

(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2017-196606

(P2017-196606A)

(43) 公開日 平成29年11月2日(2017.11.2)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 0 6 B 1/06 (2006.01)	B 0 6 B 1/06 Z	5 D 1 0 7
B 2 6 D 7/06 (2006.01)	B 2 6 D 7/08 A	
H 0 1 L 41/04 (2006.01)	B 0 6 B 1/06 A	
H 0 1 L 41/09 (2006.01)	H 0 1 L 41/04	
	H 0 1 L 41/09	
審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 22 頁)		

(21) 出願番号 特願2016-92109 (P2016-92109)
 (22) 出願日 平成28年4月28日 (2016. 4. 28)

(71) 出願人 000203531
 多賀電気株式会社
 東京都大田区矢口3丁目1番1号
 (74) 代理人 100078721
 弁理士 石田 喜樹
 (74) 代理人 100124420
 弁理士 園田 清隆
 (72) 発明者 浜田 晴司
 東京都大田区矢口3丁目1番1号 多賀電
 気株式会社内
 (72) 発明者 上山 崇
 東京都大田区矢口3丁目1番1号 多賀電
 気株式会社内
 Fターム(参考) 5D107 AA08 BB01 BB07 CC04 CD02

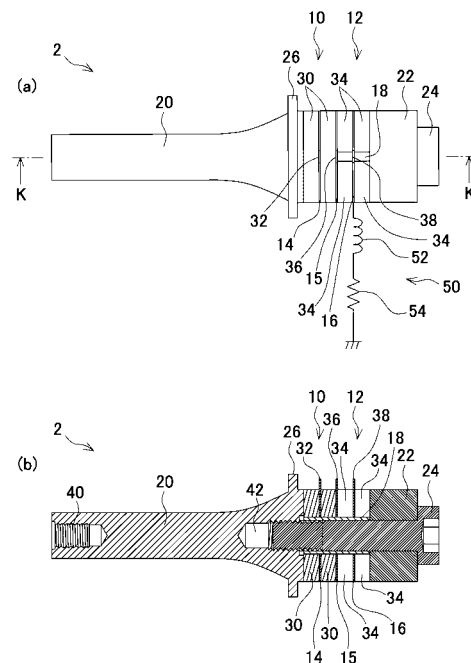
(54) 【発明の名称】 超音波振動装置

(57) 【要約】

【課題】超音波振動を発生する振動子を具備しながら、不要なたわみ振動を抑制可能である超音波振動装置を提供する。

【解決手段】超音波振動装置としての超音波振動切削装置は、2個の駆動用圧電素子30、30を含む振動発生用圧電素子ユニット10と、4個の防振用圧電素子34、34・・・を含む防振用圧電素子ユニット12と、これらを挟む金属材20及び金属ブロック22と、これらを締結するボルト24と、を有する振動子2と、振動子2に連結される刃物と、防振用圧電素子ユニット12に接続されるシャント回路50と、を備えており、振動発生用圧電素子ユニット10は、駆動電圧が印加されることで、振動子2における軸振動を発生し、シャント回路50は、その軸振動以外の3次のたわみ振動において防振用圧電素子ユニット12が示す静電容量Cに対して電氣的に共振するように設定されている。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

1 個以上の第 1 圧電素子を含む第 1 圧電素子ユニットと、
1 個以上の第 2 圧電素子を含む第 2 圧電素子ユニットと、
前記第 1 圧電素子ユニット及び前記第 2 圧電素子ユニットを挟む一对の導体ブロックと、
前記第 1 圧電素子ユニット及び前記第 2 圧電素子ユニット並びに一对の前記導体ブロックを締結する締結具と、
を有する振動子と、
前記振動子に連結されるツールと、
前記第 2 圧電素子ユニットに接続されるシャント回路と、
を備えており、
前記第 1 圧電素子ユニットは、駆動電圧が印加されることで、前記振動子における所定の振動を発生し、
前記シャント回路は、その所定の振動以外のたわみ振動において前記第 2 圧電素子ユニットが示す静電容量に対して電氣的に共振するように設定されている
ことを特徴とする超音波振動装置。

10

【請求項 2】

前記シャント回路は、インダクタと抵抗の直列回路を含む
ことを特徴とする請求項 1 に記載の超音波振動装置。

20

【請求項 3】

1 個以上の第 1 圧電素子を含む第 1 圧電素子ユニットと、
1 個以上の第 2 圧電素子を含む第 2 圧電素子ユニットと、
前記第 1 圧電素子ユニット及び前記第 2 圧電素子ユニットを挟む一对の導体ブロックと、
前記第 1 圧電素子ユニット及び前記第 2 圧電素子ユニット並びに一对の前記導体ブロックを締結する締結具と、
を有する振動子と、
前記振動子に連結されるツールと、
を備えており、
前記第 1 圧電素子ユニットは、駆動電圧が印加されることで、前記振動子における所定の振動を発生し、
前記駆動電圧は、その所定の振動以外のたわみ振動において前記第 2 圧電素子に生起する電圧に応じて調節される
ことを特徴とする超音波振動装置。

30

【請求項 4】

前記第 2 圧電素子は、前記振動子の中心軸と交わる方向において、片寄せられ、あるいは分割されている
ことを特徴とする請求項 1 ないしは請求項 3 の何れかに記載の超音波振動装置。

40

【請求項 5】

前記第 2 圧電素子は、前記振動子の中心軸と交わる方向であって互いに異なる複数の方向において、片寄せられ、あるいは分割されている
ことを特徴とする請求項 1 ないしは請求項 3 の何れかに記載の超音波振動装置。

【請求項 6】

前記第 1 圧電素子は、前記振動子の中心軸と交わる方向において、片寄せられ、あるいは分割されている
ことを特徴とする請求項 1 ないしは請求項 5 の何れかに記載の超音波振動装置。

【請求項 7】

前記第 1 圧電素子及び第 2 圧電素子は、分極処理されており、それらの分極方向が前記振動子の中心軸と平行な方向となっている

50

ことを特徴とする請求項 1 ないしは請求項 6 の何れかに記載の超音波振動装置。

【請求項 8】

複数の圧電素子を含む圧電素子ユニットと、
前記圧電素子ユニットを挟む一对の導体ブロックと、
前記圧電素子ユニット及び一对の前記導体ブロックを締結する締結具と、
を有する振動子と、
前記振動子に連結されるツールと、
を備えており、
複数の前記圧電素子は、前記振動子の中心軸と交わる方向において分かれるように配置
されており、
複数の前記圧電素子にそれぞれ駆動電流が流されることで、前記振動子における所定の
振動を発生し、
少なくとも一つの前記駆動電流は、その所定の振動以外のたわみ振動によって複数の前
記圧電素子においてそれぞれ変化した電流の差分に応じて調節される
ことを特徴とする超音波振動装置。

10

【請求項 9】

複数の前記圧電素子は、分極処理されており、それらの分極方向が前記振動子の中心軸
と平行な方向となっている
ことを特徴とする請求項 8 に記載の超音波振動装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波振動を発生する超音波振動子を備えた超音波振動装置に関する。

【背景技術】

【0002】

超音波振動装置として、下記特許文献 1, 2 に示されるような、ボルト締めランジュバ
ン型振動子 (Bolt - Clamped Langevin Type Transducer, BLT) を具備するものが知られている。

BLT は、積層方向にそれぞれ分極処理された圧電素子が電極板を介して積層されて構
成される圧電要素が、金属ブロックで挟み込まれ、ボルト等の締結具により一体に締結さ
れたものであり、高出力振動ないし超音波振動が可能なものである。

30

特許文献 1 の BLT は、積層方向の振動 (軸振動) を発生し、特許文献 2 の BLT は、
積層方向と交わる方向の振動 (たわみ振動) を発生する。

【0003】

特許文献 1 の超音波振動装置は、医療用で凝固や切開等利用される超音波処置具であ
り、体外から患部に届くような長尺のプロープを有していて、そのプロープ (ツール) が
BLT により軸振動される。

特許文献 2 の超音波振動装置は、バイトが BLT によりたわみ振動される切削装置であ
るが、近年、バイトの他、食品等を切断するナイフ状やメス状の刃物といった薄いツール
が良く用いられている。

40

これらの細いあるいは薄いツールは、径や厚みに比較して軸方向 (長手方向) の寸法が
大きい、高アスペクト比の形状となっている。

かように、超音波振動が高アスペクト比形状のツールに所定の発振周波数で与えられる
場合、駆動のため付与する超音波振動とは異なる方向や異なる発振周波数の振動 (不要な
振動) が生起することがある。この不要な振動は、付与する振動の発振周波数と一致した
場合 (付与する振動と不要な振動の共振のモードが一致する場合) に加え、発振周波数の
整数分の 1 の周波数と一致したとき (不要な振動の共振のモードが付与する振動の低次の
モードと一致するとき) にも生起する。

【0004】

従来、不要な振動を抑制するために、付与する振動の方向以外の方向に振動しないよう

50

な重量バランスとしたり、剛性を高くして変形を押さえたりしている。

しかし、重量バランスや剛性の向上には限界があり、特に高アスペクト比形状のツールではその限界が比較的に低い。その限界を超えてしまい、不要な振動が生起してしまうと、不要な振動がツールの振動方向等を変化させて加工の質に影響を与える可能性があり、更には不要な振動が可聴域での振動となって騒音が生起する可能性があり、又不要な振動がツール等に甚大な応力を生起してツールが破損する可能性があって、悪影響が及ぶ可能性が生じてしまう。

又、特に高アスペクト比形状のツールでは、たわみ振動に係る低次のモードが比較的多数存在することとなる。例えば、両端自由の3次の共振モード（2波長分の共振）でたわみ振動させる場合には、低次のモードとして、2次（1.5波長分の共振）や、1次（1波長分の共振）のモードが含まれていることになる。

10

更に、ツールを交換可能とする場合、ツールや振動子の部材等は、不要な振動の抑制のために重量バランスや剛性等について厳密な管理が必要になる。

加えて、振動子やツール等の共振周波数は、温度によって変化することがあり、例えば駆動により温度が上昇した場合に、不要な振動が生起し始めることがある。

又、特に特許文献2のものの場合、たわみ振動するバイトの刃先切込量が増加するにつれて切削抵抗が増大し、切削抵抗が閾値を超えると、駆動用の本来の振動周波数におけるたわみ振動に、所望しない周波数における不要な振動が重畳される現象が本出願の発明者によって確認されており、その不要な振動によって、刃先の振動方向が変化して振動痕が加工面に現れる等、加工の質に影響を与えることが確認されている。

20

【0005】

他方、BLTではなくアクチュエータによりたわみ振動する板状体について振動を抑制する振動抑制装置としては、下記特許文献3のものが知られている。

この振動抑制装置では、板状体に接着される圧電素子に、インダクタと抵抗の直列回路から成るシャント回路が接続され、拘束状態においてコンデンサと等価と考えられる圧電素子とシャント回路で共振回路が構成されている。そして、圧電素子の静電容量に合わせてインダクタのインダクタンスが設定され、板状体の共振周波数に共振回路の周波数が合わせられることによって、板状体の特定の共振周波数に係る振動エネルギーは、圧電素子によって電気エネルギーに変換され、シャント回路を介して熱エネルギーとして消散される。よって、特定の共振周波数における振動が抑制されることとなる。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特許第5124437号公報

【特許文献2】特公平6-49242号公報

【特許文献3】特許第4810646号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

BLTを具備することで大出力で超音波振動可能となった超音波振動装置において、ツール駆動用の所望する超音波振動以外の不要な振動を抑制するために、装置に圧電素子が接着され、圧電素子にシャント回路が接続されたとしても、不要な振動を抑制できない可能性がある。

40

即ち、超音波振動装置に接着された圧電素子は、超音波振動により高温となり、接着状態を維持できず装置から離脱してしまう可能性があり、特に大出力の場合に顕著になるものと考えられる。例えば、周波数20kHz（キロヘルツ）、振幅10μm（マイクロメートル）で超音波振動する部位においては、加速度は約160000m/s²（メートル毎秒毎秒）となり、重力加速度に換算すると16000G以上となる程度の甚大な加速度となるのであって、かような加速度に耐えて接着状態を維持する可能性は、相当に低いものと考えられる。

50

又、圧電素子の接着により B L T や超音波振動装置の重量バランスや剛性に影響を与えるから、圧電素子を単に接着するだけでは、別の不要な振動の生起を招来し、結局不要な振動を抑制することにならない可能性がある。

本発明は、超音波振動を発生する振動子 (B L T) を具備しながら、不要なたわみ振動を抑制可能である超音波振動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】

【 0 0 0 8 】

上記目的を達成するために、請求項 1 に記載の発明は、1 個以上の第 1 圧電素子を含む第 1 圧電素子ユニットと、1 個以上の第 2 圧電素子を含む第 2 圧電素子ユニットと、前記第 1 圧電素子ユニット及び前記第 2 圧電素子ユニットを挟む一对の導体ブロックと、前記第 1 圧電素子ユニット及び前記第 2 圧電素子ユニット並びに一对の前記導体ブロックを締結する締結具と、を有する振動子と、前記振動子に連結されるツールと、前記第 2 圧電素子ユニットに接続されるシャント回路と、を備えており、前記第 2 圧電素子ユニットに接続されるシャント回路を有する振動子と、前記振動子に連結されるツールを備えており、前記第 1 圧電素子ユニットは、駆動電圧が印加されることで、前記振動子における所定の振動を発生し、前記シャント回路は、その所定の振動以外のたわみ振動において前記第 2 圧電素子ユニットが示す静電容量に対して電氣的に共振するように設定されていることを特徴とするものである。

請求項 2 に記載の発明は、上記発明において、前記シャント回路は、インダクタと抵抗の直列回路を含むことを特徴とするものである。

上記目的を達成するために、請求項 3 に記載の発明は、1 個以上の第 1 圧電素子を含む第 1 圧電素子ユニットと、1 個以上の第 2 圧電素子を含む第 2 圧電素子ユニットと、前記第 1 圧電素子ユニット及び前記第 2 圧電素子ユニットを挟む一对の導体ブロックと、前記第 1 圧電素子ユニット及び前記第 2 圧電素子ユニット並びに一对の前記導体ブロックを締結する締結具と、を有する振動子と、前記振動子に連結されるツールと、を備えており、前記第 1 圧電素子ユニットは、駆動電圧が印加されることで、前記振動子における所定の振動を発生し、前記駆動電圧は、その所定の振動以外のたわみ振動において前記第 2 圧電素子に生起する電圧に応じて調節されることを特徴とするものである。

請求項 4 に記載の発明は、上記発明において、前記第 2 圧電素子は、前記振動子の中心軸と交わる方向において、片寄せられ、あるいは分割されていることを特徴とするものである。

請求項 5 に記載の発明は、上記発明において、前記第 2 圧電素子は、前記振動子の中心軸と交わる方向であって互いに異なる複数の方向において、片寄せられ、あるいは分割されていることを特徴とするものである。

請求項 6 に記載の発明は、上記発明において、前記第 1 圧電素子は、前記振動子の中心軸と交わる方向において、片寄せられ、あるいは分割されていることを特徴とするものである。

請求項 7 に記載の発明は、上記発明において、前記第 1 圧電素子及び第 2 圧電素子は、分極処理されており、それらの分極方向が前記振動子の中心軸と平行な方向となっていることを特徴とするものである。

上記目的を達成するために、請求項 8 に記載の発明は、複数の圧電素子を含む圧電素子ユニットと、前記圧電素子ユニットを挟む一对の導体ブロックと、前記圧電素子ユニット及び一对の前記導体ブロックを締結する締結具と、を有する振動子と、前記振動子に連結されるツールと、を備えており、複数の前記圧電素子は、前記振動子の中心軸と交わる方向において分かれるように配置されており、複数の前記圧電素子にそれぞれ駆動電流が流れることで、前記振動子における所定の振動を発生し、少なくとも一つの前記駆動電流は、その所定の振動以外のたわみ振動によって複数の前記圧電素子においてそれぞれ変化した電流の差分に応じて調節されることを特徴とするものである。

請求項 9 に記載の発明は、上記発明において、複数の前記圧電素子は、分極処理されており、それらの分極方向が前記振動子の中心軸と平行な方向となっていることを特徴とす

10

20

30

40

50

るものである。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、超音波振動を発生する振動子（BLT）を具備しながら、不要なたわみ振動を抑制可能である超音波振動装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明の第1形態に係る超音波振動切断装置の模式的な斜視図である。

【図2】図1の装置に係る振動子の（a）左側面模式図，（b）（a）のK-K断面模式図である。

10

【図3】本発明の第2形態に係る超音波振動切断装置の模式的な左側面図である。

【図4】本発明の第3形態に係る超音波振動切断装置の模式的な斜視図である。

【図5】図4の装置に係る振動子の左側面模式図である。

【図6】本発明の第4形態に係る超音波振動切断装置の模式的な左側面図である。

【図7】本発明の第5形態に係る超音波振動切断装置の模式図である。

【図8】本発明の第6形態に係る超音波振動切断装置の模式図である。

【図9】図8の装置において基本波の軸振動に対してその2分の1の周波数でたわみ振動が生起した場合のシミュレーションに係る、各種の電流波形に関するグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0011】

20

以下、本発明に係る実施の形態が、適宜図面に基づいて説明される。尚、本発明は、下記の実施の形態に限定されない。

【0012】

[第1形態]

図1は、本発明の第1形態に係る超音波振動装置の一例である食品用の超音波振動切断装置1の模式的な斜視図である。

超音波振動切断装置1は、振動子2と、ツールの一種である刃物4と、振動子2のホルダー6を備えている。

【0013】

図2にも示される振動子2は、BLTであり、所望する振動（目的とする振動）を発生するための第1圧電素子ユニットとしての振動発生用圧電素子ユニット10と、所望しない振動（目的としない振動）を抑制するための第2圧電素子ユニットとしての防振用圧電素子ユニット12と、3枚の電極板14～16と、薄円筒状の絶縁筒18と、振動振幅拡大用の先細の金属材20と、厚円筒状の金属ブロック22と、締結具としてのボルト24を備えている。

30

尚、振動子2において、金属材20側を前側として金属ブロック22側が後側とされ、又後述の電極板16の接続部38が配置される側が左側とされているが、作業状態等に応じ、前後上下左右は様々に変更可能である。

振動子2において、振動発生用圧電素子ユニット10、防振用圧電素子ユニット12、電極板14～16、絶縁筒18、金属材20、金属ブロック22、ボルト24は、中心軸が前後方向を向いて同軸となる状態で配置されている。尚、図1において、電極板14～16や回路は省略されている。又、回路部分を除く各図において、配線は省略されている。

40

【0014】

振動発生用圧電素子ユニット10は、軸方向（振動子長手方向）の超音波振動を発生可能であり、軸振動の発生に係る公知の構成を有している。

超音波振動（超音波領域の周波数における振動）は、概ね、16kHz以上とされても良いし、20kHz以上とされても良い。尚、16kHzを下回る振動で駆動される振動子を含む振動装置について、本発明が適用されても良い。

【0015】

50

振動発生用圧電素子ユニット 10 は、それぞれ円盤状である 2 個の駆動用圧電素子 30 , 30 を含んでいる。第 1 圧電素子としての各駆動用圧電素子 30 の残留分極の分極方向は、振動子 2 の中心軸と平行な方向（肉厚方向）となっている。尚、振動発生用圧電素子ユニットに含まれる駆動用圧電素子の数は、1 個でも良いし、3 個以上でも良いが、構成のし易さの観点から好ましくは偶数個とされる。

駆動用圧電素子 30 , 30 は、肉厚方向である中心軸を同軸として肉厚方向に並べられており、それらの間には、環状の電極板 14 が挟まれている。電極板 14 は、径方向外方に突出する接続部 32 を備えている。

【0016】

防振用圧電素子ユニット 12 は、それぞれ U 字状（半円環状）の板状部材である 4 個の防振用圧電素子 34 , 34 ・ ・ を含んでいる。第 2 圧電素子としての各防振用圧電素子 34 の分極方向は、振動子 2 の中心軸と平行な方向（肉厚方向）となっている。

これら防振用圧電素子 34 , 34 ・ ・ のうちの 2 個は、振動発生用圧電素子ユニット 10 に近い側において、左右方向の間隔を有する環状となるように、上下に配置されている（2 分割された環状圧電素子）。これらの防振用圧電素子 34 , 34 は、均等に分割されていると言える。これらの防振用圧電素子 34 , 34 の分極方向は、互いに逆方向とされており、ここでは上の半割の防振用圧電素子 34 の分極方向が前方とされ、下の半割の防振用圧電素子 34 の分極方向が後方とされている。これらの防振用圧電素子 34 , 34 の前面と、振動発生用圧電素子ユニット 10 の後部の駆動用圧電素子 30 の後面の間には、環状の電極板 15 が挟まれている。電極板 15 は、径方向外方に突出する接続部 36 を備えている。

又、これらの防振用圧電素子 34 , 34 ・ ・ の後側において、別の一对の防振用圧電素子 34 , 34 は、同様に間隔を有する環状となるように配置されている（2 分割された環状圧電素子）。これらの防振用圧電素子 34 , 34 の分極方向は、互いに逆方向とされており、ここでは上の防振用圧電素子 34 の分極方向が後方とされ、下の防振用圧電素子 34 の分極方向が前方とされている。

更に、振動発生用圧電素子ユニット 10 に隣接する防振用圧電素子 34 , 34 と、その後側の防振用圧電素子 34 , 34 の間には、環状の電極板 16 が挟まれている。電極板 16 は、径方向外方に突出する接続部 38 を備えている。尚、防振用圧電素子ユニット 12 に、電極板 15 や他の電極板の少なくとも何れかが含まれるものと考えても良い。

よって、上の 2 個の防振用圧電素子 34 , 34 の分極方向は、電極板 16 を挟んで互いに離れる方向となり、下の 2 個の防振用圧電素子 34 , 34 の分極方向は、電極板 16 を挟んで互いに向かい合う方向となる。

又、絶縁体で形成された絶縁筒 18 が、駆動用圧電素子 30 , 30 及び二対の防振用圧電素子 34 , 34 ・ ・ の内孔に通されている。絶縁筒 18 の内孔には、ボルト 24 が進入可能である。

【0017】

導体ブロックとしての金属材 20 は、前端部に近づくにつれて細くなる（中心軸に直交する断面の面積が次第に小さくなる）テーパ形状を有するように形成される。テーパ形状の種類としては、コニカルホーン形状や、エキスポネンシャルホーン形状、ステップホーン形状が例示される。金属材 20 の前端部には、刃物 4 を連結するための雌ネジ穴であるツール取付部 40 が形成されている。ツール取付部 40 は、金属材 20 の前面から後方へ空けられている。他方、金属材 20 の後端部には、ボルト 24 が入るボルト穴 42 が形成されている。ボルト穴 42 は、金属材 20 の後面から前方へ空けられている。

もう一つの導体ブロックとしての金属ブロック 22 の内孔には、ボルト 24 が進入可能である。

【0018】

そして、駆動用圧電素子 30 , 30 及び二対の防振用圧電素子 34 , 34 ・ ・ は、電極板 14 ~ 16 を順次介在させ、更に共通の絶縁筒 18 を含んだ状態で、金属材 20 と金属ブロック 22 に挟み込まれている。これらは、金属ブロック 22 の後方から、その内孔や

絶縁筒 18 の内孔、更にはボルト穴 42 に入るボルト 24 により、締結されている。

かような締結により、駆動用圧電素子 30, 30 及び二対の防振用圧電素子 34, 34 ・ ・ は十分な強度で拘束され、超音波振動によっても拘束状態を維持する。

前の駆動用圧電素子 30 の前面は、金属材 20 の後面に接触してアースされ、後の防振用圧電素子 34, 34 の後面は、金属ブロック 22 の前面に接触してアースされる。

【0019】

又、電極板 14, 15 には、軸振動発生用の公知の駆動電圧印加回路（駆動電圧印加手段、図示略）が接続されている。

ここでは、電極板 15 の接続部 36 にアースが接続され、電極板 14 の接続部 32 に所定の交流電圧が印加される。アースは、例えば金属材 20 又は金属ブロック 22 に接続することとされる。電極板 14 に交流電圧が印加されると、駆動用圧電素子 30, 30 は軸振動（振動子 2 の中心軸と平行な方向の振動）を発生する。振動子 2 は、その形状（長さや径の大きさないしその分布等）や重量配分等の構造により、軸振動及びたわみ振動についてそれぞれ所定の共振周波数を有しており、駆動用圧電素子 30, 30 に対する所定の交流電圧の印加により、振動子 2 に 1 次の共振モードにおける軸振動が発生する。1 次の共振モードにおける軸振動は、両端開放で振幅最大となり、振幅最小（ゼロ）となる節（ノード）が 1 箇所、振動子 2 上に存在する。又、駆動用圧電素子 30, 30 によって積極的にたわみ振動を発生させることはしないが、振動子 2 は、1 次の共振モードにおける軸振動の節の部分に設けられたフランジ部 26 において、ホルダー 6 に支持されている。

【0020】

更に、電極板 16 には、接続部 38 を介して、シャント回路 50 が接続されている。シャント回路 50 は、インダクタ 52 と抵抗 54 が、直列に接続されて成る。シャント回路 50 における、電極板 16 と逆側の回路端は、アースされている。

インダクタ 52 のインダクタンス L は、3 次の共振モードに係るたわみ振動において、拘束状態の防振用圧電素子 34, 34 ・ ・ （防振用圧電素子ユニット 12）が呈する静電容量 C と電氣的に共振する大きさとされている。

又、抵抗 54 の抵抗値 R は、3 次のたわみ振動における内部インピーダンスと同じ値とされる。

【0021】

駆動電圧印加回路やシャント回路 50 は、図示されない超音波発振装置に内蔵されており、コード 60 を介して、振動発生用圧電素子ユニット 10 あるいは防振用圧電素子ユニット 12 と電氣的に接続されている。

尚、これらの回路の少なくとも一方は、振動子 2 やホルダー 6 に内蔵されるようにしても良い。

【0022】

超音波振動切断装置 1 の動作例は、次の通りである。

即ち、振動発生用圧電素子ユニット 10 に所定の交流電圧を与えると、振動子 2 が軸振動して、金属材 20 のツール取付部 40 に連結された刃物 4 が軸方向に超音波振動する。作業者は、超音波軸振動された刃物 4 により、ケーキ等の食品について、切断抵抗が低減され、切れ味に優れた状態で、押し潰したり、破片を飛び散らせたりすることなく、綺麗に切断することができる。

又、作業中、振動子 2 にたわみ振動が生起することがあり、かようなたわみ振動は、刃物 4 の駆動用の軸振動に重畳し、刃物 4 の振動方向等を変化させ、切断の質に影響を与えるので、所望されない不要な振動である。超音波振動切断装置 1 では、所望されない 3 次の共振モードにおけるたわみ振動が生起し始めたとしても、そのエネルギーを、防振用圧電素子ユニット 12 によって電気エネルギーに変え、更にはシャント回路 50 によって熱エネルギーに変えて、消散させる。

シャント回路 50 は、3 次のたわみ振動において防振用圧電素子ユニット 12 が示す静電容量 C に合わせて共振するように調節されたインダクタンス L を有するインダクタ 52 を備えており、3 次のたわみ振動のエネルギーを熱エネルギーに変え、他の振動のエネル

10

20

30

40

50

ギーを熱エネルギーに変えない。

又、シャント回路50において、抵抗54の抵抗値Rが3次のたわみ振動における内部インピーダンスと同じ値とされているから、最も効率良く電気エネルギーを熱エネルギーに変換して消散させることができる。

【0023】

第1形態の超音波振動切断装置1は、2個の駆動用圧電素子30, 30を含む振動発生用圧電素子ユニット10と、4個(2対)の防振用圧電素子34, 34・・・を含む防振用圧電素子ユニット12と、振動発生用圧電素子ユニット10及び防振用圧電素子ユニット12を挟む金属材20及び金属ブロック22と、振動発生用圧電素子ユニット10及び防振用圧電素子ユニット12並びに金属材20及び金属ブロック22を締結するボルト24と、を有する振動子2と、振動子2に連結される刃物4と、防振用圧電素子ユニット12に接続されるシャント回路50と、を備えており、振動発生用圧電素子ユニット10(駆動用圧電素子30, 30)は、駆動電圧が印加されることで、振動子2における軸振動を発生し、シャント回路50は、その軸振動以外の3次のたわみ振動において防振用圧電素子ユニット12が示す静電容量Cに対して電氣的に共振するように設定されている。

よって、3次の共振モードにおけるたわみ振動のエネルギーのみを、防振用圧電素子ユニット12によって電気エネルギーとして取り出し、シャント回路50によって熱エネルギーに変換して発散させることができ、その結果3次の共振モードにおける不要なたわみ振動が抑制される。ここで、駆動用圧電素子30, 30が金属ブロックにより挟み込まれて締結具により締結されており高出力(高周波数及び大振幅の少なくとも何れか等)の超音波振動の発生が可能であるBLTに係る振動子2においても、防振用圧電素子34, 34・・・が共に挟み込まれることで振動子2から離脱することなく確実に不要な振動が抑制される。又、防振用圧電素子34, 34・・・を始めとする防振用の各種部材は、振動子2の中心軸(前後方向)を中心として対称的に配置し易く、防振用部材を組み込んだ後の状態においても重量バランスに優れる。従って、不要な振動が目的の軸振動に影響を与える事態が防止され、又防振用部材の組み込みにより重量バランスに影響を与える事態が防止されることとなり、通常のツールによる切断の質が極めて良好になるのは勿論、アスペクト比の高いツール(刃物4等)による切断の質も極めて良好になる。

【0024】

加えて、シャント回路50は、インダクタ52と抵抗54の直列回路を含むから、電気エネルギーから熱エネルギーへの変換ないしエネルギーの発散を簡便に行える。

更に、防振用圧電素子34, 34・・・は、振動子2の中心軸と交わる方向(上下方向)において分割されている(上下に分かれている)。よって、防振用圧電素子34, 34・・・がたわみ振動の抑制に合致したものとなる。

又、駆動用圧電素子30, 30及び防振用圧電素子34, 34・・・は、分極処理されており、それらの分極方向が振動子2の中心軸と平行な方向(前後方向)となっている。よって、所望する振動の付与や不要な振動の抑制のための構成がシンプルになる。

【0025】

第1形態においては、次のような変更例が存在する。

防振用圧電素子ユニットについて、前側の2個の防振用圧電素子が省略されたり、後側の2個の防振用圧電素子が省略されたり、上側の2個の防振用圧電素子が省略されたり、下側の2個の防振用圧電素子が省略されたり、防振用圧電素子の数が1以上の任意の数に増減されたり、分極方向が上下や左右で入れ替えられたりする等、その構成は様々に変更されて良い。上側若しくは下側の2個の圧電素子が省略された場合、防振用圧電素子は振動子の中心軸と交わる方向(上下方向)において、片寄せられていることになり、この場合、省略された圧電素子と同様な大きさないし重量のスペーサ(金属材あるいは金属ブロックと一体でも別体でも良い)が省略された側に設けられることが好ましい。電極板についても、更に分割する等、様々に変更することができる。又、2分割された圧電素子は、円環状の圧電素子本体における、互いに離れた上部と下部にのみ分極処理されたもの、即ち分極処理された上部と、分極処理されていない中央部(間隙に相当する部分)と、分極

10

20

30

40

50

処理された下部を有する円環状のものとされても良い。

締結具に関し、防振用圧電素子ユニットを締結するボルトと、振動発生用圧電素子ユニットを締結するボルトが設けられても良い。

シャント回路は、別の構成とされて良く、インダクタンスは2次以下あるいは4次以上のたわみ振動中に示される静電容量と共振するものに設定されても良いし、抵抗値は第1形態とは別の値とされても良い。

目的とする振動（所定の振動）は、2次以上の軸振動とされても良く、1次や2次等の複数の振動状態の何れかに切替可能とされても良い。目的とする振動として、軸振動にたわみ振動を重ねた楕円振動（円振動を含む）が採用されても良い。

電極板として、接続部が省略されたものが採用されても良く、又圧電素子の面に導体を塗布して形成されたものが採用されて、その塗布された導体にコード等が接続されても良い。

振動発生用圧電素子ユニットと防振用圧電素子ユニットの間に、導体のスペーサが配置されて、これらのユニットが互いに離隔されるようにしても良い。各圧電素子ユニット内にスペーサが配置されても良い。

第1形態は、食品用の超音波切断装置に代えて、他のワークを超音波切断する装置や、切断以外の加工を超音波振動するツールによってワークに対して行う装置、あるいは医療用を始めとする他の用途の超音波振動装置に適用されても良い。

【0026】

[第2形態]

図3は、本発明の第2形態に係る食品用の超音波振動切断装置に含まれる、振動子202の模式的な左側面図である。

第2形態は、防振用圧電素子ユニットに係る電極板の設置数及び形状並びにシャント回路の設置数及び設定を除き、第1形態と同様に成る。第1形態と同様に成る部材等には同じ符号が付されて適宜説明が省略される。

【0027】

第2形態では、防振用圧電素子ユニット212に係る電極板216、216が2個設けられている。各電極板216は、1個の防振用圧電素子34の一面に合うように半円環状に形成されており、径方向に突出する接続部238を備えている。

電極板216、216は、左右方向の間隔を有する環状となるように、上下に配置されている（2分割された環状電極板）。電極板216、216は、上側又は下側における1対の防振用圧電素子34、34に、互いの半円環状の面を合わせた状態で挟まれている。

そして、上側の電極板216に第1のシャント回路250が接続され、下側の電極板216に第2のシャント回路260が接続される。

第1のシャント回路250は、直列接続されたインダクタ252と抵抗254を有している。シャント回路250における、電極板216と逆側の回路端は、アースされている。

インダクタ252のインダクタンス L_2 は、2次の共振モードに係るたわみ振動において、拘束状態の上側の防振用圧電素子34、34が呈する静電容量 C_2 と電氣的に共振する大きさとされている。

又、抵抗254の抵抗値 R_2 は、2次のたわみ振動における内部インピーダンスと同じ値とされる。

第2のシャント回路260は、直列接続されたインダクタ262と抵抗264を有している。シャント回路260における、電極板216と逆側の回路端は、アースされている。

インダクタ262のインダクタンス L_3 は、3次の共振モードに係るたわみ振動において、拘束状態の下側の防振用圧電素子34、34が呈する静電容量 C_3 と電氣的に共振する大きさとされている。

又、抵抗264の抵抗値 R_3 は、3次のたわみ振動における内部インピーダンスと同じ値とされる。

【 0 0 2 8 】

第 2 形態の超音波振動切断装置では、目的としない 2 次の共振モードにおけるたわみ振動が生起し始めたとしても、そのエネルギーを、上側の一对の防振用圧電素子 3 4 , 3 4 と第 1 のシャント回路 2 5 0 により、電気エネルギーに変え、更には熱エネルギーに変えて、消散させる。

第 1 のシャント回路 2 5 0 は、2 次のたわみ振動において上側の一对の防振用圧電素子 3 4 , 3 4 が示す静電容量 C 2 に合わせて共振するように調節されたインダクタンス L 2 を有するインダクタ 2 5 2 を備えており、2 次のたわみ振動のエネルギーを熱エネルギーに変え、他の振動のエネルギーを熱エネルギーに変えない。

又、目的としない 3 次の共振モードにおけるたわみ振動が生起し始めたとしても、そのエネルギーを、下側の一对の防振用圧電素子 3 4 , 3 4 と第 2 のシャント回路 2 6 0 により、電気エネルギーに変え、更には熱エネルギーに変えて、消散させる。

第 2 のシャント回路 2 6 0 は、3 次のたわみ振動において下側の一对の防振用圧電素子 3 4 , 3 4 が示す静電容量 C 3 に合わせて調節されたインダクタンス L 3 を有するインダクタ 2 6 2 を備えており、3 次のたわみ振動のエネルギーを熱エネルギーに変え、他の振動のエネルギーを熱エネルギーに変えない。

又、第 2 のシャント回路 2 6 0 において、抵抗 2 6 4 の抵抗値 R 3 が 3 次のたわみ振動における内部インピーダンスと同じ値とされているから、3 次のたわみ振動についても最も効率良く電気エネルギーを熱エネルギーに変換して消散させることができる。

かように、第 2 形態の超音波振動切断装置では、主に振動モードの次数について異なる 2 種類の不要な振動を抑制することが可能である。

【 0 0 2 9 】

第 2 形態においては、第 1 形態と同様の変更例が適宜存在する他、次のような変更例が存在する。

第 1 と第 2 のシャント回路におけるインダクタンスの調整等により、抑制する不要なたわみ振動の種類は様々に変更されても良い。例えば、1 次と 2 次のたわみ振動が抑制されるようにしても良いし、4 次のたわみ振動と 5 次のたわみ振動が抑制されるようにしても良い。

防振用圧電素子の数が周方向において増加され（分割数が増やされ）、それに対応してシャント回路の数が増加されることにより、3 種類以上の不要なたわみ振動が抑制されるようにしても良い。

【 0 0 3 0 】

[第 3 形態]

図 4 は、本発明の第 3 形態に係る食品用の超音波振動切断装置に含まれる、振動子 3 0 2 の模式的な斜視図であり、図 5 は、振動子 3 0 2 の模式的な左側面図である。尚、図 4 において、各種の電極板や回路は省略されている。

第 3 形態は、防振用圧電素子ユニットの構成並びにシャント回路の設置数を除き、第 1 形態と同様に成る。第 1 形態と同様に成る部材等には同じ符号が付されて適宜説明が省略される。

【 0 0 3 1 】

第 3 形態では、防振用圧電素子ユニット 3 1 2 は、8 個の防振用圧電素子 3 4 , 3 4 ・ ・ を備えている。そのうち 4 個の防振用圧電素子 3 4 , 3 4 ・ ・ や電極板 1 6 は、第 1 形態の防振用圧電素子ユニット 1 2 ないしこれに挟まれる電極板 1 6 と同じ構成を具備している。又、他の 4 個の防振用圧電素子 3 4 , 3 4 ・ ・ についても、電極板 1 6 と同じ電極板 3 1 6 を挟んで同様に配置される。

そして、振動発生用圧電素子ユニット 1 0 の後側において、電極板 1 5 を介して隣接するように、電極板 3 1 6 を挟む 4 個の防振用圧電素子 3 4 , 3 4 ・ ・ が配置され、更にその後側において、電極板 3 1 7 を介して隣接するように、電極板 1 6 を挟む 4 個の防振用圧電素子 3 4 , 3 4 ・ ・ が配置される。電極板 3 1 6 を挟む二対（4 個）の防振用圧電素子 3 4 , 3 4 ・ ・ における間隙の方向は上下方向であり、これらの防振用圧電素子 3 4 ,

10

20

30

40

50

34・・・は、振動子2の中心軸と平行な方向（前後方向）と交わる方向である左右方向において、分割されている。又、電極板16を挟む二対（4個）の防振用圧電素子34, 34・・・における間隙の方向は左右方向であり、これらの防振用圧電素子34, 34・・・は、振動子2の中心軸と平行な方向（前後方向）と交わる方向である上下方向において、分割されている。

振動発生用圧電素子ユニット10、及び8個の防振用圧電素子34, 34・・・を備えた防振用圧電素子ユニット312は、金属材20及び金属ブロック22により挟み込まれて、ボルト24により締結され、振動子302からの離脱が防止される。

【0032】

電極板316は、径方向外側に突出する接続部338を有しており、電極板317は、径方向外側に突出する接続部335を有している。

電極板317は、接続部335を介して、電極板15と同様にアースされている。

電極板316には、接続部338を介して、シャント回路50と同様に成るシャント回路350が接続されている。シャント回路350のインダクタ352のインダクタンスLはシャント回路50のインダクタ52と同じであり、シャント回路350の抵抗354の抵抗値Rはシャント回路50の抵抗54と同じである。

【0033】

第3形態の超音波振動切断装置では、目的としない3次の共振モードにおけるたわみ振動が振動子302において主に上下方向で生じ始めたとしても、そのエネルギーを、主に電極板16を挟む二対の防振用圧電素子34, 34・・・とシャント回路50により、電気エネルギーに変え、更には熱エネルギーに変えて、消散させる。

又、目的としない3次の共振モードにおけるたわみ振動が主に左右方向で生じ始めたとしても、そのエネルギーを、主に電極板316を挟む二対の防振用圧電素子34, 34・・・と第2のシャント回路350により、電気エネルギーに変え、更には熱エネルギーに変えて、消散させる。

かように、第3形態の超音波振動切断装置では、防振用圧電素子34, 34・・・は、振動子2の中心軸と交わる方向であって互いに異なる複数の方向即ち上下方向と左右方向において分割されていることから、主に振動方向について異なる2種類の不要な振動を抑制することが可能である。

【0034】

第3形態においては、第1形態や第2形態と同様の変更例が適宜存在する。

特に、第3形態においても、第1と第2のシャント回路におけるインダクタンスの調整等により、抑制する不要な振動の種類は様々に変更されても良い。例えば、2次の左右方向のたわみ振動と2次の上下方向のたわみ振動が抑制されるようにしても良いし、4次の左右方向のたわみ振動と4次の上下方向のたわみ振動が抑制されるようにしても良いし、2次の左右方向のたわみ振動と3次の上下方向のたわみ振動が抑制されるようにしても良い。

又、振動子の中心軸と交わる方向であって、上下方向や左右方向とは異なる斜めの方向において分割された圧電素子が設けられるようにして、更にその斜めの方向の不要なたわみ振動が抑制されるようにしても良い。

【0035】

[第4形態]

図6は、本発明の第3形態に係る食品用の超音波振動切断装置に含まれる、振動子402の模式的な左側面図である。

第4形態は、振動発生用圧電素子ユニットの構成及びシャント回路の設定を除き、第1形態と同様に成る。第1形態と同様に成る部材等には同じ符号が付されて適宜説明が省略される。

【0036】

第4形態の振動子402の振動発生用圧電素子ユニット410は、たわみ方向の超音波振動を発生可能であり、たわみ振動の発生に係る公知の構成（上記特許文献2参照）を有

10

20

30

40

50

している。

振動発生用圧電素子ユニット 410 は、それぞれ半円環状である 4 個の駆動用圧電素子 430, 430・・・を含んでいる。各駆動用圧電素子 430 の分極方向は、肉厚方向に向いており、振動子 402 の中心軸と平行な方向に向いている。

これら駆動用圧電素子 430, 430・・・のうちの 2 個は、金属材 20 に近い側において、左右方向の間隔を有する環状となるように、上下方向に分割されている。これらの駆動用圧電素子 430, 430 の前面は金属材 20 に共通に接しており、各後面は半円環状の電極板 414, 414 に接している。各電極板 414 は、外方に突出する接続部 432, 432 を有している。

又、電極板 414, 414 の後側において、別の一对の駆動用圧電素子 430, 430 は、同様に間隔を有する環状となるよう、上下方向において分割されている。これらの電極板 414, 414 の後面は、アースされた環状の電極板 15 に接している。

振動発生用圧電素子ユニット 410 は、駆動用圧電素子 430, 430・・・の分極方向に応じ、たわみ振動発生用の公知の駆動電圧印加回路（駆動電圧印加手段、図示略）により駆動される。駆動電圧印加回路は、各電極板 414 の接続部 432 において接続されており、振動子 2 において 3 次の共振モードに係るたわみ振動（目的の振動）が発生するような駆動電圧を印加する。例えば、上側の駆動用圧電素子 430, 430 の分極方向がそれぞれ電極板 414 に向かうことで互いに向かい合い、下側の駆動用圧電素子 430, 430 の分極方向がそれぞれ電極板 414 とは逆側に向かうことで互いに離れるものとなっている場合、同位相の駆動電圧が印加されれば、目的のたわみ振動が発生する。あるいは、上側と下側の駆動用圧電素子 430, 430 の分極方向が互いに合致する場合、逆位相の駆動電圧が印加されれば、目的のたわみ振動が発生する。

【0037】

そして、第 4 形態の振動子 402 の防振用圧電素子ユニット 12 は、電極板 15 の後側において、第 1 形態と同様に配置される。

電極板 16 には、シャント回路 450 が接続されている。

シャント回路 450 は、直列接続されたインダクタ 452 及び抵抗 454 を含む。インダクタ 452 のインダクタンス L_4 は、2 次の共振モードに係るたわみ振動において、拘束状態の防振用圧電素子 34, 34・・・が呈する静電容量 C_4 と電氣的に共振する大きさとされている。

又、抵抗 454 の抵抗値 R_4 は、2 次のたわみ振動における内部インピーダンスと同じ値とされる。

【0038】

第 4 形態の超音波振動切断装置では、目的とする 3 次の共振モードにおけるたわみ振動の発生中に、目的としない 2 次の共振モードにおけるたわみ振動が生起し始めたとしても、そのエネルギーを、防振用圧電素子ユニット 12 とシャント回路 450 により、電気エネルギーに変え、更には熱エネルギーに変えて、消散させる。

シャント回路 450 は、2 次のたわみ振動において防振用圧電素子ユニット 12 が示す静電容量 C_4 に合わせて共振するように調節されたインダクタンス L_4 を有するインダクタ 452 を備えており、2 次のたわみ振動のエネルギーを熱エネルギーに変え、他の振動のエネルギーを熱エネルギーに変えない。

かように、第 4 形態の超音波振動切断装置では、所定の周波数（3 次の共振モードの周波数）におけるたわみ振動を目的とする振動子 402 において、その周波数以外の特定の周波数（3 次より低次である 2 次の共振モードの周波数）におけるたわみ振動（目的としないたわみ振動）を抑制することが可能である。

又、駆動用圧電素子 430, 430・・・は、振動子 402 の中心軸と交わる方向（上下方向）において分割されているから、所望する振動がたわみ振動である場合に適した構成となる。

【0039】

第 4 形態においては、第 1 形態ないし第 3 形態の少なくとも何れかと同様の変更例が適

10

20

30

40

50

宜存在する他、次のような変更例が存在する。

目的とするたわみ振動が４次のたわみ振動とされ、不要なたわみ振動が３次のたわみ振動とされたり、目的とするたわみ振動が２次のたわみ振動とされ、不要なたわみ振動が３次のたわみ振動とされたりする等、駆動や防振に係る共振モードの組合せは様々に変更されて良い。目的とするたわみ振動の共振モード（次数）が切替可能とされても良い。

振動発生用圧電素子ユニットがたわみ振動に係る駆動用圧電素子と軸振動に係る駆動用圧電素子を備えるようにして、ツールが楕円振動（円振動を含む）を行うものとされても良い。

【００４０】

[第５形態]

図７は、本発明の第５形態に係る食品用の超音波振動切断装置に含まれる、刃物４及び振動子５０２並びに回路の模式図である。

第５形態は、防振用圧電素子ユニット及び振動発生用圧電素子ユニット並びに回路の構成を除き、第４形態と同様に成る。第４形態と同様に成る部材等には同じ符号が付されて適宜説明が省略される。

【００４１】

第５形態の振動子５０２の振動発生用圧電素子ユニット５１０は、第４形態の振動発生用圧電素子ユニット４１０と同様に成り、駆動用圧電素子４３０と同様の駆動用圧電素子５３０や、電極板４１４（接続部４３２）と同様の電極板５１４（接続部５３２）を備えている。

但し、振動発生用圧電素子ユニット５１０は、１次の軸振動を発生する。ここでは、４個の駆動用圧電素子５３０，５３０・・・のうち、上側の２個をＰＺＴ１とし、下側の２個をＰＺＴ２とすると、分極方向がＰＺＴ１とＰＺＴ２で同一になっている状態で、ＰＺＴ１の間の電極板５１４に同位相の駆動電圧が印加される。又、振動発生用圧電素子ユニット５１０は、振動検出用圧電素子ユニット５１２の後側に配置されている。

【００４２】

第５形態に係る不要な振動を検出するための振動検出用圧電素子ユニット５１２（第２圧電素子ユニット）は、第２形態の防振用圧電素子ユニット２１２と同様に成り、防振用圧電素子３４と同様の振動検出用圧電素子５３４（第２圧電素子）や、電極板２１６（接続部２３８）と同様の電極板５１６（接続部５３８）を備えている。

４個の振動検出用圧電素子５３４，５３４・・・のうち、上側の２個をＰＺＴ３とし、下側の２個をＰＺＴ４とすると、ここでは分極方向はＰＺＴ３とＰＺＴ４で同一になっている。

振動検出用圧電素子ユニット５１２と振動発生用圧電素子ユニット５１０の間には、接続部３６を有する電極板１５が配置されている。

ＰＺＴ３やＰＺＴ４において、圧縮による歪みにより、歪みの大きさに応じたプラスの電圧が生起するものとする。

又、振動発生用圧電素子ユニット５１０と金属ブロック２２の間には、電極板１５と同様に成る電極板５１７が配置されている。電極板５１７は、接続部５３９を有している。

電極板１５，５１７は、接続部３６，５３９を介して、アースされている。

【００４３】

第５形態の駆動用ないし防振用の回路５７０は、駆動電源５７２と、乗算器５７４と、アンプ（ＡＭＰ）５７６，５７８と、電圧比較器５７９を備えている。回路５７０は、駆動電圧印加手段と駆動電圧調節手段を兼ねており、より詳しくは、駆動電源５７２とアンプ（ＡＭＰ）５７６，５７８が駆動電圧印加手段を構成し、乗算器５７４と電圧比較器５７９が駆動電圧調節手段を構成している。尚、駆動電圧調節手段は、ＰＺＴ３やＰＺＴ４あるいは電極板５１６，５１６を含めて構成され则认为ても良い。

駆動電源５７２とＰＺＴ１は、乗算器５７４、アンプ５７６、電極板５１４（接続部５３２）を介して接続されている。駆動電源５７２で発生した交流電圧は、乗算器５７４を経て、アンプ５７６により増幅され、電極板５１４（接続部５３２）を介してＰＺＴ１に

10

20

30

40

50

印加される。

駆動電源 572 と P Z T 2 は、アンプ 578、電極板 514（接続部 532）を介して接続されている。駆動電源 572 で発生した交流の駆動電圧は、アンプ 578 により増幅され、電極板 514（接続部 532）を介して P Z T 2 に印加される。P Z T 1 と P Z T 2 が同様に構成されるため、アンプ 576、578 における増幅率は同じものとされている。

【0044】

P Z T 3 と電圧比較器 579 は、電極板 516（接続部 538）を介して接続されている。P Z T 4 と電圧比較器 579 は、電極板 516（接続部 538）を介して接続されている。

電圧比較器 579 は、乗算器 574 に接続されている。電圧比較器 579 は、P Z T 3 において生じた電圧と、P Z T 4 において生じた電圧を比較してその差分を乗算器 574 へ出力する。乗算器 574 は、受信した差分に応じ、駆動電源 572 からの駆動電圧を、適宜増減してあるいは増減せずに、アンプ 576 に送る。

即ち、電圧比較器 579 は、P Z T 3 の電圧が P Z T 4 の電圧より大きいと、マイナスの差分を出力し、乗算器 574 は、差分の絶対値に応じた 0 以上で 1 より小さい数を駆動電圧に乗ずる。アンプ 576 に与えられる駆動電圧は、差分の絶対値に応じ、アンプ 578 に与えられる駆動電圧より小さくなる。他方、電圧比較器 579 は、P Z T 3 の電圧が P Z T 4 の電圧より小さいと、プラスの差分を出力し、乗算器 574 は、差分の絶対値に応じた 1 以上の数を駆動電圧に乗ずる。アンプ 576 を経て P Z T 1 に与えられる駆動電圧は、差分の絶対値に応じ、アンプ 578 を経て P Z T 2 に与えられる駆動電圧より大きくなる。

【0045】

第 5 形態の超音波振動切断装置では、アンプ 576、578 を介して駆動電圧が印加されることで駆動される P Z T 1、P Z T 2 により、振動子 502 に軸振動が発生する。

そして、軸振動中において振動子 502 にたわみ振動が生じた場合、P Z T 3 や P Z T 4 においてたわみ振動に応じた大きさの歪みが生じ、その歪みの大きさに応じた電圧が生起する。

かように生じた P Z T 3 の電圧と P Z T 4 の電圧は、電圧比較器 579 において比較され、乗算器 574 においてそれら電圧の差分に応じた係数が P Z T 1 の駆動電圧に乗算されることで、P Z T 2 の駆動電圧に対する P Z T 1 の駆動電圧が調節される。

即ち、たわみ振動によって P Z T 3 側に大きな歪みが生じた場合、P Z T 3 において P Z T 4 より大きな電圧が生起し、電圧比較器 579 はマイナスの差分を出力して、乗算器 574 は P Z T 1 の駆動電圧を差分の絶対値に応じて小さくする。よって、P Z T 1 は P Z T 2 に比べて小さい駆動電圧で駆動されることになり、自身と同じ上側にある P Z T 3 側への歪みを、P Z T 2 の駆動より弱く適切な大きさである駆動によって、能動的に打ち消す。他方、たわみ振動によって P Z T 4 側に大きな歪みが生じた場合、P Z T 4 において P Z T 3 より大きな電圧が生起し、電圧比較器 579 はプラスの差分を出力して、乗算器 574 は P Z T 1 の駆動電圧を差分の絶対値に応じて大きくする。よって、P Z T 1 は P Z T 2 に比べて大きい駆動電圧で駆動されることになり、自身と逆側の下側にある P Z T 4 側への歪みを、P Z T 2 の駆動より強く適切な大きさである駆動によって、能動的に打ち消す。

【0046】

第 5 形態の超音波振動切断装置は、4 個の駆動用圧電素子 530、530・・・（P Z T 1、P Z T 2）を含む振動発生用圧電素子ユニット 510 と、4 個の振動検出用圧電素子 534、534・・・（P Z T 3、P Z T 4）を含む振動検出用圧電素子ユニット 512 と、振動発生用圧電素子ユニット 510 及び振動検出用圧電素子ユニット 512 を挟む金属材料 20 及び金属ブロック 22 と、振動発生用圧電素子ユニット 510 及び振動検出用圧電素子ユニット 512 並びに金属材料 20 及び金属ブロック 22 を締結するボルト 24 と、を有する振動子 502 と、振動子 502 に連結される刃物 4 と、を備えており、振動発生用

圧電素子ユニット 510 は、駆動電圧印加手段により駆動電圧が印加されることで、振動子 502 における 1 次の軸振動を発生し、その駆動電圧は、乗算器 574 や電圧比較器 579 により、その軸振動以外のたわみ振動において振動検出用圧電素子 534, 534・・ (PZT3, PZT4) に生起する電圧に応じて調節される。

よって、目的としないたわみ振動の状態が振動検出用圧電素子ユニット 512 (PZT3, PZT4) によって検出され、その状態に応じて、振動発生用圧電素子ユニット 510 (PZT1, PZT2) の駆動電圧が、目的としないたわみ振動を打ち消すようにフィードバック制御されることになる。従って、第 1 形態ないしは第 4 形態のように、不要なたわみ振動の発生に対して受動的に対応する (パッシブ防振) のではなく、不要なたわみ振動が能動的に抑制されることとなる (アクティブ防振)。そしてその結果、通常の超音波振動切断の場合のみならず、アスペクト比の高いツールを用いる場合であっても、又大出力の振動をツールに与える場合であっても、不要なたわみ振動を確実に抑制して、極めて優れた切断を提供することができる。又、振動検出用圧電素子ユニット 512 (PZT3, PZT4) によって検出されたたわみ振動の状態に応じて駆動電圧がフィードバック制御されることにより、たわみ振動の次数を問わず、様々な共振モードに係るたわみ振動を適切に抑制することが可能である。

【0047】

更に、振動検出用圧電素子 534, 534・・は、振動子 502 の中心軸と交わる方向 (上下方向) において分割されている。よって、振動検出用圧電素子 534, 534・・がたわみ振動の抑制に合致したものとなる。

又、駆動用圧電素子 530, 530・・は、振動子 502 の中心軸と交わる方向 (上下方向) において分割されている。よって、不要なたわみ振動をフィードバック制御により能動的に打ち消して抑制する場合に適した構成となる。

加えて、駆動用圧電素子 530, 530 及び振動検出用圧電素子 534, 534・・は、分極処理されており、それらの分極方向が振動子 502 の中心軸に平行な方向となっている。よって、フィードバック制御における、所望する振動の付与や不要な振動の抑制のための構成が、シンプルになる。

【0048】

第 5 形態においては、第 1 形態ないし第 4 形態の少なくとも何れかと同様の変更例が適宜存在する他、次のような変更例が存在する。

回路の構成は、回路の各種要素と同等である他の要素に置き換えたり、PZT2 に対する電圧あるいは双方の電圧を調節するものとしたり、電圧比較器において係数が出力されるようにしたり、電圧比較器と乗算器が統合された比較乗算器が用いられったり、アンプの倍率が調節されることで駆動電圧が調節されるものとしたり、アンプが省略されたりする等、様々に変更されて良い。

又、振動発生用圧電素子ユニットにおいて駆動用圧電素子の分極方向が PZT1 と PZT2 で逆になっている状態で、PZT1 の間の電極板に逆位相の駆動電圧が印加され、その駆動電圧が調節されるようにしても良い。

【0049】

[第 6 形態]

図 8 (a) は、本発明の第 6 形態に係る食品用の超音波振動切断装置に含まれる、刃物 4 及び振動子 602 並びに回路の模式図であり、図 8 (b) は、振動子 602 のたわみ振動中の模式図である。

第 6 形態は、振動検出用圧電素子ユニット及び振動発生用圧電素子ユニット並びに回路の構成を除き、第 5 形態と同様に成る。第 5 形態と同様に成る部材等には同じ符号が付されて適宜説明が省略される。

【0050】

第 6 形態の振動子 602 における 4 個の圧電素子 631, 631・・を含む圧電素子ユニット 611 は、第 5 形態の軸方向の振動発生用圧電素子ユニット 510 とたわみ方向の振動検出用圧電素子ユニット 512 の役割を兼ねている。

圧電素子ユニット 6 1 1 は、第 5 形態の振動発生用圧電素子ユニット 5 1 0 あるいは振動検出用圧電素子ユニット 5 1 2 と同様に構成される。即ち、圧電素子 6 3 1 , 6 3 1 ・ はそれぞれ半円環状であり、2 個の半円環状の電極板 6 1 7 を 2 個の圧電素子 6 3 1 , 6 3 1 で挟んでいて、上下に分かれている。ここで、下の 2 個の圧電素子 6 3 1 , 6 3 1 は P Z T α とされ、上の 2 個の圧電素子 6 3 1 , 6 3 1 は P Z T β とされる。

P Z T α と P Z T β の分極方向は、互いに同じ向きとされ、例えば電極板 6 1 7 に向かう向きとされている。

各電極板 6 1 7 は、径方向外方に突出する接続部 6 3 9 を備えている。

圧電素子ユニット 6 1 1 の前面と後面は、アースされている。

【 0 0 5 1 】

10

第 6 形態の駆動用兼防振用の回路 6 7 0 は、駆動電源 5 7 2 と、乗算器 5 7 4 と、アンプ (A M P) 5 7 6 , 5 7 8 と、演算回路 6 7 9 と、電流センサー C C 1 , C C 2 を備えている。回路 6 7 0 は、駆動電圧印加手段と駆動電圧調節手段を兼ねており、より詳しくは、駆動電源 5 7 2 とアンプ (A M P) 5 7 6 , 5 7 8 が駆動電圧印加手段を構成し、乗算器 5 7 4 と演算回路 6 7 9 と電流センサー C C 1 , C C 2 が駆動電圧調節手段を構成している。尚、駆動電圧調節手段は、P Z T α や P Z T β あるいは電極板 6 1 7 , 6 1 7 を含めて構成されたと考えても良いし、電流センサー C C 1 , C C 2 を除いて構成されたと考えても良い。

駆動電源 5 7 2 と P Z T α は、アンプ 5 7 8 、電極板 6 1 7 (接続部 6 3 9) を介して接続されている。駆動電源 5 7 2 で発生した交流の駆動電圧は、アンプ 5 7 8 により増幅され、電極板 6 1 7 (接続部 6 3 9) を介して P Z T α に印加される。

20

駆動電源 5 7 2 と P Z T β は、乗算器 5 7 4 、アンプ 5 7 6 、電極板 6 1 7 (接続部 6 3 9) を介して接続されている。駆動電源 5 7 2 で発生した交流電圧は、乗算器 5 7 4 を経て、アンプ 5 7 6 により増幅され、電極板 6 1 7 (接続部 6 3 9) を介して P Z T β に印加される。P Z T α と P Z T β が同様に構成されるため、アンプ 5 7 6 , 5 7 8 における増幅率は同じものとされている。

【 0 0 5 2 】

又、アンプ 5 7 8 を出た (P Z T α に付与される) 電流 I_1 を測定するように電流センサー C C 1 が配置され、アンプ 5 7 6 を出た (P Z T β に付与される) 電流 I_2 を測定するように電流センサー C C 2 が配置される。

30

電流センサー C C 1 , C C 2 は演算回路 6 7 9 に接続されており、測定された電流 I_1 , I_2 を演算回路 6 7 9 に出力する。

演算回路 6 7 9 は、乗算器 5 7 4 と接続されている。演算回路 6 7 9 は、受信した電流 I_1 , I_2 について、その差分 ($I_1 - I_2$) に応じて P Z T β の駆動電流 I_2 が (駆動電流 I_1 に対して相対的に) 抑制され、増大され、あるいは維持されるよう、係数 B を演算する。係数 B は、下記 [数 1] により算出される。

係数 B は乗算器 5 7 4 に出力され、乗算器 5 7 4 は、受信した係数 B を、駆動電源 5 7 2 からの駆動電圧 A に乗算し ($A \times B$) 、その結果に係る増幅前の駆動電圧がアンプ 5 7 6 に与えられる。

【 0 0 5 3 】

40

【 数 1 】

$$B = 1 + \frac{(I_1 - I_2)}{(I_1 + I_2)/2}$$

【 0 0 5 4 】

第 6 形態の超音波振動切断装置では、アンプ 5 7 6 , 5 7 8 を介して同電圧で同位相の駆動電圧が印加されることで、P Z T α , P Z T β が同様に振動し、振動子 6 0 2 に軸振動が発生する。

振動子 6 0 2 にたわみ振動がない場合、P Z T α , P Z T β には同一の応力が発生しており、それぞれの圧電素子 6 3 1 , 6 3 1 (P Z T α , P Z T β) におけるインピーダン

50

スは同一であって、 $PZT\alpha$ 、 $PZT\beta$ に流れ込む電流 I_1 、 I_2 は等しい。このとき、係数 B は1となり、アンプ576への電圧 A ないし $PZT\beta$ に流れ込む電流 I_2 は維持される。

【0055】

そして、軸振動中において振動子602にたわみ振動が生起した場合、 $PZT\alpha$ や $PZT\beta$ において異なる応力が生起し、互いにインピーダンスが相違することになる。よって、そのインピーダンスの影響により、 $PZT\alpha$ に流れ込む電流 I_1 と、 $PZT\beta$ に流れ込む電流 I_2 は、互いに異なるものとなる。

すると、演算回路679は、電流センサーCC1、CC2から受信した電流 I_1 、 I_2 から、それらの差分に応じた係数 B を算出し、乗算器574は、駆動電圧 A に、演算回路679から受信した係数 B を掛けることで、駆動に係る電流 I_2 を調節する。

即ち、電流 I_2 が電流 I_1 より大きい場合には、 $PZT\beta$ のインピーダンスが $PZT\alpha$ のインピーダンスより小さくなっており、不要なたわみ振動により $PZT\alpha$ 側に比較的に大きい応力がかかっているので(図8(b)の状態)、電流 I_2 が、電流 I_1 、 I_2 の差分に応じて小さくなるように調節される。比較的に小さい応力がかかっている $PZT\beta$ は、駆動に係る電流 I_2 が小さくなった分、軸振動を弱め、相対的に $PZT\alpha$ の駆動電流 I_1 が大きくなって、 $PZT\alpha$ の軸振動が強められることになる。相対的に $PZT\alpha$ の軸振動が強くなれば、たわみ振動によって応力のかかっている $PZT\alpha$ は、 $PZT\beta$ より大きく軸振動することになり、たわみ振動が打ち消されるように軸振動することになる。

他方、電流 I_2 が電流 I_1 より小さい場合には、 $PZT\beta$ のインピーダンスが $PZT\alpha$ のインピーダンスより大きくなっており、不要なたわみ振動により $PZT\beta$ 側に比較的に大きい応力がかかっているので、電流 I_2 が、電流 I_1 、 I_2 の差分に応じて大きくなるように調節される。比較的に大きい応力がかかっている $PZT\beta$ は、駆動に係る電流 I_2 が大きくなった分、 $PZT\alpha$ に対して軸振動を強め、 $PZT\alpha$ より大きく軸振動して、やはりたわみ振動が打ち消されるように軸振動する。

かように、回路670により、電流 I_1 、 I_2 について、電流 I_1 、 I_2 の差分の負帰還に係るフィードバック制御が行われ、 $PZT\alpha$ 、 $PZT\beta$ に係る各駆動電圧が制御されて、たわみ振動が能動的に打ち消される状態で軸振動が継続される。

【0056】

このような制御の詳細が、図8(b)や図9に基づき、以下更に説明される。

図8(b)に模式的に示されるように、たわみ振動中のある瞬間において、 $PZT\beta$ は定常時より伸び、 $PZT\alpha$ は定常時より縮んでいる。このとき、 $PZT\alpha$ 、 $PZT\beta$ には、逆位相の起電力が生起し、見かけ上のインピーダンスは $PZT\alpha$ と $PZT\beta$ で異なることとなって、流れる電流は $PZT\alpha$ と $PZT\beta$ で異なることとなる。かような現象は、たわみ振動中、継続する。よって、軸振動にたわみ振動が重畳されると、たわみ振動によるインピーダンスの差分の電流が、軸振動の電流に重畳されることになる。

これに対し、たわみ振動が生起していない正常な軸振動においては、 $PZT\alpha$ 、 $PZT\beta$ は同相で振動し、インピーダンスは等しく、流れる電流は $PZT\alpha$ と $PZT\beta$ で同一である。

【0057】

図9は、電流波形を示すグラフであり、基本波の軸振動に対して、その2分の1の周波数でたわみ振動が生起した場合のシミュレーションに係るグラフである。尚、縦軸は相対的な電流の大きさ(曲線E1の振幅を1とした場合)であり、横軸は時間である。

図中、曲線E1(太実線)は、 $PZT\alpha$ 、 $PZT\beta$ に本来流れるべき軸振動用の電流波形であり、曲線E2(細実線)は、たわみ振動によって $PZT\alpha$ に発生した起電力に係る電流成分の波形であり、曲線E3(細点線)は、 $PZT\alpha$ に実際に流れる電流波形であり、曲線E4(太点線)は、 $PZT\beta$ に実際に流れる電流波形である。

たわみ振動が生起すると、 $PZT\alpha$ においては、曲線E1で示される本来の電流に、曲線E2で示される電流成分が重畳し、 $PZT\alpha$ には曲線E3で示される電流が流れることになる。

他方、たわみ振動によって $PZT\beta$ に発生した起電力に係る電流成分の波形は、曲線 E 2 の逆位相の曲線となり、 $PZT\beta$ においては、曲線 E 1 で示される本来の電流に、曲線 E 2 の逆位相の曲線で示される電流成分が重畳し、 $PZT\beta$ には曲線 E 4 で示される電流が流れることになる。

その結果、 $PZT\alpha$ 、 $PZT\beta$ には、たわみ振動に応じた不平衡電流が流れることになり、たわみ振動を打ち消すような軸振動が発生することになるのである。

【0058】

第 6 形態の超音波振動切断装置は、4 個の圧電素子 631、631・・・を含む圧電素子ユニット 611 と、圧電素子ユニット 611 を挟む金属材 20 及び金属ブロック 22 と、
10 圧電素子ユニット 611 並びに金属材 20 及び金属ブロック 22 を締結するボルト 24 と、
を有する振動子 602 と、振動子 602 に連結される刃物 4 と、を備えており、複数の
圧電素子 631、631・・・は、振動子 602 の中心軸と交わる方向（上下方向）において
分かれるように配置されており（上側の $PZT\alpha$ 、下側の $PZT\beta$ ）、複数の圧電素子
631、631・・・（ $PZT\alpha$ 、 $PZT\beta$ ）にそれぞれ駆動電流 I_1 、 I_2 が流されること
で、振動子 602 における軸振動を発生し、駆動電流 I_2 は、軸振動以外のたわみ振動
によって複数の圧電素子 631、631・・・（ $PZT\alpha$ 、 $PZT\beta$ ）においてそれぞれ変
化した電流 I_1 、 I_2 の差分（ $I_1 - I_2$ ）に応じて調節される。

よって、目的としないたわみ振動の状態が、電流センサー CC1、CC2 によって検出
され演算回路 679 によって算出された電流 I_1 、 I_2 の差分 $I_1 - I_2$ によって把握さ
れ、圧電素子 631、631（ $PZT\beta$ ）の駆動電流 I_2 が、目的としないたわみ振動を
20 打ち消すよう能動的にフィードバック制御されることになる（アクティブ防振）。従って、
通常の超音波振動切断の場合のみならず、アスペクト比の高いツールを用いる場合であ
っても、又大出力の振動をツールに与える場合であっても、不要なたわみ振動を確実に抑
制して、極めて優れた切断を提供することができる。又、圧電素子ユニット 611（ $PZT\alpha$ 、 $PZT\beta$ ）
における電流 I_1 、 I_2 の差分 $I_1 - I_2$ によって把握されたたわみ振動の
状態に応じて、駆動電流 I_2 がフィードバック制御されることにより、たわみ振動の
次数を問わず、様々な共振モードに係るたわみ振動を適切に抑制することが可能である。

【0059】

又、圧電素子 631、631・・・は、分極処理されており、それらの分極方向が振動子
602 の中心軸と平行な方向（前後方向）となっている。
30

よって、フィードバック制御における、所望する振動の付与や不要な振動の抑制のため
の構成が、シンプルになる。

【0060】

第 6 形態においては、第 1 形態ないし第 5 形態の少なくとも何れかと同様の変更例が適
宜存在する。

特に、回路の構成について、 $PZT\alpha$ に対する電流あるいは双方の電流を調節するもの
とされて良い。又、圧電素子ユニットにおいて圧電素子の分極方向が $PZT\alpha$ と $PZT\beta$
で逆になっている状態で、 $PZT\beta$ の間の電極板に逆位相の駆動電流が印加され、その駆
動電流が調節されるようにしても良い。

第 1 形態ないし第 6 形態及びそれらの変更例のうち、少なくとも何れか二つが、適宜組
み合わせられても良い。
40

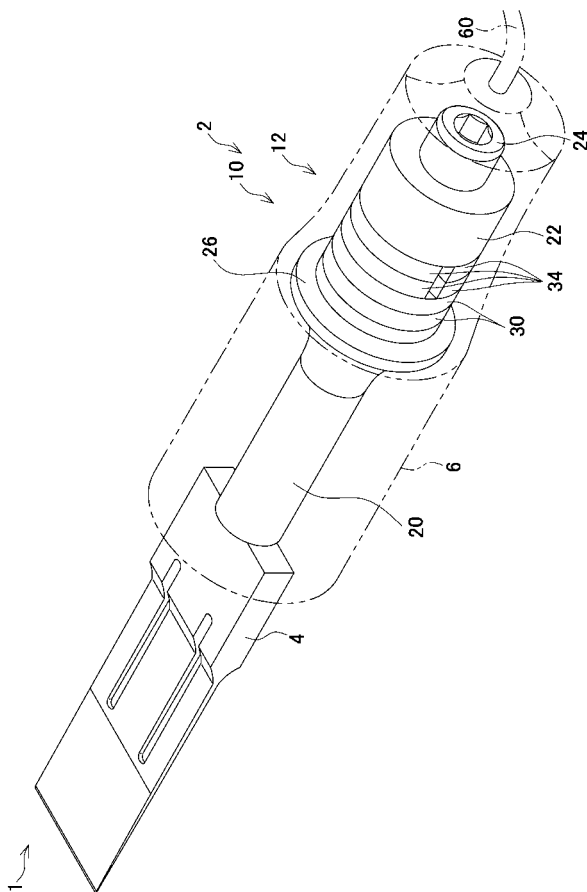
【符号の説明】

【0061】

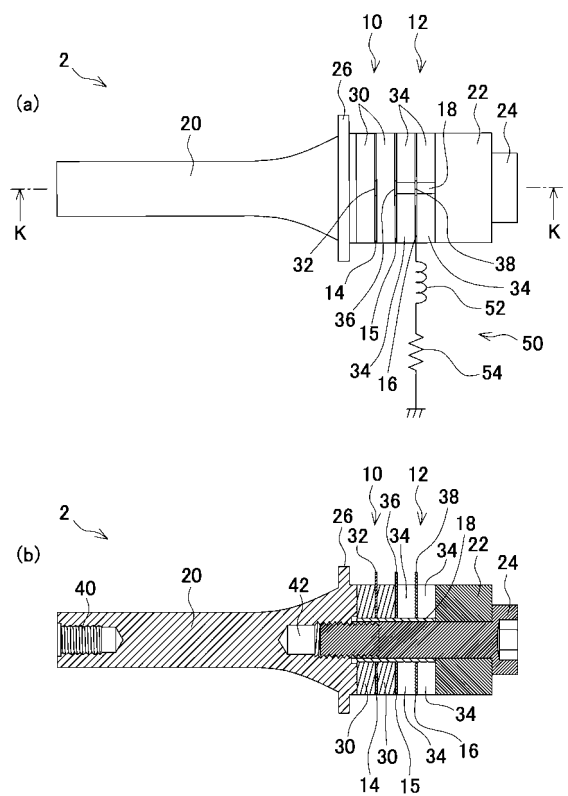
1・・・超音波振動切断装置（超音波振動装置）、2、202、302、402、502
、602・・・振動子、4・・・刃物（ツール）、10、410、510・・・振動発生用圧電
素子ユニット（第 1 圧電素子ユニット）、12、212、312・・・防振用圧電素子ユニ
ット（第 2 圧電素子ユニット）、20・・・金属材（導体ブロック）、22・・・金属ブロッ
ク（導体ブロック）、24・・・ボルト（締結具）、30、430、530・・・駆動用圧電
素子（第 1 圧電素子）、34・・・防振用圧電素子（第 2 圧電素子）、50、250、26
0、350、450・・・シャント回路、52、252、262、352・・・インダクタ、
50

5 4 , 2 5 4 , 2 6 4 , 3 5 4 . . . 抵抗、 5 1 2 . . . 振動検出用圧電素子ユニット (第 2 圧電素子ユニット)、 5 3 4 . . . 振動検出用圧電素子 (第 2 圧電素子)、 6 1 1 . . . 圧電素子ユニット、 6 3 1 . . . 圧電素子。

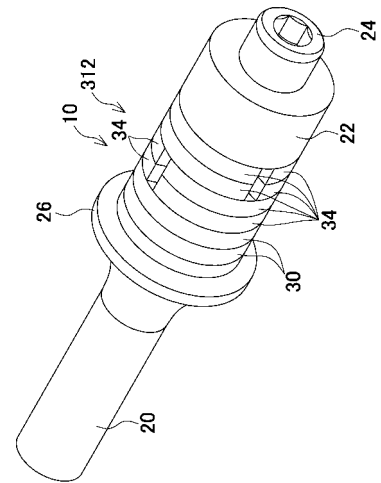
【 図 1 】



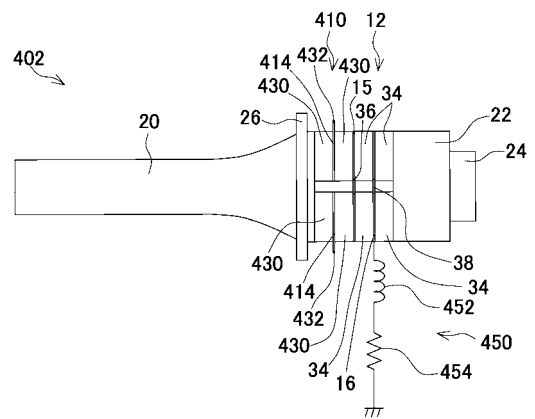
【 図 2 】



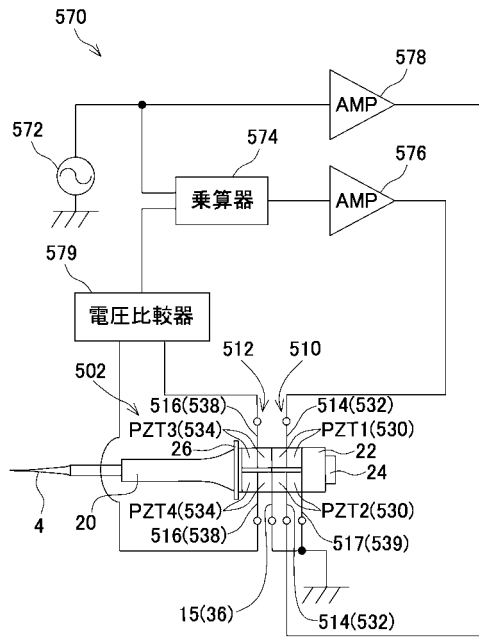
【 図 4 】



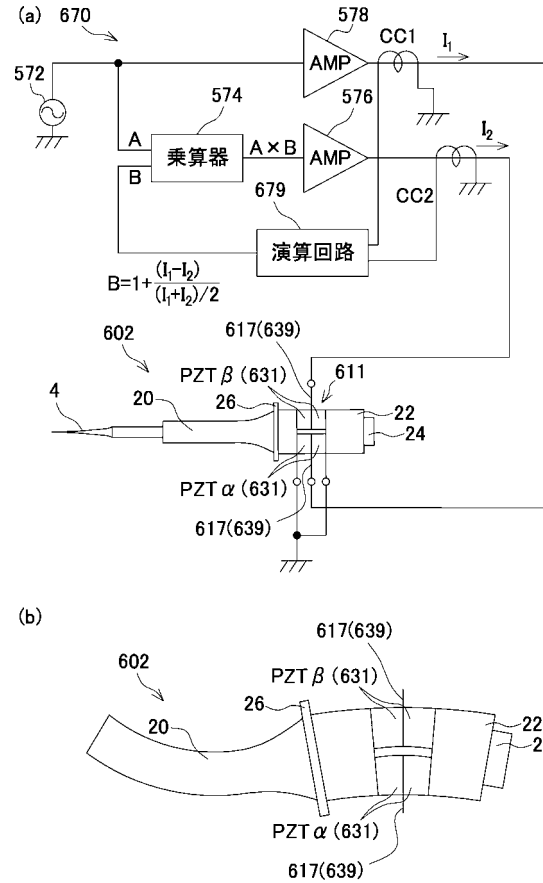
【 図 6 】



【図 7】



【図 8】



【図 9】

