(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3619339号
(P3619339)
(45)発行日　平成17年2月9日(2005.2.9)　(24)登録日　平成16年11月19日(2004.11.19)

(51)Int.Cl.[7]	F I		
G01L 5/00	G01L	5/00	101Z
G01B 7/16	G01B	7/16	
G01L 1/16	G01L	1/16	

請求項の数 11　(全 26 頁)

(21)出願番号　特願平8-296380
(22)出願日　平成8年11月8日(1996.11.8)
(65)公開番号　特開平10-142084
(43)公開日　平成10年5月29日(1998.5.29)
審査請求日　平成14年11月26日(2002.11.26)

(73)特許権者　000005326
本田技研工業株式会社
東京都港区南青山二丁目１番１号
(74)代理人　100071870
弁理士　落合　健
(74)代理人　100097618
弁理士　仁木　一明
(72)発明者　平林　祐輔
埼玉県和光市中央１丁目４番１号　株式会社本田技術研究所内
(72)発明者　大田　正弘
埼玉県和光市中央１丁目４番１号　株式会社本田技術研究所内

審査官　松浦　久夫

最終頁に続く

(54)【発明の名称】圧電式荷重センサおよび荷重作用位置検出方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

上部導電体（１；１２，１５）と，下部導電体（２；１１，１２）と，それら上，下部導電体（１；１２，１５）（２；１１，１２）間に位置する中間部導電体（３；１２，１４）と，前記上，中間部導電体（１；１２，１５）（３；１２，１４）間に挟まれて並列する複数の上部圧電素子（MU_1 ～MU_{12}；MU_1 ～MU_3 ）と，前記下，中間部導電体（２；１１，１２）（３；１２，１４）間に挟まれて並列する複数の下部圧電素子（ML_1 ～ML_{12}；ML_1 ～ML_3 ）とを備え，前記複数の上部圧電素子（MU_1 ～MU_{12}；MU_1 ～MU_3 ）においては，それらの圧電定数が並列方向一端部に存する圧電素子（MU_{12}；MU_3 ）から並列方向他端部に存する圧電素子（MU_1 ；MU_1 ）に向って漸減するように設定され，前記複数の下部圧電素子（ML_1 ～ML_{12}；ML_1 ～ML_3 ）においては，それらの圧電定数が前記並列方向一端部に存する圧電素子（ML_1 ；ML_1 ）から前記並列方向他端部に存する圧電素子（ML_{12}；ML_3 ）に向って漸増するように設定されていることを特徴とする圧電式荷重センサ。

【請求項２】

複数の前記下部圧電素子（ML_1 ～ML_{12}；ML_1 ～ML_3 ）の並列様式が，複数の前記上部圧電素子（MU_1 ～MU_{12}；MU_1 ～MU_3 ）を水平面内で１８０°回転させたときの並列様式と同一である，請求項１記載の圧電式荷重センサ。

【請求項３】

１つの前記上部圧電素子（MU_1 ～MU_{12}；MU_1 ～MU_3 ）およびその上部圧電素子（MU_1 ～MU_{12}；MU_1 ～MU_3 ）に対向する１つの前記下部圧電素子（ML_{12}～ML_1 ；ML_3 ～ML_1 ）に一定荷重Ｔをかけた状態において，それら上，下部圧電素子（MU_1 ～MU_{12}，ML_{12}～ML_1 ；MU_1 ～MU_3 ，ML_3 ～ML_1 ）が発生する両電圧の和が，他の何れか１つの前記上部圧電素子（MU_1 ～MU_{12}；MU_1 ～MU_3 ）およびその上部圧電素子（MU_1 ～MU_{12}；MU_1 ～MU_3 ）に対向する１つの前記下部圧電素子（ML_{12}～ML_1 ；ML_3 ～ML_1 ）に前記一定荷重Ｔをかけた状態において，それら上，下部圧電素子（MU_1 ～MU_{12}，ML_{12}～ML_1 ；MU_1 ～MU_3 ，ML_3 ～ML_1 ）が発生する両電圧の和に等しい，請求項１または２記載の圧電式荷重センサ。

【請求項４】

下部圧電ユニット（UL_1 ～UL_3 ）が上部導電体（１２，１５）と，下部導電体（１１，１２）と，それら上，下部導電体（１２，１５）（１１，１２）間に挟まれて並列する複数の下部圧電素子（ML_1 ～ML_3 ）と，前記上部導電体（１５，１２）の上側に在って並列する複数の上部圧電素子（MU_1 ～MU_3 ）とを備え，前記複数の上部圧電素子（MU_1 ～MU_3 ）においては，それらの圧電定数が並列方向一端部に存する圧電素子（MU_3 ）から並列方向他端部に存する圧電素子（MU_1 ）に向って漸減するように設定され，前記複数の下部圧電素子（ML_1 ～ML_3 ）においては，それらの圧電定数が前記並列方向一端部に存する圧電素子（ML_1 ）から前記並列方向他端部に存する圧電素子（ML_3 ）に向って漸増するように設定されており，複数の前記下部圧電ユニット（UL_1 ～UL_3 ）を，それらの上部圧電素子（MU_1 ～MU_3 ）のうち最大圧電定数を有するもの（MU_3 ）が相隣るように並列させると共に相隣る両導電体（１２，１５），（１１，１２）間を電気的に接続した下部圧電ユニット群（G_L ）と，

前記下部圧電ユニット群（G_L ）の各下部圧電ユニット（UL_1 ～UL_3 ）上に配置された複数の中間部導電体（１２，１４）と，

相隣る両中間部導電体（１２，１４）間を電気的に接続する手段（２２）と，

上部圧電ユニット（UU_1 ～UU_3 ）が上部導電体（１２，１５）と，下部導電体（１１，１２）と，それら上，下部導電体（１２，１５）（１１，１２）間に挟まれて並列する複数の上部圧電素子（MU_1 ～MU_3 ）と，前記下部導電体（１１，１２）の下側に在って並列する複数の下部圧電素子（ML_1 ～ML_3 ）とを備え，前記複数の上部圧電素子（MU_1 ～MU_3 ）においては，それらの圧電定数が並列方向一端部に存する圧電素子（MU_3 ）から並列方向他端部に存する圧電素子（MU_1 ）に向って漸減するように設定され，前記複数の下部圧電素子（ML_1 ～ML_3 ）においては，それらの圧電定数が前記並列方向一端部に存する圧電素子（ML_1 ）から前記並列方向他端部に存する圧電素子（ML_3 ）に向って漸増するように設定されており，複数の前記上部圧電ユニット（UU_1 ～UU_3 ）を，それらの上部圧電素子（MU_1 ～MU_3 ）のうち最大圧電定数を有するもの（MU_3 ）が相隣るように並列させると共に相隣る両導電体（１２，１５），（１１，１２）間を電気的に接続し，且つ前記各中間部導電体（１２，１４）を介して前記下部圧電ユニット群（G_L ）に重ね合せられた上部圧電ユニット群（G_U ）と

より構成され，複数の前記上部圧電ユニット（UU_1 ～UU_3 ）の並列方向（Ａ）と，複数の前記下部圧電ユニット（UL_1 ～UL_3 ）の並列方向（Ｂ）とが交差関係にあることを特徴とする圧電式荷重センサ。

【請求項５】

前記上部圧電ユニット群（G_U ）の前記上部圧電ユニット（UU_1 ～UU_3 ）における前記上，下部圧電素子（MU_1 ～MU_3 ，ML_1 ～ML_3 ）の並列様式が，前記下部圧電ユニット群（G_L ）を水平面内で９０°回転させたときの前記下部圧電ユニット（UL_1 ～UL_3 ）における前記上，下部圧電素子（MU_1 ～MU_3 ，ML_1 ～ML_3 ）の並列様式と同一である，請求項４記載の圧電式荷重センサ。

【請求項６】
上部導電体（１）と，下部導電体（２）と，それら上，下部導電体（１，２）間に挟まれて並列する複数の直方体状下部圧電素子（ML_1 ～ML_3 ）と，前記上部導電体（１）の上側に在って前記下部圧電素子（ML_1 ～ML_3 ）と同方向に並列する複数の直方体状上部圧電素子（MU_1 ～MU_3 ）とを備え，前記複数の上部圧電素子（MU_1 ～MU_3 ）においては，それらの圧電定数が並列方向一端部に存する圧電素子（MU_3 ）から並列方向他端部に存する圧電素子（MU_1 ）に向って漸減するように設定され，前記複数の下部圧電素子（ML_1 ～ML_3 ）においては，それらの圧電定数が前記並列方向一端部に存する圧電素子（ML_1 ）から前記並列方向他端部に存する圧電素子（ML_3 ）に向って漸増するように設定されている下部圧電ユニット（ＵＬ）と，
前記下部圧電ユニット（ＵＬ）上に配置された中間部導電体（３）と，
上部導電体（１）と，下部導電体（２）と，それら上，下部導電体（１，２）間に挟まれて並列する複数の直方体状上部圧電素子（MU_1 ～MU_3 ）と，前記下部導電体（２）の下側に在って前記上部圧電素子（MU_1 ～MU_3 ）と同方向に並列する複数の直方体状下部圧電素子（ML_1 ～ML_3 ）とを備え，前記複数の上部圧電素子（MU_1 ～MU_3 ）においては，それらの圧電定数が並列方向一端部に存する圧電素子（MU_3 ）から並列方向他端部に存する圧電素子（MU_1 ）に向って漸減するように設定され，前記複数の下部圧電素子（ML_1 ～ML_3 ）においては，それらの圧電定数が前記並列方向一端部に存する圧電素子（ML_1 ）から前記並列方向他端部に存する圧電素子（ML_3 ）に向って漸増するように設定され，且つ前記中間部導電体（３）を介して前記下部圧電ユニット（ＵＬ）に重ね合せられた上部圧電ユニット（ＵＵ）と
より構成され，前記上部圧電ユニット（ＵＵ）における前記上，下部圧電素子（MU_1 ～MU_3 ，ML_1 ～ML_3 ）の並列方向と，前記下部圧電ユニット（ＵＬ）における前記上，下部圧電素子（MU_1 ～MU_3 ，ML_1 ～ML_3 ）の並列方向とが交差関係にあることを特徴とする圧電式荷重センサ。
【請求項７】
上部導電体（１）と，下部導電体（２）と，それら上，下部導電体（１，２）間に位置する中間部導電体（３）と，前記上，中間部導電体（１，３）間に挟まれた１つの上部圧電素子（ＭＵ）と，前記下，中間部導電体（２，３）間に挟まれた１つの下部圧電素子（ＭＬ）とを備え，前記上部圧電素子（ＭＵ）は，その一端部側から他端部側に向って圧電定数が漸減するように構成され，前記下部圧電素子（ＭＬ）は，前記一端部側から前記他端部側に向って圧電定数が漸増するように構成されていることを特徴とする圧電式荷重センサ。
【請求項８】
上部導電体（１）と，下部導電体（２）と，それら上，下部導電体（１，２）間に挟まれた１つの平板状下部圧電素子（ＭＬ）と，前記上部導電体（１）の上側に在る１つの平板状上部圧電素子（ＭＵ）とを備え，前記上部圧電素子（ＭＵ）は，その一端縁部側から他端縁部側に向って圧電定数が漸減するように構成され，前記下部圧電素子（ＭＬ）は，前記上部圧電素子（ＭＵ）の前記一端縁部側に対応する一端縁部側から，前記上部圧電素子（ＭＵ）の前記他端縁部側に対応する他端縁部側に向って圧電定数が漸増するように構成されている下部圧電ユニット（ＵＬ）と，
前記下部圧電ユニット（ＵＬ）上に配置された中間部導電体（３）と，
上部導電体（１）と，下部導電体（２）と，それら上，下部導電体（１，２）間に挟まれた１つの平板状上部圧電素子（ＭＵ）と，前記下部導電体（２）の下側に在る１つの平板状下部圧電素子（ＭＬ）とを備え，前記上部圧電素子（ＭＵ）は，その一端縁部側から他端縁部側に向って圧電定数が漸減するように構成され，前記下部圧電素子（ＭＬ）は，前記上部圧電素子（ＭＵ）の前記一端縁部側に対応する一端縁部側から，前記上部圧電素子（ＭＵ）の前記他端縁部側に対応する他端縁部側に向って圧電定数が漸増するように構成されており，且つ前記中間部導電体（３）を介して前記下部圧電ユニット（ＵＬ）に重ね合せられた上部圧電ユニット（ＵＵ）と

より構成され，前記上部圧電ユニット（ＵＵ）における圧電定数の漸減および漸増方向と前記下部圧電ユニット（ＵＬ）における圧電定数の漸減および漸増方向とが交差関係にあることを特徴とする圧電式荷重センサ。

【請求項９】

前記上部圧電ユニット（ＵＵ）において，前記下部圧電素子（ＭＬ）は前記上部圧電素子（ＭＵ）を水平面内で１８０°回転させたものと同一であり，また前記下部圧電ユニット（ＵＬ）において，前記下部圧電素子（ＭＬ）は前記上部圧電素子（ＭＵ）を水平面内で１８０°回転させたものと同一である，請求項８記載の圧電式荷重センサ。

【請求項１０】

前記上部圧電ユニット（ＵＵ）の前記上，下部圧電素子（ＭＵ，ＭＬ）は，前記下部圧電ユニット（ＵＬ）を水平面内で９０°回転させたものと同一である，請求項８または９記載の圧電式荷重センサ。

【請求項１１】

上部導電体（１；１２，１５）と，下部導電体（２；１１，１２）と，それら上，下部導電体（１；１２，１５）（２；１１，１２）間に位置する中間部導電体（３；１２，１４）と，前記上，中間部導電体（１；１２，１５）（３；１２，１４）間に挟まれて並列する複数の上部圧電素子（MU_1 ～MU_{12}；MU_1 ～MU_3 ）と，前記下，中間部導電体（２；１１，１２）（３；１２，１４）間に挟まれて並列する複数の下部圧電素子（ML_1 ～ML_{12}；ML_1 ～ML_3 ）とを備え，前記複数の上部圧電素子（MU_1 ～MU_{12}；MU_1 ～MU_3 ）においては，それらの圧電定数が並列方向一端部に存する圧電素子（MU_{12}；MU_3 ）から並列方向他端部に存する圧電素子（MU_1 ；MU_1 ）に向って漸減するように設定され，前記複数の下部圧電素子（ML_1 ～ML_{12}；ML_1 ～ML_3 ）においては，それらの圧電定数が前記並列方向一端部に存する圧電素子（ML_1 ；ML_1 ）から前記並列方向他端部に存する圧電素子（ML_{12}；ML_3 ）に向って漸増するように設定されている圧電式荷重センサ（S_1 ）を用い，１つの前記上部圧電素子（MU_1 ～MU_{12}；MU_1 ～MU_3 ）およびそれと対向する１つの前記下部圧電素子（ML_{12}～ML_1 ；ML_3 ～ML_1 ）に荷重が作用したときにそれら上，下部圧電素子（MU_1 ～MU_{12}，ML_{12}～ML_1 ；MU_1 ～MU_3 ，ML_3 ～ML_1 ）が発生する電圧の比に基づいて荷重作用位置を検出することを特徴とする荷重作用位置検出方法。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は圧電式荷重センサおよびその圧電式荷重センサを用いる荷重作用位置検出方法に関する。

【０００２】

【従来の技術】

従来，この種の荷重センサとしては，特開昭６２－２９７７３５号公報に開示された圧電型圧力分布センサが知られている。

【０００３】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら，従来の荷重センサは，複数の圧電素子について，各圧電素子毎にその発生信号を検出するように構成されているので，複雑な信号処理機構を必要とし，また荷重が作用している圧電素子を検出するためには複数の圧電素子に応じた数だけ検出操作を行わなければならないので，その検出操作が煩雑になると共に検出速度も遅くなる，といった問題を生ずる。

【０００４】

【課題を解決するための手段】

本発明は，計測物理量を減少し得るようにして複雑な信号処理機構を必要とせずに荷重作用位置の検出およびその位置における荷重の検出を迅速に行うことが可能な，構造が簡単

で，製造コストの安い前記荷重センサを提供することを目的とする。

【０００５】

前記目的を達成するため本発明によれば，上部導電体と，下部導電体と，それら上，下部導電体間に位置する中間部導電体と，前記上，中間部導電体間に挟まれて並列する複数の上部圧電素子と，前記下，中間部導電体間に挟まれて並列する複数の下部圧電素子とを備え，前記複数の上部圧電素子においては，それらの圧電定数が並列方向一端部に存する圧電素子から並列方向他端部に存する圧電素子に向って漸減するように設定され，前記複数の下部圧電素子においては，それらの圧電定数が前記並列方向一端部に存する圧電素子から前記並列方向他端部に存する圧電素子に向って漸増するように設定されている圧電式荷重センサが提供される。

【０００６】

前記構成において，全部の上部圧電素子の静電容量の和をＣＵとし，また全部の下部圧電素子の静電容量の和をＣＬとして，例えば，並列方向一端部よりｎ番目の上，下部圧電素子に荷重Ｔが作用したとすると，ｎ番目の上部圧電素子が発生する電圧$ＶＵ_{n}$　および$ｎ$番目の下部圧電素子が発生する電圧$ＶＬ_{n}$　は，上，下部圧電素子の圧電定数をそれぞれ$ｄＵ_{n}$　，$ｄＬ_{n}$　とすると，次式のように表わされる。

【０００７】

$ＶＵ_{n}$　＝（$ｄＵ_{n}$　／ＣＵ）・Ｔ

$ＶＬ_{n}$　＝（$ｄＬ_{n}$　／ＣＬ）・Ｔ

$\therefore ＶＵ_{n}$　・（ＣＵ／$ｄＵ_{n}$　）＝$ＶＬ_{n}$　・（ＣＬ／$ｄＬ_{n}$　）

$\therefore ＶＵ_{n}$　／$ＶＬ_{n}$　＝（ＣＬ・$ｄＵ_{n}$　）／（ＣＵ・$ｄＬ_{n}$　）

この場合，$ｄＵ_{n}$　は漸減する値であり，一方，$ｄＬ_{n}$　は漸増する値であるから，$ＶＵ_{n}$　／$ＶＬ_{n}$　は漸減する値となる。つまり，両電圧の比は，１つの上部圧電素子とそれと対向する１つの下部圧電素子とよりなる各組について異なる。したがって，圧電素子の特性として既得の値である圧電定数$ｄＵ_{n}$　，$ｄＬ_{n}$　および静電容量の和ＣＵ，ＣＬより，理論電圧比$ＶＵ_{n}$　／$ＶＬ_{n}$　を求めておけば，その理論電圧比$ＶＵ_{n}$　／$ＶＬ_{n}$　と，両測定発生電圧からの算出電圧比$ＶＵ_{n}$　／$ＶＬ_{n}$　とを比べることにより$ｎ$番目の上部圧電素子の位置に荷重が作用していることを検出することができる。

【０００８】

一方，前記両式より，

Ｔ＝$ＶＬ_{n}$　・（ＣＬ／$ｄＬ_{n}$　）

Ｔ＝$ＶＵ_{n}$　・（ＣＵ／$ｄＵ_{n}$　）

であるから，これらの式に基づいて荷重Ｔを検出することができる。

【０００９】

このように前記圧電式荷重センサにおいては，荷重作用位置の検出およびその位置の荷重検出に当り，必要な計測物理量は，上，下部圧電素子が発生する両電圧$ＶＵ_{n}$　および$ＶＬ_{n}$　の僅かに２つで足り，これにより複雑な信号処理機構を不要にし，また荷重作用位置検出等を迅速に行うことが可能である。また前記圧電式荷重センサは構造が簡単であって，製造コストも安価である。

【００１０】

本発明は荷重作用位置を迅速に，且つ精度良く検出することができる前記荷重位置検出方法を提供することを目的とする。

【００１１】

前記目的を達成するため本発明によれば，上部導電体と，下部導電体と，それら上，下部導電体間に位置する中間部導電体と，前記上，中間部導電体間に挟まれて並列する複数の上部圧電素子と，前記下，中間部導電体間に挟まれて並列する複数の下部圧電素子とを備え，前記複数の上部圧電素子においては，それらの圧電定数が並列方向一端部に存する圧電素子から並列方向他端部に存する圧電素子に向って漸減するように設定され，前記複数の下部圧電素子においては，それらの圧電定数が前記並列方向一端部に存する圧電素子から前記並列方向他端部に存する圧電素子に向って漸増するように設定されている圧電式荷

重センサを用い，１つの前記上部圧電素子およびそれと対向する１つの前記下部圧電素子に荷重が作用したときにそれら上，下部圧電素子が発生する電圧の比に基づいて荷重作用位置を検出する荷重作用位置検出方法が提供される。

【００１２】

このような手段を採用すると，前記理論に基づいて荷重作用位置を迅速に，且つ精度良く検出することが可能である。

【００１３】

【発明の実施の形態】

図１に示す圧電式荷重センサS_1は，上部導電体としての帯状をなす上部銅箔１と，下部導電体としての帯状をなす下部銅箔２と，それら上，下部銅箔１，２間に位置する中間部導電体としての帯状をなす中間部銅箔３と，上，中間部銅箔１，３間に挟まれて直線状に並列する複数，図１では第１～第１２上部圧電素子MU_1～MU_{12}と，下，中間部銅箔２，３間に挟まれて直線状に並列する複数，図１では第１～第１２下部圧電素子ML_1～ML_{12}とを備えている。

【００１４】

第１～第１２上部圧電素子MU_1～MU_{12}においては，それらの圧電定数が並列方向一端部，図１では左端部に存する第１２上部圧電素子MU_{12}から他端部，図１では右端部に存する第１上部圧電素子MU_1に向って漸減するように設定されている。即ち，第１～第１２上部圧電素子MU_1～MU_{12}の圧電定数をそれぞれdU_1～dU_{12}とすると，$dU_{12}>dU_{11}>dU_{10}>\cdots\cdots>dU_3>dU_2>dU_1$の関係が成立する。

【００１５】

一方，第１～第１２下部圧電素子ML_1～ML_{12}においては，それらの圧電定数が前記並列方向一端部，図１では左端部に存する第１下部圧電素子ML_1から前記並列方向他端部，図１では右端部に存する第１２下部圧電素子ML_{12}に向って漸増するように設定されている。即ち，第１～第１２下部圧電素子ML_1～ML_{12}の圧電定数をそれぞれdL_1～dL_{12}とすると，$dL_1<dL_2<dL_3<\cdots\cdots<dL_{10}<dL_{11}<dL_{12}$の関係が成立する。

【００１６】

上部，中間部および下部銅箔１，３，２にはそれぞれリード線４，５，６が接続される。

【００１７】

前記構成において，第１～第１２上部圧電素子MU_1～MU_{12}の静電容量の和をＣＵとし，また第１～第１２下部圧電素子ML_1～ML_{12}の静電容量の和をＣＬとして，例えば，相対向する第４上部圧電素子MU_4および第９下部圧電素子ML_9に荷重Ｔが作用したとすると，第４上部圧電素子MU_4が発生する電圧VU_4および第９下部圧電素子ML_9が発生する電圧VL_9は次式のように表わされる。

【００１８】

$$VU_4=(dU_4/CU)\cdot T\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

$$VL_9=(dL_9/CL)\cdot T\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

$$\therefore VU_4\cdot(CU/dU_4)=VL_9\cdot(CL/dL_9)$$

$$\therefore VU_4/VL_9=(CL\cdot dU_4)/(CU\cdot dL_9)\cdots\cdots(3)$$

したがって，圧電素子の特性として既得の値である圧電定数dU_4，dL_9および静電容量の和ＣＵ，ＣＬより理論電圧比VU_4/VL_9を求めておけば，その理論電圧比VU_4/VL_9と，両測定発生電圧からの算出電圧比VU_4/VL_9とを比べることにより第４上部圧電素子MU_4の位置に荷重が作用していることを検出することができる。

【００１９】

また前記（１），（２）式より，

$$T=VL_9\cdot(CL/dL_9)\cdots\cdots(4)$$

$$T=VU_4\cdot(CU/dU_4)\cdots\cdots(5)$$

であるから，これら（４），（５）式に基づいて荷重Ｔを検出することができる。この場合，荷重Ｔの単位はＮ（ニュートン）であるから，ｋｇへの換算に当っては，荷重Ｔを重力加速度９．８ｍ／ｓ^2　で除す。

【００２０】

実施例では，第１～第１２下部圧電素子ＭＬ$_1$　～ＭＬ$_{12}$の並列様式が第１～第１２上部圧電素子ＭＵ$_1$　～ＭＵ$_{12}$を水平面内で１８０°回転させたときの並列様式と同一である。

【００２１】

即ち，第１上部圧電素子ＭＵ$_1$　と第１下部圧電素子ＭＬ$_1$　，第２上部圧電素子ＭＵ$_2$　と第２下部圧電素子ＭＬ$_2$　，第３上部圧電素子ＭＵ$_3$　と第３下部圧電素子ＭＬ$_3$　……第１０上部圧電素子ＭＵ$_{10}$と第１０下部圧電素子ＭＬ$_{10}$，第１１上部圧電素子ＭＵ$_{11}$と第１１下部圧電素子ＭＬ$_{11}$，および第１２上部圧電素子ＭＵ$_{12}$と第１２下部圧電素子ＭＬ$_{12}$は，それぞれ同一の誘電特性を有する。

【００２２】

このように構成すると，圧電素子の種類をその全使用数の２分の１にすることができ，これにより圧電素子の生産性を良好にして，荷重センサＳ$_1$　の生産コストを大幅に低減することが可能である。

【００２３】

また実施例では，１つ，例えば第４上部圧電素子ＭＵ$_4$　およびその上部圧電素子ＭＵ$_4$　に対向する第９下部圧電素子ＭＬ$_9$　に一定荷重Ｔを作用させた状態において，それら上，下部圧電素子ＭＵ$_4$　，ＭＬ$_9$　が発生する両電圧ＶＵ$_4$　，ＶＬ$_9$　の和ＶＵ$_4$　＋ＶＬ$_9$　が，他の何れか１つ，例えば第８上部圧電素子ＭＵ$_8$　およびその上部圧電素子ＭＵ$_8$　に対向する第５下部圧電素子ＭＬ$_5$　に前記一定荷重Ｔを作用させた状態において，それら上，下部圧電素子ＭＵ$_8$　，ＭＬ$_5$　が発生する両電圧ＶＵ$_8$　，ＶＬ$_5$　の和ＶＵ$_8$　＋ＶＬ$_5$　に等しい。

【００２４】

このように，ＶＵ$_4$　＋ＶＬ$_9$　＝ＶＵ$_8$　＋ＶＬ$_5$　を成立させるためには，

（ｄＵ$_4$　／ＣＵ）＋（ｄＬ$_9$　／ＣＬ）＝（ｄＵ$_8$　／ＣＵ）＋（ｄＬ$_5$　／ＣＬ）が必要であり，これは任意の相対向する上，下部圧電素子において成立することが必要であるから，

（ｄＵ$_n$　／ＣＵ）＋（ｄＬ$_{13-n}$／ＣＬ）＝Ａ（一定）（ｎ＝１～１２）

でなければならない。

【００２５】

ここで，前記（１）式の左辺に前記（２）式の左辺を，また前記（１）式の右辺に前記（２）式の右辺をそれぞれ加えると，

ＶＵ$_4$　＋ＶＬ$_9$　＝（ｄＵ$_4$　／ＣＵ）・Ｔ＋（ｄＬ$_9$　／ＣＬ）・Ｔ

となる。したがって，

ＶＵ$_4$　＋ＶＬ$_9$　＝ＡＴ

∴Ｔ＝（ＶＵ$_4$　＋ＶＬ$_9$　）／Ａ……（６）

このように（ｄＵ$_n$　／ＣＵ）＋（ｄＬ$_{13-n}$／ＣＬ）＝Ａ（一定）（ｎ＝１～１２）が成立するように，上，下部圧電素子（ＭＵ$_1$　～ＭＵ$_{12}$，ＭＬ$_1$　～ＭＬ$_{12}$）を構成すれば，荷重Ｔと両電圧の和（例えばＶＵ$_4$　＋ＶＬ$_9$　，またはＶＵ$_8$　＋ＶＬ$_5$　）との間には，任意の相対向する上，下部圧電素子について一定の比の比例関係が成立するので，荷重Ｔを容易に検出することができる。この場合，荷重Ｔの単位はＮ（ニュートン）であるから，ｋｇへの換算に当っては，荷重Ｔを重力加速度９．８ｍ／ｓ^2　で除す。

【００２６】

圧電素子の構成材料にはＢａＴｉＯ$_3$　，Ｐｂ（ＺｒＴｉ）Ｏ$_3$　，ＫＮｂＯ$_3$　，ＳｒＴｉＯ$_3$　，Ｐｂ（ＭｇＮｂ）Ｏ$_3$　等のペロブスカイト型強誘電体，ＬｉＮｂＯ$_3$　，ＬｉＴａＯ$_3$　等のＬｉＮｂＯ$_3$　型強誘電体，Ｋ$_3$　Ｌｉ$_2$　Ｎｂ$_5$　Ｏ$_{15}$，Ｂａ$_2$

$NaNb_5O_{15}$等のタングステンブロンズ型強誘電体，水晶（$\alpha-SiO_2$）， ＺｎＯ，ベルリナイト（$\alpha-AlPO_4$），ロッシェル塩，ＰＶＤＦ等の圧電性を有する材料が該当する。これらは，通常単独で用いられるが，複合して用いることも可能である。またこれらの材料（複合物を含む）と，ゴム弾性を有する材料またはポリマ等の低弾性率の材料とを複合して柔軟な圧電素子を得ることもできる。

〔実施例１〕

Ａ．圧電素子用原料粉末の製造

１．組成が$Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$である第１原料粉末を以下に述べる方法で製造した。

【００２７】

（ａ） 前記組成１／５モル中に含まれるＰｂのモル数とＰｂＯ中に含まれるＰｂのモル数とが同一となるように，ＰｂＯ粉末（林純薬工業社製）を秤量した。同様の方法でZrO_2粉末（守随彦太郎商店社製）およびTiO_2粉末（キシダ化学社製）をそれぞれ秤量した。これらの粉末に１００ｃｃのエチルアルコール（関東化学社製）を加え，樹脂製ポットにて１６時間混合し，次いで混合粉末を乾燥した。

【００２８】

（ｂ） 混合粉末に，大気中，８５０℃，６時間の１次熱処理を施した。

【００２９】

（ｃ） １次熱処理後の粉末に１００ｃｃのエチルアルコール（関東化学社製）を加え，樹脂製ポットに１６時間粉砕混合し，次いで粉末を乾燥した。

【００３０】

（ｄ） 乾燥後の粉末に，大気中，９５０℃，６時間の２次熱処理を施し，次いで前記（ｃ）工程と同様の工程を行って第１原料粉末を得た。

【００３１】

２．前記（ａ）～（ｄ）工程と同様の各工程を順次行って，組成が$Pb(Zr_{0.5}Ti_{0.5})O_3$である第２原料粉末および組成が$Pb(Zr_{0.48}Ti_{0.52})O_3$である第３原料粉末を製造した。

【００３２】

Ｂ．圧電素子の製造

（ａ） 第１原料粉末を内径１３ｍｍの押型内に入れ，成形圧力５００ｋｇｆ／ｃｍ^{2}にて複数の円盤状予備成形体を成形し，次いで各予備成形体に４０００ｋｇｆ／ｃｍ^{2}にてＣＩＰ処理を施すことにより成形体を得た。

【００３３】

（ｂ） 各成形体をアルミナるつぼ内に入れ，大気中，１２００℃，１時間の熱処理を施して焼結体を得た。

【００３４】

（ｃ） 各焼結体を平面研削加工により厚さ１．５ｍｍに仕上げた。

【００３５】

（ｄ） 各焼結体の両平面にそれぞれスパッタリングにより金電極を付設し，次いで各全電極にリード線を接続した。

【００３６】

（ｅ） 各焼結体に，室温にて３０分間に亘り６ｋＶ／ｍｍの静電場を印加する分極処理を施し，次いで各リード線を取外して複数の圧電素子を得た。

【００３７】

また第２，第３原料粉末を用い，前記同様の方法によって複数の圧電素子を製造した。

【００３８】

Ｃ．圧電式荷重センサの製造

（ａ） 図２に示すように，ポリ塩化ビニル製シート９をアルミニウム板７上面に粘着シート８を介して貼付し，これを基台とした。

【００３９】

（ｂ）　圧電素子と同一の直径を有する厚さ０．１ｍｍの３枚の下部銅箔１１をシート９上にそれぞれ粘着シート１０を介して所定の間隔で貼付した。また相隣る両下部銅箔１１を導線１２により接続して，これを下部導電体とした。

【００４０】

（ｃ）　第１～第３下部圧電素子ML_1～ML_3を３枚の下部銅箔１１上にそれぞれ導電ペースト１３を介して貼付した。その際，第１下部圧電素子ML_1を図２で左端部に，また第３下部圧電素子ML_3を図２で右端部にそれぞれ位置させると共に第１～第３下部圧電素子ML_1～ML_3の分極方向を揃えて，それら圧電素子ML_1～ML_3を配置した。

【００４１】

（ｄ）　前記同様の３枚の中間部銅箔１４を第１～第３下部圧電素子ML_1～ML_3上にそれぞれ導電ペースト１３を介してを貼付した。また相隣る両中間部銅箔１４を導線１２により接続して，これを中間部導電体とした。

【００４２】

（ｅ）　第１～第３上部圧電素子MU_1～MU_3を３枚の中間部銅箔１４上にそれぞれ導電ペースト１３を介して貼付した。その際，第１～第３上部圧電素子MU_1～MU_3が第３～第１下部圧電素子ML_3～ML_1とそれぞれ対向するように第１～第３上部圧電素子MU_1～MU_3を，それらの分極方向を揃えて配置した。

【００４３】

（ｆ）　前記同様の３枚の上部銅箔１５を第１～第３上部圧電素子MU_1～MU_3上にそれぞれ導電ペースト１３を介して貼付した。また相隣る両上部銅箔１５を導線１２により接続して，これを上部導電体とした。

【００４４】

（ｇ）　各上部銅箔１５を覆うように，それらの上にポリ塩化ビニル製シート１６を載せた。

【００４５】

（ｈ）　外側に位置する１つの上部銅箔１５にリード線１７を接続し，そのリード線１７を上部電圧計V_Uの端子に接続した。また外側に位置する１つの下部銅箔１１にリード線１８を接続し，そのリード線１８を下部電圧計V_Lの端子に接続した。さらに外側に位置する１つの中間部銅箔１４にリード線１９を接続し，そのリード線１９を上，下部電圧計V_U，V_Lの両端子間の導線２０に接続した。

【００４６】

このようにして図３に示す圧電式荷重センサS_2を得た。この荷重センサS_2において，第１上部圧電素子MU_1および第１下部圧電素子ML_1は第１原料粉末を構成材料とし，また第２上部圧電素子MU_2及び第２下部圧電素子ML_2は第２原料粉末を構成材料とし，さらに第３上部圧電素子MU_3および第３下部圧電素子ML_3は第３原料粉末を構成材料とした。

【００４７】

第１～第３上部圧電素子MU_1～MU_3の圧電定数dU_1～dU_3および第１～第３下部圧電素子ML_1～ML_3の圧電定数dL_1～dL_3は表１の通りである。ここで圧電定数とは，圧電素子に分極方向に荷重を作用させた際に，その分極方向に発生する電圧から算出された値である。

【００４８】

【表１】

	圧電定数（×10⁻¹² C／N）					
第３～第１上部圧電素子 MU_3～MU_1	dU_3 (MU_3)	102	dU_2 (MU_2)	61	dU_1 (MU_1)	22
第１～第３下部圧電素子 ML_1～ML_3	dL_1 (ML_1)	22	dL_2 (ML_2)	61	dL_3 (ML_3)	102

【００４９】
また第１～第３上部圧電素子MU_1～MU_3の静電容量の和ＣＵと，第１～第３下部圧電素子ML_1～ML_3の静電容量の和ＣＬは等しく，ＣＵ＝ＣＬ＝１．４３５ｎＦである。
【００５０】
したがって，第１上部，第３下部圧電素子MU_1，ML_3，第２上，下部圧電素子MU_2，ML_2および第３上部，第１下部圧電素子MU_3，ML_1の荷重作用位置P_1～P_3における理論電圧比VU_1／VL_3，VU_2／VL_2，VU_3／VL_1は，前記（３）式を用いて下記のように算出することができる。
【００５１】

$$VU_1 / VL_3 = (CL \cdot dU_1) / (CU \cdot dL_3)$$
$$= 22 / 102 = 0.22$$
$$VU_2 / VL_2 = (CL \cdot dU_2) / (CU \cdot dL_2)$$
$$= 61 / 61 = 1.0$$
$$VU_3 / VL_1 = (CL \cdot dU_3) / (CU \cdot dL_1)$$
$$= 102 / 22 = 4.6$$

次に，第１上部圧電素子MU_1　上の荷重作用位置P_1　にそれぞれ２．００ｋｇ，３．４２ｋｇ，５．２８ｋｇおよび７．２８ｋｇの荷重を作用させ，各荷重毎に第１上部圧電素子MU_1　の発生電圧VU_1　および第３下部圧電素子ML_3　の発生電圧VL_3　を測定し，それらの測定値に基づいて両発生電圧の比VU_1　／VL_3　と，前記（４），（５）式による荷重Ｔ（４），Ｔ（５）と，両発生電圧の和VU_1　＋VL_3　と，前記（６）式による荷重Ｔ（６）を算出した。

【００５２】

前記同様の測定および算出を，第２，第３上部圧電素子MU_2　，MU_3　上の両荷重作用位置P_2　，P_3　に関しても行った。

【００５３】

表２はこれらの結果を示す。表２において，発生電圧VU_1　，VL_3　等の単位はｖｏｌｔ，荷重Ｔ（４），Ｔ（５）およびＴ（６）の単位はそれぞれｋｇである。

【００５４】

【表２】

	荷重(kg)	VU_1	VL_3	VU_1/VL_3	T（4）	T（5）	VU_1+VL_3	T（6）
荷重作用位置P_1	2.000	0.335	1.137	0.225	1.997	2.333	1.772	2.103
	3.442	0.660	2.330	0.226	3.330	3.999	2.990	3.442
	5.228	0.886	3.668	0.223	5.228	5.772	4.454	5.336
	7.228	1.228	4.888	0.226	7.201	8.552	6.116	7.227
	荷重(kg)	VU_2	VL_2	VU_2/VL_2	T（4）	T（5）	VU_2+VL_2	T（6）
荷重作用位置P_2	2.000	0.882	0.777	1.107	1.884	1.997	1.659	1.991
	3.442	1.440	1.339	1.101	3.333	3.336	2.779	3.335
	5.228	2.214	2.219	0.998	5.226	5.213	4.433	5.220
	7.228	3.204	3.203	1.000	7.227	7.330	6.107	7.229
	荷重(kg)	VU_3	VL_1	VU_3/VL_1	T（4）	T（5）	VU_3+VL_1	T（6）
荷重作用位置P_3	2.000	1.448	0.330	4.393	2.000	2.112	1.778	2.110
	3.442	2.444	0.554	4.454	3.559	3.550	2.998	3.552
	5.228	3.997	0.778	5.006	5.119	5.770	4.775	5.661
	7.228	5.223	1.113	4.664	7.552	7.551	6.336	7.551

【００５５】
前記理論電圧比と表２の測定値からの算出電圧比を比べると，表３のようになる。図４は表３をグラフ化したものである。
【００５６】
【表３】

荷重作用位置	理論電圧比	算出電圧比
P_1	0.22	0.23～0.26
P_2	1.0	0.98～1.07
P_3	4.6	4.54～5.06

【００５７】
表３，図４から明らかなように，各荷重作用位置P_1～P_3において，理論電圧比と算出電圧比とがよく一致しており，したがって理論電圧比に基づき算出電圧比より荷重作用位置を検出することができる。
【００５８】
また前記実荷重と表２の算出荷重を比べると表４のようなる。図５は表４をグラフ化したものである。
【００５９】
【表４】

実荷重 (kg)	算出荷重T（4）～T（6） (kg)
2.00	1.84～2.33
3.42	3.30～3.99
5.28	5.13～5.72
7.28	7.01～8.52

【００６０】
表４，図５から明らかなように，実荷重と算出荷重とがよく一致しており，したがって両発生電圧の和ＶＵ＋ＶＬより荷重を求めることができる。
〔実施例２〕
図６に示す圧電式荷重センサS_3は，実施例１の圧電式荷重センサS_2と略同一構造のものを圧電ユニットとした下部圧電ユニット群G_Lと，上部圧電ユニット群G_Uとより構成される。
【００６１】
図７に明示するように，下部圧電ユニット群G_Lは，複数，図示例では第１～第３下部圧電ユニットUL_1～UL_3を有する。各下部圧電ユニットUL_1～UL_3は，

３枚の上部銅箔１５とそれらを接続する２本の導線１２とよりなる上部導電体と，３枚の下部銅箔１１とそれらを接続する２本の導線１２とよりなる下部導電体と，各上，下部銅箔１５，１１間に挟まれて並列する第１～第３下部圧電素子ML_1～ML_3と，各上部銅箔１５の上側に在って並列する第１～第３上部圧電素子MU_1～MU_3とを備えている。

【００６２】

そして，表１に示したように，第１～第３上部圧電素子MU_1～MU_3においては，それらの圧電定数をそれぞれdU_1～dU_3とすると，$dU_3 > dU_2 > dU_1$の関係が成立している。

【００６３】

また第１～第３下部圧電素子ML_1～ML_3の圧電定数をそれぞれdL_1～dL_3とすると，$dL_1 < dL_2 < dL_3$の関係が成立している。

【００６４】

さらに，下部圧電ユニット群G_Lにおいては，第１～第３下部圧電ユニットUL_1～UL_3が，それらの上部圧電素子MU_1～MU_3のうち最大圧電定数を有するもの，つまり第３上部圧電素子MU_3が相隣るように並列すると共に相隣る両導電体間，したがって両上部銅箔１５間および両下部銅箔１１間が導線２１を介して電気的に接続されている。

【００６５】

下部圧電ユニット群G_Lの各下部圧電ユニットUL_1～UL_3上に中間部導電体が配置され，各中間部導電体は第１～第３上部圧電素子MU_1～MU_3上に重合された３枚の中間部銅箔１４とそれらを接続する導線１２とよりなる。相隣る両中間部導電体間，したがって両中間部銅箔１４が，電気的接続手段としての導線２２を介して接続されている。

【００６６】

上部圧電ユニット群G_Uは，複数，図示例では第１～第３上部圧電ユニットUU_1～UU_3を有する。各上部圧電ユニットUU_1～UU_3は，３枚の上部銅箔１５とそれらを接続する２本の導線１２とよりなる上部導電体と，３枚の下部銅箔１１とそれらを接続する２本の導線１２とよりなる下部導電体と，各上，下部銅箔１５，１１間に挟まれて並列する第１～第３上部圧電素子MU_1～MU_3と，各下部銅箔１１の下側に在って並列する第１～第３下部圧電素子ML_1～ML_3とを備えている。

【００６７】

そして，表１に示したように，第１～第３上部圧電素子MU_1～MU_3においては，それらの圧電定数をそれぞれdU_1～dU_3とすると，$dU_3 > dU_2 > dU_1$の関係が成立している。

【００６８】

また第１～第３下部圧電素子ML_1～ML_3の圧電定数をそれぞれdL_1～dL_3とすると，$dL_1 < dL_2 < dL_3$の関係が成立している。

【００６９】

さらに，上部圧電ユニット群G_Uにおいては，第１～第３上部圧電ユニットUU_1～UU_3が，それらの上部圧電素子MU_1～MU_3のうち最大圧電定数を有するもの，つまり第３上部圧電素子MU_3が相隣るように並列すると共に相隣る両導電体間，したがって両上部銅箔１５間および両下部銅箔１１間が導線２１を介して電気的に接続されている。

【００７０】

上部圧電ユニット群G_Uは，各中間部導電体，したがって各中間部銅箔１４を介して下部圧電ユニット群G_Lに重ね合せられている。この場合，第１～第３上部圧電ユニットUU_1～UU_3の並列方向Ａと，第１～第３下部圧電ユニットUL_1～UL_3の並列方向Ｂとは交差関係にある。

【００７１】

また上部圧電ユニット群G_Uの第１～第３上部圧電ユニットUU_1～UU_3における上，下部圧電素子MU_1～MU_3，ML_1～ML_3の並列様式は，下部圧電ユニット群G_Lを水平面内で反時計方向に９０°回転させたときの第１～第３下部圧電ユニットUL_1～UL_3における上，下部圧電素子MU_1～MU_3，ML_1～ML_3の並列様式と同一である。

【００７２】

各上，下部圧電素子MU_1～MU_3，ML_1～ML_3と，それと対向する銅箔１１，１４，１５とは前記同様に導電ペースト１３を介して貼付される。

【００７３】

図６に示すように，１つの角部に存する圧電素子積層体Ｌａにおいて，５枚の銅箔１１，１５，１４，１１，１５にそれぞれリード線２３～２７が接続され，前記同様の手段で，相隣る両リード線２３，２４；２４，２５；２５，２６；２６，２７間にそれぞれ発生する電圧Ｖ１～Ｖ４を測定し得るようになっている。

【００７４】

この場合，上部圧電ユニット群G_Uにおける上部圧電素子MU_1～MU_3の静電容量の和C_4および下部圧電素子ML_1～ML_3の静電容量の和C_3ならびに下部圧電ユニット群G_Lにおける上部圧電素子MU_1～MU_3の静電容量の和C_2および下部圧電素子ML_1～ML_3の静電容量の和C_1はそれぞれ等しく，$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = 4.3nF$である。

【００７５】

上部圧電ユニット群G_Uにおける第１～第３上部圧電ユニットUU_1～UU_3の並列方向Ａにｘ軸を，また下部圧電ユニット群G_Lにおける第１～第３下部圧電ユニットUL_1～UL_3の並列方向Ｂにｙ軸をそれぞれとって，各圧電素子積層体Ｌａの荷重作用位置Ｐをｘｙ座標で表わしたとき，各荷重作用位置Ｐｘｙにおける理論電圧比を前記（３）式を用いて算出すると表５のようになる。

【００７６】

【表５】

荷重作用位置 Ｐｘｙ	理論電圧比	
	Ｖ２／Ｖ１	Ｖ４／Ｖ３
P_{11}	4.6	4.6
P_{21}	1.0	4.6
P_{31}	0.22	4.6
P_{12}	4.6	1.0
P_{22}	1.0	1.0
P_{32}	0.22	1.0
P_{13}	4.6	0.22
P_{23}	1.0	0.22
P_{33}	0.22	0.22

【００７７】
次に，荷重作用位置P_{11}にそれぞれ１０ｋｇ，１５ｋｇおよび２０ｋｇの荷重を作用させ，各荷重毎に発生電圧Ｖ１～Ｖ４を測定し，それらの測定値に基づいて両発生電圧の比Ｖ２／Ｖ１およびＶ４／Ｖ３と前記（６）式による荷重Ｔ（６）を算出した。前記同様の測定および算出を，荷重作用位置P_{21}，P_{31}，P_{32}，P_{33}の４箇所に関しても行った。表６はこれらの結果を示す。表６において，発生電圧Ｖ１～Ｖ４の単位はｖｏｌｔ，荷重Ｔ（６）の単位はｋｇである。
【００７８】
【表６】

	荷重(kg)	V2	V1	V2／V1	V4	V3	V4／V3	T（6）
荷重作用位置P_{11}	10	2.222	0.552	4.227	2.228	0.441	5.556	9.770
	15	3.335	0.772	4.665	3.500	0.778	4.449	14.6
	20	4.663	1.221	3.883	4.722	1.110	4.229	21.0
荷重作用位置P_{21}	10	1.333	1.551	0.888	2.237	0.552	4.456	10.0
	15	2.213	2.225	0.995	3.422	0.773	4.468	15.8
	20	2.771	2.991	0.993	4.722	0.998	4.482	20.2
荷重作用位置P_{31}	10	0.447	2.228	0.221	2.234	0.554	4.433	9.773
	15	0.883	3.334	0.225	3.446	0.778	4.444	14.8
	20	1.112	4.663	0.224	4.453	1.002	4.444	20.3
荷重作用位置P_{32}	10	0.447	2.228	0.221	1.522	1.447	1.103	9.773
	15	0.887	3.551	0.225	2.209	2.213	0.998	15.5
	20	1.220	4.662	0.226	2.776	2.884	0.997	20.6
荷重作用位置P_{33}	10	0.447	2.226	0.221	0.554	2.331	0.223	9.666
	15	0.772	3.441	0.221	0.773	3.441	0.221	14.6
	20	1.330	4.667	0.228	0.997	4.558	0.221	21.1

【００７９】

荷重作用位置P_{11}；P_{21}；P_{31}～P_{33}，したがってｘ＝１；ｘ＝２；ｘ＝３について理論電圧比Ｖ２／Ｖ１と表６の測定値からの算出電圧比Ｖ２／Ｖ１を比べ，また荷重作用位置P_{11}，P_{21}，P_{31}；P_{32}；P_{33}，したがってｙ＝１；ｙ＝２；ｙ＝３について理論電圧比Ｖ４／Ｖ３と表６の測定値からの算出電圧比Ｖ４／Ｖ３を比べると表７のようになる。

【００８０】

【表７】

	Ｖ２／Ｖ１	
荷重作用位置	理論電圧比	算出電圧比
ｘ＝１ （P_{11}）	4.6	3.83～4.65
ｘ＝２ （P_{21}）	1.0	0.88～0.95
ｘ＝３ （P_{31}，P_{32}，P_{33}）	0.22	0.21～0.28
	Ｖ４／Ｖ３	
荷重作用位置	理論電圧比	算出電圧比
ｙ＝１ （P_{11}，P_{21}，P_{31}）	4.6	4.29～5.56
ｙ＝２ （P_{32}）	1.0	0.97～1.03
ｙ＝３ （P_{33}）	0.22	0.21～0.23

【００８１】
表７から明らかなように，算出電圧比Ｖ２／Ｖ１によりｘ軸方向における荷重作用位置を検出することができ，また算出電圧比Ｖ４／Ｖ３によりｙ軸方向における荷重作用位置を検出することができる。つまり，この荷重センサS_3　によれば２次元的に荷重作用位置を検出することが可能である。
【００８２】
また前記実荷重と表６の算出荷重Ｔ（６）を比べると表８のようになる。図８は表８をグラフ化したものである。
【００８３】
【表８】

実荷重 (kg)	算出荷重T（6） (kg)
１０	9.６６～１０.０
１５	１４.６～１５.８
２０	２０.２～２１.１

【００８４】
表８，図８から明らかなように，実荷重と算出荷重とがよく一致しており，これにより荷重の検出を行うことが十分に可能であることが判る。
【００８５】
なお，上部圧電ユニット群G_U における上，下部圧電素子MU_1 ～MU_3 ，ML_1 ～ML_3 と，下部圧電ユニット群G_L における上，下部圧電素子MU_1 ～MU_3 ，ML_1 ～ML_3 とは誘電特性を異にするものでもよい。
〔実施例３〕
この実施例では各種構造を有する圧電式荷重センサについて述べる。
＜例１＞
図９，１０に示す圧電式荷重センサS_4 は下部圧電ユニットＵＬと上部圧電ユニットＵＵとより構成される。
【００８６】
下部圧電ユニットＵＬは上部導電体としての方形の上部銅箔１と，下部導電体としての方形の下部銅箔２と，それら上，下部銅箔１，２間に挟まれて並列する複数，図示例では直方体状第１～第３下部圧電素子ML_1 ～ML_3 と，前記上部銅箔１の上側に在って下部圧電素子ML_1 ～ML_3 と同方向に並列する複数，図示例では直方体状第１～第３上部圧電素子MU_1 ～MU_3 とを備えている。直方体状第１～第３上部圧電素子MU_1 ～MU_3 においては，それらの圧電定数が並列方向一端部に存する直方体状第３上部圧電素子MU_3 から並列方向他端部に存する直方体状第１上部圧電素子MU_1 に向って漸減するように設定され，直方体状第１～第３下部圧電素子ML_1 ～ML_3 においては，それらの圧電定数が前記並列方向一端部に存する直方体状第１下部圧電素子ML_1 から前記並列方向他端部に存する直方体状第３下部圧電素子ML_3 に向って漸増するように設定されている。下部圧電ユニットＵＬの上に中間部導電体としての方形の中間部銅箔３が配置される。
【００８７】
上部圧電ユニットＵＵは上部導電体としての方形の上部銅箔１と，下部導電体としての方形の下部銅箔２と，それら上，下部銅箔１，２間に挟まれて並列する複数，図示例では直方体状第１～第３上部圧電素子MU_1 ～MU_3 と，前記下部銅箔２の下側に在って上部圧電素子MU_1 ～MU_3 と同方向に並列する複数，図示例では直方体状第１～第３下部圧電素子ML_1 ～ML_3 とを備えている。直方体状第１～第３上部圧電素子MU_1 ～MU_3 においては，それらの圧電定数が並列方向一端部に存する直方体状第３上部圧電素子MU_3 から並列方向他端部に存する直方体状第１上部圧電素子MU_1 に向って漸減するように設定され，直方体状第１～第３下部圧電素子ML_1 ～ML_3 においては，それらの圧電定数が前記並列方向一端部に存する直方体状第１下部圧電素子ＭＬ

$_1$ から前記並列方向他端部に存する直方体状第３下部圧電素子ＭＬ$_3$ に向って漸増するように設定されている。

【００８８】

上部圧電ユニットＵＵは中間部銅箔３を介して下部圧電ユニットＵＬに重ね合せられている。この場合，上部圧電ユニットＵＵにおける上，下部圧電素子ＭＵ$_1$ ～ＭＵ$_3$ ，ＭＬ$_1$ ～ＭＬ$_3$ の並列方向と，下部圧電ユニットＵＬにおける上，下部圧電素子ＭＵ$_1$ ～ＭＵ$_3$ ，ＭＬ$_1$ ～ＭＬ$_3$ の並列方向とは交差関係にある。

【００８９】

また上部圧電ユニットＵＵにおける上，下部圧電素子ＭＵ$_1$ ～ＭＵ$_3$ ，ＭＬ$_1$ ～ＭＬ$_3$ の並列様式は，下部圧電ユニットＵＬを水平面内で反時計方向に９０°回転させたときの，その下部圧電ユニットＵＬにおける上，下部圧電素子ＭＵ$_1$ ～ＭＵ$_3$ ，ＭＬ$_1$ ～ＭＬ$_3$ の並列様式と同一である。

【００９０】

各上，下部圧電素子ＭＵ$_1$ ～ＭＵ$_3$ ，ＭＬ$_1$ ～ＭＬ$_3$ と，それと対向する銅箔１～３とは前記同様に導電ペースト１３を介して貼付される。

【００９１】

５枚の銅箔２，１，３，２，１にはそれぞれリード線２３～２７が接続され，前記同様の手段で，相隣る両リード線２３，２４；２４，２５；２５，２６；２６，２７間にそれぞれ発生する電圧Ｖ１～Ｖ４を測定し得るようになっている。

【００９２】

つまり，この圧電式荷重センサＳ$_4$ は，図６，７に示した圧電式荷重センサＳ$_3$ において，同一平面上に位置する３つの同種圧電素子を１つの直方体状圧電素子により置き換えた構造を有する。例えば，図７の下部圧電ユニット群Ｇ$_L$ における３つの第３上部圧電素子ＭＵ$_3$ は，図１０の下部圧電ユニットＵＬにおける直方体状第３上部圧電素子ＭＵ$_3$ に対応する。

＜例２＞

図１１に示す圧電式荷重センサＳ$_5$ は，上部導電体としての帯状上部銅箔１と，下部導電体としての帯状下部銅箔２と，それら上，下部銅箔１，２間に位置する中間部導電体としての帯状中間部銅箔３と，上，中間部銅箔１，３間に挟まれた１つの直方体状上部圧電素子ＭＵと，下，中間部銅箔３，２間に挟まれた１つの直方体状下部圧電素子ＭＬとを備えている。上部圧電素子ＭＵは，その一端部側から他端部側に向って圧電定数が漸減するように構成され，下部圧電素子ＭＬは，前記一端部側から前記他端部側に向って圧電定数が漸増するように構成されている。

【００９３】

上，下部圧電素子ＭＵ，ＭＬと，それと対向する銅箔１～３とは前記同様に導電ペースト１３を介して貼付される。

【００９４】

上部，中間部および下部銅箔１，３，２にはそれぞれリード線４，５，６が接続され，前記同様の手段で，相隣る両リード線４，５；５，６間にそれぞれ発生する電圧ＶＵ$_n$ およびＶＬ$_n$ を測定し得るようになっている。

【００９５】

上，下部圧電素子ＭＵ，ＭＬはエラストマとそれに分散する圧電性粉末とよりなり，各領域ａ$_1$ ～ａ$_6$ ，ｂ$_1$ ～ｂ$_6$ における圧電性粉末の分極密度または体積分率Ｖｆが第１領域ａ$_1$ ，ｂ$_1$ ；第２領域ａ$_2$ ，ｂ$_2$ ；……第５領域ａ$_5$ ，ｂ$_5$ ；第６領域ａ$_6$ ，ｂ$_6$ の順に高くなっている。

＜例３＞

図１２，１３に示す圧電式荷重センサＳ$_6$ は下部圧電ユニットＵＬと上部圧電ユニットＵＵとより構成される。

【００９６】

下部圧電ユニットＵＬは，上部導電体としての方形の上部銅箔１と，下部導電体としての

方形の下部銅箔２と，それら上，下部銅箔１，２間に挟まれた１つの平板状下部圧電素子ＭＬと，前記上部銅箔１の上側に在る１つの平板状上部圧電素子ＭＵとを備えている。上部圧電素子ＭＵは，矢印ｃで示すように，その一端縁部側から他端縁部側に向って圧電定数が漸減するように構成される。下部圧電素子ＭＬは，上部圧電素子ＭＵの前記一端縁部側に対応する一端縁部側から，上部圧電素子ＭＵの前記他端縁部側に対応する他端縁部側に向って圧電定数が漸増するように構成されており，この例３では，矢印ｃで示すように，上部圧電素子ＭＵを水平面内で１８０°回転させたものと同一である。

【００９７】

下部圧電ユニットＵＬ上に中間部導電体としての方形の中間部銅箔３が配置される。

【００９８】

上部圧電ユニットＵＵは，上部導電体としての方形の上部銅箔１と，下部導電体としての方形の下部銅箔２と，それら上，下部導電体銅箔１，２間に挟まれた１つの平板状上部圧電素子ＭＵと，下部銅箔２の下側に在る１つの平板状下部圧電素子ＭＬとを備えている。上部圧電素子ＭＵは，矢印ｄで示すように，その一端縁部側から他端縁部側に向って圧電定数が漸減するように構成される。下部圧電素子ＭＬは，上部圧電素子ＭＵの前記一端縁部側に対応する一端縁部側から，上部圧電素子ＭＵの前記他端縁部側に対応する他端縁部側に向って圧電定数が漸増するように構成されており，この例３では，矢印ｄで示すように，上部圧電素子ＭＵを水平面内で１８０°回転させたものと同一である。

【００９９】

上部圧電ユニットＵＵは中間部銅箔３を介して下部圧電ユニットＵＬに重ね合せられている。

【０１００】

また上部圧電ユニットＵＵにおける圧電定数の漸減および漸増方向と，下部圧電ユニットＵＬにおける圧電定数の漸減および漸増方向とは交差関係にある。

【０１０１】

各上，下部圧電素子ＭＵ，ＭＬと，それと対向する銅箔１～３とは前記同様に導電ペースト１３を介して貼付される。

【０１０２】

図示例では上部圧電ユニットＵＵの上，下部圧電素子ＭＵ，ＭＬは，下部圧電ユニットＵＬを水平面内で９０°回転させたものと同一である。

【０１０３】

図１２に示すように，５枚の銅箔２，１，３，２，１にそれぞれリード線２３～２７が接続され，前記同様の手段で，相隣る両リード線２３，２４；２４，２５；２５，２６；２６，２７間にそれぞれ発生する電圧Ｖ１～Ｖ４を測定し得るようになっている。

【０１０４】

上，下部圧電素子ＭＵ，ＭＬは前記同様にエラストマとそれに分散する圧電性粉末とよりなり，前記同様の方法で圧電定数の変化を付与されている。

【０１０５】

【発明の効果】

請求項１～３および７記載の発明によれば，計測物理量を上，下部圧電素子が発生する両電圧の僅かに２つにして，複雑な信号処理機構を必要とせずに，荷重作用位置の検出およびその位置における荷重の検出を１次元的に，且つ迅速に行うことが可能な，構造が簡単で，製造コストの安い圧電式荷重センサを提供することができる。

【０１０６】

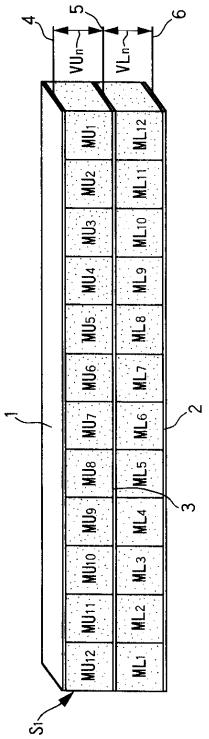
請求項４～６，８～１０記載の発明によれば，前記効果に加え，荷重作用位置の検出およびその位置における荷重の検出を２次元的に，且つ迅速に行うことが可能な圧電式荷重センサを提供することができる。

【０１０７】

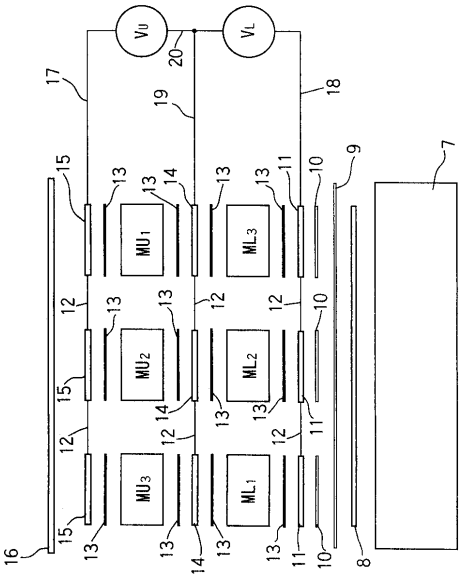
請求項１１記載の発明によれば，荷重作用位置を１次元的に，且つ迅速に，且つ精度良く検出することができる荷重位置検出方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】
【図１】荷重センサの原理を説明するための斜視図である。
【図２】荷重センサの第１実施例の製造方法説明図である。
【図３】荷重センサの第１実施例の斜視図である。
【図４】理論電圧比と算出電圧比との関係を示すグラフである。
【図５】実荷重と算出荷重Ｔ（４）～Ｔ（６）との関係を示すグラフである。
【図６】荷重センサの第２実施例の斜視図である。
【図７】荷重センサの第２実施例の製造方法説明図である。
【図８】実荷重と算出荷重Ｔ（６）との関係を示すグラフである。
【図９】荷重センサの第３実施例の斜視図である。
【図１０】荷重センサの第３実施例の製造方法説明図である。
【図１１】荷重センサの第４実施例の斜視図である。
【図１２】荷重センサの第５実施例の斜視図である。
【図１３】荷重センサの第５実施例の製造方法説明図である。
【符号の説明】
１，１５　　上部銅箔（上部導電体）
２，１１　　下部銅箔（下部導電体）
３，１４　　中間部銅箔（中間部導電体）
１２　　導線（上，中，下部導電体）
２２　　銅線（電気的接続手段）
Ａ，Ｂ　　並列方向
G_L　　下部圧電ユニット群
G_U　　上部圧電ユニット群
ＭＵ，MU_1～MU_{12}　　上部圧電素子
ＭＬ，ML_1～ML_{12}　　下部圧電素子
S_1～S_6　　荷重センサ
ＵＵ　　上部圧電ユニット
ＵＬ　　下部圧電ユニット
UU_1～UU_3　　第１～第３上部圧電ユニット
UL_1～UL_3　　第１～第３下部圧電ユニット

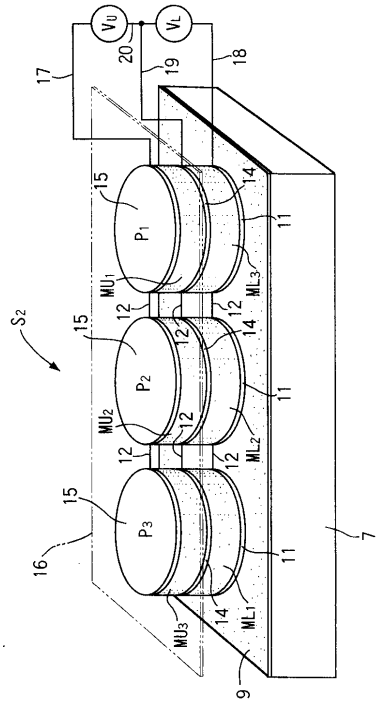
【図１】


4
5
6
VUn
VLn
MU1
MU2
MU3
MU4
MU5
MU6
MU7
MU8
MU9
MU10
MU11
MU12
ML12
ML11
ML10
ML9
ML8
ML7
ML6
ML5
ML4
ML3
ML2
ML1
1
2
3
S1

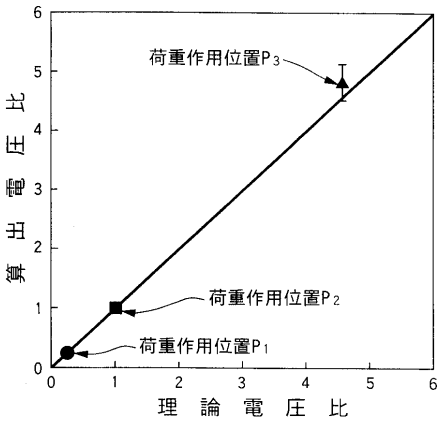
【図２】


VU
VL
17
18
19
20
15
13
14
11
10
9
7
12
MU1
MU2
MU3
ML3
ML2
ML1
16
8

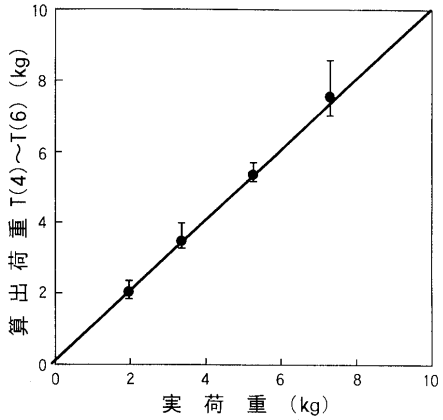
【図３】


VU
VL
17
18
19
20
15
14
11
P1
P2
P3
MU1
MU2
MU3
ML3
ML2
ML1
12
S2
16
9
7

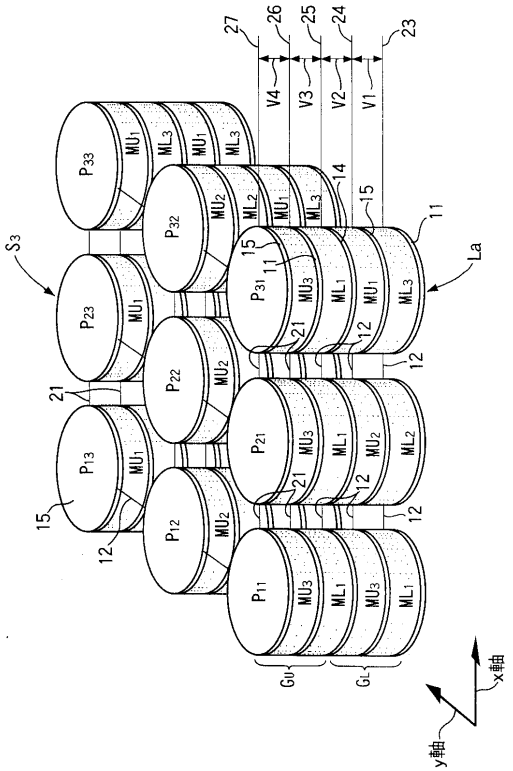
【図４】


荷重作用位置P3
荷重作用位置P2
荷重作用位置P1
算出電圧比
理論電圧比
0
1
2
3
4
5
6

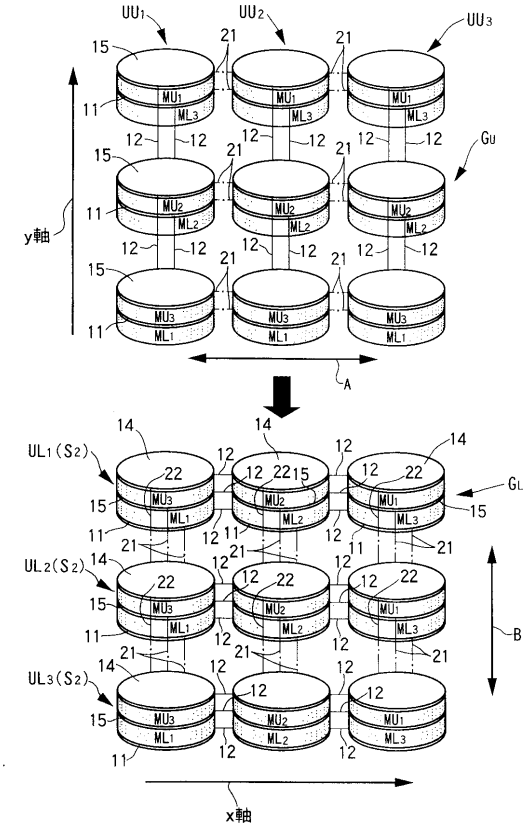
【図５】


算出荷重T(4)～T(6)（kg）
実荷重（kg）
0
2
4
6
8
10

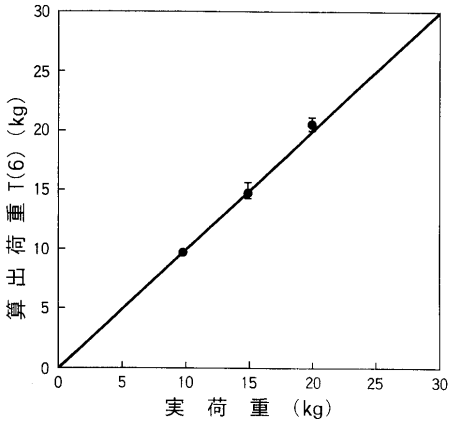
【図６】


x軸
y軸
La
Gu
GL

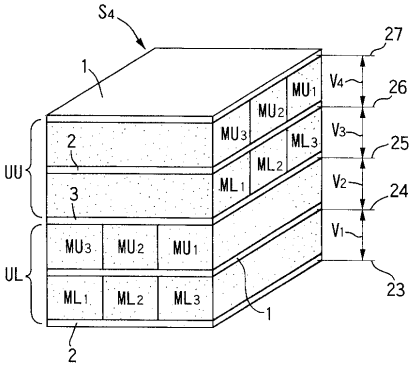
【図７】


y軸
x軸
A
B
Gu
GL

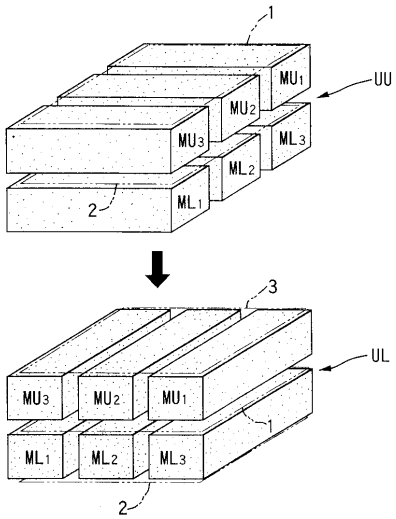
【図８】


算出荷重T(6)（kg）
実荷重（kg）
0
5
10
15
20
25
30

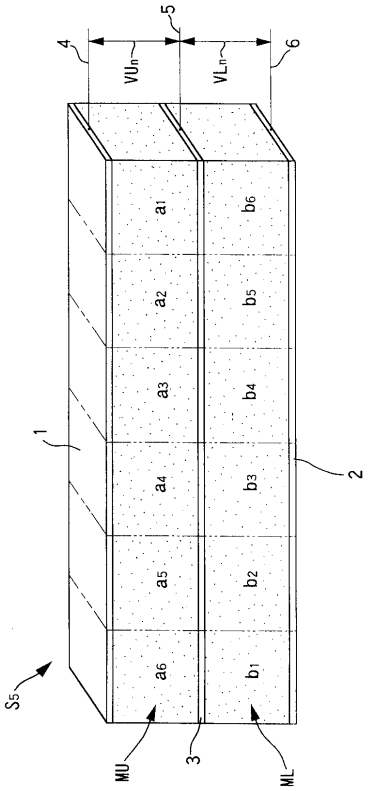
【図９】


UU
UL

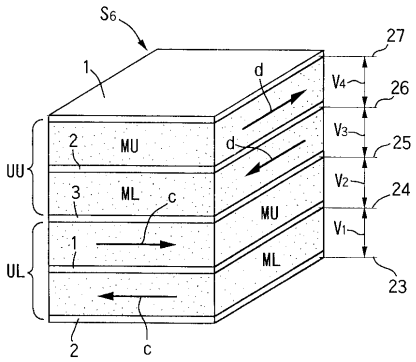
【図１０】



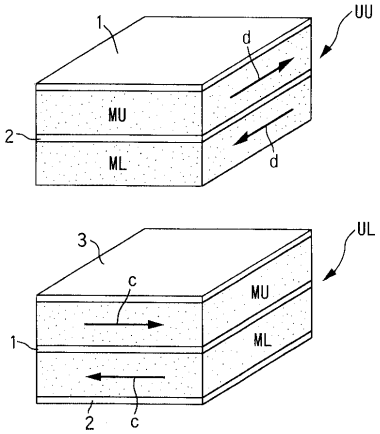
【図１１】



【図１２】



【図１３】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平０２－１１４１４０（ＪＰ，Ａ）
特開昭６０－２０５３２７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
G01L 5/00 101
G01L 1/16