

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3906850号
(P3906850)

(45) 発行日 平成19年4月18日(2007.4.18)

(24) 登録日 平成19年1月26日(2007.1.26)

(51) Int. Cl. F I
H O 2 N 2/00 (2006.01) H O 2 N 2/00 C

請求項の数 9 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2004-133293 (P2004-133293)	(73) 特許権者	000001270 コニカミノルタホールディングス株式会社 東京都千代田区丸の内一丁目6番1号
(22) 出願日	平成16年4月28日(2004.4.28)	(74) 代理人	100084146 弁理士 山崎 宏
(65) 公開番号	特開2005-318720 (P2005-318720A)	(74) 代理人	100100170 弁理士 前田 厚司
(43) 公開日	平成17年11月10日(2005.11.10)	(72) 発明者	湯浅 智行 東京都千代田区丸の内一丁目6番1号 コ ニカミノルタホールディングス株式会社内
審査請求日	平成16年4月28日(2004.4.28)	(72) 発明者	新家 聡 東京都千代田区丸の内一丁目6番1号 コ ニカミノルタホールディングス株式会社内
		審査官	牧 初
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 駆動装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

所定の固定面に連結される第1錘と、第1錘に伸縮方向一端が固定された第1電気機械変換素子と、第1電気機械変換素子の伸縮方向他端に固定された第2錘と、第2錘に伸縮方向一端が固定された第2電気機械変換素子と、第2電気機械変換素子の伸縮方向他端に固定されたロッドと、で構成される振動発生部と、

振動発生部のロッドの周囲に摩擦結合された移動子であって、当該ロッドに対する摩擦結合力が、ロッドが所定値よりも小さい速度で移動する場合にはロッドと移動子とが一体的に移動し、ロッドが同所定値よりも大きい速度で移動する場合には移動子の移動量がロッドのそれよりも小さくなるように設定された移動子と、

第1電気機械変換素子および第2電気機械変換素子に電圧を印加して、一方向への移動速度が上記所定値よりも小さく、他方向への移動速度が同所定値よりも大きくなるようロッドを振動させ、これにより、当該ロッドに沿って上記一方向に移動体を移動させる駆動回路と、を備えた駆動装置であって、

上記振動発生部の第1錘の質量を m_{w1} とし、

第1電気機械変換素子の質量を m_{p1} 、バネ定数を k_{p1} とし、

第2錘の質量を m_{w2} とし、

第2電気機械変換素子の質量を m_{p2} 、バネ定数を k_{p2} とし、

ロッドの質量を m_r としたとき、次式を満たすことにより、振動発生部の二次共振周波数が一次共振周波数の2倍となるように構成したことを特徴とする、駆動装置。

10

20

【数 1】

$$\frac{1}{K_{p1}K_{p2}}(m_{w1} + \frac{2}{\pi^2}m_{p1})\left(\frac{2}{\pi^2}m_{p1+m_{w2}} + \frac{2}{\pi^2}m_{p2}\right)\left(\frac{2}{\pi^2}m_{p2+m_r}\right)\left(m_{w1+m_{w2}+m_r} + \frac{4}{\pi^2}m_{p1} + \frac{4}{\pi^2}m_{p2}\right) \\ \left(\frac{1}{K_{p2}}\left(\frac{2}{\pi^2}m_{p1+m_{w2}} + \frac{2}{\pi^2}m_{p2}\right)\left(\frac{2}{\pi^2}m_{p2+m_r}\right) + \left(\frac{1}{K_{p1}} + \frac{1}{K_{p2}}\right)\left(m_{w1} + \frac{2}{\pi^2}m_{p1}\right)\left(\frac{2}{\pi^2}m_{p2+m_r}\right) + \frac{1}{K_{p1}}\left(m_{w1} + \frac{2}{\pi^2}m_{p1}\right)\left(\frac{2}{\pi^2}m_{p1+m_{w2}} + \frac{2}{\pi^2}m_{p2}\right)\right)^2 = \frac{4}{25}$$

【請求項 2】

上記駆動回路は、第 1 電気機械変換素子を駆動する第 1 駆動回路と、第 2 電気機械変換素子を駆動する第 2 駆動回路と、で構成され、

第 1 駆動回路は、上記一次共振周波数の正弦波電圧で第 1 電気機械変換素子を駆動し、

第 2 駆動回路は、上記二次共振周波数の正弦波電圧で第 2 電気機械変換素子を駆動することを特徴とする、請求項 1 記載の駆動装置。

10

【請求項 3】

上記駆動回路は、第 1 電気機械変換素子を駆動する第 1 駆動回路と、第 2 電気機械変換素子を駆動する第 2 駆動回路と、で構成され、

第 1 駆動回路は、上記一次共振周波数を有し、デューティ比 1 / 2 の矩形波電圧で第 1 電気機械変換素子を駆動し、

第 2 駆動回路は、上記二次共振周波数を有し、デューティ比 1 / 2 の矩形波電圧で第 2 電気機械変換素子を駆動することを特徴とする、請求項 1 記載の駆動装置。

【請求項 4】

上記駆動回路は、第 1 電気機械変換素子を駆動する第 1 駆動回路と、第 2 電気機械変換素子を駆動する第 2 駆動回路と、で構成され、両駆動回路は、互いに同一波形の矩形波電圧で第 1 電気機械変換素子および第 2 電気機械変換素子を駆動し、

当該矩形波電圧は、上記一次共振周波数を有し、デューティ比が 1 / 2 以外であることを特徴とする、請求項 1 記載の駆動装置。

20

【請求項 5】

上記振動発生部の第 1 錘、第 1 電気機械変換素子、第 2 錘、および第 2 電気機械変換素子は、圧電シートをロール上に巻き上げて一体的に構成されており、

当該圧電シートは、第 1 電気機械変換素子および第 2 電気機械変換素子となる部分に電極を塗布した上で巻き上げられていること特徴とする、請求項 1 記載の駆動装置。

30

【請求項 6】

上記圧電シートは、第 1 錘および第 2 錘となる部分にも電極が塗布されており、当該電極は、ここに電圧が印加されないように、第 1 電気機械変換素子および第 2 電気機械変換素子となる部分に塗布された上記電極から絶縁されていることを特徴とする、請求項 5 記載の駆動装置。

【請求項 7】

所定の固定面に連結される第 1 錘と、第 1 錘に伸縮方向一端が固定された第 1 電気機械変換素子およびロッドに伸縮方向他端が固定された第 2 電気機械変換素子を含む直列配置された n 個 (n は 3 以上の自然数) の電気機械変換素子と、各電気機械変換素子間に配置された錘と、で構成される振動発生部と、

40

振動発生部のロッドの周囲に摩擦結合された移動子であって、当該ロッドに対する摩擦結合力が、ロッドが所定値よりも小さい速度で移動する場合にはロッドと移動子とが一体的に移動し、ロッドが同所定値よりも大きい速度で移動する場合には移動子の移動量がロッドのそれよりも小さくなるように設定された移動子と、

振動発生部を構成する各電気機械変換素子に電圧を印加して、一方向への移動速度が上記所定値よりも小さく、他方向への移動速度が同所定値よりも大きくなるようロッドを振動させ、これにより、当該ロッドに沿って上記一方向に移動体を移動させる駆動回路と、を備えた駆動装置であって、

上記振動発生部の一次共振周波数、二次共振周波数、 . . . 、 n 次共振周波数を、それぞれ f 1、 f 2、 . . . 、 f n としたとき、 f 1 = f 2 / 2 . . . = f n / n の関係が満

50

たされるように、当該振動発生部を構成する各錘の質量、並びに各電気機械変換素子の質量およびバネ定数を決定したことを特徴とする、駆動装置。

【請求項 8】

上記振動発生部を構成する各錘および電気機械変換素子は、圧電シートをロール上に巻き上げて一体的に構成されており、

当該圧電シートは、各電気機械変換素子となる部分に電極を塗布した上で巻き上げられていること特徴とする、請求項 7 記載の駆動装置。

【請求項 9】

上記圧電シートは、各錘となる部分にも電極が塗布されており、当該電極は、ここに電圧が印加されないように、各電気機械変換素子となる部分に塗布された上記電極から絶縁されていることを特徴とする、請求項 8 記載の駆動装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、駆動装置に関する。さらに詳しくは、圧電素子（ピエゾ素子）等の電気機械変換素子を利用した駆動装置に関する。本発明の駆動装置は、例えば、カメラにおけるレンズ駆動機構や、精密ステージの駆動機構として適している。

【背景技術】

【0002】

電圧の印加によって長さが変化する（伸縮する）圧電素子等の電気機械変換素子を利用した駆動装置として、例えば、図 1（a）の分解斜視図および図 1（b）の組立斜視図に示したものが知られている（特許文献 1）。

20

【0003】

この駆動装置は、台座（固定台）1 に対して移動体 10 を相対的に移動させることができ、例えば、カメラのレンズ駆動装置として使用できる。すなわち、移動体 10 をレンズ玉枠と連結すれば、移動体 10 とともにレンズを移動させることができる。

【0004】

圧電素子 4 は、多数の圧電板を積層して構成されており、伸縮方向一端 4 a が台座 1 に固定されるとともに他端 4 b がロッド 5 の第 1 端 5 a に固定される。ロッド 5 は、台座 1 に一体的に形成された支持部 2 および 3 に摺動可能に支持される。

30

【0005】

移動体 10 は、本体 11 とキャップ 12 とでロッド 5 を挟み込むとともに、押圧バネ 13 で本体 11 およびキャップ 12 に挟み込み方向の付勢力を与えることによって、ロッド 5 の周囲に摩擦結合される。

【0006】

圧電素子 4 には不図示の電圧制御回路（駆動パルス発生手段）が接続されている。圧電素子 4 に対して、ノコギリ刃状波形を有する所定の駆動電圧を印加すると、圧電素子 4 は、ほぼ同形状のノコギリ刃状変位をもって振動する（図 2）。そして、これに伴ってロッド 5 も、ノコギリ刃状の変位をもってその長さ方向に振動する。すなわち、図 2 のグラフは、圧電素子 4 の振動変位を示すとともに、ロッド 5 の振動変位を示すものでもある。

40

【0007】

具体的に説明すると、第 1 の波形 100 の期間 A における緩やかな立上がり傾斜部 101 では、圧電素子 4 は比較的ゆっくりと伸長し、ロッド 5 が図 1（b）中矢印 I 方向へとゆっくりと移動する。次に、期間 B において、圧電素子 4 は急速に縮んで初期長さに戻り（立下がり傾斜部 102 で示される波形部分）、ロッド 5 が急激に矢印 II 方向へと移動する。

以下同様の移動が繰り返えされ、結果として、ロッド 5 は、I 方向へのゆっくりとした移動と II 方向への急激な移動とを繰り返して振動する。このようにして、ロッド 5 は、図 2 に示したような、緩急のついたノコギリ刃状の振動波形を描きながら振動する。

【0008】

50

ここで、図3に示したように、ロッド5がゆっくりと移動する場合（すなわち、所定値よりも小さい速度で移動する場合）には移動体10が該ロッド5と共に移動し、ロッド5が急激に移動する場合（すなわち、上記所定値よりも大きい速度で移動する場合）には移動体10が慣性によってその場に止まる（または、ロッド5よりも少量だけ移動する）ように、移動体10の押圧バネ13のバネ力（移動体10のロッド5に対する摩擦結合力）が調節されている。したがって、ロッド5が振動する間に移動体10は台座1に対して相対的にI方向に移動することとなる。

【0009】

なお、移動体10を図1(b)中矢印II方向へと移動させる場合には、圧電素子4およびロッド5の振動波形が図2に示したものと逆になるように、すなわち、急激な立上がり部と緩やかな立下がり部を有する波形とすればよい。移動体10の移動原理は、上記の場合と同様である。

10

【0010】

上述のように、移動体10が摩擦係合しているロッド5を、ノコギリ刃状の振動波形をもって振動させることが必要になるが、そのような方法の1つが特許文献2に開示されている。

【0011】

特許文献2では、複数の圧電素子を直列に配置している。各圧電素子には左右対称のパルス波形（正弦波等）で表される変動電圧が印加されるが、各変動電圧の振幅および周期を互いに異ならせることで、全体として、振動時におけるロッドの一方向への移動速度と、他方向への移動速度とを異ならせている。

20

【0012】

特許文献2では、ノコギリ刃状波形の電圧を発生させる必要はなく、各圧電素子に対して単純な正弦波電圧を入力するだけで、結果としてロッドをノコギリ刃状の波形をもって振動させることができるので、駆動回路の構成を単純化できるというメリットがある。

【0013】

一般的に、物理的な振動系に対しては、その共振周波数を入力した場合にゲインが極大となる。つまり、特許文献2のように、複数の圧電素子に対して交流信号を入力して駆動を行う場合は、当該振動系の共振周波数を入力すれば、高効率の駆動を実現できる。

したがって、複数の圧電素子に対して、第1の圧電素子には一次共振周波数を入力し、第2の圧電素子には二次共振周波数の入力し、以後同様に、第nの圧電素子にはn次共振周波数を入力すれば、高効率の駆動を実現でき、省エネルギーという点で有利となる。

30

【0014】

その際、仮に、各共振周波数が整数倍の関係にあるならば（すなわち、1次共振周波数、2次共振周波数、...、n次共振周波数を、それぞれ、 f_1 、 f_2 、...、 f_n としたとき、 $f_1 = f_2 / 2$ 、...、 $= f_n / n$ の関係にあるならば）、各圧電素子に対して各共振周波数を入力することで、一定周期で変動する規則的なノコギリ刃状の振動を実現できる。ところが、各共振周波数がそのような関係にない場合には（一般的に、ある1つの物理的な振動系において、各共振周波数が整数倍の関係にあるとは限らない。）、各圧電素子に各共振周波数を入力したとしても、極大値は規則的には現れないので、同一波形が規則的に繰り返すノコギリ刃状の振動波形を得ることはできない。すなわち、共振を有効に利用した高効率の駆動を実現することはできない。

40

【0015】

【特許文献1】特開平11-98865号公報

【特許文献2】特開平11-41953号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0016】

したがって、本発明の目的は、直列に配置された複数の電気機械変換素子を含む駆動装置（物理的な振動系）において、当該系の各共振周波数が整数倍の関係となるような物理

50

的構成を実現し、これにより共振周波数を有効に利用した高効率の駆動を実現することである。

【課題を解決するための手段】

【0017】

本発明は、上記課題を有効に解決するために創案されたものであって、以下の特徴を備えた駆動装置を提供する。

【0018】

本発明の駆動装置は、「所定の固定面に連結される第1錘と、第1錘に伸縮方向一端が固定された第1電気機械変換素子と、第1電気機械変換素子の伸縮方向他端に固定された第2錘と、第2錘に伸縮方向一端が固定された第2電気機械変換素子と、第2電気機械変換素子の伸縮方向他端に固定されたロッドと、で構成される振動発生部」と「振動発生部のロッドの周囲に摩擦結合された移動子であって、当該ロッドに対する摩擦結合力が、ロッドが所定値よりも小さい速度で移動する場合にはロッドと移動子とが一体的に移動し、ロッドが同所定値よりも大きい速度で移動する場合には移動子の移動量がロッドのそれよりも小さくなるように設定された移動子」と「第1電気機械変換素子および第2電気機械変換素子に電圧を印加して、一方向への移動速度が上記所定値よりも小さく、他方向への移動速度が同所定値よりも大きくなるようロッドを振動させ、これにより、当該ロッドに沿って上記一方向に移動体を移動させる駆動回路」とを備える。

そして、「上記振動発生部の第1錘の質量を m_{w1} とし、「第1電気機械変換素子の質量を m_{p1} 、バネ定数を k_{p1} とし、「第2錘の質量を m_{w2} とし、「第2電気機械変換素子の質量を m_{p2} 、バネ定数を k_{p2} とし、「ロッドの質量を m_r としたとき、次式を満たすことにより、振動発生部の二次共振周波数が一次共振周波数の2倍となるように構成している。

【数2】

$$\frac{1}{k_{p1}k_{p2}}(m_{w1} + \frac{2}{\pi^2}m_{p1})\left(\frac{2}{\pi^2}m_{p1} + m_{w2} + \frac{2}{\pi^2}m_{p2}\right)\left(\frac{2}{\pi^2}m_{p2} + m_r\right)(m_{w1} + m_{w2} + m_r + \frac{4}{\pi^2}m_{p1} + \frac{4}{\pi^2}m_{p2})}{\left(\frac{1}{k_{p2}}\left(\frac{2}{\pi^2}m_{p1} + m_{w2} + \frac{2}{\pi^2}m_{p2}\right)\left(\frac{2}{\pi^2}m_{p2} + m_r\right) + \left(\frac{1}{k_{p1}} + \frac{1}{k_{p2}}\right)(m_{w1} + \frac{2}{\pi^2}m_{p1})\left(\frac{2}{\pi^2}m_{p2} + m_r\right) + \frac{1}{k_{p1}}(m_{w1} + \frac{2}{\pi^2}m_{p1})\left(\frac{2}{\pi^2}m_{p1} + m_{w2} + \frac{2}{\pi^2}m_{p2}\right)\right)^2} = \frac{4}{25}$$

この式は、上記振動発生部の物理的構成を、力 - 電圧法に従って、電気回路に置き換えたモデリングを行うことで求めたものである。

【0019】

なお、電気機械変換素子の数は、上記のように2つだけの場合に限らず、3つ以上の複数個（ n 個）を用いた場合でも、同様の考え方に従って、振動発生部の共振周波数を設定できる。すなわち、上記振動発生部の一次共振周波数、二次共振周波数、...、 n 次共振周波数を、それぞれ f_1 、 f_2 、...、 f_n としたとき、 $f_1 = f_2 / 2 \cdots = f_n / n$ の関係が満たされるように、当該振動発生部を構成する各錘の質量、並びに各電気機械変換素子の質量およびバネ定数を決定できる。

【発明の効果】

【0020】

上記構成を備えた本発明の駆動装置においては、振動発生部の各共振周波数が整数倍の関係にある。したがって、各電気機械変換素子に各共振周波数を入力することで、一定周期で変動する再現性のあるノコギリ刃状のロッド振動を実現できる。すなわち、共振周波数を有効に利用した高効率の駆動を実現でき、これにより、省エネルギー化を達成できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

第1実施形態（図4～図9）

図4（a）は、本発明の第1実施形態に係る駆動装置を説明する分解斜視図で、図4（b）は、その組立図である。

この駆動装置においては、第1圧電素子31と第2圧電素子32とを、第2錘22を介

10

20

30

40

50

して、伸縮方向に直列に連結している。図4(b)に示したように、圧電素子31、32は、それぞれ、駆動回路(駆動パルス発生手段)1、2で駆動される。

第1錘21は、図1の構成における台座1に相当するものである。例えば、第1錘21を鏡筒内の不動面に固定すれば、移動体10に固定したレンズ群を光軸方向に駆動できる。第1圧電素子31は、第1錘21と第2錘22との間に挟み込むように配置している。また、第2圧電素子32は、ロッド25と第2錘22との間に挟み込むように配置している。

ロッド25に対して、移動体10が摩擦係合している。移動体10の構成は、図1に示した従来例における移動体の構成と同じであるから、対応する部材に同一符号を付してその説明を省略する。

後に詳述するように、駆動回路1、2により2つの圧電素子31、32に所定の駆動電圧を入力することで、ノコギリ刃状波形をもってロッド25を振動させ、これにより移動体10を所望の方向に駆動させる。本発明では、ノコギリ刃状波形のロッド振動を実現する方法が従来とは異なるが、そのように振動するロッド25に沿って移動体10が移動する原理は、図1～図3で説明した従来例の場合と同じである。

なお、図示はしていないが、ロッド25または移動体10は、適宜のガイド手段で支持されつつ、振動または往復動するように構成するのが好ましい。

【0022】

図4の駆動装置においては、錘21、22、圧電素子31、32、およびロッド25が振動発生部40を構成する。振動発生部40の各構成要素の質量およびバネ定数を特定の値とすることによって、当該振動発生部40(物理的な振動系)の一次共振周波数(f_1)と二次共振周波数(f_2)とが $f_1 = f_2 / 2$ の関係を満たすこととなるように構成している。

質量およびバネ定数を決定するために、次のようなモデリングを行う。

【0023】

図4に示した振動発生部40の物理的構成は、圧電素子のバネ定数および減衰力を考慮して、図5のようにモデル化できる。

【0024】

力-電圧法によれば、図5のモデルは、図6に示した電気回路に置き換えることができ、この電気回路の一次共振周波数および二次共振周波数を求めることにより、図4に示した振動発生部40(物理的振動系)の一次共振周波数および二次共振周波数を求めることができる。

その場合、図5の物理的振動系における各構成要素の「質量、バネ定数、減衰定数」と図6の電気回路中における「コンデンサの容量、コイルのリアクタンス、抵抗」との関係は下の表1に示した通りである。

【表 1】

「圧電素子のバネ定数」と「コンデンサの容量」との関係	$C_1 = \frac{1}{k_{p1}}$	10
	$C_2 = \frac{1}{k_{p2}}$	
「錘、圧電素子、ロッドの質量」と「コイルのリアクタンス」との関係	$L_1 = m_{w1} + \frac{2}{\pi^2} m_{p1}$	
	$L_2 = \frac{2}{\pi^2} m_{p1} + m_{w2} + \frac{2}{\pi^2} m_{p2}$	20
	$L_3 = \frac{2}{\pi^2} m_{p2} + m_r$	
「圧電素子の減衰定数」と「抵抗」との関係	$R_1 = h_{p1}$	
	$R_2 = h_{p2}$	30
	<p>ただし、 m_{w1} : 錘 2 1 の質量 m_{w2} : 錘 2 2 の質量 m_{p1} : 圧電素子 3 1 の質量 m_{p2} : 圧電素子 3 2 の質量 m_r : ロッド 2 5 の質量</p>	
	<p>k_{p1} : 圧電素子 3 1 のバネ定数 k_{p2} : 圧電素子 3 2 のバネ定数</p>	
	<p>h_{p1} : 圧電素子 3 1 の減衰定数 h_{p2} : 圧電素子 3 2 の減衰定数</p>	40

図 6 の電気回路において、一次共振周波数を f_1 、二次共振周波数を f_2 とすると、

【数 3】

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\frac{C_2 L_2 L_3 + C_2 L_1 L_3 + C_1 L_1 L_3 + C_1 L_1 L_2}{C_1 C_2} - \sqrt{\left(\frac{C_2 L_2 L_3 + C_2 L_1 L_3 + C_1 L_1 L_3 + C_1 L_1 L_2}{C_1 C_2}\right)^2 - \frac{L_1 L_2 L_3 (L_1 + L_2 + L_3)}{C_1 C_2}}}{2 L_1 L_2 L_3}} \quad \dots (1)$$

【数 4】

$$f_2 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\frac{C_2 L_2 L_3 + C_2 L_1 L_3 + C_1 L_1 L_3 + C_1 L_1 L_2}{C_1 C_2} + \sqrt{\left(\frac{C_2 L_2 L_3 + C_2 L_1 L_3 + C_1 L_1 L_3 + C_1 L_1 L_2}{C_1 C_2}\right)^2 - \frac{L_1 L_2 L_3 (L_1 + L_2 + L_3)}{C_1 C_2}}}{2 L_1 L_2 L_3}} \quad \dots (2)$$

上式(1)および(2)から、 $f_1 = f_2 / 2$ となるための条件は、次式(3)で表される。ただし、抵抗 R_1 、 R_2 (すなわち、減衰定数 h_{p1} 、 h_{p2}) は、共振周波数とは無関係であるので、無視している。

【数 5】

$$\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\frac{C_2 L_2 L_3 + C_2 L_1 L_3 + C_1 L_1 L_3 + C_1 L_1 L_2}{C_1 C_2} - \sqrt{\left(\frac{C_2 L_2 L_3 + C_2 L_1 L_3 + C_1 L_1 L_3 + C_1 L_1 L_2}{C_1 C_2}\right)^2 - \frac{L_1 L_2 L_3 (L_1 + L_2 + L_3)}{C_1 C_2}}}{2 L_1 L_2 L_3}} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\frac{C_2 L_2 L_3 + C_2 L_1 L_3 + C_1 L_1 L_3 + C_1 L_1 L_2}{C_1 C_2} - \sqrt{\left(\frac{C_2 L_2 L_3 + C_2 L_1 L_3 + C_1 L_1 L_3 + C_1 L_1 L_2}{C_1 C_2}\right)^2 - \frac{L_1 L_2 L_3 (L_1 + L_2 + L_3)}{C_1 C_2}}}{2 L_1 L_2 L_3}} \quad \dots (3)$$

式(3)から次式(4)が導かれる。

【数 6】

$$\frac{C_1 C_2 L_1 L_2 L_3 (L_1 + L_2 + L_3)}{(C_2 L_2 L_3 + C_2 L_1 L_3 + C_1 L_1 L_3 + C_1 L_1 L_2)^2} = \frac{4}{25} \quad \dots (4)$$

表 1 に示した関係から、式(4)を質量およびバネ定数を用いて表すと、次式(5)となる。

【数 7】

$$\frac{\frac{1}{K_{p1} K_{p2}} (m_{w1} + \frac{2}{\pi^2} m_{p1}) (\frac{2}{\pi^2} m_{p1} + m_{w2} + \frac{2}{\pi^2} m_{p2}) (\frac{2}{\pi^2} m_{p2} + m_r) (m_{w1} + m_{w2} + m_r + \frac{4}{\pi^2} m_{p1} + \frac{4}{\pi^2} m_{p2})}{\left(\frac{1}{K_{p2}} (\frac{2}{\pi^2} m_{p1} + m_{w2} + \frac{2}{\pi^2} m_{p2}) (\frac{2}{\pi^2} m_{p2} + m_r) + (\frac{1}{K_{p1}} + \frac{1}{K_{p2}}) (m_{w1} + \frac{2}{\pi^2} m_{p1}) (\frac{2}{\pi^2} m_{p2} + m_r) + \frac{1}{K_{p1}} (m_{w1} + \frac{2}{\pi^2} m_{p1}) (\frac{2}{\pi^2} m_{p1} + m_{w2} + \frac{2}{\pi^2} m_{p2})\right)^2} = \frac{4}{25} \quad \dots (5)$$

すなわち、「式 5 を満たす質量およびバネ定数を備えた構成要素」を組み立てて、振動発生部 40 を構成すれば、当該振動発生部 40 の物理的な共振周波数は、 $f_1 = f_2 / 2$ の関係を満たすこととなる。

図 4 の例では、各構成要素の質量およびバネ定数は、下の表 2 に示した通りである。

【表 2】

	質量	バネ定数
錘 2 1	1 4 8 m g	—
圧電素子 3 1	5 5 m g	4 1 2 5 0 0 0 0 N/m
錘 2 2	6 5 m g	—
圧電素子 3 2	5 5 m g	4 1 2 5 0 0 0 0 N/m
ロッド	1 2 m g	—

図 7 は、以上のようにして構成した振動発生部 4 0 (物理的な振動系) の周波数特性を示している。この系の一次共振周波数 (f_1) は 1 2 3 k H z、二次共振周波数 (f_2) は 2 4 6 k H z であり、 $f_1 = f_2 / 2$ の関係を満たしていることが分かる。

【 0 0 2 5 】

この振動発生部 4 0 の第 1 圧電素子 3 1 に振幅 2 V、周波数 1 2 3 k H z の正弦波電圧を、第 2 圧電素子 3 2 に振幅 1 V、周波数 2 4 6 k H z の正弦波電圧を、位相差 9 0 d e g で入力した場合の、入力電圧とロッド振動波形との関係を図 8 および図 9 に示した。図 8 は入力電圧の波形を、図 9 はロッド振動波形を示している。

ロッドの振動波形は、規則的なノコギリ刃状となっており、これにより、移動体を一定方向に駆動することが可能となる。

【 0 0 2 6 】

第 2 実施形態 (図 1 0、図 1 1)

第 2 実施形態では、上述のようにして $f_1 = f_2 / 2$ の関係を満たすように構成された駆動装置に対して、正弦波電圧に代えて、デューティ比 1 / 2 の矩形波電圧を入力している。図 1 0 は、第 1 圧電素子 3 1 および第 2 圧電素子 3 2 に入力される矩形波を示している。第 1 圧電素子 3 1 には、振幅 2 V、周波数 1 2 3 k H z、デューティ比 1 / 2 の矩形波電圧を入力している。第 2 圧電素子 3 2 には、振幅 1 V、周波数 2 4 6 k H z、デューティ比 1 / 2 の矩形波電圧を入力している。

【 0 0 2 7 】

一般に矩形波は、フーリエ展開により、複数の正弦波の和として表することができる。その一般式は次式 (6) で表される。

【 数 8 】

$$V(t) = V_d \cdot \frac{4}{\pi} \left[\frac{\sin(\pi Du)}{1} \sin(\omega_d t) + \frac{\sin 2(\pi Du)}{2} \sin\left(2\omega_d t + \frac{\pi}{2}\right) + \frac{\sin 3(\pi Du)}{3} \sin(3\omega_d t + \pi) + \frac{\sin 4(\pi Du)}{4} \sin\left(4\omega_d t + \frac{3\pi}{2}\right) + \dots \right]$$

... (6)

式 6 において、 V_d は矩形波の振幅、 d は角速度、 Du はデューティ比、 t は時間である。また、式 4 のカッコ内において、第 1 項、第 2 項 . . .、第 n 項は、それぞれ、一次成分、二次成分 . . .、 n 次成分である。

【 0 0 2 8 】

式 4 において $Du = 1 / 2$ (5 0 %) の場合、カッコ内の第 2 項がゼロとなる。すなわち、 $Du = 1 / 2$ の矩形波には二次の正弦波成分は含まれない。したがって、第 1 圧電素子 3 1 に入力する矩形信号の周波数を 1 2 3 k H z (系の一次共振周波数) とすれば、当該入力により一次の共振成分のみが拡大される。ただし、3 次以上の高次の項は、圧電素子の伝達特性から縮小するので、これを無視して考えている。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 9 】

同様に、第2圧電素子32にする矩形信号の周波数を246kHz（系の二次共振周波数）とすれば、当該入力により二次の共振成分のみが拡大される。これにより、図8に示したような2つの正弦波電圧を入力した場合と同様の、規則的なノコギリ刃状のロッド振動を得ることができる（図10、図11）。

【 0 0 3 0 】

第3実施形態（図12、図13）

第3実施形態では、上述のようにして $f_1 = f_2 / 2$ の関係を満たすように構成された駆動装置に対して、第1圧電素子31および第2圧電素子32の両方に、図12に示した同一の矩形波電圧を入力している。矩形波電圧の振幅は2V、周波数は123kHz（系の一次共振周波数に等しい）、デューティ比は2/3である。

2つの圧電素子に同じ矩形波電圧を入力する場合、当該矩形波は、2次の正弦波成分を含んでいることが必要となる。したがって、デューティ比が1/2であってはならない。上述のように、デューティ比1/2の矩形波には、二次成分が含まれないからである。

したがって、第3実施形態においては、矩形波のデューティ比を2/3としている（ただし、 $Du = 1/2$ とならなければよく、特に2/3である必要はない）。また、当該矩形波の周波数は、系の一次共振周波数に等しい123kHzとしている。

このような矩形電圧を入力すると、各圧電素子に入力された電圧により、一次共振成分および二次共振成分が拡大されるので、図13に示したような、規則的なノコギリ刃状のロッド振動を得ることができる。

【 0 0 3 1 】

第4実施形態（図14、図15）

第4実施形態では、ロール型圧電素子を用いて、2つの錘部分と2つ圧電素子部分とを一体的に構成している。図14では、圧電シート50に対して間隔をおいて部分的に電極51、52を塗布し、これを巻き上げてロッド（不図示）を固定することで振動発生部を構成している。電極が塗布されていない部分56、57は伸縮しないので、錘として機能させることができる。

図14の例では、錘部56が図4中の錘21に対応し、錘部57が図4中の錘22に対応する。また、電極を塗布した部分51、52は、圧電素子として機能し、それぞれ、図4中の圧電素子21、22に対応している。すなわち、圧電素子部分52の一端52aにロッドが固定される。

【 0 0 3 2 】

図15は、図14に対する変形例を示している。図15では、錘部56'および57'の部分にも電極を塗布している点が図14とは異なる。電極を塗布した部分であっても、電圧が印加されなければ伸縮しないので、錘部として機能させることができる。錘部56'および57'における電極は、ここに電圧が印加されないように、電極51、52との間にスリット状の間隔をおいて塗布されている。このように、電極を塗布した部分を錘部として機能させる場合は、当該錘部の比重が電極を塗布しない場合と比べて大きくなるので、錘部の体積を小さくでき、駆動装置を小型化する上で有利である。

なお、図示の例では、錘部56'および57'に塗布された電極に電圧が印加されないようにスリットを設けて絶縁しているが、スリットに限らず、他の適当な手段で絶縁を行ってもよい。

【 0 0 3 3 】

図14および図15に示したような構成においても、図5および図6で説明したのと同様のモデリング手法を用いて、各部の質量およびバネ定数を決定することで、 $f_1 = f_2 / 2$ となる物理的な振動系とすることができる。

なお、第4実施形態においては、2つの圧電素子部を同じ材料で構成しているので、 $C_1 = C_2$ となる。したがって、式4および式5は、次式（4'）および（5'）のように表せる。

10

20

30

40

【数 9】

$$\frac{L_1 L_2 L_3 (L_1 + L_2 + L_3)}{(L_2 L_3 + L_1 L_3 + L_1 L_2)^2} = \frac{4}{25} \dots (4')$$

【数 10】

$$\frac{(m_{w1} + \frac{2}{\pi^2} m_{p1}) (\frac{2}{\pi^2} m_{p1} + m_{w2} + \frac{2}{\pi^2} m_{p2}) (\frac{2}{\pi^2} m_{p2} + m_r) (m_{w1} + m_{w2} + m_r + \frac{4}{\pi^2} m_{p1} + \frac{4}{\pi^2} m_{p2})}{((\frac{2}{\pi^2} m_{p1} + m_{w2} + \frac{2}{\pi^2} m_{p2}) (\frac{2}{\pi^2} m_{p2} + m_r) + 2(m_{w1} + \frac{2}{\pi^2} m_{p1}) (\frac{2}{\pi^2} m_{p2} + m_r) + (m_{w1} + \frac{2}{\pi^2} m_{p1}) (\frac{2}{\pi^2} m_{p1} + m_{w2} + \frac{2}{\pi^2} m_{p2}))^2} = \frac{4}{25} \dots (5)$$

【0034】

第5実施形態(図16、図17)

以上に説明した各実施形態では、振動発生部40は2つの圧電素子31、32を含んでいるが、振動発生部が3つ以上の圧電素子を含んでいてもよい。第5実施形態では、3つの圧電素子を利用して振動発生部を構成する。

この場合、図4に示した構成において、圧電素子31と32との間に第3の圧電素子を直列に配置し、圧電素子31と当該第3圧電素子との間、圧電素子32と当該第3圧電素子との間に、それぞれ錘を配置する。

【0035】

また、図16に示したように、圧電シート70を巻き上げて、これに不図示のロッドを固定して振動発生部を構成してもよい。図16の例は、図14の場合と同様の考えに基づいて構成されたものであり、圧電シート70に対して間隔をおいて部分的に電極71、72、73を塗布し、これを巻き上げることで一体的な構成を実現している。電極が塗布されていない部分76、77、78は伸縮しないので、錘部として機能させることができる。なお、図示しないが、図15の場合と同様に、錘として機能させる部分に対しても電極を塗布してもよい。

【0036】

圧電素子が3つの場合にも、上記と同様に力-電圧法に基づくモデリングを行うことで、振動発生部の1~3次の共振周波数について、 $f_1 = f_2 / 2 = f_3 / 3$ の関係を満たすこととなるように、各構成要素の質量およびバネ定数を決定できる。なお、 f_3 は三次共振周波数である。4つ以上の圧電素子を利用する場合も同様である。

【0037】

第5実施形態においては、第3次までの共振を利用できるので、第2次までの共振を利用する場合よりも、理想的なロッド振動波形を得ることができる。すなわち、図17に示したように、第1次と第2次の共振のみを利用する場合よりも、第1次~3次までの共振を利用する場合の方が、振動波形の立ち上がり部の傾斜を緩やかにすることが可能となり、図2に示したような理想的なノコギリ刃形状により近いものとなる。

【図面の簡単な説明】

【0038】

- 【図1】従来の駆動装置を示す分解斜視図および組立図。
- 【図2】図1の駆動装置における駆動原理を説明する図。
- 【図3】図1の駆動装置における駆動原理を説明する図。
- 【図4】本発明の第1実施形態に係る駆動装置の分解斜視図および組立斜視図。
- 【図5】図4の駆動装置の振動発生部のモデルを示す図。
- 【図6】図5のモデルに対応する電気回路を示す図。
- 【図7】図4の駆動装置の振動発生部の振動特性を示すグラフ。
- 【図8】図4の駆動装置に対して入力される電圧波形を示すグラフ。
- 【図9】図8の電圧が入力された場合のロッド振動波形を示すグラフ。

10

20

30

40

50

【図10】本発明の第2実施形態において駆動装置に入力される電圧波形を示すグラフ。

【図11】図10の電圧が入力された場合のロッド振動波形を示すグラフ。

【図12】本発明の第3実施形態において駆動装置に入力される電圧波形を示すグラフ。

【図13】図12の電圧が入力された場合のロッド振動波形を示すグラフ。

【図14】本発明の第4実施形態の要部を説明する斜視図。

【図15】図14の構成に対する変形例を示す斜視図。

【図16】本発明の第5実施形態の要部を説明する斜視図。

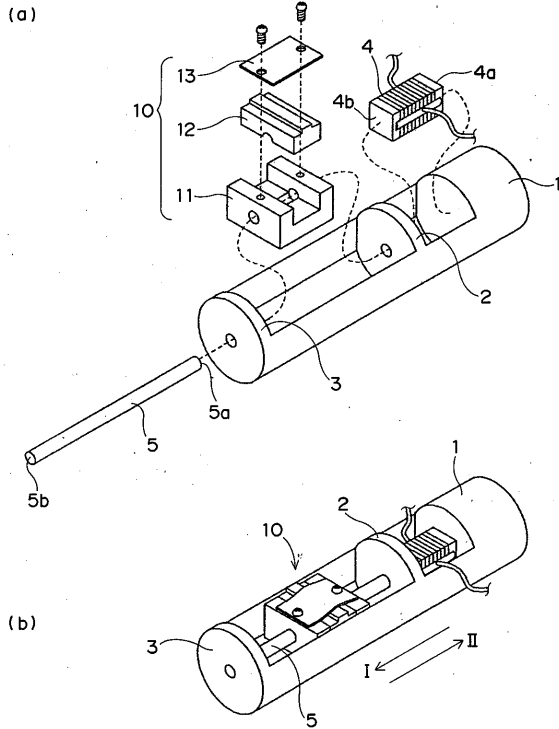
【図17】第5実施形態におけるロッド振動波形を説明するグラフ。

【符号の説明】

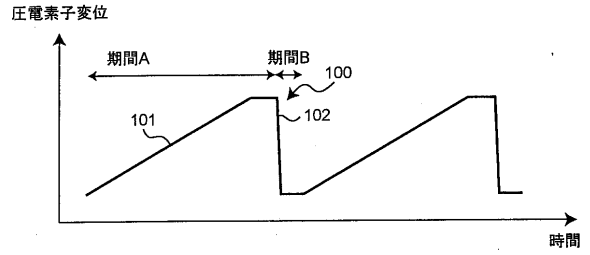
【0039】

1	台座	
2、3	支持部	
4	圧電素子	
5	ロッド	
10	移動体	
11	移動体本体	
12	キャップ	
13	押圧バネ	
21	第1錘	
22	第2錘	20
25	ロッド	
31	第1圧電素子	
32	第2圧電素子	
40	振動発生部	
50	圧電シート	
51、52	伸縮部	
56、57	錘部	
70	圧電シート	
71、72、73	伸縮部	
76、77、78	錘部	30

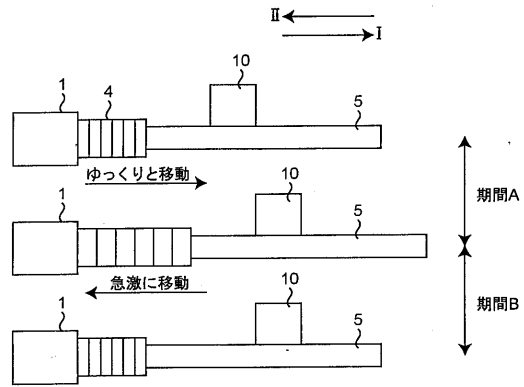
【図1】



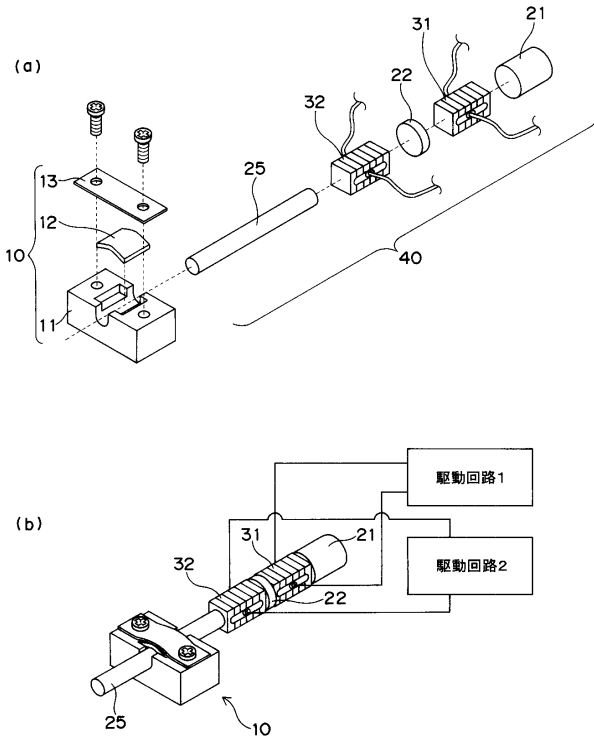
【図2】



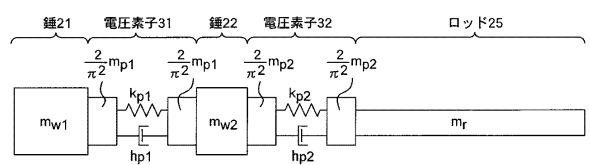
【図3】



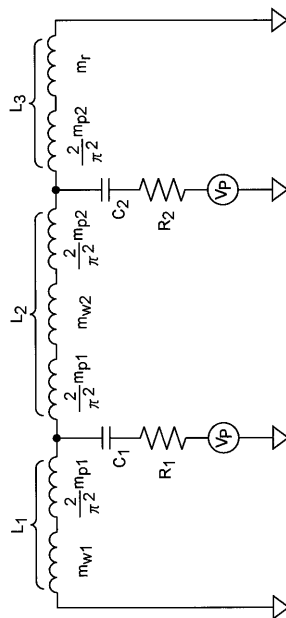
【図4】



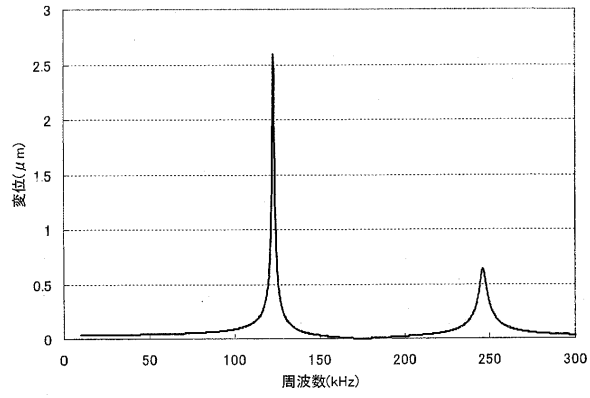
【図5】



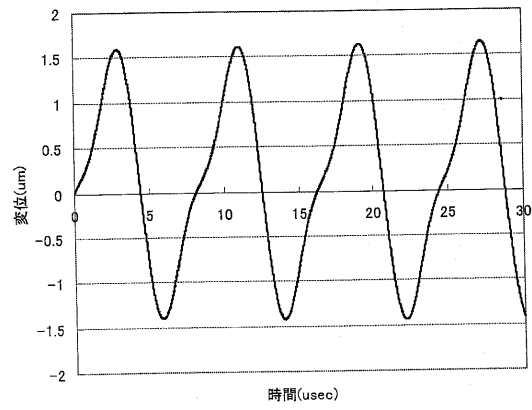
【図6】



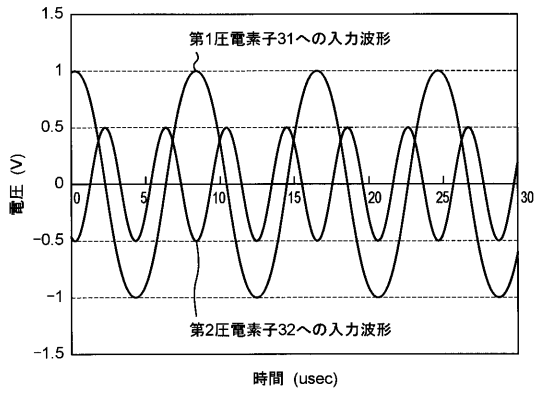
【 図 7 】



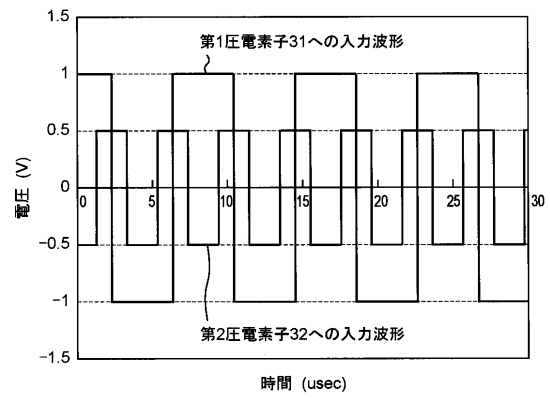
【 図 9 】



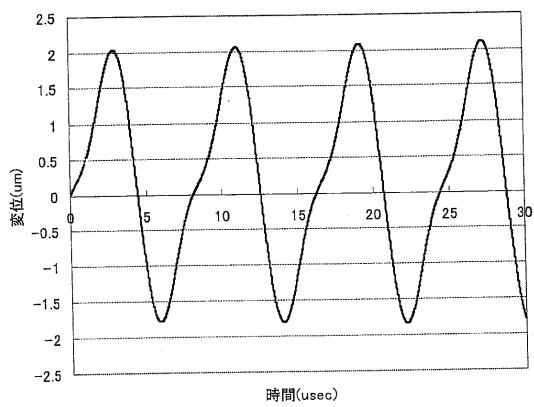
【 図 8 】



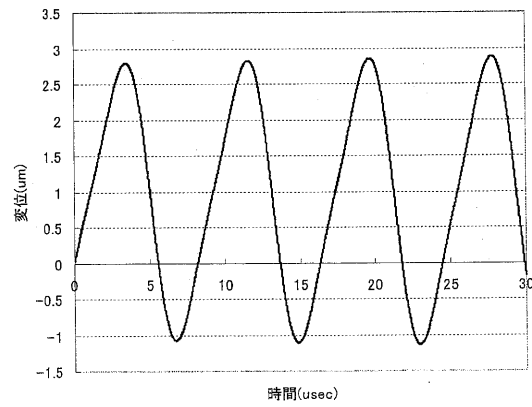
【 図 10 】



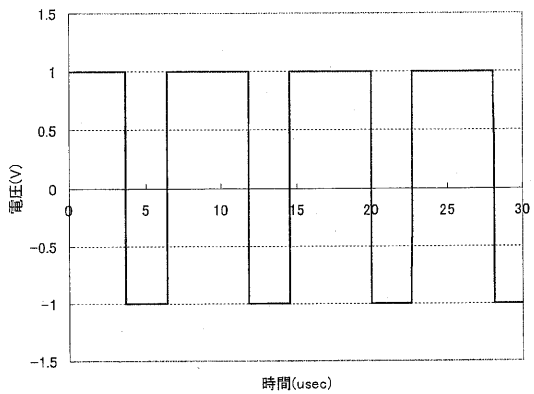
【 図 11 】



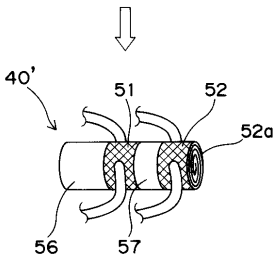
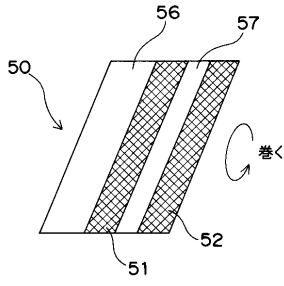
【 図 13 】



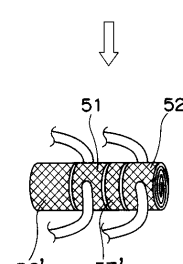
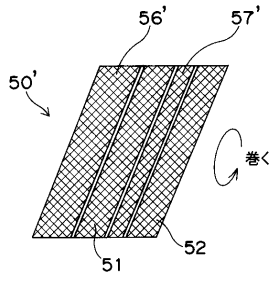
【 図 12 】



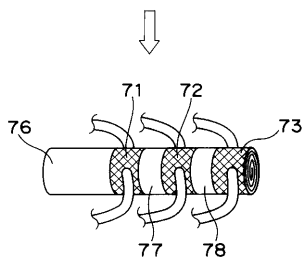
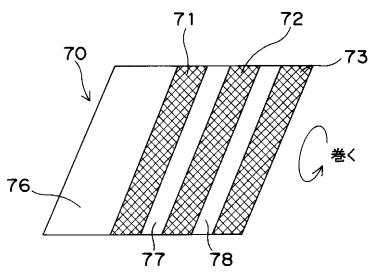
【 図 1 4 】



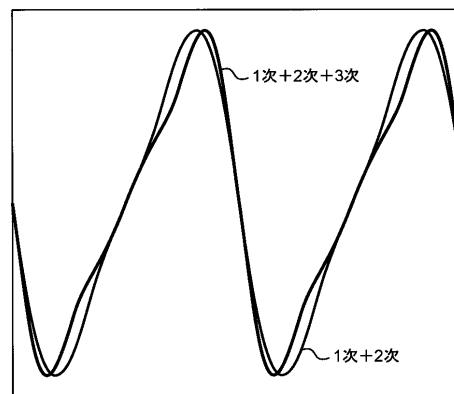
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2004-104919(JP,A)
特開平11-299273(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02N 2/00 - 2/16