

振動駆動式無拘束ポペット空気圧弁の小型化における形状と材質の影響

立命館大学 ○巽正之*, 伊藤正彦*, ジェン・スマディ*, 平井慎一*
東レエンジニアリング (株) 本田顕真**

Influence of Shape and Material to Miniaturize Unconstrained Vibration Pneumatic Poppet Valves

○Masayuki TATSUMI*, Masahiko ITO*, Sumadi JIEN*, Shinichi HIRAI*(Ritsumeikan Univ.)

Kenshin HONDA **(Toray Engineering Co.Ltd)

In this paper, we describe the influence of shapes and materials to miniaturize unconstrained vibration pneumatic poppet valves. In recent years, we needed the valve enough to drive the actuators for robot's hands, and manufactured the smaller valve that has flow enough to drive the McKibben actuator. To miniaturization, experimental results are given to show the influence of the small valve's inside shapes and the four kinds of materials. On the basic of these results, the size of valve is smaller.

Key Words: Valves, Miniaturization, Shape, Material

1. 緒言

近年、ロボットハンドや歩行機構等で空気圧アクチュエータによる駆動が再評価されている。特に、軽量で、柔軟な動きが可能になっているマッキベン型アクチュエータが適していると考えられている1)。

ロボットハンドを空気圧アクチュエータで駆動する場合、問題となるのが 0.2~0.5MPa で空気圧アクチュエータを駆動させ、3l/min 以上の流量を調節するために必要となる制御弁である。従来の制御弁は十分な高流量・高圧力で制御が可能である反面、人間と同等のサイズでのロボットハンドを製作する際には多数の制御弁が必要となり、弁が大型であるために、ロボットハンドのスケールダウンが難しくなる。それに対して、MEMS 技術を利用した弁は非常に小型・軽量であるが、ロボットハンドを駆動させるほどの圧力・流量を出力させることができない2)。

そこで、我々はアクチュエータを動作させるために十分な流量をもち、かつ小型にすることができる振動駆動式無拘束ポペット空気圧弁を開発した。本報告では形状が本弁に対してどのような影響を与えるのか実験的に明らかにする。また、材質についても4種の材料に関して実験し、どのような特性の変化が見られるのか明らかにする。これらの結果を踏まえて弁のさらなる小型化を行う。

2. 振動駆動式無拘束ポペット空気圧弁の概要

2.1 構造

Fig.1 は $\phi 15 \times 25\text{mm}$ の振動駆動式無拘束ポペット空気圧弁である。Fig.2 にその構造を示す。本弁は、主に開閉をおこなうための無拘束ポペット、空気の入出口であるオリフィス、そのポペットを振動させるための PZT アクチュエータ、全体を覆うケース、土台のベースから成り立ち、比較的単純な構成となっている。



Fig.1 Miniaturized valve ($\phi 15 \times 25\text{mm}$)

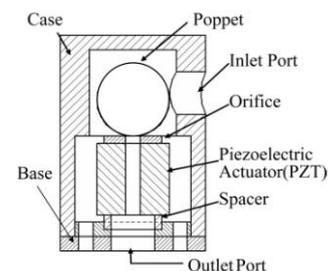


Fig.2 Structure of miniaturized valve

2.2 動作原理

本弁の動作原理を Fig.2 を用いて説明する。ポペットがあるケース内に空気を供給する、このとき供給圧によりポペットがオリフィスを塞ぎ、弁は閉状態となる。この状態で、PZT アクチュエータに矩形

* 立命館大学理工学部ロボティクス学科

集積機械知能研究室

(〒525 - 8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

(E-mail: rr004063@ed.ritsumeikan.ac.jp)

** 東レエンジニアリング株式会社開発部門開発部

(〒520 - 0842 滋賀県大津市園山 1-1-1)

波の電圧を印加させ、振動することによって、オリフィスとポップットの間に隙間が生じる。開状態と閉状態を高速で繰り返すことにより、空気を放出する。

3. 形状の評価

弁の形状が弁の特性にどのような影響を与えるのか、ケースの形状とベースの形状に分けて検証する。Table 1には形状の評価を行うための弁のサイズと、使用している PZT アクチュエータのサイズを表している。

Table 1 Valves for the experiments

Valve name	Valve size [mm]	PZT actuator size [mm]
Prototype valve A	φ 12×16	5×5×5
Prototype valve B	φ 15×21	5×5×10
Prototype valve C	φ 15×30	5×5×10

3.1 ケースの形状

弁は Prototype valve A を使用する。ただし、ケースの内側空間は広いケース(φ 8×6mm)と狭いケース(φ 6×5mm)を使用する。

空気圧 0.50MPa を供給し、周波数を 1.0kHz ずつ上げて印加電圧を 20V と 25V で計測した。Fig.3 はその結果である。

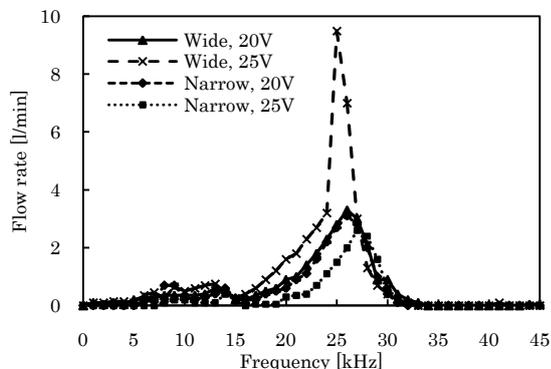


Fig.3 Frequency - flow rate relationship for Prototype valve C with wide and narrow poppet cage

最大流量を記録したのは、特に流量が大きかった印加電圧 25V で内側が広いケースであり、その次に印加電圧 20V で同様のケースであった。一方で、共振周波数は 4 つともほぼ同様となった。

これより、ケース内の容器の大きさが広いほど高流量が計測されることがわかった。その反面、内側空間が広すぎると流量の安定性が低下する。

3.2 ベースの形状

ベースが薄い Prototype valve B と、ベースが厚い

Prototype valve C の 2 つを比較する。ベースの厚さはそれぞれ 1mm と 10mm であり、その他は同様の材質・形状となっている。ケース・ベース共に真鍮である。

実験条件である空気圧と周波数は 3.1 章と同様で、印加電圧は 20V で行う。Fig.4 はベースの薄い弁と、厚い弁で計測した結果である。漏れが生じているため、低周波・高周波でも流量を計測している。

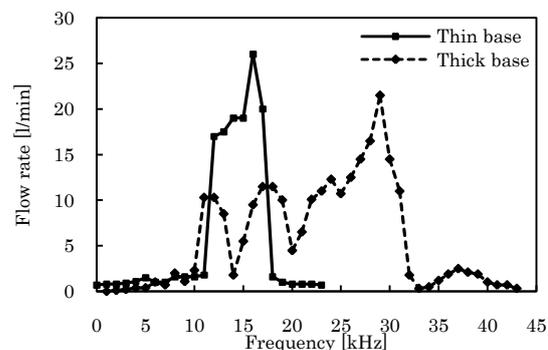


Fig.4 Frequency - flow rate relationship for the valve with thick and thin base

共振周波数は、ベースが薄い弁は 16.0 kHz、厚い弁は 27.0 kHz となった。最大流量はベースが薄い弁は 26.0 l/min、厚い弁は 21.5 l/min となった。この結果より、ベースが薄い方は、他条件が同じでも高流量を放出可能であることが明らかとなった。

この原因は微小の変位により駆動している PZT アクチュエータがベースに密着しているため、ベースの厚みの影響が大きいと考えられる。

4. 材質の評価

弁の材質による影響を検証するため、弁は Prototype valve A を使用する。ただし、同種の PZT アクチュエータでも個体差があり特性が変化するため、PZT アクチュエータとそれを取り付けるベース部は同じものを使用し、ケースをステンレス鋼、真鍮、アルミニウム、アクリルの 4 種で適宜変えて検証する。

実験条件である空気圧と周波数は 3.1 章と同様で、印加電圧は 25V で行う。Fig.5 は 4 種の材質を同電圧で比較し、どのように特性が変化するかをみたグラフである。また、Table 2 はそれぞれの材質による弁の質量の違いを表に表わしている。

ただし、Fig.5 についてポップットとオリフィスのサイズが適切でなかったため、流量に関しては必要量の流量に達していない。

流量は必要量に達していないものの、ケースの材質によって共振周波数が大きく変化していることがわかる。また最大流量も変化している。試行毎に流

量が若干変化するものの、これまでに使用していたアクリルよりも金属であるステンレス、アルミニウム、真鍮が高流量を計測している。特に弁の重量を考慮する場合、アルミニウムはケースの材質としては比較した4種の材料の中で適したものだといえる。

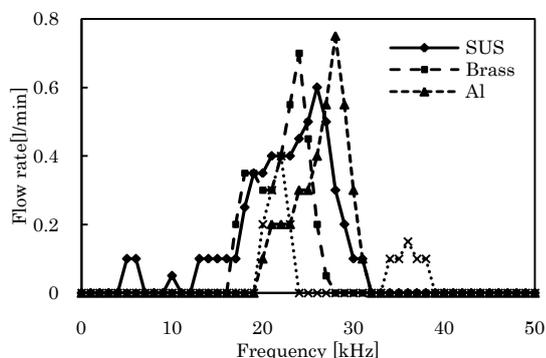


Fig.5 Frequency - flow rate relationship for different materials of case

Table 2 Weight of valves

	SUS	Brass	Al	Acryl
Weight[g]	10.58	11.05	6.50	5.24

5. 小型弁製作と特性評価

これまでに製作してきた弁の大きさはマッキベン型アクチュエータに対して容器の大きさが大きかったこと、また、流量が必要量よりも低く計測されていたことを踏まえて、以前に明らかにした形状、材質による特製の変化を利用して、更なる小型化と流量を確保する。

Fig.6 は構造を縮小して設計・製作したサイズφ7×9mmの小型弁である。流量の安定性を保つためケースの内側空間は狭くし、ベースは薄くした。材質はアクリルから金属製へ変更し、PZTアクチュエータは3×3×2mmを使用した。Fig.7は供給する空気圧を0.20MPaとし、周波数を1.0kHzずつ上げてゆき、それぞれ印加電圧を15,20,25Vで駆動させた結果である。

印加電圧25V、53.0kHzを入力した際、3.5l/minの流量を制御できるようになった。また、供給圧力も実験において0.00~0.50MPaで制御可能であることが確認できた。



Fig.6 New miniaturized valve (φ7×9mm)

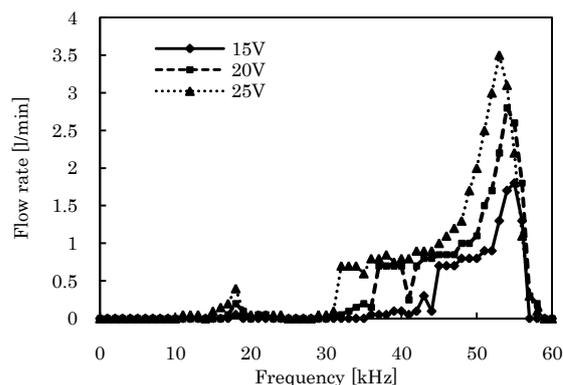


Fig.7 Frequency - flow rate relationship for new miniaturized valve

6. 今後の小型化について

弁を小型化するためには、PZTアクチュエータを小型化する必要がある。PZTアクチュエータを小型化したときにはオリフィス径も小さくする必要がある。今回最小の小型化したときのPZTアクチュエータのサイズは3×3×2mmであり、これ以上のオリフィスの小型化すると直径0.5mm以下のオリフィスを使用することが適切であると考えられる。そこでどの程度の大きさのオリフィスで求められる流量を維持できるのか簡易シミュレーションを行った。

結果として、小型マッキベン型アクチュエータを駆動させるために必要な流量である2.0l/min以上を目標とするとオリフィス直径は0.4mm以上必要となり、オリフィス径によって小型化が困難となる。また、これ以下の直径のオリフィスの加工も困難であり、パーツ間の組み立て精度も今まで以上に要求されるため、工具や電子顕微鏡を使用して組み立てる必要がある。

7. 結言

本報告においてケースの形状、ベースの形状、容器の材質に関する影響をそれぞれ検証し明らかにした。この結果より小型弁の設計・製作・評価をした。今後は、これ以上の小型化は抑え、小型マッキベン型アクチュエータを実際に取り付け、アクチュエータの制御実験をする。

参考文献

- 1) 伊藤正彦, ジェン・スマディ, 小川洋一郎, 平井慎一, 本田顕真: 振動駆動式空気圧無拘束ポペット弁の小型化, 第9回(社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, pp1211-1212, 2008
- 2) Kwang W Oh, Chong H Ahn: A review of microvalves, J. Micromech. Microeng. 16, R13-39, 2006