

K-11

ピストンの断面積比を用いた圧電素子の変位拡大機構の検討

Study on Displacement Expansion Mechanism for Piezoelectric Element Using Piston Cross-sectional Area Ratio

○高橋知宏¹, LYUSHUXIN², 齊藤健³*Tomohiro Takahashi¹, Shuxin Lyu², Ken Saito³

Abstract: In this study, the authors designed and fabricated a displacement expansion mechanism for piezoelectric elements. The mechanism can expand displacement according to the cross-sectional area ratio between fluid-filled pistons. The displacement expansion ratio was 156.25 times, and the displacement of the piezoelectric element can expand from 8.11 μm to 1267 μm . A model of the displacement magnification mechanism, three times the size, was made using a 3D printer. We confirmed the movement of the liquid surface when the voltage was applied to the piezoelectric element. As a result, the displacement expansion mechanism working correctly.

1. はじめに

近年、令和3年度の悪性新生物<腫瘍>の部位別死亡数・死亡率における「大腸」の割合が男性では2位、女性では1位と報告されるなど、大腸癌の死亡数・死亡率の割合が増加している^[1]。大腸癌の検査や手術は、現在内視鏡を用いた方法が一般的であるが、内視鏡挿入時の操作が難しく医師への負担が大きいといった問題がある。そのため医師の負担軽減を目的とした医療ロボットの開発が盛んである^[2]。

我々は、脚部を展開することで腸管内に内視鏡ケーブルを固定可能な小型医療ロボットの開発をおこなっている。しかし、搭載可能な小型電磁モータでは出力不足によって機構の駆動が実現できなかった。そこで我々は単位面積あたりの発生力に優れた圧電素子に着目した。しかし、圧電素子の変位は圧電素子自体の全長の約0.1%ほどであり極めて微小であるため、変位拡大機構を用いる必要がある。

本論文では、ピストンの断面積比によって変位の拡大を目的とした機構の設計および検討をおこなったので報告する。

2. 圧電素子の変位測定

キーエンス社のレーザ変位計「KM-0023」を用いて、使用する圧電素子の変位測定をおこなった。圧電素子はMKタイセイ社の「TAK020315」を用いた。この圧電素子の大きさは2 mm×3 mm×15 mmである。各電圧において得られた変位をFigure 1に示す。測定結果から最大定格電圧である100Vを印加した場合に8.11 μm の変位を発生可能であることを明らかにした。

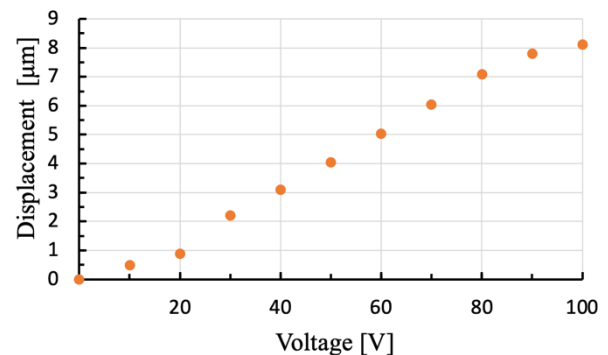


Figure 1. Displacement of Piezoelectric Element

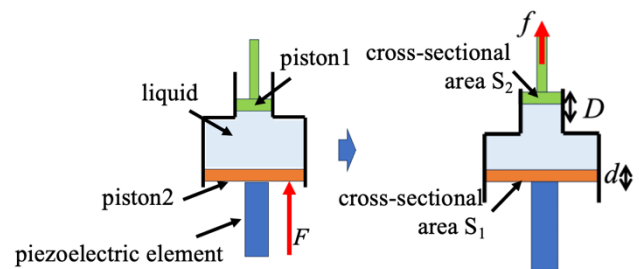


Figure 2. Schematic Diagram of Displacement Expansion Mechanism

3. 断面積比を用いた変位拡大機構

Figure 2に設計した変位拡大機構の模式図を示す。断面積 S_1 の容器に流体を充填したのち接続された圧電素子によって機構を押し上げることで流体が断面積 S_2 の管を通り、変位を増幅することができる。圧電素子の変位を d とすると拡大後の変位 D は式(1)のように表せる。

$$D = \frac{S_1}{S_2} d \quad (1)$$

断面積 S_1 を $5.0^2 \pi \text{ mm}^2$, 断面積 S_2 を $0.4^2 \pi \text{ mm}^2$ と
して設計したため, 各値を式(1)に代入すると

$$\begin{aligned} D &= \frac{5.0^2 \pi \times 10^6}{0.4^2 \pi \times 10^6} \times 8.11 \\ &= 156.25 \times 8.11 = 1267 \mu\text{m} \end{aligned}$$

となり, 変位の拡大倍率は 156.25 倍, 得られる変位
は $1267 \mu\text{m}$ と求められる。

また, 拡大機構は流体を用いて変位を拡大している
ためパスカルの原理が働き, 伝達できる力が低下
する。その際に伝達される力 f は圧電素子の最大発
生力を $F(=6.0[\text{N}])$ とすると式(2)で表せる。

$$\begin{aligned} f &= \frac{S_2}{S_1} F \quad (2) \\ &= \frac{0.4^2 \pi \times 10^6}{5.0^2 \pi \times 10^6} \times (6.0 \times 10^3) = 38.4 \text{ mN} \end{aligned}$$

よってこの拡大機構では発生力 38.4 mN で $1267 \mu\text{m}$ の
変位を生み出すことができる。

4. 変位拡大機構のプロトタイプモデルの作製

Figure 3 に 3D プリンタにて作製したアクチュエータ
のプロトタイプモデルを示す。この模型は設計の 3 倍
サイズで出力し, 圧電素子に電圧を印加して液面の観
察をおこなった。電圧を印加したタイミングで液面が
移動していたため, 変位を拡大することが可能である
事を明らかにした。

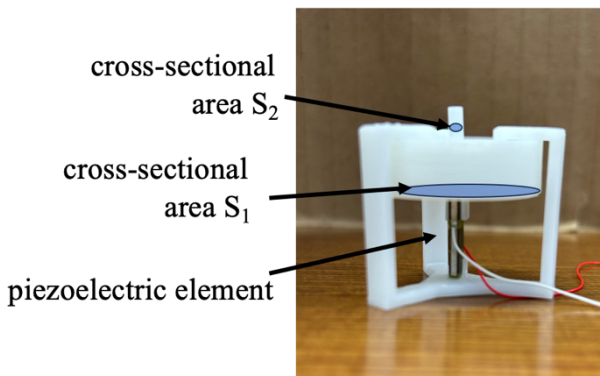


Figure 3. Model of Displacement Expansion Mechanism

5. まとめ

本論文では, 容器の断面積比を利用して圧電素子の
変位を拡大する機構の検討および設計を実施した。定
めた断面積比によって圧電素子の変位を 156.25 倍に拡
大することができ, 最大 $1267 \mu\text{m}$ の変位が得られるこ
とを明らかにした。

また, 光造形 3D プリンタを用いて作製した 3 倍サ
イズのプロトタイプモデルを用いて変位拡大機構の駆
動実験をおこなった。接続した圧電素子に電圧を印加
すると, 液面の移動が確認できたため正常に変位を拡
大することができたと考えられる。今後は等倍サイ
ズの変位拡大機構を作製し, 実際の変位および発生力の
測定をおこなう予定である。

謝辞

本研究は, 令和 2 年度日本大学学術研究助成金 総合
研究, および令和 4 年度日本大学特別研究の助成を受
けたものである。

6. 参考文献

- [1]厚生労働省, 「人口動態統計」, 2021
- [2]中村太郎, 「空気圧システムを用いた大腸内視鏡挿入
デバイスの開発」, 計測自動制御学会, 56 巻, 4 号 pp.
281-285, 2017