

圧電ポンプの研究

山形大学工学部技術部
機械システム工学科 鈴木健一

1. はじめに

圧電セラミックスの圧電効果を利用してレゾネーター、フィルター、ガス器具の点火装置、超音波加工機、圧電スピーカ、圧電ポンプ等の多くの製品が開発されている。この中で圧電ポンプは、近年マイクロポンプとしての研究が盛んに行われている^{(1)~(3)}。

圧電ポンプは駆動装置による圧電素子直動型のポンプであるため、構造が単純で小型・軽量化に適しているという特徴がある。また電子制御性に優れ、高精度・微量コントロールが可能であること、応答性が良く流量の立ち上がり立ち下がり特性に優れていること、駆動部に摩擦部品がないため耐久性が良好であるという特徴がある。

圧電セラミック振動子は変位が小さく、ポンプ室の容積変化が小さいため弁の応答性能により吐出性能が大きく左右される。これまで当研究室においてフロート式逆止弁付圧電ポンプを試作し、その吐出特性を調べてきたが、このポンプを2台重ね2層式として、それぞれに逆位相となるように電圧をかけることによって弁の動作がより効果的になり、大幅な吐出性能の向上が見られた。

フロート式逆止弁付2層式圧電ポンプについて、それぞれのポンプを単独に駆動した場合と同時駆動した場合の印加電圧と吐出量、周波数と吐出量、フロートの移動量と吐出量の関係を調べ、それぞれの吐出特性について考察を行ったので報告する。

2. 圧電ポンプの構成

図1に試作したフロート式逆止弁付2層式圧電ポンプの写真を示す。図2にその構造を示した。2層式圧電ポンプは、A、B2台の圧電ポンプを重ねることにより構成される。また、それぞれの圧電ポンプは圧電振動子、逆止弁、本体ケーシングにより構成される。フロート式逆止弁は各圧電ポンプ本体の両側にそれぞれ吸入用逆止弁と吐出用逆止弁が取り付けられている。

圧電振動子

圧電振動子は、直径66mm、厚さ0.15

mmの黄銅板の片面に直径52mm、厚さ0.2mmの円板状のPZTを接着し、仕上がり厚さ0.35mmのユニモルフタイプとした。このユニモルフタイプの圧電振動子を上下に2枚用いることによりポンプ室が形成される。

弁

弁はフロート式逆止弁とした。直径7mmの流路部に先端角60°で直径6mmの

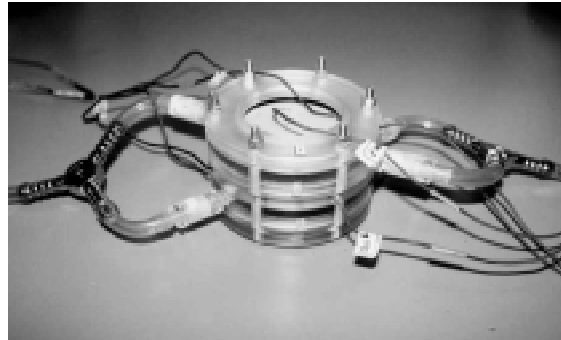
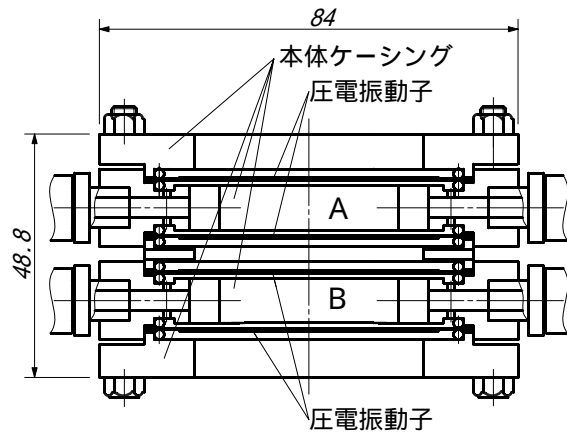
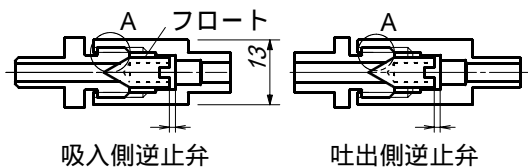


図1 2層式圧電ポンプの外観



(a) 2層式圧電ポンプ本体



(b) フロート式逆止弁

図2 2層式圧電ポンプの構造

フロートを入れ、このフロートの円筒部に直径4 mmの穴をあけることにより重さを軽くし、液体の動きに追従しやすくした。またフロートの後部に2 mm角の切り欠きを4カ所設け、液体の流路とした。A部のネジによりフロートの移動量を任意に変えることができるようにした。実験は吸入側、吐出側ともは同じ値で行った。

本体ケーシング

本体ケーシングはアクリル製で、リード線付の圧電振動子の外周端を2個のOリングにより上下にはさみ、本体ケーシングにより圧力をかけることによって水漏れを防ぐ構造となっている。

3. 動作原理

圧電振動子に電圧を印加すると極性の变化に伴い、圧電セラミックスが伸縮し、金属板が屈曲する。圧電ポンプはこの現象を利用したもので、圧電振動子と本体ケーシングにより構成されたポンプ室の膨張、圧縮による容積変化と吸入側、吐出側のフロート式逆止弁の作用によりポンプとして作動する。A + B同位相の場合は、駆動装置によってAポンプ、Bポンプを並列同位相で駆動する。従って二つのポンプは同じ動きをする。また、A + B逆位相の場合は、並列逆位相で駆動するためそれぞれのポンプは反対の動きをする。

4. 実験方法

図3に実験装置の概略図を示す。貯液槽液面から吐出口までの高さを吐き出し実揚程 h として表した。実験は液体として水を使用し、 $h = 0 \text{ mm}$ として行った。圧電ポンプの駆動は、製作した専用の駆動装置を使用した。A、Bのポンプをそれぞれ単独に駆動した場合(駆動しないポンプの吸入管、吐出管を閉じる)と同時駆動で同位相及び逆位相の場合について、フロートの移動量を0.5 mm ~ 2 mm、印加電圧を60 ~ 120 V、周波数を1 Hz ~ 9 Hzに変化させ実験を行った。

5. 実験結果及び考察

図4に $h = 1 \text{ mm}$ の場合の周波数が2 Hzと6 Hzについて各ポンプの電圧と

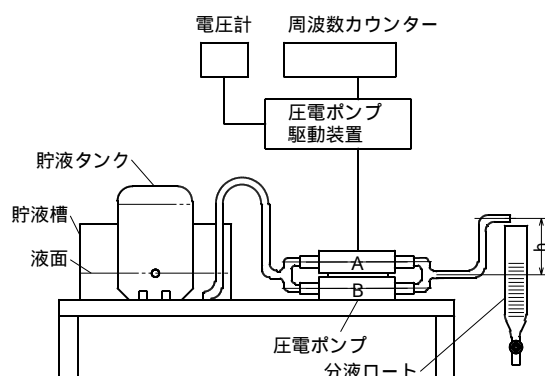


図3 実験装置

吐出量の関係を示した。

Aポンプ単独、Bポンプ単独、A + B同位相、A + B逆位相のそれぞれのポンプについて電圧と吐出量はほぼ比例関係にある。また2 Hz、6 Hz以外の周波数においても同様に電圧と吐出量は比例する。Aポンプ単独とBポンプ単独で吐出量に大きな差はなく、ほぼ同じ吐出性能である。図5に $h = 1 \text{ mm}$ とした場合の電圧が60 Vの場合と100 Vの場合について各ポンプの周波数と吐出量の関係を示した。Aポンプ単独、Bポンプ単独では1 Hzから2 Hzにかけて吐出量が増加し、2 Hzで最大吐出量となり3 Hz以降ゆるやかに減少する。A + B逆位相では大幅に吐出量が増加し、3 Hzで最大吐出量となり、4 Hz以降ゆるやかに減少する。周波数別にポンプ単独と比較して、A + B同位相では1 Hzで2倍、2 Hzで1.7倍、3 Hzで1.5倍となり4 Hz以降急激に吐出量が減少し、5 Hz付近でA、Bポンプ単独の場合よりも吐出量は低くなる。それに対し、A + B逆位相では1 Hz、2 Hzで約2倍、3 Hzで2.5倍となり、4 Hz以降は3 ~ 6倍の吐出量となる。

A + B同位相の場合は、AポンプとBポンプが同時に圧縮し、吐出液は合流後流出するため、流出抵抗が高まる。これが液体の流出速度にマイナスに働き、フロートの動きに影響を与える。周波数が低い場合(1 Hz ~ 2 Hz)は、圧電振動子の振幅に伴うポンプ室の膨張、圧縮が時間をかけて行われるため1振幅当たりの吐出量が多い。このためフロ

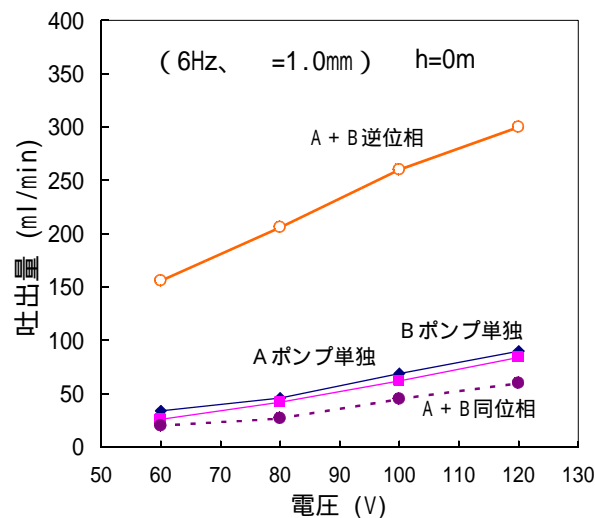
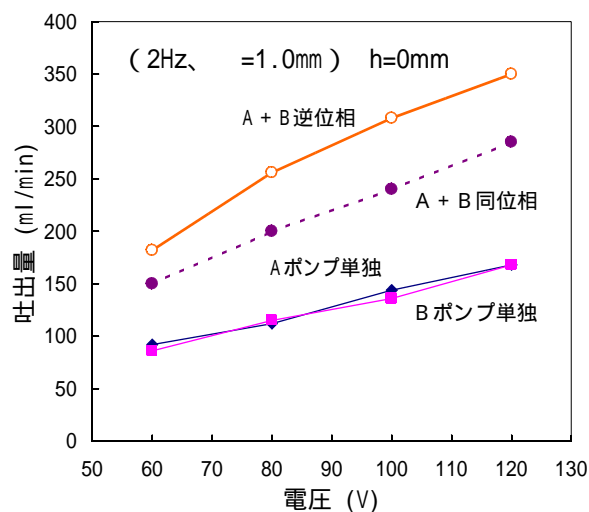


図4 各ポンプの電圧と吐出量の関係

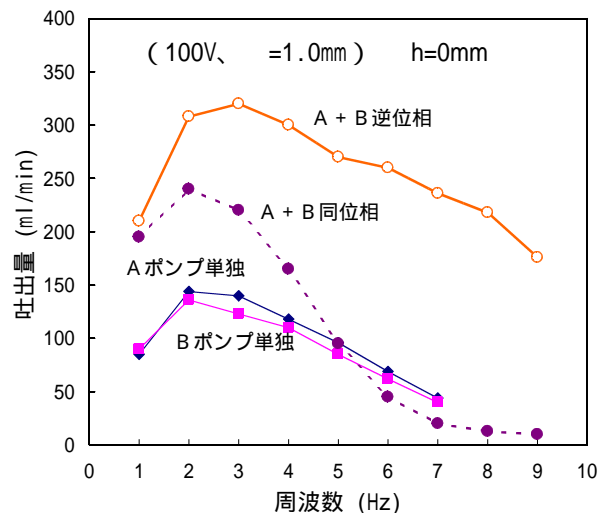
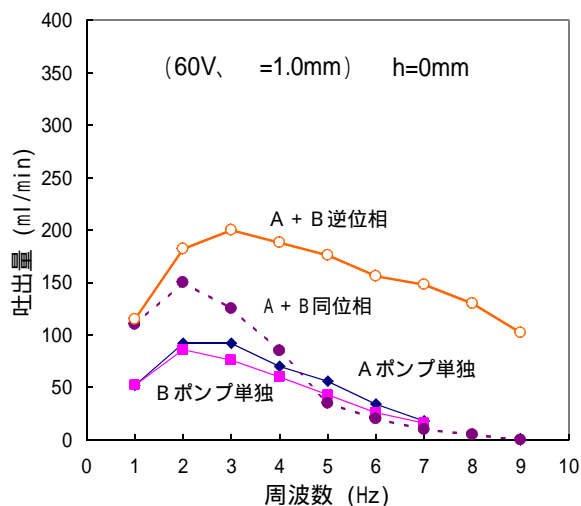


図5 各ポンプの周波数と吐出量の関係

ートはスムーズに移動する。周波数が高くなるに従い、流出抵抗の増大により1振幅当たりの吐出量が減少する。このためフロートの動きが悪くなり逆止弁としての機能が低下する。これが急激な吐出量低下の原因になっていると考えられる。

A + B 逆位相の場合はAポンプが吐出するときBポンプは吸入を行うので流出抵抗が高くない。このため、液体はAポンプからBポンプに流れ込み易く、フロートの移動がスムーズに行われる。これが高周波数でも高い吐出量を保つ要因であると考えられる。以上のようにA + B 逆位相では弁の動きが効果的に機能し、吐出性能が向上する。また、A、Bポンプ単独、A + B 同位相では周波数

と同じ脈流となるが、A + B 逆位相とすることによって脈数が2倍となり連続吐出に近づく。

図6にA + B 同位相、A + B 逆位相の場合の周波数の違いによる と吐出量の関係を示す。逆位相の1 Hz ~ 9 Hz、同位相の1 Hz ~ 3 Hzでは、 が0.5 mmから1 mmにかけて吐出量が増加し、その後 が増加しても吐出量は横ばいとなる。逆位相の場合は同位相の場合よりも全体的に吐出量が多く、周波数が高くなって大きな吐出量の減少は見られない。これに対し同位相の場合は、5 Hz ~ 9 Hzの範囲で、周波数が高い程吐出量が減少し、 が大きい程吐出量が

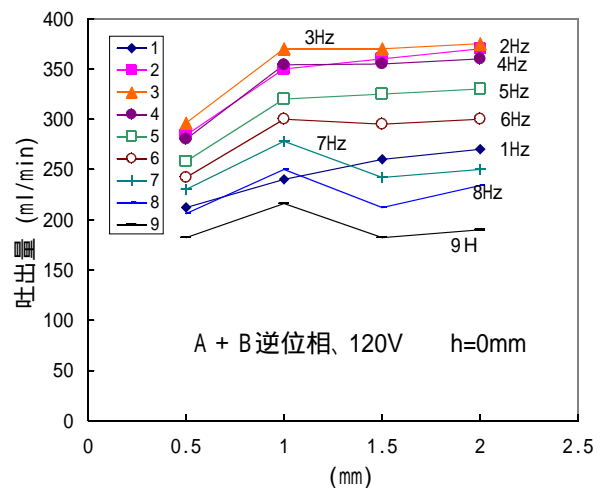
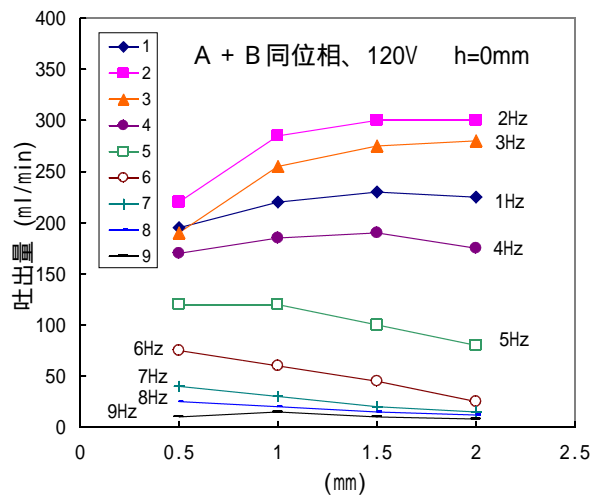


図6 周波数の違いによる と吐出量の関係

減少する。

このように同位相、高周波数においての増加に伴って吐出量が減少する原因について次のように考察できる。

ポンプ室が膨張から圧縮に転じ、吸入用フロートが移動して閉じるまでに吸入方向に流出した量およびポンプ室が圧縮から膨張に転じ、吐出用フロートが移動して閉じるまでに吐出側からポンプ室に流入した量は吐出量に貢献しない遊び量となる。この遊び量が吐出量にマイナスに作用する。周波数が5 Hzから9 Hzと高くなるに従い、圧電振動子の周期が速くなるため、1振幅当たりの吐出量が減少する。1振幅当たりの吐出量が小さくなると、フロートの移動に伴う遊び量が相対的に大きな割合を占めるようになる。が大きい程この遊び量が大きくなるため、の増加に伴い吐出量は減少すると考えられる。

A + B 同位相の1 ~ 4 Hz 及び A + B 逆位相の1 ~ 9 Hz では、1振幅当たりの吐出量が大きいため、の影響が相対的に小さい。このため、が1 mm 以上ではが増加しても吐出量はほぼ横ばいになると考えられる。また、吐出量が大きい場合、が0.5 mm で吐出量が減少しているのは、流路断面積が小さくなり、流路抵抗が増すためである。

6. おわりに

フロート式逆止弁付2層式圧電ポンプを試作し、その吐出特性について実験を行い、

次のことがわかった。

- (1) Aポンプ、Bポンプ、A + B同位相、A + B逆位相の各ポンプにおいて電圧と吐出量は比例する。
- (2) 各ポンプにおいて最大吐出周波数が存在し、A + B逆位相では3 Hz、その他のポンプでは2 Hzである。
- (3) A + B逆位相にすることによって、フロート式逆止弁が効果的に機能し、全体的に吐出量が増加する。特に高周波数において大幅に吐出量が増加し、吐出性能の向上が見られた。
- (4) 高周波数において、さらに吐出量を増加させるためには、圧電セラミック振動子の発生力を大きくして1振幅当たりの吐出量を大きくすること、また流路抵抗が小さく、液体の遊びの少ない弁機構を開発することが必要と考えられる。

【謝辞】

日頃ご指導いただき、この度、発表の機会を与えて下さいました機械システム工学科の鈴木勝義教授に心よりお礼申し上げます。

参考文献

- (1)内野研二他、精密制御用ニューアクチュエータ便覧、フジテクノシステム(1994)。
- (2)鈴木勝義他3名、圧電ポンプの研究、日本機械学会東北支部いわき地方講演会講演論文集、No.971-2(1997.9)、193-194。
- (3)鈴木健一他2名、圧電ポンプの研究、日本設計工学会東北支部研究発表講演会講演論文集、(2000.10)、16-17。