

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014年10月9日(09.10.2014)



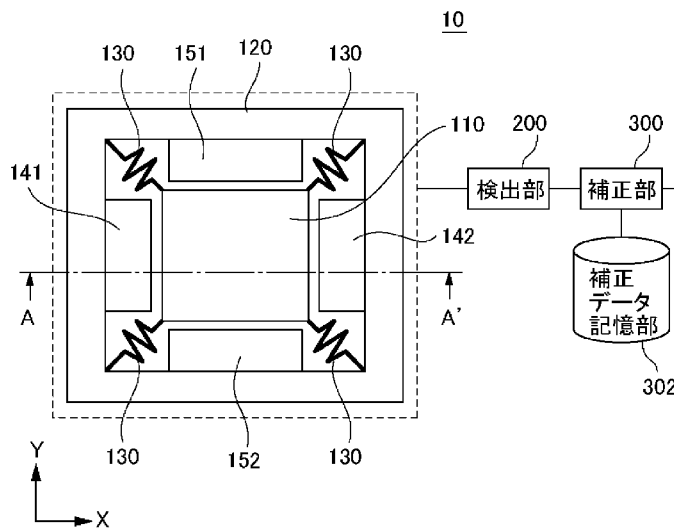
(10) 国際公開番号
WO 2014/163076 A1

- (51) 国際特許分類:
G01P 21/00 (2006.01) G01P 15/18 (2013.01)
G01P 15/125 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/059634
- (22) 国際出願日: 2014年4月1日(01.04.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-077145 2013年4月2日(02.04.2013) JP
- (71) 出願人: 富士電機株式会社(FUJI ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 柿沼 実(KAKINUMA Minoru); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内 Kanagawa (JP). 木代 雅巳(KISHIRO Masami); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 速水 進治(HAYAMI Shinji); 〒1410031 東京都品川区西五反田7丁目9番2号 五反田Tビル9階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: CAPACITANCE TYPE SENSOR, AND METHOD FOR CORRECTING NON-LINEAR OUTPUT

(54) 発明の名称: 静電容量型センサ、及び非線形出力の補正方法



(57) Abstract: This capacitance type sensor (10) is provided with a moveable electrode (110), a support (120), beam members (130), fixed electrodes (141, 180), a detector unit (200), and a correction unit (300). The beam members (130) function as springs to attach the moveable electrode (110) in moveable fashion to the support (120). The detector unit (200) detects changes in capacitance arising between the moveable electrode (110) and the fixed electrodes (141, 180). The correction unit (300) corrects the detected result from the detector unit (200) and generates an acceleration signal indicating acceleration.

(57) 要約: 静電容量型センサ(10)は、可動電極(110)、支持体(120)、梁部材(130)、固定電極(141)、(180)、検出部(200)、及び補正部(300)を備えている。梁部材(130)はバネとして機能し、可動電極(110)を支持体(120)に移動可能な状態で取り付けている。検出部(200)は、可動電極(110)と固定電極(141)、(180)の間で生じる静電容量の変化を検出する。そして補正部(300)は、検出部(200)の検出結果を補正して加速度を示す加速度信号を生成する。

200 Detector unit
300 Correction unit
302 Corrected data storage unit

WO 2014/163076 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 静電容量型センサ、及び非線形出力の補正方法

技術分野

[0001] 本発明は、加速度を検出する静電容量型センサ、及び非線形出力の補正方法に関する。

背景技術

[0002] 加速度を検出する加速度検出装置としては、例えば特許文献1に記載されているように、静電容量型の装置がある。この静電容量型の装置は、可動電極の近傍に固定電極を配置し、可動電極と固定電極の間の静電容量の変化を検出することにより、加速度を検出するものである。

[0003] また、特許文献1, 2, 3には、静電容量の変化と可動電極の変位量との関係は非線形であることが示されている。なお特許文献1, 2, 3において、可動電極の変位量は微小であるため、静電容量の変化と可動電極の変位量との関係を線形と捉えることができる、と記載されている。

[0004] 特許文献4と5が開示する加速度センサは、静電容量の変化と可動電極の変位量との関係を非線形と捉え、この非線形性を補正する。特許文献4が開示する加速度センサは、円筒形状の3軸加速度センサである。この加速度センサは、円筒の延伸方向について互いに対向する固定円盤上の電極と可動円盤上の電極との間の静電容量の変化に基づき、3軸それぞれについて加速度を検出する。特許文献5の加速度センサが検出するのは、一方向についての加速度である。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開平2－110383号公報

特許文献2：特開平5－72225号公報

特許文献3：特開平5－340958号公報

特許文献4：特開平8－313552号公報

特許文献5：特開平7－120498号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 本発明者は、可動電極及びその可動電極とそれぞれ異なる方向から対向する複数の固定電極を持つ静電容量型センサの構築を検討した。そして本発明者は、この静電容量型センサにおいて、複数方向それぞれについて精度よく加速度を検出する方法を検討した。

[0007] 本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、可動電極及びその可動電極とそれぞれ異なる方向から対向する複数の固定電極を持つ静電容量型センサにおいて、複数方向それぞれについて加速度を精度良く検出することができる静電容量型センサ及び補正方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明に係る静電容量型センサは、可動電極、支持体、梁部材、第1の固定電極、第2の固定電極、検出部、及び補正部を備えている。梁部材は、可動電極を支持体に移動可能な状態で取り付ける。第1の固定電極は、可動電極と第1の方向から対向している。第2の固定電極は、第1の方向とは異なる第2の方向から可動電極に対向している。検出部は、可動電極と各固定電極の間で生じる静電容量の変化を検出する。補正部は、検出部の検出結果を補正して加速度を示す加速度信号を生成する。

[0009] 本発明にかかる非線形出力の補正方法は、上記した静電容量型センサにおける検出部の出力を補正する方法である。まず、可動電極と固定電極の間の距離及び梁部材のバネ定数を用いて、加速度から静電容量を算出する理論式を算出する。そして、理論式の逆変換式を用いて検出部の出力を補正する。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、可動電極及びその可動電極とそれぞれ異なる方向から対向する複数の固定電極を持つ静電容量型センサにおいて、複数方向それぞれ

について加速度を精度良く検出することができる。

図面の簡単な説明

- [0011] 上述した目的、およびその他の目的、特徴および利点は、以下に述べる好適な実施の形態、およびそれに付随する以下の図面によってさらに明らかになる。
- [0012] [図1]第1の実施形態に係る静電容量型センサの構成を示す平面図である。
- [図2]図1のA-A'断面図である。
- [図3]静電容量型センサの検出部の回路構成を示す図である。
- [図4]静電容量型センサの可動電極に図1, 2におけるX方向の加速度が加わったときの可動電極の動きを示す図である。
- [図5]検出部からの出力と加速度Gの関係を示す図である。
- [図6]式(6)に示す補正式と、図5に示す出力 ΔC をこの補正式で補正した後の出力(第1の加速度信号)を示す図である。
- [図7]静電容量型センサの検出部の回路構成を示す図である。
- [図8]静電容量型センサの可動電極に図2におけるZ方向の加速度が加わったときの可動電極の動きを示す図である。
- [図9]検出部からの出力と加速度Gの関係を示す図である。
- [図10]式(11)に示す補正式と、図9に示す出力をこの補正式で補正した後の出力(第2の加速度信号)を示す図である。
- [図11]第2の実施形態に係る静電容量型センサの機能構成を示す図である。
- [図12]第2の実施形態に係る静電容量型センサの機能構成を示す図である。
- [図13]静電容量型センサの図1, 2におけるX方向について、初期状態における固定電極及び可動電極の位置関係を示す図である。
- [図14]静電容量型センサの可動電極に、図1, 2におけるX方向の加速度が加わったときの可動電極の動きを示す図である。
- [図15]第3の実施形態における検出部からの出力と加速度Gの関係を示す図である。
- [図16]式(19)に示す補正式と、図15に示す出力 ΔC をこの補正式で補

正した後の出力（第1の加速度信号）を示す図である。

[図17] 静電容量型センサの図2におけるZ方向について、初期状態における可動電極と固定電極との位置関係を示す図である。

[図18] 静電容量型センサの可動電極に、図2におけるZ方向の加速度が加わったときの可動電極の動きを示す図である。

[図19] 図13において初期ズレ $d_{fst} \neq 0$ である場合における出力 ΔC と加速度 G の関係を示す図である。

[図20] 静電容量型センサの筐体に対し、重力加速度を利用して印加できる加速度の範囲を表す図である。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、本発明の実施の形態について、図面を用いて説明する。尚、すべての図面において、同様な構成要素には同様の符号を付し、適宜説明を省略する。

[0014] また、以下に示す説明において、検出部200及び補正部300の各構成要素は、ハードウェア単位の構成ではなく、機能単位のブロックを示している。検出部200及び補正部300は、任意のコンピュータのCPU、メモリ、メモリにロードされたプログラム、そのプログラムを格納するハードディスクなどの記憶メディア、ネットワーク接続用インタフェースを中心にハードウェアとソフトウェアの任意の組合せによって実現される。そして、その実現方法には様々な変形例がある。

[0015] (第1の実施形態)

図1は、第1の実施形態に係る静電容量型センサ10の構成を示す平面図である。図2は、図1のA-A'断面図である。本実施形態に係る静電容量型センサ10は、可動電極110、支持体120、梁部材130、固定電極141、142、検出部200、及び補正部300を備えている。梁部材130はバネとして機能し、可動電極110を支持体120に移動可能な状態で取り付けている。検出部200は、可動電極110と固定電極141、142の間で生じる静電容量の変化を検出する。そして補正部300は、検出

部200の検出結果を補正して加速度を示す加速度信号を生成する。

[0016] 本実施形態によれば、加速度信号は、検出部200の検出結果を補正した値になっている。このため、静電容量の変化と加速度信号との関係を非線形にすることができる。従って、加速度を精度良く検出することができる。以下、静電容量型センサ10について詳細に説明する。

[0017] 可動電極110は平板状であり、その平面形状は矩形である。そして可動電極110の第1辺（縁）には固定電極141（第1の固定電極）が対向しており、可動電極110のうち第1辺に対向する辺（第2辺）には固定電極142（第2の固定電極）が対向している。固定電極141、142は、可動電極110を介して互いに対向しており、可動電極110の中心を通過して第1辺に平行な線を基準に、互いに線対称となる位置に配置されている。

[0018] 本図に示す例において、可動電極110の各辺はいずれも直線状になっている。ただし、これらの辺は櫛歯状になっていてもよい。この場合、固定電極141、142のうち可動電極110に対向する辺も櫛歯状になっており、可動電極110とかみ合うように配置される。

[0019] 支持体120は、可動電極110の4辺を囲むように設けられている。詳細には、支持体120は矩形の開口を有している。この開口の4辺は、可動電極110の4辺と平行になっている。そして梁部材130は4つ設けられている。各々の梁部材130の一端は、可動電極110の角に取り付けられており、他端は支持体120の開口の角に取り付けられている。ただし、梁部材130の配置は本図に示す例に限定されない。

[0020] また、静電容量型センサ10は、固定電極151、152を備えている。固定電極151は、可動電極110の第3辺に対向しており、固定電極152は、可動電極110のうち第3辺に対向する辺（第4辺）に対向している。

[0021] 図2において、静電容量型センサ10は、SOI (Silicon On Insulator) 基板160を用いて形成されている。このSOI基板160は、下層のシリ

コン支持層 161 と、このシリコン支持層 161 上に形成された酸化シリコン層 162 と、この酸化シリコン層 162 上に形成された活性シリコン層 163 とで構成されている。そして、シリコン支持層 161 及び酸化シリコン層 162 は、可動電極 110 の 4 辺を取り囲む部分（支持体 120）を残して、エッチングによって除去されている。このようにして、シリコン支持層 161 及び酸化シリコン層 162 の中央部には、空間部 164 が形成されている。

[0022] 一方、上部の活性シリコン層 163 は、例えば異方性のドライエッチングにより、部分的に除去されている。この除去によって、活性シリコン層 163 から、中央部に位置する可動電極 110 と、この可動電極 110 の 4 隅から対角線上に外方へ延長する梁部材 130（弾性部材）と、可動電極 110 の 4 辺と所定の間隔を介して対向する固定電極 141, 142, 151, 152 がそれぞれ形成されている。

[0023] また、静電容量型センサ 10 は、保護部材 172, 174 を有している。保護部材 172, 174 は、例えばガラスを用いて形成されている。保護部材 172 は、基板 160 のうち可動電極 110 が形成されている面（表面）を覆っており、保護部材 174 は、基板 160 の裏面を覆っている。保護部材 172, 174 は、縁を除いて可動電極 110 などから離れている。そして保護部材 172 のうち可動電極 110 に対向している面には固定電極 180（第 3 の固定電極）が形成されている。すなわち固定電極 180 は、固定電極 141, 142, 151, 152 とは異なる方向から可動電極 110 に対向している。言い換えると、固定電極 141, 142 は第 1 の方向（図 1 及び図 2 の X 方向）から可動電極 110 に対向しており、固定電極 180 は第 2 の方向（図 2 の Z 方向）から可動電極 110 に対向している。この第 2 の方向は、可動電極 110 の表面又は裏面に対向する方向である。

[0024] そして補正部 300 は、可動電極 110 と固定電極 141 の間の静電容量（第 1 の静電容量）の変化及び可動電極 110 と固定電極 142 の間の静電容量（第 2 の静電容量）の変化に基づいて、可動電極 110 に加わった加速

度のうち可動電極 110 の第 1 辺に垂直な成分（図 1, 2 における X 方向の成分：第 1 方向の加速度）を検出し、検出した加速度の大きさを示す第 1 の加速度信号を出力する。具体的には、可動電極 110 と固定電極 141 の間の静電容量は、可動電極 110 と固定電極 142 の間の静電容量とは逆方向に変化する。このため、静電容量型センサ 10 のうち、可動電極 110 に加わった加速度のうち可動電極 110 の第 1 辺に垂直な成分を検出する構造は、X 方向に対称な差動構造になっている。

[0025] また、補正部 300 は、可動電極 110 と固定電極 151 の間の静電容量の変化及び可動電極 110 と固定電極 152 の間の静電容量の変化に基づいて、可動電極 110 に加わった加速度のうち可動電極 110 の第 1 辺に平行な成分（図 1 における Y 方向の成分）を検出し、検出した加速度の大きさを示す加速度信号を出力する。そして静電容量型センサ 10 は、可動電極 110 に加わった加速度のうち可動電極 110 の第 1 辺に平行な成分を検出するときには、Y 方向に対称な差動構造になっている。

[0026] また補正部 300 は、可動電極 110 と固定電極 180 の間の静電容量（第 3 の静電容量）の変化に基づいて、可動電極 110 に加わった加速度のうち可動電極 110 に垂直な成分（図 2 における Z 方向の成分）を検出し、検出した加速度の大きさを示す第 2 の加速度信号を出力する。このように、静電容量型センサ 10 は、可動電極 110 に加わった加速度のうち可動電極 110 に垂直な成分を検出するときには、Z 方向に非対称な構造になっている。

[0027] なお、補正部 300 が用いる補正方法は、可動電極 110 及び固定電極の組み合わせによって異なっている。具体的には、可動電極 110 に加わった加速度のうち可動電極 110 に垂直な成分（図 2 における Z 方向の成分）を検出するときに用いる補正方法は、可動電極 110 に加わった加速度のうち可動電極 110 の第 1 辺に垂直な成分（図 1, 2 における X 方向の成分）を検出するときに用いる補正方法とは異なっている。

[0028] そしてこれらの補正方法は、例えば、以下のようにして設定される。まず

、可動電極と固定電極の間の距離及び梁部材のバネ定数を用いて、加速度から静電容量を算出する理論式を算出する。そして、理論式の逆変換式を用いることにより、補正方法は設定される。

[0029] そして、補正部300が用いる補正方法は、補正データ記憶部302に記憶されている。補正データ記憶部302は、例えば、補正テーブルを記憶している。そして補正部300は、この補正テーブルを用いた補正式に基づいて、加速度信号を生成する。例えば補正部300は、補正テーブルに記憶されている複数の点のうち互いに隣り合う2つの点を直線で結ぶことにより、補正式の近似式としての折線を算出する。このようにすると、補正部300に加わる演算の負荷を小さくすることができる。

[0030] 図3は、静電容量型センサ10の検出部200が有する検出部210の回路構成を示す図である。検出部210は、固定電極141、142に接続している。なお、検出部200は、検出部210とは別に、固定電極151、152に接続している回路も有している。この回路も、検出部210と同様の構成である。

[0031] 可動電極110には、直流電圧が印加されている。固定電極141は、差動アンプQ1の負側の入力端子に接続している。差動アンプQ1の正側の入力端子は接地されている。そして差動アンプQ1の負側の入力端子と差動アンプQ1の出力端子には、抵抗R1及び容量C1が並列に接続されている。

[0032] また、固定電極142は、差動アンプQ2の負側の入力端子に接続している。差動アンプQ2の正側の入力端子は接地されている。そして差動アンプQ2の負側の入力端子と差動アンプQ2の出力端子には、抵抗R2及び容量C2が並列に接続されている。

[0033] 差動アンプQ1の出力端子は、抵抗R3を介して差動アンプQ3の一方の入力端子（例えば負側の入力端子）に入力されており、差動アンプQ2の出力端子は、抵抗R4を介して差動アンプQ3の他方の入力端子（例えば正側の入力端子）に入力されている。差動アンプQ3の一方の入力端子と差動アンプQ3の出力端子には、抵抗R5が並列に接続されている。また、抵抗R

4と差動アンプQ3の他方の入力端子の間は、抵抗R6を介して接地されている。そして差動アンプQ3の出力が、補正部300に入力される。

[0034] 上記の差動アンプQ1とQ2の回路は、電荷・電圧変換回路であり、それぞれ接続された電極間の静電容量を電圧信号に変換して出力する。同様に上記の差動アンプQ3の回路は差分演算回路であり、(Q2-Q1)の差分結果を出力する。

[0035] 後述する理論式の算出では、表現の容易さから出力を静電容量[F]として表記している。しかし、実際の静電容量型センサ10では、上記Q1とQ2により変換された電圧信号[V]が出力されている。

[0036] 図4は、静電容量型センサ10の可動電極110に図1, 2におけるX方向の加速度が加わったときの可動電極110の動きを示している。可動電極110と固定電極141, 142の初期間隔(加速度0の場合の電極間隔)を、 d_0 とする。可動電極110が Δd だけ左に移動した場合、可動電極110と固定電極141との間隔 d_1 は($d_0 - \Delta d$)になり、可動電極110と固定電極142との間隔 d_2 は($d_0 + \Delta d$)になる。

[0037] そして、可動電極110と固定電極141との間の静電容量 C_1 は式(1)により求められる。

[数1]

$$C_1 = \varepsilon \cdot S_1 \cdot \frac{1}{(d_0 - \Delta d)} \quad [F] \quad \dots (1)$$

ここで、 ε : 誘電率であり、 S_1 は、可動電極110と固定電極141が対向している部分の面積である。

[0038] 同様に、可動電極110と固定電極142との間の静電容量 C_2 は式(2)により求められる。

[数2]

$$C_2 = \varepsilon \cdot S_2 \cdot \frac{1}{(d_0 + \Delta d)} \quad [F] \quad \dots (2)$$

ここで、 S_2 は、可動電極110と固定電極142が対向している部分の面

積である。

[0039] そして、 S_2 は S_1 に等しい。このため、図3の検出部210からの出力 ΔC を示す理論式は、(1)式と(2)式の差となるため、以下の(3)式のようなになる。

[数3]

$$\Delta C = \varepsilon \cdot S_1 \cdot \frac{2 \Delta d}{(d_0^2 - \Delta d^2)} \quad [F] \quad \dots (3)$$

[0040] そして、可動電極110の質量を m として、4つの梁部材130を一つのバネと見なしたときのバネ定数を k とした場合、この(3)式は、 $f = m \cdot a = k \cdot \Delta d$ を用いることで、以下のように変形される。この式が、加速度 a を算出するための理論式になる。

[数4]

$$\Delta C = \varepsilon \cdot S_1 \cdot \frac{2 \cdot ((m/k) \cdot a)}{(d_0^2 - ((m/k) \cdot a)^2)} \quad [F] \quad \dots (4)$$

[0041] ここで、 $\alpha_{XY} : \varepsilon S_1 \cdot 2(k/m)$ 、 $\beta_{XY} : (k/m)^2 \cdot d_0^2$ とすると、式(4)は、以下の式(5)のようなになる。

[数5]

$$\Delta C = \frac{\alpha_{XY} \cdot a}{(\beta_{XY} - a^2)} \quad [F] \quad \dots (5)$$

[0042] そして、上記した(5)式の逆変換式は、以下の(6)式のようなになる。

[数6]

$$a = \frac{-\alpha_{XY} + \sqrt{(\alpha_{XY}^2 + 4\beta_{XY}(\Delta C)^2)}}{2 \cdot \Delta C} \quad [G] \quad \dots (6)$$

[0043] 補正部300は、この(6)式に基づいた補正を行い、第1の加速度信号を算出する。そして(6)式における係数 α_{XY} 、 β_{XY} の具体的な数値については、静電容量型センサ10の設計値の各電極の面積、電極の初期間隔 d_0 、電極間の誘電率、錘の質量、梁のバネ定数等の数値を用いて求めることができ

る。また、係数 α_{xy} 、 β_{xy} の具体的な数値としては、静電容量型センサ10の各電極の面積、電極の初期間隔 d_0 、電極間の誘電率、錘の質量、梁のバネ定数等を実測した結果の数値を用いてもよい。またこの具体的な数値は、各々の静電容量型センサ10に所定の加速度（好ましくは複数の加速度）を加え、そのときの静電容量型センサ10からの出力の実測値を（6）式にフィッティングさせることにより、算出しても良い。このときのフィッティングには、例えば最小二乗法を用いることができる。ただし、フィッティングは最小二乗法に限定するものではない。そして係数 α_{xy} 、 β_{xy} を示すデータは、補正データ記憶部302に記憶されている。なお、補正データ記憶部302が記憶しているデータは、書き換え可能になっている。

[0044] 図5は、検出部210からの出力 ΔC と加速度 G の関係を示す図である。本図に示すように、検出部210からの出力 ΔC と加速度 G の関係は非線形である。

[0045] 図6は、式（6）に示す補正式と、図5に示す出力 ΔC をこの補正式で補正した後の出力（第1の加速度信号）を示す図である。本図に示すように、補正部300による補正を行うことにより、補正部300の出力と加速度 G の関係を線形にすることができる。

[0046] なお、本図に示す例において、補正部300は、加速度が正のときと負のときとで、互いに異なる補正方法を設けていてもよい。例えば上記したフィッティングを、加速度が正のときと負のときとで分けて行うことで、互いに異なる補正方法が設定される。このようにすると、補正部300による補正の精度は高くなる。

[0047] なお、静電容量型センサ10の可動電極110に図1におけるY方向の加速度が加わった場合においても、補正部300は、図4を用いて説明した内容と同様の補正を行う。

[0048] 図7は、静電容量型センサ10の検出部200が有する検出部220の回路構成を示す図である。検出部220は、固定電極180に接続している。

[0049] 上記したように、可動電極110には、直流電圧が印加されている。固定

電極 180 は、差動アンプ Q11 の負側の入力端子に接続している。差動アンプ Q11 の正側の入力端子は接地されている。そして差動アンプ Q11 の負側の入力端子と差動アンプ Q11 の出力端子には、抵抗 R11 及び容量 C11 が並列に接続されている。

[0050] 差動アンプ Q11 の出力端子は、抵抗 R12 を介して差動アンプ Q13 の一方の入力端子（例えば負側の入力端子）に入力されている。差動アンプ Q13 の他方の入力端子（例えば正側の入力端子）には、抵抗 R13 を介して差動アンプ Q12 の出力端子が接続されている。差動アンプ Q12 の一方の入力端子（例えば負側の入力端子）は差動アンプ Q12 の出力端子に接続されており、差動アンプ Q12 の他方の入力端子（例えば正側の入力端子）には、可変抵抗 VR11 を介して基準電圧が印加されている。

[0051] そして、差動アンプ Q13 の一方の入力端子と差動アンプ Q13 の出力端子には、抵抗 R14 が並列に接続されている。また、抵抗 R13 と差動アンプ Q13 の他方の入力端子の間は、抵抗 R15 を介して接地されている。そして差動アンプ Q13 の出力が、補正部 300 に入力される。

[0052] 図 8 は、静電容量型センサ 10 の可動電極 110 に図 2 における Z 方向の加速度が加わったときの可動電極 110 の動きを示している。可動電極 110 と固定電極 180 の初期間隔(加速度 0 の場合の電極間隔)を、 d_0 とする。可動電極 110 が Δd_2 だけ上に移動した場合、可動電極 110 と固定電極 180 との間隔 d_3 は $(d_0 - \Delta d_2)$ になる。

[0053] そして、可動電極 110 と固定電極 180 との間隔の静電容量 C_3 は式 (7) により求められる。

[数7]

$$C_3 = \varepsilon \cdot S_3 \cdot \frac{1}{(d_0 - \Delta d_2)} \quad [F] \quad \dots \quad (7)$$

ここで、 ε : 誘電率であり、 S_3 は、可動電極 110 と固定電極 180 が対向している部分の面積である。

[0054] そして、図7の検出部220からの出力 ΔC を示す理論式は、以下の(8)式のようになる。

[数8]

$$\Delta C = \varepsilon \cdot S_3 \cdot \frac{\Delta d_2}{d_0 \cdot (d_0 - \Delta d_2)} \quad [F] \quad \dots \quad (8)$$

[0055] 可動電極110の質量を m 、4つの梁部材130を1つのバネと見なしたときのZ方向のバネ定数を k_2 とした場合、 $f = m \cdot a = k_2 \cdot \Delta d_2$ を用いることで、式(8)を式(9)に変形することができる。この式(9)が、加速度 a を算出するための理論式になる。

[数9]

$$\Delta C = \varepsilon \cdot S_3 \cdot \frac{(m/k_2) \cdot a}{d_0 \cdot (d_0 - (m/k_2) \cdot a)} \quad [F] \quad \dots \quad (9)$$

[0056] ここで、 $\alpha_z : \varepsilon \cdot S_3 \cdot (1/d_0)$ 、 $\beta_z : (k_2/m) \cdot d_0$ とすると、式(9)は、以下の式(10)のようになる。

[数10]

$$\Delta C = \frac{\alpha_z \cdot a}{(\beta_z - a)} \quad [F] \quad \dots \quad (10)$$

[0057] そして、上記した(10)式の逆変換式は、以下の(11)式のようになる。

[数11]

$$a = \frac{\beta_z \cdot \Delta C}{(\alpha_z + \Delta C)} \quad [G] \quad \dots \quad (11)$$

[0058] 補正部300は、この(11)式に基づいた補正を行い、第2の加速度信号を算出する。そして(11)式における係数 α_z 、 β_z の具体的な数値については、上記した係数 α_{xy} 、 β_{xy} と同様の方法で求めることができる。

[0059] 図9は、検出部220からの出力 ΔC と加速度 G の関係を示す図である。本図に示すように、検出部220からの出力 ΔC と加速度 G の関係は非線形

である。

[0060] 図10は、式(11)に示す補正式と、図9に示す出力 ΔC をこの補正式で補正した後の出力(第2の加速度信号)を示す図である。本図に示すように、補正部300による補正を行うことにより、補正部300の出力と加速度 G の関係を線形にすることができる。

[0061] なお、本図に示す例において、補正部300は、加速度が正のときと負のときとで、共通の補正方法を設けていてもよい。例えば上記したフィッティングを、加速度が正のときと負のときとで分けずに行うことで、互いに共通の補正方法が設定される。

[0062] 以上、本実施形態によれば、補正部300は、検出部200の出力を補正する。このため、静電容量型センサ10が出力する加速度信号は、高い精度を有する。また、本実施形態では、可動電極110と固定電極の位置関係(組み合わせの種類)に応じて、補正部300が用いる補正方法を変えている。具体的には、補正部300は、固定電極180からの出力に適用する補正方法を、固定電極141, 142からの出力に適用する補正方法とは異ならせている。このため、静電容量型センサ10は、高い精度で複数方向(例えばX方向、Y方向、及びZ方向)の加速度を検出することができる。

[0063] また、補正部300が、補正テーブルに記憶されている複数の点のうち互いに隣り合う2つの点を直線で結ぶことにより、補正式の近似式としての折線を算出する場合、補正部300が行う演算処理を少なくすることができる。

[0064] (第2の実施形態)

図11及び図12は、第2の実施形態に係る静電容量型センサ10の機能構成を示す図である。図11は第1の実施形態における図3に対応しており、図12は第1の実施形態における図7に対応している。本実施形態に係る静電容量型センサ10は、AD変換部410及びインターフェース420を備えている点を除いて、第1の実施形態に係る静電容量型センサ10と同様の構成である。

[0065] AD変換部410は、検出部200と補正部300の間に設けられており、検出部200からの出力（アナログ信号）をデジタル信号に変換する。そして補正部300は、AD変換部410から出力されたデジタル信号をデジタル処理することにより、補正処理を行う。

[0066] インターフェース420は、静電容量型センサ10の外部の装置（例えばコンピュータ）と補正部300とをつなぐインターフェースである。補正部300の補正データ記憶部302が記憶している情報は、インターフェース420を介して書き換え可能になっている。

[0067] 本実施形態によっても、第1の実施形態と同様の効果を得ることができる。また、補正部300はデジタル処理を行うため、例えば補正部300の補正演算をプログラムにより実行することができる。また、補正部300の補正データ記憶部302が記憶している情報は、インターフェース420を介して書き換え可能になっているため、各々の静電容量型センサ10に、その静電容量型センサ10の個体差を反映させた最適な補正データを設定することができる。

[0068] （第3の実施形態）

第3の実施形態に係る静電容量型センサ10の構成を示す平面図は、第1の実施形態に係る静電容量型センサ10と同様に、図1で表される。また、第3の実施形態の場合も第1の実施形態の場合と同様に、図2によって、図1のA-A'断面図が表される。さらに、第3の実施形態に係る静電容量型センサ10の検出部200が有する検出部210の回路構成と検出部220の回路構成はそれぞれ、第1の実施形態の場合と同様に、図3と図7で表される。

[0069] 第3の実施形態の静電容量型センサ10では、初期状態において、固定電極141と可動電極110との間の距離及び固定電極142と可動電極110との間の距離について、設計値からズレ（オフセット成分）が生じている。ここで設計値とは、固定電極141と可動電極110との間の距離と固定電極142と可動電極110との間の距離を指しており、両者は所定値かつ

等しい値としている。よって可動電極 110 は固定電極 141 と固定電極 142 との間の中央に位置するように設計されている。また初期状態とは、静電容量型センサ 10 に対して印加されている加速度が 0 G である状態を意味する。以下、初期状態において生じている上記のズレを、初期ズレと表記する。なお、初期ズレは、実際に製造された静電容量型センサ 10 において生じた製造誤差に相当する。

[0070] 図 13 は、静電容量型センサ 10 の図 1, 2 における X 方向の初期状態について、固定電極 141, 142、及び可動電極 110 の位置関係を示す図である。図 13 において、 d_0 は固定電極 141 と可動電極 110 との間の距離及び固定電極 142 と可動電極 110 との間の距離の設計値である。また、図 13 において、 d_{ofst} は初期ズレの大きさを表す。

[0071] 図 13 において、可動電極 110 と固定電極 141 との間の距離 d_{o1} は $d_0 - d_{ofst}$ である。このとき、可動電極 110 と固定電極 141 との間の静電容量 C_1 は、式 (12) によって求められる。

[数12]

$$C_1 = \varepsilon \cdot S_1 \cdot \frac{1}{(d_0 - d_{ofst})} [F] \cdots (12)$$

ここで、 ε は誘電率であり、 S_1 は、可動電極 110 と固定電極 141 が対向している部分の面積である。

[0072] また、図 13 において、固定電極 142 と可動電極 110 との間の距離 d_{o2} は $d_0 + d_{ofst}$ である。したがって、可動電極 110 と固定電極 142 との間の静電容量 C_2 は式 (13) により求められる。

[数13]

$$C_2 = \varepsilon \cdot S_2 \cdot \frac{1}{(d_0 + d_{ofst})} [F] \cdots (13)$$

ここで、 S_2 は、可動電極 110 と固定電極 142 が対向している部分の面積である。なお、 S_1 は S_2 に等しい。

[0073] この時、図3の検出部210からの出力の理論式は、式(12)と式(13)の容量差分 C_{dif1} で表される。そのため、 $C_{dif1} = C_{12} = (C_1 - C_2)$ と表すことができる。なお、図13の初期状態における静電容量型センサ10の出力は、零($C_{12} = 0$)となるように事前に零点調整が行われている。

[0074] 図14は、静電容量型センサ10の可動電極110に図1, 2におけるX方向の加速度が加わったときの可動電極110の動きを示している。可動電極110と固定電極141の初期間隔 d_{01} は($d_0 - d_{ofst}$)となる。そのため、可動電極110が Δd だけ左に移動した場合の電極間隔 d_1 は、($d_0 - d_{ofst} - \Delta d$)になる。同様に、可動電極110と固定電極142の初期間隔 d_{02} は($d_0 + d_{ofst}$)であるため、可動電極110が Δd だけ左に移動した場合の電極間隔 d_2 は、($d_0 + d_{ofst} + \Delta d$)となる。

[0075] このとき、可動電極110と固定電極141との間の静電容量 C_3 は式(14)により求められる。

[数14]

$$C_3 = \varepsilon \cdot S_1 \cdot \frac{1}{(d_0 - d_{ofst} - \Delta d)} [F] \cdots (14)$$

[0076] また、このときの可動電極110と固定電極142との間の静電容量 C_4 は式(15)により求められる。

[数15]

$$C_4 = \varepsilon \cdot S_2 \cdot \frac{1}{(d_0 + d_{ofst} + \Delta d)} [F] \cdots (15)$$

[0077] この時、図3の検出部210からの出力の理論式は、式(14)と式(15)の容量差分 C_{dif2} で表される。そのため、 $C_{dif2} = C_{34} = (C_3 - C_4)$ と表すことができる。

[0078] 図14における静電容量型センサ10の出力 ΔC は、可動電極110の移動後と移動前のそれぞれの容量差分 C_{dif2} と C_{dif1} の差分であるので、 $\Delta C = (C_{dif2} - C_{dif1}) = (C_{34} - C_{12})$ である。よって、 ΔC は式(16)により

求められる。なお式(16)において、 $S_1 = S_2 = S$ とした。

[数16]

$$\begin{aligned}
 \Delta C &= Cdif_2 - Cdif_1 \\
 &= C_{34} - C_{12} \\
 &= (C_3 - C_4) - (C_1 - C_2) \\
 &= C_3 - C_4 - C_1 + C_2 \\
 &= \varepsilon \cdot S \cdot \left(\frac{1}{(d_0 - d_{ofst} - \Delta d)} - \frac{1}{(d_0 + d_{ofst} + \Delta d)} - \frac{1}{(d_0 - d_{ofst})} + \frac{1}{(d_0 + d_{ofst})} \right) \\
 &= \varepsilon \cdot S \cdot \left\{ \left(\frac{1}{(d_0 - d_{ofst} - \Delta d)} - \frac{1}{(d_0 - d_{ofst})} \right) - \left(\frac{1}{(d_0 + d_{ofst} + \Delta d)} - \frac{1}{(d_0 + d_{ofst})} \right) \right\} \\
 &= \varepsilon \cdot S \cdot \left(\frac{\Delta d}{(d_0 - d_{ofst} - \Delta d)(d_0 - d_{ofst})} + \frac{\Delta d}{(d_0 + d_{ofst} + \Delta d)(d_0 + d_{ofst})} \right) [F] \dots (16)
 \end{aligned}$$

[0079] ここで、可動電極110の質量を m 、4つの梁部材130を1つのバネと見なしたときのバネ定数を k とした場合、 $f = m \cdot a = k \cdot \Delta d$ を用いることで、式(16)を式(17)の通りに変形することができる。この式(17)が、加速度 a を算出するための理論式になる。

[数17]

$$\begin{aligned}
 \Delta C &= \varepsilon \cdot S \cdot \left(\frac{(m/k) \cdot a}{(d_0 - d_{ofst} - (m/k) \cdot a)(d_0 - d_{ofst})} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{(m/k) \cdot a}{(d_0 + d_{ofst} + (m/k) \cdot a)(d_0 + d_{ofst})} \right) [F] \dots (17)
 \end{aligned}$$

[0080] ここで、 $\alpha_{XY} : \varepsilon S / (d_0 - d_{ofst})$ 、 $\beta_{XY} : (k/m) \cdot (d_0 + d_{ofst})$ 、 $\gamma_{XY} : (d_0 - d_{ofst}) / (d_0 + d_{ofst})$ とすると、式(17)を以下の式(18)に変形することができる。

[数18]

$$\Delta C = \frac{\alpha_{XY} \cdot a}{\beta_{XY} \cdot \gamma_{XY} - a} + \frac{\alpha_{XY} \cdot \gamma_{XY} \cdot a}{\beta_{XY} + a} [F] \dots (18)$$

[0081] そして、上記式（18）の逆変換式は、以下の式（19）の通りになる。

[数19]

$$a = \frac{-BB - \sqrt{(BB^2 - 4 \cdot AA \cdot CC)}}{2 \cdot AA} [G] \dots (19)$$

ここで、AA： $\alpha_{XY} \cdot \gamma_{XY} - \alpha_{XY} - \Delta C$ 、BB： $\beta_{XY} \cdot \gamma_{XY} \cdot \Delta C - \beta_{XY} \cdot \Delta C - \alpha_{XY} \cdot \beta_{XY} - \alpha_{XY} \cdot \beta_{XY} \cdot \gamma_{XY}^2$ 、CC： $\beta_{XY}^2 \cdot \gamma_{XY} \cdot \Delta C$ である。

[0082] 第3の実施形態の補正部300は、この式（19）に基づいた補正を行い、第1の加速度信号を算出する。ここで、式（19）における係数 α_{XY} 、 β_{XY} 、 γ_{XY} の具体的な数値は、静電容量型センサ10における各電極の面積、電極の初期間隔 d_0 、電極の初期ズレ d_{offset} 、電極間の誘電率、可動電極の質量、及び梁のバネ定数等の数値を用いて求めることができる。これらの値は、設計値であってもよいし、実測値であってもよい。さらには所定の方法により算出した値であってもよい。ここで、これらの値を算出する所定の方法とは、例えば、「静電容量側センサ10に所定の加速度（好ましくは複数の加速度）を加え、そのときの静電容量側センサ10からの出力の実測値を式（19）にフィッティングさせることにより算出する」という方法である。このときのフィッティングには、例えば最小二乗法を用いることができる。ただし、フィッティングは最小二乗法に限定するものではない。そして係数 α_{XY} 、 β_{XY} 、 γ_{XY} のデータは補正データ記憶部302に記憶される。なお、補正データ記憶部302に記憶されているデータは、書き換え可能になっている。

[0083] なお静電容量型センサ10の可動電極110に図1におけるY方向に加速度が加わった場合においても、補正部300は、図13及び図14を用いて説明した内容と同様の補正を行う。

[0084] ここで、第3の実施形態の補正部300が補正を行わない場合における出力 ΔC と加速度G（X方向又はY方向）の関係は、図15で表される。また、補正部300が式（19）に基づいた補正を行う場合における出力 ΔC と

加速度Gの関係は、図16で表される。図15と図16は、電極の初期ズレ d_{ofst} を含んでいるため、第1の実施形態の図5と図6に対して変曲点が原点からずれた関係になることが分かる。ただし第3の実施形態の補正部300が式(19)に基づいた補正を行うことによって、変曲点が原点からずれた場合においても補正部300の出力 ΔC と加速度Gの関係を線形にすることができる。

[0085] 図17は、静電容量型センサ10の図2におけるZ方向について、初期状態における可動電極110と固定電極180との位置関係を示す図である。第3の実施形態の静電容量型センサ10では、初期状態において、可動電極110と固定電極180との間の距離に所定の設計値から大きさ d_{ofst2} の初期ズレ（オフセット成分）が生じている。そのため、図17において、可動電極110と固定電極180との間の距離 d_{03} は、 $d_{03} = (d_0 - d_{ofst2})$ で表される。ここで、 d_0 は、可動電極110と固定電極180との間の距離の設計値である。この大きさ d_{ofst2} の初期ズレは、実際に製造された静電容量型センサ10において生じた製造誤差に相当する。

[0086] このとき、可動電極110と固定電極180との間の静電容量 C_5 は、式(20)により求められる。

[数20]

$$C_5 = \varepsilon \cdot S_3 \cdot \frac{1}{(d_0 - d_{ofst2})} [F] \dots (20)$$

ここで、 ε は誘電率であり、 S_3 は、可動電極110と固定電極180が対向している部分の面積である。

[0087] なお、前述したX方向やY方向の場合と同様に、図17の初期状態における静電容量型センサ10の出力は零($C_5 = 0$)となるように事前に零点調整が行われている。

[0088] 図18は、静電容量型センサ10の可動電極110に、図2におけるZ方向の加速度が加わったときの可動電極110の動きを示している。ここで、

可動電極 110 が Δd_2 だけ上に移動したとする。可動電極 110 と固定電極 180 の初期間隔 d_{03} は $(d_0 - d_{ofst2})$ であるため、可動電極 110 が Δd_2 だけ上に移動した場合の電極間隔 d_3 は $(d_0 - d_{ofst2} - \Delta d_2)$ で表せる。

[0089] このときの可動電極 110 と固定電極 180 との間の静電容量 C_6 は、式 (21) により求められる。

[数21]

$$C_6 = \varepsilon \cdot S_3 \cdot \frac{1}{d_0 - d_{ofst2} - \Delta d_2} [F] \dots (21)$$

[0090] このときの図 7 の検出部 220 からの出力 ΔC の理論式は、可動電極 110 の移動後と移動前の差分であるため、 $\Delta C = (C_6 - C_5)$ である。この ΔC は、式 (22) により求められる。

[数22]

$$\begin{aligned} \Delta C &= C_6 - C_5 \\ &= \varepsilon \cdot S_3 \cdot \left(\frac{1}{(d_0 - d_{ofst2} - \Delta d_2)} - \frac{1}{(d_0 - d_{ofst2})} \right) \\ &= \varepsilon \cdot S_3 \cdot \frac{\Delta d_2}{(d_0 - d_{ofst2} - \Delta d_2)(d_0 - d_{ofst2})} [F] \dots (22) \end{aligned}$$

[0091] 可動電極 110 の質量を m 、4 つの梁部材 130 を 1 つのバネと見なしたときの Z 方向のバネ定数を k_2 とした場合、 $f = m \cdot a = k_2 \cdot \Delta d_2$ を用いることで、式 (22) を式 (23) に変形することができる。この式 (23) が、加速度 a を算出するための理論式になる。

[数23]

$$\Delta C = \varepsilon \cdot S_3 \cdot \frac{(m/k_2) \cdot a}{(d_0 - d_{ofst2} - (m/k_2) \cdot a)(d_0 - d_{ofst2})} [F] \dots (23)$$

[0092] ここで、 $\alpha_z : \varepsilon \cdot S_3 / (d_0 - d_{ofst2})$ 、 $\beta_z : (k_2 / m) \cdot (d_0 - d_{ofst2})$ とすると、式 (23) を以下の式 (24) に変形することができる。

[数24]

$$\Delta C = \frac{\alpha_z \cdot a}{(\beta_z - a)} [F] \cdots (24)$$

[0093] そして、上記の式(24)の逆変換式は、以下の式(25)で表される。

[数25]

$$a = \frac{\beta_z \cdot \Delta C}{(\alpha_z + \Delta C)} [G] \cdots (25)$$

[0094] 補正部300は、この式(25)に基づいた補正を行い、第2の加速度信号を算出する。そして式(25)における係数 α_z 、 β_z の具体的な数値については、前述した式(19)の係数 α_{xy} 、 β_{xy} 、 γ_{xy} と同様の方法により求めることができる。

[0095] 第3の実施形態の補正部300が補正を行わない場合における出力 ΔC と加速度 G (Z方向)の関係は、第1の実施形態の場合と同様に図9で表される。また、補正部300が式(25)に基づいた補正を行う場合における出力 ΔC と加速度 G の関係は、第1の実施形態において補正部300が補正を行う場合と同様に、図10で表される。

[0096] 以上、本実施形態の補正部300によれば、固定電極141と可動電極110との間の距離と、固定電極142と可動電極110との間の距離に設計値からの初期ズレ(製造誤差)が生じた場合においても、その初期ズレを考慮して、検出部200の出力が補正される。同様に、本実施形態の補正部300によれば、固定電極180と可動電極110との間の距離に設計値からの初期ズレ(製造誤差)が生じた場合においても、その初期ズレを考慮して、検出部200の出力が補正される。そのため、静電容量型センサ10においてこのような設計値からの初期ズレ(製造誤差)が生じた場合においても、実施形態1の補正部300によってもたされる効果と同様の効果をもたらされる。

[0097] (第4の実施形態)

第4の実施形態では、第3の実施形態とは異なる考え方（アプローチ）によりX方向（もしくはY方向）の出力 ΔC を表す理論式を求める方法を示す。

[0098] 第4の実施形態の補正部300は、上記第3の実施形態の補正部300が用いる理論式とは異なる考え方により求めた理論式を用いて、静電容量型センサ10の可動電極110に図1, 2におけるX方向（もしくはY方向）の加速度が加わった場合の出力 ΔC を補正する。

[0099] ここで、前述した通り、図5は検出部210からの出力 ΔC と加速度 G （X方向又はY方向）の関係を示す図である。この図5は、図13における設計値からの初期ズレ $d_{fst} = 0$ の場合における出力 ΔC と加速度 G の関係を示しており、原点を中心とした対称のカーブ形状である。そして、その変曲点は原点と一致している。

[0100] 初期ズレ $d_{fst} = 0$ の場合における出力 ΔC は、式(17)において $d_{fst} = 0$ とすることにより求めることができる。

[数26]

$$\Delta C = \varepsilon \cdot S \cdot \frac{2 \cdot (m/k) \cdot a}{(d_0^2 - ((m/k) \cdot a)^2)} [F] \cdots (26)$$

[0101] ここで、 $\alpha_{XY} : \varepsilon \cdot S \cdot 2 (k/m)$ 、 $\beta_{XY} : (k/m)^2 \cdot d_0^2$ とすると、式(26)を以下の式(27)に変形することができる。

[数27]

$$\Delta C = \frac{\alpha_{XY} \cdot a}{(\beta_{XY} - a^2)} [F] \cdots (27)$$

[0102] 図19は、図13において、初期ズレ $d_{fst} \neq 0$ である場合における出力 ΔC と加速度 G の関係を示す図である。図19では、初期ズレ d_{fst} に起因して、グラフの変曲点が原点からずれている。ここで、加速度 a に関する原点からのズレ（以下、加速度のズレ）を a_{fst} とおき、出力 ΔC に関する原点からのズレ（以下、出力のズレ）を ΔC_{fst} と表す。

[0103] この場合、加速度 a を算出するための理論式は、加速度のズレ a_{fst} 及び

出力のズレ ΔC_{ofst} を考慮して求めることができる。まず、加速度のズレが a_{ofst} であり、出力のズレが ΔC_{ofst} である場合における出力 ΔC と加速度 a との関係は、式 (27) に加速度のズレ a_{ofst} と出力のズレ ΔC_{ofst} を適用することにより、以下の式 (28) で表すことができる。

[数28]

$$\Delta C - \Delta C_{ofst} = \frac{\alpha_{XY} \cdot (a - a_{ofst})}{(\beta_{XY} - (a - a_{ofst})^2)} [F] \dots (28)$$

[0104] また、出力のズレ ΔC_{ofst} は、式 (29) で表すことができる。

[数29]

$$\Delta C_{ofst} = \frac{\alpha_{XY} \cdot a_{ofst}}{(\beta_{XY} - a_{ofst}^2)} [F] \dots (29)$$

[0105] そして、式 (29) の右辺を式 (28) の ΔC_{ofst} に代入することにより、出力 ΔC を以下の式 (30) で表すことができる。

[数30]

$$\Delta C = \frac{\alpha_{XY} \cdot (a - a_{ofst})}{(\beta_{XY} - (a - a_{ofst})^2)} + \frac{\alpha_{XY} \cdot a_{ofst}}{(\beta_{XY} - a_{ofst}^2)} [F] \dots (30)$$

[0106] また、式 (30) において a_{ofst} を γ_{XY} とおくと、式 (31) となる。

[数31]

$$\Delta C = \frac{\alpha_{XY} \cdot (a - \gamma_{XY})}{(\beta_{XY} - (a - \gamma_{XY})^2)} + \frac{\alpha_{XY} \cdot \gamma_{XY}}{(\beta_{XY} - \gamma_{XY}^2)} [F] \dots (31)$$

[0107] 最後に、式 (31) の逆変換式を求めることにより、式 (32) のように、加速度 a を算出する理論式を求めることができる。

[数32]

$$a = \frac{-BB - \sqrt{(BB^2 - 4 \cdot AA \cdot CC)}}{2 \cdot AA} [G] \dots (32)$$

ここで、 $AA : -\beta_{XY} \cdot \Delta C + \gamma_{XY}^2 \cdot \Delta C + \alpha_{XY} \cdot \gamma_{XY}$ 、 $BB : 2\beta_{XY} \cdot \gamma_{XY} \cdot \Delta C - 2\gamma_{XY}^3 \cdot \Delta C - \alpha_{XY} \cdot \beta_{XY} - \alpha_{XY} \cdot \gamma_{XY}^2$ 、 $CC : \beta_{XY}^2 \cdot \Delta C - 2\beta_{XY} \cdot \gamma_{XY}^2 \cdot \Delta C + \gamma_{XY}^4 \cdot \Delta C$ である。

[0108] 第4の実施形態の補正部300は、この式(32)に基づいた補正を行い、第1の加速度信号を算出する。そして式(32)における係数 α_{XY} 、 β_{XY} 、及び γ_{XY} の具体的な数値については、前述した式(19)の係数 α_{XY} 、 β_{XY} 、及び γ_{XY} と同様の方法により求めることができる。

[0109] (第5の実施形態)

第5の実施形態として、補正部300が補正に用いる加速度aの理論式(逆変換式)の係数を定める方法を示す。

[0110] 図20は、静電容量型センサ10の筐体に対し、重力加速度を利用して印加できる加速度の範囲を表す図である。ここで、図20(a)は、標準設置状態を表す。標準設置状態の場合、X軸、Y軸、及びZ軸の全ての方向において、静電容量型センサ10の筐体に印加されている加速度は0Gであるとする。

[0111] 図20(b)は、筐体を傾けることにより、筐体のX軸方向に対して加速度を印加する場合を表す図である。筐体のX軸方向に対して印加される加速度の範囲は、Y軸を中心として筐体を-90度から+90度まで傾ける場合に印加される加速度の範囲である。ここで、Y軸を中心として筐体を-90度傾けた場合、筐体のX軸方向に対して-1Gの加速度が印加される。また、Y軸を中心として筐体を+90度傾けた場合、筐体のX軸方向に対して+1Gの加速度が印加される。したがって、重力加速度によって筐体のX軸方向に対して印加される加速度の範囲は、-1Gから+1Gの範囲となる。

[0112] 図20(c)は、筐体を傾けることにより、筐体のY軸方向に対して加速度を印加する場合を表す図である。筐体のY軸方向に対して印加される加速度の範囲は、X軸を中心として筐体を-90度から+90度まで傾ける場合に印加される加速度の範囲である。ここで、X軸を中心として筐体を-90度傾けた場合、筐体のY軸方向に対して-1Gの加速度が印加される。また

、X軸を中心として筐体を+90度傾けた場合、筐体のY軸方向に対して+1Gの加速度が印加される。したがって、重力加速度によって筐体のY軸方向に対して印加される加速度の範囲は、-1Gから+1Gの範囲となる。

[0113] 図20(d)は、筐体を傾けることにより、筐体のZ軸方向に対して加速度を印加する場合を表す図である。筐体のZ軸方向に対して印加される加速度の範囲は、Y軸を中心として筐体を0度から180度まで傾ける場合に印加される加速度の範囲である。ここで、Y軸を中心として筐体を180度傾けた場合、筐体のZ軸方向に対して-2Gの加速度が印加される。Y軸を中心として筐体を0度傾ける場合は、標準設置状態であるため、筐体のZ軸方向に対して0Gの加速度が印加される。したがって、重力加速度によって筐体のZ軸方向に対して印加される加速度の範囲は、-2Gから0Gの範囲となる。

[0114] 以上のように、筐体のX方向、Y方向、Z方向のそれぞれに印加される加速度の範囲は、-1Gから+1G、-1Gから+1G、-2Gから0Gである。

[0115] ここで、前述した加速度aの理論式における係数 α_{XY} 、 β_{XY} 、 γ_{XY} 、 α_z 、 β_z を定めるために、重力加速度を利用して印加した加速度の実測値を得て、その実測値を用いて理論式へのフィッティングを行う。この場合、筐体に対して上記の範囲内の所望の加速度が印加されるように、所定の角度傾いた台に対して筐体を取り付け、その際のセンサ出力を測定すればよい。このように、重力加速度を利用して印加した加速度の実測値を用いて理論式へのフィッティングを行うことにより、加振機を使用する場合と比較し、測定を簡素化することができる。そのため、加速度aの理論式における係数を定めることが容易になる。

[0116] ここで図1のX方向（またはY方向）についてフィッティングを行う場合は、筐体に印加される加速度の範囲が正から負まで跨ぐように筐体の設定状態を変えて、センサ出力の測定を行うことが好ましい。これは、図5や図15、図19に示す通り、センサ出力の変化に変曲点が存在するためである。

筐体に対し、正負両方についてバランスよく加速度を印加して計測を行えば、可動電極 110 と固定電極 141 及び 142（または固定電極 151 及び 152）の間隔に設計値からの初期ズレが生じた場合における加速度 a の理論式の各係数を、精度良く求めることができる。

[0117] 一方、図 2 の Z 方向の場合についてフィッティングを行う場合、筐体に印加される加速度の範囲は、正または負の一方の範囲でもよい。これは、図 9 に示す通りセンサ出力の変化に変曲点が存在しないため、筐体に対し、正負のどちらか一方の範囲で加速度を印加して計測を行うだけでも、加速度 a の理論式の各係数を精度良く求めることができるためである。

[0118] ここで、静電容量型センサ 10 に関する測定を行うにあたり、あらかじめ校正された計器を用いて、測定場所の重力加速度の測定を行い、その重力加速度の測定結果を基準の加速度とすることが好ましい。このように測定場所の特性を考慮することでより精度の高い測定を行うことができ、その結果、加速度 a の理論式の各係数をより精度良く求めることができる。

[0119] ただし、上記のように重力加速度を利用せずに加振機を使用する場合、実測結果を得る加速度範囲は上記範囲に限定されない。加振機を使用する場合、必然的に正負両方の加速度範囲の実測結果が得られるので、その結果をそのままフィッティングに使用すればよい。

[0120] 以上、図面を参照して本発明の実施形態について述べたが、これらは本発明の例示であり、上記以外の様々な構成を採用することもできる。

[0121] この出願は、2013年4月2日に提出された日本出願特願2013-077145号を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

請求の範囲

- [請求項1] 可動電極と、
支持体と、
前記可動電極を前記支持体に移動可能な状態で取り付ける梁部材と、
、
前記可動電極と第1の方向から対向している第1の固定電極と、
前記可動電極と前記第1の方向とは異なる第2の方向から対向している第2の固定電極と、
前記可動電極と各前記固定電極の間で生じる静電容量の変化を検出する検出部と、
前記検出部の検出結果を補正して加速度を示す加速度信号を生成する補正部と、
を備える静電容量型センサ。
- [請求項2] 請求項1に記載の静電容量型センサにおいて、
前記固定電極と前記可動電極の組み合わせは複数種類あり、
前記補正部は、前記組み合わせの種類ごとに、互いに異なる補正方法に基づいて前記補正を行う静電容量型センサ。
- [請求項3] 請求項2に記載の静電容量型センサにおいて、
前記可動電極を介して前記第1の方向から前記第1の固定電極と対向している第3の前記固定電極を備え、
前記検出部は、前記可動電極と前記第1の固定電極の間で生じる第1の前記静電容量、前記可動電極と前記第2の固定電極の間で生じる第2の前記静電容量、及び前記可動電極と前記第3の固定電極の間で生じる第3の前記静電容量を検出し、
前記補正部は、
前記第1の静電容量及び前記第3の静電容量を用いて前記第1の方向の加速度を示す第1の前記加速度信号を算出し、かつ前記第2の静電容量を用いて前記第2の方向の加速度を示す第2の前記加速度信

号を算出し、

前記第2の加速度信号を算出するときの前記補正方法を、前記第1の加速度信号を算出するときの前記補正方法とは異ならせる静電容量型センサ。

[請求項4]

請求項3に記載の静電容量型センサにおいて、

前記第1の固定電極及び前記第3の固定電極は前記可動電極の縁に対向しており、

前記第2の固定電極は、前記可動電極の表面又は裏面に対向している静電容量型センサ。

[請求項5]

請求項1～4のいずれか一項に記載の静電容量型センサにおいて、

前記補正部は、補正テーブルを記憶しており、かつ前記補正テーブルを用いた補正式に基づいて前記加速度信号を生成する静電容量型センサ。

[請求項6]

請求項5に記載の静電容量型センサにおいて、

前記補正テーブルは書き換え可能である静電容量型センサ。

[請求項7]

可動電極と、

支持体と、

前記可動電極を前記支持体に移動可能な状態で取り付ける梁部材と、

前記可動電極と第1の方向から対向している第1の固定電極と、

前記可動電極と前記第1の方向とは異なる第2の方向から対向している第2の固定電極と、

前記可動電極と各前記固定電極の間で生じる静電容量の変化を検出する検出部と、

前記検出部によって検出された、加速度に対して非線形な出力を、加速度に対して線形な出力となるように補正し、補正後の出力に対応する加速度を示す加速度信号を生成する補正部と、

を備える静電容量型センサにおける非線形出力の補正方法であって、

前記可動電極と前記固定電極の間の距離及び前記梁部材のバネ定数を用いて、加速度から前記静電容量を算出する理論式を算出し、

前記理論式の逆変換式を用いて前記検出部による出力を補正する、非線形出力の補正方法。

[請求項8] 請求項7に記載の非線形出力の補正方法において、前記理論式を、前記可動電極と前記固定電極の間の距離に関する設計値からのズレを用いて算出する、非線形出力の補正方法。

[請求項9] 請求項7に記載の非線形出力の補正方法において、前記静電容量型センサは、

前記可動電極を介して前記第1の方向から前記第1の固定電極と対向している第3の前記固定電極を備え、

前記静電容量型センサの前記検出部は、前記可動電極と前記第1の固定電極の間で生じる第1の前記静電容量、前記可動電極と前記第2の固定電極の間で生じる第2の前記静電容量、及び前記可動電極と前記第3の固定電極の間で生じる第3の前記静電容量を検出し、

前記静電容量型センサの前記補正部は、前記第1の静電容量及び前記第3の静電容量を用いて前記第1の方向の加速度を示す第1の前記加速度信号を算出し、かつ前記第2の静電容量を用いて前記第2の方向の加速度を示す第2の前記加速度信号を算出し、

第1の前記加速度信号と第2の前記加速度信号とについて、互いに異なる前記理論式を算出し、

第1の前記加速度信号と第2の前記加速度信号とを、それぞれについて算出した前記理論式の逆変換式を用いて補正する、非線形出力の補正方法。

[請求項10] 請求項9に記載の非線形出力の補正方法において、

前記可動電極と前記第1の固定電極との間の距離の設計値と、前記可動電極と前記第3の固定電極との間の距離の設計値とは、等しい値であり、

前記理論式を、前記静電容量型センサの製造時に生じた前記可動電極と前記第1及び第3の固定電極との間の距離の設計値からのズレを用いて算出する、非線形出力の補正方法。

[請求項11] 請求項7～10のいずれか一項に記載の非線形出力の補正方法において、

前記静電容量型センサに加速度を加えて前記静電容量型センサの出力を実測し、実測した前記静電容量型センサの出力と前記静電容量型センサに加えた加速度とに基づいて前記理論式の係数を定め、係数を定めた後の理論式の逆変換式を用いて補正する、非線形出力の補正方法。

[請求項12] 請求項11に記載の非線形出力の補正方法において、

前記理論式の係数を定めるために前記第1の方向について前記静電容量型センサに加える加速度の範囲と、前記第2の方向について前記静電容量型センサに加える加速度の範囲とは、互いに異なる、非線形出力の補正方法。

[請求項13] 請求項12に記載の非線形出力の補正方法において、

第1の前記加速度信号の補正に用いる前記理論式の係数を定めるために前記静電容量型センサに加える加速度の範囲は、負の値と正の値の双方を含む、非線形出力の補正方法。

[請求項14] 請求項12又は13に記載の非線形出力の補正方法において、

第2の前記加速度信号の補正に用いる前記理論式の係数を定めるために前記静電容量型センサに加える加速度の範囲は、負の値と正の値のいずれか一方のみを含む、非線形出力の補正方法。

[請求項15] 請求項11～14のいずれか一項に記載の非線形出力の補正方法において、

前記理論式の係数を定めるために重力加速度を利用して前記静電容量型センサに対して加速度を加える、非線形出力の補正方法。

[請求項16] 請求項15に記載の非線形出力の補正方法において、

前記第 1 の方向について前記静電容量型センサに対して加える加速度の範囲は、 -1 G 以上 $+1\text{ G}$ 以下である、非線形出力の補正方法。

[請求項17]

請求項 15 又は 16 に記載の非線形出力の補正方法において、

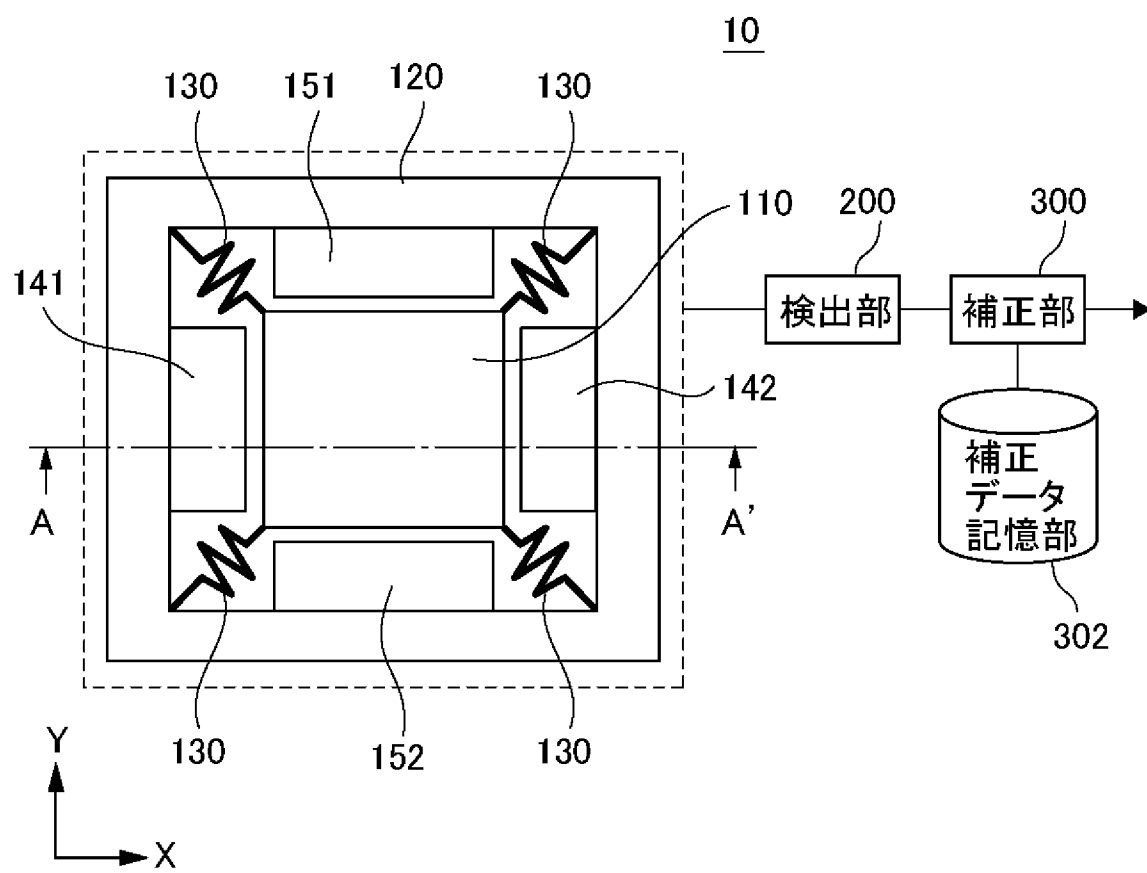
前記第 2 の方向について前記静電容量型センサに対して加える加速度の範囲は、 -2 G 以上 0 G 以下である、非線形出力の補正方法。

[請求項18]

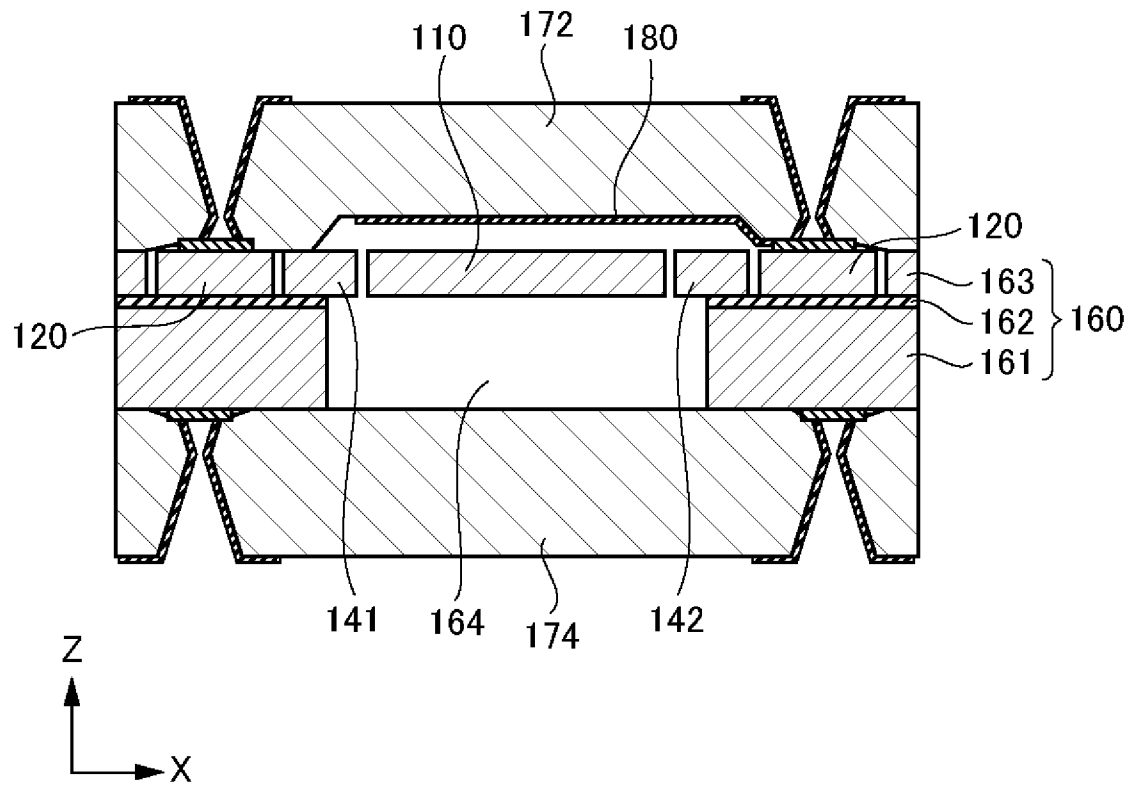
請求項 15～17 のいずれか一項に記載の非線形出力の補正方法において、

前記静電容量型センサの出力の補正を行う場所における重力加速度を測定し、測定された重力加速度の大きさを基準とする、非線形出力の補正方法。

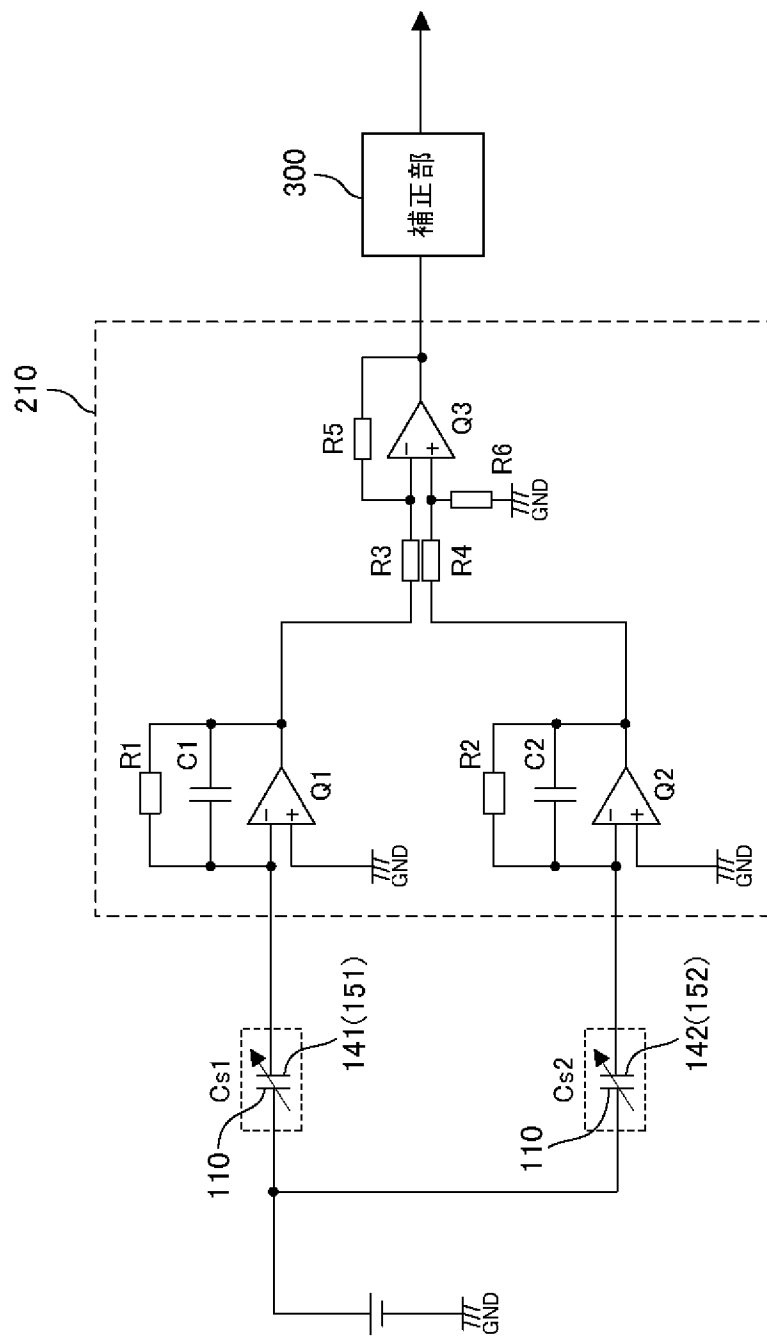
[図1]



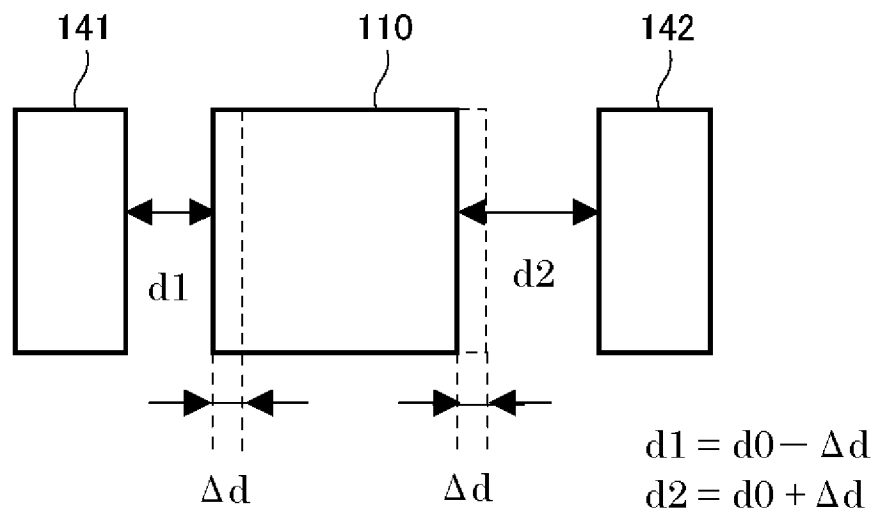
[図2]



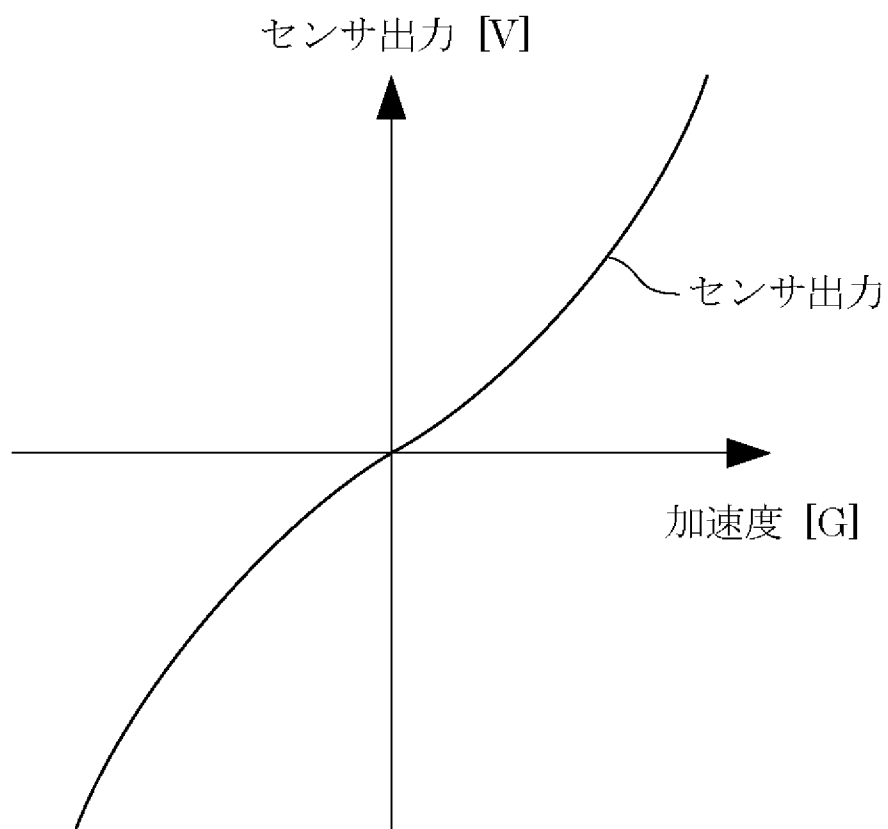
[図3]



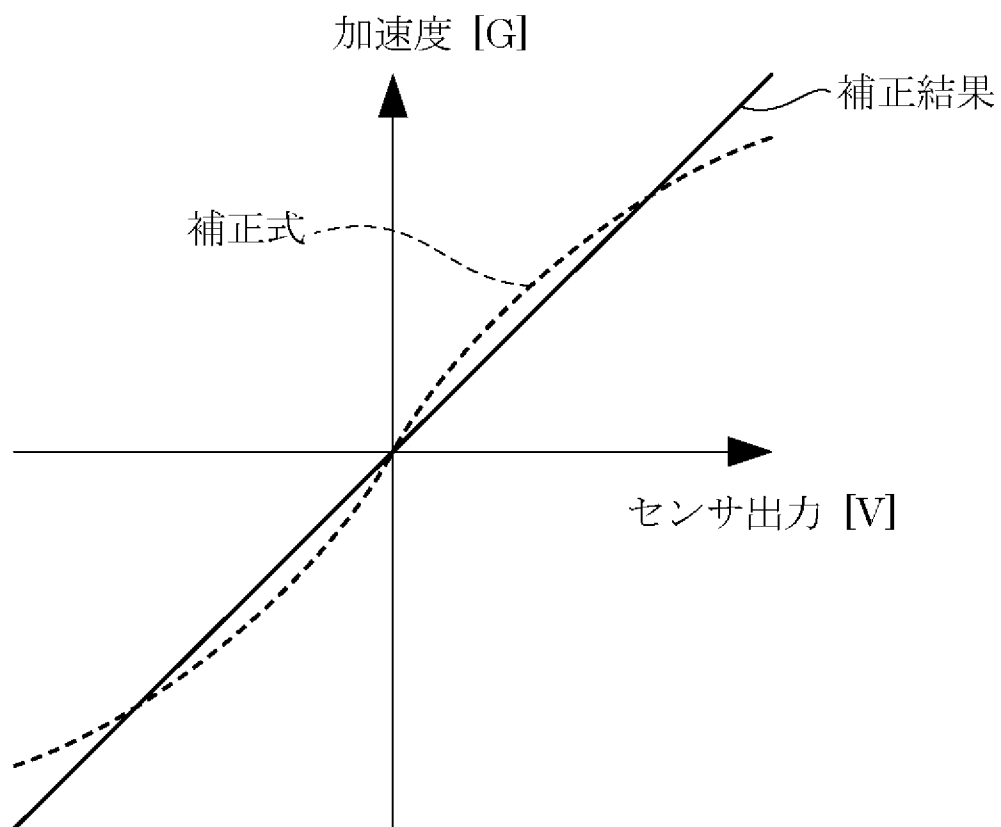
[図4]



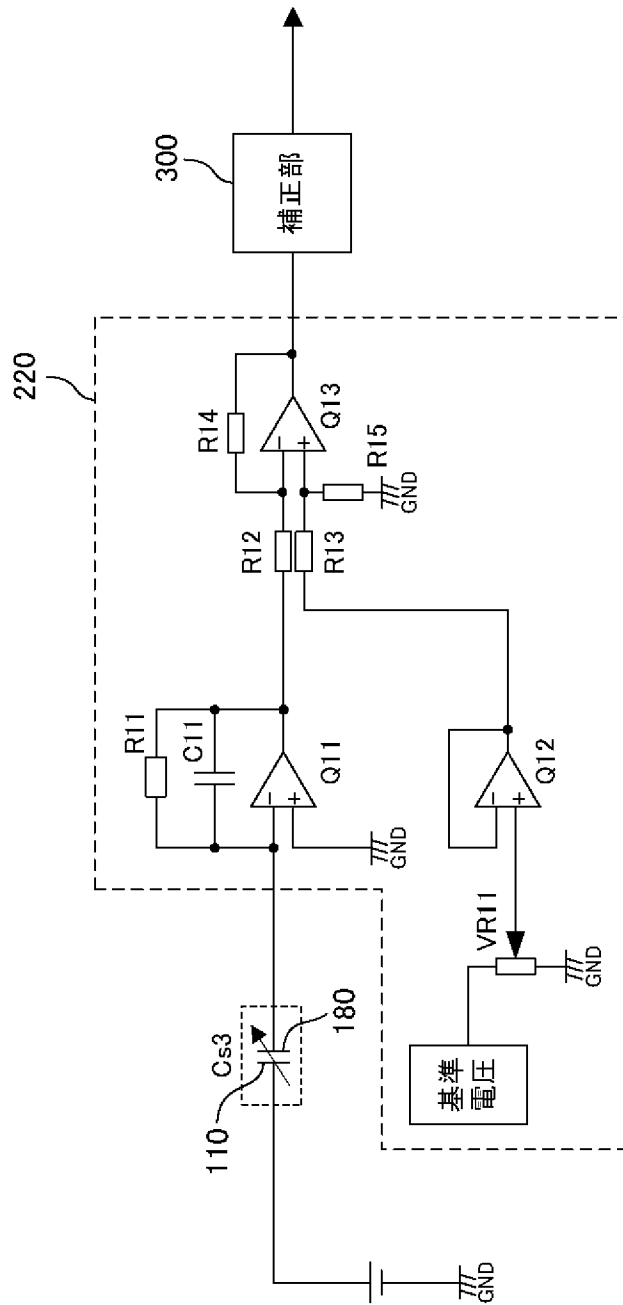
[図5]



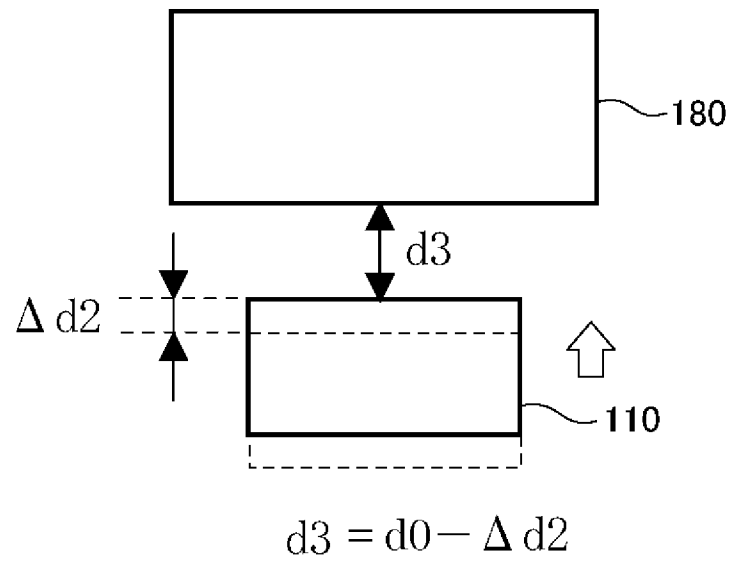
[図6]



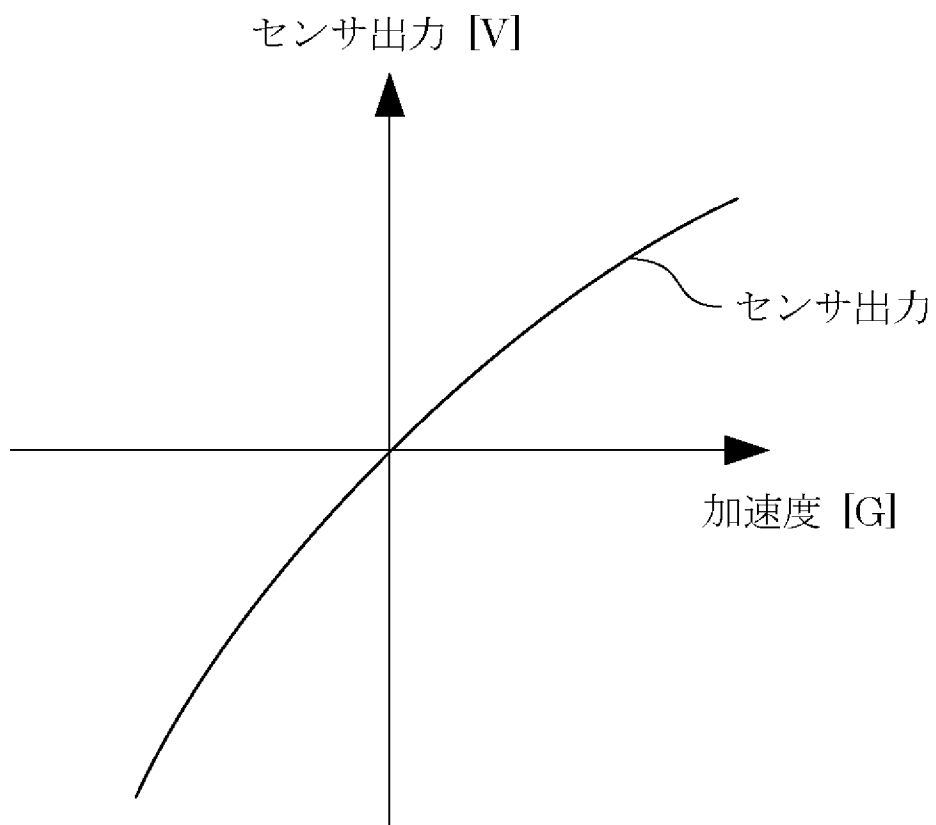
[図7]



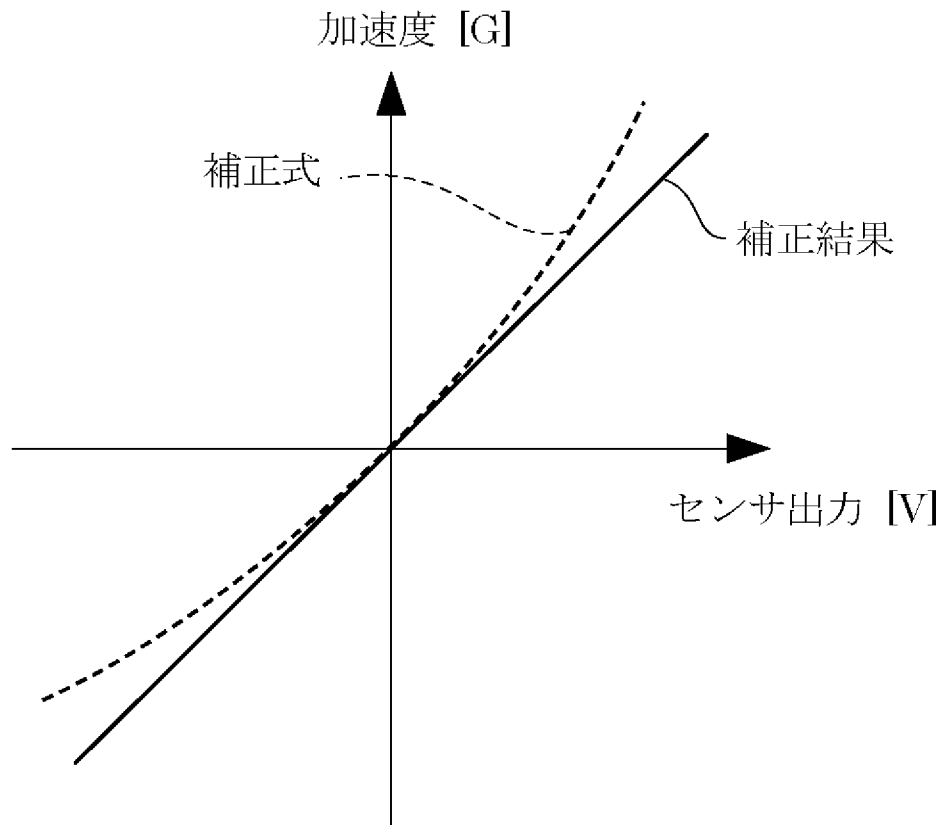
[図8]



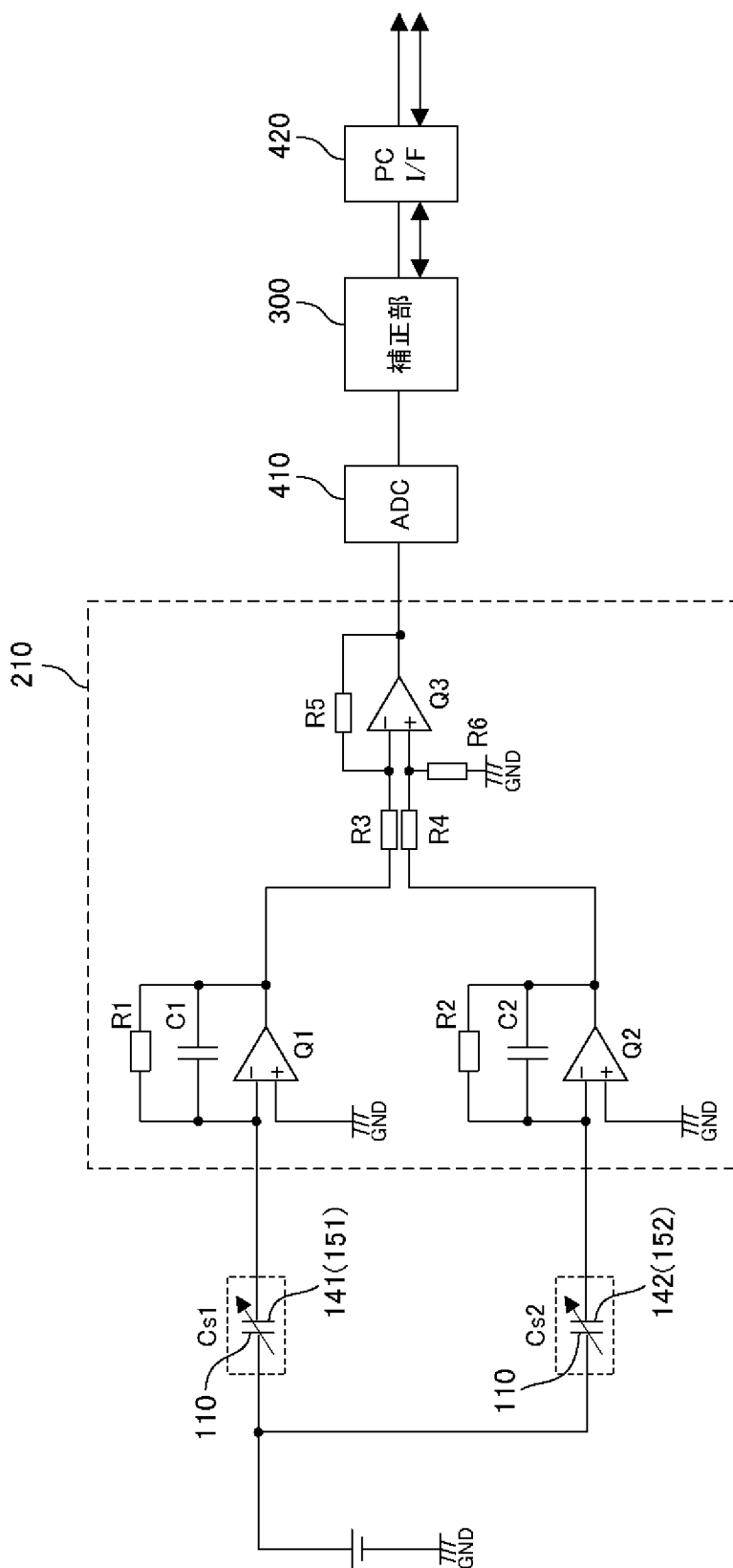
[図9]



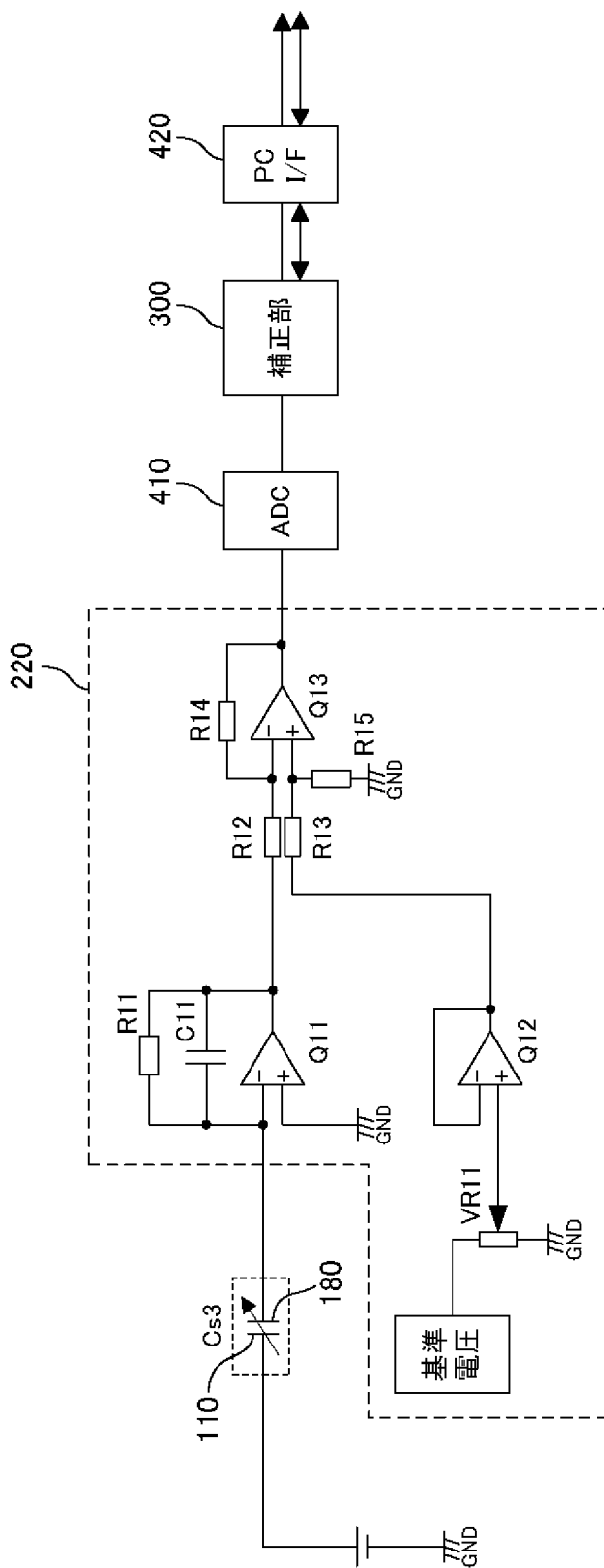
[図10]



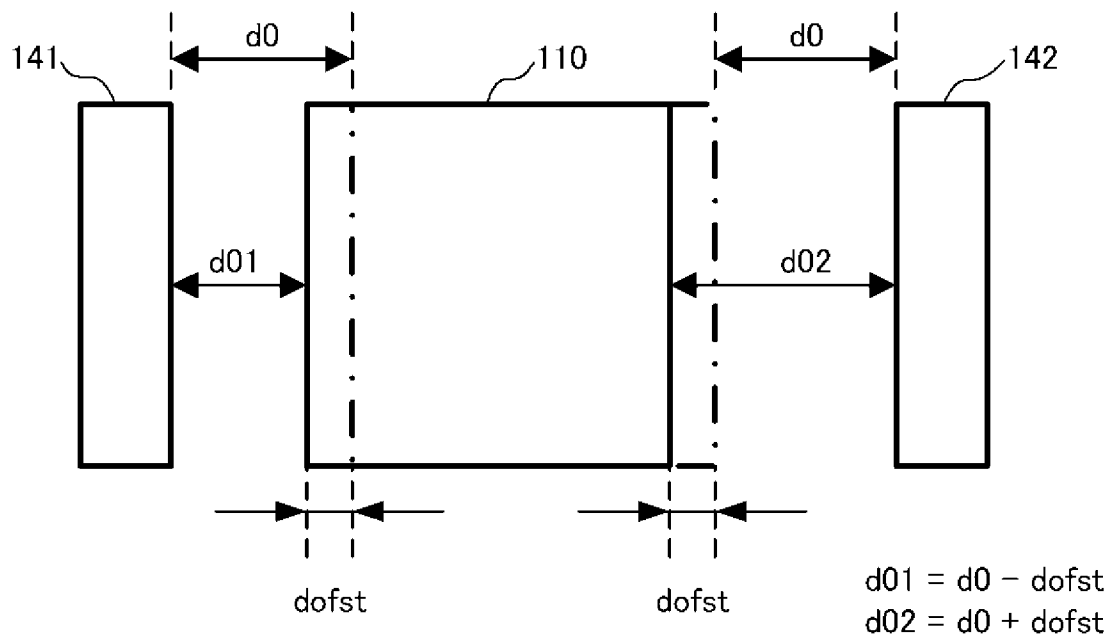
[図11]



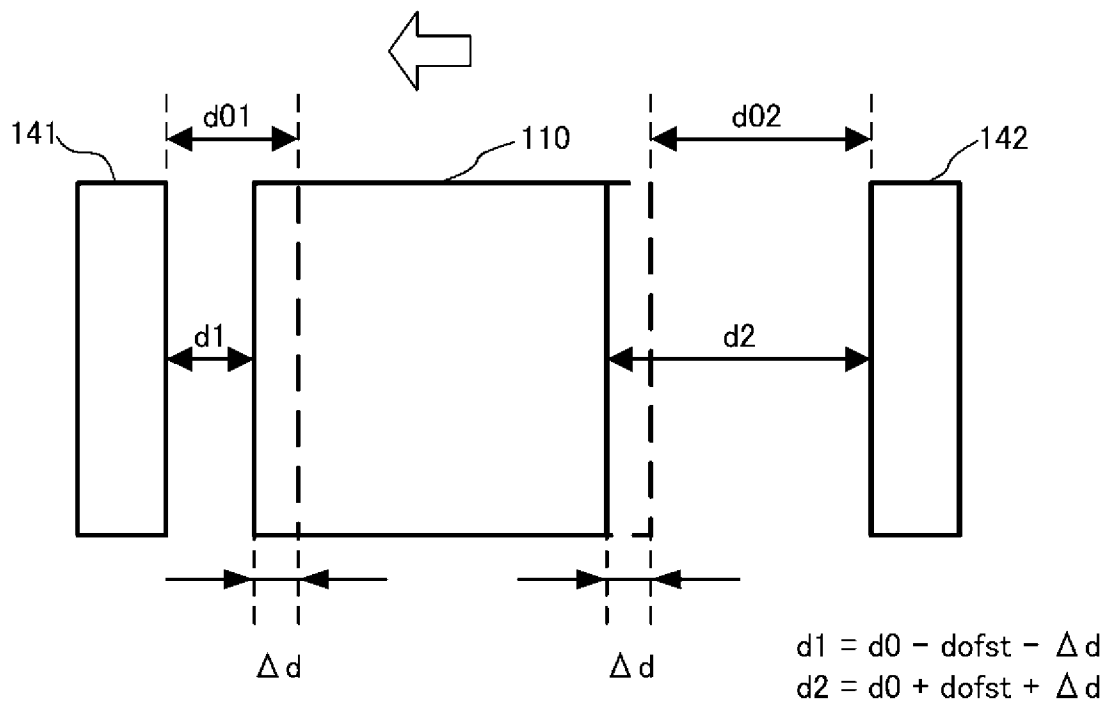
[図12]



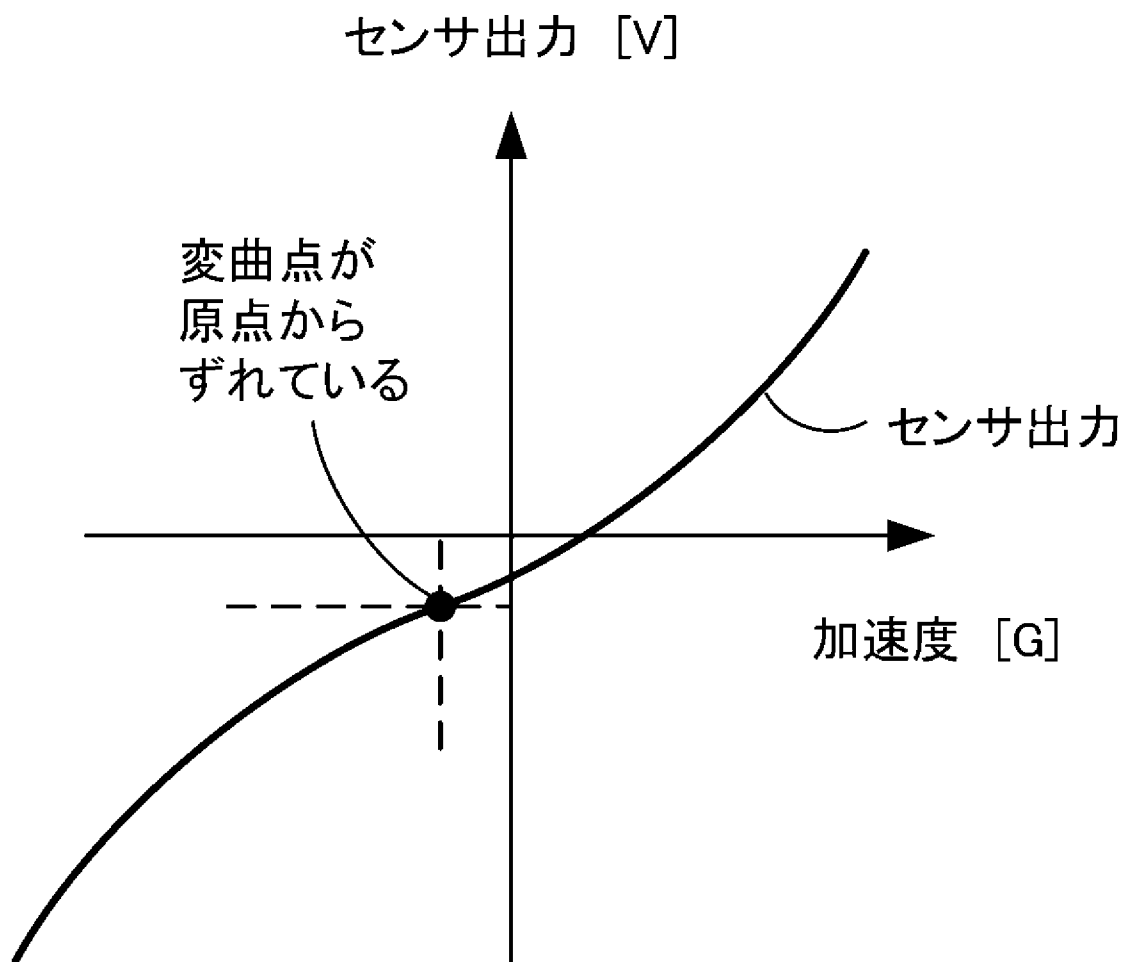
[図13]



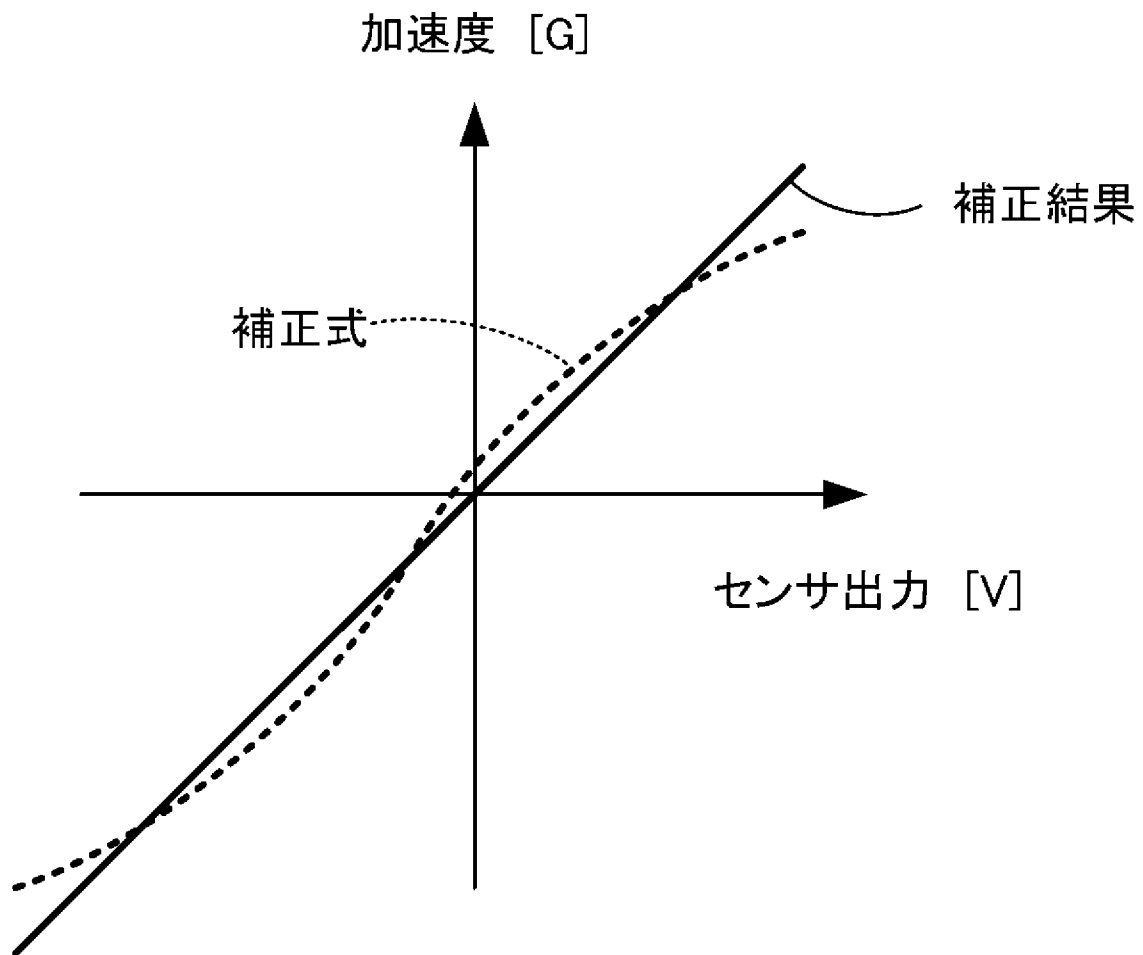
[図14]



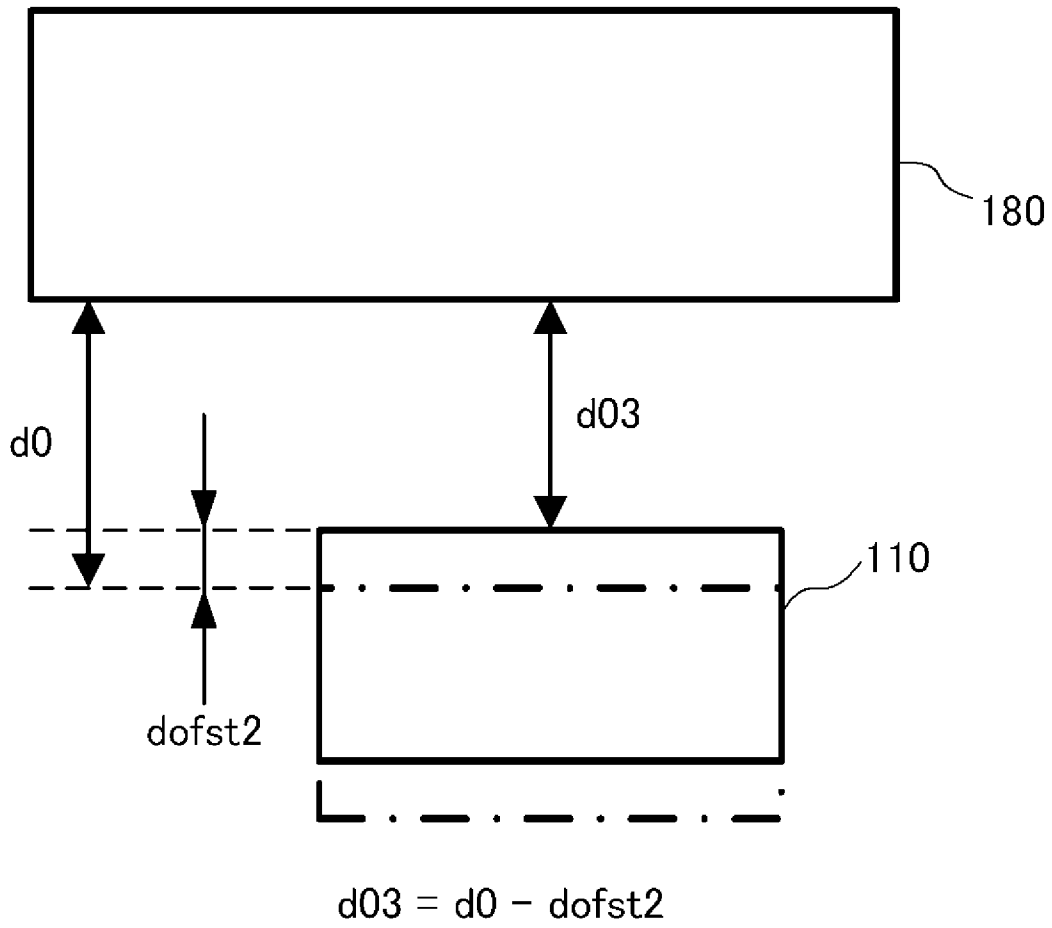
[図15]



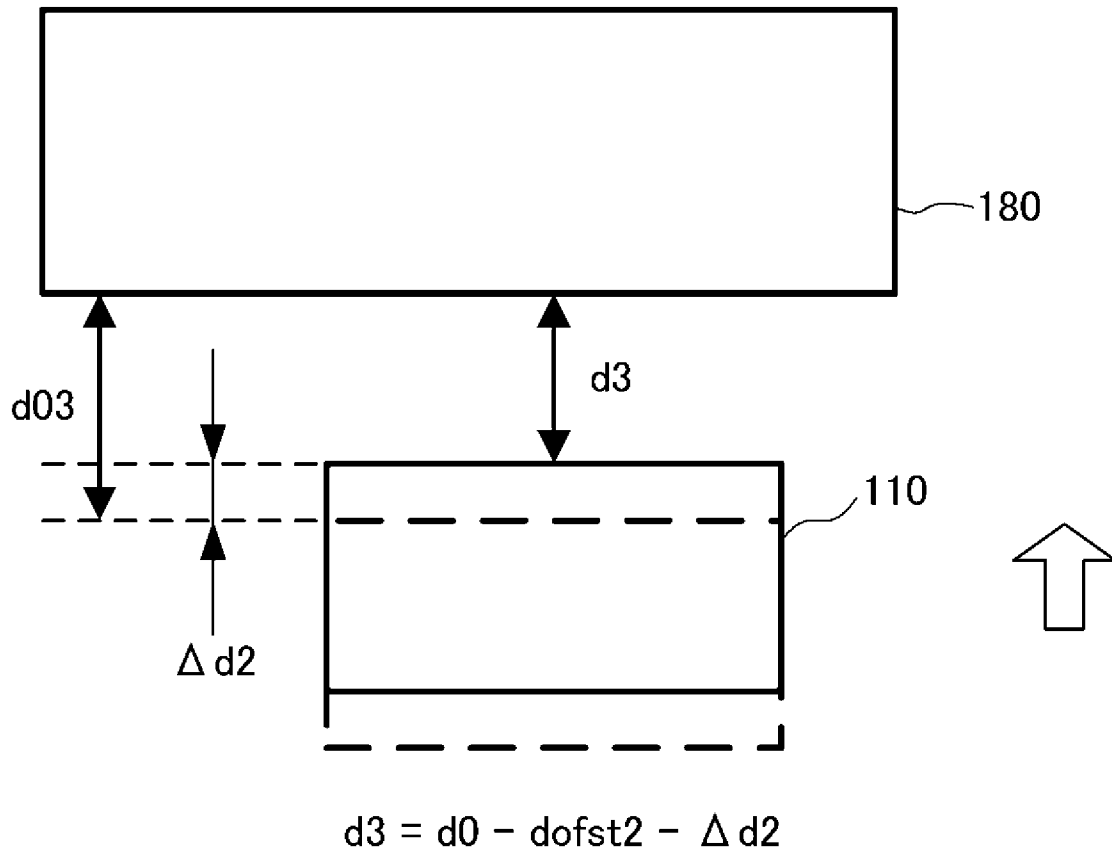
[図16]



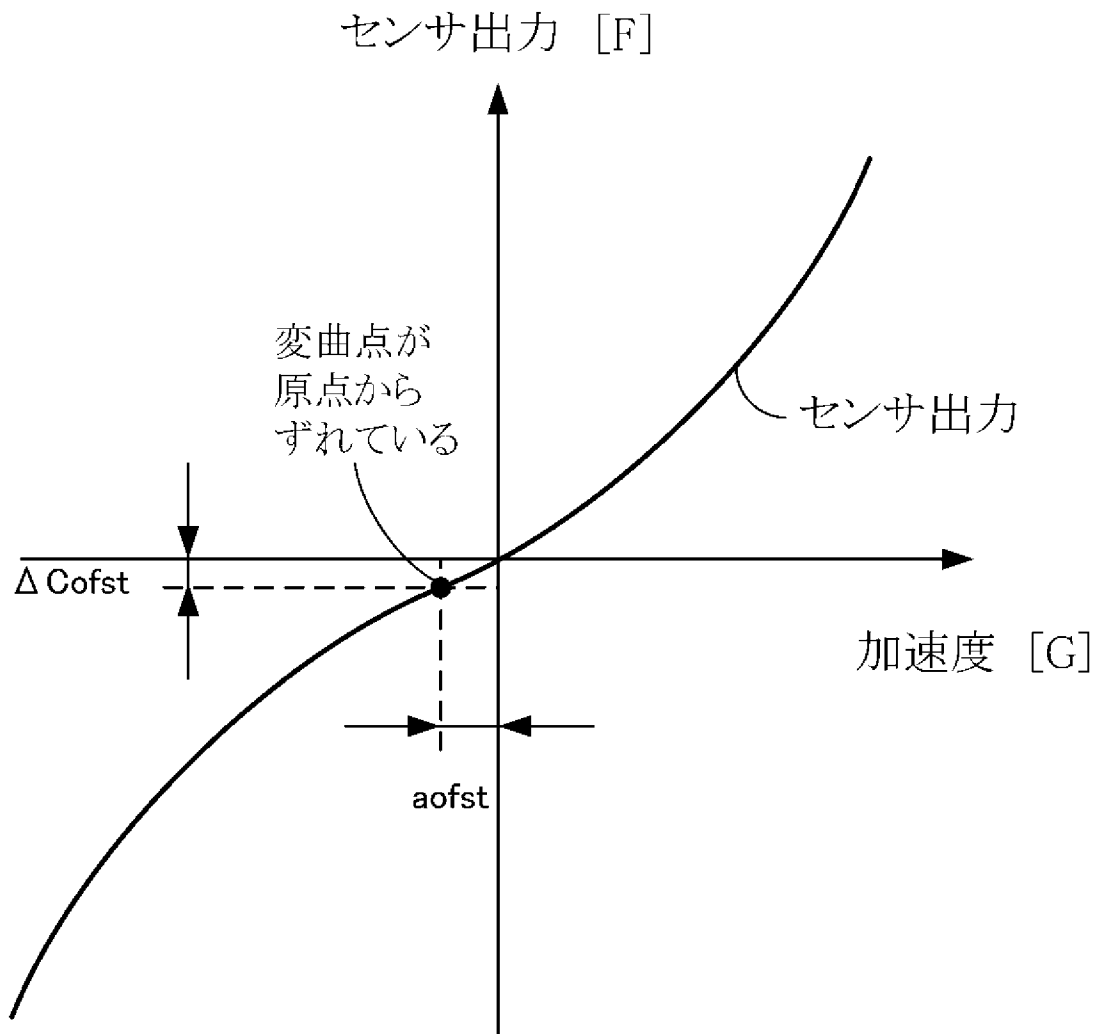
[図17]



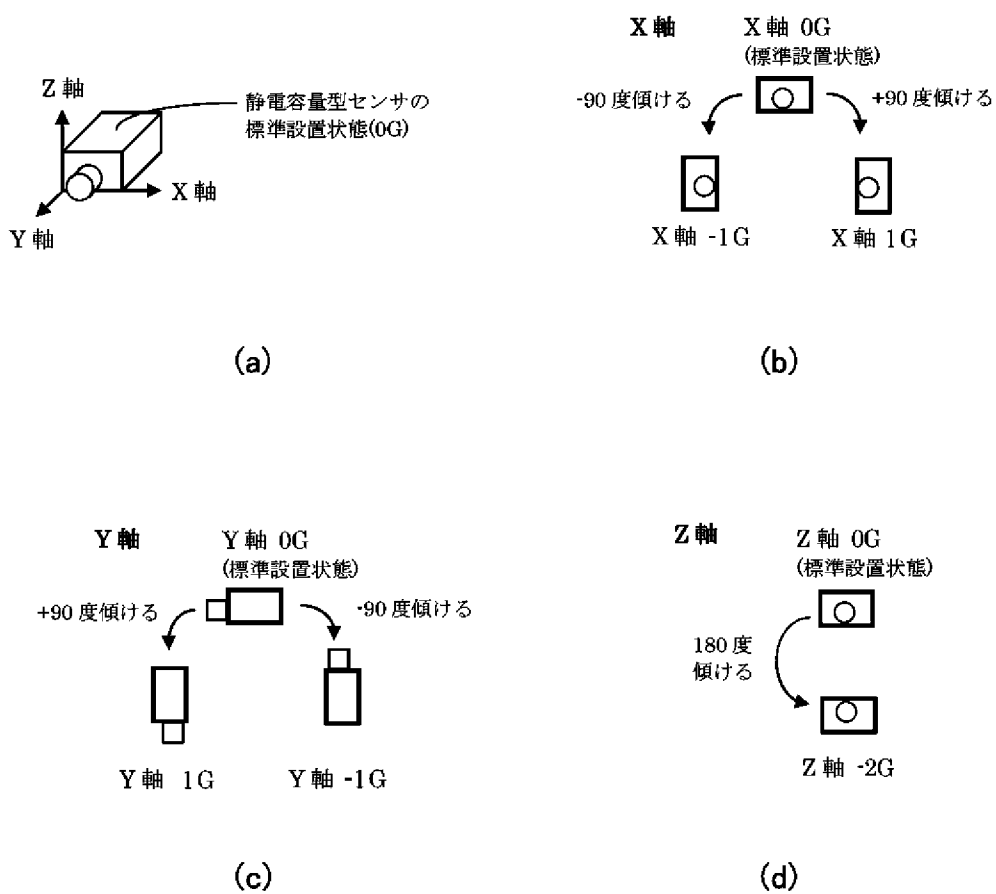
[図18]



[図19]



[図20]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/059634

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01P21/00(2006.01)i, G01P15/125(2006.01)i, G01P15/18(2013.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01P21/00, G01P15/00-15/18

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 9-54114 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 25 February 1997 (25.02.1997), paragraphs [0050] to [0058]; fig. 12 to 14 (Family: none)	1, 5-6 2-4, 7-18
Y A	JP 2002-22760 A (Takata Corp.), 23 January 2002 (23.01.2002), paragraphs [0045] to [0047] (Family: none)	1, 5-6 2-4, 7-18
A	WO 2001/096815 A1 (Omron Corp.), 20 December 2001 (20.12.2001), description, page 6, lines 1 to 3 & JP 3680834 B	5

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 01 July, 2014 (01.07.14)	Date of mailing of the international search report 15 July, 2014 (15.07.14)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/059634

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-20094 A (Freescale Semiconductor Inc.), 29 January 2009 (29.01.2009), entire text; all drawings & CN 101344535 A & US 2009/0013754 A1	1-18
A	JP 2007-198789 A (Sharp Corp.), 09 August 2007 (09.08.2007), entire text; all drawings (Family: none)	1-18
A	JP 2003-248017 A (Toyoda Machine Works, Ltd.), 05 September 2003 (05.09.2003), entire text; all drawings (Family: none)	1-18

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. G01P21/00(2006.01)i, G01P15/125(2006.01)i, G01P15/18(2013.01)i

B. 調査を行った分野
 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. G01P21/00, G01P15/00-15/18

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの
 日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2014年
 日本国実用新案登録公報 1996-2014年
 日本国登録実用新案公報 1994-2014年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 9-54114 A（株式会社村田製作所） 1997.02.25, [0050]-[0058], 図 12-14 （ファミリーなし）	1, 5-6 2-4, 7-18
Y A	JP 2002-22760 A（タカタ株式会社） 2002.01.23, [0045]-[0047] （ファミリーなし）	1, 5-6 2-4, 7-18
A	WO 2001/096815 A1（オムロン株式会社） 2001.12.20, 明細書 6 頁 1-3 行 & JP 3680834 B	5

C 欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 01.07.2014	国際調査報告の発送日 15.07.2014
--------------------------	--------------------------

国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号	特許庁審査官（権限のある職員） 岡田 卓弥 電話番号 03-3581-1101 内線 3216	2 F	9206
---	---	-----	------

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2009-20094 A (フリースケール セミコンダクター インコーポ レイテッド) 2009.01.29, 全文, 全図 & CN 101344535 A & US 2009/0013754 A1	1-18
A	JP 2007-198789 A (シャープ株式会社) 2007.08.09, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-18
A	JP 2003-248017 A (豊田工機株式会社) 2003.09.05, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-18