The Japan Society of Mechanical Engineers

320

気液相変化マイクロアクチュエータを駆動源に用いた鋏による生体の切断特性

Cutting Characteristics of Living Body by Scissors and Gas-liquid Phase-change Microactuator

○学　泉　俊之（日本工大院）　　枝　　誠（日本工大）
正　大野　学（都立高専）　　正　加藤　重雄（日本工大）

Toshiyuki IZUMI, Nippon Institute of Technology, Miyashiro, Saitama, 345-8501, Japan
Makoto EDA, Nippon Institute of Technology
Manabu ONO, Tokyo Metropolitan College of Technology, Shinagawa, Tokyo 140-0011, Japan
Shigeo KATO, Nippon Institute of Technology

Key words: Microactuator, Gas-liquid, Phase-Change, Cutting, Characteristics

1. 緒　言

これまで著者等が提案している気液相変化アクチュエータ[(1)(2)]はベローズ内に作動流体とヒータを入れた構造であり，動作原理は，作動流体が液相から気相に相変化する際に生じる体積膨張である．本アクチュエータは小型でありながら大きな力を発生することができる．今回，アクチュエータの応用として，気液相変化アクチュエータを小型の鋏の駆動源[(3)]に用い，狭い空間での駆動を想定し，変位拡大機構で，生体である豚の小腸の切断実験を行った．予備実験より求めた駆動条件は，生体である豚の小腸を切断するのに，8.0N の力が必要であることが分かった．そのときの内部ゲージ圧力は，0.52MPa である．実験の結果，23W の供給電力で，アクチュエータは動作し，その動作後，1.17s で 8.4N の力を発生し，鋏を駆動でき，豚の小腸を切断できた．切断時の測定温度から，アクチュエータの内部ゲージ圧力が 0.54MPa であることが分かった．また，力学モデルと作動流体の物性値より求めた発生する力と，実験値が一致した．よって，設計時において，アクチュエータの駆動条件は，力学モデルより検討できることが分かったので，ここに報告する．

2. アクチュエータの構成と実験装置

試作した気液相変化アクチュエータの構成と実験装置を図 1 に示す．実験装置は，直流電源，コントローラ，アクチュエータに接続するジョイント部，リンク棒と鋏からなる．

気液相変化アクチュエータは，ステンレス製ベローズとヒータ，作動流体より構成されている．ステンレス製ベローズは，外径 7.8mm，内径 3.0mm，長さ 29.5mm である．ベローズ内には，ヒータと作動流体が納められている．また，気液相変化アクチュエータは，シリンダガイドに納められている．

ヒータは太さ 0.23mm のコンスタンタン線より製作し，電気抵抗は 3 Ω である．作動流体は，塩素の含まないフッ化炭素 $C_5F_{11}NO$ を用いた．これは，蒸発温度が大気圧のもとで 50 ℃であり，潜熱が 104.56kJ/kg と小さいためである．この値は水の 1/22 である．この結果，作動流体の蒸発に要するエネルギーは極めて小さい．

3. アクチュエータの力学モデル

アクチュエータの力学モデルを図 2 に示す．(a)はベローズが自然状態を示し，(b)はベローズの伸張状態を示している．伸張時の変位を X とする．大気圧を P_a とし，ベローズの内部圧力 P(絶対圧)と大気圧との差によって生じる力を F_p とする．また，ベローズの弾性によって生じる力を F_b とする．ベローズの内部圧力と大気圧との差によって生じる力は，

$$F_p=A_b(P-P_a) \quad (1)$$

である．ここで，A_b はベローズの有効断面積で 22.7 × 10^{-6}m^2 である．一方，ベローズの弾性によって生じる力 F_b は，

$$F_b=kX \quad (2)$$

となる．ベローズのバネ定数 k は，2.16N/mm である．従って，変位が X のとき，アクチュエータの軸方向に発生する力 F は，

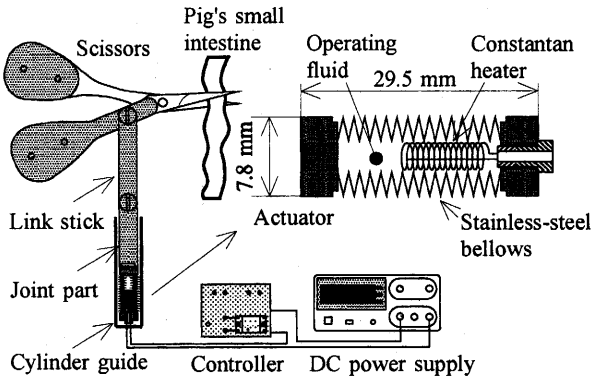

Fig. 1 Fabricated experimental system and microactuator

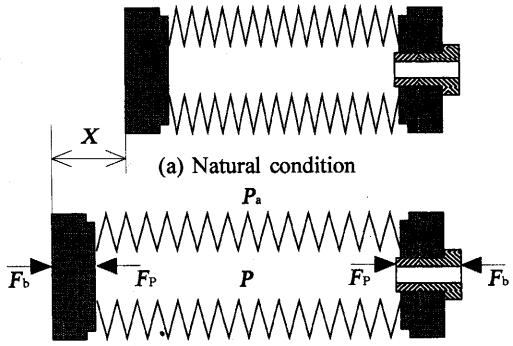

Fig. 2 A static model of the microactuator

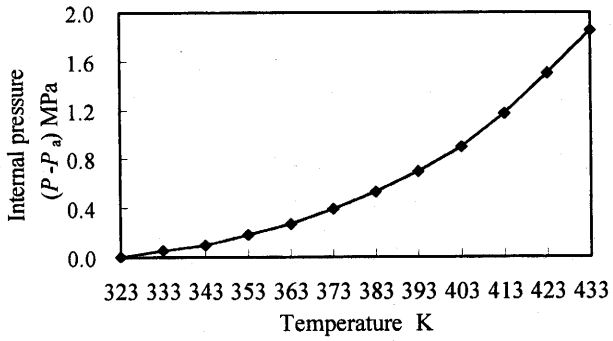

Fig. 3 Relationship between temperature and pressure of operating fluid

$$F=F_p-F_b \quad (3)$$

となる．なお，ベローズの内部ゲージ圧力 $(P-P_a)$ は，図 2 に示す作動流体の沸点と圧力の関係の物性値を用いることにより，気体の温度から求めることができる．

NII-Electronic Library Service

The Japan Society of Mechanical Engineers

4. 切断条件の選定と駆動原理

図 4 に切断条件と駆動原理を示す．生体切断条件は，アクチュエータの発生する力が，測定により 8.0N 必要であることが分かり，アクチュエータの変位は 1.8mm 必要である．よって，式(2)より，F_b は 3.89N となり，式(3)より，ベローズの内部圧力と大気圧との差によって生じる力 F_p は 11.89N となり，式(1)より，ベローズの内部ゲージ圧力 P-P_a は 0.52MPa となる．したがって，アクチュエータ内の気体の温度は，図 3 を用いて 109 ℃となる．なお，鋏を閉じるには，アクチュエータの変位は 3.5mm 必要である．

ステップ 0 を初期状態とする．鋏の刃は片側が固定され，もう一方を可動側とする．リンク棒と鋏は鋏の支点の位置から 20mm の場所で固定している．鋏の支点から先端までは，40mm である．そのとき鋏の先端が 7mm 開いた状態である．ステップ 1 では，アクチュエータ内のヒータに電力を加えることにより，アクチュエータ内の作動流体が気化し，シリンダガイドに納められたアクチュエータが 3.5mm 伸張する．そして，ジョイント部を押し上げ，上下の動きを，リンク棒によって，鋏が閉じるのに必要な円弧の動きに変換し，鋏の先端の変位 7mm を閉じることができる．また，電力供給を遮断することにより，アクチュエータが空冷され，ステップ 0 に戻る．

5. 生体切断実験

医療の応用を見据え，アクチュエータを小型の鋏の駆動源に用い，生体である豚の小腸の切断実験を行った．ヒータに 23W の電力を連続して与え，豚の小腸を切断するまでのアクチュエータの変位と温度を測定した．このときのアクチュエータ周辺温度は 25 ℃(297K)である．図 5 にアクチュエータの変位を示す．初期状態のアクチュエータの変位を 0mm とする．8.0N の豚の小腸切断時では，1.17s で切断でき，1.23s で鋏を閉じることができた．豚の小腸切断時の温度を図 6 に示す．切断時の気体温度は 110 ℃，表面温度は 32.7 ℃であった．このときの気体温度より，図 3 を用いて内部ゲージ圧力を求められる．これを図 7 に示す．切断時は 0.54MPa であったことが分かる．測定した気体温度より求めた圧力から力学モデルを用いて求めたアクチュエータの発生した力を図 8 に示す．切断時のアクチュエータの力は 8.4N であった．駆動条件である 8.0N の力が得られており，力学モデルと作動流体の物性値より求めた発生する力と，実験値が一致した．よって，設計時において，アクチュエータの駆動条件は，力学モデルより検討できることが分かった．また，これらの知見は今後の気液相変化アクチュエータの駆動設計に寄与でき，アクチュエータとしての利用に大きな可能性が得られた．

6. 結　言

(1) 気液相変化アクチュエータを小型の鋏の駆動源に用い，変位拡大機構をもつ実験装置を試作した．

(2) 鋏に物体を与え，切断するのに必要なアクチュエータの駆動条件は，変位 X=3.5mm，力 F=8.0N，内部ゲージ圧力 P-P_a=0.52MPa であり，アクチュエータが切断条件を満たせることを，力学モデルより検討できることが分かった．

(3) 生体切断において，23W の供給電力で，アクチュエータは動作し，その動作後，1.17s で 8.4N の力を発生し，鋏を駆動でき，豚の小腸を切断できた．これらの知見は今後の気液相変化アクチュエータの駆動設計に寄与でき，アクチュエータとしての利用に大きな可能性が得られた．

参考文献

[1]M. ONO, T. IZUMI and S. KATO, Fabrication of a Miniature and Powerful Microactuator Driven by Gas-liquid Phase-change, Proc. of ICPT, pp. 367-372

[2]M. ONO, S. MATSUDA, T. IZUMI and S. KATO, A Small and Powerful Microactuator Driven by Gas-liquid Phase-change, Proc. of ISMME2003, pp. 89-93

[3]泉，濵野，大野，加藤，気液相変化アクチュエータ駆動による生体高速切断，日本機械学会九州講演会論文集 pp. 201-202

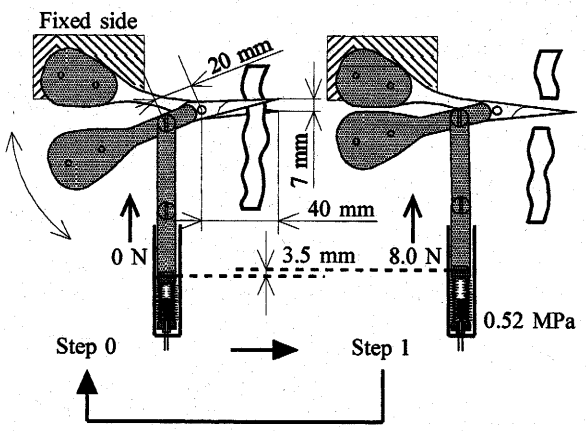

Fig. 4 Driving principle of experimental system

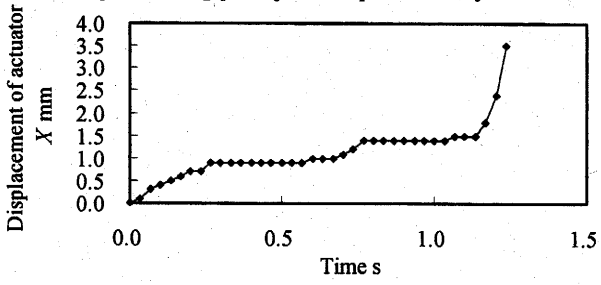

Fig. 5 Relationship between displacement and time

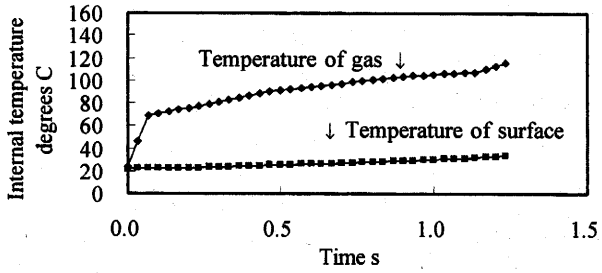

Fig. 6 Temperature of actuator

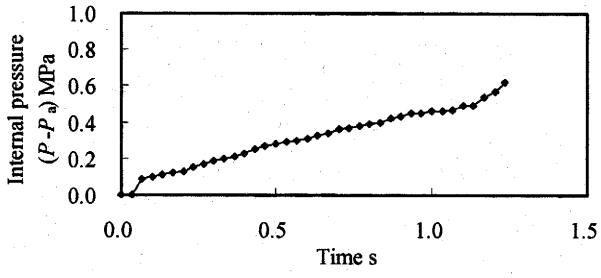

Fig. 7 Internal pressure of actuator

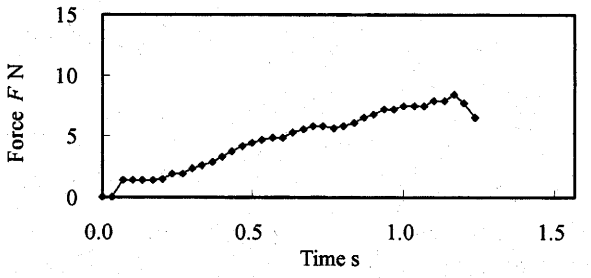

Fig. 8 Generated force by actuator

NII-Electronic Library Service