(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第3614076号
(P3614076)

(45)発行日　平成17年1月26日(2005.1.26)　(24)登録日　平成16年11月12日(2004.11.12)

(51)Int.Cl.[7]	F I		
H02N 2/00	H02N	2/00	C
G04C 3/00	G04C	3/00	C
G04C 3/12	G04C	3/12	A
H01L 41/09	H01L	41/08	K
	H01L	41/08	U

請求項の数 22　(全 21 頁)

(21)出願番号　特願2000-74570(P2000-74570)
(22)出願日　平成12年3月16日(2000.3.16)
(65)公開番号　特開2001-268953(P2001-268953A)
(43)公開日　平成13年9月28日(2001.9.28)
審査請求日　平成15年1月23日(2003.1.23)

(73)特許権者　000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区西新宿２丁目４番１号
(74)代理人　100098084
弁理士　川▲崎▼　研二
(72)発明者　宮澤　修
長野県諏訪市大和３丁目３番５号　セイコーエプソン株式会社内
(72)発明者　橋本　泰治
長野県諏訪市大和３丁目３番５号　セイコーエプソン株式会社内
(72)発明者　古畑　誠
長野県諏訪市大和３丁目３番５号　セイコーエプソン株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】圧電アクチュエータ、時計、携帯機器および圧電アクチュエータの駆動方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

前記振動板の長手方向の一端部が駆動対象に当接するように前記振動板を振動可能に支持する支持部材と、

前記圧電素子に電力を供給することにより、該圧電素子を伸縮させて前記振動板を振動させる駆動手段とを具備し、

前記振動板は、前記圧電素子の伸縮により、前記長手方向に伸縮する縦振動、および前記長手方向と直交する幅方向に揺動する屈曲振動を生じるようになされており、これらの縦振動と屈曲振動とが組合わさった振動による前記一端部の変位によって前記駆動対象を駆動する圧電アクチュエータであって、

前記駆動手段は、前記振動板の前記縦振動の共振周波数および前記屈曲振動の共振周波数の間でインピーダンスが極大値となる周波数と、前記縦振動の共振周波数および前記屈曲振動の共振周波数のうちインピーダンスの高い方の振動の共振周波数との間の駆動周波数で前記圧電素子を駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

【請求項２】

前記駆動手段は、前記振動板の前記縦振動の共振周波数および前記屈曲振動の共振周波数のうち、インピーダンスの高い方の振動の共振周波数とほぼ同じ駆動周波数で前記圧電素子を駆動する

ことを特徴とする請求項１に記載の圧電アクチュエータ。
【請求項３】
前記振動板の前記屈曲振動の共振周波数におけるインピーダンスは前記縦振動の共振周波数におけるインピーダンスよりも高く、
前記駆動手段は、前記屈曲振動の共振周波数とほぼ同じ駆動周波数で前記圧電素子を駆動する
ことを特徴とする請求項１に記載の圧電アクチュエータ。
【請求項４】
前記駆動手段は、前記縦振動および前記屈曲振動のうち、インピーダンスが高い方の振動と異なる振動が前記振動板に生じるように前記圧電素子を駆動する
ことを特徴とする請求項２に記載の圧電アクチュエータ。
【請求項５】
前記駆動手段は、前記振動板に生じる前記縦振動および前記屈曲振動のいずれか一方の振動状態を検出し、この検出結果に基づいて前記圧電素子の駆動周波数を制御する
ことを特徴とする請求項１ないし４のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。
【請求項６】
前記圧電素子には、前記振動板の振動により当該圧電素子に生じた電力を前記駆動手段に供給するための電極が設けられており、
前記電極から供給される電力によって前記振動板の振動状態を検出する
ことを特徴とする請求項５に記載の圧電アクチュエータ。
【請求項７】
前記駆動手段は、前記振動板に生じる前記縦振動および前記屈曲振動のいずれか一方の振動周波数を検出し、検出した周波数を前記駆動周波数とする
ことを特徴とする請求項５または６に記載の圧電アクチュエータ。
【請求項８】
前記駆動手段は、前記振動板に生じる前記縦振動および前記屈曲振動のいずれか一方の振動の振幅を検出し、検出した振幅が最大となるように前記駆動周波数を調整する
ことを特徴とする請求項５または６に記載の圧電アクチュエータ。
【請求項９】
前記駆動手段は、前記圧電素子を駆動することにより、この圧電素子を伸縮させて前記振動板に前記長手方向に伸縮する前記縦振動を励起し、
前記振動板は、前記駆動手段により励起された縦振動により、前記屈曲振動が機械的に誘発されるような特性を有しており、これにより前記縦振動と前記屈曲振動とが組合わさった振動が生じるようにし、
前記駆動手段は、前記振動板に生じる前記屈曲振動の共振周波数とほぼ同じ駆動周波数で前記圧電素子を駆動する
ことを特徴とする請求項１に記載の圧電アクチュエータ。
【請求項１０】
前記振動板の前記屈曲振動の共振周波数におけるインピーダンスは、前記縦振動の共振周波数におけるインピーダンスよりも大きい
ことを特徴とする請求項９に記載の圧電アクチュエータ。
【請求項１１】
前記駆動手段は、前記振動板に生じる前記屈曲振動の振動状態を検出し、この検出結果に基づいて、前記屈曲振動の共振周波数とほぼ一致するように前記圧電素子の駆動周波数を制御する
ことを特徴とする請求項９または１０に記載の圧電アクチュエータ。
【請求項１２】
前記圧電素子には、前記振動板の振動により当該圧電素子に生じた電力を前記駆動手段に供給するための電極が設けられており、
前記電極から供給される電力によって前記振動板の振動状態を検出する

ことを特徴とする請求項１１に記載の圧電アクチュエータ。
【請求項１３】
前記圧電素子には、２つの電極部が設けられており、
２つの電極部のいずれか一方は前記振動板の振動により当該圧電素子に生じた電力を前記駆動手段に供給する検出用電極部として設定され、他方は前記圧電素子に前記駆動手段から電力を供給するための供給用電極部として設定されており、
前記検出用電極部から供給される電力によって前記振動板の振動状態を検出する
ことを特徴とする請求項１２に記載の圧電アクチュエータ。
【請求項１４】
前記圧電素子に設けられる２つの前記電極部は、それぞれ前記検出用電極部および前記供給用電極部として設定することが可能であり、
いずれか一方の前記電極部を前記供給用電極部として設定した場合に前記振動板の前記一端部の変位により駆動される前記駆動対象の駆動方向と、他方の前記電極部を前記供給用電極として設定した場合に前記振動板の前記一端部の変位により駆動される前記駆動対象の駆動方向とが異なっており、これにより、２つの前記電極部のいずれを前記供給用電極部として設定するかによって前記駆動対象の駆動方向を変更できるようにした
ことを特徴とする請求項１３に記載の圧電アクチュエータ。
【請求項１５】
前記駆動手段は、前記振動板に生じる前記屈曲振動の振動周波数を検出し、検出した周波数を前記駆動周波数とする
ことを特徴とする請求項１１ないし１４のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。
【請求項１６】
前記駆動手段は、前記振動板に生じる前記屈曲振動の振幅を検出し、検出した振幅が最大となるように前記駆動周波数を調整する
ことを特徴とする請求項１１ないし１４のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。
【請求項１７】
前記圧電素子には、複数の電極部が設けられており、
これらの複数の電極部のうち、いずれかの分極方向が異なり、
前記駆動手段は、該分極方向が異なる電極部を介して前記圧電素子を駆動することにより、この圧電素子を伸縮させて前記振動板に前記縦振動および前記屈曲振動を生じさせる
ことを特徴とする請求項１に記載の圧電アクチュエータ。
【請求項１８】
前記駆動手段は、前記圧電素子を駆動することにより、この圧電素子を伸縮させて前記振動板に前記長手方向と直交する幅方向に揺動する前記屈曲振動を励起し、
前記振動板は、前記駆動手段により励起された屈曲振動により、前記縦振動が機械的に誘発されるような特性を有しており、これにより前記縦振動と前記屈曲振動とが組合わさった振動が生じるようにし、
前記駆動手段は、前記振動板に生じる前記縦振動の共振周波数とほぼ同じ駆動周波数で前記圧電素子を駆動する
ことを特徴とする請求項１に記載の圧電アクチュエータ。
【請求項１９】
前記圧電素子には、振動板の振動を検出するための検出用電極部と、前記圧電素子に電力を供給するための供給用電極部とが設けられており、
前記駆動手段は、前記検出用電極部が検出した振動の波形を整形して駆動波形を生成し、この駆動波形を前記圧電素子に供給することによって当該圧電素子を駆動する
ことを特徴とする請求項１に記載の圧電アクチュエータ。
【請求項２０】
請求項１ないし１９のいずれかに記載の圧電アクチュエータを有することを特徴とする時計。
【請求項２１】

請求項１ないし１９のいずれかに記載の圧電アクチュエータを有することを特徴とする携帯機器。
【請求項２２】
長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、
前記振動板の長手方向の一端部が駆動対象に当接するように前記振動板を振動可能に支持する支持部材とを備え、
前記振動板は、前記圧電素子の伸縮により、前記長手方向に伸縮する縦振動、および前記長手方向と直交する幅方向に揺動する屈曲振動を生じるようになされており、これらの縦振動と屈曲振動とが組合わさった振動による前記一端部の変位によって前記駆動対象を駆動する圧電アクチュエータにおいて、前記圧電素子に電力を供給して前記振動板を振動させる駆動方法であって、
前記振動板の前記縦振動の共振周波数および前記屈曲振動の共振周波数の間でインピーダンスが極大値となる周波数と、前記縦振動の共振周波数および前記屈曲振動の共振周波数のうちインピーダンスの高い方の振動の共振周波数との間の駆動周波数で前記圧電素子を駆動する
ことを特徴とする圧電アクチュエータの駆動方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、圧電アクチュエータ、時計、携帯機器および圧電アクチュエータの駆動方法に関する。
【０００２】
【従来の技術】
圧電素子は、電気エネルギーから機械エネルギーへの変換効率や、応答性に優れていることから、近年、圧電素子の圧電効果を利用した各種の圧電アクチュエータが開発されている。この圧電アクチュエータは、圧電ブザー、プリンタのインクジェットヘッド、あるいは超音波モータなどの分野に応用されている。
【０００３】
図２１は、従来の圧電アクチュエータを用いた超音波モータを模式的に示す平面図である。同図に示すように、この種の超音波モータは、つっつき型と呼ばれるものであって、圧電素子に結合した振動片の先端に、ロータ面を少し傾斜させて接触させてある。このような構成の下、発振部からの交流電圧によって圧電素子が伸縮し、振動片が長さ方向に往復運動すると、ロータの円周方向に分力が発生してロータが回転するようになっている。
【０００４】
【発明が解決しようとする課題】
しかしながら、圧電素子の変位は印加電圧にもよるが微小であり、サブミクロン程度であるのが通常である。このため、なんらかの増幅機構によって変位を増幅してロータに伝達することが行われている。しかし、増幅機構を用いた場合、それ自身を動かすためにエネルギーが消費され、効率が低下するといった問題があるとともに、装置のサイズが大きくなってしまうといった問題もある。
【０００５】
また、圧電アクチュエータは、腕時計のような小型の携帯機器に搭載されることが多く、この場合電池で駆動されるため、消費電力や駆動電圧を低く抑える必要がある。したがって、そのような携帯機器に圧電アクチュエータを組み込む場合には、特に、そのエネルギー効率が高いことが要求される。
【０００６】
本発明は、上記の事情を考慮してなされたものであり、装置の大型化を招くことなく、駆動効率を向上させることが可能な圧電アクチュエータ、これを搭載した時計ならびに携帯機器、および圧電アクチュエータの駆動方法を提供することを目的とする。
【０００７】

【課題を解決するための手段】
上記課題を解決するため、本発明の請求項１に記載の圧電アクチュエータは、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、前記振動板の長手方向の一端部が駆動対象に当接するように前記振動板を振動可能に支持する支持部材と、前記圧電素子に電力を供給することにより、該圧電素子を伸縮させて前記振動板を振動させる駆動手段とを具備し、前記振動板は、前記圧電素子の伸縮により、前記長手方向に伸縮する縦振動、および前記長手方向と直交する幅方向に揺動する屈曲振動を生じるようになされており、これらの縦振動と屈曲振動とが組合わさった振動による前記一端部の変位によって前記駆動対象を駆動する圧電アクチュエータであって、前記駆動手段は、前記振動板の前記縦振動の共振周波数および前記屈曲振動の共振周波数の間でインピーダンスが極大値となる周波数と、前記縦振動の共振周波数および前記屈曲振動の共振周波数のうちインピーダンスの高い方の振動の共振周波数との間の駆動周波数で前記圧電素子を駆動することを特徴としている。
【０００８】
また、請求項２に記載の圧電アクチュエータは、請求項１に記載の圧電アクチュエータにおいて、前記駆動手段は、前記振動板の前記縦振動の共振周波数および前記屈曲振動の共振周波数のうち、インピーダンスが高い方の振動の共振周波数とほぼ同じ駆動周波数で前記圧電素子を駆動することを特徴としている。
さらに、請求項３に記載の圧電アクチュエータは、請求項１に記載の圧電アクチュエータにおいて、前記振動板の前記屈曲振動の共振周波数におけるインピーダンスは前記縦振動の共振周波数におけるインピーダンスよりも高く、前記駆動手段は、前記屈曲振動の共振周波数とほぼ同じ駆動周波数で前記圧電素子を駆動することを特徴としている。
【０００９】
また、請求項４に記載の圧電アクチュエータは、請求項２に記載の圧電アクチュエータにおいて、前記駆動手段は、前記縦振動および前記屈曲振動のうち、インピーダンスが高い方の振動と異なる振動が前記振動板に生じるように前記圧電素子を駆動することを特徴としている。
【００１０】
また、請求項５に記載の圧電アクチュエータは、請求項１ないし４のいずれかに記載の圧電アクチュエータにおいて、前記駆動手段は、前記振動板に生じる前記縦振動および前記屈曲振動のいずれか一方の振動状態を検出し、この検出結果に基づいて前記圧電素子の駆動周波数を制御することを特徴としている。
【００１１】
また、請求項６に記載の圧電アクチュエータは、請求項５に記載の圧電アクチュエータにおいて、前記圧電素子には、前記振動板の振動により当該圧電素子に生じた電力を前記駆動手段に供給するための電極が設けられており、前記電極から供給される電力によって前記振動板の振動状態を検出することを特徴としている。
【００１２】
また、請求項７に記載の圧電アクチュエータは、請求項５または６に記載の圧電アクチュエータにおいて、前記駆動手段は、前記振動板に生じる前記縦振動および前記屈曲振動のいずれか一方の振動周波数を検出し、検出した周波数を前記駆動周波数とすることを特徴としている。
【００１３】
また、請求項８に記載の圧電アクチュエータは、請求項５または６に記載の圧電アクチュエータにおいて、前記駆動手段は、前記振動板に生じる前記縦振動および前記屈曲振動のいずれか一方の振動の振幅を検出し、検出した振幅が最大となるように前記駆動周波数を調整することを特徴としている。
【００１４】
また、請求項９に記載の圧電アクチュエータは、請求項１に記載の圧電アクチュエータにおいて、前記駆動手段は、前記圧電素子を駆動することにより、この圧電素子を伸縮させ

て前記振動板に前記長手方向と直交する幅方向に揺動する前記屈曲振動を励起し、前記振動板は、前記駆動手段により励起された屈曲振動により、前記縦振動が機械的に誘発されるような特性を有しており、これにより前記縦振動と前記屈曲振動とが組合わさった振動が生じるようにし、前記駆動手段は、前記振動板に生じる前記縦振動の共振周波数とほぼ同じ駆動周波数で前記圧電素子を駆動することを特徴としている。

【００１５】

また、請求項１０に記載の圧電アクチュエータは、請求項９に記載の圧電アクチュエータにおいて、前記振動板の前記屈曲振動の共振周波数におけるインピーダンスは、前記縦振動の共振周波数におけるインピーダンスよりも大きいことを特徴としている。

【００１６】

また、請求項１１に記載の圧電アクチュエータは、請求項９または１０に記載の圧電アクチュエータにおいて、前記駆動手段は、前記振動板に生じる前記屈曲振動の振動状態を検出し、この検出結果に基づいて、前記屈曲振動の共振周波数とほぼ一致するように前記圧電素子の駆動周波数を制御することを特徴としている。

【００１７】

また、請求項１２に記載の圧電アクチュエータは、請求項１１に記載の圧電アクチュエータにおいて、前記圧電素子には、前記振動板の振動により当該圧電素子に生じた電力を前記駆動手段に供給するための電極が設けられており、前記電極から供給される電力によって前記振動板の振動状態を検出することを特徴としている。

【００１８】

また、請求項１３に記載の圧電アクチュエータは、請求項１２に記載の圧電アクチュエータにおいて、前記圧電素子には、２つの電極部が設けられており、２つの電極部のいずれか一方は前記振動板の振動により当該圧電素子に生じた電力を前記駆動手段に供給する検出用電極部として設定され、他方は前記圧電素子に前記駆動手段から電力を供給するための供給用電極部として設定されており、前記検出用電極部から供給される電力によって前記振動板の振動状態を検出することを特徴としている。

【００１９】

また、請求項１４に記載の圧電アクチュエータは、請求項１３に記載の圧電アクチュエータにおいて、前記圧電素子に設けられる２つの前記電極部は、それぞれ前記検出用電極部および前記供給用電極部として設定することが可能であり、いずれか一方の前記電極部を前記供給用電極部として設定した場合に前記振動板の前記一端部の変位により駆動される前記駆動対象の駆動方向と、他方の前記電極部を前記供給用電極として設定した場合に前記振動板の前記一端部の変位により駆動される前記駆動対象の駆動方向とが異なっており、これにより、２つの前記電極部のいずれを前記供給用電極部として設定するかによって前記駆動対象の駆動方向を変更できるようにしたことを特徴としている。

【００２０】

また、請求項１５に記載の圧電アクチュエータは、請求項１１ないし１４のいずれかに記載の圧電アクチュエータにおいて、前記駆動手段は、前記振動板に生じる前記屈曲振動の振動周波数を検出し、検出した周波数を前記駆動周波数とすることを特徴としている。

【００２１】

また、請求項１６に記載の圧電アクチュエータは、請求項１１ないし１４のいずれかに記載の圧電アクチュエータにおいて、前記駆動手段は、前記振動板に生じる前記屈曲振動の振幅を検出し、検出した振幅が最大となるように前記駆動周波数を調整することを特徴としている。

【００２２】

また、請求項１７に記載の圧電アクチュエータは、請求項１に記載の圧電アクチュエータにおいて、前記圧電素子には、複数の電極部が設けられており、これらの複数の電極部のうち、いずれかの分極方向が異なり、前記駆動手段は、該分極方向が異なる電極部を介して前記圧電素子を駆動することにより、この圧電素子を伸縮させて前記振動板に前記縦振動および前記屈曲振動を生じさせることを特徴としている。

請求項１８に記載の圧電アクチュエータは、請求項１に記載の圧電アクチュエータにおいて、前記駆動手段は、前記圧電素子を駆動することにより、この圧電素子を伸縮させて前記振動板に前記長手方向と直交する幅方向に揺動する前記屈曲振動を励起し、前記振動板は、前記駆動手段により励起された屈曲振動により、前記縦振動が機械的に誘発されるような特性を有しており、これにより前記縦振動と前記屈曲振動とが組合わさった振動が生じるようにし、前記駆動手段は、前記振動板に生じる前記縦振動の共振周波数とほぼ同じ駆動周波数で前記圧電素子を駆動することを特徴としている。
請求項１９に記載の圧電アクチュエータは、請求項１に記載の圧電アクチュエータにおいて、前記圧電素子には、振動板の振動を検出するための検出用電極部と、前記圧電素子に電力を供給するための供給用電極部とが設けられており、前記駆動手段は、前記検出用電極部が検出した振動の波形を整形して駆動波形を生成し、この駆動波形を前記圧電素子に供給することによって当該圧電素子を駆動することを特徴としている。

【００２３】
また、請求項２０に記載の時計は、請求項１ないし１９のいずれかに記載の圧電アクチュエータを備えることを特徴としている。
また、請求項２１に記載の携帯機器は、請求項１ないし１９のいずれかに記載の圧電アクチュエータを備えることを特徴としている。

【００２４】
また、請求項２２に記載の圧電アクチュエータの駆動方法は、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、前記振動板の長手方向の一端部が駆動対象に当接するように前記振動板を振動可能に支持する支持部材とを備え、前記振動板は、前記圧電素子の伸縮により、前記長手方向に伸縮する縦振動、および前記長手方向と直交する幅方向に揺動する屈曲振動を生じるようになされており、これらの縦振動と屈曲振動とが組合わさった振動による前記一端部の変位によって前記駆動対象を駆動する圧電アクチュエータにおいて、前記圧電素子に電力を供給して前記振動板を振動させる駆動方法であって、前記振動板の前記縦振動の共振周波数および前記屈曲振動の共振周波数の間でインピーダンスが極大値となる周波数と、前記縦振動の共振周波数および前記屈曲振動の共振周波数のうちインピーダンスの高い方の振動の共振周波数との間の駆動周波数で前記圧電素子を駆動することを特徴としている。

【００２５】
【発明の実施の形態】
以下、図面を参照して本発明の実施形態について説明する。
Ａ．全体構成
まず、図１は、本発明の一実施形態に係る圧電アクチュエータを組み込んだ腕時計のカレンダー表示機構の主要構成を示す平面図である。圧電アクチュエータＡ１は、面内方向（図の紙面と平行な方向）に伸縮振動する振動板１０およびロータ１００から大略構成されている。ロータ１００は地板１０３に回転自在に支持されるとともに、振動板１０と当接する位置に配置されており、振動板１０に生じる振動によってその外周面が叩かれると、図中矢印で示す方向に回転駆動されるようになっている。

【００２６】
次に、カレンダー表示機構は、圧電アクチュエータＡ１と連結しており、その駆動力によって駆動される。カレンダー表示機構の主要部は、ロータ１００の回転を減速する減速輪列とリング状の日車５０から大略構成されている。また、減速輪列は日回し中間車４０と日回し車６０とを備えている。

【００２７】
ここで、上述したように振動板１０が面内方向に振動すると、振動板１０と当接しているロータ１００が時計回り方向に回転させられる。ロータ１００の回転は、日回し中間車４０を介して日回し車６０に伝達され、この日回し車６０が日車５０を時計回り方向に回転させる。

【００２８】

Ｂ．圧電アクチュエータの構成
次に、本実施形態に係る圧電アクチュエータＡ１について説明する。図２に示すように、圧電アクチュエータＡ１は、図の左右方向に長く形成された長板状の振動板１０と、この振動板１０を地板１０３（図１参照）に支持する支持部材１１とを備えている。
【００２９】
振動板１０の長手方向の端部３５には、ステンレス鋼等から形成される突起部３６がロータ１００側に向けて突設されており、この突起部３６がロータ１００の外周面に接触している。このような突起部３６を設けることにより、ロータ１００との接触面の状態等を維持するために突起部３６に対してのみ研磨等の作業を行えばよいので、ロータ１００との接触部の管理が容易となる。また、このような突起部３６を設けることにより、振動板１０の重量バランスにアンバランスさを持たせ、後述するように当該突起部３６が楕円軌道に沿って移動するようにしている。
【００３０】
また、図示のように本実施形態では、突起部３６は、平面的に視てロータ１００側に突出した曲面形状になされている。このようにロータ１００と当接する突起部３６を曲面形状にすることにより、ロータ１００と振動板１０の位置関係がばらついた（寸法ばらつきなどによる）場合にも、曲面であるロータ１００の外周面と曲面形状の突起部３６との接触状態がさほど変化しない。従って、安定したロータ１００と突起部３６の接触状態を維持することができる。
【００３１】
振動板１０の長手方向の中央よりもややロータ１００側には、支持部材１１の一端部３７が取り付けられている。支持部材１１の他端部３８は、ネジ３９により地板１０３（図１参照）に支持されている。この構成の下、支持部材１１は、その弾性力によって振動板１０をロータ１００側に付勢した状態で支持しており、これにより振動板１０の突起部３６はロータ１００の側面に当接させられている。このようにロータ１００に当接させられた突起部３６が変位すると、ロータ１００と突起部３６との間の摩擦によりロータ１００も突起部３６に伴って移動させられ、図２中矢印で示す方向に回転駆動されるようになっている。
【００３２】
図３に示すように、振動板１０は、２つの長方形状の圧電素子３０，３１の間に、これらの圧電素子３０，３１とほぼ同形状であり、かつ圧電素子３０，３１よりも肉厚の小さいステンレス鋼などの補強板（補強部）３２を配置した積層構造となっている。このように圧電素子３０，３１の間に補強板３２を配置することにより、振動板１０の過振幅や外力に起因する振動板１０の損傷を低減することができる。また、補強板３２としては、圧電素子３０，３１よりも肉厚の小さいものを用いることにより、圧電素子３０，３１の振動を極力妨げないようにしている。
【００３３】
上下に配置された圧電素子３０，３１の面上には、それぞれ電極３３が配置されている。この電極３３を介して圧電素子３０，３１に電圧が供給されるようになっている。また、本実施形態では、この電極３３を用いてこの振動板１０の振動状態の検出を行っているが、圧電素子３０，３１の面上に設けられる電極３３の形状等の詳細については後述する。ここで、圧電素子３０，３１としては、チタン酸ジルコニウム酸鉛（ＰＺＴ（商標））、水晶、ニオブ酸リチウム、チタン酸バリウム、チタン酸鉛、メタニオブ酸鉛、ポリフッ化ビニリデン、亜鉛ニオブ酸鉛（（Ｐｂ（Ｚｎ１／３－Ｎｂ２／３）０３　１－ｘ－ＰｂＴｉ　０３　ｘ）ｘは組成により異なる。ｘ＝０．０９程度）、スカンジウムニオブ酸鉛（（Ｐｂ（（Ｓｃ１／２Ｎｂ１／２）１－ｘ　Ｔｉｘ））　０３）ｘは組成により異なる。ｘ＝０．０９程度）等の各種のものを用いることができる。
【００３４】
このような構成の振動板１０は、駆動回路から電極３３を介して圧電素子３０，３１に交流電圧が印加されると、圧電素子３０，３１が伸縮することによって振動するようになっ

ている。その際、図４に示すように、振動板１０が長手方向に伸縮する縦振動で振動するようになっており、これにより振動板１０は図２中矢印で示す方向に振動することになる。このように圧電素子３０，３１に交流電圧を印加して縦振動を励振すると、図５に示すように、振動板１０の重量バランスのアンバランスさによって振動板１０に幅方向の屈曲振動が誘発されることになる。具体的には、振動板１０が縦振動をした場合、その支点（無負荷時には重心）を中心とした回転モーメントが作用し、振動板１０に図示のような屈曲振動が誘発されるようになっている。

【００３５】

このような縦振動と屈曲振動とが生じ、両者が結合されると、振動板１０の突起部３６におけるロータ１００の外周面との接触部分は、図６に示すように楕円軌道に沿って移動することになる。つまり、突起部３６におけるロータ１００との接触部分が大きく変位することになる。従って、突起部３６の移動に伴って回転駆動されるロータ１００の駆動量を多くすることができ、より効率の高い駆動が可能となる。

【００３６】

Ｃ．圧電アクチュエータの駆動構成

次に、上述した圧電アクチュエータＡ１の駆動構成について説明する。ここでは、振動板１０として図７に示すようなインピーダンスと周波数との関係を有する形状のものを使用した場合の圧電アクチュエータＡ１の駆動について説明する。同図に示すように、本実施形態で使用される振動板１０では、一次の縦振動のインピーダンスの極小値である共振周波数ｆ１よりも二次の屈曲振動のインピーダンスの極小値である共振周波数ｆ２が若干（例えば、２％程度）大きくなっている。また、縦振動の共振周波数ｆ１におけるインピーダンスよりも屈曲振動の共振周波数ｆ２におけるインピーダンスが大きくなっている。このような振動板１０を用いた場合、共振周波数ｆ１と共振周波数ｆ２との間でインピーダンスの極大値をとる周波数ｆ３（以下、反共振周波数とする）と、屈曲振動の共振周波数ｆ２との間の周波数で圧電素子３０，３１を駆動することが好ましく、さらにはこの範囲内の周波数であって共振周波数ｆ２とほぼ一致する周波数ｆ２’で駆動することが最も好ましい。これは、振動板１０の屈曲振動のインピーダンスの極小値は、縦振動のインピーダンスの極小値よりも大きく、つまり抵抗が大きく周波数ｆ２’で駆動した場合に流れる電流を抑制することができるからである。このように、周波数ｆ２’の電圧を印加すれば、低電流化が可能となるとともに、大きな屈曲振動を誘発させることができるので、突起部３６を大きな楕円軌道に沿って移動させることができる。

【００３７】

ここで、共振周波数ｆ２ではなく、周波数ｆ２’で駆動するのが好ましいのは、周波数ｆ２’で駆動することにより、共振周波数ｆ２で駆動するよりも、大きな楕円軌道が得られるからである。従って、上記のような特性を有する振動板１０を用いた場合、周波数ｆ２’の駆動電圧を圧電素子３０，３１に印加すれば、効率のよいロータ１００の回転駆動を行えることが分かる。

【００３８】

ところで、上述した図７に示した振動板１０の特性は、気温などの環境や、突起部３６とロータ１００との接触圧等の使用状況により変動するものである。従って、設計時において周波数ｆ２’で圧電素子３０，３１を励振するような駆動回路を構成した場合にも、環境等の変化により上記のような最適な駆動周波数で駆動できなくなることもあり得る。

【００３９】

本実施形態では、このような環境等の変化により変動する振動板１０の特性に関わらず、最適な駆動が行えるように圧電素子３０，３１を励振できる駆動構成を採用し、このような駆動構成について図８および図９を参照しながら説明する。

【００４０】

図８および図９に示すように、圧電素子３０の面上の３箇所に電極３３ａ，３３ｂ，３３ｃがそれぞれ形成されている。電極３３ａは、振動板１０の中央部に略矩形状に形成されており、他の電極３３ｂ，３３ｃよりも大きく形成されている。ここで、電極３３ａには

、駆動回路８０から印加電圧が供給され、これにより圧電素子３０が伸縮して上述した縦振動が励起されるようになっている。もちろん、駆動回路８０からは、圧電素子３１の面上に電極３３ａと同様の位置および形状で形成された電極３３ｄにも印加電圧が供給され圧電素子３１が伸縮するようになっている。つまり、電極３３ａ，３３ｄは圧電素子３０，３１をそれぞれ駆動するための電極として使用されている。

【００４１】

電極３３ｂ，３３ｃは、圧電素子３０の面上における電極３３ａの両側方にそれぞれ形成されている。これらの電極３３ｂ，３３ｃは、検出制御回路８１に接続されており、検出制御回路８１は電極３３ｂ，３３ｃから供給される電圧に応じて屈曲振動の振動状態を検出している。つまり、電極３３ｂ，３３ｃは、上述したように電極３３ａ，３３ｄに駆動回路８０から駆動電圧が供給されて振動板１０が振動した時に、振動板１０に生じる振動のうち屈曲振動（図５参照）の変位による機械エネルギーを電気エネルギーに変換して検出制御回路８１に供給しているのである。ここで、振動板１０は屈曲振動に加え、縦振動することは上述した通りである。従って、電極３３ｂ，３３ｃにより電気エネルギーに変換された電圧には、屈曲振動の変位だけではなく縦振動の変位によるものも含まれてしまうことになる。そこで、本実施形態では、図８に示すように、電極３３ｂ，３３ｃの分極方向を逆（電極３３ｂをマイナス、電極３３ｃをプラス）にすることにより、両者で得られた縦振動による電圧が相殺され、屈曲振動の変位による電圧のみが加算されて検出制御回路８１に供給されるようにしている。このようにして屈曲振動に起因する電圧のみを検出制御回路８１に供給するようになっている。

【００４２】

検出制御回路８１は、上述したように電極３３ｂ，３３ｃによって検出された電圧値に基づいて、駆動回路８０から電極３３ａ，３３ｄに供給される駆動電圧の周波数を制御している。具体的には、電極３３ｂ，３３ｃにより検出された電圧値は、振動板１０の屈曲振動の振幅の大きさに応じたものであり、この振幅を最大にする、つまり検出電圧値が大きくなるように駆動周波数を制御する。このような駆動周波数制御処理の一例を図１０を参照しながら説明する。

【００４３】

まず、駆動電圧が電極３３ａ，３３ｄに印加されると（ステップＳａ１）、電極３３ｂ，３３ｃにより取得された電圧値を保持する（ステップＳａ２）。そして、駆動周波数を予め設定された側（以降、上げる側とする）にずらす、つまり駆動周波数を現在よりも高くする（ステップＳａ３）。このように駆動周波数をずらした後、電極３３ｂ，３３ｃにより検出された電圧値と、ステップＳａ２で保持した電圧値とを比較し（ステップＳａ４）、検出電圧値が低下した場合にはその電圧値を保持するとともに（ステップＳａ５）、上記予め設定された側と反対側である下げる側に駆動周波数をずらす、つまり駆動周波数を低くする（ステップＳａ６）。この後、ステップＳａ４に戻り、駆動周波数を低くした後に検出された電圧値と、ステップＳａ５で保持された電圧値とを比較する。

【００４４】

一方、ステップＳａ４の判別において、保持している電圧値よりも検出した電圧値が高いと判断された場合には、ステップＳａ２に戻り、検出した電圧値を保持する。そして、駆動周波数をさらに高く設定し（ステップＳａ３）、ステップＳａ４に進む。このような処理が繰り返され、使用環境下に関わらず、常に電極３３ｂ，３３ｃにより検出された電圧値がほぼ最大値となるように駆動周波数を制御することができる。つまり、環境の変化等により振動板１０の特性が変化した場合にも、振動板１０に生じる屈曲振動の最大の振幅が得られる共振周波数とほぼ一致する駆動周波数で圧電素子３０，３１を駆動することができる。

【００４５】

このように本実施形態に係る圧電アクチュエータＡ１では、使用環境が変動して振動板１０の特性が変動した場合にも、低電流で高効率な駆動が可能な振動板１０の屈曲振動の共振周波数とほぼ一致する駆動周波数で圧電素子３０，３１を駆動することができる。

【００４６】
なお、上述した実施形態では、電極３３ｂ，３３ｃは、圧電素子３０の面上の電極３３ａの両側方に配置された構成となっていたが、これに限らず、図１１に示すような電極が形成された振動板を用いるようにしてもよい。同図に示すように、この振動板３００は、振動板３００の中央部に設けられた電極３３ａの片方側に、２つの電極３３ｂ，３３ｃが長手方向に並んで形成されている。ここで、電極３３ｂ，３３ｃは、それぞれ振動板１０の縦振動の節となる線（図中一点鎖線で示す）を挟んで線対称となる位置に形成されている。従って、図示のように分極方向を逆とすることにより、縦振動の変位により各電極３３ｂ，３３ｃに生じる電気エネルギーは相殺され、屈曲振動の変位による電気エネルギーのみを取得して検出制御回路８１に供給することができる。

【００４７】
Ｄ．圧電アクチュエータの動作
次に、上記構成の圧電アクチュエータＡ１の動作について説明する。まず、駆動回路８０から振動板１０の所定の電極３３に電圧が印加されると、圧電素子３０，３１の伸縮によって撓み振動し、縦振動するとともに屈曲振動が誘発させられる。これらの縦振動と屈曲振動とが結合することにより、突起部３６がロータ１００と当接した状態で振動板１０が楕円軌道に沿って移動する（図６参照）。このような突起部３６の変位に伴ってロータ１００が図２中矢印方向に回転させられる。この際、上述したように検出制御回路８１が振動板１０の屈曲振動の振動状態を検出し、気温などこの携帯機器が使用される状況が変化した場合にも、常に大きな屈曲振動が振動板１０に生じるような駆動周波数で圧電素子３０，３１を駆動することができる。そして、ロータ１００が回転させられることにより、中間車１０１を介して日車１０２が回転させられ（図１参照）、表示される日や曜が切り換わるようになっている。

【００４８】
Ｅ．変形例
なお、本発明は、上述した実施形態に限定されるものではなく、以下のような種々の変形が可能である。

【００４９】
（変形例１）
上述した実施形態においては、振動板１０の振動によりロータ１００を一方向（図２中時計回り）に駆動する構成であったが、図１２に示すような構成とすることにより、逆方向（反時計回り）への駆動も行えるようにしてもよい。

【００５０】
同図に示すように、この圧電アクチュエータは、上記実施形態の振動板１０と電極の形成部分と突起部３６の取り付け位置が異なる振動板４００を有しており、この振動板４００の圧電素子の面上には、４つの電極部４３３ａ，４３３ｂ，４３３ｃ，４３３ｄが形成されている。電極部４３３ａ，４３３ｂ，４３３ｃ，４３３ｄは、それぞれ同じサイズの矩形状であり、振動板４００を４分割した位置にそれぞれ形成されている。

【００５１】
本変形例においては、電極部４３３ａ，４３３ｂ，４３３ｃ，４３３ｄは、それぞれ上述した屈曲振動の検出用の電極としても使用できるとともに、駆動電圧を圧電素子に供給するための電極としても使用することができるようになっている。ここで、４つの電極部は、スイッチ４１０によって電極部４３３ａ，４３３ｄの組み合わせと、電極部４３３ｂ，４３３ｃの組み合わせで検出用もしくは駆動用として使用されるようになっている。図に示すスイッチ４１０の状態では、電極部４３３ａ，４３３ｄが検出用として使用され、電極部４３３ｂ，４３３ｃが駆動用として使用されるようになっている。一方、図１３に示すように、スイッチ４１０が切り換えられた場合には、電極部４３３ａ，４３３ｄが駆動用として使用され、電極部４３３ｂ，４３３ｃが検出用として使用されるようになっている。このようなスイッチ４１０の切り換えは、使用者の指示等に基づいた駆動方向切換部４１５によって行われる。

【００５２】
この構成の下、図１２に示すようにスイッチ４１０が設定され、電極部４３３ａ，４３３ｄが検出用、電極部４３３ｂ，４３３ｃが駆動用とされた場合には、電極部４３３ｂ，４３３ｃが形成された部分の圧電素子が伸縮することにより振動板１０に縦振動および屈曲振動が誘発され、突起部３６が楕円軌道Ｄ１に沿って移動させられることになる。この際、振動板４００の屈曲振動の振幅に対応した電圧値が電極部４３３ａ，４３３ｄにより検出制御回路８１に供給され、上述した実施形態と同様の駆動周波数制御を行う。
【００５３】
一方、図１３に示すようにスイッチ４１０が設定され、電極部４３３ａ，４３３ｄが駆動用、電極部４３３ｂ，４３３ｃが検出用とされた場合には、電極部４３３ａ，４３３ｄが形成された部分の圧電素子が伸縮することにより振動板１０に縦振動および屈曲振動が誘発され、突起部３６が楕円軌道Ｄ２に沿って移動させられることになる。この際にも、振動板４００の屈曲振動の振幅に対応した電圧値が電極部４３３ｂ，４３３ｃにより検出制御回路８１に供給され、上述した実施形態と同様の駆動周波数制御を行う。
【００５４】
つまり、この変形例においては、スイッチ４１０の設定によって突起部３６の移動経路が形成する楕円形状の向きを変えることができ、これにより突起部３６と当接させられるロータ（図示略）を正逆の両方向に駆動することができる。また、スイッチ４１０がいずれの設定状態である場合にも、駆動時には、上述した実施形態と同様の駆動周波数制御を行うことができる。従って、使用状況等に関わらず、常に大きな楕円軌道に沿って突起部３６を移動させることができ、高効率での動作が可能となる。
【００５５】
（変形例２）
また、上述した実施形態では、発振回路を有する駆動回路を別に設けて圧電素子３０，３１に駆動電圧を印加する、いわゆる他励発振を行うようにしていたが、図１４に示すように、自励発振により圧電素子３０，３１を駆動する構成としてもよい。
【００５６】
同図に示すように、この変形例における圧電素子の駆動システムは、波形整形回路１４１と、位相調整回路１４２と、増幅回路１４３とを備えており、この駆動システムにより振動板１４０に設けられた圧電素子が駆動されている。
【００５７】
振動板１４０は、上述した実施形態の振動板１０と電極の形成部分のみが異なる振動板であり、圧電素子の面上の３箇所に電極部１４５ａ，１４５ｂ，１４５ｃが形成されている。電極部１４５ａは、振動板１４０の中央部に形成される矩形状の電極であり、電極部１４５ｂ，１４５ｃは、電極部１４５ａの側方に長手方向に並んで形成されている。ここで、電極１４５ｂ，１４５ｃは、それぞれ振動板１４０の縦振動の節となる線（図中一点鎖線で示す）を挟んで線対称となる位置に形成されている。
【００５８】
電極部１４５ｂ，１４５ｃは、振動板１４０の屈曲振動の振幅を検出するための電極であり、振動板１４０の変位により電極部１４５ｂ，１４５ｃにより生成された電圧波形がそれぞれ波形整形回路１４１に供給されるようになっている。波形整形回路１４１では、電極部１４５ｂ，１４５ｃからそれぞれ入力される電圧波形がオペアンプにより減算されて出力される。これにより、縦振動の変位により各電極１４５ｂ，１４５ｃに生じる電気エネルギーは相殺され、屈曲振動の変位による電気エネルギーのみによる波形を取得して位相調整回路１４２に供給することができる。ここで、振動板１４０は、共振体であるため、縦振動を励起した場合に生じる屈曲振動は、その共振周波数で振動することになる。従って、電極部１４５ｂ，１４５ｃにより生成された屈曲振動による出力波形は、屈曲振動の共振周波数を主として有する電圧波形である。本実施形態では、このようにして屈曲振動の共振周波数を有する波形を抽出し、この検出波形を用いて圧電素子を駆動しているのである。

【００５９】
位相調整回路１４２は、波形整形回路１４１から出力される波形の位相を調整するものである。上述したように、この変形例においては、振動板１４０の屈曲振動により得られた波形を用いて圧電素子を駆動するわけであるが、圧電素子自体には縦振動を励起し、振動板１４０の重量バランスのアンバランスさ等を利用して屈曲振動を誘発させている。このように縦振動によって屈曲振動を励振すると、屈曲振動の共振点では、縦振動に対して９０°位相が遅れた屈曲振動が生じることになる。従って、位相調整回路１４２は、波形整形回路１４１から入力される波形の位相を９０°遅らせる、もしくは２７０°進めて出力し、これにより縦振動とより大きな屈曲振動を結合させてより大きな楕円軌道に沿って突起部３６が移動するようにしているのである。このように位相調整回路１４２に位相調整された電圧波形が増幅回路１４３によって増幅された後、振動板１４０の圧電素子に供給されるようになっている。なお、上述したように屈曲振動は９０°の位相遅れを有しているので、位相調整回路１４２は、９０°遅らせる以外にも、（９０＋３６０＊ｎ）°位相を遅らせるものであってもよい（ｎは自然数）。
【００６０】
この変形例においても、上述した実施形態と同様に、使用状況等に関わらず、常に振動板１４０の屈曲振動の共振周波数とほぼ一致する周波数で圧電素子を駆動することができる。従って、使用状況等に関わらず、常に高効率の駆動を行える。
【００６１】
（変形例３）
また、自励発振を行う場合、図１５（ａ）に示すように、振動板１０を振動子としたコルピッツ型としてもよい。この場合、図１５（ｂ）に示した従来の一般的なコルピッツ型の発振回路では、図１６に示すように、振動板１０のインピーダンス特性等により駆動周波数が決まってしまうため、発振動周波数を屈曲振動の共振周波数とほぼ一致させることは困難であり、発振周波数が屈曲振動の共振周波数がずれてしまう。そこで、図１５（ａ）に示すように、コルピッツ型の発振回路に位相調整手段であるコイル１５０を設け、位相をずらすようにしている。これにより、図１６に示すように、ほぼ屈曲振動の共振周波数と一致する発振周波数を得ることができ、効率のよい駆動を行える。
【００６２】
（変形例４）
また、上述した実施形態では、電圧印加による圧電素子の伸縮により振動板１０に縦振動が生じるようにし、振動板１０の重量バランス等の機械的特性により屈曲振動を誘発させるようにしていた。つまり、縦振動を電気的に励起し、屈曲振動を機械的に誘発させていたが、これに限らず、圧電素子への電圧印加により屈曲振動を生じさせ、振動板１０の機械的特性により縦振動を誘発させて上記実施形態と同様に突起部３６を楕円軌道に沿って移動させるようにしてもよい。
【００６３】
この場合、図１７に示すような振動板１７０を用いるようにし、振動板１７０の縦振動の共振周波数とほぼ一致する周波数で圧電素子を駆動するようにすればよい。同図に示すように、振動板１７０は、上述した実施形態の振動板１０と電極形成部分が異なる以外は同様の構成であり、その圧電素子面上の２箇所に電極部１７１ａ，１７１ｂがそれぞれ形成されている。電極部１７１ａは、振動板１７０の幅方向の中心に長手方向に沿って形成されており、電極部１７１ｂは、その周囲を覆うように形成されている。さらに、電極部１７１ｂは、図の左上部分および右下部分と、右上部分と左下部分との分極方向が逆になされている。この構成の下、電極部１７１ｂに駆動電圧が印加されると、電極部１７１ｂが形成された部分の圧電素子が伸縮する。この際、上述したように分極方向が設定されているため、振動板１７０には二次の屈曲振動が励起される。このように圧電素子の伸縮により屈曲振動が励起されると、振動板１７０の機械的な特性により縦振動が誘発され、両者が結合されて突起部３６が楕円軌道に沿って移動する。
【００６４】

一方、電極部１７１ａは、上述したように誘発される縦振動の振幅を検出するためのものであり、上述した振動板１７０の振動の変位による機械エネルギーを電気エネルギーに変換して出力する。ここで、電極部１７１ａは振動板１７０の中央に形成されているため、屈曲振動の変位による影響を受けず、長手方向に変位する縦振動のみの変位に応じた電気エネルギーを出力することができる。このように取得された電気エネルギーを用い、上述した実施形態における他励発振（図８参照等）や上記変形例２における自励発振（図１４等参照）により、圧電素子を最適な周波数で駆動することができる。

【００６５】

この変形例のように、電気的に屈曲振動を励起し、機械的に縦振動を誘発させるのは、屈曲振動の共振周波数のインピーダンス値よりも縦振動の共振周波数のインピーダンス値が高いといったインピーダンス特性を有する振動板の場合には、低電流化の点から効果的であるが、上記実施形態の振動板１０のようなインピーダンス特性（図７参照）の場合、上記実施形態のように電気的に縦振動を励起し、機械的に屈曲振動を誘発させる方が高効率が得られるので、上記実施形態のような駆動を行う方が好ましい。

【００６６】

（変形例５）

また、圧電素子の伸縮により電気的に屈曲振動を生じさせる場合には、上記のように縦振動の振動状態を検出して縦振動の共振周波数で駆動する方法に限らず、屈曲振動の振動状態を検出して屈曲振動の共振周波数で圧電素子を駆動するようにしてもよい。縦振動と屈曲振動の共振周波数が近いといった特性を有する振動板の場合、屈曲振動に伴って縦振動が励起される。従って、このような特性を有する振動板の場合、図１８に示すような構成とすれば、屈曲振動の共振周波数で屈曲振動を生じさせ、これに伴って縦振動を誘発させることができる。

【００６７】

同図に示すように、振動板１８０は、上述した実施形態の振動板１０と電極形成部分が異なる以外は同様の構成であり、その圧電素子面上に電極部１８１ａ，１８１ｂが形成されている。電極部１８１ａは、振動板１８０の幅方向の中心部を覆うように形成されており、その左上部分および右下部分と、右上部分および左下部分との分極方向が逆になるようになされている。電極部１８１ｂは、電極部１８１ａを覆うように形成されており、その左上部分および右下部分と、右上部分および左下部分との分極方向が逆になるようになされている。

【００６８】

この構成の下、電極部１８１ｂに駆動電圧が印加されると、電極部１８１ｂが形成された部分の圧電素子が伸縮する。この際、上述したように分極方向が設定されているため、振動板１８０には二次の屈曲振動が励起される。このように圧電素子の伸縮により屈曲振動が励起されると、振動板１８０の機械的な特性により縦振動が誘発され、両者が結合されて突起部３６が楕円軌道に沿って移動する。

【００６９】

一方、電極部１８１ａは、上述したように励起される屈曲振動の振幅を検出するためのものであり、上述した振動板１８０の振動の変位による機械エネルギーを電気エネルギーに変換して出力する。ここで、電極部１８１ａは上述したような分極方向に設定されているため、縦振動の変位による電気エネルギーは相殺され、屈曲振動のみの変位に応じた電気エネルギーを出力することができる。このように取得された電気エネルギーを用い、上述した実施形態における他励発振（図８参照等）や上記変形例２における自励発振（図１４等参照）により、圧電素子を最適な周波数で駆動することができる。

【００７０】

なお、このように電気的に屈曲振動を生じさせる場合に、屈曲振動の共振周波数で圧電素子を駆動する場合には、上述した実施形態のような駆動回路や検出制御回路（図８等参照）を用いずに、圧電素子への駆動電圧値を検出し、この検出電圧値が小さくなるような制御を行うようにすれば、大きな変位で突起部３６を移動させることができる。また、別の

方法として圧電素子への流入電流値を検出し、この電流値が大きくなるような制御を行うようにすればよい。ここで、このような制御方法としては、上述した実施形態で説明したような駆動周波数を徐々にずらしていく方法（図１１参照）を用いるようにすればよい。

【００７１】

ところで、上記変形例等においては、圧電素子の面上に多数の電極部を形成するとともに、その分極方向を異ならせている。このような圧電素子の面上に分極方向の異なる電極を複数形成する方法について振動板１８０（図１８参照）を例にとって説明する。図１９に示すように、圧電素子１８５の表面、裏面（補強板と接する面）に図示のような形状の電極部を作製する。ここで、圧電素子１８５の表面には上述したように電極部１８１ａ，１８１ｂが形成されており、圧電素子１８５の裏面には２つの電極部１８６ａ，１８６ｂが形成されている。電極部１８６ａは、図の左上部分１８６ａａと、右下部分１８６ａｂと、両者を結合する部分１８６ａｃとから構成されている。電極部１８６ａｂは、右上部分１８６ｂａと、左下部分１８６ｂｂと、両者を結合する部分１８６ｂｃとから構成されている。このような電極を形成した後、図２０に示すように、電圧を印加すれば、上述した図１８に示すような分極方法を有する電極を形成することができる。

【００７２】

（変形例６）

また、上述した実施形態では、振動板１０は矩形状であったが、振動板の形状はこれに限らず、台形などの他の形状であってもよい。

【００７３】

（変形例７）

なお、上述した実施形態では、振動板１０の一次の縦振動に二次の屈曲振動を結合させるようにしいたが、振動モードはこれに限定されるわけではなく、ｎ次の縦振動にｍ次の屈曲振動を結合させるようにしてもよい（ｎ，ｍは自然数）。

【００７４】

（変形例８）

また、上述した実施形態に係る圧電アクチュエータは、上述したような時計のカレンダー表示機構に搭載される以外にも、低電流での動作が可能であるため、電池駆動される時計以外の携帯機器に搭載して用いることも可能である。

【００７５】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、装置の大型化を招くことなく、駆動効率を向上させることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の一実施形態に係る圧電アクチュエータを備えた腕時計のカレンダー表示機構の主要構成を示す平面図である。

【図２】前記圧電アクチュエータの全体構成を示す平面図である。

【図３】前記圧電アクチュエータの構成要素である振動板を示す側断面図である。

【図４】前記振動板が縦振動する様子を示す図である。

【図５】前記振動板が縦振動することにより誘発される屈曲振動を説明するための図である。

【図６】前記振動板の振動時における前記振動板の一端側に設けられた突起部の軌道を説明するための図である。

【図７】前記振動板の振動周波数とインピーダンスとの関係の一例を示す図である。

【図８】前記圧電アクチュエータの駆動構成を示す図である。

【図９】前記圧電アクチュエータの駆動構成を示す図である。

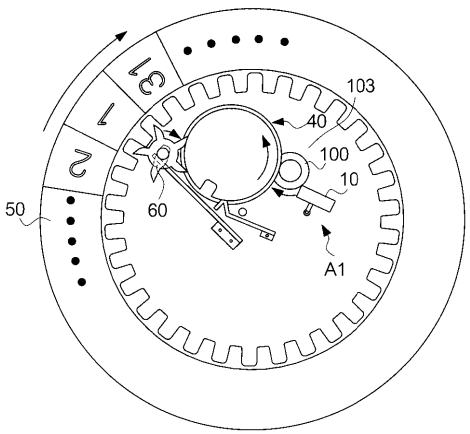
【図１０】前記圧電アクチュエータの駆動周波数制御の手順を示すフローチャートである。

【図１１】前記圧電アクチュエータの前記振動板の変形例を説明するための図である。

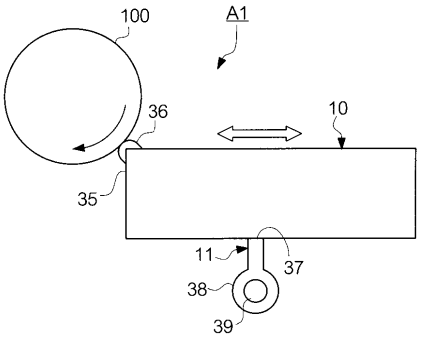
【図１２】前記圧電アクチュエータの変形例の構成を模式的に示す図である。

【図１３】前記圧電アクチュエータの変形例の構成を模式的に示す図である。
【図１４】前記圧電アクチュエータの他の変形例の構成を模式的に示す図である。
【図１５】（ａ）は前記圧電アクチュエータのその他の変形例の概略構成を示す図であり、（ｂ）は従来の一般的な自励発振で駆動される圧電アクチュエータの概略構成を示す図である。
【図１６】前記圧電アクチュエータのその他の変形例における駆動周波数を説明するための図である。
【図１７】前記圧電アクチュエータのさらに他の変形例の構成要素である振動板を示す平面図である。
【図１８】前記圧電アクチュエータのさらにその他の変形例の構成要素である振動板を示す平面図である。
【図１９】前記圧電アクチュエータのさらにその他の変形例の前記振動板の表面および裏面を示す図である。
【図２０】図１９のＸＸ－ＸＸ線に沿って視た図であり、前記圧電アクチュエータのさらにその他の変形例の前記振動板の電極に分極処理を施す様子を示す図である。
【図２１】従来の圧電アクチュエータを用いた超音波式モータを示す平面図である。
【符号の説明】
１０……振動板、１１……支持部材、３６……突起部、３５……端部、３０……圧電素子、３１……圧電素子、３２……補強板、３３……電極、３３ａ，３３ｂ，３３ｃ……電極部、８０……駆動回路、８１……検出制御回路、１００……ロータ、１４０……振動板、１４１……波形整形回路、１４２……位相調整回路、１４３……増幅回路、１４５ａ，１４５ｂ，１４５ｃ……電極部、１５０……コイル、１７０……振動板、１７１ａ，１７１ｂ……電極部、１８０……振動板、１８１ａ，１８１ｂ……電極部、１８５……圧電素子、３００……振動板、４００……振動板、４１０……スイッチ、４１５……駆動方向切換部、４３３ａ，４３３ｂ，４３３ｃ，４３３ｄ……電極部

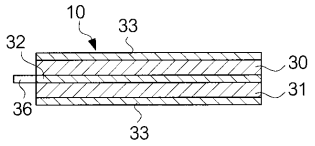
【図１】



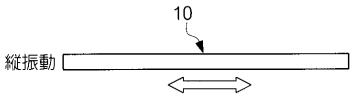
【図２】



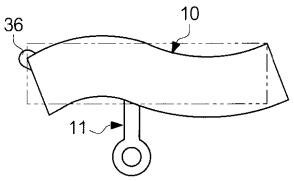
【図３】



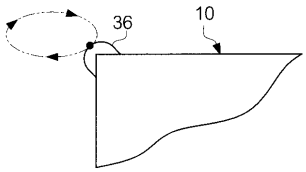
【図４】



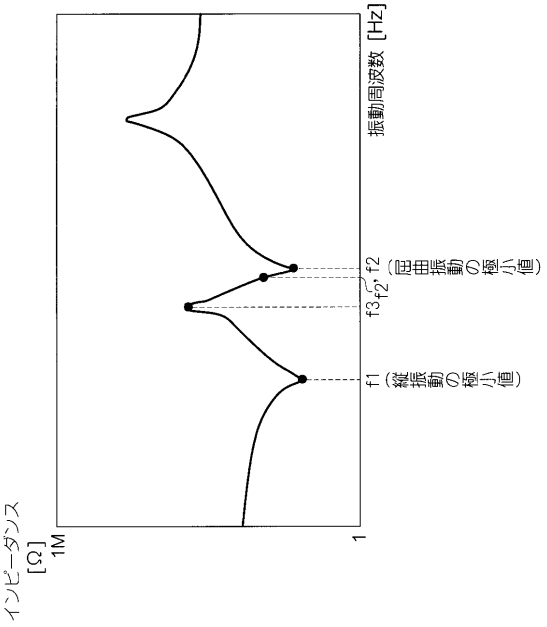
【図５】


36
10
11

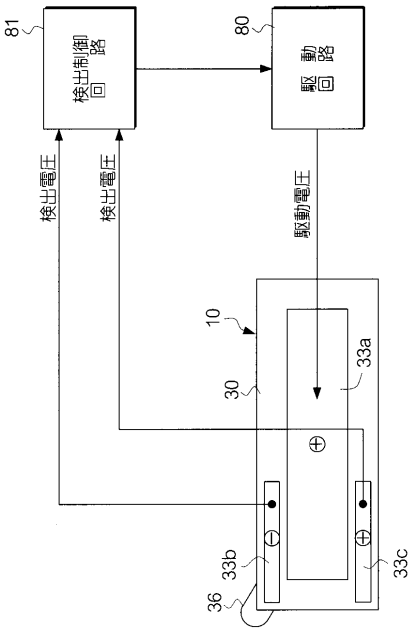
【図６】


36
10

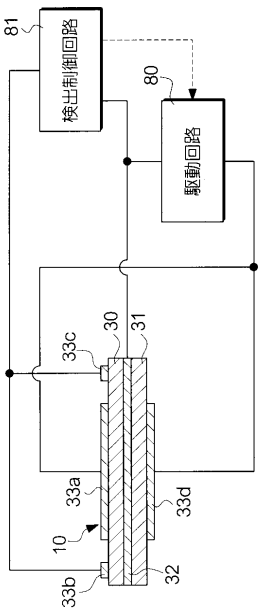
【図７】


振動周波数 [Hz]
f2（屈曲振動の極小値）
f3, f2'
f1（縦振動の極小値）
インピーダンス [Ω]
1M
1

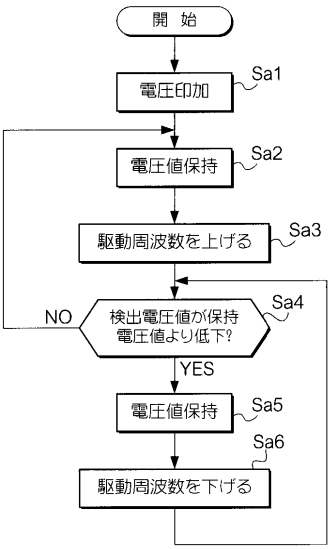
【図８】


81
検出制御回路
80
駆動回路
検出電圧
検出電圧
駆動電圧
10
30
33a
33b
33c
36

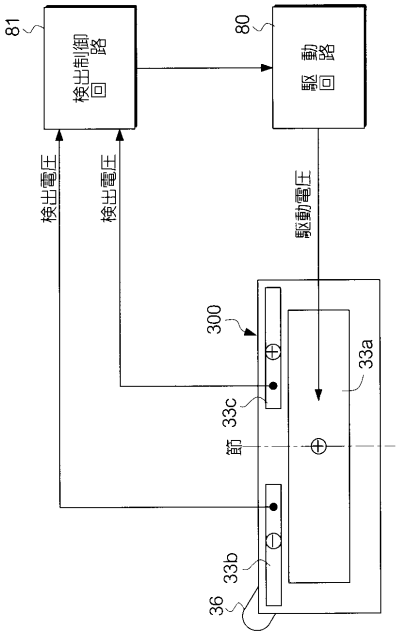
【図９】


81
検出制御回路
80
駆動回路
33c
30
31
33a
33d
10
32
33b

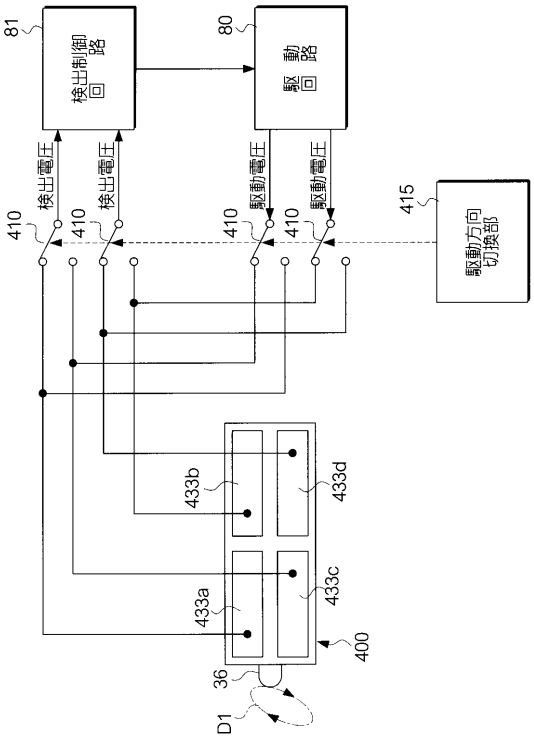
【図１０】



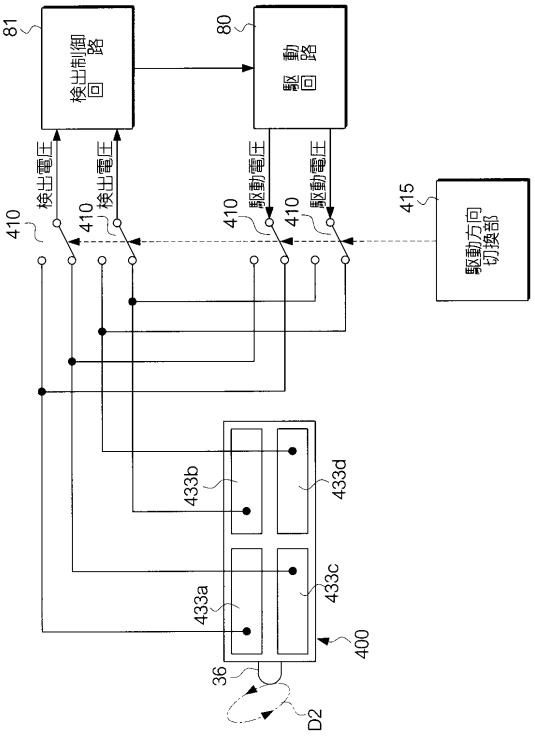
【図１１】



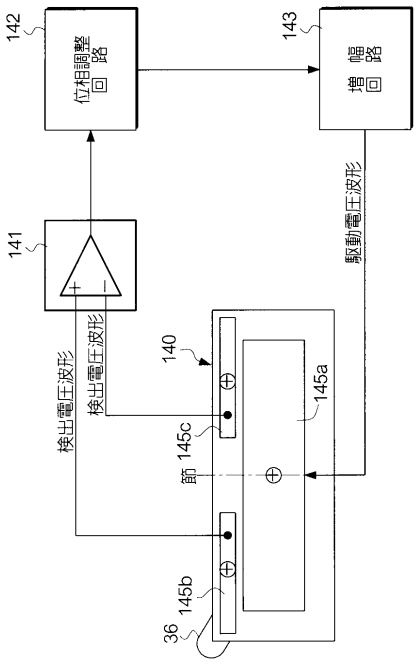
【図１２】



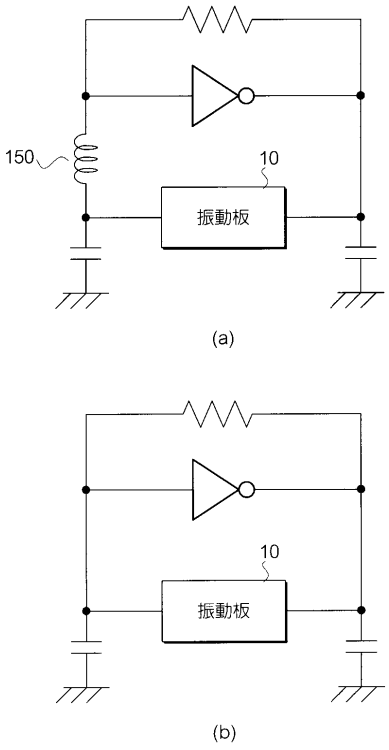
【図１３】



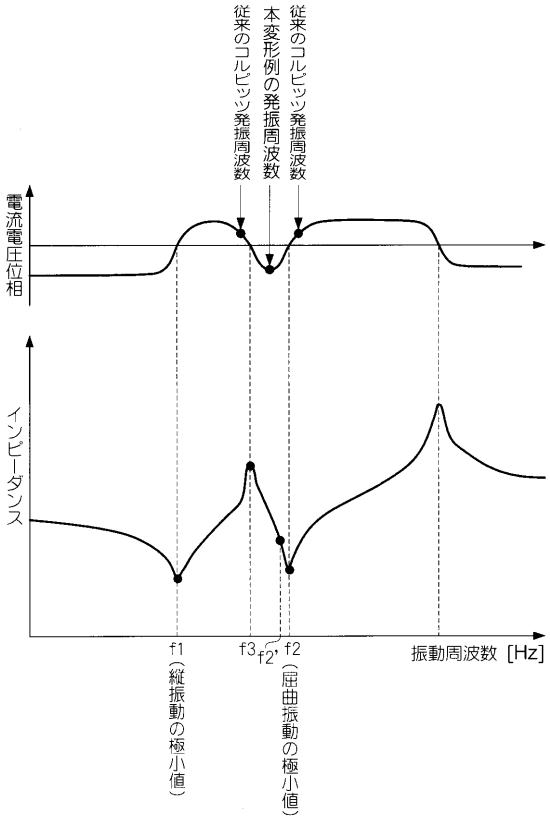
【図１４】



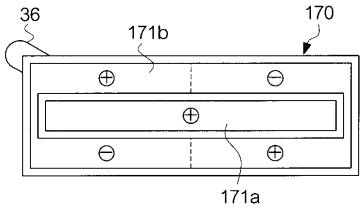
【図１５】



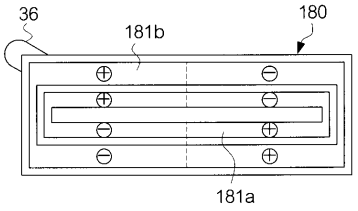
【図１６】



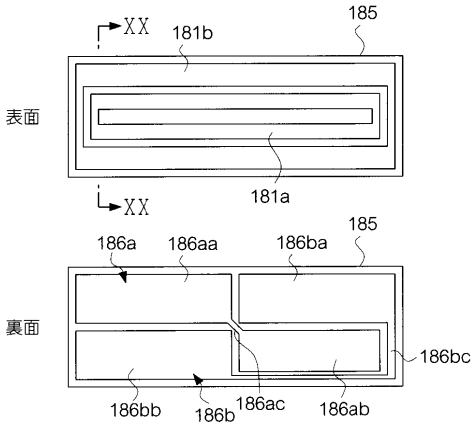
【図１７】



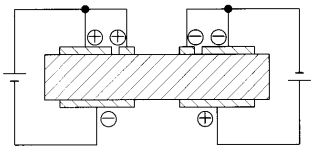
【図１８】



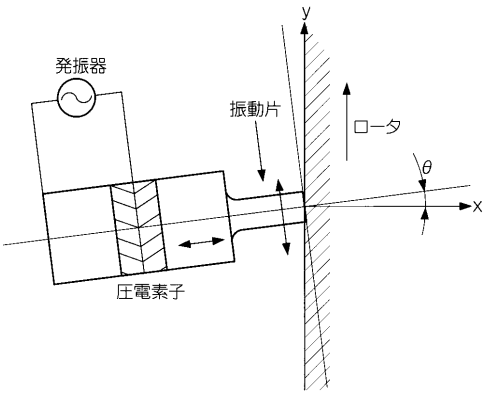
【図１９】


XX
181b
185
表面
181a
XX
186a
186aa
186ba
185
裏面
186bc
186bb
186b
186ac
186ab

【図２０】



【図２１】


y
発振器
振動片
ロータ
θ
x
圧電素子

フロントページの続き

(72)発明者　舩坂　司
長野県諏訪市大和３丁目３番５号　セイコーエプソン株式会社内

審査官　川端　修

(56)参考文献　特開平１０－２０１２６７（ＪＰ，Ａ）
特開平０８－２４２５９２（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－００３６８８（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
H02N 2/00
G04C 3/00
G04C 3/12
H01L 41/09
H01L 41/09