

北海道大学 工学部 ○金 東都 下岡 聡行 勇田 敏夫

【要 旨】

任意の方向に動力を伝達することを可能にする流体を利用するマイクロシステムの圧力伝達機構を検討した。毛細管、および毛細管とロッドによる微小シリンダーを用いて水力学的な性質を検討し、マイクロ流体圧システムの実現可能性を検討する。水力学的な性質として、圧力伝達における損失やシリンダーの圧力に対する応答を調べ、システムの設計に使用可能な数式モデルを検討した。

1. はじめに

VLSI加工技術等を用い、数10～数100 μm 寸法の部品からなる微小機械を製作するマイクロマシニングと呼ばれる研究が進められており、医療分野での応用が期待されている。特にVLSI加工技術等を用いたアクチュエータや歯車列などが発表されているが¹⁾、任意の方向に動力を伝達することは困難である。流体を利用するマイクロシステムにはこの問題を解決できる可能性がある。

流体を用いて動力の伝達などを行う場合、圧力損失は重大な問題となる。毛細管とロッドによる微小シリンダーを用いて圧力伝達における損失やシリンダーの圧力に対する応答を調べ、システムの設計に使用可能な数式モデルを検討したので報告する。

2. 実験方法

毛細管とロッドで構成したシリンダーで伝達される力の測定のためFig. 1に示すシステムを用いた。マイクロメーターを回してシリンダー内のグリセリン溶液に圧力を与えると毛細管の中に入れてあるロッドが圧力を受けて動き、カンチレバーにたわみが生じる。このたわみをレーザー光をカンチレバーに反射させ、反射された光の移動距離をPSD (Position Sensing Detector) で測定し、変位から計算した力と圧力センサーからの圧力と比較した。

シリンダーにステップ状の圧力を加えた時の過度応答を調べ、マイクロシリンダーのステップ入力に対する応答特性を記述できる数式モデルを得るためシミュレーションを行い、実験結果と比較して検討した。シミュレーションにおいて、本実験システムはFig. 2に示すようなバネを負荷とするシリンダーであるから、水力学では式[1]の形で記述できると考えられる。式[1]の2項目の粘性項には、式[2]で表す平行平板の層流流動のときに固定平板に作用するせん断応力を用いてシミュレーションした。²⁾

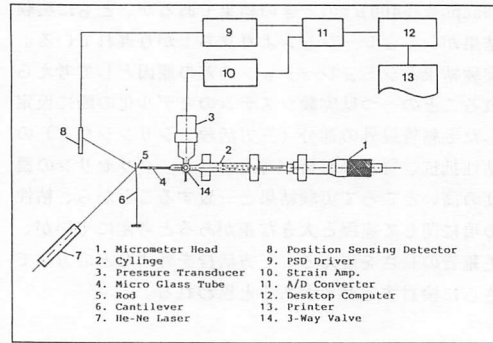


Fig. 1 Schematic Diagram of Experimental Apparatus.

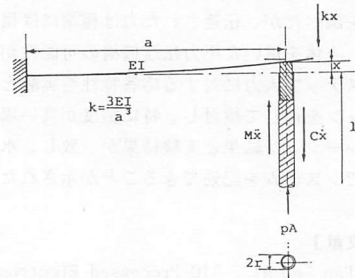


Fig. 2 Equivalent Force Diagram of Experimental System.

$$M \cdot \frac{dx^2}{dt} - C \cdot \frac{dx}{dt} - kx + A \cdot P = 0 \quad [1]$$

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{V_p}{a} - \frac{a}{2} \cdot \frac{d}{dx} (p + \gamma h) \quad [2]$$

3. 実験結果および考察

Fig. 3は毛細管の直径が200 μm 、ロッドの直径が150 μm で粘度が1011cpsの場合に伝達された力を測定した結果を示す。最高圧力474mmHgの時0.146gfの力が伝達された。その時の毛細管とロッドの断面積を用いて換

算した力は各々0.20gfと0.11gfで測定値の72%、132%であった。伝達された力は、ロッド面積での換算値を大きく上回っており、力の極端な損失はないと評価できる。

Fig. 4~Fig. 7にシリンダーにステップ状の圧力を加えたときの過渡応答特性の実験結果とシミュレーション結果を示す。Fig. 4は粘度512cps管径400 μ mの場合の結果でFig. 5は粘度1011cps管径400 μ mの場合の結果であるが実験結果とシミュレーションはほぼ一致している。Fig. 6は粘度79cps管径400 μ mの結果でFig. 7は粘度235cps管径400 μ mのときの結果であるが、ともに実験結果がシミュレーションより立ち上がり遅れている。実験結果とシミュレーションの差の原因として考えられることの一つは実験システムのモデル化の際に仮定した毛細管以外の部分(三方活栓、シリンジなど)の粘性抵抗、質量の影響が考えられる。グリセリンの濃度の高いところで実験結果と一致することから、粘性の項に関して実際と大きな差があると考えにくい、毛細管の長さを変える、三方活栓を外すなどの方法でさらに検討する必要があると思われる。

4. まとめ

毛細管とロットで構成したシリンダを用いて圧力伝達特性を調べたが、伝達された力は極端には損失しておらず、流体を用いた圧力伝達機構の可能性が示唆された。ステップ入力に対する応答特性を実験とシミュレーションを通して検討し、特に粘度が高い場合はシミュレーション結果と実験結果が一致し、水力学の方程式でシステムを記述できることが示された。

【参考文献】

- 1) L. S. Fan, et al., "IC-Processed Electrostatic Micromotors", Sensors & Actuators, Vol. 20, pp. 41~48(1989)
- 2) 孫 炳鎮、流体力学, pp. 394~398、韓国塔出版社

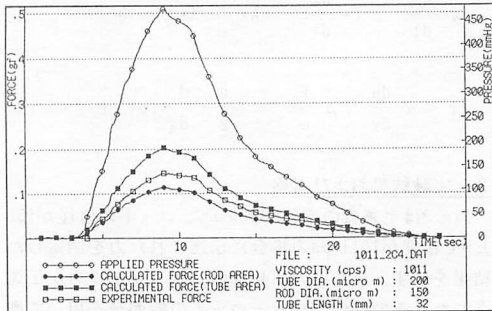


Fig. 3 Transmission of Force by Microcylinder.

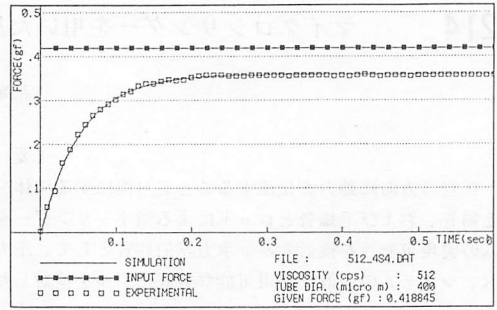


Fig. 4 Comparison of Simulated Step Response with Experimental Data. (400 μ m, 512cps)

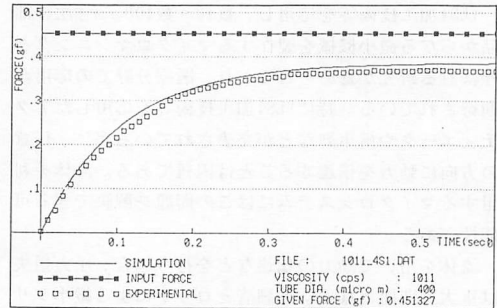


Fig. 5 Comparison of Simulated Step Response with Experimental Data. (400 μ m, 1011cps)

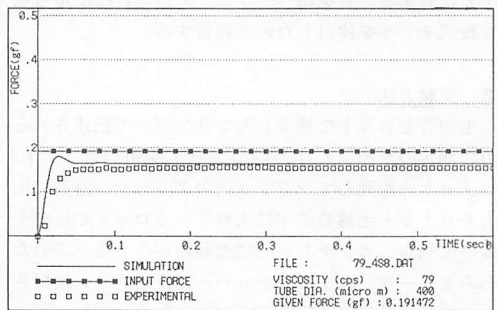


Fig. 6 Comparison of Simulated Step Response with Experimental Data. (400 μ m, 79cps)

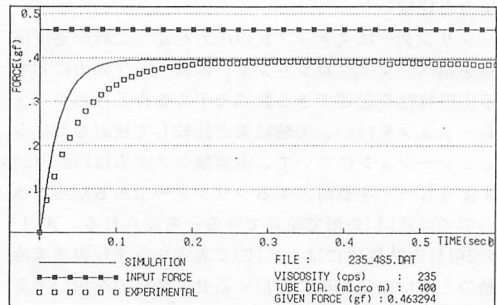


Fig. 7 Comparison of Simulated Step Response with Experimental Data. (400 μ m, 235cps)