

報告日 2010 年（平成 22 年） 5 月 26 日

報告者 東京工業大学 大学院機械制御システム専攻 助教
木村 仁

1. 研究概要

（和文）

（1）課題名（日本語）

油空圧を利用した水力学的骨格によるロボットアームおよびソフトグリッパの開発

（2）研究者氏名

木村 仁 東京工業大学 大学院機械制御システム専攻 助教

（3）研究概要（日本文）

本研究の目的はミミズやイソギンチャクのような生物に学んだ水力学的骨格を用いた柔軟なロボットアームを開発する事である。本システムは主に構造骨格および駆動骨格と定義した水力学的骨格系の部品で構成される。今回試作した 2 リンクアームでは、簡便な構造で±約 40°の可動範囲を持つ 2 自由度関節を実現した。さらにこのアームの全ての骨格を減圧して非常にコンパクトにした収納状態から、加圧を行うことによりアームが通常動作することを確認した。また、通常のワイヤ駆動方式の軽量アームに比べて、簡便な構造で 3 リンクアームによって S 字形状を実現できた。水力学的骨格で構成される柔軟なエンドエフェクタを試作し、これを用いた柔軟 2 リンクロボットアームは 550g の対象物を搬送可能であり、生卵のような非常に壊れ易い対象物でも簡便な制御でピックアンドブレース動作が可能であった。

（4）キーワード

水力学的骨格，ソフトメカニズム，流体駆動，ロボットアーム

（英文）

（1）Research title

Development of a robot arm and a soft gripper with hydraulic skeleton using fluid power

（2）Name of researcher with title of position

Hitoshi Kimura, Assistant Professor Tokyo Tech. Dept. of Mechanical and Control Eng.

（3）Summary

The purpose of this study is development of flexible robotic arm with hydrostatic skeleton. The proposal arm adopts fluid power system. The system consists of flexible bags named “structural bag” and “actuator bag” which are hydrostatic skeleton. 2-link prototype arm has 2DOF joint with simple structure. The joint has

40-degree movable range at each side. The arm becomes very compact when all bags are depressurized. From this compact state, normal motions are confirmed with the prototype arm. 3-link prototype arm achieved S-shape motion with simple structure. 2-link arm with box shaped end-effector can grasp 550g object. The arm achieved pick and place motion of raw egg with simple control because of its flexibility.

(4) Key Words

Hydraulic Skeleton, Soft Mechanism, Fluid Driving, Robotic Arm

2 . 本研究の意義・特色

従来の機構のほとんどは金属などの硬い素材を構造に用いており，電動モータなどで駆動されている．しかし，このような機械は衝突時などのリスクが大きい．本研究はミミズやイソギンチャクのような生物に見られる水力学的骨格に学び，に示すような周辺環境に危険の少ない全体が柔軟なロボットアームやソフトグリップを開発することを目的としている．このような機構は前例がほとんどなく，壊れやすいものを把持する用途などにも有用であることが期待される特色がある．本研究で提案するロボットアームの特徴として，モータ駆動のアームよりも比較的簡単な構造で2自由度関節が実現できること，ワイヤ駆動のアームに比べS字に曲がるような動作が実現しやすいこと，全ての流体を排出することで非常にコンパクトになること，他のソフトアクチュエータに比べ少ない駆動流体量での駆動ができることなどの可能性が考えられる．

3 . 実施した研究の具体的内容，結果（本文）

図1に水力学的骨格の概略を示す．ゴムなどで出来た袋状構造体は内圧が低い状態では柔らかく自由に変形できるが，内圧が高くなると変形した状態からある一定の形状になり，その一定形状を保とうとする．本研究では水力学的骨格として用いる袋状構造体について，使用時に一定の流体を封入して構造部品として用いるものを構造骨格，内圧を調整してアクチュエータとして用いるものを駆動骨格，両者の機能を兼用するものを兼用骨格と定義する．図2に本研究で提案するロボットアームの概念図を示す．水力学的骨格は使用流体が空気であれば全体を非常に軽量に構成できるため，通常の機構では動作が困難な多リンクのシリアルアームも比較的容易に構成可能であると考えられる．また，グリップのようなエンドエフェクタにも水力学的骨格を用いれば，卵のような壊れやすい対象物も簡便な制御で把持することが期待できる．

提案する柔軟ロボットアームの駆動原理を図3に示す．構造骨格の端部同士を糸やゴム製のベローズなどで接合し，隣り合う構造骨格にまたぐように駆動骨格を密接させるとリンクアームが構成可能である．

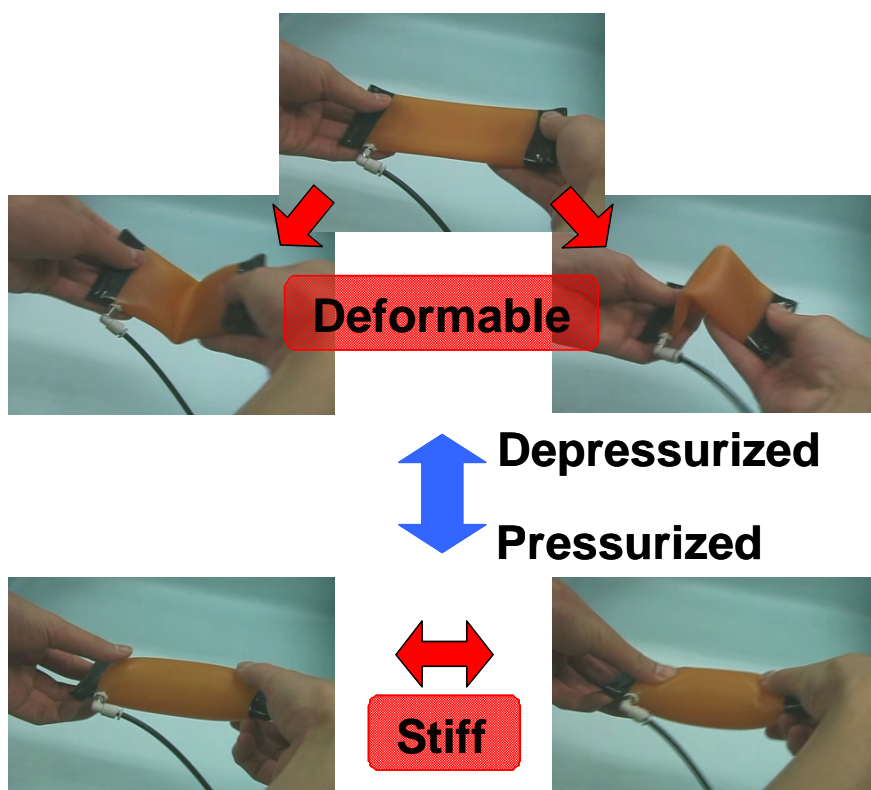


図1 水力学的骨格の特徴

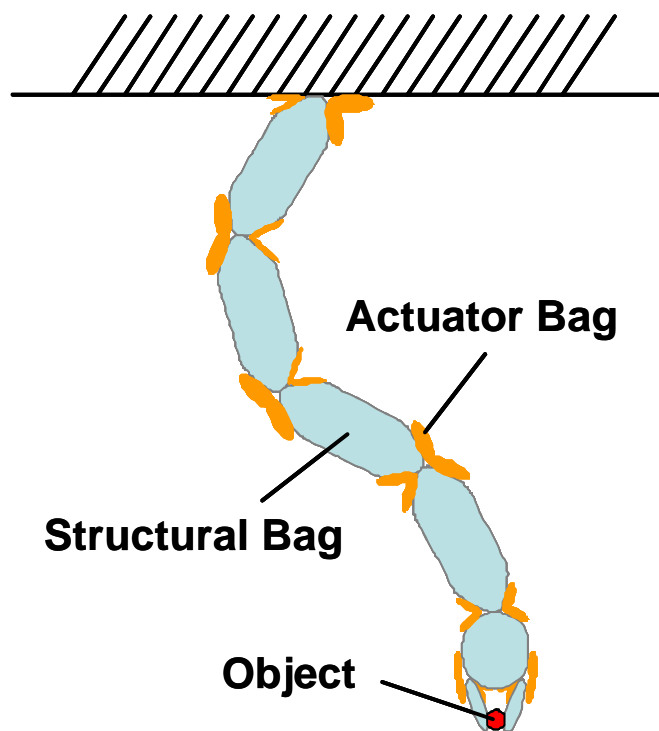


図2 提案機構の模式図

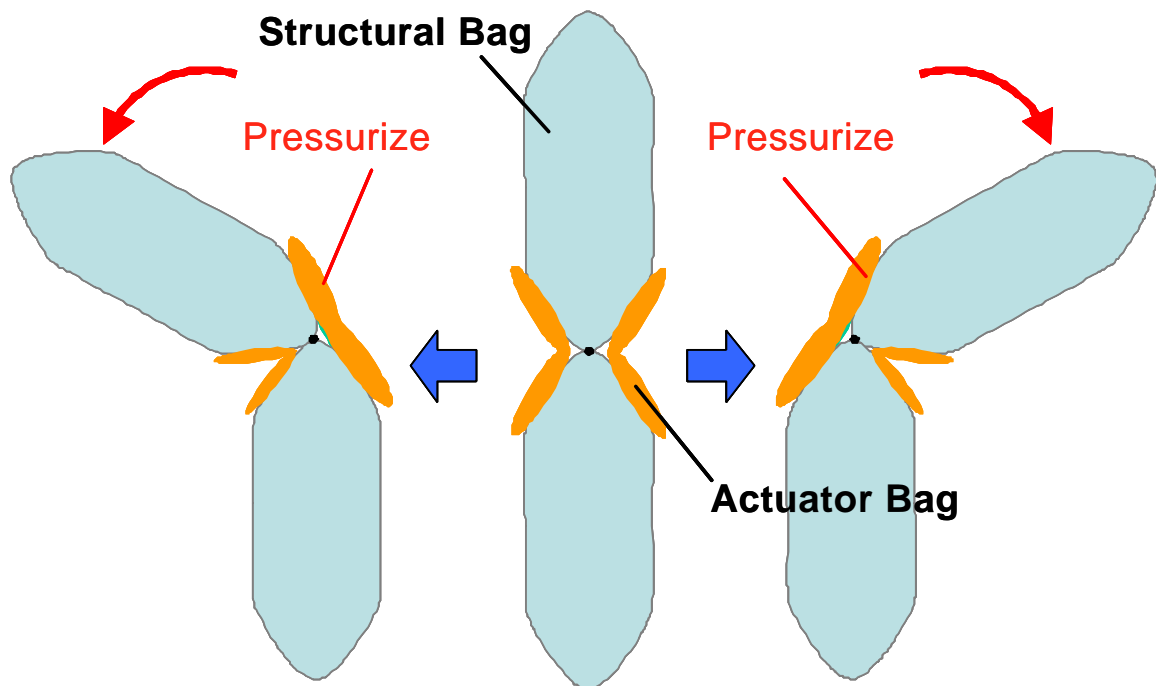


図3 提案機構の駆動原理

図4は本研究で使用している駆動骨格である．強度を得るために0.3mm厚のウレタンラバーシートを超音波溶着で加工してある．収納時に内部流体を排出するための排出口を設けてある．図5に駆動骨格を示す．図5（a）は内部の流体を全て出し入れする以外，構造としては駆動骨格と差異はない．図5（b）では両端部を形状一定なもので構成することで駆動に用いる流体の量を更に少なくしたタイプである．今回は作成上の都合で両端部に固めのスポンジを利用したが，水力学的骨格にすれば全ての部分を排気可能となる．

アームの関節について，2自由度の動作が可能な関節を実現するには，構造骨格同士の接合部，つまり関節の周りに少なくとも3個以上の駆動骨格を配置する必要がある．今回製作した2自由度関節アーム試作機は，図2のように4個の駆動骨格を関節の周りに等間隔に配置することで構成される．関節をはさんで向かいあう2個の駆動骨格により1自由度の動作が可能であり，2組用いることにより2自由度の動作が可能となる．

図6に今回製作した2自由度関節を持つ2リンクアームを示す．0.2MPaの空気圧を使用した場合，関節の駆動範囲は $\pm 40^\circ$ 程度であり，駆動スピードは真っ直ぐな状態から振り切るまで約0.5sであった．本機構では収納時を想定して全ての骨格の内圧を抜いた状態から空気を注入し動作させる実験を行った．その様子を図7に示す．

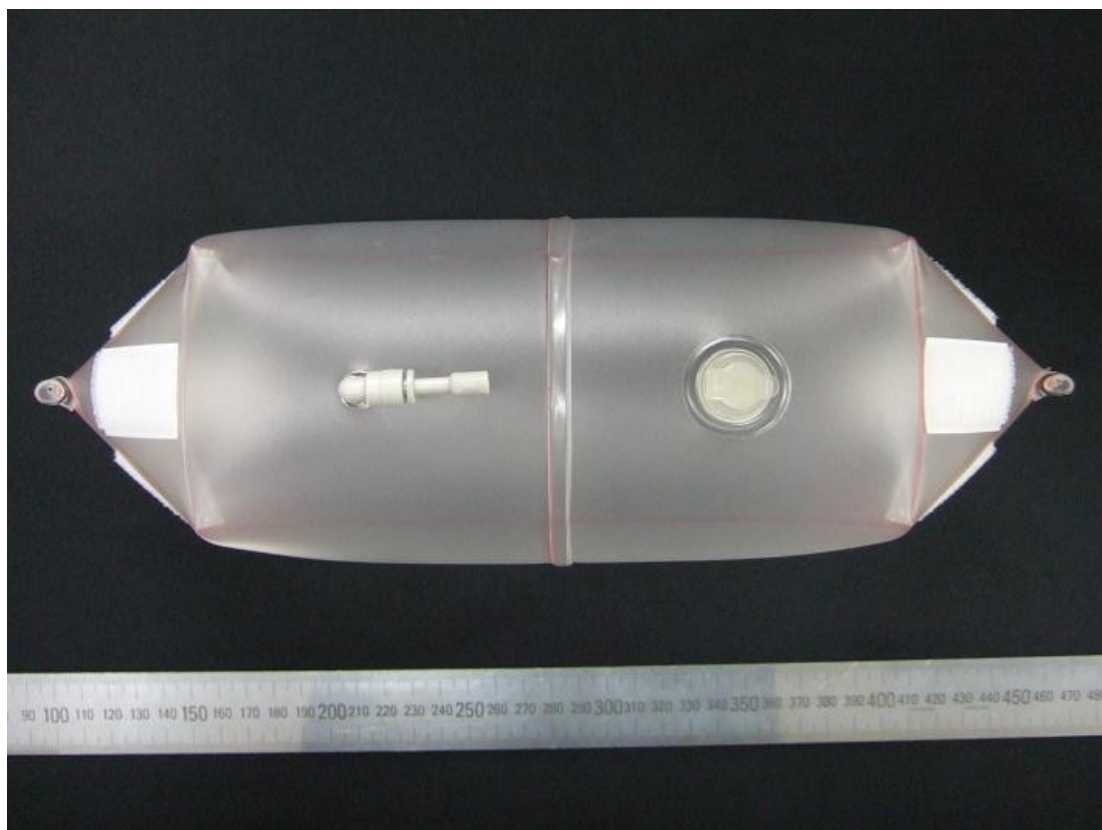


图4 構造骨格



(a) 通常円筒型



(b) 両端部固定形状型

图5 駆動骨格



図6 2自由度関節の2リンクアーム

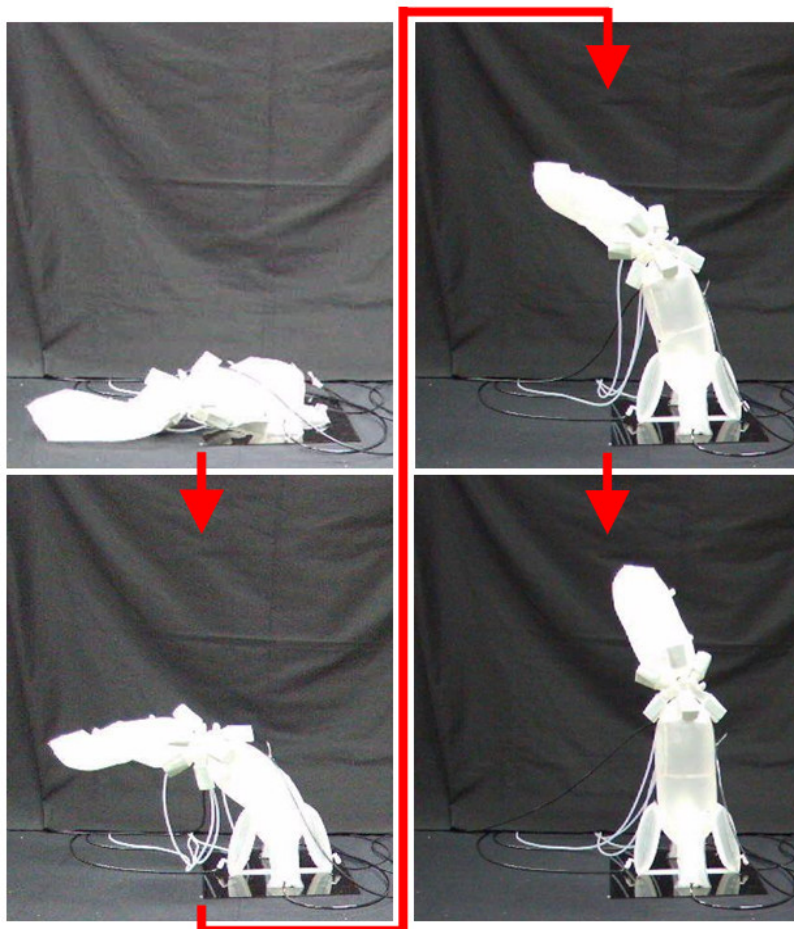


図7 収納状態からの動作実験

図8は試作した3リンクアームのS字形状の様子である．軽量アームでよく用いられるワイヤ駆動のシリアルリンクアームでは，このような形状を簡便な構造で実現する事は困難であるが，本機構では簡便な機構で容易に実現することが可能である．

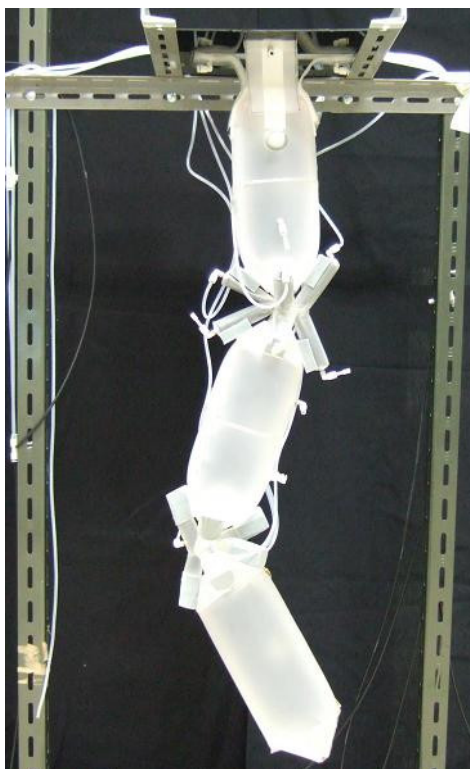
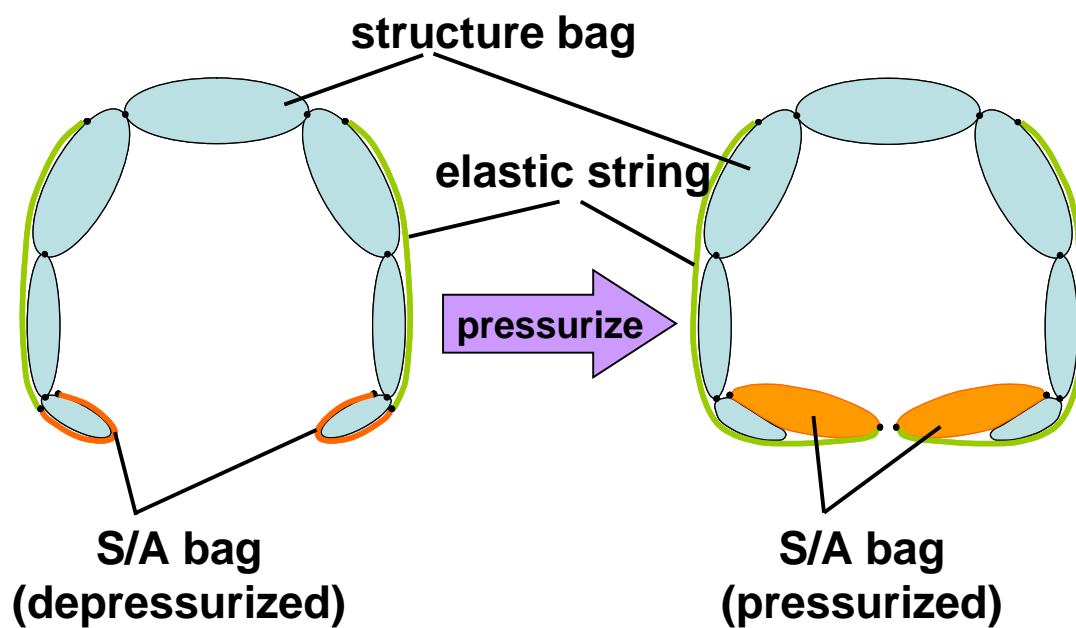
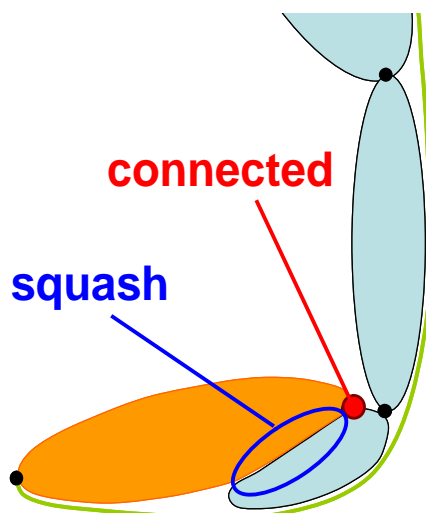


図8 3リンクアームによるS字形状動作

図9は本研究で新たに提案する水力学的骨格を利用したエンドエフェクタの動作原理を示したものである．構造骨格によって箱型の水力学的骨格を構成し，フィンガ部分は兼用骨格を箱の入り口付近に貼り付けた構造になっている．兼用骨格が加圧されないときは兼用骨格の先端がゴムで外側に引張られる構造になっており，内圧がかからない状態では箱の入り口は開いた状態になる．兼用骨格に内圧がかかると図9 (b)のように兼用骨格が口を塞ぐことになり，箱型の水力学的骨格内に入ったものが保持される．図10にエンドエフェクタ試作機の動作の様子を示す．



(a) エンドエフェクタ断面図



(b) 兼用骨格加圧時の動作の様子

図9 エンドエフェクタの動作原理

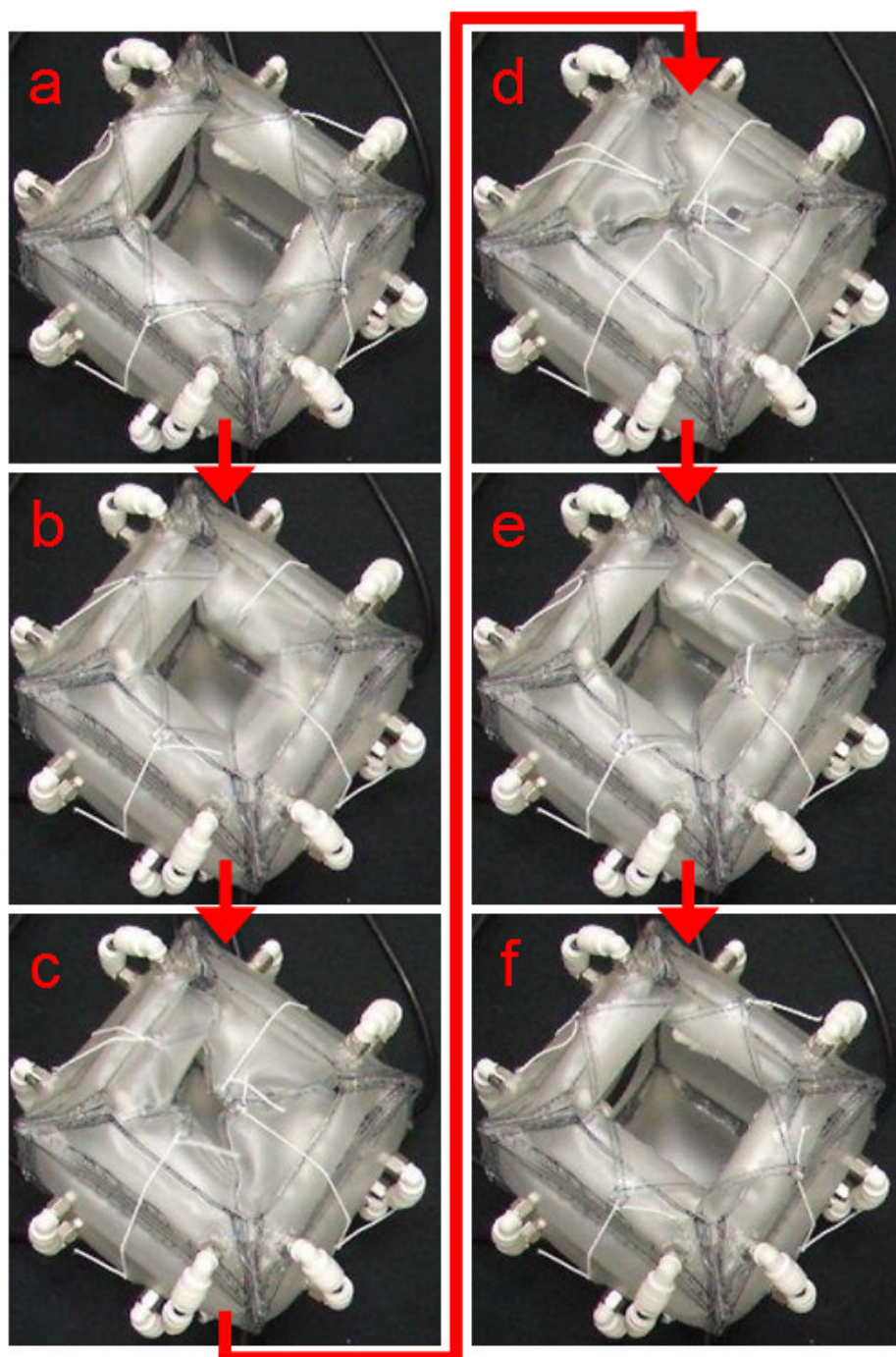
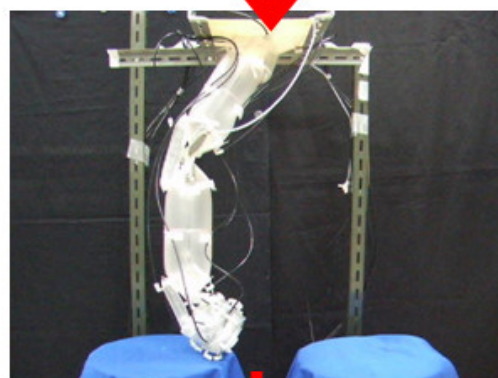
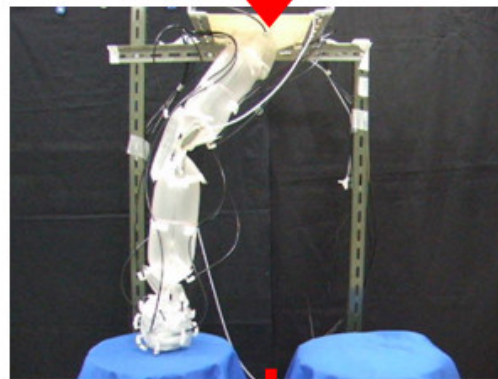
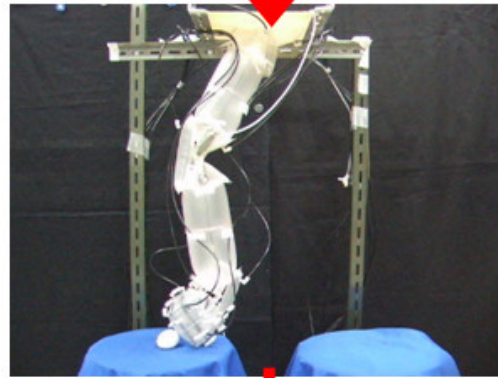
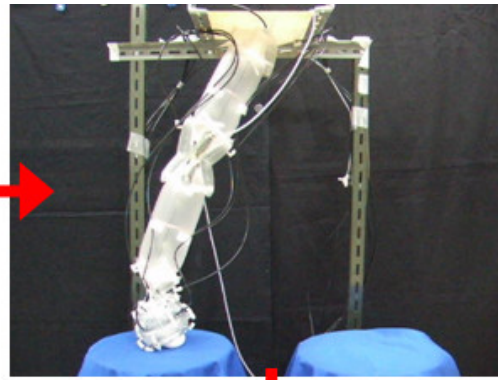
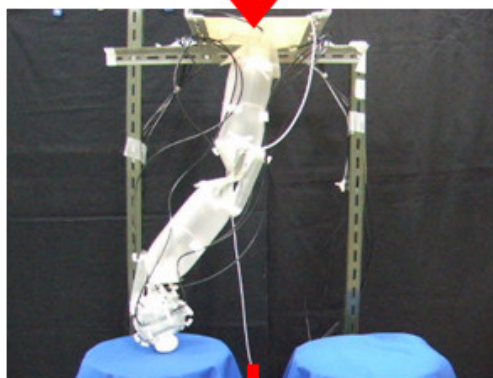
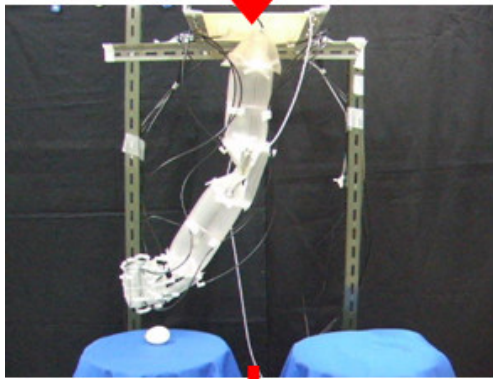
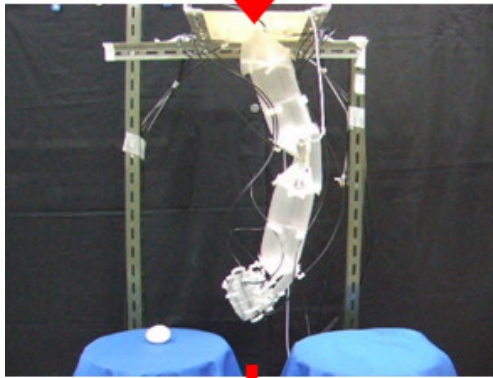
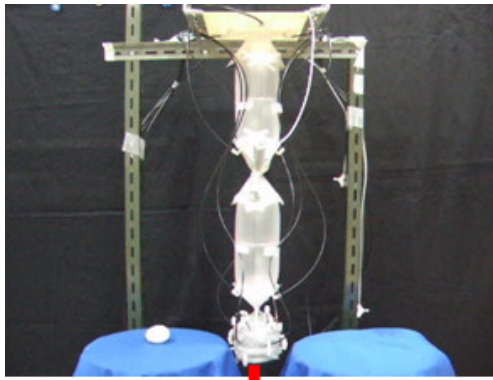


図 10 試作したエンドエフェクタの動作の様子
 (a b c d : closing motion, d e f : opening motion)



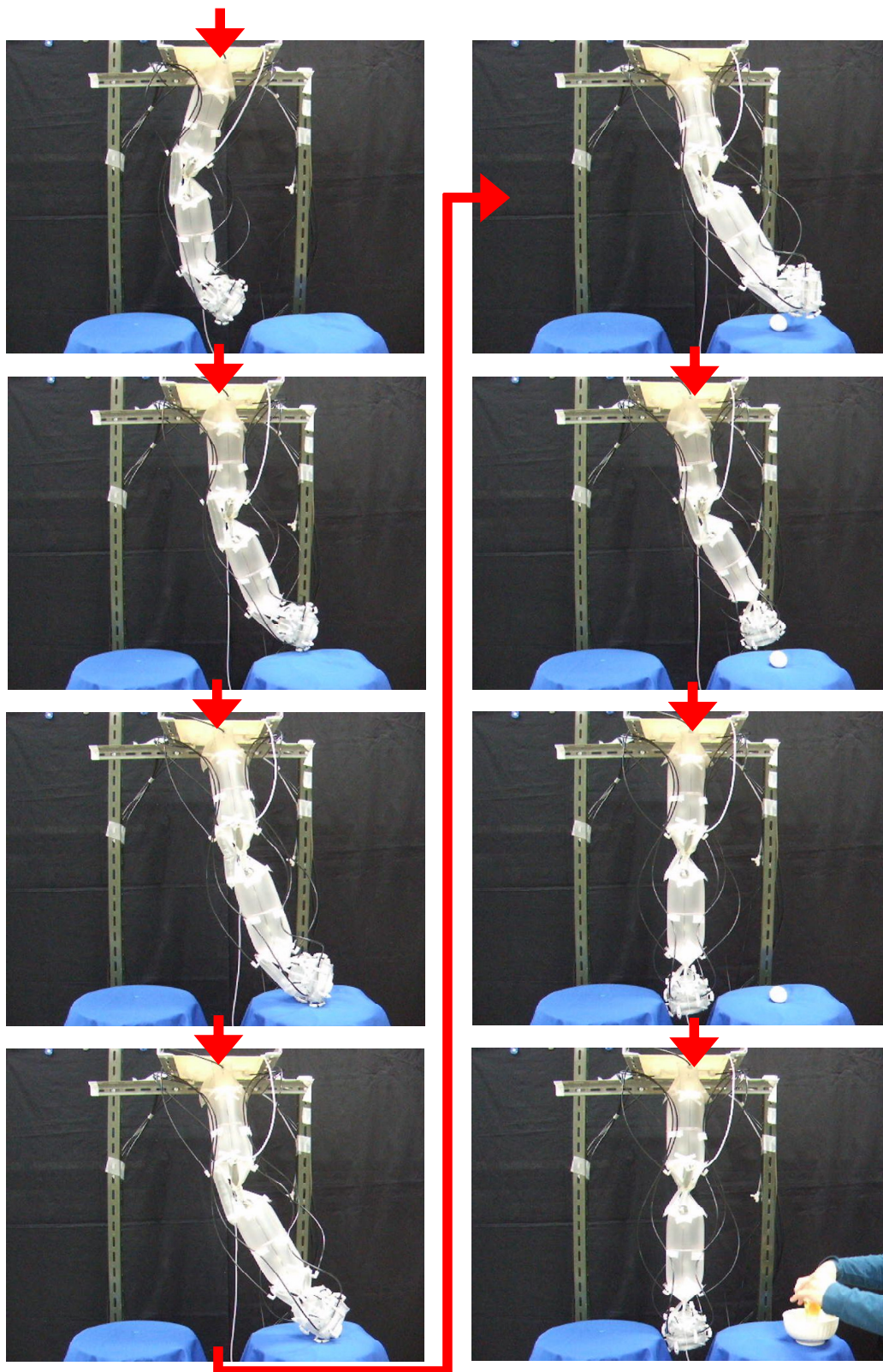


図 11 生卵のピックアンドブレース動作

図 11 (2 ページに渡る) は柔軟エンドエフェクタを装着した 2 リンクアームによる生卵のピックアップ・リリース動作の様子である。アーム全体の長さは約 790mm であり、ロボットアームは 2 自由度関節を持っている。構造骨格の内圧は 0.005 MPa である。一番上の関節には長さ 180mm、幅 60mm の駆動骨格が 4 つ配置されており、二番目の関節には長さ 180 mm、幅 50 mm の駆動骨格と長さ 160mm、直径 23mm の円柱型駆動骨格を 2 個ずつ配置する。エンドエフェクタとアームの間の関節には長さ 150mm、幅 40mm の駆動骨格を 2 個使用し、エンドエフェクタの向きを調整する 1 自由度関節を構成している。駆動骨格は全て 0.025MPa の圧力で駆動する。エンドエフェクタの構造骨格の内圧は 0.02MPa、兼用骨格の内圧は把持対象物によって変化させる。通常のロボットアームで生卵を壊さずに把持するためには非常に精密な制御が要求されるが、本機構では弁の開閉のみの非常に簡便な制御で生卵を把持、移動することが可能である。

4 . 本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

木村 仁 (東京工業大学大学院 助教)
丸山 大輔 (東京工業大学大学院 博士課程学生)
鈴木 章太郎 (東京工業大学大学院 修士課程学生)

5 . 研究実施時期

2006 年 (平成 18 年) 4 月 1 日から 2010 年 (平成 22 年) 2 月 10 日

6 . 本研究に関連して発表した主な論文等

Daisuke Maruyama, Shotaro Suzuki, Hitoshi Kimura, Norio Inou; Flexible robotic arm with hydrostatic skeleton driving mechanism, Proceedings of the IASTED/RA 2009, (2009), 664-037.

鈴木 章太郎, 丸山 大輔, 木村 仁, 伊能 教夫; 水力学的骨格を利用した柔軟なロボットアームの開発, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, 2009, 3M2-08..

鈴木章太郎, 丸山大輔, 木村仁, 小関道彦, 伊能教夫; 水力学的骨格を利用した柔軟なロボットアームの開発, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, (CD-ROM)3E2-07, 2008.

7 . 内外における関連研究の状況

当研究室内にて非線形有限要素解析を利用した水力学的骨格をアクチュエータとして利用した場合の発生トルク解析や構造部品としての強度、応力集中についての議論などを進めている。また、水力学的骨格を利用した繊毛移動ロボットの開発なども行っている。

柔軟なアクチュエータとしてはマッキベン型の人口筋肉や素材の伸びを利用したものなどがあるが、本研究で用いるような対象物が曲がった状態からの伸びを利用するような類似研究はほとんど行われていない。また、提案機構は駆動に必要な部分だけに流体を出し入

れる事により，他の柔軟アクチュエータと比較して効率的な駆動が期待できる．

8．今後の発展に対する希望

提案機構の基本動作原理はほぼ確認できたため，今後は実用に耐えるための性能改善を主に行っていきたいと考えている．また，アーム角度のセンシングや，自動制御のための課題を解決していきたい．