

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560285

研究課題名(和文) 繊毛アクチュエータによる柔軟な検査用移動ロボット

研究課題名(英文) Flexible inspection mobile robot driven by ciliary actuators

研究代表者

木村 仁 (Kimura, Hitoshi)

東京工業大学・理工学研究科・助教

研究者番号：60376944

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：ウレタンゴムシートを超音波溶着して製作した袋状構造を利用して、生体の動作に学んだ繊毛部分自体が柔軟な新しいアクチュエータの開発を行った。制御弁の数を減らすために、1気室型のZ形状繊毛アクチュエータを製作し、平地において1本あたり150g以上の荷重を搬送可能であることを確認した。また、カムを利用したピンチ式弁を採用し、一つの管路のセットを層状の構造にして積層することで、一つのモータで多数の管路を同時に制御可能な小型で大流量を供給できる機械式弁も新たに開発した。以上の機構を利用して、アクリル板の両面にZ形状アクチュエータを貼り付けたロボットが幅22mmの向かい合った垂直な壁を登攀できた。

研究成果の概要(英文)：This study uses flexible bags made of urethane rubber sheets for ciliary actuator mimicking creatures motion. For the purpose of reducing the number of valves, this study proposed a new z-shaped ciliary actuator with one fluid chamber. The actuator is capable of carrying 150 g load on a flat floor. This study also proposed a new multi-layered mechanical valve using cam mechanism. The valve can control 2 pipelines per 1 layer with only 1 actuator. Prototype valve has 2 layers and it controls 4 pipelines at the same time. Prototype ciliary robot with z-shaped actuators successfully climb a vertical 22 mm gap.

研究分野：ロボティクス・メカトロニクス

キーワード：柔軟繊毛アクチュエータ 柔軟ロボット 水力学的骨格 小型大流量弁

#### 1. 研究開始当初の背景

工業用あるいは移動ロボットの機構は、金属や樹脂などの剛体を利用したものがほとんどであるが、このような硬い構造は曲がりくねった狭い地形や、脆い地形、生体内などの探査用途に好適とは言いがたい。このような背景から、本研究では構造全体が柔軟な移動用検査ロボットの開発を試みる。

#### 2. 研究の目的

袋状構造は内圧を調整することでその剛性を変化させることができ、構造部品としてもアクチュエータとしても利用可能である。ミミズやイソギンチャクなどの生物はこの仕組みを利用している。本研究ではこのような袋状構造を利用して、繊毛のようなアクチュエータを表面に多数配置したアクティブな検査用移動ロボットを提案する。本機構は構造部分もアクチュエータも柔軟であるため、直腸検査のような生体への適用も期待できる。本申請課題では既に作成した繊毛アクチュエータの小型化、高性能化とともに、実用的な繊毛移動ロボットの実現を目的とする。

#### 3. 研究の方法

まずは袋状構造の柔軟繊毛アクチュエータを試作する。材料に 0.1~0.3mm の厚さのウレタンゴムシートを超音波溶着で加工したものを利用する。しかし、このままでは薄肉なため耐圧が低く高い入力圧力に耐えられない。そこでアクチュエータの出力を強化するために、繊維材料でアクチュエータ外部を補強する方法を計画する。本手法によってアクチュエータの高出力化を実現できれば、柔軟繊毛アクチュエータを利用したロボットの実用的な応用が可能になると考えられる。制御弁数の低減は自立移動ロボットの実現の際に重要な課題である。申請課題では多層式のピンチ式弁を、同軸のカムで制御することによって一つのモータで複数の管路を制御する機械式弁を提案する。また、自立移動ロボットについては、体節部を袋状構造で作成し、地形に適応変形が可能なものを製作する。

#### 4. 研究成果

柔軟な袋状構造による繊毛アクチュエータと移動ロボット本体の試作を行った。柔軟な繊毛アクチュエータは全く新しい1気室のZ字形のものを作成し、必要な制御弁が一つで済むものである。アクチュエータ先端の軌跡を高速度カメラで撮影した所、ロボット本体から見てヒステリシスのあるループを描いており、有効打では環境に対して駆動力を発揮し、回復打では環境に力を伝えずに元の姿勢に戻ることを確認した。現在のアクチュエータが一回のストロークで推進できる距離は、アクチュエータ全長 15mm に対し 3mm ほどである。提案アクチュエータを駆動するための複数

管路を制御可能な大流量の機械式弁は 40g の重量に対し最大流量が約 26.5l/min であり、市販品の小型電磁弁の 16g で 4.7l/min に対し、重量 1g あたり 9 倍以上の流量を実現した。

#### 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 3 件)

[1] Hitoshi Kimura, Mokutaro Kataoka, Shotaro Suzuki, Daisuke Akimoto, Norio Inou: "A Flexible Robotic Arm with Hydraulic Skeleton; Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing", Vol.6, No.7, pp.1107-1120, (2012) 査読有

[2] Hitoshi Kimura, Takuya Matsuzaki, Mokutaro Kataoka, Norio Inou: "Active Joint Mechanism Driven by Multiple Actuators Made of Flexible Bags: A Proposal of Dual Structural Actuator", The Scientific World Journal, Volume 2013, Article ID 128916, (2013) 査読有

[3] 木村仁: "柔軟袋状構造を利用した流体駆動型クローラ機構", 日本フルードパワーシステム学会誌, Vol.45, No.1, pp.24-27, (2014) 査読有

[学会発表](計 18 件)

[1] 東拓矢, 木村仁, 伊能教夫: "水力学的骨格を利用した柔軟繊毛ロボットの開発", 日本 IFToMM 会議シンポジウム前刷集(第 18 回), pp.7-10, (2012), 東京工業大学, 東京都目黒区, 日本

[2] 片岡木太郎, 木村仁, 伊能教夫: "水力学的骨格を利用した柔軟な移動機構", ロボティクス・メカトロニクス講演会'12 講演論文集, (CDROM)2A1-D03, (2012), アクソシティ浜松, 静岡県浜松市, 日本

[3] 松崎拓哉, 木村仁, 伊能教夫: "水力学的骨格を利用した複数配置型アクチュエータ", 第 30 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, (CDROM)4B1-2, (2012), 札幌コンベンションセンター, 北海道札幌市, 日本

[4] 東拓矢, 木村仁, 伊能教夫: "水力学的骨格としての袋状構造の作成方法", 第 30 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, (CDROM)4B1-5, (2012), 札幌コンベンションセンター, 北海道札幌市, 日本

[5] 片岡木太郎, 木村仁, 伊能教夫: "水力学的骨格を利用した柔軟な移動機構の開発", 第 30 回日本ロボット学会学術講演会

講演論文集, (CDROM)4B1-6, (2012), 札幌  
コンベンションセンター, 北海道札幌市, 日  
本

[6] Hitoshi Kimura, Takuya Higashi,  
Mokutaro Kataoka, Norio Inou: "Flexible  
Mobile Robot for Narrow Terrain with  
Ciliary Actuators", The Second IFToMM  
ASIAN Conference on Mechanism and Machine  
Science, PaperID 92, (2012), Tokyo  
Institute of Technology, Tokyo, Japan  
査読有

[7] 木村仁, 松崎拓哉, 片岡木太郎, 伊能  
教夫: "水力学的骨格を利用したアクチュエ  
ータ並列配置機構", 平成 24 年秋季フル  
ードパワーシステム講演会論文集, pp.85-87,  
(2012), 福岡工業大学, 福岡県福岡市, 日本

[8] 片岡木太郎, 木村仁, 伊能教夫: "水  
力学的骨格を用いた完全密閉型柔軟移動口  
ポット", ロボティクス・メカトロニクス講  
演会'13 講演論文集 (DVD 版), 1P1-F09,  
(2013), つくば国際会議場, 茨城県つくば市,  
日本

[9] 木村仁, 松崎拓哉, 片岡木太郎, 伊能  
教夫: "水力学的骨格を利用したアクチュ  
エータ並列配置型能動関節機構", ロボテ  
ィクス・メカトロニクス講演会'13 講演論  
文集 (DVD 版), 2A1-D02, (2013), つくば国際  
会議場, 茨城県つくば市, 日本

[10] 木村仁, 松崎拓哉, 片岡木太郎, 伊能  
教夫: "多層構造の柔軟袋状アクチュエータ  
による能動関節機構", 第 31 回日本ロボ  
ット学会学術講演会講演論文集 (DVD 版),  
3D2-03, (2013), 首都大学東京, 東京八王子  
市, 日本

[11] 片岡木太郎, 木村仁, 伊能教夫: "水  
力学的骨格を利用した柔軟な移動機構の開  
発", 第 31 回日本ロボット学会学術講演  
会講演論文集 (DVD 版), 3D1-04, (2013), 首都  
大学東京, 東京八王子市, 日本

[12] 東拓矢, 木村仁, 伊能教夫: "マルチ  
アクチュエータ用方向制御弁 MACS-valve  
の開発", 第 31 回日本ロボット学会学術講  
演会講演論文集 (DVD 版), 3D1-03, (2013),  
首都大学東京, 東京八王子市, 日本

[13] Hitoshi KIMURA, Takuya MATSUZAKI,  
Mokutaro KATAOKA, Norio INOU: "An Active  
Joint Driven by Multiple Actuators with  
Hydraulic Skeleton Mechanism Made of  
Flexible Bags", The 3rd IFToMM  
International Symposium on Robotics and  
Mechatronics (ISRM 2013), pp.274-283,  
(2013), Nanyang Technological University,

Singapore 査読有

[14] Mokutaro Kataoka, Hitoshi Kimura,  
Norio Inou: "Hermetically-Sealed Flexible  
Mobile Robot "MOLoop" for Narrow Terrain  
Exploration-Improvement of Flexible Bags  
with Fibrous Material-", The 39th Annual  
Conference of the IEEE Industrial  
Electronics Society (IECON 2013), (USB  
flash memory), pp.4154-4159, (2013),  
Austria Center Vienna, Austria 査読有

[15] 片岡木太郎, 木村仁, 伊能教夫: "水  
力学的骨格を利用した柔軟クローラの性能  
評価", 第 32 回日本ロボット学会学術講演  
会講演論文集 (DVD 版), 1M2-07, (2014), 九  
州産業大学, 福岡県福岡市, 日本

[16] 木村仁, 東拓矢, 片岡木太郎, 伊能教  
夫: "柔軟な繊毛アクチュエータを利用した  
狭隘地形移動ロボット", 第 32 回日本ロボ  
ット学会学術講演会講演論文集 (DVD 版),  
1M2-02, (2014), 九州産業大学, 福岡県福  
岡市, 日本

[17] Hitoshi Kimura, Mokutaro Kataoka,  
Takuya Higashi and Norio Inou:  
"Development of flexible ciliary  
actuators and their application to mobile  
robots", The Sixth International  
Symposium on Aero Aqua  
Bio-mechanisms (ISABMEC 2014), pp.192-197,  
(2014), Hawaii Tokai International  
College, Hawaii, USA 査読有

[18] 有田圭佑, 片岡木太郎, 木村仁, 伊能  
教夫: "複数管路の同時制御を行う小型大流  
量機械式弁", 第 15 回計測自動制御学会  
システムインテグレーション部門講演会  
(SI2014)講演論文集 (USB 版), 2I3-3, (2014),  
東京ビッグサイト, 東京都江東区, 日本

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:

権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://www2.mech.titech.ac.jp/~inouhp/index.html>

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者  
東京工業大学・大学院理工学研究科  
(工学系)・助教  
木村 仁  
研究者番号：60376944

(2)研究分担者  
( )

研究者番号：

(3)連携研究者  
( )

研究者番号：