

研究種目：基盤研究（A）  
研究期間：2007～2010  
課題番号：19206027  
研究課題名（和文）フレキシブルマイクロメカニズムの基盤技術の確立と応用展開  
研究課題名（英文）Establishment of Base Technology on Flexible Micro Mechanisms and their Applications  
研究代表者 鈴森 康一（SUZUMORI KOICHI）  
岡山大学・大学院自然科学研究科・教授  
研究者番号：00333451

研究代表者の専門分野：メカトロニクス  
科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム  
キーワード：ソフトメカニクス、マイクロマシン

### 1. 研究計画の概要

医療等において、生体と直接接する機器では、ソフトマイクロメカニズムの重要性が高い。1mm～1cm 程度の大きさのゴム製の微細構造体を作ることにより、従来の機械とは大きく異なった性質や機能を持つフレキシブルマイクロメカニズムが実現できる。本研究は、(1)その基盤技術を確立するとともに、(2)数種類のフレキシブルマイクロメカニズムを設計試作し、その可能性を具体的に実証することを目指して進めた。

具体的には、(1)に関しては、①ゴムの慣性および粘弾性特性を考慮した有限要素解析に基づいたフレキシブルマイクロメカニズムの設計手法の確立、②数 $\mu\text{m}$  レベルの精度を持った安定したモールドゴム成形プロセスの実現、③エキシマ光源を用いたオゾン処理によるゴムの接合技術の確立、および、④数 $10\mu\text{m}$  レベルの精度を持ったマイクロ押し出し成形プロセスの確立、⑤ゴム表面の変形動作の3次元計測技術の確立、の5点を実現することを目指した。

(2)に関しては、マイクロバルブ、大腸内移動マイクロメカニズム、マイクロ受動歩行メカニズムの3つを具体的なターゲットとして設計、試作、評価した。

### 2. 研究の進捗状況

当初計画よりも半年～1年程度前倒しで研究を進め、当初の研究目的を実現することができた。

(1)①に関しては、大変形に伴う幾何学的非線形性、ムーニーリブリンモデルに基づくエラストマ材料の非線形材料特性等の非線形を考慮したFEMを活用した解析/設計手法を確立した。以下の(2)で述べるマイクロメカニズムの設計は全てこの手法に基づいて設計した。

(1)②については、1mm～1cm 程度の大きさの型加工(NC 切削,  $20\mu\text{m}$  ワイヤ放電加工, 光造形法)と同ゴム転写技術を確立した。NC加工, ワイヤ放電加工により、下記のマイクロバルブ、およびマイクロフィンガの成形が可能となった。また、光造形法により、マイクロ受動歩行メカニズムのように3次元の入り組んだ形状の成形が可能となった。

(1)③に関しては、エキシマ光源を用いた接合と、当初計画にはなかったがプラズマ処理による接合プロセスを実現した。これにより母材とはほぼ同等の接合強度が実現できるようになった。この技術は、マイクロフィンガの政策に不可欠なものである。

(1)④に関しては、数 $100\mu\text{m}$  レベルの精度を持ったマイクロ押し出し成形プロセスを実現した。ゴム押し出しのダイスの調整が難しく、精度自体は目標の数値に及ばなかった。しかしながら本手法で成形した大腸内移動マイクロメカニズムは、問題なく動作することが確認できた。

(2)に関しては、当初計画したマイクロ受動歩行メカニズム、大腸内移動マイクロメカニズム、マイクロバルブの3つのメカニズムを実現し、良好に動作することを確認した。また、これらに加えて外径 $2\text{mm}$  のマイクロフィンガを製作した。魚卵等通常のロボットハンドでは扱えない柔軟、不定形な対象物を安定してハンドリングできることを実験で示した。

これらはいずれも(1)の基盤技術の確立により実現できたもので、1mm～1cm レベルでのソフトマイクロマシンの可能性を実証したものである。

### 3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。  
(理由)

上述のように当初計画よりも半年～1年程度前倒しで研究を進め、当初の研究目的を実現することができた。

これに加えて、本研究の推進を通じて新たな研究の芽が生まれた。

一つは、研究成果を数 $\mu\text{m}$ レベルのマイクロソフトメカニズムへ応用展開できる見込みを得たことである。上記の研究は、1mm～1cm程度の大きさのソフトマイクロマシンを狙ったものであるが、そこで要求される加工精度はさらに1/100～1/1000程度となっていた。そこで、どこまで精密で複雑な形状のゴム成型が可能かを併せて実験的に検討した結果、型の精密加工に関しては、精密NC加工ならびに $\mu$ 光造形の学外の特許専門メーカーの協力を得ることにより、ミクロンレベルの型加工ができる見込みを得、またゴムの精密転写に関しても、ミクロンレベルでアスペクト比3程度の転写が可能であることを実験で確認した。

もう一点は、本研究成果を展開することで、ゴム表面の形状に起因する様々な表面現象を制御できる可能性に気づいたことである。研究を遂行する過程において、数 $\mu\text{m}$ ～数10 $\mu\text{m}$ レベルの構造をゴム表面に作りこむことにより、撥親水性、光回折現象といった表面の形状に起因する現象に数多く接し、これを用いることにより、超低摩擦ゴム、超小型圧力センサ、表面張力制御等、様々な分野にこれまでの研究成果を展開できる可能性に気づいた。

#### 4. 今後の研究の推進方策

マイクロフィンガ、大腸内移動マイクロメカニズムの研究に関しては、研究成果が評価され、所属機関の特別経費(プロジェクト分)を受け、医学系研究者と連携し、実用化に向けた研究を進める。

一方、上記の2つの新たな研究の芽に関しては、研究の成果をさらに微細領域に適用し、ソフトマイクロメカニズムの機能的な表面修飾に展開するために、修了前年度応募を行い、採択された。今後は、新しい科研費を活用して、ソフトマイクロメカニズムの機能的な表面修飾に研究を展開する。

#### 5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

① Koichi Suzumori and Fumitaka Saito, Micro Rubber Structures for Passive Walking, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 22, No. 2, pp.167-172, Apr.2010.

② Yuki UOHASHI, Koichi SUZUMORI and Hironari TANIGUCHI, Fabrication and

evaluation of various types of micro one-way valves through micro rubber molding process, Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 24, No. 1, pp. 219-222, Jan.2010.

③ Kenji Kure, Takefumi Kanda, Koichi Suzumori, Shuichi Wakimoto, Flexible displacement sensor using injected conductive paste, Sensors and Actuators A, Vol. 143, pp.272-278, May 2008.

[学会発表](計23件)

① Shuichi Wakimoto, and Koichi Suzumori, Fabrication and Basic Experiments of Pneumatic Multi-chamber Rubber Tube Actuator for Assisting Colonoscope Insertion, 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3260-3265, May 2010.

② Fumitaka SAITO, and Koichi SUZUMORI, Micro Rubber Structure Realizing Multi-Legged Passive Walking -Integration and Miniaturization by Micro Rubber Molding Process-, The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2009), pp. 3025-3030, Oct.2009.

③ Yuki UOHASHI, Hironari TANIGUCHI, Koichi SUZUMORI, Fabrication and evaluation of various types of micro one-way valves through micro rubber molding process, The 3<sup>rd</sup> International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology ICMDT 2009, pp.172, Jun.2009.

④ Shuichi Wakimoto, Keiko Ogura, Koichi Suzumori, Yasutaka Nishioka, Miniature Soft Hand with Curling Rubber Pneumatic Actuators, 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2009), pp. 556-561, May 2009.

⑤ Koichi Suzumori, and Fumitaka Saito, Micro Rubber Structure Realizing Multi-Legged Passive Walking, 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.445-450, Sep.2008.

⑥ Hisakazu Onoe, Koichi Suzumori, Takefumi Kanda, Development of Tetra Chamber Actuator, 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Oct. 2007, pp.777-782.

[図書](計1件)

① 鈴森康一 他, 最新 機械機器要素技術 (2.9.5 ラバーアクチュエータ, pp.195-198), (有)エヌジーティー, 東京, (2008-6)1. 研究計画の概要