

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3710806号

(P3710806)

(45) 発行日 平成17年10月26日(2005.10.26)

(24) 登録日 平成17年8月19日(2005.8.19)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

GO 1 C 19/56

GO 1 C 19/56

GO 1 P 9/04

GO 1 P 9/04

GO 1 P 15/18

GO 1 P 15/00

K

請求項の数 2 (全 48 頁)

(21) 出願番号 特願2004-89562 (P2004-89562)  
 (22) 出願日 平成16年3月25日(2004.3.25)  
 (62) 分割の表示 特願平6-225894の分割  
 原出願日 平成6年8月26日(1994.8.26)  
 (65) 公開番号 特開2004-233369 (P2004-233369A)  
 (43) 公開日 平成16年8月19日(2004.8.19)  
 審査請求日 平成16年3月25日(2004.3.25)

(73) 特許権者 000122863  
 岡田 和廣  
 埼玉県上尾市菅谷4丁目73番地  
 (74) 代理人 100091476  
 弁理士 志村 浩  
 (72) 発明者 岡田 和廣  
 埼玉県上尾市菅谷四丁目73番地

審査官 有家 秀郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 加速度と角速度との双方を検出する装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

X Y Z三次元座標系におけるY軸方向の加速度、ならびにY軸まわりの角速度およびZ軸まわりの角速度を検出する装置であって、

上面がX Y平面に含まれ、上面中央に座標系の原点が位置し、下面に溝が形成され、前記溝が形成された肉厚の薄い部分からなる可撓部と、前記可撓部によって囲まれた中心の部分からなる中心部と、前記可撓部の外周に位置する部分からなる周囲部と、を有する盤状構造体と、

前記周囲部を固定する装置筐体と、

前記中心部自身もしくは前記中心部に接続された質量体からなり、前記可撓部の撓みにより前記装置筐体に対して変位を生じるように構成された振動子と、 10

前記振動子をX軸方向に、検出対象となる加速度および角速度のもつ周波数に対して識別可能な十分に高い周波数で振動させる励振手段と、

前記振動子に加わるY軸方向への力を検出する第1の力検出手段と、

前記振動子に加わるZ軸方向への力を検出する第2の力検出手段と、

前記第1の力検出手段によって得られる第1の検出信号について、バイアス成分と振幅成分とをその周波数成分の相違に基づいて分離する第1の信号分離手段と、

前記第2の力検出手段によって得られる第2の検出信号について、バイアス成分と振幅成分とをその周波数成分の相違に基づいて分離する第2の信号分離手段と、

前記第1の検出信号についてのバイアス成分に基づいて、Y軸方向の加速度を求める加 20

速度演算手段と、

前記励振手段を駆動して前記振動子をX軸方向に振動させ、この状態において得られる前記第2の検出信号についての振幅成分に基づいて、Y軸まわりの角速度を求める第1の角速度演算手段と、

前記励振手段を駆動して前記振動子をX軸方向に振動させ、この状態において得られる前記第1の検出信号についての振幅成分に基づいて、Z軸まわりの角速度を求める第2の角速度演算手段と、

を備え、

同一の軸方向への力の検出信号に基づいて求まる加速度と角速度とを、同時に検出する機能を有することを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

10

【請求項2】

X Y Z三次元座標系におけるX軸方向の加速度、ならびにY軸まわりの角速度およびZ軸まわりの角速度を検出する装置であって、

上面がX Y平面に含まれ、上面中央に座標系の原点が位置し、下面に溝が形成され、前記溝が形成された肉厚の薄い部分からなる可撓部と、前記可撓部によって囲まれた中心の部分からなる中心部と、前記可撓部の外周に位置する部分からなる周囲部と、を有する盤状構造体と、

前記周囲部を固定する装置筐体と、

前記中心部自身もしくは前記中心部に接続された質量体からなり、前記可撓部の撓みにより前記装置筐体に対して変位を生じるように構成された振動子と、

20

前記振動子をX軸方向に、検出対象となる加速度および角速度のもつ周波数に対して識別可能な十分に高い周波数で振動させる励振手段と、

前記振動子に加わるX軸方向への力を検出する第1の力検出手段と、

前記振動子に加わるY軸方向への力を検出する第2の力検出手段と、

前記振動子に加わるZ軸方向への力を検出する第3の力検出手段と、

前記第1の力検出手段によって得られる第1の検出信号について、バイアス成分と振幅成分とをその周波数成分の相違に基づいて分離する第1の信号分離手段と、

前記第2の力検出手段によって得られる第2の検出信号について、バイアス成分と振幅成分とをその周波数成分の相違に基づいて分離する第2の信号分離手段と、

前記第3の力検出手段によって得られる第3の検出信号について、バイアス成分と振幅成分とをその周波数成分の相違に基づいて分離する第3の信号分離手段と、

30

前記第1の検出信号についてのバイアス成分に基づいて、X軸方向の加速度を求める加速度演算手段と、

前記励振手段を駆動して前記振動子をX軸方向に振動させ、この状態において得られる前記第3の検出信号についての振幅成分に基づいて、Y軸まわりの角速度を求める第1の角速度演算手段と、

前記励振手段を駆動して前記振動子をX軸方向に振動させ、この状態において得られる前記第2の検出信号についての振幅成分に基づいて、Z軸まわりの角速度を求める第2の角速度演算手段と、

を備え、

40

3軸方向への力の検出信号に基づいて、各軸に関する加速度もしくは角速度を同時に検出する機能を有することを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、加速度と角速度との双方を検出する装置、特に、振動子に作用する力に基づいて加速度および角速度の検出を行う装置に関する。

【背景技術】

【0002】

加速度や角速度といった物理量を検出する場合、従来は、加速度を検出するためには加

50

速度検出装置を用い、角速度を検出するためには角速度検出装置を用いるのが一般的であり、加速度と角速度との双方を検出することができる装置は、本願出願人の知る限りにおいては、現段階では商用レベルでは実用化されていない。また、従来は、特定の一軸方向の加速度を検出する一次元加速度検出装置や、特定の一軸まわりの角速度を検出する一次元角速度検出装置が一般的であり、二次元あるいは三次元の各座標軸の成分ごとにこれらの物理量を検出する場合には、それぞれ各座標軸ごとに独立した検出装置を配置するのが一般的であった。

#### 【0003】

ところが、近年、自動車産業や機械産業などにおいて、加速度や角速度といった物理量を正確に検出できる検出装置の需要が高まってきている。特に、二次元あるいは三次元の各座標軸の成分ごとにこれらの物理量を検出する小型の検出装置が望まれている。このような需要に応えるために、本願と同一の発明者によって、単一の検出装置を用いて、三次元座標系における各座標軸方向の加速度と、角座標軸まわりの角速度とを、それぞれ独立して検出する技術が提案されている。すなわち、下記の特許文献1や特許文献2には、振動子に作用する力に基づいて加速度および角速度を各座標軸成分ごとに検出することができる新規な検出装置が開示されている。この装置における角速度の検出原理は、コリオリ力を利用したものである。すなわち、振動子にX軸まわりの角速度  $\omega_x$  が作用している状態において、この振動子をY軸方向に振動させると、Z軸方向にコリオリ力が作用するという原理を利用し、振動子を励振手段によってY軸方向に振動させた状態において、Z軸方向に作用したコリオリ力を検出し、このコリオリ力に基づいて、X軸まわりの角速度  $\omega_x$  を間接的に求めるのである。

【特許文献1】国際公開W094/23272号公報

【特許文献2】特開平8-35981号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

#### 【0004】

上述した新規な検出装置は、比較的小形の装置でありながら、X軸、Y軸、Z軸方向の加速度と、これら各軸まわりの各速度と、いう6つの物理量を検出することができる有用な装置である。しかしながら、この装置では、加速度の検出にも、角速度の検出にも、振動子に作用する力を検出する必要がある。すなわち、一方では、振動子を静止状態に保った状態において、振動子に作用する力を検出することにより、外部から与えられた加速度を検出し、他方では、振動子を所定方向に振動させた状態において、振動子に作用するコリオリ力を検出することにより、外部から与えられた角速度を検出するのである。したがって、加速度検出を行う場合には、振動子を静止状態に保ち、角速度検出を行う場合には、振動子を振動状態に保たねばならない。

#### 【0005】

このような検出装置を、自動車や産業機械などに搭載して用いる場合には、通常は、時々刻々と変化してゆく加速度と角速度とをリアルタイムで検出することが要求される。上述の検出装置を用いて、このように加速度と角速度とをリアルタイムで検出するためには、振動子を静止状態に保ちつつ加速度検出を行う動作と、振動子を振動状態に保ちつつ角速度検出を行う動作と、を交互に繰り返し実行する必要がある。ところが、振動子の機械的な応答性には限度があり、静止状態の振動子を振動させたり、振動状態の振動子を静止させたりするには、どうしてもある程度の時間が必要になる。このため、加速度と角速度とをリアルタイムで検出する動作を行わせると、十分な応答性が得られないという問題が生じる。

#### 【0006】

そこで本発明は、加速度と角速度との双方を十分な応答性をもって検出することのできる検出装置、特に、加速度1軸成分と角速度2軸成分とを同時に検出できる装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 7 】

本発明の基本概念は、三次元座標系における第1の軸方向の加速度および第2の軸まわりの角速度を検出する際に、質量をもった振動子と、この振動子を、三次元座標系における第3の軸方向に、検出対象となる加速度および角速度のもつ周波数に対して識別可能な十分に高い周波数で振動させる励振手段と、振動子に加わる第1の軸方向への力を検出する力検出手段と、この力検出手段によって得られる検出信号について、バイアス成分と振幅成分とを分離する信号分離手段と、バイアス成分に基づいて、第1の軸方向の加速度を求める加速度演算手段と、振幅成分に基づいて、第2の軸まわりの角速度を求める角速度演算手段と、設けることにより、加速度と角速度との双方を検出できるようにする点にある。

10

## 【 0 0 0 8 】

本発明に係る検出装置では、加速度の検出にも、角速度の検出にも、振動子に作用する力が用いられる。この検出装置における検出動作の基本原理によれば、加速度を検出するには、振動子を静止状態に保ち、そのときに振動子に作用した力を検出すればよいし、角速度を検出するには、振動子を振動状態に保ち、そのときに振動子に作用した力を検出すればよい。本願発明者は、このような基本原理に基づいて、当初は、振動子を静止状態にした加速度検出と、振動子を振動状態にした角速度検出と、をそれぞれ別個独立して行うことを想定していた。

## 【 0 0 0 9 】

ところが、本願発明者は、加速度検出と角速度検出とを同時に行うことが可能であることに気付いたのである。いま、たとえば、ある軸方向の加速度と、ある軸まわりの角速度とが、同時に作用しており、この加速度と角速度とは、所定方向に振動している振動子に対して同じ方向に力を作用させる性質のものであったとする。この場合、振動子に作用する力は、加速度に起因した成分と、角速度に起因した成分との合成力ということになる。もし、この合成力を、加速度に起因した成分と角速度に起因した成分とに分離することができれば、加速度と角速度との同時検出が可能になる。

20

## 【 0 0 1 0 】

このような分離は、検出対象となる加速度および角速度のもつ周波数に対して、振動子の振動周波数が十分に高い場合には可能である。すなわち、このような条件では、加速度に起因した成分はバイアス成分として、角速度に起因した成分は振幅成分として、それぞれ合成されるのである。したがって、得られた合成力をバイアス成分と振幅成分とに分離すれば、加速度に起因した成分と角速度に起因した成分とを独立して得ることが可能になる。

30

## 【 0 0 1 1 】

特に、本発明は、加速度1軸成分と角速度2軸成分とを同時に検出できる装置を実現するために、次に述べるような各態様で実施することができる。

## 【 0 0 1 2 】

(1) 本発明の第1の態様は、X Y Z三次元座標系におけるY軸方向の加速度、ならびにY軸まわりの角速度およびZ軸まわりの角速度を検出する装置を実現するために、

上面がX Y平面に含まれ、上面中央に座標系の原点が位置し、下面に溝が形成され、この溝が形成された肉厚の薄い部分からなる可撓部と、この可撓部によって囲まれた中心の部分からなる中心部と、可撓部の外周に位置する部分からなる周囲部と、を有する盤状構造体と、

40

周囲部を固定する装置筐体と、

中心部自身もしくは中心部に接続された質量体からなり、可撓部の撓みにより装置筐体に対して変位を生じるように構成された振動子と、

振動子をX軸方向に、検出対象となる加速度および角速度のもつ周波数に対して識別可能な十分に高い周波数で振動させる励振手段と、

振動子に加わるY軸方向への力を検出する第1の力検出手段と、

振動子に加わるZ軸方向への力を検出する第2の力検出手段と、

50

第1の力検出手段によって得られる第1の検出信号について、バイアス成分と振幅成分とをその周波数成分の相違に基づいて分離する第1の信号分離手段と、

第2の力検出手段によって得られる第2の検出信号について、バイアス成分と振幅成分とをその周波数成分の相違に基づいて分離する第2の信号分離手段と、

第1の検出信号についてのバイアス成分に基づいて、Y軸方向の加速度を求める加速度演算手段と、

励振手段を駆動して振動子をX軸方向に振動させ、この状態において得られる第2の検出信号についての振幅成分に基づいて、Y軸まわりの角速度を求める第1の角速度演算手段と、

励振手段を駆動して振動子をX軸方向に振動させ、この状態において得られる第1の検出信号についての振幅成分に基づいて、Z軸まわりの角速度を求める第2の角速度演算手段と、

を設け、

同一の軸方向への力の検出信号に基づいて求まる加速度と角速度とを、同時に検出できるようにしたものである。

【0013】

(2) 本発明の第2の態様は、XYZ三次元座標系におけるX軸方向の加速度、ならびにY軸まわりの角速度およびZ軸まわりの角速度を検出する装置を実現するために、

上面がXY平面に含まれ、上面中央に座標系の原点が位置し、下面に溝が形成され、この溝が形成された肉厚の薄い部分からなる可撓部と、この可撓部によって囲まれた中心の部分からなる中心部と、可撓部の外周に位置する部分からなる周囲部と、を有する盤状構造体と、

周囲部を固定する装置筐体と、

中心部自身もしくは中心部に接続された質量体からなり、可撓部の撓みにより装置筐体に対して変位を生じるように構成された振動子と、

振動子をX軸方向に、検出対象となる加速度および角速度のもつ周波数に対して識別可能な十分に高い周波数で振動させる励振手段と、

振動子に加わるX軸方向への力を検出する第1の力検出手段と、

振動子に加わるY軸方向への力を検出する第2の力検出手段と、

振動子に加わるZ軸方向への力を検出する第3の力検出手段と、

第1の力検出手段によって得られる第1の検出信号について、バイアス成分と振幅成分とをその周波数成分の相違に基づいて分離する第1の信号分離手段と、

第2の力検出手段によって得られる第2の検出信号について、バイアス成分と振幅成分とをその周波数成分の相違に基づいて分離する第2の信号分離手段と、

第3の力検出手段によって得られる第3の検出信号について、バイアス成分と振幅成分とをその周波数成分の相違に基づいて分離する第3の信号分離手段と、

第1の検出信号についてのバイアス成分に基づいて、X軸方向の加速度を求める加速度演算手段と、

励振手段を駆動して振動子をX軸方向に振動させ、この状態において得られる第3の検出信号についての振幅成分に基づいて、Y軸まわりの角速度を求める第1の角速度演算手段と、

励振手段を駆動して振動子をX軸方向に振動させ、この状態において得られる第2の検出信号についての振幅成分に基づいて、Z軸まわりの角速度を求める第2の角速度演算手段と、

を設け、

3軸方向への力の検出信号に基づいて、各軸に関する加速度もしくは角速度を同時に検出できるようにしたものである。

【0017】

上述した本発明を実施する上で、信号分離手段は、検出信号の各変極点を抽出し、隣接する2つの変極点の時間軸上での中間位置に、この2つの変極点の信号値を平均して得ら

10

20

30

40

50

れる信号値をもつ参照点を求め、求めた参照点を結ぶことによって得られる信号をバイアス成分とし、検出信号とバイアス成分との差に相当する信号を振幅成分とする処理を行うようにすればよい。また、加速度演算手段は、検出された力のバイアス成分  $f$  と、振動子の質量  $m$  と、に基づいて、 $f = m \cdot$  なる演算式を適用して加速度 を求めるようにし、角速度演算手段は、検出された力の振幅成分  $F$  と、振動子の質量  $m$  と、励振手段の動作状態から推定される振動子の瞬間速度  $v$  と、に基づいて、 $F = 2 m \cdot v \cdot$  なる演算式を適用して角速度 を求めるようにすればよい。

【発明の効果】

【0018】

以上のとおり本発明によれば、振動中の振動子に作用した合成力を、加速度に起因した力と角速度に起因したコリオリ力とに分離し、加速度と角速度とを同時に検出できるようにしたため、加速度1軸成分と角速度2軸成分とを同時に検出できる装置を実現できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

<<< §1. 角速度および加速度検出の基本原理解 >>>

まず、本発明に係る検出装置における角速度検出の基本原理解を説明する。本発明に係る装置では、二軸あるいは三軸まわりの角速度を検出することが可能であるが、ここでは、はじめに、一軸の角速度検出原理解を簡単に説明しておく。図1は、雑誌「発明 (THE INVENTION)」、vol.90, No.3 (1993年)の60頁に開示されている角速度検出装置の基本原理解を示す図である。いま、角柱状の振動子110を用意し、図示するような方向にX, Y, Z軸を定義したXYZ三次元座標系を考える。このような系において、振動子110がZ軸を回転軸として角速度 で回転運動を行っている場合、次のような現象が生じることが知られている。すなわち、この振動子110をX軸方向に往復運動させるような振動Uを与えると、Y軸方向にコリオリ力Fが発生する。別言すれば、振動子110を図のX軸に沿って振動させた状態で、この振動子110をZ軸を中心軸として回転させると、Y軸方向にコリオリ力Fが生じることになる。この現象は、フーコーの振り子として古くから知られている力学現象であり、発生するコリオリ力Fは、

$$F = 2 m \cdot v \cdot$$

で表される。ここで、 $m$ は振動子110の質量、 $v$ は振動子110の振動についての瞬時の速度、 は振動子110の瞬時の角速度である。

【0020】

前述の雑誌に開示された一軸の角速度検出装置は、この現象を利用して角速度 を検出するものである。すなわち、図1に示すように、角柱状の振動子110の第1の面には第1の圧電素子111が、この第1の面と直交する第2の面には第2の圧電素子112が、それぞれ取り付けられる。圧電素子111, 112としては、 piezoelectric セラミックからなる板状の素子が用いられている。そして、振動子110に対して振動Uを与えるために圧電素子111が利用され、発生したコリオリ力Fを検出するために圧電素子112が利用される。すなわち、圧電素子111に交流電圧を与えると、この圧電素子111は伸縮運動を繰り返しX軸方向に振動する。この振動Uが振動子110に伝達され、振動子110がX軸方向に振動することになる。このように、振動子110に振動Uを与えた状態で、振動子110自身がZ軸を中心軸として角速度 で回転すると、上述した現象により、Y軸方向にコリオリ力Fが発生する。このコリオリ力Fは、圧電素子112の厚み方向に作用するため、圧電素子112の両面にはコリオリ力Fに比例した電圧Vが発生する。そこで、この電圧Vを測定することにより、角速度 を検出することが可能になる。

【0021】

上述した従来の角速度検出装置は、Z軸まわりの角速度を検出するためのものであり、X軸あるいはY軸まわりの角速度の検出を行うことはできない。本発明に係る検出装置では、図2に示すように、所定の物体120について、XYZ三次元座標系におけるX軸まわりの角速度  $x$ 、Y軸まわりの角速度  $y$ 、Z軸まわりの角速度  $z$ 、のそれぞれを別

10

20

30

40

50

個独立して検出することができる。その基本原理を、図3～図5を参照して説明する。いま、XYZ三次元座標系の原点位置に振動子130が置かれているものとする。この振動子130のX軸まわりの角速度 $\omega_x$ を検出するには、図3に示すように、この振動子130にZ軸方向の振動 $U_z$ を与えたときに、Y軸方向に発生するコリオリ力 $F_y$ を測定すればよい。コリオリ力 $F_y$ は角速度 $\omega_x$ に比例した値となる。また、この振動子130のY軸まわりの角速度 $\omega_y$ を検出するには、図4に示すように、この振動子130にX軸方向の振動 $U_x$ を与えたときに、Z軸方向に発生するコリオリ力 $F_z$ を測定すればよい。コリオリ力 $F_z$ は角速度 $\omega_y$ に比例した値となる。更に、この振動子130のZ軸まわりの角速度 $\omega_z$ を検出するには、図5に示すように、この振動子130にY軸方向の振動 $U_y$ を与えたときに、X軸方向に発生するコリオリ力 $F_x$ を測定すればよい。コリオリ力 $F_x$ は角速度 $\omega_z$ に比例した値となる。

10

#### 【0022】

結局、XYZ三次元座標系におけるX軸まわりの角速度 $\omega_x$ 、Y軸まわりの角速度 $\omega_y$ 、Z軸まわりの角速度 $\omega_z$ 、をそれぞれ検出するには、図6に示すように、振動子130にX軸方向の振動 $U_x$ を与えるX軸方向励振手段141、Y軸方向の振動 $U_y$ を与えるY軸方向励振手段142、Z軸方向の振動 $U_z$ を与えるZ軸方向励振手段143、のそれぞれと、振動子130に作用するX軸方向のコリオリ力 $F_x$ を検出するX軸方向力検出手段151、Y軸方向のコリオリ力 $F_y$ を検出するY軸方向力検出手段152、Z軸方向のコリオリ力 $F_z$ を検出するZ軸方向力検出手段153のそれぞれと、を用意すればよいことになる。

20

#### 【0023】

一方、加速度の検出原理はより単純である。すなわち、静止状態の振動子(単なる質量 $m$ をもった錘りとして機能する)に、所定方向の加速度 $a$ が作用すると、この加速度と同じ方向に、 $f = m \cdot a$ なる力 $f$ が作用することになる。したがって、静止状態の振動子130に作用する各軸方向の力 $f_x$ 、 $f_y$ 、 $f_z$ を検出すれば、質量 $m$ を用いた演算により、各軸方向の加速度 $a_x$ 、 $a_y$ 、 $a_z$ を検出することができる。

#### 【0024】

結局、XYZ三次元座標系におけるX軸方向の加速度 $a_x$ 、Y軸方向の加速度 $a_y$ 、Z軸方向の加速度 $a_z$ 、をそれぞれ検出するには、図7に示すように、振動子130に作用するX軸方向の力 $f_x$ を検出するX軸方向力検出手段151、Y軸方向の力 $f_y$ を検出するY軸方向力検出手段152、Z軸方向の力 $f_z$ を検出するZ軸方向力検出手段153のそれぞれを用意すればよいことになる。

30

#### 【0025】

さて、図6には三次元角速度検出装置の構成要素をブロック図として示し、図7には三次元加速度検出装置の構成要素をブロック図として示したが、両者を比べてみると、前者の構成は後者の構成を含んでいることがわかる。すなわち、図7に示す加速度検出装置に、更に、各軸方向についての励振手段141、142、143を付加すれば、図6に示す角速度検出装置が得られることになり、図6に示す角速度検出装置は、図7に示す加速度検出装置としても機能するのである。

#### 【0026】

ただ、角速度も加速度も、いずれも各軸方向に作用する力という形で検出されるため、単一の検出装置により角速度と加速度との双方を検出しようとする、検出された力に角速度成分と加速度成分との双方が含まれてしまうことになる。角速度に起因する力は、既に述べたように、振動子を所定方向に振動させた状態においてのみ生じるコリオリ力( $F = 2m \cdot v \cdot \omega$ の大きさをもつ)であり、本明細書では、これを大文字の「F」で示すことにする。図6において各力検出手段151、152、153の検出対象となっている $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ は、いずれも角速度に起因して生じるコリオリ力である。一方、加速度に起因する力は、振動子の振動とは無関係に生じる力( $f = m \cdot a$ )であり、本明細書では、これを小文字の「f」で示すことにする。図7において各力検出手段151、152、153の検出対象となっている $f_x$ 、 $f_y$ 、 $f_z$ は、いずれも加速度に起因して生じる力

40

50

である。振動子 130 に角速度と加速度との双方が作用している状態においては、各力検出手段 151, 152, 153 には、角速度に起因したコリオリ力  $F_x, F_y, F_z$  と、加速度に起因した力  $f_x, f_y, f_z$  との合成力が検出されることになる。本発明が解決すべき課題は、このような状況において、いかにして角速度に起因するコリオリ力  $F$  と加速度に起因する力  $f$  とを分離して検出するかという点にある。

#### 【0027】

<<< §2. 本発明の実施に適した具体的な検出装置の構造 >>>

本発明に係る検出装置の基本構成は、図6のブロック図に示したとおりであり、本発明は、このような構成をもつ検出装置であれば、どのような検出装置に対しても適用可能である。この図6のブロック図に示す構成をもった検出装置の具体的な構造については、前掲の特許文献1や特許文献2に、種々の実施例が開示されている。本発明は、このような検出装置の具体的な構造についてのものではなく、このような検出装置から得られた検出信号の信号処理に関するものである。したがって、ここでは、このような検出装置の具体的な構造の一例だけを参考として述べておくことにする。もちろん、本発明の技術範囲は、ここに述べる具体的な構造に何ら制約を受けるものではない。

#### 【0028】

図8は、この具体的な検出装置を斜め上方から見た斜視図、図9は、この検出装置を斜め下方から見た斜視図である。この検出装置は、円盤状の圧電素子10の上面に12枚の上部電極A1~A8, E1~E4を形成するとともに、下面に1枚の下部電極Bを形成したものである。ここでは説明の便宜上、XYZ三次元座標系の原点Oを、円盤状の圧電素子10の上面の中心位置に定義し、X軸およびY軸をこの圧電素子10の上面に沿った方向に定義し、Z軸をこの上面に対して垂直上方に向かう方向に定義することにする。したがって、この圧電素子10の上面は、XY平面に含まれることになる。

#### 【0029】

圧電素子10の構造的な特徴は、図9に示されているように、下面に環状溝15が形成されている点である。この実施例では、環状溝15は原点Oを取り囲むような円形をしている。下部電極Bは、1枚の単一の電極層であり、この環状溝15の内部をも含めた圧電素子10の下面全面に形成されている。一方、12枚の上部電極A1~A8, E1~E4は、図10の上面図に明瞭に示されているように、いずれも原点Oを中心とした円弧に沿った帯状をしており、X軸あるいはY軸に関して線対称な形状をしている。

#### 【0030】

この検出装置の構造は、図11を参照すると、より明らかになる。図11は、この検出装置をXZ平面で切った側断面図である。圧電素子10の環状溝15が形成された部分は、他の部分に比べて肉厚が薄くなっており、可撓性を有する。ここでは、圧電素子10の中の環状溝15の上方に位置する部分を可撓部12と呼び、この可撓部12によって囲まれた中心の部分を中心部11と呼び、可撓部12の外周に位置する部分を周囲部13と呼ぶことにする。これら3つの部分の相対的な位置関係は、図12の下面図に明瞭に示されている。すなわち、中心部11の周囲の環状溝15が形成された部分に可撓部12が形成され、この可撓部12の周囲に周囲部13が形成されていることになる。

#### 【0031】

ここで、たとえば、周囲部13だけを検出装置筐体に固定し、検出装置筐体全体を揺らすと、中心部11にはその質量により加速度に基づく力が作用し、この力により可撓部12に撓みが生じることになる。すなわち、中心部11は、可撓性をもった可撓部12によって周囲から支持された状態になっており、X軸、Y軸、Z軸方向にある程度の変位を生じることが可能である。結局、この検出装置における中心部11は、図6に示す検出装置における質量を有する振動子130として機能するのである。図6に示す検出装置では、振動子130の他に、各軸方向の励振手段141, 142, 143と、各軸方向の力検出手段151, 152, 153が必要である。この具体的な検出装置では、励振手段141, 142, 143は、上部電極E1~E4と、下部電極Bと、これらの間に挟まれている圧電素子10と、によって構成され、力検出手段151, 152, 153は、上部電極A

10

20

30

40

50

1 ~ A 8 と、下部電極 B と、これらの間に挟まれている圧電素子 1 0 と、によって構成される。

【 0 0 3 2 】

このように、上下の電極と、その間に挟まれた圧電素子 1 0 とによって、励振手段や力検出手段を構成できることを説明するために、まず、圧電素子 1 0 の基本的な性質について確認しておく。一般に、圧電素子は、機械的な応力の作用により分極現象を生じる。すなわち、ある特定の方向に応力が加わると、一方には正の電荷が発生し、他方には負の電荷が発生する性質を有する。この実施例の検出装置では、圧電素子 1 0 として、図 1 3 に示すような分極特性をもった圧電セラミックスを用いている。すなわち、図 1 3 (a) に示すように、X Y 平面に沿って伸びる方向の力が作用した場合には、上部電極 A 側に正の電荷が、下部電極 B 側に負の電荷が、それぞれ発生し、逆に、図 1 3 (b) に示すように、X Y 平面に沿って縮む方向の力が作用した場合には、上部電極 A 側に負の電荷が、下部電極 B 側に正の電荷が、それぞれ発生するような分極特性をもっている。逆に、上下の電極に所定の電圧を印加すると、圧電素子 1 0 の内部には機械的な応力が作用することになる。すなわち、図 1 3 (a) に示すように、上部電極 A 側に正の電荷を、下部電極 B 側に負の電荷を、それぞれ与えるように電圧を印加すると、X Y 平面に沿って伸びる方向の力が発生し、図 1 3 (b) に示すように、上部電極 A 側に負の電荷を、下部電極 B 側に正の電荷を、それぞれ与えるように電圧を印加すると、X Y 平面に沿って縮む方向の力が発生するのである。

10

【 0 0 3 3 】

ここで述べる具体的な検出装置は、このような圧電素子の性質を利用して、各励振手段および各力検出手段を構成しているのである。すなわち、上下の電極に電圧を印加することにより圧電素子内部に応力を発生させることができる性質を利用して各励振手段を構成し、圧電素子内部に応力が作用した場合に上下の電極に電荷が発生する性質を利用して各力検出手段を構成している。以下、これらの各手段について、その構成と動作を説明する。

20

【 0 0 3 4 】

< X 軸方向励振手段 >

図 6 に示す構成要素のうち、X 軸方向励振手段 1 4 1 は、上部電極 E 1 , E 2 と、これに対向する下部電極 B の一部分と、これらに挟まれた圧電素子 1 0 の一部分と、後述する交流供給手段と、によって構成されている。いま、下部電極 B を基準電位に保ちながら、上部電極 E 1 に正の電圧を与え、上部電極 E 2 に負の電圧を与えた場合を考える。すると、図 1 4 の側断面図に示すように、電極 E 1 の下の圧電素子には図の左右に伸びる方向の応力が生じ、電極 E 2 の下の圧電素子には図の左右に縮む方向の応力が生じる（図 1 3 の分極特性を参照）。このため、圧電素子 1 0 全体としては、図 1 4 に示すように変形することになり、中心部 1 1 の重心 P は、X 軸方向に  $D x$  だけ変位することになる。ここで、上部電極 E 1 , E 2 に与える電圧の極性を逆転させ、上部電極 E 1 に負の電圧を与え、上部電極 E 2 に正の電圧を与えると、図 1 4 とは逆に、電極 E 1 の下の圧電素子には図の左右に縮む方向の応力が生じ、電極 E 2 の下の圧電素子には図の左右に伸びる方向の応力が生じ、結果的に、中心部 1 1 の重心 P は、X 軸の方向に  $- D x$  だけ変位することになる。

30

40

【 0 0 3 5 】

そこで、下部電極 B と上部電極 E 1 との間に第 1 の交流電圧を印加するとともに、下部電極 B と上部電極 E 2 との間には、第 1 の交流電圧とは逆位相になるような第 2 の交流電圧を印加するにすれば、重心 P は、X 軸方向に沿って、 $D x$  なる変位と  $- D x$  なる変位とを交互に生じるようになり、中心部 1 1 は X 軸に沿って振動することになる。既に述べたように、中心部 1 1 は図 6 に示す構成要素における振動子 1 3 0 に対応するものである。したがって、上述した交流電圧の印加により、振動子 1 3 0 に対して X 軸方向の振動  $U x$  を与えることが可能になる。この振動  $U x$  の周波数は、与える交流電圧の周波数によって制御可能であり、この振動  $U x$  の振幅は、与える交流電圧の振幅値によって制御可能である。結局、上部電極 E 1 , E 2、下部電極 B、圧電素子 1 0、および図示されてい

50

い交流電圧を供給する手段、によって、図6に示すX軸方向励振手段141が構成されていることになる。

【0036】

< Y軸方向励振手段 >

図6に示す構成要素のうち、Y軸方向励振手段142は、上部電極E3, E4と、これに対向する下部電極Bの一部分と、これらに挟まれた圧電素子10の一部分と、図示されていない交流供給手段と、によって構成されている。その動作原理は、上述したX軸方向励振手段141の動作原理と全く同様である。すなわち、図10の上面図に示されているように、上部電極E1, E2がX軸上に配されていたのに対し、上部電極E3, E4はY軸上に配されている。したがって、上部電極E1, E2に互いに位相が逆転した交流電圧を供給することにより、中心部11(振動子)をX軸方向に振動させることができたのと同じ原理により、上部電極E3, E4に互いに位相が逆転した交流電圧を供給することにより、中心部11(振動子)をY軸方向に振動させることができる。

10

【0037】

すなわち、上述した交流電圧の印加により、振動子130に対してY軸方向の振動 $U_y$ を与えることが可能になる。この振動 $U_y$ の周波数は、与える交流電圧の周波数によって制御可能であり、この振動 $U_y$ の振幅は、与える交流電圧の振幅値によって制御可能である。結局、上部電極E3, E4、下部電極B、圧電素子10、および図示されていない交流電圧を供給する手段、によって、図6に示すY軸方向励振手段142が構成されていることになる。

20

【0038】

< Z軸方向励振手段 >

図6に示す構成要素のうち、Z軸方向励振手段143は、上部電極E1~E4と、これに対向する下部電極Bの一部分と、これらに挟まれた圧電素子10の一部分と、後述する交流供給手段と、によって構成されている。いま、下部電極Bを基準電位に保ちながら、上部電極E1, E2に負の電圧を与え、上部電極E3, E4に正の電圧を与えた場合を考える。すると、図15の側断面図に示すように、電極E1, E2の下の圧電素子には図の左右方向(および紙面に垂直な方向)に縮む方向の応力が生じ、電極E3, E4の下の圧電素子には図の紙面に垂直な方向(および図の左右方向)に伸びる方向の応力が生じる(図13の分極特性を参照)。ここで、図10の上面図から明らかのように、上部電極E1, E2は可撓部12の外側に位置し、上部電極E3, E4は可撓部12の内側に位置する。このため、上述のような各応力が発生すると、圧電素子10全体としては、図15に示すように変形することになり、中心部11の重心Pは、Z軸方向に $D_z$ だけ変位することになる。ここで、上部電極E1~E4に与える電圧の極性を逆転させ、上部電極E1, E2に正の電圧を与え、上部電極E3, E4に負の電圧を与えると、図15とは逆に、電極E1, E2の下の圧電素子には伸びる方向の応力が生じ、電極E3, E4の下の圧電素子には縮む方向の応力が生じ、結果的に、中心部11の重心Pは、Z軸の方向に $-D_z$ だけ変位することになる。

30

【0039】

そこで、下部電極Bと上部電極E1, E2との間に第1の交流電圧を印加するとともに、下部電極Bと上部電極E3, E4との間には、第1の交流電圧とは逆位相になるような第2の交流電圧を印加するにすれば、重心Pは、Z軸方向に沿って、 $D_z$ なる変位と $-D_z$ なる変位とを交互に生じるようになり、中心部11はZ軸に沿って振動することになる。既に述べたように、中心部11は図6に示す構成要素における振動子130に対応するものである。したがって、上述した交流電圧の印加により、振動子130に対してZ軸方向の振動 $U_z$ を与えることが可能になる。この振動 $U_z$ の周波数は、与える交流電圧の周波数によって制御可能であり、この振動 $U_z$ の振幅は、与える交流電圧の振幅値によって制御可能である。結局、上部電極E1~E4、下部電極B、圧電素子10、および図示されていない交流電圧を供給する手段、によって、図6に示すZ軸方向励振手段143が構成されていることになる。

40

50

## 【 0 0 4 0 】

## &lt; X 軸方向力検出手段 &gt;

図 6 に示す構成要素のうち、X 軸方向力検出手段 1 5 1 は、上部電極 A 1 , A 2 と、これに対向する下部電極 B の一部分と、これらに挟まれた圧電素子 1 0 の一部分と、後述する検出回路と、によって構成されている。いま、この検出装置の周囲部 1 3 を筐体に固定した状態において、中心部 1 1 ( 振動子 1 3 0 ) の重心 P に加速度に基く力  $f_x$  が作用した場合に、どのような現象が起こるかを説明する。まず、重心 P に X 軸方向の加速度  $x$  が加えられた結果、図 1 6 に示すように、重心 P に対して X 軸方向の力  $f_x$  が作用した場合を考える。このような力  $f_x$  の作用により、可撓部 1 2 に撓みが生じ、図 1 6 に示すような変形が起こる。この結果、X 軸に沿って配置された上部電極 A 1 , A 6 は X 軸方向に伸び、同じく X 軸に沿って配置された上部電極 A 5 , A 2 は X 軸方向に縮むことになる。これらの上部電極の下方に位置する圧電素子は、図 1 3 に示すような分極特性を有するので、各上部電極には、図 1 6 に示すような極性の電荷が発生する。このとき、下部電極 B は単一の共通電極となっているので、部分的に「+」または「-」の極性の電荷が発生しても相殺され、トータルでの電荷の発生はない。

10

## 【 0 0 4 1 】

そこで、上部電極 A 1 に発生した電荷と上部電極 A 2 に発生した電荷との差を求めれば、X 軸方向に作用した力  $f_x$  が得られることになる。もちろん、上部電極 A 5 に発生した電荷と上部電極 A 6 に発生した電荷との差によっても、X 軸方向に作用した力  $f_x$  を求めることはできるが、後述するように、上部電極 A 5 , A 6 は Z 軸方向に作用した力  $f_z$  の検出に利用されるため、X 軸方向の力  $f_x$  の検出には用いていない。なお、上述の説明では、加速度に起因して作用した力  $f_x$  を検出する場合を例にとったが、角速度に起因して作用するコリオリ力  $F_x$  も、全く同様にして検出可能である。実際には、重心 P に作用した X 軸方向の力としては、加速度に起因する力  $f_x$  も角速度に起因するコリオリ力  $F_x$  も同等であり、瞬時瞬時に検出される力としては区別できない。

20

## 【 0 0 4 2 】

## &lt; Y 軸方向力検出手段 &gt;

図 6 に示す構成要素のうち、Y 軸方向力検出手段 1 5 2 は、上部電極 A 3 , A 4 と、これに対向する下部電極 B の一部分と、これらに挟まれた圧電素子 1 0 の一部分と、後述する検出回路と、によって構成されている。その検出原理は、上述した X 軸方向力検出手段 1 5 1 の検出原理と同様である。すなわち、この検出装置の周囲部 1 3 を筐体に固定した状態において、中心部 1 1 ( 振動子 1 3 0 ) の重心 P に加速度に基く力  $f_y$  が作用した場合に、どのような現象が起こるかを考えればよい。重心 P に Y 軸方向の加速度  $y$  が加えられた結果、Y 軸方向の力  $f_y$  が作用すると、上部電極 A 3 には負の電荷が生じ、上部電極 A 4 には正の電荷が生じることになる。そこで、上部電極 A 3 に発生した電荷と上部電極 A 4 に発生した電荷との差を求めれば、Y 軸方向に作用した力  $f_y$  が得られることになる。角速度に起因して作用するコリオリ力  $F_y$  の検出も全く同様である。

30

## 【 0 0 4 3 】

## &lt; Z 軸方向力検出手段 &gt;

図 6 に示す構成要素のうち、Z 軸方向力検出手段 1 5 3 は、上部電極 A 5 ~ A 8 と、これに対向する下部電極 B の一部分と、これらに挟まれた圧電素子 1 0 の一部分と、後述する検出回路と、によって構成されている。いま、この検出装置の周囲部 1 3 を筐体に固定した状態において、中心部 1 1 ( 振動子 1 3 0 ) の重心 P に加速度に基く力  $f_z$  が作用した場合に、どのような現象が起こるかを説明する。まず、重心 P に Z 軸方向の加速度  $z$  が加えられた結果、図 1 7 に示すように、重心 P に対して Z 軸方向の力  $f_z$  が作用した場合を考える。このような力  $f_z$  の作用により、可撓部 1 2 に撓みが生じ、図 1 7 に示すような変形が起こる。この結果、外側環状領域に配置された上部電極 A 1 , A 8 , A 2 , A 7 は縮むために上部電極側に「-」の電荷が発生し、内側環状領域に配置された上部電極 A 5 , A 4 , A 6 , A 3 は伸びるために上部電極側に「+」の電荷が発生することになる。このとき、下部電極 B は単一の共通電極となっているので、部分的に「+」または「-

40

50

」の極性の電荷が発生しても相殺され、トータルでの電荷の発生はない。

【0044】

そこで、上部電極A5, A6に発生した電荷の和と、上部電極A7, A8に発生した電荷の和と、の差を求めれば、Z軸方向に作用した力 $f_z$ が得られることになる。もちろん、角速度に起因して作用するコリオリ力 $F_z$ も、全く同様にして検出可能である。

【0045】

ここで、力 $f_x, f_y, f_z$ のそれぞれが作用した場合に、各上部電極に発生する電荷の極性をまとめると、図18に示す表が得られる。表中「0」と記されているのは、圧電素子が部分的には伸びるが部分的には縮むため、正負が相殺されてトータルとして電荷は発生しないことを示す。前述したように、各上部電極は、X軸またはY軸に関して線対称な形状をしているため、力 $f_x$ の作用により電荷を発生する上部電極には、力 $f_y$ が作用しても電荷は発生せず、逆に、力 $f_y$ の作用により電荷を発生する上部電極には、力 $f_x$ が作用しても電荷は発生しないのである。このように、他軸干渉を避ける上では、電極形状を線対称にしておくことが重要である。なお、図18の表は、いずれも各軸の正方向の力 $+f_x, +f_y, +f_z$ が作用した場合の極性を示すものであるが、各軸の負方向の力 $-f_x, -f_y, -f_z$ が作用したときは、それぞれこの表とは逆の極性の電荷が現われることになる。このような表が得られることは、図16および図17に示す変形状態と、図10に示す各上部電極の配置とを参照すれば、容易に理解できよう。また、作用した力の大きさは、発生した電荷量として検出することが可能である。

【0046】

このような原理に基いて、力 $f_x, f_y, f_z$ （あるいはコリオリ力 $F_x, F_y, F_z$ ）の検出を行うためには、たとえば図19に示すような検出回路を用意すればよい。この検出回路において、Q/V変換回路31~38は、各上部電極A1~A8に発生する電荷量を、下部電極Bの電位を基準電位としたときの電圧値に変換する回路である。この回路からは、たとえば、上部電極に「+」の電荷が発生した場合には、発生した電荷量に応じた正の電圧（基準電位に対して）が出力され、逆に、上部電極に「-」の電荷が発生した場合には、発生した電荷量に応じた負の電圧（基準電位に対して）が出力される。こうして出力された電圧 $V_1 \sim V_8$ は、演算器41~43に与えられ、これら演算器41~43の出力が端子 $T_x, T_y, T_z$ に得られる。ここで、端子 $T_x$ の基準電位に対する電圧値が力 $f_x$ （またはコリオリ力 $F_x$ ）の検出値となり、端子 $T_y$ の基準電位に対する電圧値が力 $f_y$ （またはコリオリ力 $F_y$ ）の検出値となり、端子 $T_z$ の基準電位に対する電圧値が力 $f_z$ （またはコリオリ力 $F_z$ ）の検出値となる。

【0047】

各出力端子 $T_x, T_y, T_z$ に得られる電圧値が、力 $f_x, f_y, f_z$ の検出値になることは、図18の表を参照すればわかる。たとえば、力 $f_x$ が作用した場合、上部電極A1には「+」の電荷が発生し、上部電極A2には「-」の電荷が発生する。したがって、 $V_1$ は正、 $V_2$ は負の電圧となる。そこで、演算器41によって、 $V_1 - V_2$ なる演算を行うことにより、電圧 $V_1, V_2$ の絶対値の和が求まり、これが力 $f_x$ の検出値として端子 $T_x$ に出力されることになる。同様に、力 $f_y$ が作用した場合は、上部電極A3には「-」の電荷が発生し、上部電極A4には「+」の電荷が発生する。したがって、 $V_3$ は負、 $V_4$ は正の電圧となる。そこで、演算器42によって、 $V_4 - V_3$ なる演算を行うことにより、電圧 $V_3, V_4$ の絶対値の和が求まり、これが力 $f_y$ の検出値として端子 $T_y$ に出力されることになる。また、力 $f_z$ が作用した場合は、上部電極A5, A6には「+」の電荷が発生し、上部電極A7, A8には「-」の電荷が発生する。したがって、 $V_5, V_6$ は正、 $V_7, V_8$ は負の電圧となる。そこで、演算器43によって、 $V_5 + V_6 - V_7 - V_8$ なる演算を行うことにより、電圧 $V_5 \sim V_8$ の絶対値の和が求まり、これが力 $f_z$ の検出値として端子 $T_z$ に出力されることになる。

【0048】

ここで注目すべき点は、各出力端子 $T_x, T_y, T_z$ に得られる検出値は、他軸成分を含まないということである。たとえば、図18の表に示されているように、力 $f_x$ だけが

作用した場合、力  $f_y$  検出用の上部電極 A 3 , A 4 には電荷の発生はなく、端子 T y には検出電圧は得られない。このとき、力  $f_z$  検出用の上部電極 A 5 , A 6 にはそれぞれ電荷（互いに逆極性）が発生するが、演算器 4 3 において電圧 V 5 および V 6 は互いに加算されるため相殺されてしまい、やはり端子 T z には検出電圧は得られない。力  $f_y$  だけが作用した場合も同様に、端子 T y 以外には検出電圧は得られない。また、力  $f_z$  だけが作用した場合も同様に、端子 T z 以外には検出電圧は得られない。こうして、X Y Z の 3 軸方向成分が独立して検出できる。

#### 【 0 0 4 9 】

以上、図 6 に示す検出装置の具体的な一構成例を説明したが、この他にも種々の構成例が可能である。要するに、振動子 1 3 0 を所定軸方向に機械的に振動させる励振手段と、この振動子 1 3 0 に作用する各軸方向の力を検出することができる検出手段と、が実現できれば、どのような構成を採ってもかまわない。

#### 【 0 0 5 0 】

< < < § 3 . 従来提案されている検出動作 > > >

図 6 に示すような検出装置により、各軸方向の加速度  $x$  ,  $y$  ,  $z$  と、角軸まわりの角速度  $\dot{x}$  ,  $\dot{y}$  ,  $\dot{z}$  と、を検出するための従来の検出動作を、「基本的な検出動作」として、図 2 0 の流れ図に示す。この検出動作は、前掲の特許文献 1 に開示されている方法である。

#### 【 0 0 5 1 】

まず、ステップ S 1 1 において、振動子 1 3 0 に振動を与えない状態（すなわち、各励振手段 1 4 1 , 1 4 2 , 1 4 3 を駆動しない状態）で、各力検出手段 1 5 1 , 1 5 2 , 1 5 3 の検出値を得る。これは、図 6 に示す検出装置を、図 7 に示す加速度検出装置として動作させたものであり、各力検出手段 1 5 1 , 1 5 2 , 1 5 3 の検出値は、加速度に起因した力  $f_x$  ,  $f_y$  ,  $f_z$  となる。振動子 1 3 0 は振動していないので、角速度に起因したコリオリ力  $F_x$  ,  $F_y$  ,  $F_z$  は検出されないことになる。加速度に起因した力  $f$  と加速度との間には、振動子 1 3 0 の質量  $m$  に基づいて、 $f = m \cdot a$  の関係があるので、得られた力  $f_x$  ,  $f_y$  ,  $f_z$  に基づき、各軸方向の加速度  $x$  ,  $y$  ,  $z$  を検出することができる。

#### 【 0 0 5 2 】

続いて、ステップ S 1 2 において、振動子 1 3 0 に振動  $U_z$  を与えた状態（すなわち、Z 軸方向励振手段 1 4 3 を駆動した状態）で、Y 軸方向力検出手段 1 5 2 の検出値  $F_y$  を得る。そして、 $F_y = 2 m \cdot v_z \cdot \dot{x}$  なる式に基づいて、X 軸まわりの角速度  $\dot{x}$  を検出する。ここで、 $m$  は振動子 1 3 0 の質量であり、 $v_z$  は振動子 1 3 0 の Z 軸方向の瞬間速度である。この検出方法は、図 3 に示す原理に基づいたものである。なお、瞬間速度  $v_z$  は、Z 軸方向励振手段 1 4 3 の動作状態から推定することができる。たとえば、前述した § 2 に示す具体的な構成例では、Z 軸方向励振手段 1 4 3 は、上部電極 E 1 ~ E 4 に所定の交流電圧を供給することによって駆動することになるので、この交流電圧の振幅、周波数、そして瞬時瞬時における位相から、瞬間速度  $v_z$  を推定することが可能である。

#### 【 0 0 5 3 】

次の、ステップ S 1 3 では、振動子 1 3 0 に振動  $U_x$  を与えた状態（すなわち、X 軸方向励振手段 1 4 1 を駆動した状態）で、Z 軸方向力検出手段 1 5 3 の検出値  $F_z$  を得る。そして、 $F_z = 2 m \cdot v_x \cdot \dot{y}$  なる式に基づいて、Y 軸まわりの角速度  $\dot{y}$  を検出する。ここで、 $v_x$  は振動子 1 3 0 の X 軸方向の瞬間速度であり、X 軸方向励振手段 1 4 1 の動作状態から推定することができる。この検出方法は、図 4 に示す原理に基づいたものである。

#### 【 0 0 5 4 】

続く、ステップ S 1 4 では、振動子 1 3 0 に振動  $U_y$  を与えた状態（すなわち、Y 軸方向励振手段 1 4 2 を駆動した状態）で、X 軸方向力検出手段 1 5 1 の検出値  $F_x$  を得る。そして、 $F_x = 2 m \cdot v_y \cdot \dot{z}$  なる式に基づいて、Z 軸まわりの角速度  $\dot{z}$  を検出する。ここで、 $v_y$  は振動子 1 3 0 の Y 軸方向の瞬間速度であり、Y 軸方向励振手段 1 4 2 の

10

20

30

40

50

動作状態から推定することができる。この検出方法は、図5に示す原理に基づいたものである。

#### 【0055】

最後に、ステップS15を経て、検出動作を継続する限り、ステップS11からの処理が繰り返し実行される。このように、振動子130を振動させない状態で各軸方向の加速度  $x$  ,  $y$  ,  $z$  を検出する段階(ステップS11)と、振動子130を所定方向に振動させた状態で各軸まわりの各速度  $x$  ,  $y$  ,  $z$  を検出する段階(ステップS12~S14)と、を別個に実施することにより、加速度と角速度との双方を得ることになる。なお、加速度と角速度とが常時作用している環境下では、ステップS12~S14の角速度検出過程において、加速度に起因する力  $f_x$  ,  $f_y$  ,  $f_z$  が、コリオリ力  $F_x$  ,  $F_y$  ,  $F_z$  に混入して検出されることになるので、ステップS11において検出した  $f_x$  ,  $f_y$  ,  $f_z$  の値を用いた減算を行い、コリオリ力  $F_x$  ,  $F_y$  ,  $F_z$  の成分のみを取り出す必要がある。

10

#### 【0056】

さて、この「基本的な検出動作」の問題点は、加速度や角速度の値を継続的に測定するような用途に用いたときに、応答性が悪くなるという点である。自動車や産業機械などでは、時々刻々と変化してゆく加速度や角速度の値を、一定時間周期で継続的に得ることが要求される場合が多い。ところが、図20に示す流れ図に基づく検出動作を行う場合、ステップS11において静止していた振動子を、ステップS12ではZ軸方向に振動させ、ステップS13ではX軸方向に振動させ、ステップS14ではY軸方向に振動させ、再びステップS11において静止させる必要がある。振動子に対してこのような機械的な振動条件を高速に変化させることは非常に困難であり、現実的には、図20の検出動作において次のステップに進むためには、安定した振動状態を得るまでに、ある程度の時間が必要になる。このため、どうしても応答性が悪くならざるを得ない。

20

#### 【0057】

<<< §4. 加速度に起因する力と角速度に起因する力との分離 >>>

本発明に係る検出動作の特徴は、加速度の検出と角速度の検出とを同時に行うことにある。そのためには、各力検出手段151, 152, 153によって検出された力を、加速度に起因する力と、角速度に起因するコリオリ力と、に分離する必要がある。ここでは、この分離の方法を具体例に即して説明する。

30

#### 【0058】

ここでは、図3に示すモデルを例にとった具体例を説明することにする。図3は、X軸まわりの角速度  $x$  の検出原理を説明する図である。すなわち、振動子130に対してZ軸方向の振動  $U_z$  を与えた状態において、Y軸方向に生じるコリオリ力  $F_y$  を検出すれば、 $F_y = 2m \cdot v_z \cdot x$  なる関係式から、X軸まわりの角速度  $x$  が求まることになる。そこで、いま、振動子130に図21(a)に示すようなZ軸方向の振動  $U_z$  を与えた状態において、同図(b)に示すようなX軸まわりの角速度  $x$  が作用した場合を考える。いずれも横軸は時間  $t$  である。振動  $U_z$  は、振動子130の物理的な位置の変動を示しており、この例では、上下に正弦運動を行っていることになる。また、この場合に作用した角速度  $x$  は、X軸の正の方向まわり(たとえば、時計まわり)の角速度であり、時間とともに緩やかに増加し緩やかに減少している。このときにY軸方向に生じるコリオリ力  $F_y$  は、 $F_y = 2m \cdot v_z \cdot x$  なる関係式で求まるが、ここで、振動子130のZ軸方向の瞬間速度  $v_z$  は、振動  $U_z$  の位相を  $(\pi/2)$  だけずらしたものになる。なぜなら、上下に正弦運動している物体の瞬間速度は、中心位置を通過する瞬間に最大になり、最上点および最下点では0になるからである(なお、ここでは、図21(a)に示す振動において、下に向かう方向の速度を正とし、上へ向かう方向の速度を負とする)。振動子130の質量  $m$  は一定であるから、コリオリ力  $F_y$  は、瞬間速度  $v_z$  と角速度  $x$  との積によって定まり、図21(c)のようなものになる。結局、図3のモデルにおいて、振動子130に、図21(a)に示すような振動  $U_z$  を与えた状態で、図21(b)に示すような角速度  $x$  が作用した場合には、図21(c)に示すようなコリオリ力  $F_y$  が生じることになる。

40

50

## 【 0 0 5 9 】

一方、振動子 1 3 0 に Y 軸方向の加速度が作用した場合には、Y 軸方向にどのような力が生じるであろうか。Y 軸方向の加速度  $y$  によって生じる Y 軸方向の力  $f_y$  は、 $f_y = m \cdot y$  なる関係式で与えられるので、与えられた加速度  $y$  に比例した力  $f_y$  が生じることになる。そこで、いま、振動子 1 3 0 に線形増加する加速度  $y$  が与えられたとすると、図 2 1 (d) に示すような Y 軸方向の力  $f_y$  が生じることになる。

## 【 0 0 6 0 】

それでは、図 3 のモデルにおいて、振動子 1 3 0 に、図 2 1 (a) に示すような Z 軸方向の振動  $U_z$  を与えた状態で、図 2 1 (b) に示すような X 軸まわりの角速度  $x$  が作用し、かつ、線形に増加する Y 軸方向の加速度  $y$  が作用した場合には、Y 軸方向にはどのような力が観測されるであろうか。この場合は、当然ながら、図 2 1 (c) に示すようなコリオリ力  $F_y$  と、図 2 1 (d) に示すような加速度に基づく力  $f_y$  の和に相当する合成力が観測されることになる。図 2 2 に、このような合成力  $f_y + F_y$  を示す。

## 【 0 0 6 1 】

さて、このような合成力  $f_y + F_y$  を、力  $f_y$  とコリオリ力  $F_y$  とに分離することができれば、前者からは Y 軸方向の加速度  $y$  を求めることができ、後者からは X 軸まわりの角速度  $x$  を求めることができる。すなわち、加速度と角速度との同時検出が可能になる。本願発明者は、次のような点に着目することにより、この分離を行うことができることを見出だした。すなわち、図 2 2 に示す合成力  $f_y + F_y$  のうち、バイアス成分のみを抽出すれば、図 2 1 (d) に示す力  $f_y$  だけを取り出すことができ、振幅成分のみを抽出すれば、図 2 1 (c) に示すコリオリ力  $F_y$  だけを取り出すことができるのである。そもそも図 2 1 (c) に示すコリオリ力  $F_y$  は、図 2 1 (a) に示す振動  $U_z$  を搬送波として、図 2 1 (b) に示す角速度  $x$  を振幅変調したものである。したがって、角速度  $x$  の情報は、合成力の中においても、振幅成分としてのみ含まれていることになる。一方、図 2 1 (d) に示す力  $f_y$  は、振動  $U_z$  の周波数成分を含まないため、その情報は、合成力の中においても、単なるバイアス成分としてのみ含まれていることになる。このような点に着目すれば、合成力  $f_y + F_y$  のうち、バイアス成分のみを抽出すれば力  $f_y$  を取り出すことができ、振幅成分のみを抽出すればコリオリ力  $F_y$  を取り出すことができることが理解できよう。

## 【 0 0 6 2 】

なお、このような原理に基づいて、加速度に基づく力  $f$  と角速度に基づくコリオリ力  $F$  とを分離するためには、振動  $U$  の周波数が、検出対象となる加速度や角速度のもつ周波数に対して識別可能な十分に高い周波数でなければならない。別言すれば、本発明に係る検出装置では、検出対象となる加速度や角速度のうち、振動  $U$  の周波数に比べて十分に低い周波数成分しか検出できないことになる。もっとも、このような制約は、自動車や産業機械に搭載する検出装置としては、実用上、全く問題にならない。具体的には、§ 2 で述べたような圧電素子を利用した振動子を振動させる場合、20 kHz 程度の共振周波数で振動させるのが最も効率的である。この場合、数百 Hz 以下の周波数成分をもった加速度や角速度を検出することは十分に可能であり、このような性能は、一般的な自動車や産業機械に搭載する検出装置に要求される性能を十分に満足させるものである。

## 【 0 0 6 3 】

さて、前述のような原理に基づき、合成力をバイアス成分と振幅成分とに分離する方法としては、たとえば、周波数フィルタを用いる方法を利用することができる。ただ、近年はコンピュータの普及により、得られた電気信号を A/D 変換し、デジタル処理を行うのが一般的になってきている。本願発明者は、このようなデジタル処理を利用した次のような分離方法を見出だした。

## 【 0 0 6 4 】

まず、図 2 2 のような合成力  $f_y + F_y$  の検出信号について、図 2 3 に示すように、変極点  $P_1 \sim P_9$  を抽出する。そして、図 2 4 に示すように、各変極点  $P_1 \sim P_9$  の時間軸  $t$  上の位置を示す区画線  $Q_1 \sim Q_9$  を定義し、隣接する各区画線の間中位置を通る参照線  $Q_{12} \sim Q_{89}$  (図 2 4 では破線で示す) を定義する。そして、各参照線上に、その両側

10

20

30

40

50

にある変極点の信号値の平均値をもった参照点  $m$  をプロットするのである。図 25 は、こうしてプロットされた参照点  $m_1 \sim m_8$  を示している。たとえば、参照点  $m_1$  は、変極点  $P_1$  の信号値と変極点  $P_2$  の信号値との平均値をもった参照線  $Q_{12}$  上の点ということになる。このように、参照点  $m_1 \sim m_8$  が得られたら、図 26 に示すように、これらを順に結んだ信号波形を求める。こうして得られた信号波形は、もとの合成力  $f_y + F_y$  のうちのバイアス成分に対応するものになり、結局、加速度  $y$  に基づく力  $f_y$  に対応するものになる。バイアス成分が求まれば、これをもとの合成力から差し引くことにより、振幅成分に対応する信号波形を得ることができ、結局、コリオリ力  $F_y$  に対応した信号波形を得ることができる。なお、角速度  $x$  の大きさは、図 27 に示すように、コリオリ力  $F_y$  に対応した信号波形の包絡線  $E$  を抽出することにより得られる。また、角速度  $x$  の向きは、得られたコリオリ力  $F_y$  と図 21 (a) に示す振動  $U_z$  との位相差により得ることができる。たとえば、図 21 (b) に示すような正の向きの角速度  $x$  が加わった場合には、図 21 (a) に示す振動  $U_z$  の波形に対して、得られるコリオリ力  $F_y$  の波形は、図 21 (c) に示すように、 $(\pi/2)$  だけ位相を右方へシフトさせたものになるが、負の向きの角速度  $-x$  が加わった場合には、同じ図 21 (a) に示す振動  $U_z$  の波形に対して、図 21 (c) の正負を反転させたコリオリ力波形が得られ、このコリオリ力波形は、振動  $U_z$  の波形の位相を  $(\pi/2)$  だけ左方へシフトさせたものになる。

10

#### 【0065】

<<< §5 . 本発明に係る検出装置の第1の実施例 >>>

本発明に係る検出装置は、上述の §4 で述べた基本原理に基づいて、合成力を加速度に基づく力  $f$  (バイアス成分) と角速度に基づくコリオリ力  $F$  (振幅成分) とに分離する信号分離手段を用い、加速度と角速度とを同時に検出できるようにしたものである。図 28 は、本発明の第1の実施例に係る検出装置の基本構成を示すブロック図である。この検出装置は、図 6 に示した検出装置の各構成要素に、X 軸方向信号分離手段 161、Y 軸方向信号分離手段 162、Z 軸方向信号分離手段 163 を付加し、更に、加速度演算手段 171 ~ 173 と、角速度演算手段 181 ~ 183 と、を付加したものである。

20

#### 【0066】

各信号分離手段 161 ~ 163 は、いずれも §4 で述べた基本原理に基づいて、各力検出手段 151 ~ 153 から得られた合成力  $f_x + F_x$ 、 $f_y + F_y$ 、 $f_z + F_z$  を、それぞれ  $f_x$  と  $F_x$ 、 $f_y$  と  $F_y$ 、 $f_z$  と  $F_z$  に分離する装置である。また、各加速度演算手段 171 ~ 173 は、振動子 130 の質量  $m$  を用いて、 $f = m \cdot a$  なる関係式に基づいて、各軸方向の加速度  $x$ 、 $y$ 、 $z$  を演算して出力する装置である。振動子 130 に作用する加速度は、振動子 130 の振動とは無関係に力  $f$  として検出されるので、各加速度演算手段 171 ~ 173 は、各励振手段 141 ~ 143 の動作とは無関係に、各軸方向の加速度  $x$ 、 $y$ 、 $z$  を出力することになる。

30

#### 【0067】

一方、各角速度演算手段 181 ~ 183 は、図 3 ~ 図 5 に示す原理に基づいて、各軸まわりの角速度  $x$ 、 $y$ 、 $z$  を演算して出力する装置である。ただ、角速度  $x$ 、 $y$ 、 $z$  の検出は、図 3 ~ 図 5 の原理図にも示されているように、振動子 130 の振動と密接に関係がある。別言すれば、各角速度演算手段 181 ~ 183 は、各励振手段 141 ~ 143 の動作状態を考慮した上でなければ、角速度を演算することはできないのである。これを個々の場合ごとに説明しておく。

40

#### 【0068】

まず、図 3 に示す原理に基づいて、X 軸まわりの角速度  $x$  を検出するには、Z 軸方向励振手段 143 を駆動して振動子 130 に Z 軸方向の振動  $U_z$  を与えた状態において、Y 軸方向信号分離手段 162 によって分離された Y 軸方向のコリオリ力  $F_y$  を角速度演算手段 182 に与える。角速度演算手段 182 は、 $F_y = 2m \cdot v_z \cdot x$  なる演算式に基づいて、X 軸まわりの角速度  $x$  を演算し、これを出力する。このとき、振動子 130 の Z 軸方向についての瞬間速度  $v_z$  は、Z 軸方向励振手段 143 の動作態様に基いて推定する。たとえば、§2 で述べた具体的な構造をもった検出装置では、上部電極  $E_1 \sim E_4$  に所定の

50

交流電圧を供給して振動 $U_z$ を与えることになるが、振動子130の瞬間速度は、その時点に供給する交流電圧の振幅、周波数、位相に基いて決定することができる（理論的な演算式によって、供給する交流電圧と振動子の瞬間速度との関係を求めることもできるし、供給する交流電圧の一周分について振動子の瞬間速度を実測したテーブルを用意しておくこともできる）。なお、図28の角速度演算手段182の出力に、「図3： $x(U_z)$ 」と記したのは、「図3に示す原理に基いて、振動子130に振動 $U_z$ を与えるという条件において、角速度 $x$ が出力される」ことを示したものである。

#### 【0069】

次に、図4に示す原理に基いて、Y軸まわりの角速度 $y$ を検出するには、X軸方向励振手段141を駆動して振動子130にX軸方向の振動 $U_x$ を与えた状態において、Z軸方向信号分離手段163によって分離されたZ軸方向のコリオリ力 $F_z$ を角速度演算手段183に与える。角速度演算手段183は、 $F_z = 2m \cdot v_x \cdot y$ なる演算式に基いて、Y軸まわりの角速度 $y$ を演算し、これを出力する。このとき、振動子130のX軸方向についての瞬間速度 $v_x$ は、X軸方向励振手段141の動作態様に基いて推定する。なお、図28の角速度演算手段183の出力に、「図4： $y(U_x)$ 」と記したのは、「図4に示す原理に基いて、振動子130に振動 $U_x$ を与えるという条件において、角速度 $y$ が出力される」ことを示したものである。

#### 【0070】

更に、図5に示す原理に基いて、Z軸まわりの角速度 $z$ を検出するには、Y軸方向励振手段142を駆動して振動子130にY軸方向の振動 $U_y$ を与えた状態において、X軸方向信号分離手段161によって分離されたX軸方向のコリオリ力 $F_x$ を角速度演算手段181に与える。角速度演算手段181は、 $F_x = 2m \cdot v_y \cdot z$ なる演算式に基いて、Z軸まわりの角速度 $z$ を演算し、これを出力する。このとき、振動子130のY軸方向についての瞬間速度 $v_y$ は、Y軸方向励振手段142の動作態様に基いて推定する。なお、図28の角速度演算手段181の出力に、「図5： $z(U_y)$ 」と記したのは、「図5に示す原理に基いて、振動子130に振動 $U_y$ を与えるという条件において、角速度 $z$ が出力される」ことを示したものである。

#### 【0071】

こうして、図28に示す検出装置によれば、最終的に、加速度演算手段171からX軸方向の加速度 $x$ が、加速度演算手段172からY軸方向の加速度 $y$ が、加速度演算手段173からZ軸方向の加速度 $z$ が、それぞれ出力されることになり、更に、角速度演算手段182からX軸まわりの角速度 $x$ が、角速度演算手段183からY軸まわりの角速度 $y$ が、角速度演算手段181からZ軸まわりの角速度 $z$ が、それぞれ出力されることになる。なお、図28に示す各角速度演算手段181～183からは、「図31： $y(U_z)$ 」、「図32： $z(U_x)$ 」、「図30： $x(U_y)$ 」なる出力も得られる旨が示されているが、これについては、§6において説明する。

#### 【0072】

この図28に示す検出装置により、各軸方向の加速度 $x$ 、 $y$ 、 $z$ と、各軸まわりの角速度 $x$ 、 $y$ 、 $z$ と、を検出するための検出動作を、「第1の実施例による検出動作」として、図29の流れ図に示す。

#### 【0073】

まず、ステップS21において、振動子130に振動 $U_z$ を与えた状態（すなわち、Z軸方向励振手段143を駆動した状態）で、Y軸方向力検出手段152から合成力 $f_y + F_y$ を取り出し、Y軸方向信号分離手段162により、力 $f_y$ とコリオリ力 $F_y$ とに分離する。そして、加速度演算手段172において、力 $f_y$ に基いて加速度 $y$ を演算してこれを出力し、角速度演算手段182において、コリオリ力 $F_y$ に基いて角速度 $x$ を演算してこれを出力するのである。こうして、ステップS21では、加速度 $y$ と角速度 $x$ とが検出できる。

#### 【0074】

次に、ステップS22において、振動子130に振動 $U_x$ を与えた状態（すなわち、X

10

20

30

40

50

軸方向励振手段 1 4 1 を駆動した状態)で、Z 軸方向力検出手段 1 5 3 から合成力  $f_z + F_z$  を取り出し、Z 軸方向信号分離手段 1 6 3 により、力  $f_z$  とコリオリ力  $F_z$  とに分離する。そして、加速度演算手段 1 7 3 において、力  $f_z$  に基いて加速度  $z$  を演算してこれを出力し、角速度演算手段 1 8 3 において、コリオリ力  $F_z$  に基いて角速度  $y$  を演算してこれを出力するのである。こうして、ステップ S 2 1 では、加速度  $z$  と角速度  $y$  とが検出できる。

【0075】

続く、ステップ S 2 3 において、振動子 1 3 0 に振動  $U_y$  を与えた状態(すなわち、Y 軸方向励振手段 1 4 2 を駆動した状態)で、X 軸方向力検出手段 1 5 1 から合成力  $f_x + F_x$  を取り出し、X 軸方向信号分離手段 1 6 1 により、力  $f_x$  とコリオリ力  $F_x$  とに分離する。そして、加速度演算手段 1 7 1 において、力  $f_x$  に基いて加速度  $x$  を演算してこれを出力し、角速度演算手段 1 8 1 において、コリオリ力  $F_x$  に基いて角速度  $z$  を演算してこれを出力するのである。こうして、ステップ S 2 1 では、加速度  $x$  と角速度  $z$  とが検出できる。

【0076】

最後に、ステップ S 2 4 を経て、検出動作を継続する限り、ステップ S 2 1 からの処理が繰り返し実行される。この図 2 9 に示す「第 1 の実施例による検出動作」は、図 2 0 に示した「基本的な検出動作」に比べて、1 ステップ分が省略されている。すなわち、「基本的な検出動作」では、加速度検出を行うために、ステップ S 1 1 において、振動子を静止状態に保った検出を行っていたのに対し、ここで述べた「第 1 の実施例による検出動作」では、振動子を振動させた状態でも加速度検出を行うことができるので、振動子を静止させる必要はないのである。このため、図 2 8 に示す検出装置では、従来提案されている検出装置に比べて応答性が改善されることになる。

【0077】

<<< § 6 . 本発明に係る検出装置の第 2 の実施例 >>>

さて、§ 5 では、図 2 8 に示す基本構成をもった検出装置とその動作を説明した。その動作によれば、角速度に関しては、X 軸まわりの角速度  $x$  が図 3 の原理に基いて角速度演算手段 1 8 2 から出力され、Y 軸まわりの角速度  $y$  が図 4 の原理に基いて角速度演算手段 1 8 3 から出力され、Z 軸まわりの角速度  $z$  が図 5 の原理に基いて角速度演算手段 1 8 1 から出力されることになる。ただ、図 2 8 には、各角速度演算手段 1 8 1 ~ 1 8 3 の出力について、「図 3 0 :  $y(U_z)$ 」、「図 3 1 :  $z(U_x)$ 」、「図 2 9 :  $x(U_y)$ 」なる別な出力も得られる旨の記載がある。これは、各角速度の検出原理として、図 3 ~ 図 5 の組み合わせの他に、図 3 0 ~ 図 3 2 の組み合わせも存在することを示すものである。すなわち、コリオリ力を利用した角速度の検出は、「第 1 の座標軸方向に振動を与えたときに、第 2 の座標軸方向に発生するコリオリ力を検出すれば、第 3 の座標軸まわりの角速度が得られる」という基本原理に基くものであり、この基本原理における第 1 , 第 2 , 第 3 の各座標軸を、X Y Z 三次元座標系における X 軸 , Y 軸 , Z 軸の各座標軸に、どのように対応させてもかまわないのである。

【0078】

同じ X 軸まわりの角速度  $x$  を検出する方法であっても、図 3 では、Z 軸方向の振動  $U_z$  を与えたときに Y 軸方向に発生するコリオリ力  $F_y$  を検出しているのに対し、図 3 0 では、Y 軸方向の振動  $U_y$  を与えたときに Z 軸方向に発生するコリオリ力  $F_z$  を検出しているのである。また、同じ Y 軸まわりの角速度  $y$  を検出する方法であっても、図 4 では、X 軸方向の振動  $U_x$  を与えたときに Z 軸方向に発生するコリオリ力  $F_z$  を検出しているのに対し、図 3 1 では、Z 軸方向の振動  $U_z$  を与えたときに X 軸方向に発生するコリオリ力  $F_x$  を検出しているのである。同様に、同じ Z 軸まわりの角速度  $z$  を検出する方法であっても、図 5 では、Y 軸方向の振動  $U_y$  を与えたときに X 軸方向に発生するコリオリ力  $F_x$  を検出しているのに対し、図 3 2 では、X 軸方向の振動  $U_x$  を与えたときに Y 軸方向に発生するコリオリ力  $F_y$  を検出しているのである。

【0079】

10

20

30

40

50

したがって、図 28 に示す検出装置を、図 30 ~ 図 32 に示す原理に基づいて動作させることも可能である。これを個々の場合ごとに説明しておく。

【 0080 】

まず、図 30 に示す原理に基づいて、X 軸まわりの角速度  $\dot{x}$  を検出するには、Y 軸方向励振手段 142 を駆動して振動子 130 に Y 軸方向の振動  $U_y$  を与えた状態において、Z 軸方向信号分離手段 163 によって分離された Z 軸方向のコリオリ力  $F_z$  を角速度演算手段 183 に与える。角速度演算手段 183 は、 $F_z = 2m \cdot v_y \cdot \dot{x}$  なる演算式に基づいて、X 軸まわりの角速度  $\dot{x}$  を演算し、これを出力する。このとき、振動子 130 の Y 軸方向についての瞬間速度  $v_y$  は、Y 軸方向励振手段 142 の動作態様に基いて推定する。角速度演算手段 183 の出力に、「図 30 :  $\dot{x} (U_y)$ 」と記したのは、「図 30 に示す原理に基づいて、振動子 130 に振動  $U_y$  を与えるという条件において、角速度  $\dot{x}$  が出力される」ことを示したものである。

10

【 0081 】

次に、図 31 に示す原理に基づいて、Y 軸まわりの角速度  $\dot{y}$  を検出するには、Z 軸方向励振手段 143 を駆動して振動子 130 に Z 軸方向の振動  $U_z$  を与えた状態において、X 軸方向信号分離手段 161 によって分離された X 軸方向のコリオリ力  $F_x$  を角速度演算手段 181 に与える。角速度演算手段 181 は、 $F_x = 2m \cdot v_z \cdot \dot{y}$  なる演算式に基づいて、Y 軸まわりの角速度  $\dot{y}$  を演算し、これを出力する。このとき、振動子 130 の Z 軸方向についての瞬間速度  $v_z$  は、Z 軸方向励振手段 143 の動作態様に基いて推定する。角速度演算手段 181 の出力に、「図 31 :  $\dot{y} (U_z)$ 」と記したのは、「図 31 に示す原理に基づいて、振動子 130 に振動  $U_z$  を与えるという条件において、角速度  $\dot{y}$  が出力される」ことを示したものである。

20

【 0082 】

更に、図 32 に示す原理に基づいて、Z 軸まわりの角速度  $\dot{z}$  を検出するには、X 軸方向励振手段 141 を駆動して振動子 130 に X 軸方向の振動  $U_x$  を与えた状態において、Y 軸方向信号分離手段 162 によって分離された Y 軸方向のコリオリ力  $F_y$  を角速度演算手段 182 に与える。角速度演算手段 182 は、 $F_y = 2m \cdot v_x \cdot \dot{z}$  なる演算式に基づいて、Z 軸まわりの角速度  $\dot{z}$  を演算し、これを出力する。このとき、振動子 130 の X 軸方向についての瞬間速度  $v_x$  は、X 軸方向励振手段 141 の動作態様に基いて推定する。角速度演算手段 182 の出力に、「図 32 :  $\dot{z} (U_x)$ 」と記したのは、「図 32 に示す原理に基づいて、振動子 130 に振動  $U_x$  を与えるという条件において、角速度  $\dot{z}$  が出力される」ことを示したものである。

30

【 0083 】

このように、図 28 に示す検出装置には、図 3 ~ 図 5 の 3 とおりの原理に基く検出方法と、図 30 ~ 図 32 の 3 とおりの原理に基く検出方法と、のいずれをも適用することができるが、本願発明者は、この合計 6 とおりの原理のうちから、3 とおりの原理をうまく選択してやることにより、検出動作および装置構成をより単純化することができることに気が付いた。ここで述べる第 2 の実施例は、このような基本思想に基き、§ 5 で述べた第 1 の実施例を更に単純化したものである。

【 0084 】

いま、図 28 に示す第 1 の実施例に係る装置において、角速度の検出原理として、図 3 による  $\dot{x}$  の検出、図 31 による  $\dot{y}$  の検出、図 32 による  $\dot{z}$  の検出、の 3 とおりの原理を選択したとする。すると、図 28 に示す第 1 の実施例に係る検出装置は、図 33 に示すような第 2 の実施例に係る検出装置に単純化される。図 33 の検出装置は、図 28 の検出装置において、Y 軸方向励振手段 142 と角速度演算手段 183 とを削除したものである。選択した図 3 , 図 31 , 図 32 の 3 とおりの検出原理を採用する限りは、Y 軸方向の振動  $U_y$  を与える必要はなく、Z 軸方向のコリオリ力  $F_z$  を用いた角速度演算は必要ないのである。

40

【 0085 】

この図 33 に示す検出装置により、各軸方向の加速度  $\ddot{x}$  ,  $\ddot{y}$  ,  $\ddot{z}$  と、各軸まわり

50

の角速度  $x$ ,  $y$ ,  $z$  と、を検出するための検出動作を、「第2の実施例による検出動作」として、図34の流れ図に示す。

【0086】

まず、ステップS31において、振動子130に振動 $U_z$ を与えた状態(すなわち、Z軸方向励振手段143を駆動した状態)で、次の2とおりの検出を行う。第1の検出としては、Y軸方向力検出手段152から合成力 $f_y + F_y$ を取り出し、Y軸方向信号分離手段162により、力 $f_y$ とコリオリ力 $F_y$ とに分離する。そして、加速度演算手段172において、力 $f_y$ に基いて加速度 $y$ を演算してこれを出力し、角速度演算手段182において、コリオリ力 $F_y$ に基いて角速度 $x$ を演算してこれを出力するのである。これは図3の原理に基く検出である。同時に、次のような第2の検出を行う。すなわち、X軸方向力検出手段151から合成力 $f_x + F_x$ を取り出し、X軸方向信号分離手段161により、力 $f_x$ とコリオリ力 $F_x$ とに分離する。そして、加速度演算手段171において、力 $f_x$ に基いて加速度 $x$ を演算してこれを出力し、角速度演算手段181において、コリオリ力 $F_x$ に基いて角速度 $y$ を演算してこれを出力するのである。これは図31の原理に基く検出である。こうして、ステップS31では、加速度 $y$ ,  $y$ と角速度 $x$ ,  $y$ とが検出できる。

10

【0087】

次に、ステップS32において、振動子130に振動 $U_x$ を与えた状態(すなわち、X軸方向励振手段141を駆動した状態)で、次の2とおりの検出を行う。第1の検出としては、Z軸方向力検出手段153から合成力 $f_z + F_z$ を取り出し、Z軸方向信号分離手段163により、力 $f_z$ とコリオリ力 $F_z$ とに分離する。そして、加速度演算手段173において、力 $f_z$ に基いて加速度 $z$ を演算してこれを出力する。この第1の検出では、加速度の検出だけを行えばよい(図4の原理を利用すれば、コリオリ力 $F_z$ に基いて、角速度 $y$ を求めることも可能であるが、角速度 $y$ は既にステップS31で求められている)。同時に、次のような第2の検出を行う。すなわち、Y軸方向力検出手段152から合成力 $f_y + F_y$ を取り出し、Y軸方向信号分離手段162により、力 $f_y$ とコリオリ力 $F_y$ とに分離する。そして、角速度演算手段182において、コリオリ力 $F_y$ に基いて角速度 $z$ を演算してこれを出力するのである。これは図32の原理に基く検出である。こうして、ステップS32では、加速度 $z$ と角速度 $z$ とが検出できる。

20

【0088】

最後に、ステップS33を経て、検出動作を継続する限り、ステップS31からの処理が繰り返し実行される。この図34に示す「第2の実施例による検出動作」は、図29に示した「第1の実施例による検出動作」に比べて、更に1ステップ分が省略されている。すなわち、「第1の実施例による検出動作」では、振動子をX軸、Y軸、Z軸の3軸方向に振動させた状態での検出を行っていたのに対し、ここで述べた「第2の実施例による検出動作」では、X軸とZ軸との2軸方向に振動させた状態だけですべての検出を行うことができる。このため、図33に示す検出装置では、応答性が更に改善されることになる。

30

【0089】

<<< §7. 本発明に係る検出装置の第3の実施例 >>>

これまで、X軸、Y軸、Z軸の各軸方向の加速度 $x$ ,  $y$ ,  $z$ と、各軸まわりの角速度 $x$ ,  $y$ ,  $z$ と、の6つの成分を検出する三次元の加速度/角速度検出装置の例を述べてきた。しかし、用途によっては、X軸およびY軸の2軸方向の加速度 $x$ ,  $y$ と、2軸まわりの角速度 $x$ ,  $y$ のみが得られればよい二次元の加速度/角速度検出装置の需要も十分に考えられる。このような二次元の検出装置に本発明を適用した第3の実施例は、更に構成が単純化される。

40

【0090】

図35は、この第3の実施例の基本構成を示すブロック図である。図33に示す第2の実施例と比較すると、更に、X軸方向励振手段141、Z軸方向力検出手段153、加速度演算手段173が削除されている。このような構成でも、必要な加速度および角速度は支障なく検出することが可能である。すなわち、加速度 $x$ は加速度演算手段171によ

50

り得られ、加速度  $y$  は加速度演算手段 172 により得られる。また、角速度  $x$  は、Z 軸方向励振手段 143 によって振動  $U_z$  を与えた状態において、角速度演算手段 182 により得られ（図 3 の原理）、角速度  $y$  は、Z 軸方向励振手段 143 によって振動  $U_z$  を与えた状態において、角速度演算手段 181 により得られる（図 31 の原理）。

#### 【0091】

この図 35 に示す検出装置により、二軸方向の加速度  $x$  ,  $y$  と、二軸まわりの角速度  $x$  ,  $y$  と、を検出するための検出動作は、図 34 に示した「第 2 の実施例による検出動作」の中のステップ S31 のみで足りる。別言すれば、「第 3 の実施例による検出動作」は、図 34 のステップ S31 のみからなる動作になる。これは、振動子 130 を常に Z 軸方向にだけ振動させておけば、すべての検出値が得られることを意味する。このよう  
10

#### 【0092】

<<< § 8 . 二次元の検出に適した具体的な検出装置の構造 >>>

上述の § 7 で述べたように、X 軸および Y 軸の 2 軸方向の加速度  $x$  ,  $y$  と、2 軸まわりの角速度  $x$  ,  $y$  のみを得ることを目的とした二次元の検出装置では、図 35 のブロック図に示されているように、励振手段としては、Z 軸方向励振手段 143 のみを設ければよいし、力検出手段としては、X 軸方向力検出手段 151 および Y 軸方向力検出手段 152 のみを設ければよい。したがって、このような二次元の検出装置では、三次元の検出装置に比べて、圧電素子上に設ける上部電極の数を削減することができる。たとえば、  
20

図 10 に示す三次元の検出装置では、圧電素子 10 上に、励振手段として機能する 4 枚の上部電極 E1 ~ E4 と、力検出手段として機能する 8 枚の上部電極 A1 ~ A8 と、を設け、3 軸すべての方向についての励振と力検出とを実現している。しかし、二次元の検出装置は、より少ない上部電極をもった構造で実現が可能である。

【0093】

図 36 は、二次元の検出に適した具体的な検出装置の構造例を示す上面図であり、図 37 は、この検出装置を XZ 平面に沿って切った側断面図である。この検出装置における各上部電極と、図 35 に示すブロック要素との対応関係は次のようになる。まず、上部電極 E10 は、Z 軸方向励振手段 143 として機能し、上部電極 E10 と下部電極 B との間に所定の交流電圧を印加することにより、中心部 11 を Z 軸方向に振動させることができる  
30

。また、上部電極 A11 , A12 は、X 軸方向力検出手段 151 として機能し、ここに発生する電荷に基づいて、中心部 11 の X 軸方向に関する変位を検出することができる。更に、上部電極 A13 , A14 は、Y 軸方向力検出手段 152 として機能し、ここに発生する電荷に基づいて、中心部 11 の Y 軸方向に関する変位を検出することができる。結局、圧電素子 10 上には、この 5 枚の上部電極 E10 , A11 ~ A14 を設けるだけで、図 35 に示す二次元の検出装置を実現できることになる。

#### 【0094】

図 38 は、二次元の検出に適した具体的な検出装置のまた別な構造例を示す上面図であり、図 39 は、この検出装置を XZ 平面に沿って切った側断面図である。この図 38 に示す検出装置と、図 36 に示す検出装置との相違は、励振用の上部電極と力検出用の上部電極との位置関係を内外逆にした点だけである。この検出装置における各上部電極と、図 35 に示すブロック要素との対応関係は次のようになる。まず、上部電極 E20 は、Z 軸方向励振手段 143 として機能し、上部電極 E20 と下部電極 B との間に所定の交流電圧を印加することにより、中心部 11 を Z 軸方向に振動させることができる。また、上部電極 A21 , A22 は、X 軸方向力検出手段 151 として機能し、ここに発生する電荷に基づいて、中心部 11 の X 軸方向に関する変位を検出することができる。更に、上部電極 A23 , A24 は、Y 軸方向力検出手段 152 として機能し、ここに発生する電荷に基づいて、中心部 11 の Y 軸方向に関する変位を検出することができる。  
40

#### 【0095】

このように、二次元の検出だけが必要な検出装置では、上部電極を最小限の数で構成す  
50

ることによって、全体的な製造コストの削減を図ることができる。

【 0 0 9 6 】

< < < § 9 . 本発明の適用対象となる容量式の検出装置 > > >

本発明の適用対象となる検出装置の一例として、§ 2 においては、圧電素子 1 0 を用いた装置を説明した。既に述べたように、本発明は、図 6 のブロック図に示すような構成をもつ検出装置であれば、どのような検出装置に対しても適用可能であるが、ここでは、参考のために、本発明の適用対象となる容量式の検出装置の一例を簡単に説明しておく。この検出装置は、前掲の特許文献 1 に開示されているものである。

【 0 0 9 7 】

図 4 0 は、この容量式の検出装置 2 0 0 の側断面図である。この検出装置の主たる構成要素は、起歪体 2 1 0、振動子 2 2 0、台座 2 3 0、ベース基板 2 4 0、蓋板 2 5 0 である。起歪体 2 1 0 の上面図を図 4 1 に示す。この図 4 1 に示されているように、起歪体 2 1 0 は正方形の金属板であり、その下面には、図 4 1 に破線で示すような円環状の溝が形成されている。図 4 0 の側断面図に明瞭に示されているように、この溝の形成部分において、起歪体 2 1 0 の厚みは小さくなっており、この部分が可撓性を有する構造になっている。ここでは、起歪体 2 1 0 を、円環状の溝部よりも内側に存在する中心部 2 1 1 と、円環状の溝部上方に存在する肉厚の薄い可撓部 2 1 2 と、円環状の溝部よりも外側に存在する周囲部 2 1 3 と、の 3 つの部分に分けて考えることにする。中心部 2 1 1 の底面には、振動子 2 2 0 が接合されている。この振動子 2 2 0 は、ある程度の質量をもった盤状の金属塊であり、この振動子 2 2 0 に作用する加速度に基づく力やコリオリ力によって、加速度や角速度の検出が行われることになる。一方、周囲部 2 1 3 の底面には、振動子 2 2 0 の周囲を囲うように台座 2 3 0 が接合されており、この台座 2 3 0 の底面は、ベース基板 2 4 0 に接合されている。結局、振動子 2 2 0 は、台座 2 3 0 で囲まれた空間内に宙吊りの状態になっている。また、起歪体 2 1 0 の上面には、蓋板 2 5 0 が接合されているが、この蓋板 2 5 0 は、図のように内部に空間を確保できる構造をもっている。

【 0 0 9 8 】

起歪体 2 1 0 の上面と蓋板 2 5 0 の下面との間に形成された空間内には、上部電極 E 0 と下部電極 F 1 ~ F 5 とが配置されている。下部電極 F 1 ~ F 5 は、図 4 1 に示すような形状をした電極であり、起歪体 2 1 0 上面の図示のような位置に固着されている。一方、上部電極 E 0 は、5 枚の下部電極 F 1 ~ F 5 のすべてに対向する共通電極として機能できる円盤状の電極であり、蓋板 2 5 0 の下面に固着されている。結局、個々の下部電極 F 1 ~ F 5 と共通の上部電極 E 0 とによって、5 組の容量素子が形成されていることになる。

【 0 0 9 9 】

上述したように、振動子 2 2 0 は、台座 2 3 0 で囲まれた空間内に宙吊りになっており、可撓部 2 1 2 が可撓性を有するため、この振動子 2 2 0 は図に示す X Y Z の 3 軸方向にある程度の自由度をもって移動することができる。そこで、各電極間に所定の交流電圧を与えれば、振動子 2 2 0 を所望の方向に振動させることができる。たとえば、下部電極 F 1 と上部電極 E 0 との間に同じ極性の電荷を与えれば、クーロン力による斥力が作用し、両電極間隔は広がることになる。このとき同時に、下部電極 F 2 と上部電極 E 0 との間に異なる極性の電荷を与えれば、クーロン力による引力が作用し、両電極間隔は狭まることになる。その結果、振動子 2 2 0 は X 軸の正の方向に変位を生じることになる。斥力と引力との関係を逆転すれば、振動子 2 2 0 は今度は X 軸の負の方向に変位を生じることになる。こうして、X 軸に沿った正負の変位が交番して行われるようにすれば、振動子 2 2 0 が X 軸に沿って振動することになる。また、下部電極 F 3 , F 4 を用いて同様のことを行えば、振動子 2 2 0 を Y 軸に沿って振動させることも可能になる。更に、下部電極 F 5 を用いれば、Z 軸方向に沿った振動も可能である。すなわち、下部電極 F 5 と上部電極 E 0 とに同じ極性の電荷を与えれば斥力の作用により両電極間隔は広がり、異なる極性の電荷を与えれば引力の作用により両電極間隔は狭まるので、これを交番して行えば、振動子 2 2 0 は Z 軸方向に沿って振動することになる。このように、この装置は、図 6 に示す各軸方向の励振手段 1 4 1 ~ 1 4 3 を備えていることになる。

10

20

30

40

50



【図 1 2】図 8 に示す検出装置の下面図である。

【図 1 3】図 8 に示す検出装置における圧電素子 1 0 の分極特性を示す図である。

【図 1 4】図 8 に示す検出装置の重心 P に対して X 軸方向の変位  $D_x$  を誘起した状態を示す側断面図である。

【図 1 5】図 8 に示す検出装置の重心 P に対して Z 軸方向の変位  $D_z$  を誘起した状態を示す側断面図である。

【図 1 6】図 8 に示す検出装置の重心 P に対して X 軸方向の力  $f_x$  が作用した状態を示す側断面図である。

【図 1 7】図 8 に示す検出装置の重心 P に対して Z 軸方向の力  $f_z$  が作用した状態を示す側断面図である。

【図 1 8】図 8 に示す検出装置に、加速度に基づく各軸方向の力  $f_x$  ,  $f_y$  ,  $f_z$  が作用したときの各上部電極 A 1 ~ A 8 に発生する電荷の極性を示す表である。

【図 1 9】図 8 に示す検出装置に用いる検出回路の一例を示す回路図である。

【図 2 0】本発明の適用対象となる検出装置についての一般的な検出動作の手順を示す流れ図である。

【図 2 1】本発明の適用対象となる検出装置において、振動子に与える振動、作用した角速度、発生したコリオリ力、作用した加速度、の具体的条件を示すグラフである。

【図 2 2】図 2 1 に示す条件において、実際に検出される合成力を示すグラフである。

【図 2 3】図 2 2 に示す合成力のグラフについて、変極点 P 1 ~ P 9 を求めた状態を示すグラフである。

【図 2 4】図 2 3 において求めた変極点 P 1 ~ P 9 に基いて、参照線 Q 1 2 ~ Q 8 9 を求めた状態を示すグラフである。

【図 2 5】図 2 4 において求めた参照線 Q 1 2 ~ Q 8 9 上に、参照点 m 1 ~ m 8 をプロットした状態を示すグラフである。

【図 2 6】図 2 5 において求めた参照点 m 1 ~ m 8 を結ぶことにより、合成力のバイアス成分である力  $f$  を抽出した状態を示すグラフである。

【図 2 7】コリオリ力  $F_y$  の包絡線 E として、角速度を求める状態を示すグラフである。

【図 2 8】本発明の第 1 の実施例に係る検出装置の基本構成を示すブロック図である。

【図 2 9】図 2 8 に示す第 1 の実施例に係る検出装置の検出動作の手順を示す流れ図である。

【図 3 0】本発明に係る検出装置を用いて X 軸まわりの角速度  $\omega_x$  を検出する別な基本原理を説明する図である。

【図 3 1】本発明に係る検出装置を用いて Y 軸まわりの角速度  $\omega_y$  を検出する別な基本原理を説明する図である。

【図 3 2】本発明に係る検出装置を用いて Z 軸まわりの角速度  $\omega_z$  を検出する別な基本原理を説明する図である。

【図 3 3】本発明の第 2 の実施例に係る検出装置の基本構成を示すブロック図である。

【図 3 4】図 3 3 に示す第 2 の実施例に係る検出装置の検出動作の手順を示す流れ図である。

【図 3 5】本発明の第 3 の実施例に係る検出装置の基本構成を示すブロック図である。

【図 3 6】二次元の検出に適した具体的な検出装置の構造を示す上面図である。

【図 3 7】図 3 6 に示す検出装置を X Z 平面で切断した側断面図である。

【図 3 8】二次元の検出に適したまた別な具体的な検出装置の構造を示す上面図である。

【図 3 9】図 3 8 に示す検出装置を X Z 平面で切断した側断面図である。

【図 4 0】本発明を適用することができる容量式の検出装置 2 0 0 の側断面図である。

【図 4 1】図 3 6 に示す検出装置における起歪体 2 1 0 の上面図である。

【符号の説明】

【 0 1 0 4 】

1 0 ... 圧電素子

1 1 ... 中心部

10

20

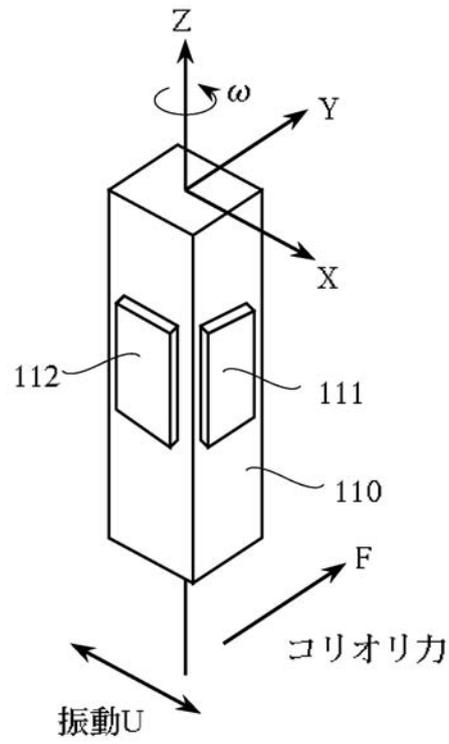
30

40

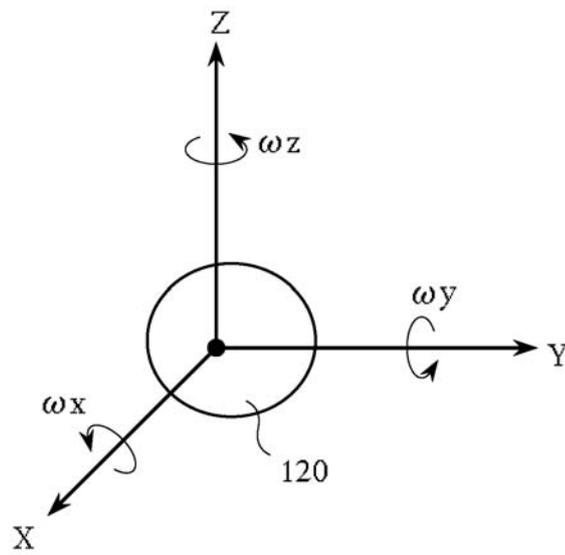
50

1 2 ... 可撓部	
1 3 ... 周囲部	
1 5 ... 環状溝	
3 1 ~ 3 8 ... Q / V 変換回路	
4 1 ~ 4 3 ... 演算器	
1 1 0 ... 振動子	
1 1 1 , 1 1 2 ... 圧電素子	
1 2 0 ... 物体	
1 3 0 ... 振動子	
1 4 1 ... X 軸方向励振手段	10
1 4 2 ... Y 軸方向励振手段	
1 4 3 ... Z 軸方向励振手段	
1 5 1 ... X 軸方向力検出手段	
1 5 2 ... Y 軸方向力検出手段	
1 5 3 ... Z 軸方向力検出手段	
1 6 1 ... X 軸方向信号分離手段	
1 6 2 ... Y 軸方向信号分離手段	
1 6 3 ... Z 軸方向信号分離手段	
1 7 1 ~ 1 7 3 ... 加速度演算手段	
1 8 1 ~ 1 8 3 ... 角速度演算手段	20
2 0 0 ... 容量式の検出装置	
2 1 0 ... 起歪体	
2 1 1 ... 中心部	
2 1 2 ... 可撓部	
2 1 3 ... 周囲部	
2 2 0 ... 振動子	
2 3 0 ... 台座	
2 4 0 ... ベース基板	
2 5 0 ... 蓋板	
A , A 1 ~ A 8 , A 1 1 ~ A 1 4 , A 2 1 ~ A 2 4 ... 上部電極	30
B ... 下部電極	
E ... 包絡線	
E 0 , E 1 ~ E 4 , E 1 0 , E 2 0 ... 上部電極	
F 1 ~ F 5 ... 下部電極	
m 1 ~ m 8 ... 参照点	
O ... 原点	
P ... 重心	
P 1 ~ P 9 ... 変極点	
Q 1 ~ Q 9 ... 区画線	
Q 1 2 ~ Q 8 9 ... 参照線	40
T x , T y , T z ... 出力端子	

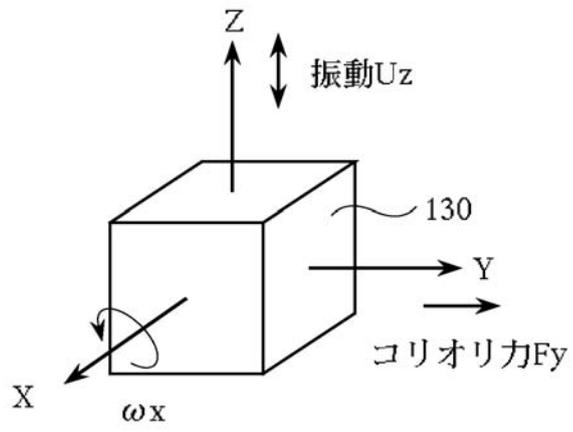
【 図 1 】



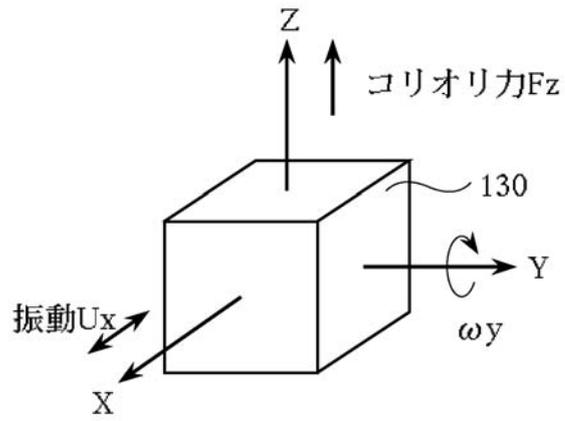
【 図 2 】



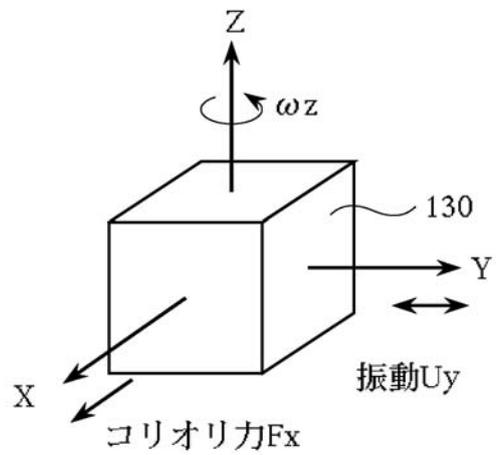
【 図 3 】



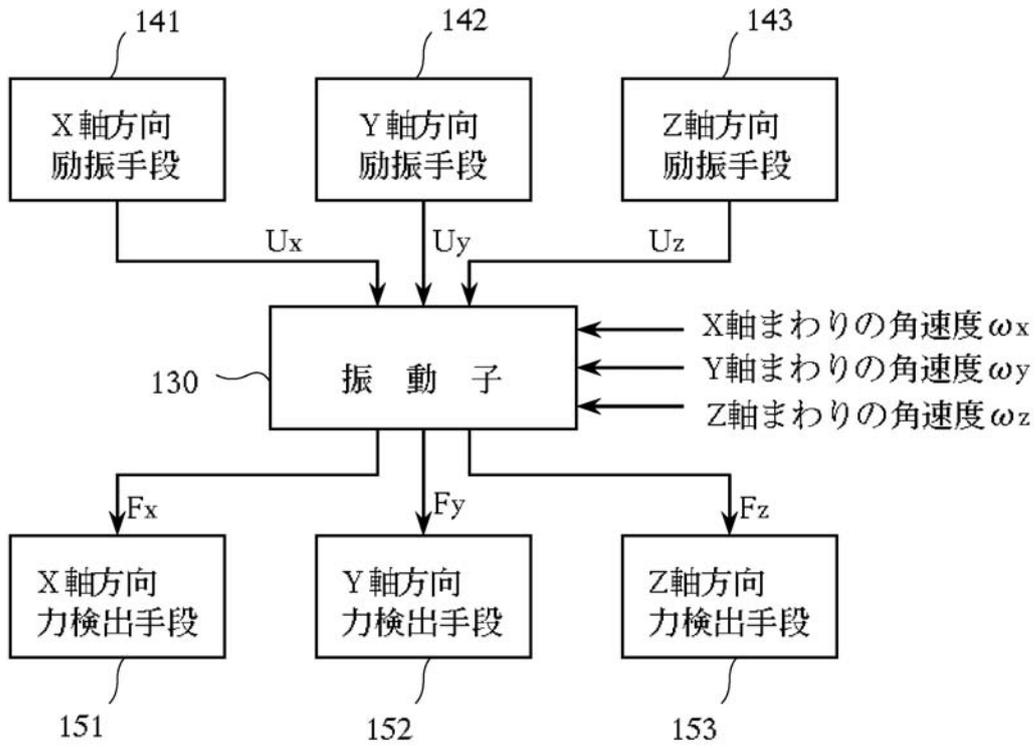
【 図 4 】



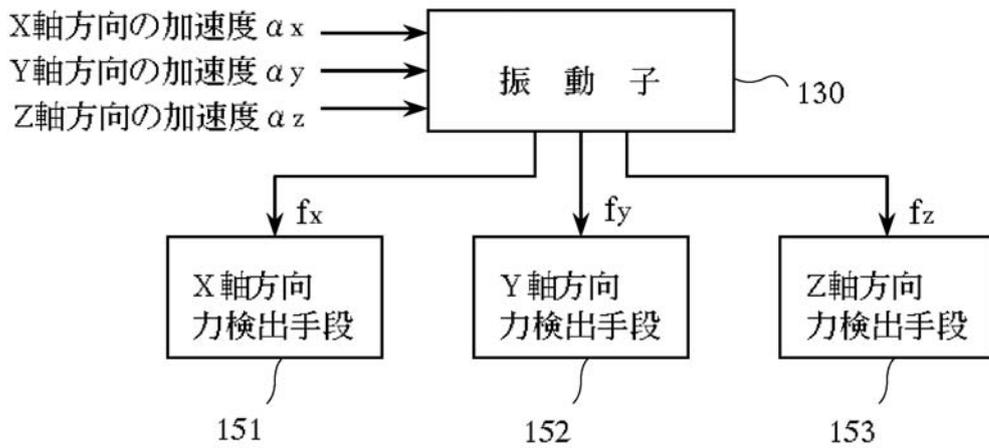
【 図 5 】



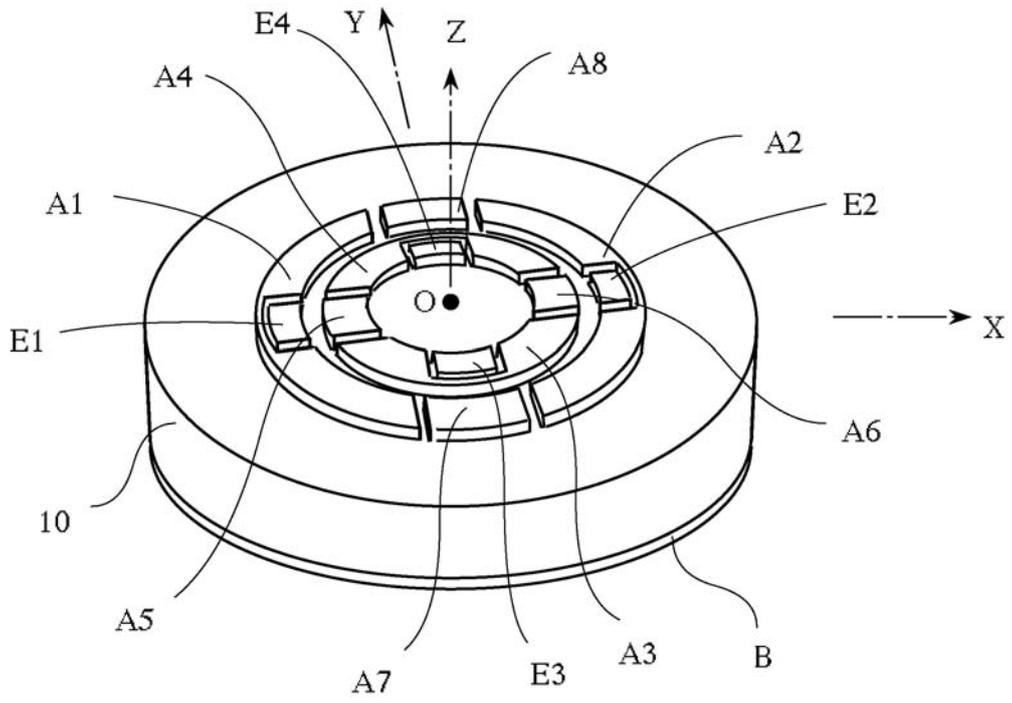
【 図 6 】



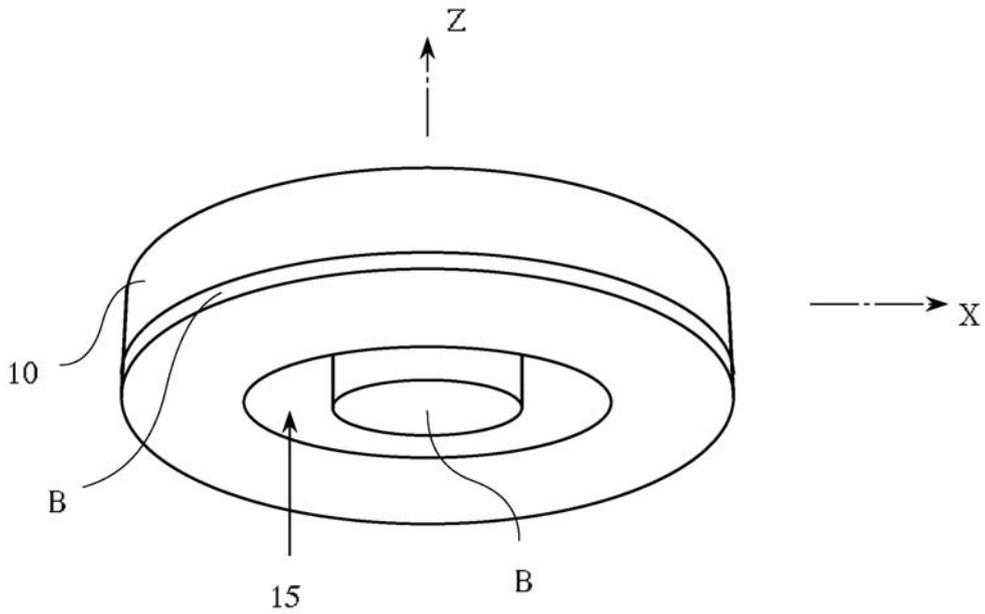
【 図 7 】



【 図 8 】

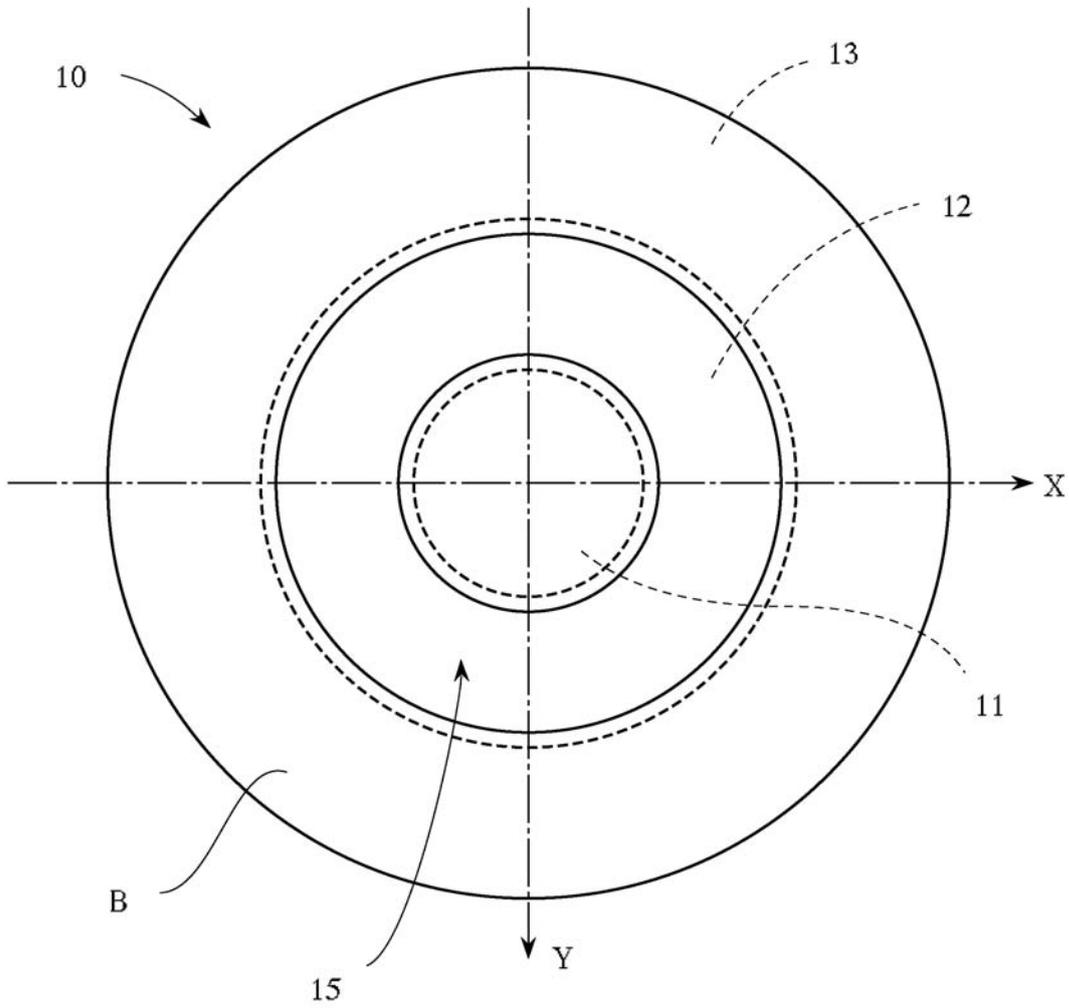


【 図 9 】

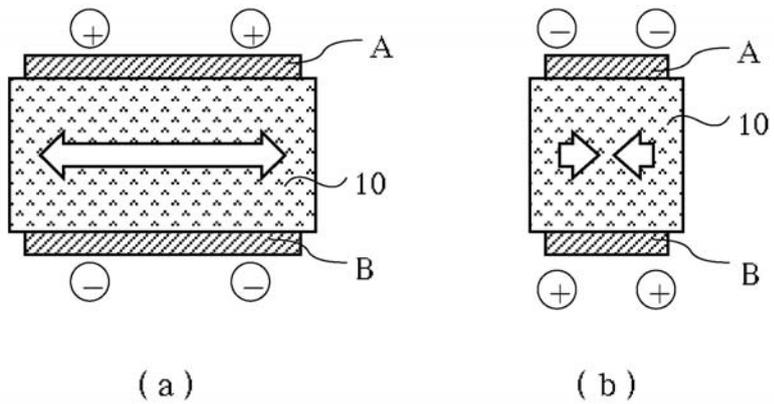




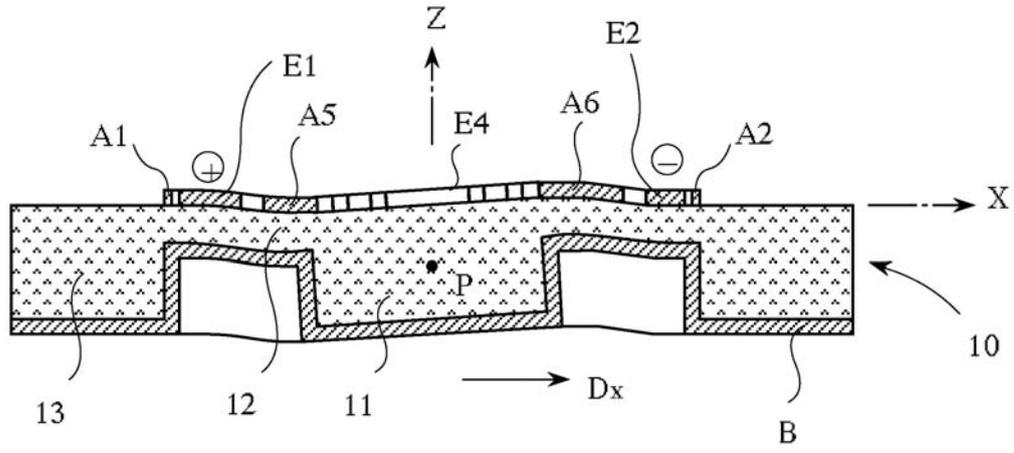
【 図 1 2 】



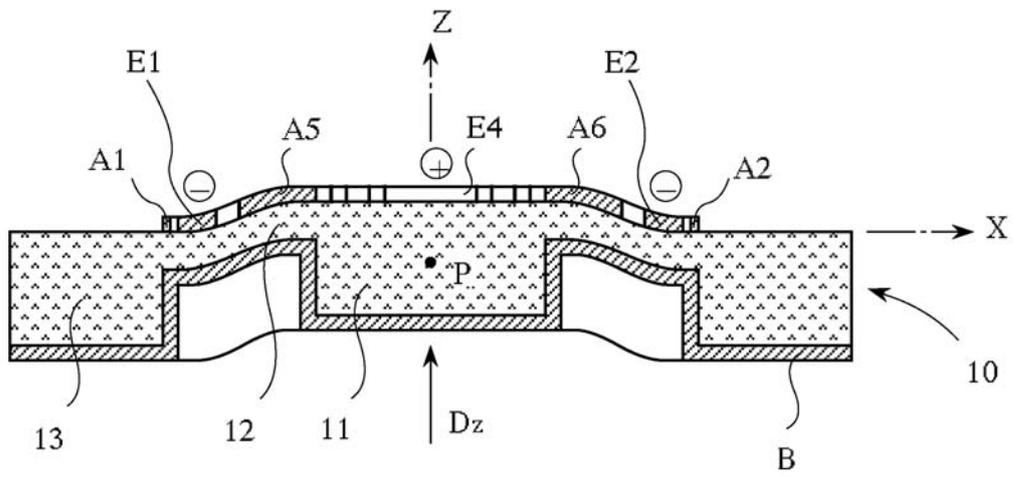
【 図 1 3 】



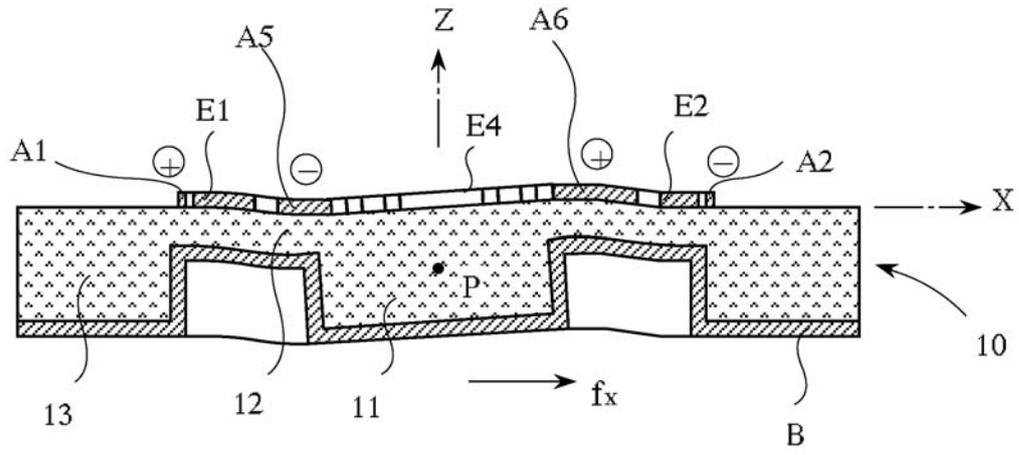
【 図 1 4 】



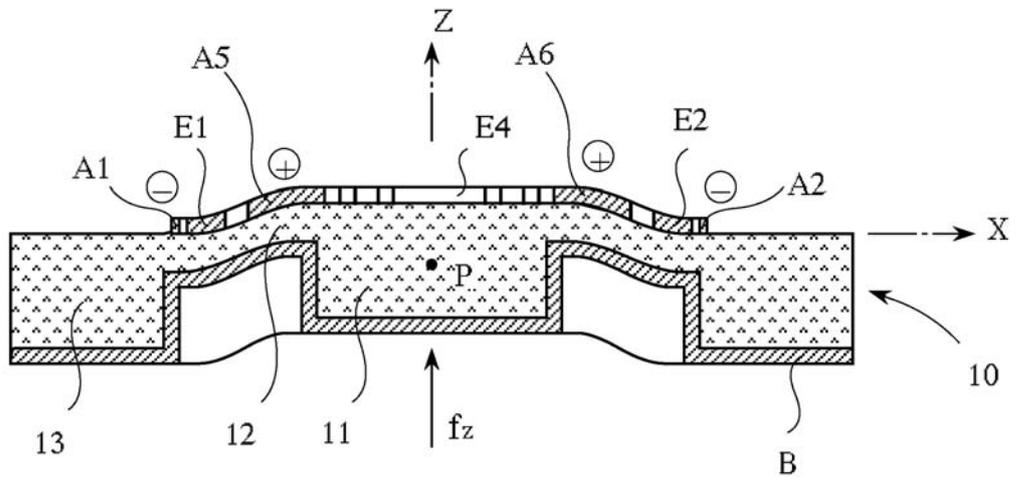
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】

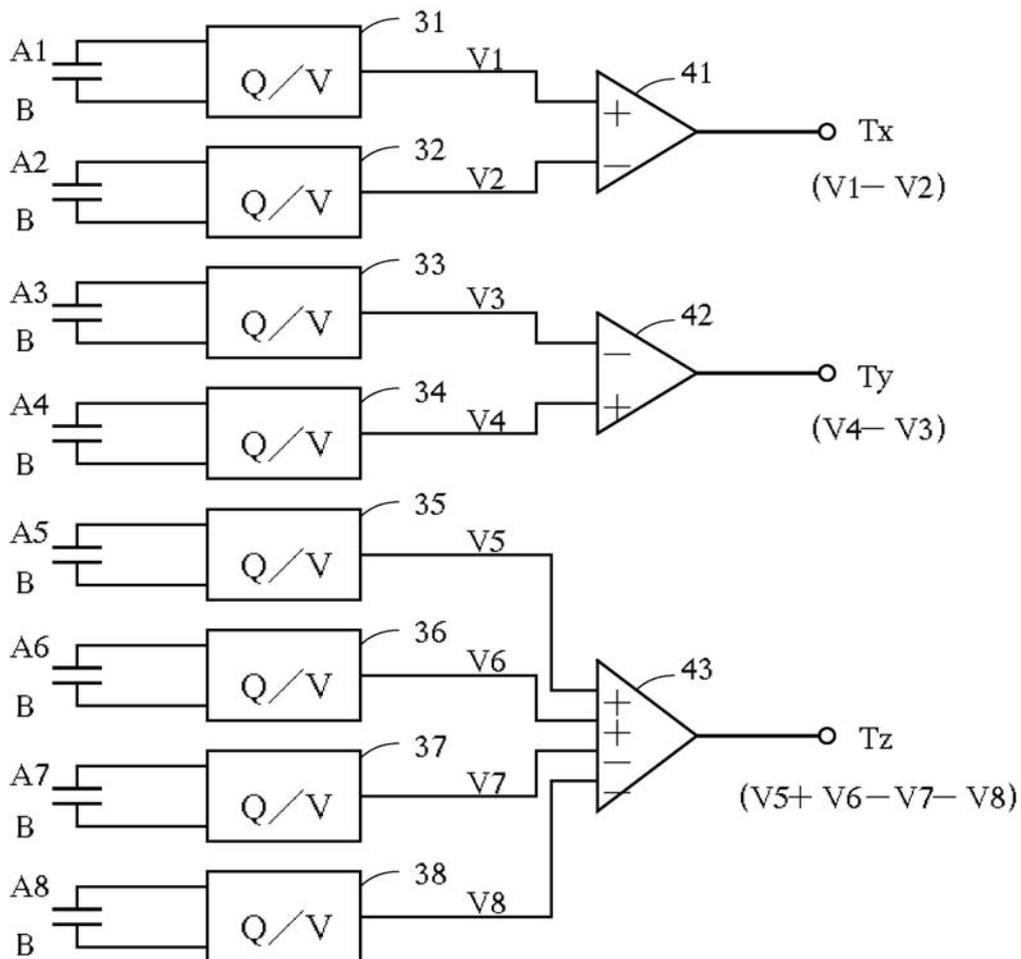


【 図 1 8 】

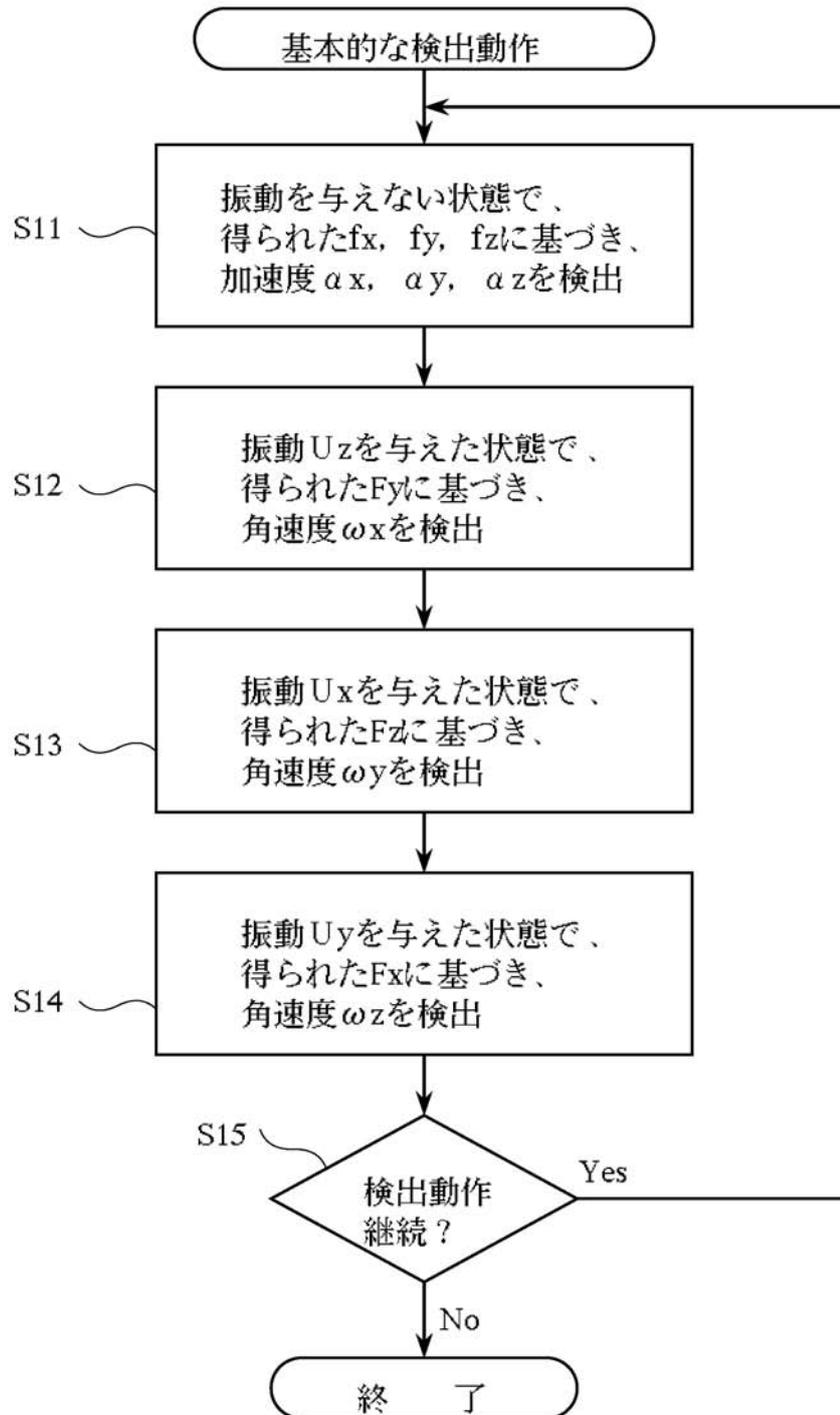
上部電極に発生する電荷の極性

	fx検出用		fy検出用		fz検出用			
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
fx	+	-	0	0	-	+	0	0
fy	0	0	-	+	0	0	+	-
fz	-	-	+	+	+	+	-	-

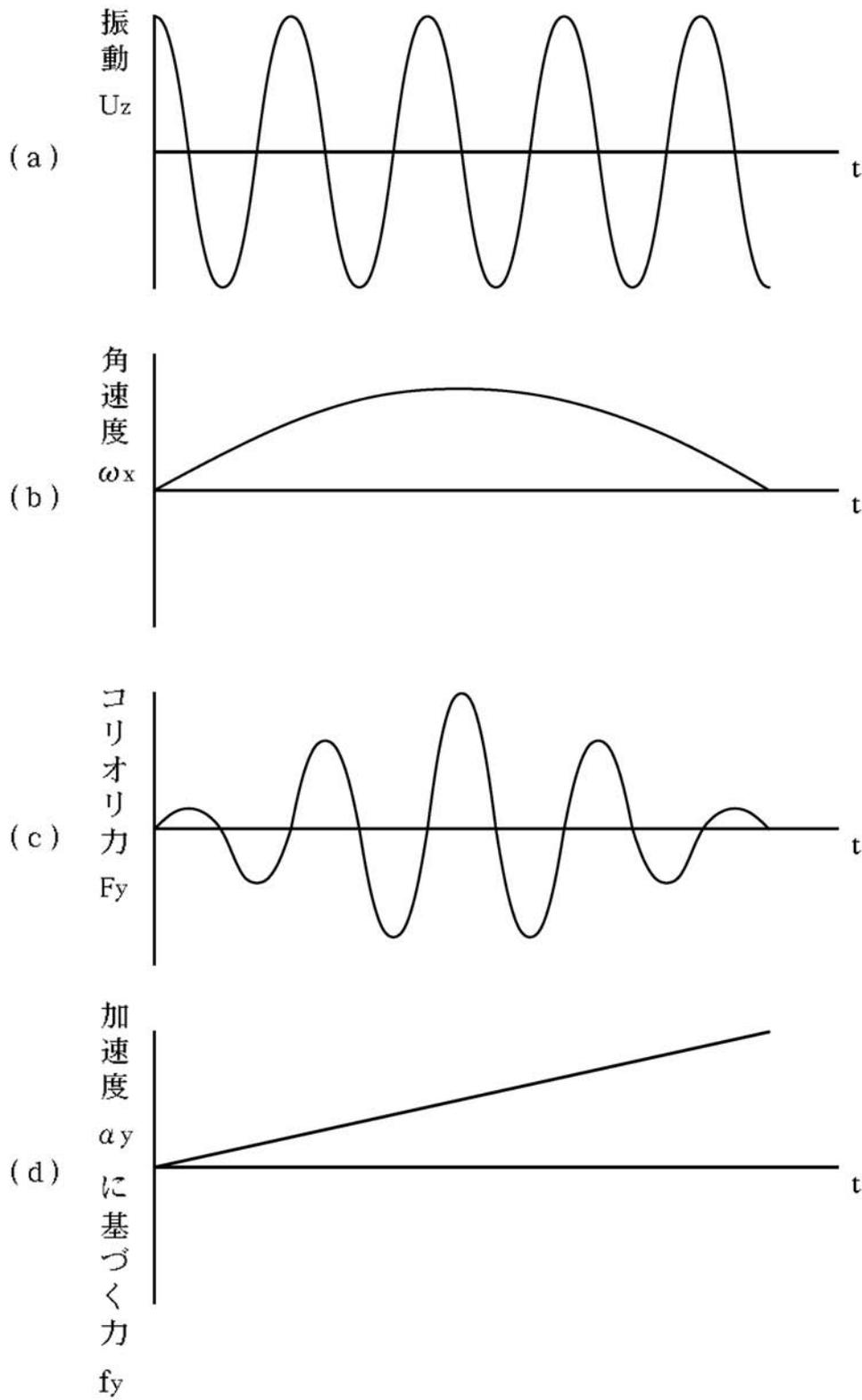
【 図 1 9 】



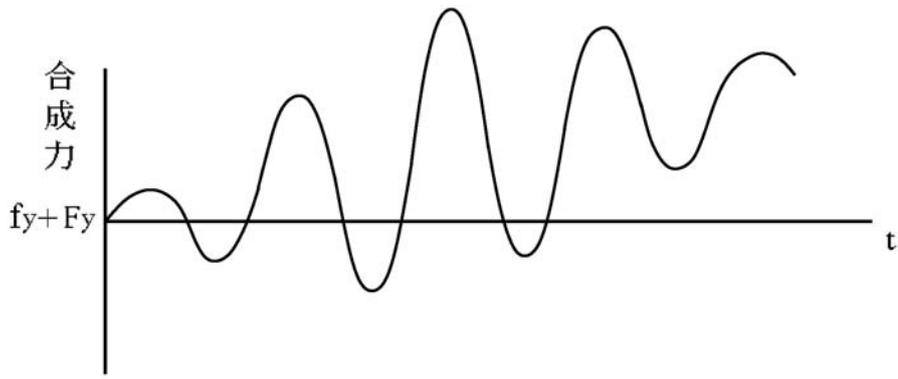
【 図 2 0 】



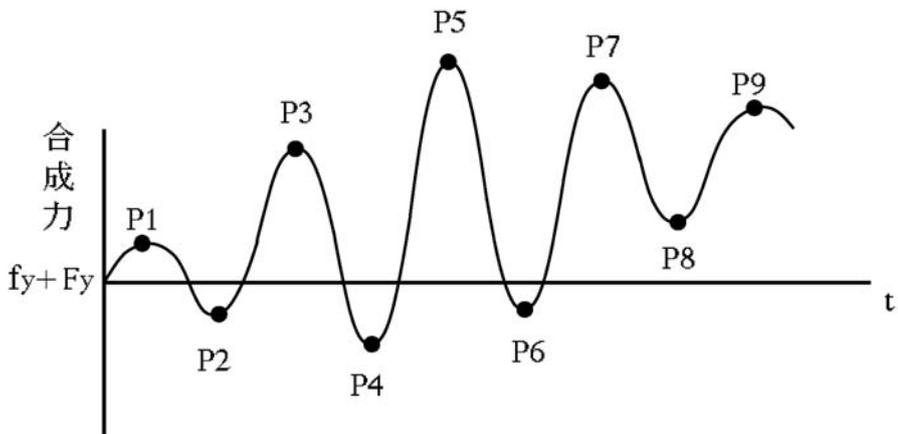
【 図 2 1 】



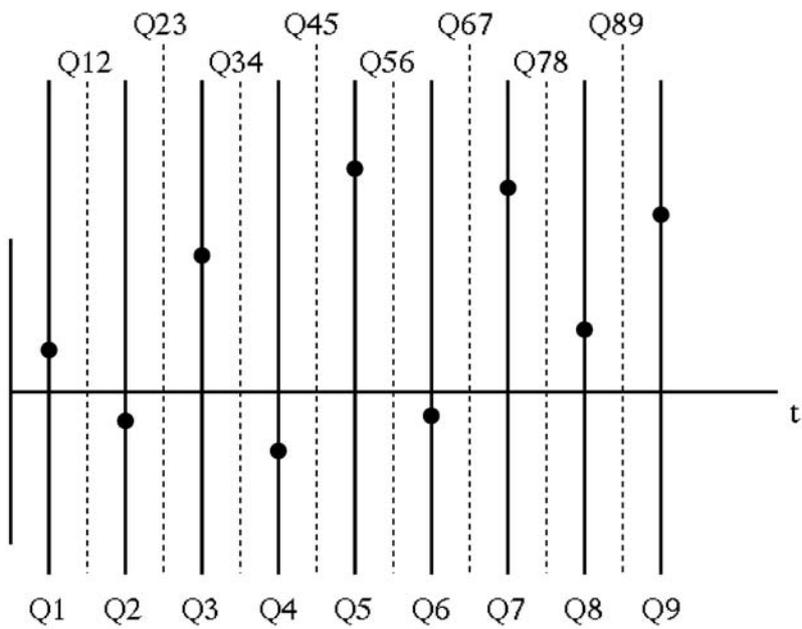
【 图 2 2 】



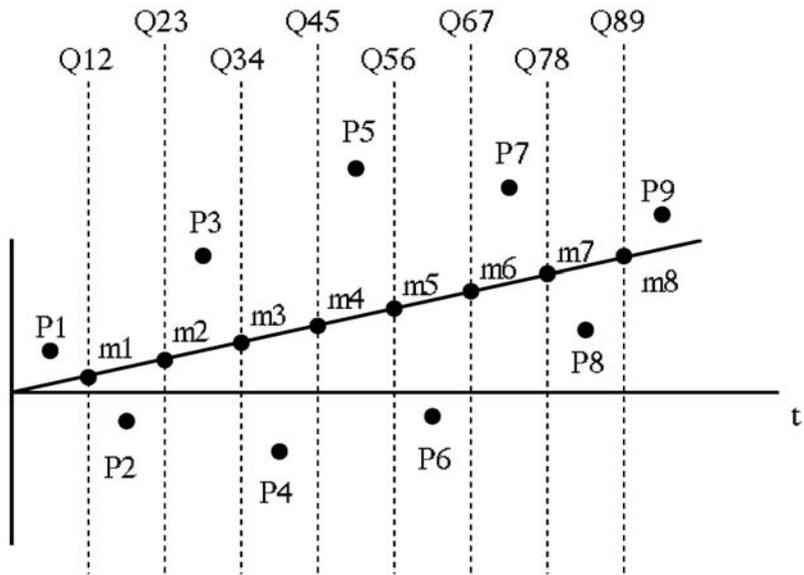
【 图 2 3 】



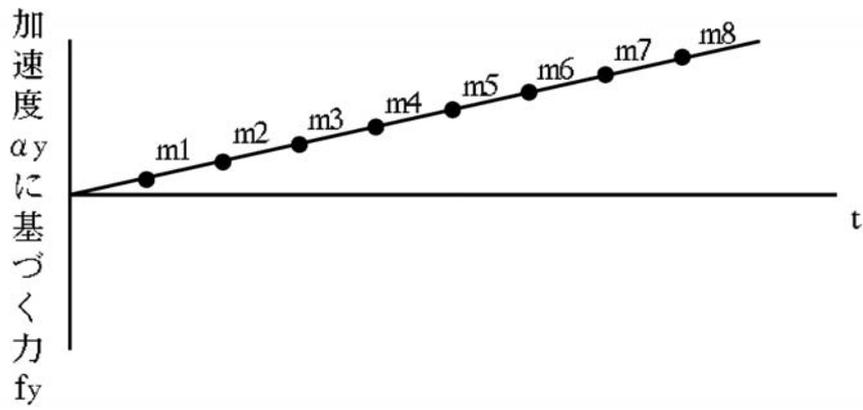
【 图 2 4 】



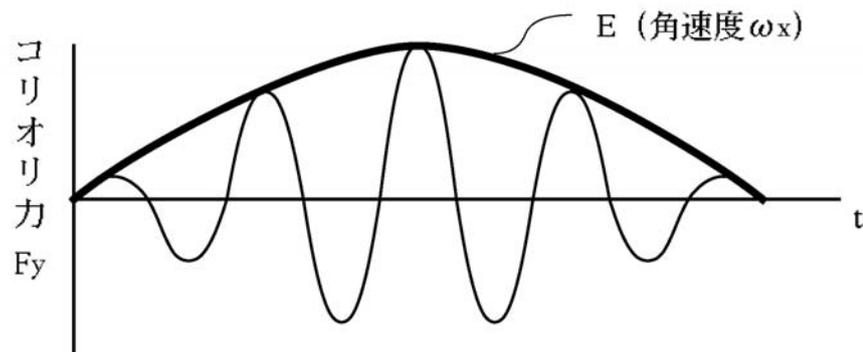
【 図 2 5 】



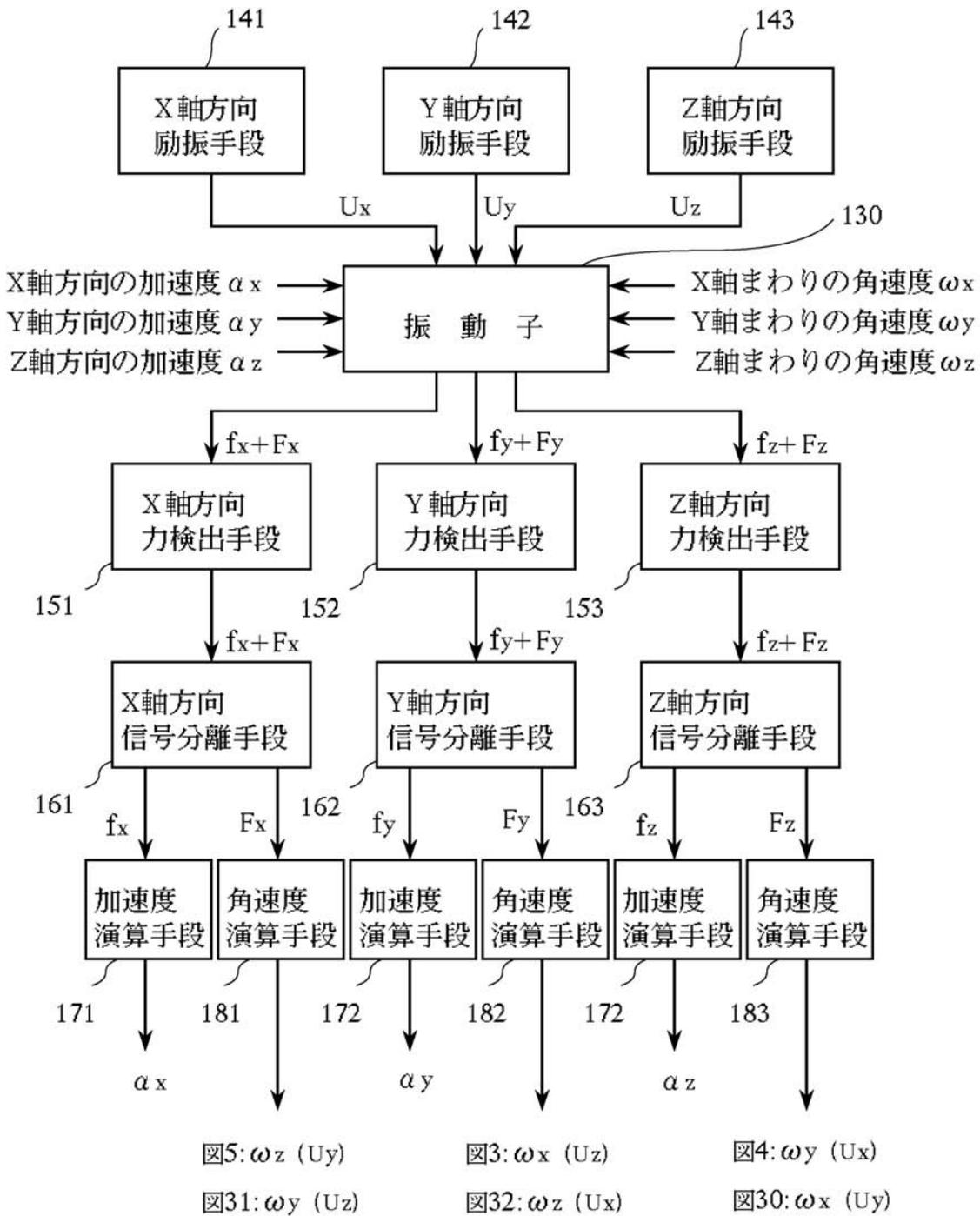
【 図 2 6 】



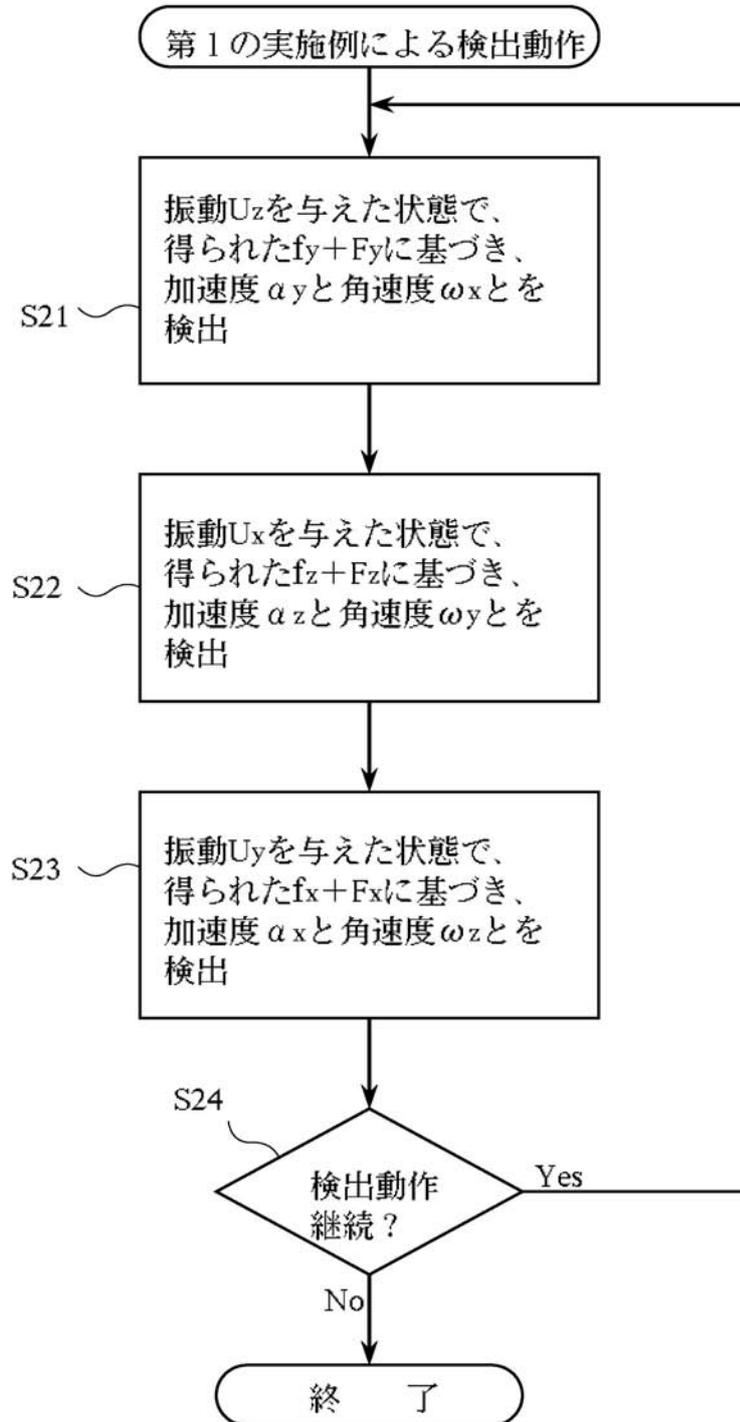
【 図 2 7 】



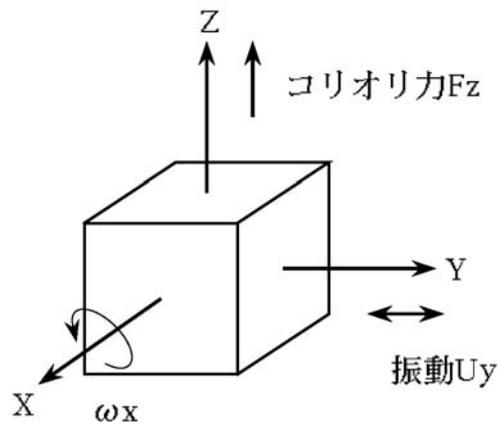
【 図 2 8 】



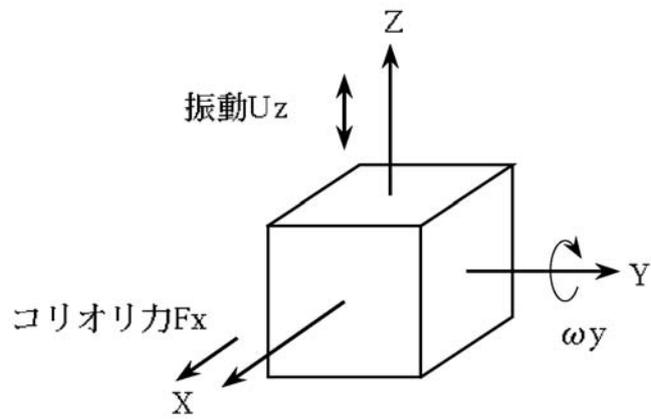
【 図 2 9 】



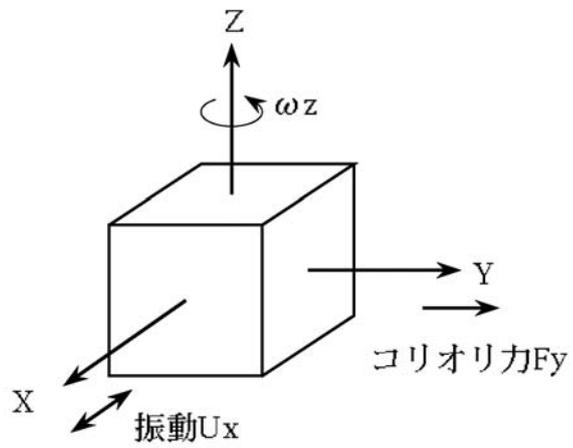
【 図 3 0 】



【 図 3 1 】



【 図 3 2 】



【 図 3 3 】

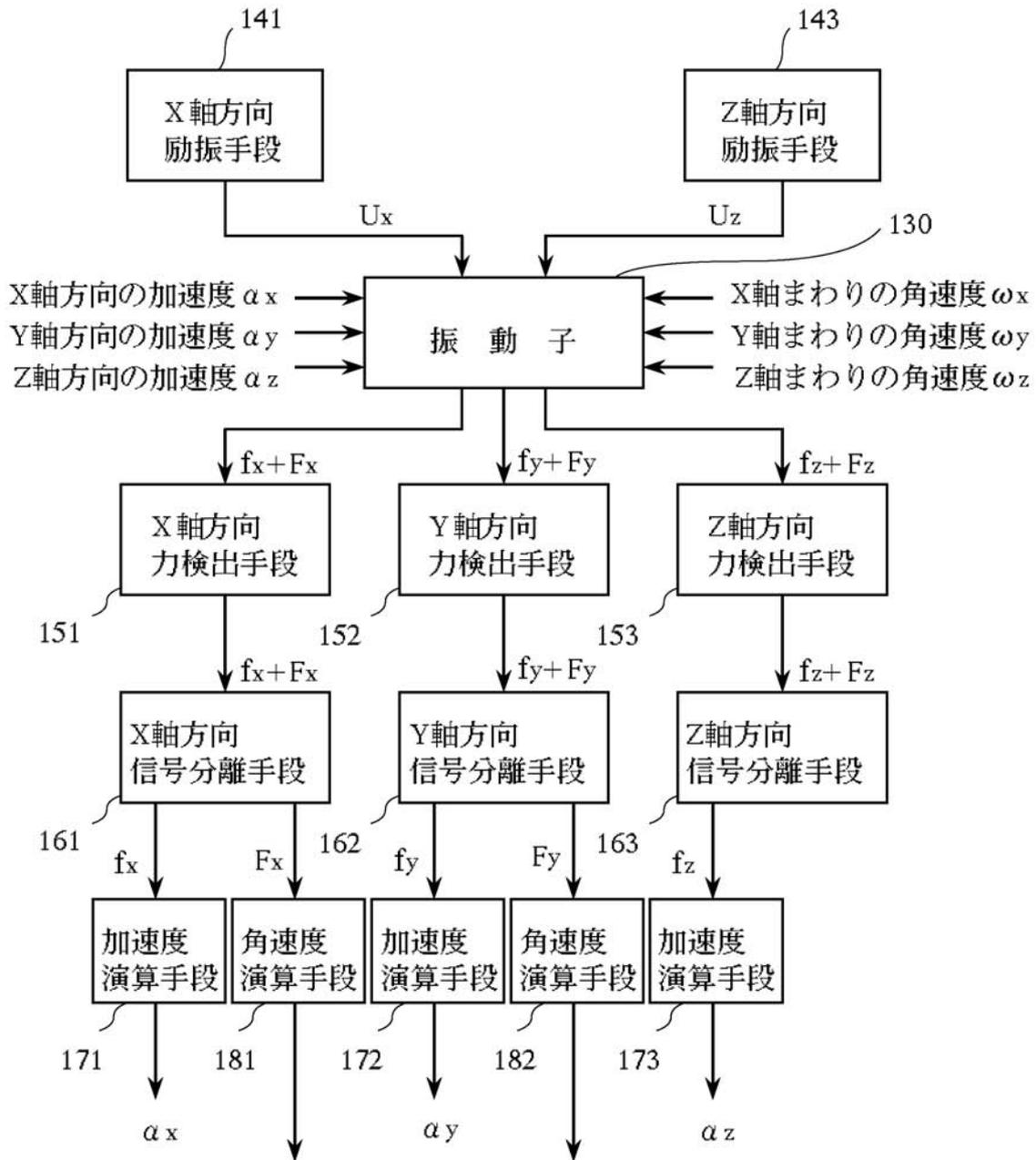
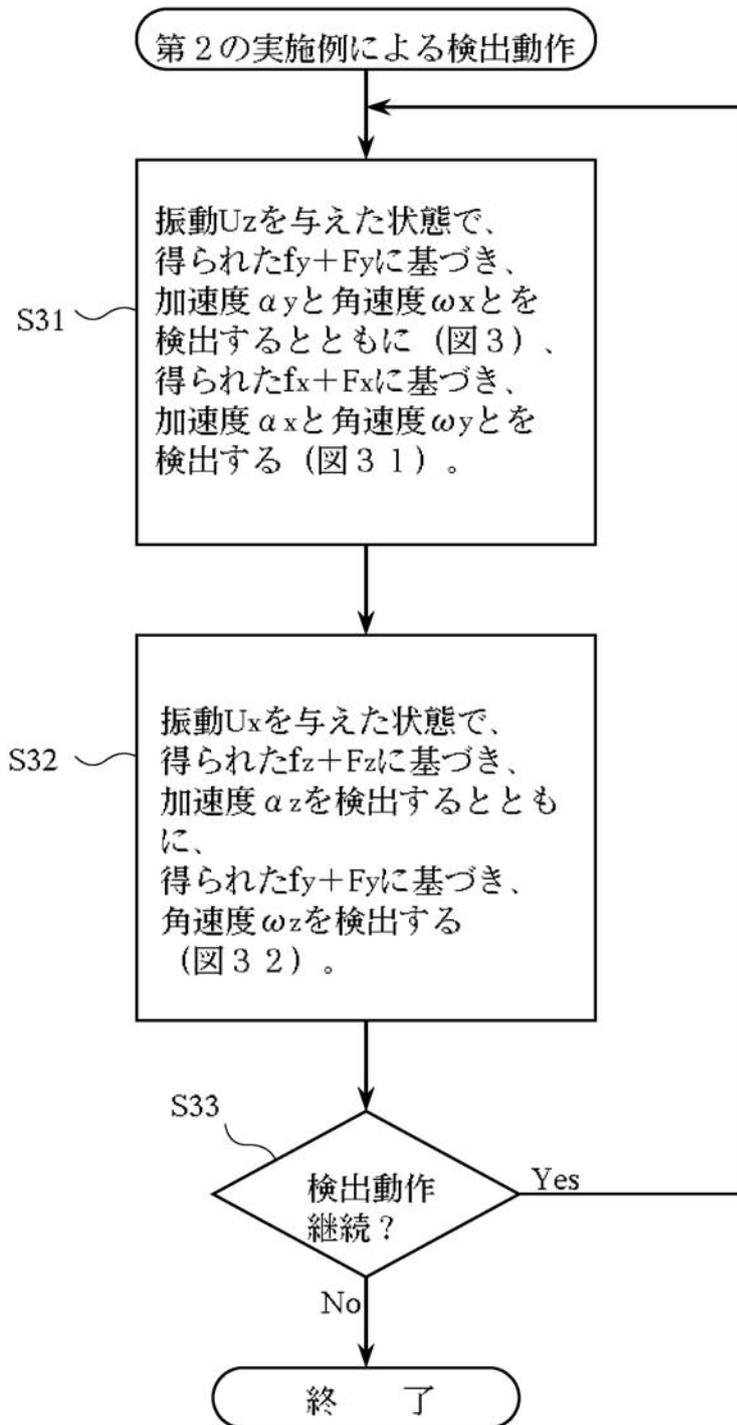


図31:  $\omega_y$  ( $U_z$ )

図3:  $\omega_x$  ( $U_z$ )

図32:  $\omega_z$  ( $U_x$ )

【 図 3 4 】



【 図 3 5 】

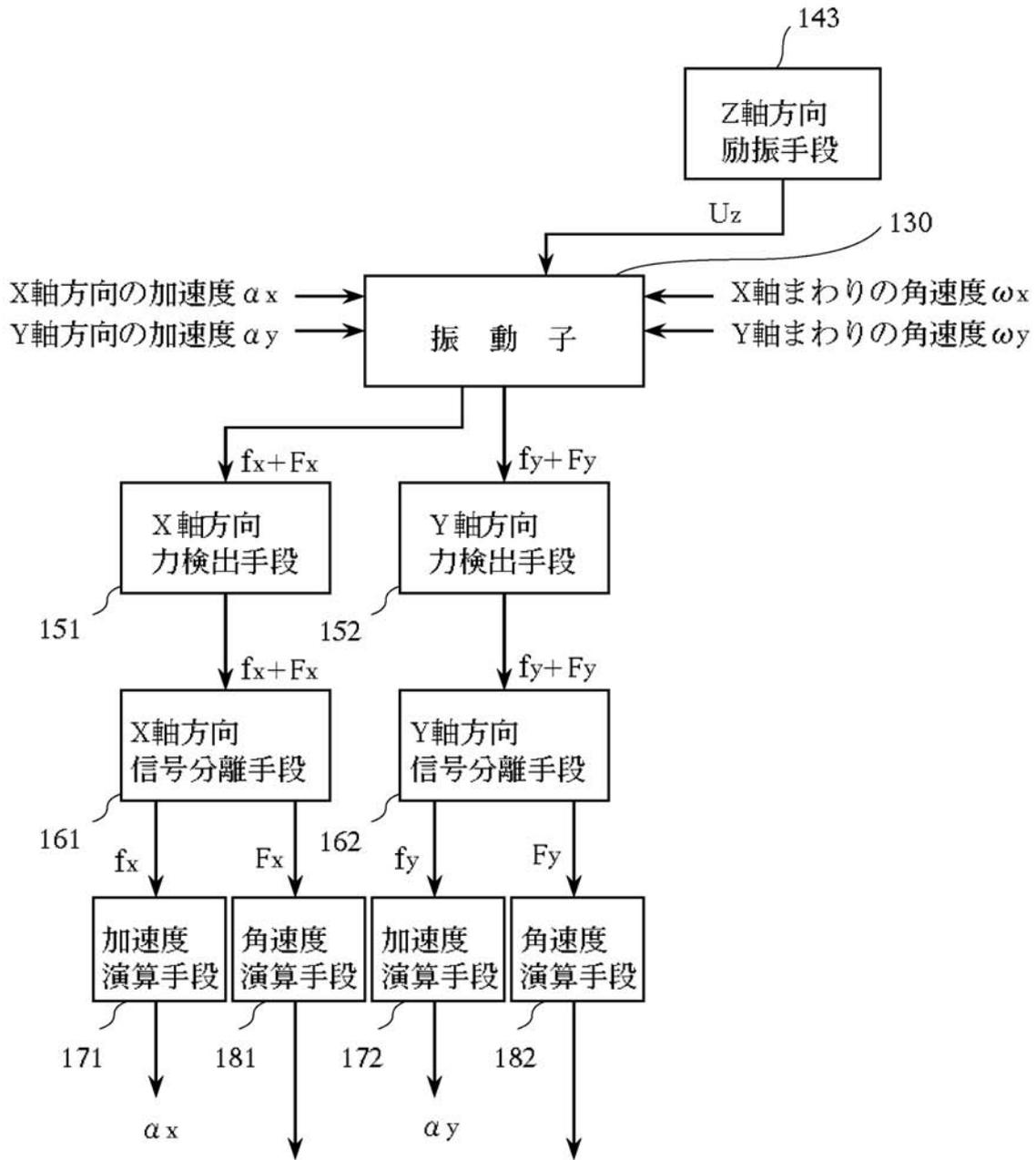
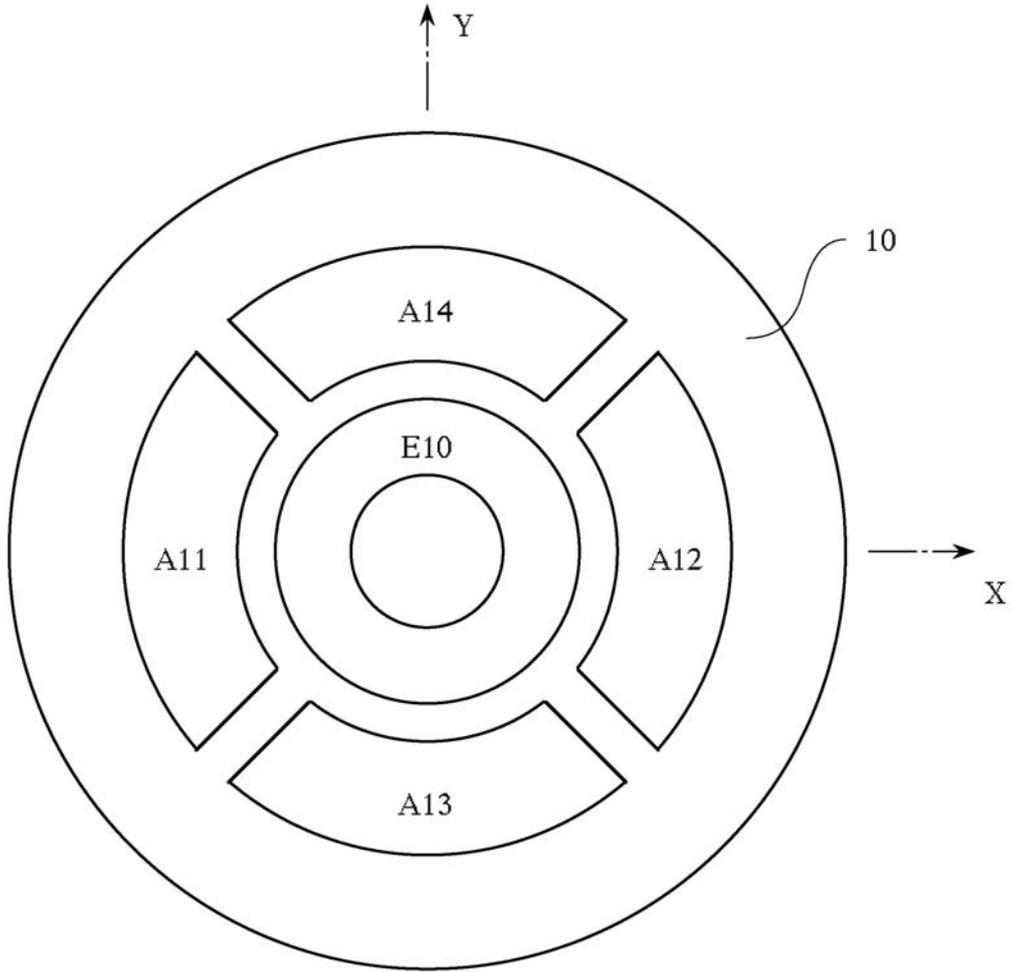


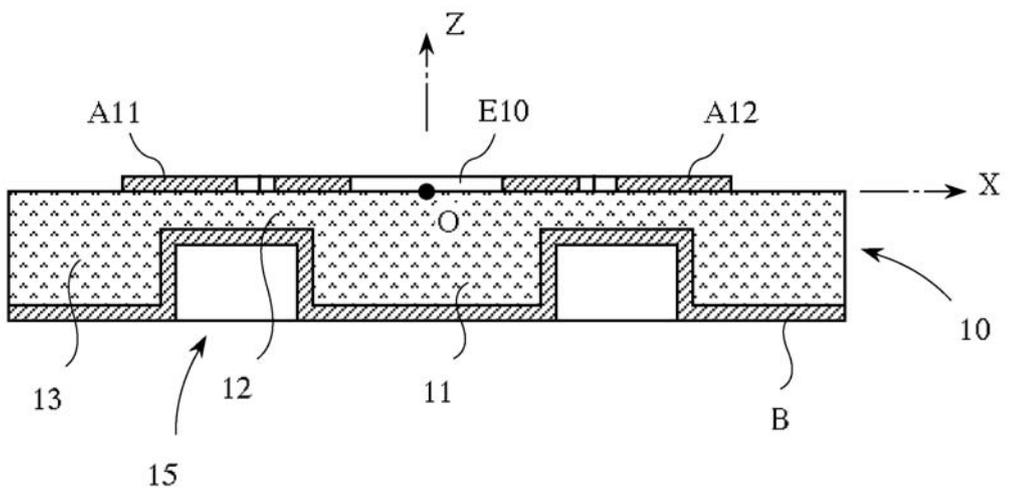
図31:  $\omega_y$  ( $U_z$ )

図3:  $\omega_x$  ( $U_z$ )

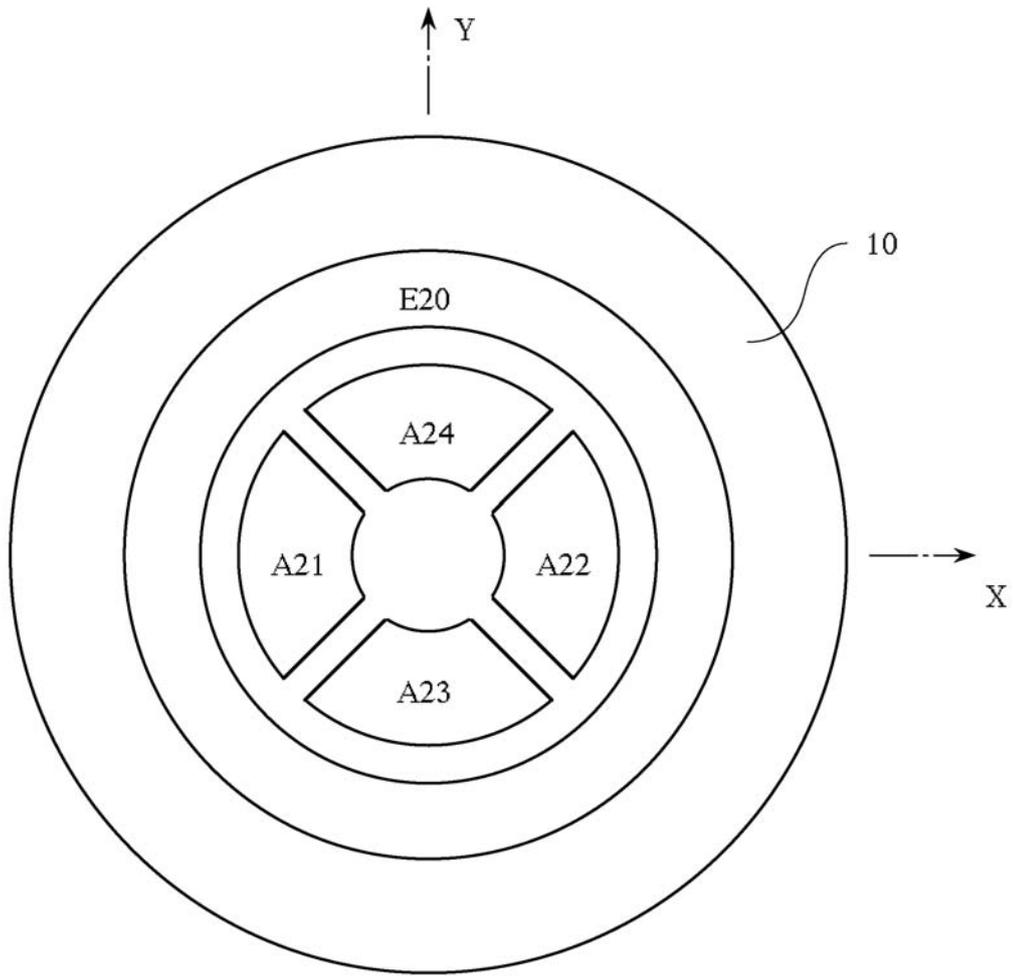
【 図 3 6 】



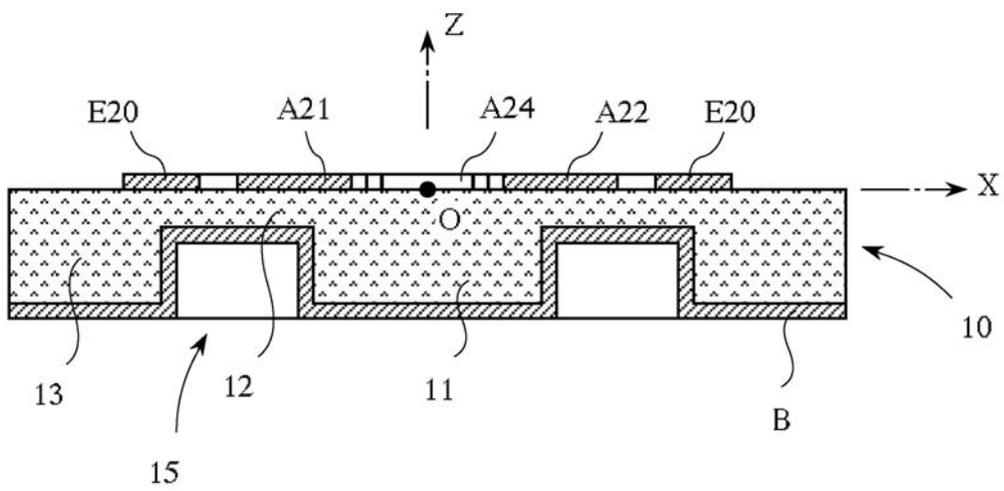
【 図 3 7 】



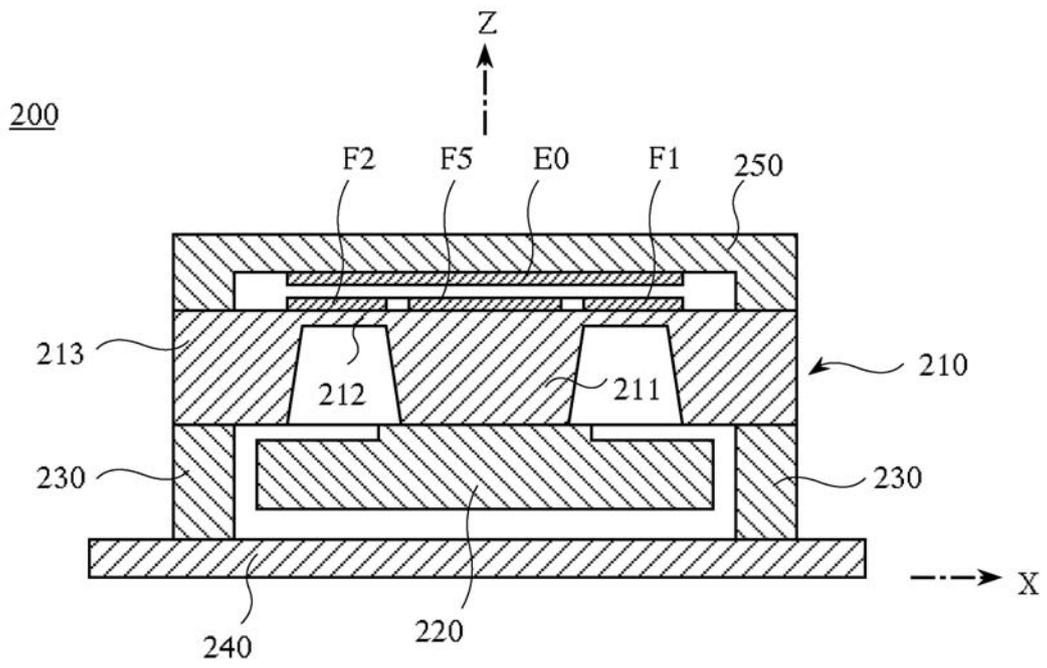
【 図 3 8 】



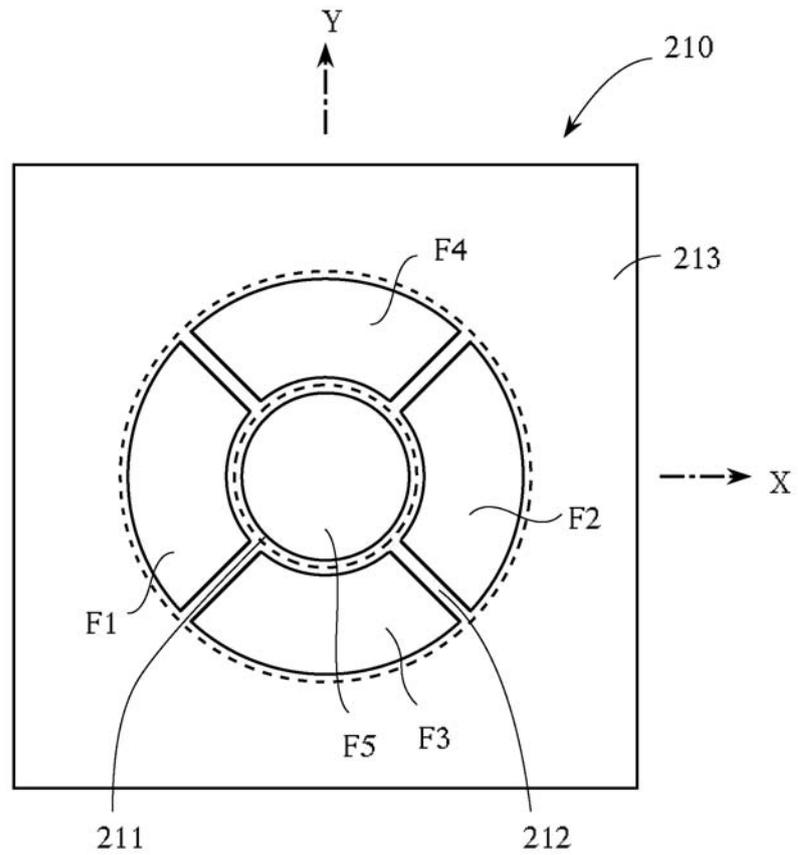
【 図 3 9 】



【 図 4 0 】



【 図 4 1 】



## フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平05 - 248872 (JP, A)  
特開平05 - 333038 (JP, A)  
特開平04 - 029012 (JP, A)  
特開平05 - 040040 (JP, A)  
特開平03 - 200038 (JP, A)  
特開平05 - 346356 (JP, A)  
特開平05 - 060787 (JP, A)  
特開平05 - 026744 (JP, A)  
特開平04 - 084725 (JP, A)  
特開平05 - 215627 (JP, A)  
特開平08 - 068636 (JP, A)  
特開昭60 - 047913 (JP, A)  
特開2004 - 233369 (JP, A)  
特開2005 - 031096 (JP, A)  
特開2005 - 031097 (JP, A)  
特許第3585959 (JP, B2)  
国際公開第92/021000 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

G01C 19/56  
G01P 9/04  
G01P 15/00 - 15/18