

平成23年 5月 10日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2007～2009

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

研究成果の概要（和文）：これまでの多くの機構（メカニズム）では、硬い材料が用いられていた。本研究では柔らかいゴム材料のみで構成され、かつ機能性を有する新たなマイクロメカニズムの開発に関して基盤技術の構築と実際のメカニズムの具現化という2つの側面から実施した。基盤技術として、高精度なゴムの成型法や接着法を確立し、機能性ラバーシート、内視鏡用アクチュエータ、マイクロチェックバルブ、大湾曲アクチュエータといった新たなメカニズムを実現した。

研究成果の概要（英文）：Conventional mechanisms are configured with rigid materials, metals, hard plastics and so on. This study has been done to realize novel mechanisms consisting of only soft materials. To achieve this purpose, the study have two aspects, namely, establishments of basic technology and realizations on actual soft mechanisms. As the basic technology, molding and bonding methods of rubber materials with high accuracy have been established, and as several new soft mechanisms of frictional rubber sheets, assisting actuators for colonoscopy, and micro check valves have been developed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	8,700,000	2,610,000	11,310,000
2008年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
2009年度	13,600,000	4,080,000	17,680,000
年度			
年度			
総計	29,000,000	8,700,000	37,700,000

研究分野：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. 研究開始当初の背景

機構(=メカニズム)研究の新しい潮流を表すキーワードの代表例として、“フレキシブ

ル”と“マイクロ”が挙げられる。これらは、従来の機械工学の多くが目指してきた大出力・高速・高剛性の機械とは大きく異なった

性質を持った機械であり、その小型で柔らかい特長から人間と接するロボットやマイクロマシンなど多くの可能性を有する。

しかしながら、剛体から構成されるメカニズムを構築する多くの基盤技術が確立され、書籍等にまとめられているのに対して、フレキシブルメカニズムを開発するための基盤技術やその体系化に関するノウハウは非常に乏しい。そのため、高い可能性を有しているにも関わらず柔軟なメカニズムの開発は十分にはなされていない。

申請者は本研究を実施する以前に幾つかのフレキシブルメカニズムを開発しており、その研究過程でゴム構造体の設計や加工に関するさまざまな技術や知見を蓄積していたが、さらに多くの機能的なフレキシブルメカニズムの具現化には、それら設計、加工に関する技術をさらに発展させることが必要であり、これらを確立することで、従来にない新たなフレキシブルメカニズムの実現が行えると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、ゴム構造体の設計手法やゴムの微細加工技術をさらに展開し、これらの技術を基盤とすることで従来の機械/機構設計手法では不可能であった新しい機能を持ったフレキシブルマイクロメカニズムを実現し、その可能性を実証することを目的とした。

具体的に開発を実施したフレキシブルメカニズムの概要、目標は下記の通りである。

(1)機能性ラバーシート

ゴム表面に微細な受動脚構造を作ることにより、みかけ上、極めて摩擦係数の小さいゴムが実現できると考え、機能確認モデルの設計、試作、実現を実施した。将来的には機能性柔軟素材として皮膚や手足などロボットの表面等に使用することを目的としている。

(2)マイクロラバーチェックバルブ

マイクロリアクタと呼ばれる微量流体反応装置の実用化への期待が、化学・生物分野において高まっている。本テーマではマイクロリアクタに搭載するマイクロポンプの特性の改善を目的として、マイクロポンプの機構部品であるマイクロラバーチェックバルブの開発を実施した。

(3)内視鏡挿入支援ラバーアクチュエータ

大腸は大きな湾曲部を有しており、複雑な形状であるうえ、腹腔内に固定されていないため、内視鏡の挿入は必ずしも容易ではない。大腸内視鏡の挿入を支援することが可能なチューブ状ラバーアクチュエータの開発を行った。

(4)大湾曲ラバーアクチュエータ

脆弱な生体物質や高精度な機械機構部品などをハンドリングする際には、相手を傷つけない高い安全性が求められる。本テーマではゴム構造体であり空気圧によって駆動することで、高い柔軟性を有し、かつ指のように大きな湾曲運動が可能なアクチュエータの開発を実施した。

3. 研究の方法

ゴム構造体の設計・加工技術を基盤とすることで、先に述べた各メカニズムについて研究を行った。

(1)機能性ラバーシート

受動歩行を実現する構造を表面に有するラバーシートを製作するため光造形法、および2段階成形と呼ぶ成形プロセスを組み合わせるモールド技術を考案し、シートの製作を行った。図1は離型を行っている際のシートを示している。また、図2に試作したラバーシートを示す。シートは64の脚を有している。



図1 製作プロセス

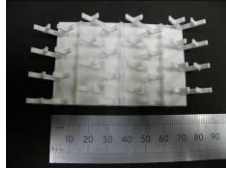


図2 受動歩行ラバーシート

シートの受動歩行性能確認のための実験の様子を図3に示す。実験では、斜面上における本シートの各脚の動きをモーションキャプチャにより解析した。解析の結果、各脚は遊脚と支脚を周期的に繰り返すという歩行と同様の動作を実現していることが明らかになった。

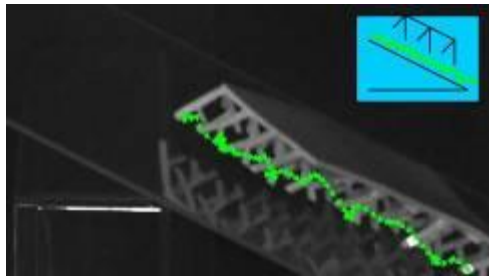


図3 受動歩行実験

(2) マイクロラバーチェックバルブ

超精密加工による金型加工と高精度なラバーモルディングプロセスによって、直径2mmの一方向弁の開発

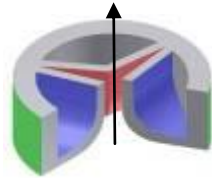


図4 バルブ構造の例

を実施した。開発にあたり構造の異なる複数のラバーバルブの特性を非線形有限要素法解析によって導出した。図4は、Aortic type と呼ぶ構造であり、導出したバルブ構造の一例である。矢印に示した方向に対して流体は容易に流れ、逆方向に対しては弁体が閉じる構造となっている。図5に解析の結果を示す。図5の左は順方向に、右は逆方向に圧力が加わった際の弁の状態を示しており、開閉が行われていることが分かる。図6に開発した幾つかの一方向弁を示す。全てのタイプに関して非線形有限要素法による解析によって1方向弁と

しての機能が確認されている。大きさは直径2mmであり、様々な構造がゴムによって実現できていることが分かる。

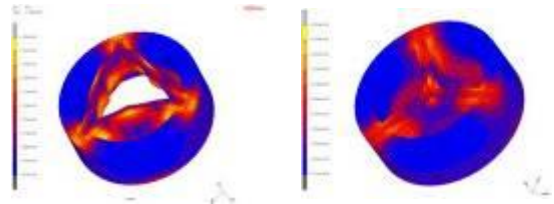
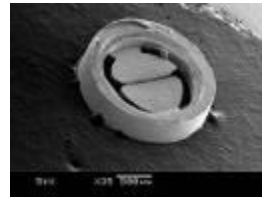


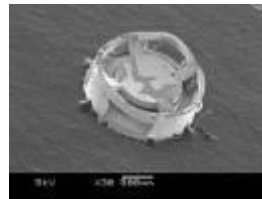
図5 非線形有限要素法解析



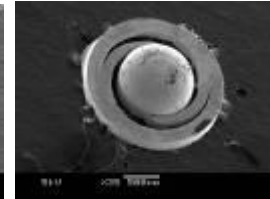
Double gate type



Aortic type



Spring type



Diaphragm type

図6 製作したマイクロラバーチェックバルブ

これらの各バルブに対して正圧（順方向へ印加）と負圧（逆方向へ印加）の流体圧力を印加し、その際の流量を測定することでバルブとしての機能を確認した。流量特性を図7に示す。

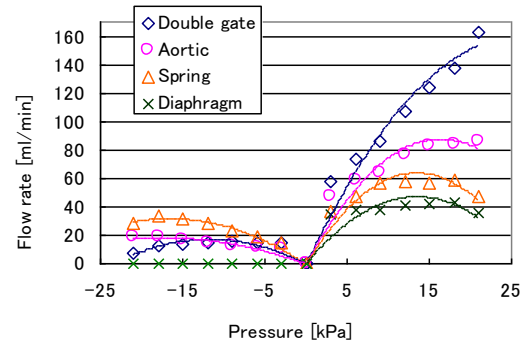


図7 マイクロラバーチェックバルブの流量特性

(3) 内視鏡挿入支援ラバーアクチュエータ

図8にラバーアクチュエータによる内視鏡挿入支援の原理を示す。

ラバーアクチュエータはチューブ状であり内視鏡に螺旋状に巻きつけることが可能である。また、1本のアクチュエータ上面では円状運動が発生するよう設計されている。このため、2本以上のアクチュエータを平行に巻きつけ位相差をつけて駆動させることで全体として進行波が生成される。これによって内視鏡は推進力を得ることとなる。高い効率で推進力を発生させることが可能なアクチュエータの断面形状を非線形有限要素法によって導出し製作を行った。図9は製作したアクチュエータとその断面を示す。複雑形状であり、また小型のチューブ状であるが、押し出し成型によるアクチュエータの製作手法の確立により、非常に安価にアクチュエータの製作を実現している。

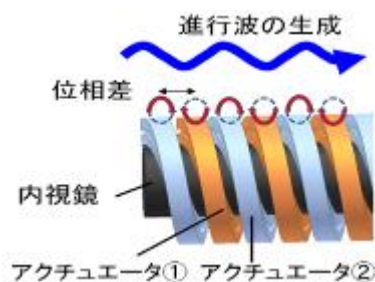


図8 挿入支援原理



図9 内視鏡挿入支援ラバーアクチュエータ

ダミー内視鏡として樹脂ロッドを用いた推進実験によって、アクチュエータによる推進性能を確認した。また、内視鏡に搭載し大腸ファントムを用いた挿入実験を実施し上行結腸までの挿入を実現した。



図10 内視鏡への搭載と大腸ファントムへの挿入実験

(4)大湾曲ラバーアクチュエータ

図11に大湾曲ラバーアクチュエータの形状を示す。アクチュエータは蛇腹形状と板形状の2つのゴム構造体から成っており、内部の空間が圧力室となる。圧力室に正圧を印加した際に、蛇腹形状側は大きく伸長するのに対して板形状側はほとんど歪みが生じないため、アクチュエータは湾曲動作を実現する。また、圧力室を負圧にした場合は蛇腹部が収縮するため、正圧時とは逆方向に湾曲をすることが可能となる。効率的に湾曲動作が実現できるよう非線形有限要素法によって蛇腹形状の最適化を行っている。蛇腹部と板部は、エキシマ光の照射による表面活性技術を用いて接着を行っている。これによって空気圧室を閉塞させることなく、また、空気漏れのない接合を実現している。

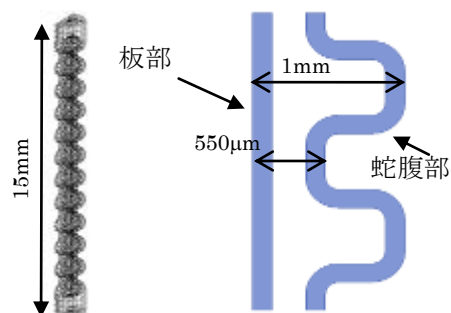


図11 大湾曲ラバーアクチュエータの形状

図12にアクチュエータの駆動実験の様子を示す。正圧、負圧の印加によって2方向に非常に大きな湾曲運動が実現できている。また、脆弱な魚卵等を特別な制御を用いることなく容易に把持することが可能であった。

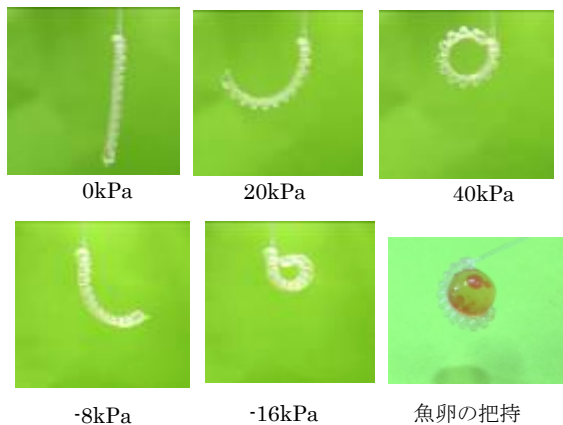


図 12 大湾曲ラバーアクチュエータの駆動実験

4. 研究成果

本研究では、フレキシブルメカニズムに関する基盤技術の構築とそれを用いた新規メカニズムの具現化が成果として得られた。

(1) 基盤技術

- ①高精度な型の製作技術 (NC切削、20 μ 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、マイクロラバーチェックバルブ、および大湾曲ラバーアクチュエータの構成要素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。
- ②高い接着強度を実現できるエキシマ光源を用いたラバー接合プロセスによって大湾曲ラバーアクチュエータの製作が可能となった。
- ③高い形状精度でのゴムの押し出し成形プロセスを実現した。数百ミクロンレベルの精度での成型が可能となったことで内視鏡挿入支援ラバーアクチュエータが製作可能となった。

(2) 新規メカニズム

①機能性ラバーシート

受動歩行が可能なラバーシートというこれまでにない非常に独創的なデバイスの開発に

成功した。これによって、極めて低摩擦なラバーデバイスの実現可能性を示すことができた。今後、さらなる小型化を行っていく。

②マイクロラバーチェックバルブ

様々な構造を有するマイクロサイズの流体用一方向弁を具現化することに成功した。開発したバルブを小型のポンプに内蔵することでポンプの効率が向上することを確かめた。

③内視鏡挿入支援ラバーアクチュエータ

チューブ状アクチュエータの最適形状の導出を行うことで効率的に内視鏡全体に分散的に推進力を与えることが可能となった。このような概念の研究は他では見られず、今後、実用化に向けた取り組みを行っていく。

④大湾曲ラバーアクチュエータ

1つの空気圧室ながら2方向に大きな湾曲動作が可能であり、これまでにないアクチュエータを実現できた。現在の5分の1のサイズのアクチュエータを実現するための取り組みを行っている。

(3) 今後の展開

(2)で述べたメカニズムに関して継続的に研究を進めていく予定である。

また、(1)、(2)で述べた研究を通じて、更に小型の柔軟な構造が構築可能であることの見通しが立った。現在、より微細な構造によってフレキシブルメカニズムの表面に機能性を修飾するための研究へ展開している。

5. 主な発表論文等

(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 5 件)

- ① Shuichi Wakimoto, Koichi Suzumori and Keiko Ogura, A Miniature Pneumatic Curling Rubber Actuator Generating Bidirectional Motion with one Air-Supply tube, Advanced Robotics, 2011, 査読有.

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

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, 2008, 査読有.

[学会発表] (計 25 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 6 2010, America.

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, pp. 3025-3030, Oct. 13 2009, America.

③ Shuichi Wakimoto, Keiko Ogura, Koichi Suzumori, Yasutaka Nishioka, Miniature Soft Hand with Curling Rubber Pneumatic Actuators , 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 556-561, May 14 2009, Japan(Kobe).

④ 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. 23 2008, France.

⑤ Hisakazu Onoe, Koichi Suzumori and Takefumi Kanda, Development of Tetra Chamber Actuator , 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Oct. 30 2007, pp. 777-782, America.

[図書] (計 1 件)

① 鈴木康一 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)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: アクチュエータ、その制御方法およびアクチュエータを備えた内視鏡

発明者: 脇元修一、鈴木康一、尾崎健

権利者: 国立大学法人 岡山大学

種類: 特許

番号: 特願2010-155269

出願年月日: 22年7月7日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ

<http://www.act.sys.okayama-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 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

(2) 研究分担者

神田 岳文 (KANDA TAKEFUMI)
岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授
研究者番号: 30346449
脇元 修一 (WAKIMOTO SHUICHI)
岡山大学・異分野融合先端研究コア・助教
研究者番号: 40452560