位置ずれは起きても、 z 軸方向の変形は生じない。従って、出力電圧 V_p を測定することにより、 x 軸方向のせん断応力 x 、 y 軸方向のせん断応力 y に干渉されずに z 軸方向の接触圧力 p のみを検出することができる。

【0066】

次に、換算部 54 におけるセンサユニット U_{ij} に働く x 軸せん断応力 x 、 y 軸せん断応力 y と、各下部電極 U_{ijLx} 、 U_{ijLy} に接続された各オペアンプ OP_{ix} 、 OP_{iy} からの各出力電圧 V_{ix} 、 V_{iy} との間の所定の測定原理 (2) について説明する。説明の便宜上、上述したように x 軸せん断応力 x 、 y 軸せん断応力 y はせん断応力 に纏め、出力電圧 V_{ix} 、 V_{iy} は V に纏め、電極間抵抗の変化量 R_x 、 R_y は R に纏める。式 1 および式 4 から以下の式 6 を得ることができる。

【0067】

【数 8】

$$\left(\frac{1}{V_\tau} - \frac{1}{V_p} \right) \times E = - \frac{\Delta R_\tau}{R} \quad (6)$$

【0068】

式 6 に示されるように、接触圧力による出力電圧 V_p とせん断応力による出力電圧 V とはせん断応力による抵抗変化量 R のみで表すことができる。即ち、 x 軸、 y 軸せん断応力測定部 U_{ijx} 、 U_{ijy} における接触圧力 p による抵抗変化分を排除し、せん断応力 (x 、 y) のみを検出することができる。従って、上記所定の測定原理 (2) とは予め実験によりせん断応力 (x 、 y) とそれに対する式 6 左辺 $\{ (1/V_\tau) - (1/V_p) \} \times E$ との関係を得ておけば、その後は出力電圧 V および V_p を測定することにより当該関係からせん断応力 を得る (換算する) ことができるという測定原理である。上述したように、せん断応力測定部 U_{ijx} は y 軸方向のせん断応力 y に干渉されずに x 軸方向のせん断応力 x のみを検出することができる。せん断応力測定部 U_{ijy} は x 軸方向のせん断応力 x に干渉されずに y 軸方向のせん断応力 y のみを検出することができる。従って、測定されたせん断応力 x と y とに基づき、せん断応力 の大きさおよび作用方向を判別することができる。なお、帰還抵抗 R を調整することにより、測定する接触圧力 p 、せん断応力 の感度を調整することができる。

【0069】

図 12 の機能等ブロック 50F に示される表示部 (表示手段) 55 は、換算部 54 により換算された各センサユニット U_{ij} に働く接触圧力 p 、 x 軸せん断応力 x 、 y 軸せん断応力 y を所定の表示形式でコンピュータ PC44 のディスプレイ 45 に表示する。所定の表示形式については後述する。

【0070】

図 12 の機能等ブロック 50F に示される繰返し部 (繰返し手段) 56 は、選択信号制御部 51 により出力された選択信号 SEL によって選択された列 j の次の列 $j+1$ を指定して、選択信号制御部 51 から表示部 55 までの処理を繰返させる。

【0071】

以上、本発明の分布測定センサシステム 40 におけるコンピュータ PC44 の機能 (プログラム、ソフトウェアの機能) について説明した。これとは別に、コンピュータ PC44 側はリレー部 41 側へマトリックス M の列 j ($j = 1 \sim n$) 選択を開始する開始信号 START を送り、リレー部 41 側ではその後の列 j の選択の繰返し ($C1$ 、 $C2$ 、 $C3$ 、 $C4$ 、 $C1$ 、 $C2$ 、 \dots) を所定の同期信号に基づきハードウェアで実行するように構

10

20

30

40

50

成することもできる。PC44側のA/Dコンバータ制御部52および電圧データ記録部53は、当該同期信号に基づき、送られてきた出力電圧をA/D変換し、接触圧力記録エリア61、x軸せん断応力記録エリア62、y軸せん断応力記録エリア63に電圧データを記録する。所望の時間経過後にコンピュータPC44側はリレー部41側へマトリックスMの列j ($j = 1 \sim n$) 選択を終了する終了信号STOPを送り、リレー部41側は列jの選択を終了するというように実行してもよい。図12の機能等ブロック50Fに示されるコンピュータPC44の機能(プログラム、ソフトウェアの機能)は、上述したように一部をハードウェアで実現することも可能である。

【0072】

上述したように、本発明の分布測定センサ10は感圧材料20p、20x、20y、20等を挟んだ上部電極 U_{ijH} および下部電極 U_{ijL} をマトリックスM(複数の縦長(列)と複数の横長(行))状に配置する形状とし、多数のセンサユニット U_{ij} (測定点)を接続線 C_i および R_i により連結することによって、多くの測定点を上下電極の交点(マトリックスMの要素)に配置することができた。このマトリックス状の構成により、測定点毎に一つずつスキャンして接触圧力、せん断応力の情報を得るのではなく、マトリックスMの1列jを選択した状態で、上述したように各スイッチ43SW-R_iを順次選択することにより順次行i ($i = 1 \sim m$)を選択してセンサユニット U_{ij} (交点)の情報を得ることができる。さらに、繰返し部56(後述)により次の列j+1を選択して列jの際と同様にセンサユニット U_{ij+1} の情報を得る行列型のスキャンを実施することができる。この結果、接触圧力、せん断応力の分布を捉えるために多数のセンサユニット U_{ij} を集積化しても取り回し配線の領域を格段に減らすことができ、設計がシンプルとなる上、製造コストの増大を抑えることができ、接触圧力/およびせん断応力分布の高分解能化が画的に進展するという顕著な効果を奏することができる。

【0073】

図13は、本発明の分布測定センサシステム40におけるコンピュータPC44を動作させる分布測定プログラムの処理の流れをフローチャートで示す。図13に示されるように、まずマトリックスMの行数を変数mに設定し、列数をnに設定し(ステップS10)、列数を表す変数jに1を設定する(ステップS12)。

【0074】

次に、マトリックスMの指定された列C_jを選択する選択信号SELをリレー部41へ出力させる(選択信号制御ステップ。ステップS14)。続いて、選択信号制御ステップ(ステップS14)で出力された選択信号SELにより選択された列C_jについて、一列分の各センサユニット U_{ij} ($i = 1 \sim m$)からの接触圧力p、x軸せん断応力 x 、y軸せん断応力 y に基づく行オペアンプ部42-R_iの各オペアンプOP_{ip}、OP_{ix}、OP_{iy}からの各出力電圧 V_{ip} 、 V_{ix} 、 V_{iy} を、A/Dコンバータ43の各スイッチ43SW-R_iを選択することにより、A/Dコンバータ43へ順次入力させる(A/Dコンバータ(A/D変換部)制御ステップ。ステップS16)。

【0075】

A/Dコンバータ制御ステップ(ステップS16)でA/Dコンバータ43へ入力され、A/Dコンバータ43によりA/D変換された各センサユニット U_{ij} からの接触圧力p、x軸せん断応力 x 、y軸せん断応力 y に基づく電圧データ V_{pd} 、 V_{xd} 、 V_{yd} を、各センサユニット U_{ij} 毎の接触圧力記録エリア61、x軸せん断応力記録エリア62、y軸せん断応力記録エリア63に記録する(電圧データ記録ステップ。ステップS18)。

【0076】

センサユニット U_{ij} に働く接触圧力p、x軸せん断応力 x 、y軸せん断応力 y と、各下部電極 U_{ijLp} 、 U_{ijLx} 、 U_{ijLy} に接続された各オペアンプOP_{ip}、OP_{ix}、OP_{iy}からの各出力電圧 V_{ip} 、 V_{ix} 、 V_{iy} との間の所定の測定原理(上記測定原理(1)および(2))による関係に基づき、電圧データ記録ステップ(ステップS18)で各センサユニット U_{ij} 毎に接触圧力記録エリア61、x軸せん断応

10

20

30

40

50

力記録エリア 6 2、y 軸せん断応力記録エリア 6 3 に記録された各電圧データ V_{pd} 、 V_{xd} 、 V_{yd} を、各センサユニット U_{ij} に働く接触圧力 p 、x 軸せん断応力 x 、y 軸せん断応力 y へ換算する（換算ステップ。ステップ S 2 0）。

【0077】

換算ステップ(ステップ S 2 0)で換算された各センサユニット U_{ij} に働く接触圧力 p 、x 軸せん断応力 x 、y 軸せん断応力 y を所定の表示形式でコンピュータ P C 4 4 のディスプレイ 4 5 に表示する（表示ステップ。ステップ S 2 2）。

【0078】

選択信号制御ステップ(ステップ S 1 4)で出力された選択信号 S E L により選択された列 j の次の列 $j + 1$ を指定して (j を $j + 1$ と増加する。ステップ S 2 4)、新たな j がマトリックス M の列数 n 以下の場合(ステップ S 2 6 で「はい」の場合)は選択信号制御ステップ(ステップ 1 4)から、 n より大きい場合(ステップ S 2 6 で「いいえ」の場合)はステップ 1 2 から、表示ステップ(ステップ S 2 2)までの処理を繰返させる(繰返しステップ)。

10

【0079】

コンピュータ P C 4 4 のキーボード等の入力装置 4 6 から終了指示等が入力された場合(ステップ S 3 0)、分布測定プログラムの処理を終了する。

【0080】

実験方法

上述したように、本発明の分布測定センサシステム 4 0 によれば、センサユニット U_{ij} の接触圧力 p と x 軸せん断応力 x 、y 軸せん断応力 y との同時測定が可能である。ここでは、その同時測定の有効性を検討するために、作製したセンサユニット U_{ij} の接触圧力 p 、x 軸せん断応力 x および y 軸せん断応力 y の較正実験を行った。図 1 4 は、較正実験を行うために作製した較正装置 7 0 の機能を示すための概要図である。図 1 4 に示されるように、X - Y ステージ 7 4 上には分布測定センサ 1 0 が設置されており(分布測定センサシステム 4 0 の他の装置等は不図示)、較正装置 7 0 は接触圧力 p 用のアクチュエータ 7 1 (1 台)と、せん断応力用のアクチュエータ 7 2 (x 軸用)および 7 3 (y 軸用)(2 台)とにより、X - Y ステージ 7 4 上の分布測定センサ 1 0 に任意の接触圧力 p およびせん断応力 x 、 y を作用させる構造となっている。アクチュエータ 7 1、7 2 および 7 3 の先端には圧縮型ロードセル 7 6 をそれぞれ設置している。

20

30

【0081】

上述した測定原理(1)とは、予め実験により接触圧力 p とそれに対する式 5 の左辺(V_p / E)との関係を得ておけば、その後は出力電圧 V_p を測定することにより当該関係から接触圧力 p を得る(換算する)ことができるという測定原理である。実験 1 はこの測定原理(1)を確認するための実験であり、具体的には較正装置 7 0 を用いて 1 0 0 k P a までの接触圧力 p をセンサユニット U_{ij} に負荷する実験(実験 1)を行った。

【0082】

上述した測定原理(2)とは、予め実験によりせん断応力 (x 、 y) とそれに対する式 6 の左辺 $\{ (1 / V) - (1 / V_p) \} \times E$ との関係を得ておけば、その後は出力電圧 V および V_p を測定することにより当該関係からせん断応力 を得る(換算する)ことができるという測定原理である。実験 2 はこの測定原理(2)の確認と共に、センサユニット U_{ij} の接触圧力 p と x 軸せん断応力 x (y 軸せん断応力 y) との同時測定が可能であることを確認するための実験である。具体的には較正装置 7 0 を用いて 5 0 k P a および 1 0 0 k P a の接触圧力 p を作用させた状態で - 4 0 ~ 4 0 k P a の x 軸せん断応力 x をセンサユニット U_{ij} に負荷する実験(実験 2)を行った。なお、y 軸せん断応力 y を作用させた場合の実験は本明細書では省略する。

40

【0083】

上述したように、本発明の目的の一つは生体と物体との界面に働く接触圧力およびせん断応力の測定に適用可能な高空間分解能を有する分布測定センサシステム等を提供することにある。そこで、分布測定センサ 1 0 を円筒状の容器(例えば瓶)に接着し、人の指で

50

持ち上げた際の接触圧力 p 、 x 軸せん断応力 x 、 y 軸せん断応力 y の変化を測定する実験（実験 3）を行った。即ち、上述した x 軸および y 軸からなる平面は生体と固体との界面とすることが好適である。実験 3 では生体として人の指、固体として容器を取り上げたが、これは一例であって生体は人の指、固体は容器に限定されるものではない。

【0084】

実験 1 の結果と考察。

図 15 は、実験 1 の結果である接触圧力 p に対する出力電圧変化 (V_p / E) を示すグラフである。図 15 で、横軸は分布測定センサ 10 のセンサユニット U_{ij} (1 測定点) に印加した (作用させた) 接触圧力 p (kPa) であり、縦軸は式 5 の左辺 (V_p / E)、即ち図 11 に示されるオペアンプ OPi p からの出力電圧 V_p (厳密には V_{ip}) に基づく値である。図 15 に示されるように、作用させた接触圧力 p に対してほぼ線形的な出力電圧変化 (V_p / E) が見られることがわかる。従って、出力電圧 V_p を測定することにより図 15 に示されるグラフに基づき、作用した接触圧力 p を得ることができる。式 5 では接触圧力 $p = 0$ の時、つまり接触圧力 p による抵抗変化量 $R_p = 0$ の時、右辺 = $-R / R_0$ となり 0 とはならないが、図 15 では 0 になっているように見える。しかし、無負荷時の電極間抵抗 R_0 が帰還抵抗 R に対して十分大きい場合、当該右辺は 0 となる。

【0085】

実験 2 の結果と考察。

図 16 は、実験 2 の結果であるせん断応力 x に対する出力電圧変化 [$\{ (1 / V) - (1 / V_p) \} \times E$] を示すグラフである。図 16 で、横軸は分布測定センサ 10 のセンサユニット U_{ij} (1 測定点) に印加した (作用させた) せん断応力 x (kPa) であり、縦軸は式 6 の左辺 [$\{ (1 / V) - (1 / V_p) \} \times E$]、即ち図 11 に示されるオペアンプ OPi p からの出力電圧 V_p (厳密には V_{ip})、オペアンプ OPi x、OPi y からの出力電圧 V (厳密には V_{ix} および V_{iy} による電圧) に基づく値である。図 16 では横軸がせん断応力 x となっているが、せん断応力 y についても同様の測定結果を得ることができたため、横軸のせん断応力 x はせん断応力 x と y とを纏めた x を代表させたものである。図 16 (原図) では、50 kPa の接触圧力 p を作用させた状態におけるせん断応力 x に対する出力電圧変化を赤丸で示し、100 kPa の接触圧力 p を作用させた状態におけるせん断応力 x に対する出力電圧変化を青丸で示している。図 16 (白黒) では赤丸が濃い丸で青丸は薄い丸のように示されている。図 16 に示されるように、作用させたせん断応力 x に対してほぼ線形的な出力電圧変化 [$\{ (1 / V) - (1 / V_p) \} \times E$] が見られることがわかる。従って、出力電圧 V_p 、 V_x を測定することにより図 16 に示されるグラフに基づき、作用したせん断応力 x を得ることができる。さらに、接触圧力 p を 50 kPa、100 kPa と変化させてもせん断応力 x と出力電圧変化 [$\{ (1 / V) - (1 / V_p) \} \times E$] との関係 (線形) はいずれも変化しなかったことから、複合的な負荷を行っても接触圧力 p とせん断応力 x とを独立して測定できることがわかる。つまり、センサユニット U_{ij} の接触圧力 p と x 軸せん断応力 x (および y) との同時測定の有効性が証明された。

【0086】

実験 3 の結果と考察。

図 17 は、実験 3 の結果である分布測定センサ 10 を円筒状の容器 (瓶等) に接着し、人の指で持ち上げた際の接触圧力 p およびせん断応力 ($x + y$) の分布を示す。図 17 (A) は円筒状の容器に接着した分布測定センサ 10 (3 行 × 3 列のマトリクス M1) を人の指で持ち上げた際の写真である。分布測定センサシステム 40 の他の装置等の全体は撮影省略とした。図 17 (A) に示されるように、分布測定センサ 10 を人差指と薬指とで掴み (各々マトリクス M1 の第 1 行、第 3 行)、中指は外している (マトリクス M1 の第 2 行は触れていない)。

【0087】

図 17 (B) は図 17 (A) の状態の際に表示部 55 がディスプレイ 45 に表示した画像を示す。以下、表示部 55 における所定の表示形式について説明する。分布測定センサ

10

20

30

40

50

10のマトリックスM1における各センサユニット U_{ij} ($i = 1 \sim 3$, $j = 1 \sim 3$)は、図17(B)に示されるように対応する要素の位置に四角形として表示されている。図17(B)で、容器に作用する接触圧力 p の大きさは四角形の色で表している(色は原図におけるものである。以下同様)。接触圧力 p の大きさは図17(B)の右側のバーに示されるように、強い程(High)赤色側の波長の色となり、弱い程(Low)紫色側の波長の色となっている。図17(B)の左側にはマトリックスM1の各行に対応させて掴む指が示されており、マトリックスM1の第1行が人差指、第2行が中指、第3行が薬指であり、マトリックスM1の左側(第1列側)が各指の指先方向となっている。図17(A)の写真に示される掴み方と対応させて図17(B)を見ると、人差指はマトリックスM1の第1行を軽く掴んでいるため容器に作用する接触圧力 p の大きさは中程度となり、センサユニット U_{11} 、 U_{12} 、 U_{13} に対応する四角形は青色で表示されている。中指はマトリックスM1を掴んでいないため容器に作用する接触圧力 p は0となり、センサユニット U_{21} 、 U_{22} 、 U_{23} に対応する四角形は紫色で表示されている。これに対して薬指はマトリックスM1の第3行を強く掴んでいるため容器に作用する接触圧力 p は大きくなり、センサユニット U_{31} 、 U_{32} 、 U_{33} に対応する四角形は明るい青色または赤色で表示されている。

10

【0088】

図17(B)で、容器に作用するせん断応力 τ の方向と大きさは四角形の中心から外側へ伸びている線の向きと長さなどでベクトル状に表している。図17(B)に示されるように、各センサユニット U_{ij} に作用するせん断応力 τ_x と τ_y とを合成したせん断応力は τ_{ij} と表している。例えば人差指の指先によるせん断応力 τ_{11} に対応する線は四角形の中心から外側へ右上45度方向で長めに表示されているため、右上45度方向に作用する強めのせん断応力であることがわかる。中指はマトリックスM1を掴んでいないため容器に作用するせん断応力 τ_{2j} ($j = 1 \sim 3$)は0となり、センサユニット U_{21} 、 U_{22} 、 U_{23} に対応する四角形から外側へ線は表示されていない。薬指の中程によるせん断応力 τ_{32} に対応する線は四角形の中心から外側へ右上45度方向でかなり長めに表示されているため、右上45度方向に作用するかなり強めのせん断応力であることがわかる。他のせん断応力 τ_{ij} についての説明は省略するが、容器を持った時に容器には上向きのせん断応力がかかることが容易にわかるように表示されている。以上より、接触圧力 p およびせん断応力 τ_{ij} の各分布が列ごとの干渉もなく良好に測定されていることがわかる。

20

30

【0089】

図18は、実験3の結果である分布測定センサ10を円筒状の容器(瓶等)に接着し、人の指で持ち上げた際の接触圧力 p およびせん断応力 ($\tau_x + \tau_y$)の分布の他の例を示す。図18は図17に示される容器の持ち方を変えた例を示しており、図18(A)、(B)は図17(A)、(B)と対応し、図17(A)、(B)と同じ符号、名称を付した要素は同じ意味を有するため、説明は省略する。図18(A)に示されるように、分布測定センサ10を中指だけで掴み(マトリックスM1の第2行)、人差指と薬指とは外している(マトリックスM1の第1行および第3行は触れていない)。

【0090】

図18(A)の写真に示される掴み方と対応させて図18(B)を見ると、人差指と薬指とはマトリックスM1を掴んでいないため容器に作用する接触圧力 p は0となり、センサユニット $U_{11} \sim U_{13}$ と $U_{31} \sim U_{33}$ に対応する四角形は紫色で表示されている。中指はマトリックスM1の第2行を強く掴んでいるため容器に作用する接触圧力 p は大きくなり、センサユニット $U_{21} \sim U_{23}$ に対応する四角形は明るい青色または赤色で表示されている。

40

【0091】

図18(B)に示されるように、人差指と薬指とはマトリックスM1を掴んでいないため容器に作用するせん断応力 τ_{1j} 、 τ_{3j} ($j = 1 \sim 3$)は0となり、センサユニット $U_{11} \sim U_{13}$ と $U_{31} \sim U_{33}$ に対応する四角形から外側へ線は表示されていない。一

50

方、中指はマトリックスM1を掴んでいるため、各センサユニットU21~U23に対応する四角形の中心から外側へ線が表示されている。図18(B)でも図17(B)と同様に、容器を持った時に容器には上向きのせん断応力がかかることが容易にわかるように表示されている。図17(B)の場合と同様に、接触圧力pおよびせん断応力 σ_{ij} の各分布が列ごとの干渉もなく良好に測定されていることがわかる。以上より、持ち方を変えた際に接触している箇所のみせん断応力が作用していることがわかる。従って、センサユニットU σ_{ij} は独立してせん断応力の測定が可能であることが示された。

【0092】

以上のように、表示部55における所定の表示形式は、マトリックスM1に対応させてセンサユニットU σ_{ij} の表示(例えば四角形)を配置し、センサユニットU σ_{ij} 毎に、接触圧力pの大小を所定の色別(例えば強~弱を赤色側の波長~紫色側の波長の色)で示し、x軸せん断応力 σ_x およびy軸せん断応力 σ_y を合成したせん断応力 σ_{ij} をベクトルで示す形式である。

【0093】

以上より、本発明の実施例1によれば、分布測定センサ10は平面の各軸(x軸、y軸)方向のせん断応力と、当該平面に垂直な軸(z軸)方向の接触圧力とを測定するセンサユニットU σ_{ij} をマトリックスMの各要素に配置した構造を有している。センサユニットU σ_{ij} は上部電極U $\sigma_{ij}H$ と感圧材料20等を介して上部電極U $\sigma_{ij}H$ の下側に配置された下部電極U $\sigma_{ij}L$ とから構成されている。マトリックスMの同じ列jに配置されたx軸方向の各センサユニットU σ_{ij} ($i=1\sim m$)は各上部電極U $\sigma_{ij}H$ ($i=1\sim m$)が列j方向(x軸方向)に共通に接続線Cjにより接続されている。マトリックスMの同じ行iに配置されたy軸方向の各センサユニットU σ_{ij} ($j=1\sim n$)は各下部電極U $\sigma_{ij}L$ ($j=1\sim n$)が行i方向(y軸方向)に共通に接続線Riにより接続されている。各センサユニットU σ_{ij} ($i=1\sim m$ 、 $j=1\sim n$ 。以下添え字は同様)は上部電極U $\sigma_{ij}H$ (と下部電極U $\sigma_{ij}L$ とが上下方向(z軸方向)で重なる領域において、上部電極U $\sigma_{ij}H$ と下部電極U $\sigma_{ij}L$ との間に働くx軸方向のせん断応力を測定するx軸せん断応力測定部、上部電極U $\sigma_{ij}H$ と下部電極U $\sigma_{ij}L$ との間に働くy軸方向のせん断応力を測定するy軸せん断応力測定部、および上部電極U $\sigma_{ij}H$ のz軸方向に働く接触圧力を測定する接触圧力測定部を備えている。上部電極U $\sigma_{ij}H$ は、せん断応力 σ_x 、 σ_y の測定および接触圧力pの測定に共通に用いられる。

【0094】

x軸せん断応力測定部U σ_{ij} σ_x に対してx軸方向にせん断応力 σ_x が働くと、感圧材料20xの部分にx軸方向のせん断変形が生じる。この結果、感圧材料20xの部分では、上部電極U $\sigma_{ij}H$ と下部電極U $\sigma_{ij}L$ xとの間の厚さ方向の距離が r となって元の距離 r より増加するため、x軸せん断応力測定部U σ_{ij} σ_x における電気抵抗が増加する。従って、せん断応力測定部U σ_{ij} σ_x はx軸方向のせん断応力 σ_x を測定することができる。y軸せん断応力測定部U σ_{ij} σ_y の場合も同様である。接触圧力測定部U $\sigma_{ij}p$ に対してz軸方向に接触圧力pが働くと、感圧材料20pの部分にz軸方向の変形が生じる。この結果、感圧材料20pの部分では、上部電極U $\sigma_{ij}H$ と下部電極U $\sigma_{ij}L$ pとの間の厚さ方向の距離が r_p となって元の距離 r より減少するため、接触圧力測定部U $\sigma_{ij}p$ における電気抵抗が減少する。従って、接触圧力U $\sigma_{ij}p$ はz軸方向の接触圧力pを測定することができる。接触圧力測定部U $\sigma_{ij}p$ にx軸方向のせん断応力 σ_x 、y軸方向のせん断応力 σ_y が働いた場合、接触圧力測定部U $\sigma_{ij}p$ における上記重なる領域ではx、y軸方向に相互に位置ずれは起きても、z軸方向の変形は生じない。つまり、接触圧力測定部U $\sigma_{ij}p$ における上部電極U $\sigma_{ij}H$ と下部電極U $\sigma_{ij}L$ pとの間のz軸方向の電気抵抗値は変化しない。従って、接触圧力測定部U $\sigma_{ij}p$ はx軸方向のせん断応力 σ_x 、y軸方向のせん断応力 σ_y に干渉されずにz軸方向の接触圧力pのみを検出することができる。以上により、接触圧力pとx軸せん断応力 σ_x 、y軸せん断応力 σ_y との同時測定が可能となる。

【0095】

本発明の分布測定センサ10を用いた分布測定センサシステム40の構成を纏めると以下の通りである。リレー部41は上述したマトリックスMの同じ列j ($j = 1 \sim 4$)に配置された各センサユニット U_{ij} ($i = 1 \sim 4$)の各上部電極 U_{ijH} を当該列j方向に共通に接続した各接続線(列ライン) C_j を、入力した選択信号SELに基づき選択可能に構成されている。オペアンプ部42は上記マトリックスMの同じ行i ($i = 1 \sim 4$)に配置された各センサユニット U_{ij} ($j = 1 \sim 4$)の接触圧力測定部 U_{ijp} の下部電極 U_{ijLp} 、x軸せん断応力測定部 U_{ijx} の下部電極 U_{ijLx} 、y軸せん断応力測定部 U_{ijy} の下部電極 U_{ijLy} を各々当該行i方向に共通に接続した接続線(行ライン) R_i (下部電極 U_{ijLp} に対しては R_{ip} 、下部電極 U_{ijLx} に対しては R_{ix} 、下部電極 U_{ijLy} に対しては R_{iy})に、入力側が接続した各行オペアンプ42 - R_i ($i = 1 \sim 4$)により構成されている。A/Dコンバータ43はオペアンプ部42を構成する各行オペアンプ部42 - R_i にスイッチ部43SWの各スイッチ43SW - R_i ($i = 1 \sim 4$)を介して入力側が接続している。コンピュータPC44はA/Dコンバータ43の出力側とリレー部41の入力側とに接続されている。

【0096】

本発明の分布測定センサシステム40の動作を纏めると以下の通りである。まずコンピュータPC44からリレー部41へ接続線 C_j (列j)を選択する選択信号SELが出力され、リレー部41で選択信号SELに基づき接続線 C_j が選択される。選択された接続線 C_j に接続された各センサユニット U_{ij} ($i = 1 \sim 4$)の各上部電極 U_{ijH} へリレー部41に供給された電源電圧Eが印加される。選択された接続線 C_j に接続された各センサユニット U_{ij} の接触圧力測定部 U_{ijp} 、x軸せん断応力測定部 U_{ijx} 、y軸せん断応力測定部 U_{ijy} に対して働いた各接触圧力p、x軸せん断応力 σ_x 、y軸せん断応力 σ_y に基づく電気抵抗の変化に応じた電圧が、各接触圧力測定部 U_{ijp} 、x軸せん断応力測定部 U_{ijx} 、y軸せん断応力測定部 U_{ijy} の各下部電極 U_{ijLp} 、 U_{ijLx} 、 U_{ijLy} から各接続線 R_{ip} 、 R_{ix} 、 R_{iy} へ出力される。各接続線 R_i (R_{ip} 、 R_{ix} 、 R_{iy})に接続されたオペアンプ部42の各行オペアンプ42 - R_i からの各出力電圧がスイッチ部43SWの各スイッチ43SW - R_i を介してA/Dコンバータ43へ出力される。A/Dコンバータ43からの出力がコンピュータPC44へ出力されることにより、コンピュータPC44は、選択信号SELにより選択された一列j分の各センサユニット U_{ij} ($i = 1 \sim 4$)からの接触圧力p、x軸せん断応力 σ_x 、y軸せん断応力 σ_y に基づく電圧を処理(後述する電圧から各圧力への変換処理および各圧力の表示処理)し、次の接続線 C_{j+1} を選択する選択信号を出力すること(リレー制御)を順次繰返す。

【0097】

換算部54におけるセンサユニット U_{ij} に働く接触圧力pと下部電極 U_{ijLp} に接続された各オペアンプ OP_{ip} からの各出力電圧 V_{ip} との間の所定の測定原理(1)とは、予め実験により接触圧力pとそれに対する式5左辺(V_p/E)との関係を得ておけば、その後は出力電圧 V_p を測定することにより当該関係から接触圧力pを得る(換算すること)ができるという測定原理である。即ち、出力電圧 V_p を測定することにより、x軸方向のせん断応力 σ_x 、y軸方向のせん断応力 σ_y に干渉されずにz軸方向の接触圧力pのみを検出することができる。換算部54におけるセンサユニット U_{ij} に働くx軸せん断応力 σ_x 、y軸せん断応力 σ_y と、各下部電極 U_{ijLx} 、 U_{ijLy} に接続された各オペアンプ OP_{ix} 、 OP_{iy} からの各出力電圧 V_{ix} 、 V_{iy} との間の所定の測定原理(2)とは、予め実験によりせん断応力(σ_x 、 σ_y)とそれに対する式6左辺 $\{(1/V_x) - (1/V_p)\} \times E$ との関係を得ておけば、その後は出力電圧 V_x および V_p を測定することにより当該関係からせん断応力 σ_x を得る(換算すること)ができるという測定原理である。測定されたせん断応力 σ_x と σ_y とに基づき、せん断応力の作用方向を判別することができる。以上のように、本発明の分布測定センサシステム40によれば、センサユニット U_{ij} の接触圧力pとx軸せん断応力 σ_x 、y軸せん断応力 σ_y との同時測定が可能である。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 8 】

表示部 5 5 における所定の表示形式は、マトリックス M 1 に対応させてセンサユニット U_{ij} の表示（例えば四角形）を配置し、センサユニット U_{ij} 毎に、接触圧力 p の大きさを所定の色別（例えば強～弱を赤色側の波長～紫色側の波長の色）で示し、 x 軸せん断応力 x および y 軸せん断応力 y を合成したせん断応力 $i j$ をベクトルで示す形式である。

【 0 0 9 9 】

上述したように、本発明の分布測定センサ 1 0 は多数のセンサユニット U_{ij} （測定点）を接続線 C_i および R_i により連結することによって、多くの測定点を上下電極の交点（マトリックス M の要素）に配置することができた。このマトリックス状の構成により、測定点毎に一つずつスキャンして接触圧力、せん断応力の情報を得るのではなく、マトリックス M の 1 列 j を選択した状態で、上述したように各スイッチ $43 SW - R_i$ を順次選択することにより順次行 i （ $i = 1 \sim m$ ）を選択してセンサユニット U_{ij} （交点）の情報を得ることができる。さらに、繰返し部 5 6 により次の列 $j + 1$ を選択して列 j の際と同様にセンサユニット U_{ij} の情報を得る行列型のスキャンを実施することができる。この結果、本発明の分布測定センサシステム 4 0 によれば、生体（指）と物体（容器）との界面に働く接触圧力 p 、せん断応力 の測定に適用可能な薄くてしなやかな分布測定センサ 1 0 という特徴を備えつつ、且つ触覚の分布を捉えるために多数のセンサユニット U_{ij} を集積化しても取り回し配線の領域を格段に減らすことができ、設計がシンプルとなる上、製造コストの増大を抑えることができ、生体と物体との界面に適用可能な高分解能を有する分布測定センサシステム等を提供することができる。

【 実施例 2 】

【 0 1 0 0 】

図 1 9 は、センサユニット U_{ij} の他の形状例を平面図で示す。図 1 9 で、図 5 と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図 5 では上部電極 $U_{ij} H$ が有する x 軸平行部分として上部電極 $U_{ij} H$ の右下辺部分を挙げ、 y 軸平行部分として上部電極 $U_{ij} H$ の左上辺部分とを挙げた。同様に、上部電極 $U_{ij} H$ が有する他の x 軸平行部分として上部電極 $U_{ij} H$ の上辺部分を挙げ、他の y 軸平行部分として上部電極 $U_{ij} H$ の右辺部分とを挙げるができる。図 1 9 のセンサユニット U_{ij} が図 5 のセンサユニット U_{ij} と異なる点は、図 5 の x 軸せん断応力測定部 $U_{ij} x$ を上記他の y 軸平行部分に設定して x 軸せん断応力測定部 $U_{ij} x 2$ とし、図 5 の y 軸せん断応力測定部 $U_{ij} y$ を上記他の x 軸平行部分に設定して y 軸せん断応力測定部 $U_{ij} y 2$ とした点にある。図 1 9 に示されるように、下部電極 $U_{ij} L x 2$ は上部電極 $U_{ij} H$ の他の y 軸平行部分において下部電極 $U_{ij} L x 2$ の一部の面積（好適には半分の面積）が上部電極 $U_{ij} H$ の一部の面積と上下に（ z 軸方向に）重なるように設計した。下部電極 $U_{ij} L y 2$ は上部電極 $U_{ij} H$ の他の x 軸平行部分において下部電極 $U_{ij} L y$ の一部の面積（好適には半分の面積）が上部電極 $U_{ij} H$ の一部の面積と上下に（ z 軸方向に）重なるように設計した。 x 軸せん断応力測定部 $U_{ij} x 2$ に x 軸方向のせん断応力 x が働いた場合の測定方法、 y 軸せん断応力測定部 $U_{ij} y 2$ に y 軸方向のせん断応力 x が働いた場合の測定方法は、図 5 のセンサユニット U_{ij} の場合と同様であるため説明は省略する。接触圧力測定部 $U_{ij} p$ の設定は図 5 のセンサユニット U_{ij} の場合と同様であるため説明は省略する。

【 0 1 0 1 】

以上より、本発明の実施例 2 によれば、実施例 1 のセンサユニット U_{ij} の他の形状として、 x 軸せん断応力測定部 $U_{ij} x 2$ を上記他の y 軸平行部分に設定し、 y 軸せん断応力測定部 $U_{ij} y 2$ を上記他の x 軸平行部分に設定することができる。当該設定においても実施例 1 と同様に、 x 軸せん断応力測定部 $U_{ij} x 2$ は y 軸方向のせん断応力 y に干渉されずに x 軸方向のせん断応力 x のみを検出することができ、 y 軸せん断応力測定部 $U_{ij} y 2$ は x 軸方向のせん断応力 x に干渉されずに y 軸方向のせん断応力 y のみを検出することができる。この結果、測定されたせん断応力 x と y とに基づき

、せん断応力 $(= x + y)$ の作用方向を判別することができる。接触圧力測定部 U_{ijp} は x 軸方向のせん断応力 x 、 y 軸方向のせん断応力 y に干渉されずに z 軸方向の接触圧力 p のみを検出することができる。以上により、実施例 2 のセンサユニット U_{ij} においても接触圧力 p と x 軸せん断応力 x 、 y 軸せん断応力 y との同時測定が可能となる。

【実施例 3】

【0102】

図 20 は、センサユニット U_{ij} の別の形状例を平面図で示す。図 20 で、図 5 および図 19 と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図 20 に示されるセンサユニット U_{ij} は、図 5 のセンサユニット U_{ij} と図 19 のセンサユニット U_{ij} とを合成した設計となっている。図 20 に示されるように、 x 軸方向のせん断応力 x は x 軸せん断応力測定部 U_{ijx} と x 軸せん断応力測定部 U_{ijx2} とにより測定され、 y 軸方向のせん断応力 y は y 軸せん断応力測定部 U_{ijy} と y 軸せん断応力測定部 U_{ijy2} とにより測定される。各測定部における測定方法は実施例 1 および 2 と同様であるため説明は省略する。 x 軸方向のせん断応力 x は 2 つの x 軸せん断応力測定部 U_{ijx} で測定されたせん断応力と U_{ijx2} で測定されたせん断応力との平均をとればよい。あるいは 2 つの測定値に適宜重みを掛けて取得してもよい。 y 軸方向のせん断応力 y に関しても同様である。接触圧力測定部 U_{ijp} の設定は図 5 のセンサユニット U_{ij} の場合と同様であるため説明は省略する。

【0103】

以上より、本発明の実施例 3 によれば、実施例 1 のセンサユニット U_{ij} の形状と実施例 2 のセンサユニット U_{ij} の他の形状とを合成することができる。即ち、 x 軸せん断応力測定部 U_{ijx} 等および y 軸せん断応力測定部 U_{ijy} 等の数を増やすことができる。実施例 3 の形状においても実施例 1 および 2 と同様に、せん断応力測定部 U_{ijx} および U_{ijx2} は y 軸方向のせん断応力 y に干渉されずに x 軸方向のせん断応力 x のみを検出することができ、せん断応力測定部 U_{ijy} 、 U_{ijy2} は x 軸方向のせん断応力 x に干渉されずに y 軸方向のせん断応力 y のみを検出することができる。この結果、測定された 2 つのせん断応力 x の平均等と 2 つのせん断応力 y の平均等とに基づき、合成されたせん断応力の作用方向を判別することができる。接触圧力測定部 U_{ijp} は x 軸方向のせん断応力 x 、 y 軸方向のせん断応力 y に干渉されずに z 軸方向の接触圧力 p のみを検出することができる。以上により、実施例 2 のセンサユニット U_{ij} においても接触圧力 p と x 軸せん断応力 x 、 y 軸せん断応力 y との同時測定が可能となる。

【0104】

x 軸せん断応力測定部 U_{ijx} 等および y 軸せん断応力測定部 U_{ijy} 等の数は 2 個ずつに限定されるものではなく、測定する対象に合せて各々任意個設けてもよい。上部電極 U_{ijH} の形状は、上述したように左下隅が欠けた形状に限定されるものではない。上部電極 U_{ijH} の形状の一部に x 軸平行部分と y 軸平行部分とを設けておき、そこに y 軸せん断応力測定部 U_{ijy} と x 軸せん断応力測定部 U_{ijx} とを設定すれば、上部電極 U_{ijH} の全体としての形状は三角形、円形状等の任意の形状であってもよい。

【実施例 4】

【0105】

図 21 は、上述した各実施例において接続線 R_{i+1y} と上部電極 $U_{i+1j+1H}$ とが上下に重なる面積の諸影響を説明する。図 21 は図 7 (B) の一部を取出した図であり、図 7 と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図 21 に示されるように、 y 軸せん断応力測定部 $U_{i+1j+1y}$ の下部電極 $U_{i+1j+1Ly}$ を行 $i+1$ 方向に接続する接続線 R_{i+1y} (リード線 R_{i+1y}) と上部電極 $U_{i+1j+1H}$ とが上下に重なる面積 S は、せん断応力 x 、 y が作用した際における上部電極 $U_{i+1j+1H}$ と下部電極 $U_{i+1j+1Lx}$ の一部、下部電極 $U_{i+1j+1Ly}$ の一部とが重なる領域の面積の変化(従って、厚さ方向の距離の変化および電気抵抗の変化)

に影響を及ぼす可能性が考えられる。この影響は接続線 R_{i+1y} の線幅が十分に細い場合にはほとんど問題にはならない。しかし、必要に応じ当該影響が及ばないように、上記重なる面積 S 部分では接続線 R_{i+1y} 上に絶縁層を塗布している。つまり、面積 S 部分では z 軸方向に接続線 R_{i+1y} 、絶縁層、感圧材料 $20y$ 、上部電極 $U_{i+1j+1H}$ という構造にしてある。

【実施例 5】

【0106】

図 22 は、本発明の分布測定プログラムを実行するコンピュータ PC44 の内部回路 100 を示すブロック図である。図 22 に示されるように、CPU101、ROM102、RAM103、画像制御部 106、コントローラ 107、入力制御部 109 及び外部 I/F 部 112 はバス 113 に接続されている。図 22 において、上述した本発明の分布測定プログラムは、ROM102、ディスク等の記録領域 60 又は DVD 若しくは CD-ROM109 等の記録媒体（脱着可能な記録媒体を含む）に記録されている。ディスク 60 には、上述した接触圧力記録エリア 61、 x 軸せん断応力記録エリア 62、 y 軸せん断応力記録エリア 63 等を記録しておくことができる。分布測定プログラムは、ROM102 からバス 113 を介し、あるいはディスク 60 又は DVD 若しくは CD-ROM109 等の記録媒体からコントローラ 107 を経由してバス 113 を介し RAM103 へロードされる。画像制御部 106 は、ディスプレイ 45 により表示される種々の画像（図 17（B）、図 18（B））等の画像データを VRAM105 へ送出する。ディスプレイ 45 は VRAM105 から送出された上記データ等を表示する。VRAM105 はディスプレイ 45 の一画面分のデータ容量に相当する容量を有している画像メモリである。入力装置 46 はコンピュータ PC44 に入力等を行うためのマウス、キーボード等の入力装置であり、入力制御部 110 は入力装置 46 と接続され入力制御等を行う。外部 I/F 部 112 はコンピュータ PC44（CPU101）の外部（リレー部 41、A/D コンバータ 43 等）と接続する際のインタフェース機能を有している。

【0107】

上述したようにコンピュータ PC44（CPU101）が本発明の分布測定プログラムを実行することにより、本発明の目的を達成することができる。分布測定プログラムは上述のように DVD 若しくは CD-ROM109 等の記録媒体の形態でコンピュータ PC44（CPU101）に供給することができ、分布測定プログラムを記録した DVD 若しくは CD-ROM109 等の記録媒体も同様に本発明を構成することになる。分布測定プログラムを記録した記録媒体としては上述された記録媒体の他に、例えばメモリ・カード、メモリ・スティック、光ディスク等を用いることができる。

【実施例 6】

【0108】

図 23（A）、（B）は図 3（A）、（B）とほぼ同様のセンサユニット U_{ij} の x 軸せん断応力測定部 U_{ijx} 近傍における垂直方向断面図であり、図 3（A）、（B）と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図 23（A）に示されるように、 x 軸せん断応力測定部 U_{ijx} の感圧材料 $20x$ が上部電極 U_{ijH} 側と重なっている面積（上述した重なる領域の面積）は OL である。感圧材料 $20x$ が下部電極 U_{ijLx} 側と重なっている面積は図示しないが、同様に OL である。ここで、 x 軸せん断応力測定部 U_{ijx} に対して x 軸の正負方向にせん断応力 σ_x が働くと、図 23（B）に示されるように上部電極 U_{ijH} 側が x 軸の正方向へずれ、下部電極 U_{ijLx} 側が x 軸の負方向へずれる。ここまでは実施例 1（図 3 参照）と同様であるが、本実施例 6 ではこの両電極のずれ（位置関係の変化）の結果、上述した重なる領域の面積は OL から OL' へ減少するため、 x 軸せん断応力測定部 U_{ijx} における電気抵抗値が増加する。つまり、せん断応力測定部 U_{ijx} は x 軸の正負方向のせん断応力 σ_x が働いた場合、上述した重なる領域の面積の減少（ OL から OL' ）による電気抵抗値の変化（増加）に基づき、 x 軸方向のせん断応力 σ_x を測定することができる。

【0109】

10

20

30

40

50

上述した実施例 1 では、せん断応力測定部 U_{ij} x は x 軸の正負方向のせん断応力 x が働いた場合、図 3 (B) に示されるように上部電極 U_{ijH} 側が x 軸の正方向へずれ、下部電極 U_{ijL} x 側が x 軸の負方向へずれる。この両電極のずれ (位置関係の変化) の結果、上記重なる領域における感圧材料 20 x の x 軸方向のせん断変形、即ち上部電極 U_{ijH} と下部電極 U_{ijL} x との間の厚さ方向の距離の変化 (r から r' へ増加) に基づき、 x 軸方向のせん断応力 x を測定することができた。本実施例 6 では、上記両電極のずれ (位置関係の変化) の結果、上記重なる領域における感圧材料 20 x の x 軸方向のせん断変形が生じなくても、せん断応力測定部 U_{ij} x は上記重なる領域における感圧材料 20 x の x 軸方向の面積の変化 (OL から OL' へ減少) による電気抵抗値の変化に基づき、 x 軸方向のせん断応力 x を測定することができる。以上を纏めると、 x 軸せん断応力測定部 U_{ij} x は、 x 軸方向のせん断応力が働いた場合における上記重なる領域における感圧材料 20 x の電気抵抗値の変化に基づき、 x 軸方向のせん断応力 x を測定することができる。

10

【 0 1 1 0 】

y 軸せん断応力測定部 U_{ij} y に対して y 軸方向にせん断応力 y が働いた場合も同様であり、図 2 3 (A)、(B) の x 軸を y 軸とし、符号 x を y と読み替えればよい。つまり、 y 軸せん断応力測定部 U_{ij} y に対して y 軸の正負方向にせん断応力 y が働くと、上部電極 U_{ijH} 側が y 軸の正方向へずれ、下部電極 U_{ijL} y 側が y 軸の負方向へずれる。ここまでは実施例 1 (図 3 参照) と同様であるが、本実施例 6 ではこの両電極のずれ (位置関係の変化) の結果、重なる領域の面積 (y 軸せん断応力測定部 U_{ij} y に関しては不図示) は OL から OL' へ減少するため、 y 軸せん断応力測定部 U_{ij} y における電気抵抗値が増加する。つまり、せん断応力測定部 U_{ij} y は y 軸の正負方向のせん断応力 y が働いた場合、上述した重なる領域の面積の減少 (OL から OL') による電気抵抗値の変化 (増加) に基づき、 y 軸方向のせん断応力 y を測定することができる。本実施例 6 では、上記両電極のずれ (位置関係の変化) の結果、上記重なる領域における感圧材料 20 y の y 軸方向のせん断変形が生じなくても、せん断応力測定部 U_{ij} y は上記重なる領域における感圧材料 20 y (不図示) の y 軸方向の面積の変化 (OL から OL' へ減少) による電気抵抗値の変化に基づき、 y 軸方向のせん断応力 y を測定することができる。以上を纏めると、 y 軸せん断応力測定部 U_{ij} y は、 y 軸方向のせん断応力が働いた場合における上記重なる領域における感圧材料 20 y の電気抵抗値の変化に基づき、 y 軸方向のせん断応力 y を測定することができる。

20

30

【 産業上の利用可能性 】

【 0 1 1 1 】

本発明の活用例として、生体と物体との界面に働く接触圧力およびせん断応力の測定、特に触覚の分布を高空間分解可能に測定することへ適用することができる。

【 符号の説明 】

【 0 1 1 2 】

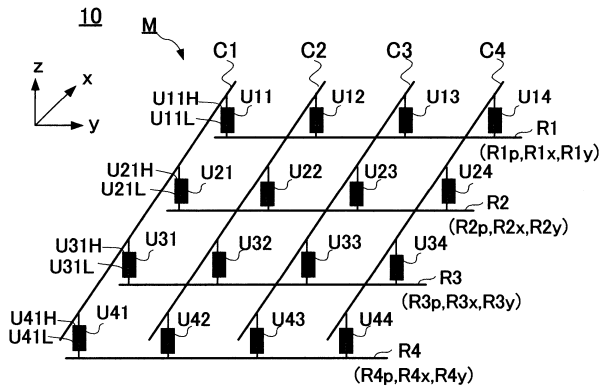
10 分布測定センサ、 20、20 x 、20 p 感圧材料、 40 分布測定センサシステム、 41 リレー部、 42 オペアンプ部、 42 - R 1、42 - R 2、42 R 3、42 - R 4、42 - R i 行オペアンプ、 43 SW スイッチ部、 43 SW - R 1、43 SW - R 2、43 SW - R 3、43 SW - R 4、43 SW - R i p 、43 SW - R i x 、43 SW - R i y スイッチ、 43 A / D コンバータ、 44 コンピュータ PC、 45 ディスプレイ、 46 入力装置、 50 F 機能等ブロック、 51 選択信号制御部、 52 A / D コンバータ、 53 電圧データ記録部、 54 換算部、 55 表示部、 56 繰返し部、 60 記録領域、 61 接触圧力記録エリア、 62 x 軸せん断応力記録エリア、 63 y 軸せん断応力記録エリア、 70 較正装置、 71、72、73 アクチュエータ、 74 X - Y ステージ、 76 圧縮型ロードセル、 100 内部回路、 101 CPU、 102 ROM、 103 RAM、 105 VRAM、 106 画像制御部、 107 コントローラ、 109 記録媒体、 110 入力制御部、 112 外部 I / F 部、 113 バス

40

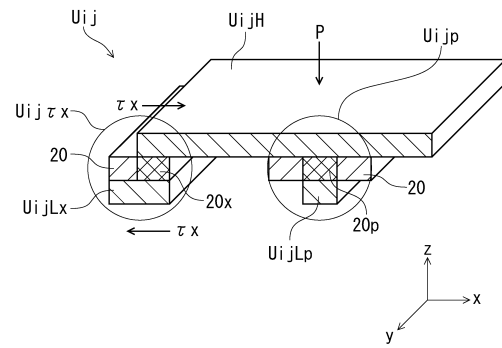
50

o

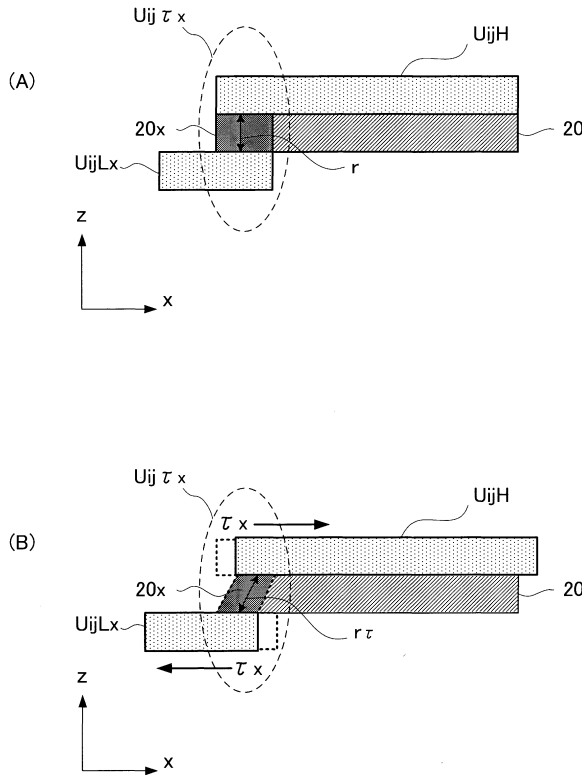
【 図 1 】



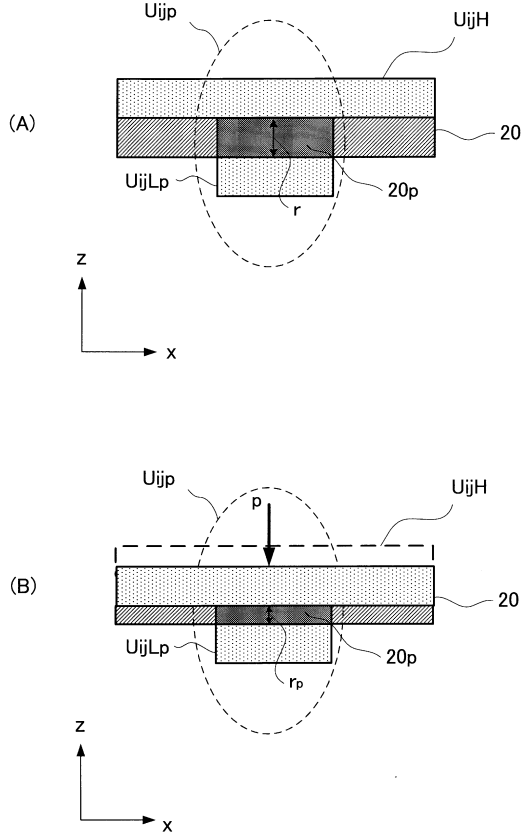
【 図 2 】



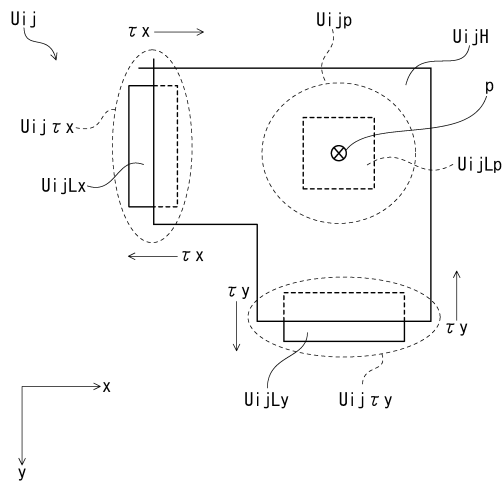
【図3】



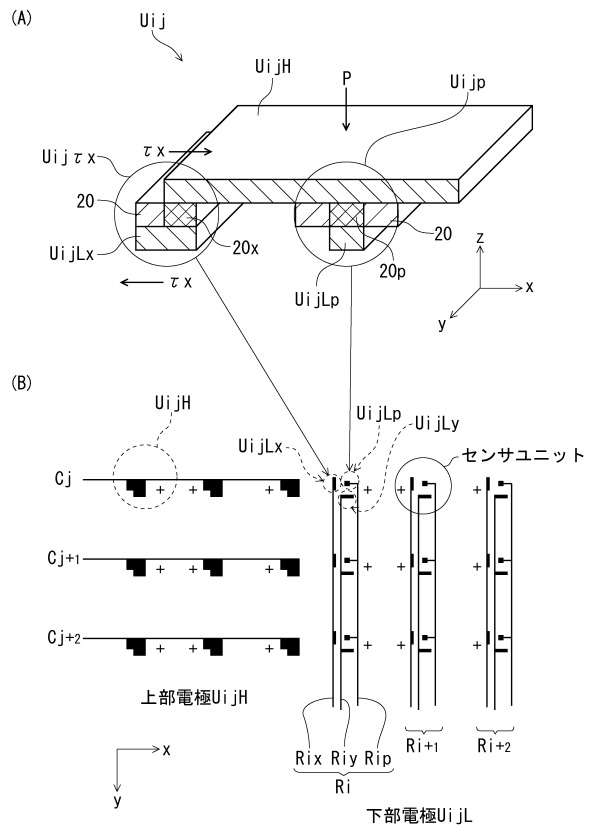
【図4】



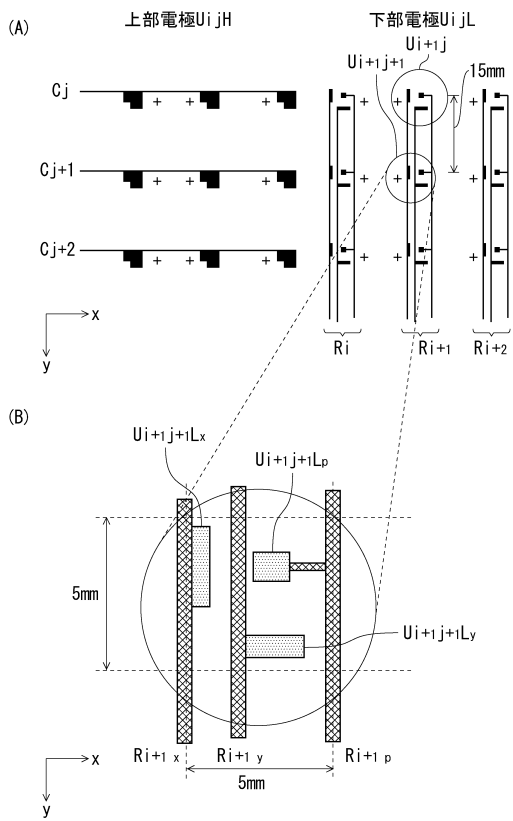
【図5】



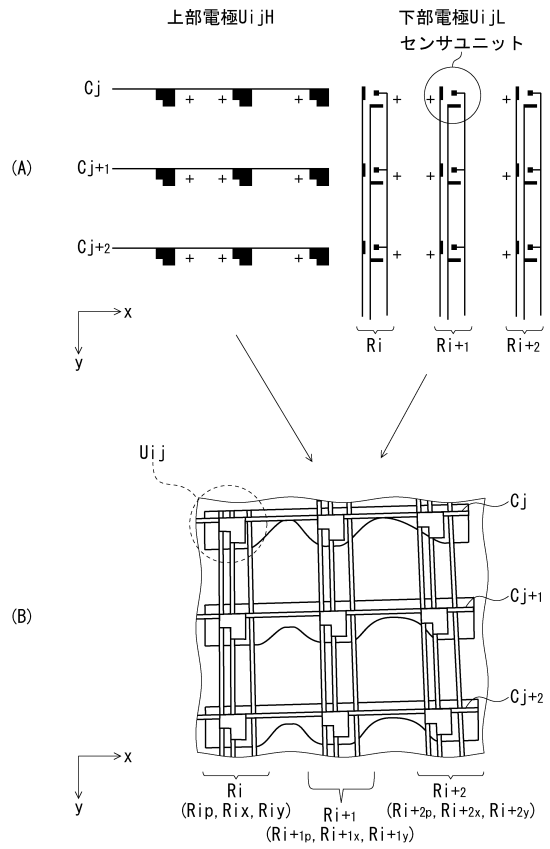
【図6】



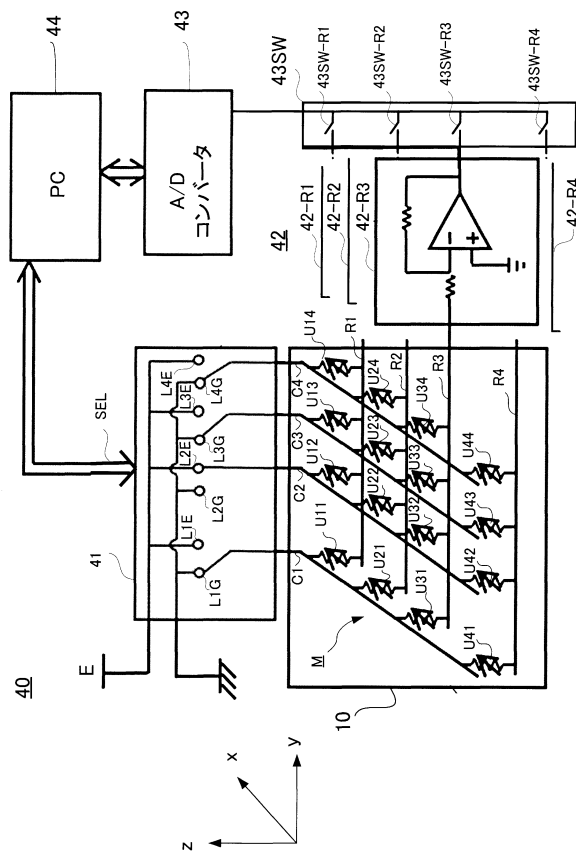
【 図 7 】



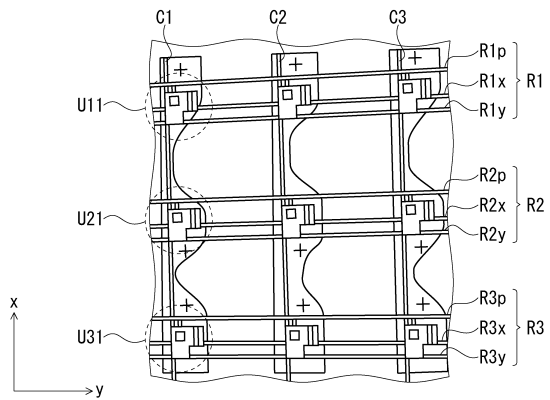
【 図 8 】



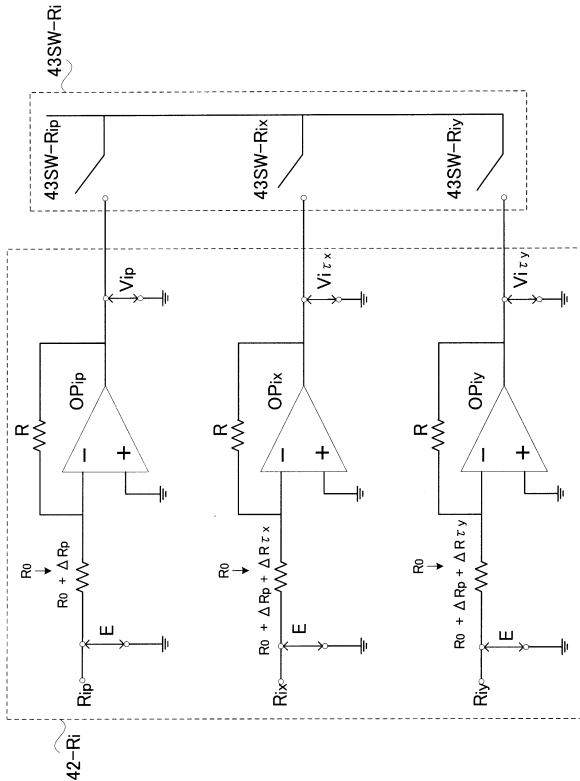
【 図 9 】



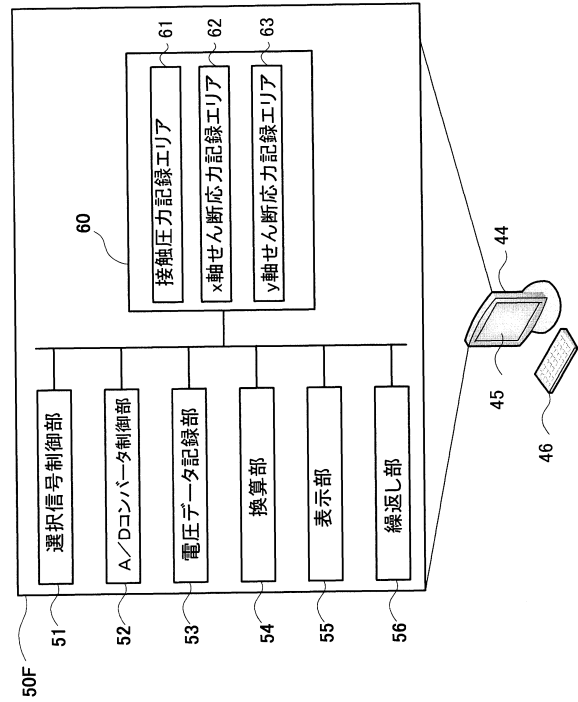
【 図 10 】



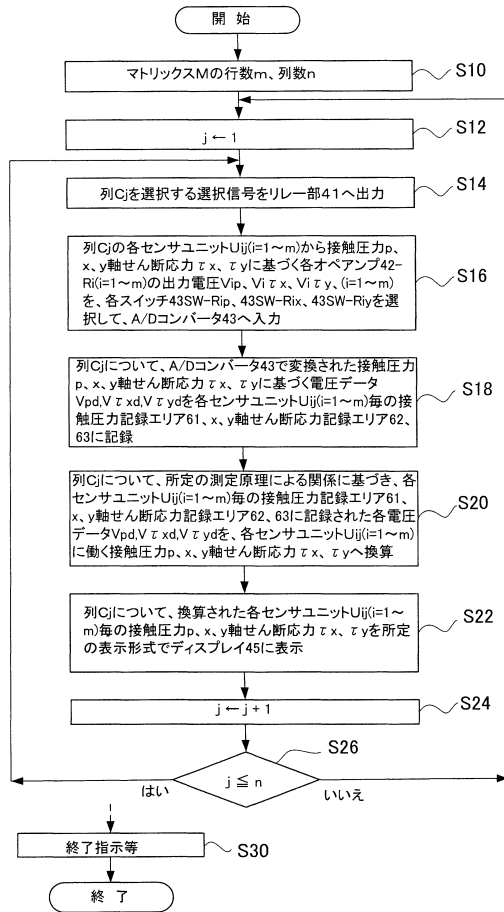
【図11】



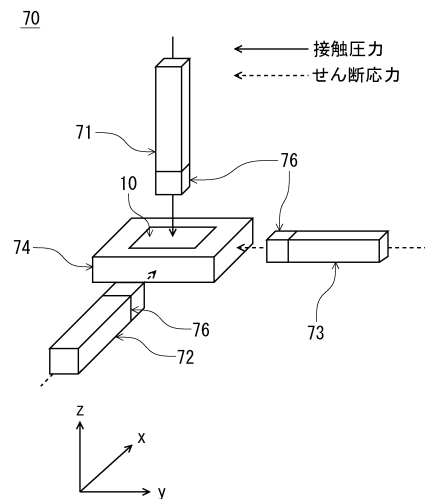
【図12】



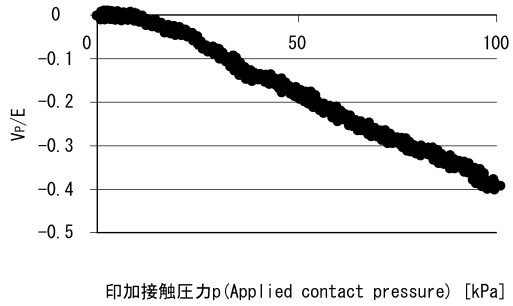
【図13】



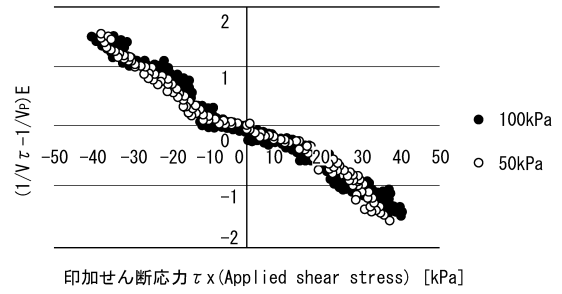
【図14】



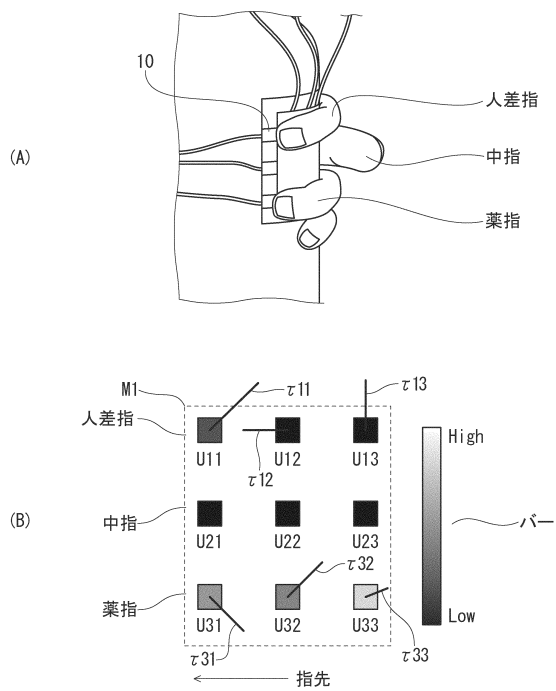
【図 15】



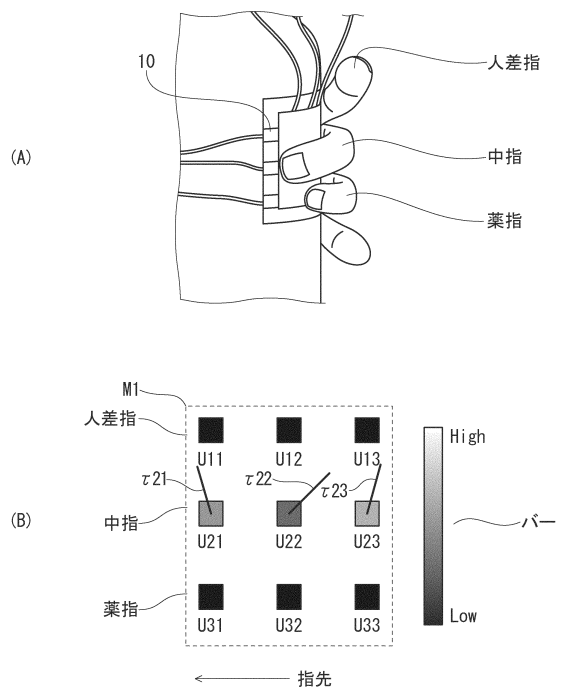
【図 16】



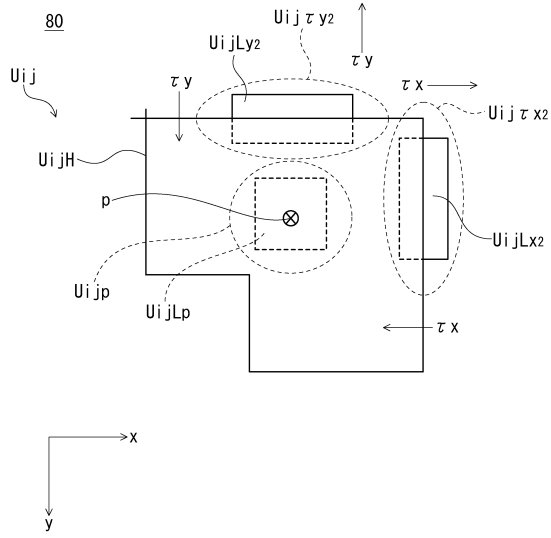
【図 17】



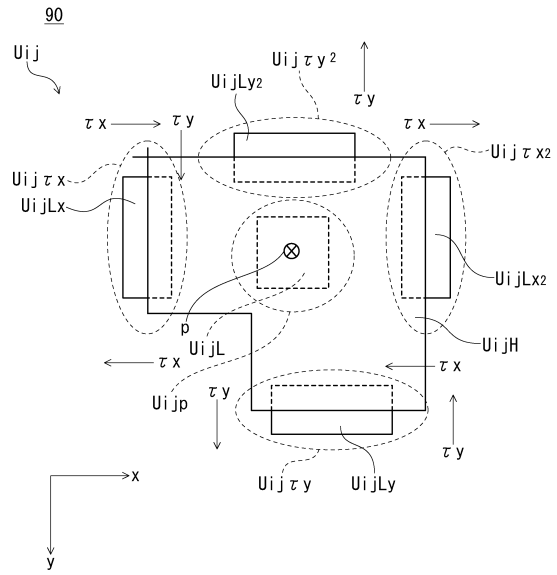
【図 18】



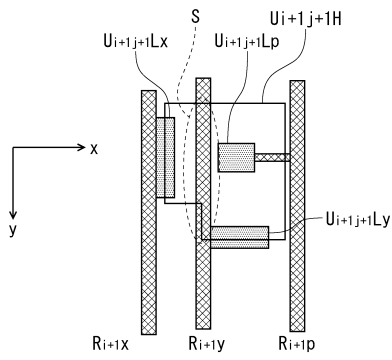
【図19】



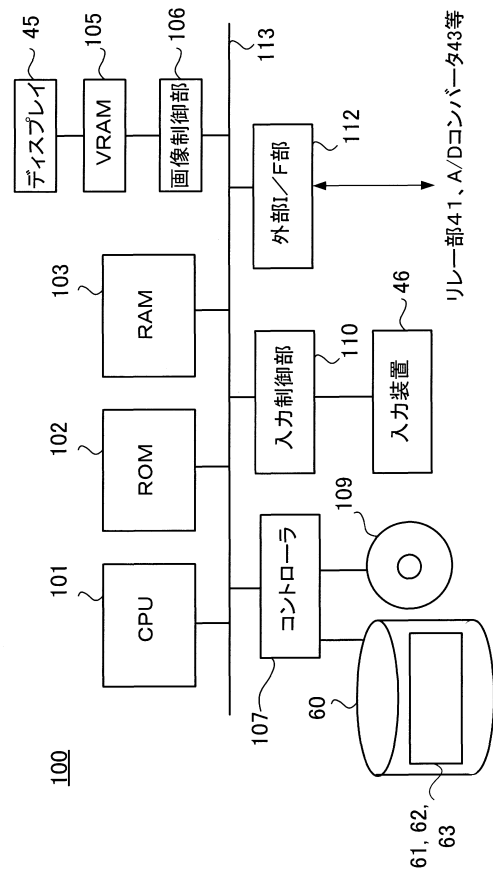
【図20】



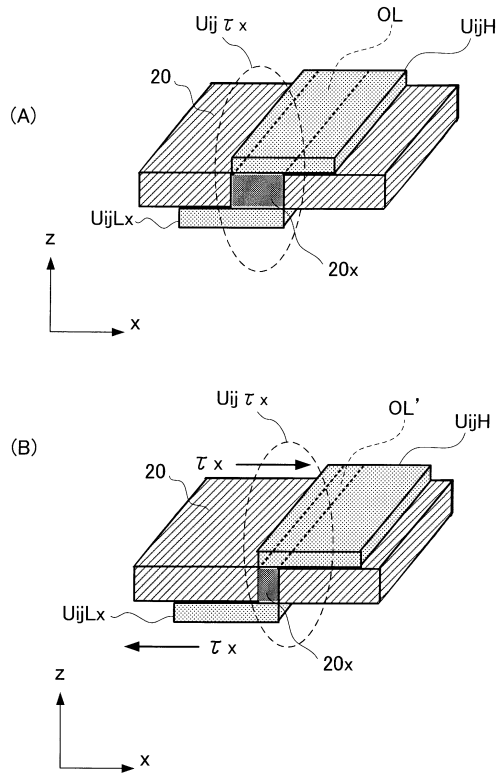
【図21】



【図22】



【 図 23 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2012-168064(JP, A)
特許第3983638(JP, B2)
特許第6325289(JP, B2)
米国特許第5571973(US, A)
米国特許第7343813(US, B1)
国際公開第2015/176032(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01L 5/00
G01L 1/20
G01L 5/16

本件特許出願に対応する国際特許出願PCT/JP2017/039936の調査結果が利用された。