

## 研究の課題名

# 超精密液流制御のための新しい進行波駆動 小型圧電ポンプの研究

信州大学工学部 助教授

報告者 辺見 信彦

報告日 2004年(平成16年)8月30日

## 1. 本研究の意義、特色

圧電ポンプは高精度で安定した吐出性能が見込まれるが、従来の製品は原理的に逆止弁を利用しなければならず、構造が複雑で小型化が困難であった。本研究はそのような問題から開放されて、安定した制御が可能で超小型化にも対応できるように、バイモルフ型圧電アクチュエータの駆動電極数を増やして進行波駆動させる新しいタイプのポンプの研究である。作動流体を精密に制御可能な、逆止弁を使用しない新しい駆動方式という特色を有している。

## 2. 実施した研究の具体的内容、結果

### (1) 本圧電ポンプの駆動原理

本圧電ポンプは管路に挿入した振動板を進行波が発生するように振動させ、管路内の流体を搬送するものである。図1がその動作原理を表している。図は薄い金属板（シム材）に圧電体を上下4箇所ずつ設置し、4組のバイモルフアクチュエータが並んだ振動体を表している。振動体全体が管路に挿入され、管路の壁面に振動体の一端が固定される。（図の上端）。4枚のバイモルフアクチュエータを位相を変えて正弦波で駆動することによって、固定されていない他端側に進行波を発生させて流体を図の左右方向に搬送する。

図では4組のバイモルフアクチュエータを利用しているが、アクチュエータは2組であっても、あるいは4組以上であってもよい。

### (2) シミュレーション結果

FEMを利用した圧電駆動時の振動解析により3方式とも進行波を発生させ流体搬送動作を実現できることが確認できた。いずれの方式も薄板機構の1次モードの固有振動数に関連した周波数で駆動するのが最も効率が高いことを示した。駆動周波数は固有振動数に一致させるよりも、やや低い周波数で駆動した方がよいこともわかった。また、薄板構造の長幅比も搬送効率に影響することも明らかにした。

図2は駆動する周波数と振動板先端の振幅の関係を示している。振動板の搬送方向の長さ $L$ と幅 $B$ の比（長幅比）をパラメータとしている。解析は流体と振動板との連成解析を実施することが困難であるため空気中での振動状態で計算している。

### (3) 装置の製作

図3に振動体の運動基礎特性を調査するための測定装置の構成を示す。振動体のバイモルフ

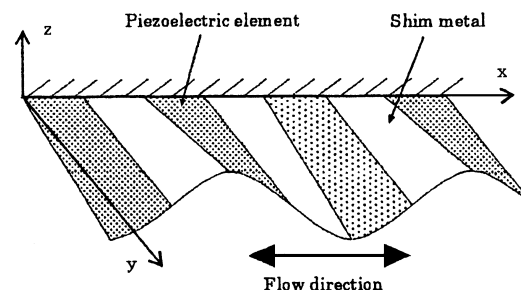


図1 駆動原理概略

圧電素子の数が4組のものを製作した。シム材の厚さは0.1mmとし、素子の大きさは約40mm×30mmで、固定部分を除いて長幅比が2のものを作製した。各素子を独立して駆動するため4台のパワーアンプを用意し、隣り合う各素子間の位相差を変えて正弦波駆動した。隣り合って貼付けされている圧電素子の間のムシ材部分を渦電流式非接触変位センサで計測し、振動板がどのように振動しているのか、進行波が最もよく発生するのはどのような条件のときかなどを調査した。圧電素子にはPZTを用い、シミュレーションの結果によると空気中での駆動で得られる振幅は約100 $\mu\text{m}$ である。

ポンプの本体となる振動体のケースは流れの様子を目視可能なように透明の亚克力樹脂で加工製作した。振動体を固定する部分には圧電体の厚さ(0.18mm)を考慮して凸凹上に加工し、さらに固定部と対向する側で振動板が振動するため振動体の部分の流路は先端部が約100 $\mu\text{m}$ の開きを有する扇形断面になるように傾斜加工した。

#### (4) 実験結果

4組の各バイモルフ素子に位相差を与えて振動体の変位を測定した。シム材が表面に現れているのは3箇所であるため、3本のセンサプローブを用いて同時計測している。各バイモルフ圧電素子に加える正弦波の位相を15°から90°まで15°おきに測定した。図4に位相差60°のときの結果を示す。同図は変位を計測した3箇所での振幅と、一つの入力電圧の正弦波に対する変位の位相の測定結果を表している。振動板に進行波が発生しているかどうかは各測定部間の変位の位相が等間隔になっているかどうかを観察すればよい。図4のデータでは駆動周波数200~300Hzのときと、400~550Hzにおいて各センサ間の位相がほぼ等間隔に分かれており、進行が良好に発生していることが伺える。350Hzのところでは3つのセンサの位相が重なっているのは振動板の1次の固有振動数があるためその影響が大きく現れているからである。一方、振幅の結果をみると、200~300Hzのときが各部の振幅が揃っていても大きく振動している。よって、位相60°で駆動した場合には、300Hzで駆動するとよいことがわかる。この結果はシミュレーション結果ともよく一致している。

以上のような基礎動作特性の結果を踏まえて、搬送流体を水とした場合のポンプ動作を調査した。その結果、流量は少ないものの流体の微量搬送が可能であることがわかった。これまでの実験で振動板の上下面間での流体の漏れなどが問題になることを明らかにしており、今後実用化に向けてさらに流量を増大させるよう検討していく予定である。

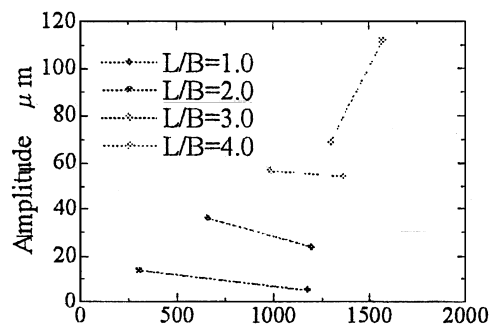


図2 駆動周波数と振幅の関係

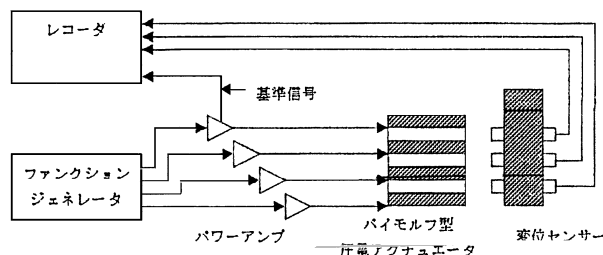


図3 基礎動作測定実験装置構成

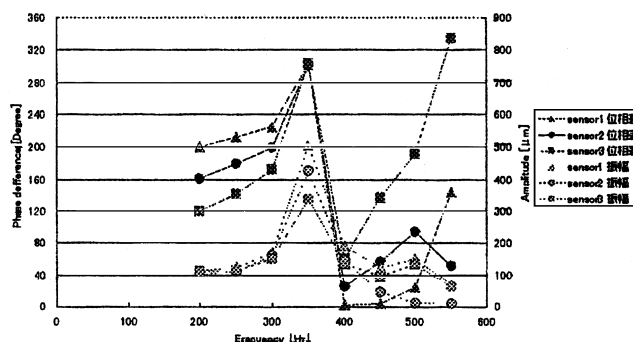


図4 振動時の各部の振幅と位相

### 3. 本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

田中道彦 信州大学 教授

### 4. 研究実施時期

平成14年11月1日から16年5月31日まで

### 5. 本研究に関連して発表した主な論文等

- (1) 進行波型小型圧電ポンプの研究：2003年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集、638、2003。 ※
- (2) 進行波型圧電ポンプに関する研究（第一報）—基礎特性—、精密工学会誌（投稿予定）
- (3) 特許出願：特願2003-297136、圧電ポンプ。

### 6. 内外における関連研究の状況

精密な小型ポンプの研究は国内外で実施されており、例えば水冷式のノートパソコンなどでも実用されているが、遠心ポンプや逆止弁を組み合わせた圧電ポンプが主流であり、進行波を利用したポンプはほとんどなく、特に振動体を流路に挿入するという本研究のような形式は世界初である。MICRO-TASなどの微量流量制御を要する場合も同様である。

### 7. 今後の発展に対する希望

今回の助成により装置を製作することができ、実機におけるいくつかの課題を明らかにできたので、今後その課題を克服し、まずはノートパソコンやインスリンポンプ用の新しい応用を目指し、さらにMICRO-TASへの応用に拡張していく予定である。今回の助成期間中に本研究に関連するテーマで企業との新しい共同研究も立ち上げることができた。高性能な小型の精密ポンプは電子情報機器産業、医療関係、バイオテクノロジー分野など多くの工業分野で求められている。