(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2007-189802
(P2007-189802A)
(43)公開日　平成19年7月26日(2007.7.26)

(51)Int.Cl.			F I			テーマコード（参考）
H02N	2/00	(2006.01)	H02N	2/00	C	2H044
G02B	7/08	(2006.01)	G02B	7/08	B	5H680

審査請求 未請求　請求項の数 9　ＯＬ　（全 19 頁）

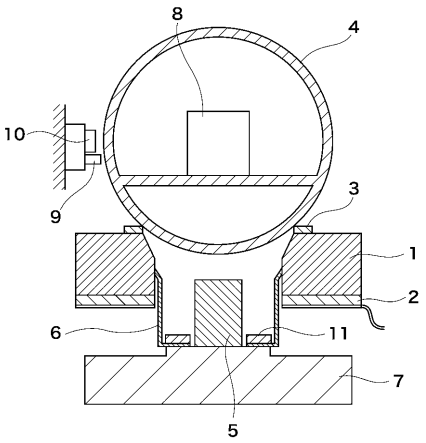
(21)出願番号　特願2006-4837(P2006-4837)
(22)出願日　平成18年1月12日(2006.1.12)

(71)出願人　000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号
(74)代理人　100125254
弁理士　別役　重尚
(74)代理人　100118278
弁理士　村松　聡
(74)代理人　100138922
弁理士　後藤　夏紀
(74)代理人　100136858
弁理士　池田　浩
(74)代理人　100135633
弁理士　二宮　浩康

最終頁に続く

(54)【発明の名称】振動波駆動装置及び振動波駆動機器

(57)【要約】
【課題】振動子の機械的性質に影響を及ぼさない構造で振動子を支持することを可能とした振動波駆動装置を提供する。
【解決手段】振動波駆動装置は、弾性体１、圧電素子２、接触部３、回転体４、支持部材６、基台７を備える。振動子は、弾性体１、圧電素子２、接触部３を有し、圧電素子２に対する電圧印加により、偶数次数の面内方向と奇数次数の面外方向の駆動振動又は奇数次数の面内方向と偶数次数の面外方向の駆動振動を形成する。回転体４は、振動子により形成される駆動振動により、振動子に対して相対的に駆動される。接触部３は、振動子と回転体４との間に配設され、回転体４に対して押圧接触される。支持部材６は、振動子と基台７との間に配設され、基台７に対する振動子の位置を決定し、振動子の面内方向及び面外方向に対して共に可撓性を有する。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
電気－機械エネルギ変換素子を有し、前記電気－機械エネルギ変換素子に対する駆動信号の印加により、偶数次数の面内方向及び奇数次数の面外方向の駆動振動又は奇数次数の面内方向及び偶数次数の面外方向の駆動振動を形成する振動子と、
前記振動子により形成される前記駆動振動により、前記振動子に対して相対的に駆動される回転体と、
前記振動子と前記回転体との間に配設され、前記回転体に対して押圧状態に接触される接触部と、
前記振動子と基台との間に配設され、前記基台に対する前記振動子の位置を決定する支持部材とを備え、
前記支持部材は、前記振動子の面内方向及び面外方向に対して共に可撓性を有することを特徴とする振動波駆動装置。
【請求項２】
前記支持部材は、前記振動子側に対する固定箇所と前記基台側に対する固定箇所とが、前記振動子の径方向及び軸方向に間隔を有する位置関係に構成されていることを特徴とする請求項１記載の振動波駆動装置。
【請求項３】
前記振動子は、円環形状に構成されており、
前記支持部材は、前記振動子の内周部に固定されることを特徴とする請求項１記載の振動波駆動装置。
【請求項４】
前記振動子は、内周側に径方向の段差を有し、
前記支持部材は、前記振動子の前記段差を基準として前記振動子の内周部に固定されることを特徴とする請求項１又は３記載の振動波駆動装置。
【請求項５】
前記支持部材は、前記振動子に固定される面内方向支持部と、前記面内方向支持部に連接されると共に前記基台に固定される面外方向支持部とに区分されていることを特徴とする請求項１記載の振動波駆動装置。
【請求項６】
前記支持部材は、前記振動子に固定される面外方向支持部と、前記面外方向支持部に連接されると共に前記基台に固定される面内方向支持部とに区分されており、
前記面外方向支持部又は前記面内方向支持部の何れか一方により、前記振動子の面外振動方向又は面内振動方向の定在波の節位置を支持することを特徴とする請求項１記載の振動波駆動装置。
【請求項７】
前記振動子を構成する前記電気－機械エネルギ変換素子は、面内方向の駆動振動用と、面外方向の駆動振動用とに分割された圧電素子であることを特徴とする請求項１記載の振動波駆動装置。
【請求項８】
前記回転体の形状は、球殻形状、球形状、半球形状を含む群から選択され、
前記接触部は、前記振動子における前記回転体に対向する側の周方向に沿って配設された複数の突起により前記回転体を支持することを特徴とする請求項１又は３記載の振動波駆動装置。
【請求項９】
前記請求項１乃至８の何れかに記載の振動波駆動装置を備え、前記振動子と前記回転体との相対移動により得られる駆動力により被駆動体を駆動することを特徴とする振動波駆動機器。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】

【０００１】
本発明は、電気－機械エネルギ変換素子を駆動源として弾性体に駆動振動を形成する振動子と、振動を外部出力として取り出す回転体とを備える多自由度駆動が可能な振動波駆動装置及び振動波駆動機器に関する。
【背景技術】
【０００２】
従来、振動波モータ等の振動波駆動装置は、一般に、駆動振動を形成する振動子と該振動子に押圧接触される回転体とを備え、駆動振動により振動子と回転体とを相対的に移動させるように構成されている。
【０００３】
多自由度の駆動（それぞれ複数の回転軸を中心とした駆動）が可能な振動波モータ等の振動波駆動装置の第１の従来例としては図１６（ａ）に示すものが提案されている（例えば、特許文献１参照）。
【０００４】
図１６（ａ）は、第１の従来例に係る多自由度振動波モータの構成を示す図である。
【０００５】
図１６（ａ）において、多自由度振動波モータは、球状の回転体１０１に多数のリング型振動子Ｍ１～Ｍ４を押圧したものである。この種の多自由度振動波モータは、１自由度ごとに１つの振動子が必要であるため、多自由度の駆動振動を可能とするためには複数の振動子が必要となり、小型化には不向きであった。
【０００６】
また、多自由度の駆動が可能な振動波モータ等の振動波駆動装置の第２の従来例としては図１６（ｂ）に示すものが提案されている（例えば、特許文献２参照）。
【０００７】
図１６（ｂ）は、第２の従来例に係る多自由度振動波モータの構成を示す断面図である。
【０００８】
図１６（ｂ）において、多自由度振動波モータは、棒状の振動子１５１に球状の回転体１５２を押圧し、多自由度の運動を可能としたものである。この種の多自由度振動波モータは、振動子１５１の形状が棒状体であるため、小型化には不向きであった。
【０００９】
このような観点から、リング型の振動子を有する多自由度の駆動が可能な振動波モータ等の振動波駆動装置の第３の従来例としては図１７に示すものが提案されている（例えば、特許文献３参照）。
【００１０】
図１７（ａ）、（ｂ）は、第３の従来例に係る多自由度振動波モータの構成を示す断面図である。
【００１１】
多自由度振動波モータは、圧電素子２０１及び弾性体２０２からなる振動子、該振動子に接触部２０３を介して接触する球状の回転体２０４を備える。この種の多自由度振動波モータは、面外振動と面内振動（図３参照）の組み合わせにより単一の振動子で３軸（Ｘ軸、Ｙ軸、Ｚ軸）方向の駆動を可能としている。図中、２０５、２０６は振動子をそれぞれ基台２０７、２０８に支持する支持部材であり、２０９はレンズ、２１０は撮像素子、２１１は発光素子、２１２は受光素子である。
【特許文献１】特開昭６２－１４１９７８号公報
【特許文献２】特開平１１－２２０８９３号公報
【特許文献３】特開２００３－１１６２８９号公報
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【００１２】

しかしながら、上記第３の従来例の多自由度振動波モータでは、図１７（ａ）、（ｂ）に示すように振動子の支持部材２０５、２０６が径方向に延出しているため、面内方向の支持剛性が高く、振動子の機械的性質に影響を及ぼす。特に、支持部材の径方向への延出に伴い固有振動の共振周波数や機械的インピーダンスを上げることから、振動波モータの小型化により支持部材の径方向長さを短くした場合は、次のような問題が発生する。即ち、十分な振幅を得られない、或いは、十分な振幅を得るためには大きな電力を必要とする、或いは、支持部材の加工精度のバラツキにより安定した振動子の生産が困難である、といった問題がある。

【００１３】

本発明の目的は、振動子の機械的性質に影響を及ぼさない構造で振動子を支持することを可能とした振動波駆動装置及び振動波駆動機器を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【００１４】

上述の目的を達成するために、本発明の振動波駆動装置は、電気－機械エネルギ変換素子を有し、前記電気－機械エネルギ変換素子に対する駆動信号の印加により、偶数次数の面内方向及び奇数次数の面外方向の駆動振動又は奇数次数の面内方向及び偶数次数の面外方向の駆動振動を形成する振動子と、前記振動子により形成される前記駆動振動により、前記振動子に対して相対的に駆動される回転体と、前記振動子と前記回転体との間に配設され、前記回転体に対して押圧状態に接触される接触部と、前記振動子と基台との間に配設され、前記基台に対する前記振動子の位置を決定する支持部材とを備え、前記支持部材は、前記振動子の面内方向及び面外方向に対して共に可撓性を有することを特徴とする。

【発明の効果】

【００１５】

本発明によれば、支持部材が振動子の面内方向及び面外方向に対して共に可撓性を有するため、振動子の機械的性質に影響を及ぼさない構造で振動子を支持することが可能となる。これにより、支持部材の加工精度を落とした設計が可能となり、生産性の向上及びコスト削減を図ることが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１６】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

【００１７】

［第１の実施の形態］

図１は、本発明の第１の実施の形態に係る多自由度の振動波駆動装置の全体構造を示す断面図である。

【００１８】

図１において、振動波駆動装置は、弾性体１、圧電素子２、接触部３、回転体４、加圧付勢部材５、支持部材６、基台７、機能ユニット８、ＬＥＤ９、光学素子１０を備えている。図１では、振動波駆動装置を円環形状の弾性体１の中心線を通る平面で切断した縦断面を示している。

【００１９】

弾性体１は、円環形状に構成されると共に、所定の材料（本実施の形態では金属材料）から形成されている。弾性体１の軸方向一方の端面（表面）には、周方向に所定間隔を置いた複数箇所（本実施の形態では４箇所）に突起状の接触部３が配設されている。

【００２０】

圧電素子２は、電気量（電圧）を機械量（振動）に変換する電気－機械エネルギ変換素子であり、弾性体１と同じ外径及び内径を有する円環形状に構成されている。圧電素子２は、接触部３が配設された弾性体１に固着されることにより振動子を構成している。

【００２１】

接触部３は、４つの突起３ａ、３ｂ、３ｃ、３ｄから構成されている（図５参照）。接触部３は、バネ性（弾性）を有しており、回転体４の表面を押圧接触する状態に配設され

ている。接触部３は、前記バネ性により回転体４との接触を滑らかに行うことができる。本実施の形態では、接触部３はフッ素樹脂粉末とその他の添加物を圧縮成形したフッ素樹脂を主成分とする成形体を焼成した焼成体であり、円環形状の材料を弾性体１の端面に接着し、該接着した材料を後加工することで突起を成形したものである。

【００２２】

ここで、振動子は、上記の弾性体１、圧電素子２、接触部３から構成される。振動子は、圧電素子２に交流電圧（駆動信号）が印加されることにより、偶数次数の面内方向及び奇数次数の面外方向の駆動振動、または、奇数次数の面内方向及び偶数次数の面外方向の駆動振動を形成する。

【００２３】

回転体４は、内部に空洞を有する球殻形状に構成されると共に、磁性材料から形成されており、振動子により発生した振動を外部出力として取り出す部材である。回転体４は、球体の一部が弾性体１の内周部に嵌り込むことで、接触部３に押圧接触されている。尚、弾性体１は、磁性材料に限定されるものではなく、磁性材料を一部有する材料から形成してもよい。また、弾性体１は、球殻形状に限定されるものではなく、半球形状或いは球形状に構成してもよい。

【００２４】

加圧付勢部材５は、円環形状の弾性体１の中心線上に配置された永久磁石であり、円柱形状に構成されている。加圧付勢部材５は、上面部が回転体４に対し非接触となる位置で下面部が基台７に接着固定されている。加圧付勢部材５は、磁性体である回転体４との間で磁力を発生している。

【００２５】

ここで、加圧付勢部材５は、厚み方向に磁化された円柱形状の永久磁石として構成されている。そのため、弾性体１、支持部材６、基台７を磁性体により形成してヨークを構成すると、基台７との接着面側の磁極から発生する磁束を反対側の磁極の近くまで誘導し、効率良く回転体４に対する吸引力を増大させることが可能である。

【００２６】

他方、加圧付勢部材５に永久磁石を用いる方法以外では、次のような方法が想定される。静電気により回転体を吸引し支持する方法。電磁石により回転体を吸引し支持する方法。回転体を負圧吸引し支持する方法。回転体をワイヤ牽引し支持する方法。回転体を球面軸受けを介して支持する方法。回転体を両側から複数の振動子により挟持する方法。

【００２７】

支持部材６は、底面部分・周壁部分・周縁部分から構成されるカップ形状に構成されている。支持部材６において、カップ形状部の周縁部分が振動子を構成する弾性体１の内周面に一体的に固着され、カップ形状部の底面部分が基台７に固定部材１１を介して取り付けられている。これにより、基台７に取り付けられた加圧付勢部材５と、弾性体１に配設された接触部３との相互位置関係を決定している。換言すれば、基台７に対する振動子の位置を決定している。支持部材６の詳細構造については図２に基づき後述する。

【００２８】

ここで、支持部材６は、振動子の面内方向及び面外方向に対して共に可撓性を有する材料から形成されている。また、支持部材６は、振動子側に対する固定箇所（支点）と基台側に対する固定箇所（支点）とが、図１に示すように振動子の径方向及び軸方向に間隔を有する位置関係に構成されている。

【００２９】

機能ユニット８は、回転体４の内部に収納されている。機能ユニット８は、指向性を有する情報の交換機能を有する情報交換素子である。情報交換素子としては、レンズ、画像センサ、近接センサ、人体感知センサ、赤外線センサ、受信機等の受動的な情報交換素子や、画像表示器、発光体、スピーカ、液体吐出素子等の能動的な情報交換素子が含まれる。

【００３０】

また、振動波駆動装置は、回転体４の位置検出手段としてＬＥＤ９及び光学素子１０を備えている。ＬＥＤ９は、回転体４の表面に向けて発光する。光学素子１０は、ＬＥＤ９の発光に伴う回転体４からの反射光を受光する。振動波駆動装置の制御部（不図示）は、光学素子１０の出力に基づき、回転体４の表面からの反射光の連続画像の変化を検出し信号処理することで、回転体４の移動方向、移動量を算出する。

【００３１】

尚、回転体４の位置検出手段としては、回転体４に加速度センサ、角速度センサ、磁気センサ等を搭載し、これら複数種のセンサを複合化した多軸位置検出システム（不図示）を構成してもよい。

【００３２】

次に、振動波駆動装置の振動子により励振される面外曲げ振動及び面内曲げ振動と駆動原理について説明する。

【００３３】

図３（ａ）は、奇数次数である面外曲げ振動を示す斜視図、図３（ｂ）は、偶数次数である面内曲げ振動を示す斜視図である。

【００３４】

図３（ａ）、（ｂ）において、上記図１に示した振動子を構成する圧電素子２に交流電圧を印加すると、圧電素子２は周方向に伸縮するため、振動子全体としては曲げ変形を行う。また、圧電素子２に印加する交流電圧の周波数を振動子の固有振動数と一致させることで、図３（ａ）に示す奇数次数である面外方向の曲げ振動または図３（ｂ）に示す偶数次数である面内方向の曲げ振動の変位が拡大する。

【００３５】

図３（ａ）、（ｂ）から分かるように、振動子を構成する圧電素子２の表面粒子は、面内曲げ振動の腹部ではリング面内の径方向に変位し、面外曲げ振動ではリング面外方向に変位する。ここで、面内曲げ振動と面外曲げ振動の両方の固有振動数を略一致させておけば、同一周波数で面内曲げ振動と面外曲げ振動を同時に発生させることができる。この結果、振動子を構成する弾性体１に配設された接触部３に楕円運動が発生すれば、上記図１に示したように、接触部３から押圧状態に接触された回転体４を摩擦駆動することができる。

【００３６】

図４（ａ）は、振動子に発生させる振動次数（波数）及びその位置位相（空間的位相）を示す模式図、図４（ｂ）は、面外振動の空間的位相差を９０度ずらした状態を示す模式図である。図５（ａ）は、振動子のＸ軸回りの送り運動を示す斜視図、図５（ｂ）は、振動子のＹ軸回りの送り運動を示す斜視図、図６は、振動子のＺ軸回りの送り運動を示す斜視図である。

【００３７】

図４乃至図６において、図４に示すように、振動子（圧電素子２）を模式的に図示した外側及び内側の円環の中心から放射状に延びる実線及び破線で表した直線部（実線部及び破線部）は、振動の腹を示している。実線部と破線部で振動位相は逆となる。外側の円環は、面外曲げ振動について示したものであり、波数３である。また、内側の円環は、面内振動について示したものであり、波数２である。

【００３８】

回転体４に接触する接触部３を構成する突起３ａ～３ｄは、図４に示す位置に４箇所存在する。尚、突起３ａ～３ｄは模式的に円形で示している。突起３ａ～３ｄは、面内振動の腹位置に存在するが、突起３ａ、３ｃにおける面内振動と突起３ｂ、３ｄにおける面内振動とは、逆位相である。また、図４（ａ）にて面外振動との位相関係について見ると、突起３ａと突起３ｃは振動の腹であるが、位相は逆である。一方、突起３ｂと突起３ｄは面外振動の節となり、面外変位を発生しない。

【００３９】

従って、面内振動変位と面外振動変位との間に略９０度の時間位相差を与えれば、図５

（ａ）に示すように、突起３ａと突起３ｃではＸ軸回りの円運動または楕円運動を行う。面内振動変位と面外振動変位との間が略－９０度の時間位相差とすれば、突起３ａと突起３ｃでは逆向きの円運動または楕円運動を行う。一方、突起３ｂと突起３ｄにおいては面外変位がないため、面内振動による軸に対して略垂直な方向への直線運動を行うのみである。

【００４０】

以上より、振動子を構成する弾性体１上の接触部３に押圧接触される回転体４は、Ｘ軸回りに回転し、面外振動と面内振動の時間位相差を切り替えれば、回転体４の回転方向を反転させることができる。

【００４１】

一方、面外振動の空間的位相差を９０度ずらすと、即ち、図４（ｂ）に示す位置位相の面外振動を発生させると、図５（ｂ）に示すように、突起３ｂ、３ｄにおいてＹ軸（面内Ｘ軸に直交する軸）回りの円運動または楕円運動を発生する。一方、突起３ａ、３ｃは軸に対して略垂直な方向への直線運動を行う。従って、突起３ａ、３ｂ、３ｃ、３ｄに押圧された回転体４はＹ軸回りに回転する。

【００４２】

更に、Ｘ軸駆動及びＹ軸駆動に用いている空間的に９０度の位相差をもった２つの面外振動を、９０度の時間的位相差を与えて励振すれば、図６に示すように、突起には振動子の周方向に沿った同じ向きの楕円運動を生ずる。これにより、振動子を構成する弾性体１の上面内周側の接触部３に接触した球殻形状の回転体４を、振動子の中心軸回り、即ちＺ軸回りに摩擦駆動することができる。

【００４３】

以上より、振動波駆動装置においては回転体４を３軸（Ｘ軸、Ｙ軸、Ｚ軸）回りに駆動することが可能となる。

【００４４】

尚、本実施の形態では、面内振動及び面外振動の例として曲げ振動モードを例に挙げているが、これに限定されるものではない。面内振動としては、面内方向への変位を伴う振動として他に、伸縮振動、ねじり振動などを利用することもできる。また、面外振動としては、面外方向への変位を伴う振動として他に、ねじり振動などを利用することもできる。

【００４５】

図２は、本実施の形態に係る振動波駆動装置のステータ部の構成を示す断面図である。

【００４６】

図２において、振動波駆動装置のステータ部を円環形状の弾性体１の中心線を通る平面で切断した縦断面を示している。弾性体１、圧電素子２、接触部３から構成される振動子が、底面部分・周壁部分・周縁部分から構成されるカップ形状の支持部材６を介して基台７に設置される。振動子、支持部材６、基台７からステータ部が構成される。

【００４７】

支持部材６におけるカップ形状部を構成する周壁部分は、弾性体１の中心軸に対して所定角度（本実施の形態では約４０度）を成して底面部分から延出されている。また、支持部材６におけるカップ形状部を構成する周縁部分は、弾性体１の内周部に接着剤により固着されている。また、支持部材６におけるカップ形状部を構成する底面部分は、樹脂層を介して基台７に固定されている。

【００４８】

弾性体１に対する支持部材６の周縁部分の固着位置は、支持部材６の構造が面外振動に影響を及ぼさない位置、つまり振動子が励振する面外振動の中立面近傍に略一致している。また、弾性体１の内周部に支持部材６を固着（接合）することにより、弾性体の外周部を支持部材で支持する場合の装置全体の大径化（容積拡大）を防止し、小型化を可能としている。更に、弾性体１の内周部に図示のような径方向の段差を設け、弾性体１と支持部材６を接合する構造とすることにより、前記段差を基準とした弾性体１と支持部材６の容

易な位置決めによる固着を可能としている。

【００４９】

一方、支持部材６の構造による面内振動への影響は、振動子の面内振動モードの共振周波数によって評価することができる。即ち、支持部材の質量が小さく且つ面内振動モードの共振周波数が支持部材の有無によって変化しない構造が、面内振動への影響の少ない理想的な設計と言うことができる。

【００５０】

そこで、本実施の形態では、従来は振動子の面内方向に延出していた支持部材６を弾性体１の中心軸に対して約４０度の角度を成して数１０μｍの厚さで延出させ、カップ形状部の径方向の長さ寸法を管理する。これにより、上記面内振動への影響の大きさを操作できる構造としている。

【００５１】

次に、発明者が行った有限要素法による固有値（面内振動モードの共振周波数）の解析結果について説明する。

【００５２】

図７は、有限要素法による固有値解析結果を示す図である。

【００５３】

図７において、横軸は、支持部材（支持板）６のカップ形状部の径方向の長さを示す。縦軸は、支持部材が無い（図７では「支持板レス」と図示する）振動子モデルを基準としたときの支持部材接合振動子モデルにおける面内振動モードの共振周波数のシフト量をパーセンテージで示したものである。これによると、支持部材６のカップ形状部の径方向の長さを延ばすと、面内振動モードの共振周波数のシフト量の変化は急峻に下がり、０％に漸近することが分かる。

【００５４】

上述した固有値解析結果より、面内振動モードの共振周波数の支持部材有無によるシフト量を所定％（本実施の形態では３％）以下に抑制している。また、このとき、支持部材６の径方向の長さに対する感度が鈍感な領域（図７の特性曲線における横軸に漸近した領域）で設計値（矢印で示す値）が決定されている。勿論、支持部材６の厚さに関しても同様の考えで設計されている。

【００５５】

一方、円環形状の弾性体１の製造方法としては、丸棒からの削り出し或いは粉末成型から焼結といった手法を採る。支持部材６を弾性体１と一体化する場合、削り出しでは高価になり、また焼結では支持部材６が薄いためクラックが入りやすいといった問題が生じる。そのため、支持部材６は弾性体１とは別部品として加工し、支持部材６と弾性体１を接合した方が安定した生産が可能である。本実施の形態では、支持部材６の材質はステンレスであり、プレス加工によりカップ形状を成形している。

【００５６】

図８は、変形例に係る多自由度の振動波駆動装置のステータ部の構成を示す断面図である。

【００５７】

図８において、振動波駆動装置のステータ部を円環形状の弾性体１の中心線を通る平面で切断した縦断面を示している。弾性体１、圧電素子１２、接触部３から構成される振動子が、接触部３が固着されている面と反対側の面（以下底面）において、扁平なカップ形状の支持部材１６を介して基台７に設置される。振動子、支持部材１６、基台７からステータ部が構成される。

【００５８】

電気－機械エネルギ変換素子としての圧電素子１２が、弾性体１の底面及び内周面の２箇所に分割配置されている。即ち、圧電素子１２は、底面圧電素子部１２ａ、内周面圧電素子部１２ｂから構成されている。底面圧電素子部１２ａは面外方向の振動励振用、内周面圧電素子部１２ｂは面内方向の振動励振用となる。圧電素子１２を分割する理由は、面

内振動発生時の振動子の歪分布を考慮したためであり、面内振動の励振に寄与する内周面圧電素子部１２ｂを歪の大きい位置に配置することで高効率化を図っている。

【００５９】

扁平なカップ形状の支持部材１６は、弾性体１の中心軸に対して直交する面内に拡張された面外方向支持部１６ａ（カップ形状部の底面部分）と、軸方向に延出された面内方向支持部１６ｂ（カップ形状部の周壁部分）に区分されている。支持部材１６は、カップ形状部の周縁部分で弾性体１に対し接着剤により固着され、カップ形状部の底面部分の中央部は樹脂層を介して基台７に固定される。

【００６０】

弾性体１に対する支持部材１６の周縁部分の固着位置は、支持部材１６の構造が面外振動に影響を及ぼさない位置、つまり振動子が励振する面内振動の中立面近傍に略一致している。また、振動子における内周側のスペース（空間部）に支持部材１６が占有する領域を設けないことで、本実施の形態よりも小型化に有利な構成となっている。

【００６１】

以上説明したように、本実施の形態によれば、支持部材が振動子の面内方向及び面外方向に対して共に可撓性を有するため、振動子の機械的性質に影響を及ぼさない構造で振動子を支持することが可能となる。これにより、支持部材の加工精度を落とした設計が可能となり、生産性の向上及びコスト削減を図ることが可能となる。

【００６２】

また、支持部材を振動子の内周側に配置した構造を有すると共に、上記のことから支持部材の設計の自由度が上がるため、振動波駆動装置において支持部材が径方向に占めるスペースを削減でき、振動波駆動装置の小型化を図ることが可能となる。

【００６３】

また、支持部材による機械的インピーダンスの上昇を抑制できるため、振動波駆動装置における駆動の高効率化を図ることが可能となる。

【００６４】

［第２の実施の形態］

本発明の第２の実施の形態は、上述した第１の実施の形態に対して、振動波駆動装置のステータ部が図１５に示す構成を有する点において相違する。本実施の形態のその他の要素は、上述した第１の実施の形態（図１）の対応するものと同一なので、説明を省略する。

【００６５】

図１５は、本実施の形態に係る多自由度の振動波駆動装置のステータ部の構成を示す斜視図である。

【００６６】

図１５において、弾性体１、圧電素子２、接触部３から構成される振動子が、支持部材２６を介して基台７に設置されている状態を示している。振動子、支持部材２６、基台７からステータ部が構成される。

【００６７】

支持部材２６は、面外方向支持部２６ａと面内方向支持部２６ｂに区分されている。面外方向支持部２６ａは、円環形状に構成されており、振動子の内周部に固着されている。面内方向支持部２６ｂは、円筒形状部材を複数箇所で肉抜きした構造を有し、面外方向支持部２６ａの下面部に連接され且つ垂直方向に延出する複数本（本実施の形態では４本）の支柱として構成されており、基台７に固定されている。

【００６８】

図９は、振動波駆動装置の圧電素子２の電極パターンを示す図である。

【００６９】

図９において、圧電素子２の電極パターンのうち、外周側の電極パターンは面外３次振動励振用の駆動相であるＡ相電極、Ｂ相電極のパターンであり、電極ａ１～ａ６、電極ｂ１～ｂ６は面外振動の１／４波長の長さである。一方、内周側の電極パターンは面内振動

励振用の駆動相であるＣ相電極のパターンであり、電極ｃ１～ｃ４は面内振動の半波長の長さである。

【００７０】

圧電素子２に対する分極処理の方向は、図中のプラス（＋）、マイナス（－）で示しており、振動波駆動装置の駆動時には、プラス（＋）とマイナス（－）でそれぞれ同一方向の交流電界が印加される。従って、Ａ相とＢ相は空間的に９０度の空間的位相差を有している。また、Ａ相とＣ相は電極ａ３、ａ６の位置で振動の腹が一致し、Ｂ相とＣ相は電極ｂ１、ｂ４の位置で振動の腹が一致している。

【００７１】

尚、本実施の形態では、面外振動励振用の電極を圧電素子２の外周側に設け、面内振動励振用の電極を圧電素子２の内周側に設ける構成を例に挙げているが、これに限定されるものではない。面外振動励振用の電極を圧電素子２の内周側に設け、面内振動励振用の電極を圧電素子２の外周側に設ける構成としてもよい。

【００７２】

また、１枚の圧電素子に面外振動励振用及び面内振動励振用の電極を形成せず、圧電素子を多層構造化して、各層の圧電素子を面外振動励振用と面内振動励振用に分けてもよい。更には、各層の圧電素子を第１～第ｎの面外振動励振用、第１～第ｎの面内振動励振用に分けてもよい。

【００７３】

また、弾性体の底面に配置した圧電素子による面内振動は、面外振動に比べて小変位となりやすいので、面内振動励振用の圧電素子は、面外振動励振用の圧電素子の面積に比べて大きい面積とするか、または層数を多くしてもよい。勿論、上述した図８の例のように圧電素子を複数に分割して、より効率的な配置にしてもよい。

【００７４】

次に、振動波駆動装置の基本的な駆動パターンについて、振動波駆動装置の回転軸と各駆動相の位相関係を整理し図１０に示す。振動子上の接触部３による回転体に対する保持トルクを開放する定在波クラッチ駆動も図１０に付記する。

【００７５】

図１０は、振動波駆動装置の回転軸と各駆動相の位相関係を示す図である。図１１は、θ軸及びφ軸を示す図である。

【００７６】

図１０及び図１１において、図１０に示すように、振動波駆動装置の回転軸と各駆動相（面外振動Ａ相、面外振動Ｂ相、面内振動Ｃ相）の位相関係を表している。回転軸は、Ｘ軸、Ｙ軸、Ｚ軸の他にθ軸を設定している。θ軸は、ＸＹ平面上において原点を通りＸ軸と角度θを成す座標軸と定義し、駆動相の位相関係の違いからθの大きさによって２つの領域に区分けしている。尚、接触部３を構成する４つの突起３ａ、３ｂ、３ｃ、３ｄ（図１２参照）は、Ｘ軸、Ｙ軸上に存在し、圧電素子２の電極パターンと３軸（Ｘ軸、Ｙ軸、Ｚ軸）及びθ軸との位置関係は図９に従うものとする。

【００７７】

更に、振動子の特徴的な駆動パターンとしてφ軸の駆動パターンを設定している。φ軸は、図１１に示すように回転体の中心を含むＸＹ平面と回転体の中心で交わる軸と定義し、３相（Ａ相、Ｂ相、Ｃ相）の位相関係から任意に角度φの大きさを制御することができる。また、振動子上の接触部３による回転体に対する保持力を下げる脱力メカニズムとして、定在波クラッチ駆動（定在波により回転体を浮上させることで振動子上の接触部３による回転体に対する保持力を下げる駆動）を設定している。

【００７８】

振動波駆動装置の回転体における３軸回りの駆動方法については、先に説明した通りである。２つの駆動相に励振することにより回転体が駆動され、振動子を構成する圧電素子２に印加する交流電圧の振幅及び駆動周波数により回転体の回転数を制御することが可能である。Ｘ軸、Ｙ軸を回転軸とする駆動においては、接触部３における１８０度の位相差

で対向する位置の突起が同一方向の駆動力を発生し、残り２つの突起は直線運動による滑り機能を果たす。これにより、回転体と接触部３との間の摺動損失の低減が図られている。

【００７９】

θ軸を回転軸とする駆動においては、３つの駆動相に励振することにより回転体が駆動される。接触部３における１８０度の位相差で対向する２つの突起を一組の突起対とすると、Ｘ軸上及びＹ軸上に２つの突起対が形成される。各突起対がＸ軸及びＹ軸方向の駆動力を発生することにより、θ軸駆動が行われる。

【００８０】

次に、振動波駆動装置の回転体のθ軸駆動原理について詳細に説明する。

【００８１】

図１２（ａ）は、Ａ相・Ｂ相・Ｃ相を用いたθ軸駆動時の振動子に発生させる振動次数及びその位置位相を示す模式図、図１２（ｂ）は、θ軸駆動時の振動子の送り運動を示す斜視図である。

【００８２】

図１２（ａ）、（ｂ）において、３軸（Ｘ軸、Ｙ軸、Ｚ軸）の方向は図９に対応している。図１２（ａ）に示すように、Ｘ軸上及びＹ軸上に配置された接触部３を構成する突起３ａ～３ｄは、面内振動の腹の位置と一致し、面外振動は図４（ａ）の位置位相からＺ軸回りにずらした位置で発生される。このとき、各突起３ａ～３ｄは腹と節の間に位置し、突起３ａ、３ｂ及び突起３ｃ、３ｄはそれぞれ同位相で面外方向に振動し、突起３ａと突起３ｃは逆位相の面外振動を発生する。

【００８３】

従って、図１２（ｂ）に示すように、面内振動変位と面外振動変位の間に略９０度の時間位相差を与えれば、突起３ａと突起３ｃにおいてはＸ軸回りの円運動または楕円運動を行う。また、突起３ｂと突起３ｄにおいてはＹ軸回りの円運動または楕円運動を行う。これにより、Ｘ軸回りの駆動力とＹ軸回りの駆動力が交互に回転体に伝達される。駆動力を発生する振動振幅は、回転体の半径Ｒに対し十分小さいため、高周波でＸ軸及びＹ軸駆動を繰り返すことでθ軸駆動が可能である。

【００８４】

面外振動の定在波の位置位相をずらす手法としては、面外振動のＡ相（電極ａ１～ａ６）とＢ相（電極ｂ１～ｂ６）を同位相または逆位相とすることで励振させる。これにより、面外振動の定在波の位置位相を、個別の振幅を有するＡ相定在波及びＢ相定在波の重ね合わせにより、片相（Ａ相またはＢ相）のみによる定在波とは異なる位置位相にずらすことができる。このとき、Ａ相とＢ相の振幅が同じであれば、面外振動の位置位相はＺ軸回りに１／８波長分ずれ、角度θは４５度或いは１３５度となる。

【００８５】

また、Ａ相とＢ相の振幅比を変えることにより、角度θを任意の大きさに設定することが可能である。従来技術の圧電素子における１／２波長の長さを有する電極パターンでは、円環形状の弾性体内で波長にむらが生じ角度θを精度よく設定することができなかった。これに対し、本実施の形態では、圧電素子２における面外振動励振用の電極パターンの長さを１／４波長としている。

【００８６】

以上より、振動波駆動装置の回転体のθ軸回りの駆動が可能となる。

【００８７】

更に、本実施の形態の振動子を用いると、回転体の中心を含むＸＹ平面と回転体の中心で交わるφ軸を回転軸とする回転体の駆動が可能である。φ軸を回転軸とする回転体の駆動は、３つの駆動相に励振することにより行う。Ｚ軸回りの駆動力とＸ軸方向或いはＹ軸方向の駆動力を発生することにより、φ軸駆動が行われる。

【００８８】

次に、振動波駆動装置の回転体のφ軸駆動原理について詳細に説明する。

【００８９】
図１３は、φ軸駆動時の振動子の送り運動を示す斜視図である。
【００９０】
まず、上記図５（ａ）に示すように、面内振動変位と面外振動変位の間に略９０度の時間位相差を与えれば、接触部３を構成する突起３ａと突起３ｃでは、Ｘ軸回りの円運動または楕円運動を行う。接触部３を構成する突起３ｂ、３ｄにおいては、面外変位がないため、面内振動による軸に対して略垂直な方向への直線運動を行いＸ軸駆動される。
【００９１】
このとき、Ｘ軸駆動に用いている面外振動に対して第二の面外振動に略９０度の時間位相差を与え励振すると、振動子に進行波が形成される。これに伴い、４つの突起３ａ～３ｄは周方向の送り運動を開始し、図１３に示すようなＸ軸駆動力とＺ軸駆動力を合成した円運動または楕円運動を行う。突起３ｂ、３ｄは、第二の面外振動と面内振動が同位相或いは逆位相になるため、ＸＺ平面上に軌跡を投影すると、第二の面外振動と面内振動の振動方向ベクトルを足し合わせた方向への直線運動を行うのみであり、Ｙ軸回りの駆動力を発生しない。
【００９２】
以上より、振動波駆動装置の回転体のφ軸回りの駆動が可能となる。
【００９３】
ここまで述べてきたように、振動波駆動装置において駆動相の選択と駆動相間の位相関係を決定することにより、Ｘ軸、Ｙ軸、Ｚ軸、θ軸、φ軸の各軸回りに回転体を任意に駆動することが可能である。
【００９４】
振動波駆動装置の制御部（不図示）は、回転体の現在位置を常時検出する位置検出センサ（図１のＬＥＤ９及び光学素子１０参照）から得られる位置データから、回転体が目標位置まで到達するための回転軸を算出し、回転体の駆動パターンを選択する。そして、選択された駆動パターンがＸ軸・Ｙ軸・Ｚ軸駆動のときは、駆動周波数、駆動電圧、駆動に用いる２相の位相関係を操作することにより駆動時の回転数を制御することができる。また、選択された駆動パターンがθ軸・φ軸駆動のときは、駆動周波数、駆動電圧により駆動時の回転数を制御することができる。
【００９５】
次に、回転体に押圧接触する接触部３を構成する突起の数についても触れておく。
【００９６】
接触部３の４つの突起３ａ、３ｂ、３ｃ、３ｄで回転体を支持する場合、回転体に対する突起の接触面が加工精度のバラツキなどによって同一平面から外れた位置にあると、１つの突起で回転体が浮き上がり非接触状態になってしまう。これを回避するためには、突起にバネ性をもたせ回転体の浮き上がりにバネを追従させればよい。しかし、長時間の連続駆動などにより突起の磨耗量が増大してくると、バランスの良い接触面の面圧分布が崩れ、安定した接触が得られなくなる。そのため、回転体を３つの突起で支持する３点支持が、常に安定した接触が得られるため有効である。
【００９７】
図１４（ａ）は、回転体３点支持駆動時の振動子に発生させる振動次数及びその位置位相を示す模式図、図１４（ｂ）は、回転体３点支持駆動時の振動子の送り運動を示す斜視図である。
【００９８】
図１４（ａ）、（ｂ）において、接触部３を３つの突起３ａ、３ｄ、３ｅから構成し、回転体を３つの突起３ａ、３ｄ、３ｅで３点支持することで駆動する場合を想定する。即ち、図１４（ａ）に示すように、Ｘ軸上及びＹ軸上に配置された突起３ａ、３ｄは、振動子（圧電素子２）による面内振動の腹の位置と一致し、Ｘ軸に対し角度４５度の位置に設けられた突起３ｅは、面内振動の節の位置と一致している。
【００９９】

従って、突起３ａ、３ｄは、先に述べてきた通り独立してＸ軸及びＹ軸方向の駆動力を発生することができる。Ｘ軸回りの駆動においては、図１４（ｂ）に示すように、突起３ａがＸ軸回りの円運動または楕円運動を行う。突起３ｄは面外変位がないため面内振動による直線運動のみを行い、突起３ｅは面内振動がないため面外振動による直線運動のみを行う。尚、回転体３点支持のときは、θ軸回りの駆動において角度θの範囲が狭められ、角度θの範囲は０＜θ＜９０に限定される。

【０１００】

ここまで説明してきたように、面外３次振動モードと面内２次振動モードの組み合せによる振動波駆動装置における駆動パターンでは、面内振動であるＣ相は定在波としてのみの使用となる。従って、上記図１５に示したように、支持部材２６の面内方向支持部２６ｂを、円筒形状部材を複数箇所で肉抜き（面内振動の山に相当する領域を肉抜き）した構造とする。即ち、略９０度間隔で存在する面内振動方向の定在波の節位置に設けられた４箇所の支柱である面内方向支持部２６ｂにより、振動子を支持する。これにより、Ｃ相の面内振動の振幅を効率良く得ることができる。

【０１０１】

尚、本実施の形態は、面内方向支持部２６ｂにより振動子の面内振動方向の定在波の節位置を支持する構成に限定されるものではない。面外方向支持部２６ａにより振動子の面外振動方向の定在波の節位置を支持する構成としてもよい。この場合は、面外方向支持部２６ａを周方向に沿った複数箇所で肉抜きした切り欠きを有する円環形状に構成し、面内方向支持部２６ｂを面外方向支持部２６ａに連接した円筒形状に構成すればよい。

【０１０２】

以上説明したように、本実施の形態によれば、上記第１の実施の形態と同様に、振動子の機械的性質に影響を及ぼさない構造で振動子を支持でき、生産性の向上及びコスト削減を図ることが可能となる。また、振動波駆動装置の小型化及び駆動の高効率化を図ることが可能となる。

【０１０３】

［他の実施の形態］

上記第１及び第２の実施の形態では、振動波駆動装置単体について説明したが、本発明は、振動波駆動装置を駆動源として備え、振動子と回転体との相対移動により得られる駆動力により被駆動体を駆動する振動波駆動機器にも適用することができる。例えば、撮像装置におけるレンズの駆動など、各種技術分野に適用することができる。

【０１０４】

上記第１及び第２の実施の形態では、接触部を構成する突起の数を４個或いは３個とした場合を例に挙げたが、接触部を構成する突起の数は特定の個数に限定されるものではない。接触部を構成する突起の数は本発明の主旨を逸脱しない範囲で任意の個数とすることができる。

【図面の簡単な説明】

【０１０５】

【図１】本発明の第１の実施の形態に係る多自由度の振動波駆動装置の全体構造を示す断面図である。

【図２】振動波駆動装置のステータ部の構成を示す断面図である。

【図３】（ａ）は、奇数次数である面外曲げ振動を示す斜視図、（ｂ）は、偶数次数である面内曲げ振動を示す斜視図である。

【図４】（ａ）は、振動子に発生させる振動次数及びその位置位相を示す模式図、（ｂ）は、面外振動の空間的位相差を９０度ずらした状態を示す模式図である。

【図５】（ａ）は、振動子のＸ軸回りの送り運動を示す斜視図、（ｂ）は、振動子のＹ軸回りの送り運動を示す斜視図である。

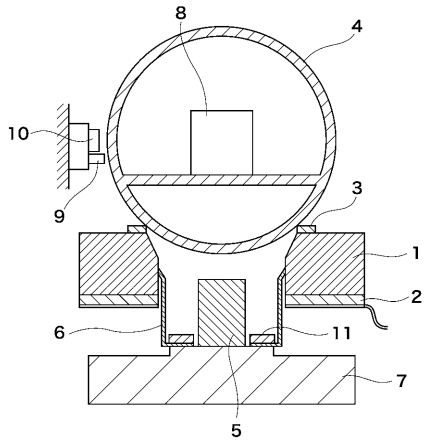
【図６】振動子のＺ軸回りの送り運動を示す斜視図である。

【図７】有限要素法による固有値解析結果を示す図である。

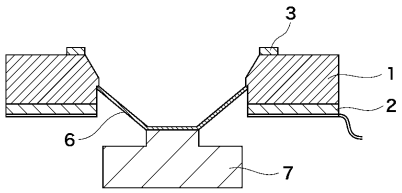
【図８】変形例に係る振動波駆動装置のステータ部の構成を示す断面図である。

【図９】本発明の第２の実施の形態に係る多自由度の振動波駆動装置の圧電素子の電極パターンを示す図である。
【図１０】振動波駆動装置の回転軸と各駆動相の位相関係を示す図である。
【図１１】θ軸及びφ軸を示す図である。
【図１２】（ａ）は、Ａ相・Ｂ相・Ｃ相を用いたθ軸駆動時の振動子に発生させる振動次数及びその位置位相を示す模式図、（ｂ）は、θ軸駆動時の振動子の送り運動を示す斜視図である。
【図１３】φ軸駆動時の振動子の送り運動を示す斜視図である。
【図１４】（ａ）は、回転体３点支持駆動時の振動子に発生させる振動次数及びその位置位相を示す模式図、（ｂ）は、回転体３点支持駆動時の振動子の送り運動を示す斜視図である。
【図１５】振動波駆動装置のステータ部の構成を示す斜視図である。
【図１６】（ａ）は、第１の従来例に係る多自由度振動波モータの構成を示す図、（ｂ）は、第２の従来例に係る多自由度振動波モータの構成を示す断面図である。
【図１７】（ａ）、（ｂは、第３の従来例に係る多自由度振動波モータの構成を示す断面図である。
【符号の説明】
【０１０６】
１　弾性体（振動子）
２　圧電素子（電気－機械エネルギ変換素子、振動子）
３　接触部
４　回転体
６　支持部材
７　基台
１２　圧電素子（電気－機械エネルギ変換素子、振動子）
１２ａ　底面圧電素子部
１２ｂ　内周面圧電素子部
１６　支持部材
１６ａ　面外方向支持部
１６ｂ　面内方向支持部
２６　支持部材
２６ａ　面外方向支持部
２６ｂ　面内方向支持部

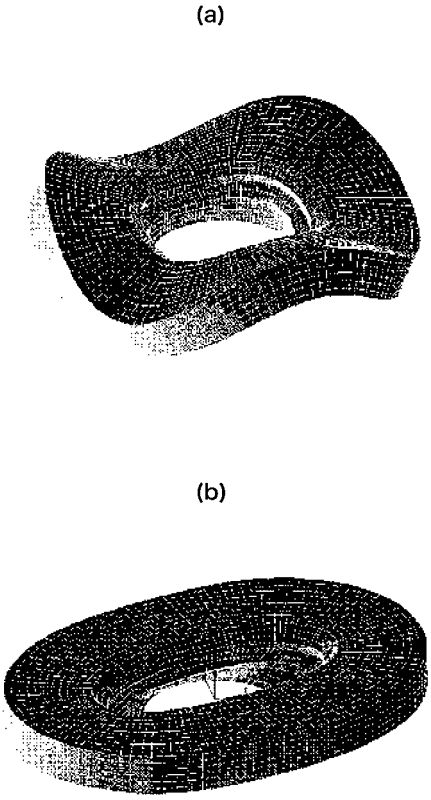
【図１】


8
4
10
9
3
1
2
6
11
7
5

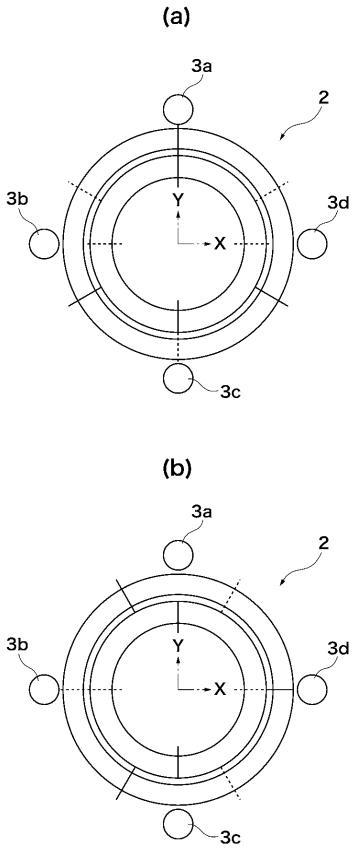
【図２】


3
1
2
6
7

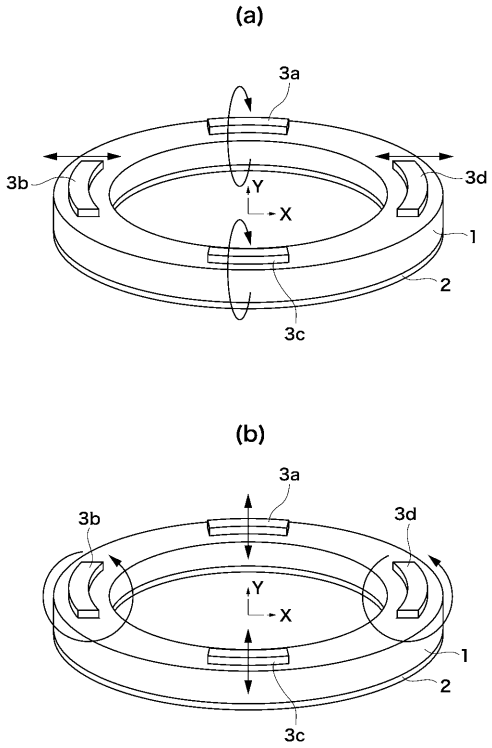
【図３】


(a)
(b)

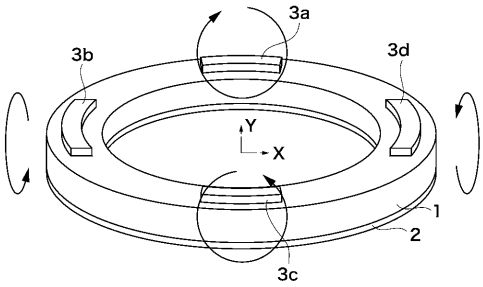
【図４】


(a)
3a
2
3b
Y
X
3d
3c
(b)
3a
2
3b
Y
X
3d
3c

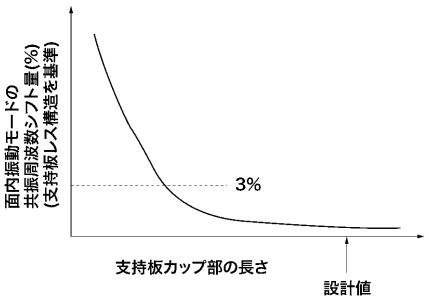
【図５】


(a)
3a
3b
Y
X
3d
1
2
3c
(b)
3a
3b
3d
Y
X
1
2
3c

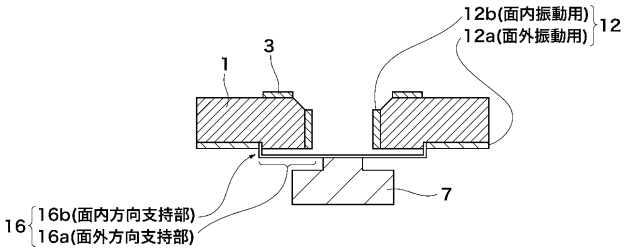
【図６】



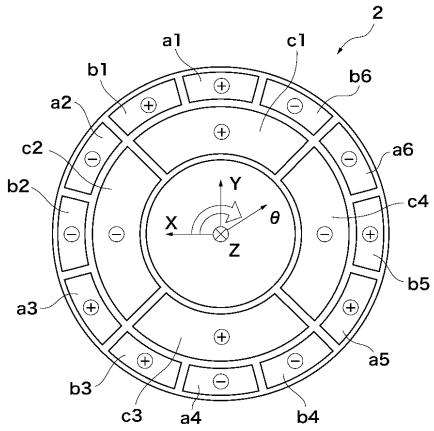
【図７】



【図８】



【図９】

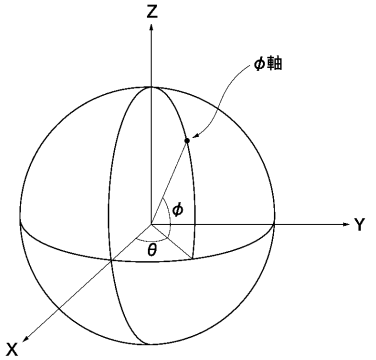


【図１０】

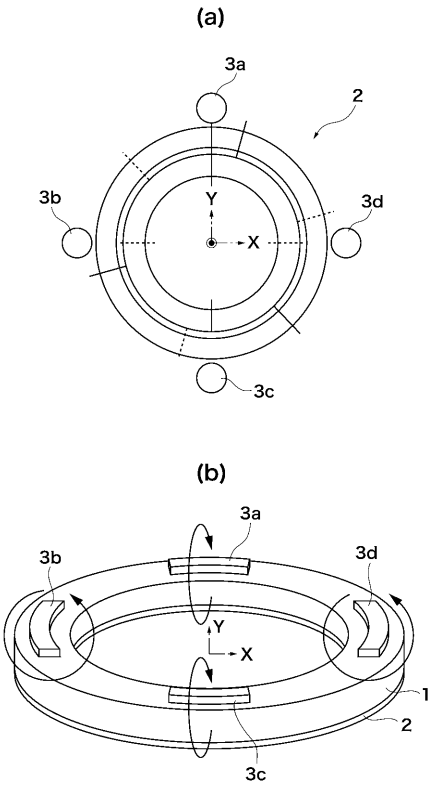
回転軸と各駆動相の位相関係

回転軸	面外振動A相	面外振動A相	面内振動C相
X軸	0度	使用せず	+90度 (反転　-90度)
y軸	使用せず	0度	+90度 (反転　-90度)
z軸	0度	+90度 (反転　-90度)	使用せず
θ軸 (0<θ<90)	0度	0度	+90度 (反転　-90度)
θ軸 (90<θ<180)	0度	180度	+90度 (反転　-90度)
φ軸	0度	+90度 (反転　-90度)	+90度 (反転　-90度)
定在波クラッチ	使用せず	使用せず	0度

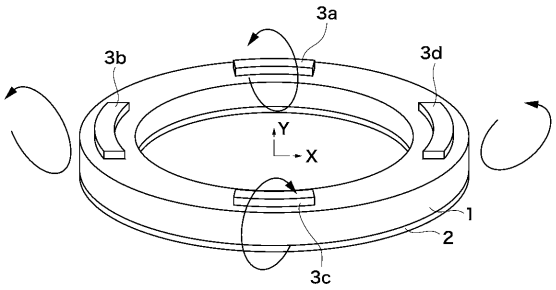
【図１１】



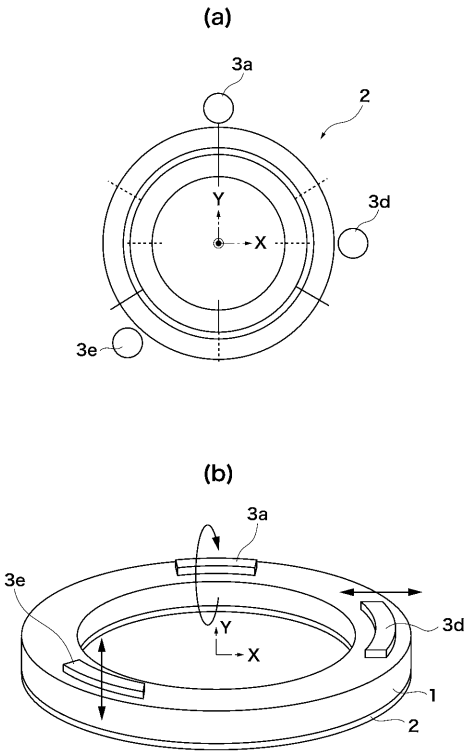
【図１２】



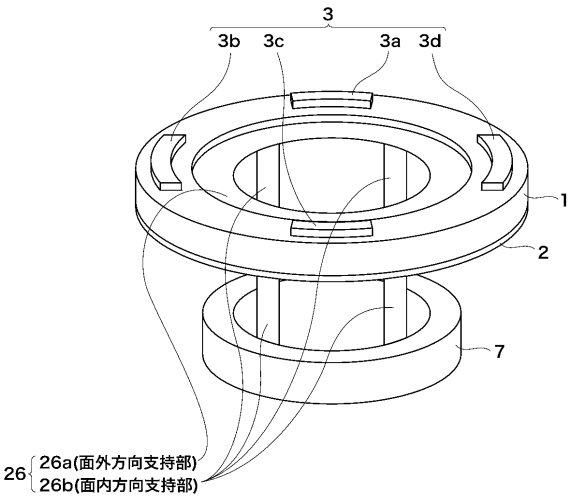
【図１３】



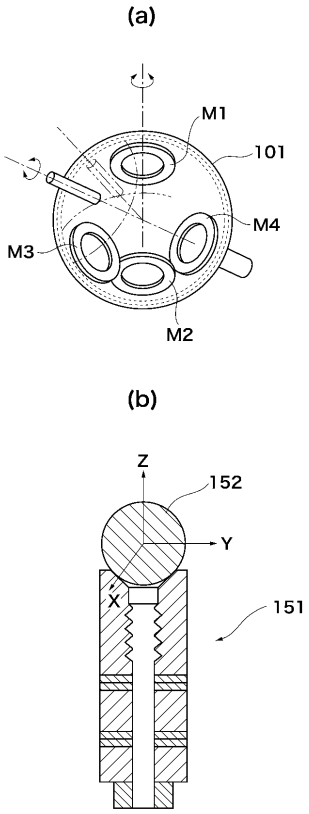
【図１４】



【図１５】

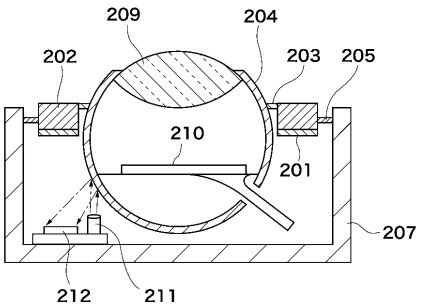


【図１６】

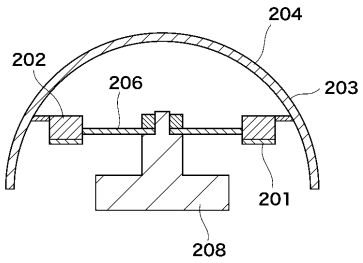


【図１７】

(a)



(b)



フロントページの続き

(72)発明者　森　敬夫
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号　キヤノン株式会社内
(72)発明者　月本　貴之
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号　キヤノン株式会社内

Ｆターム(参考) 2H044 DB07
5H680 AA06 AA14 AA19 BB01 BB12 BB17 BC01 CC02 CC06 DD23
DD64 DD67 DD73 DD87