

報告日 2011 年（平成 23 年） 11 月 18 日

報告者 東京工業大学 大学院理工学研究科 准教授
塚越 秀行

1 . 研究概要

（和文）

(1)**課題名（日本語）** 複雑狭隘経路でも無摺動で移動できる流体駆動ホースの開発

(2)**研究者氏名** 塚越秀行

(3)**研究概要（日本文）**

本研究では、先端から外皮を繰り出ししながら推進することにより、外部環境と無摺動で移動できるアクチュエータの駆動原理を構築した。目標方向に能動的に湾曲しながら推進する機能・探査機を搬送する機能も兼備している。さらに、当該原理に基づいて試作したアクチュエータを利用して、配管の亀裂検査や災害現場の情報収集作業のための狭隘湾曲地形を移動する探査ロボットを開発し、提案手法の有用性と発展性を示すことができた。

(4)**キーワード** アクチュエータ、空気圧、移動探査ロボット

（英文）

(1) **Research title** Development of Fluid Powered Hose Moving Without Rubbing Even in Complex Narrow Spaces

(2) **Name of researcher with title of position**

Associate Professor, Hideyuki Tsukagoshi

(3) **Summary**

In this research, a driving principle of drawing out the outer skin from the tip was constructed, aimed to realize the mechanism which can propel without rubbing against the outer environment with steering the directions and carrying the camera and sensing devices. Furthermore, by taking advantage of the proposed principle, the inline pipe robot to search for the crack in pipes was developed, which could demonstrate the usefulness and the validity of “Plant Growing Actuator.”

(4) **Key Words** Actuator, Pneumatics, Mobile Robot for Search Operation

2 . 本研究の意義・特色

- 1) 最大の特徴は、断面の潰れた偏平チューブの折り曲げ点において、流体経路を遮断できる特徴を生かした、全く新しい流体駆動方法を用いている点にある。
- 2) そのため、折り曲げた偏平チューブ複数本を円筒形に対向させて配置し、外

周部に位置する偏平チューブ末端から空圧で加圧すると、折り曲げ点が前方に押されて、下流側チューブが手繰り出される。この動作により、外周と全く摺動せずに移動する新しい推進方式が生まれる。

- 3) 偏平チューブの内圧を調整することにより、方向操舵が容易に可能となる。
また、湾曲した形状を保持するには、偏平チューブを柔軟ボディで包んで無加圧状態では双方がスライド可能な状態にし、加圧されて偏平チューブが膨らむと柔軟ボディとグリップする構造により、実現可能となる。

3. 実施した研究の具体的内容、結果 (本文)

3.1 背景

工場内の配管検査や災害現場での人命探査・延命用水の供給 (Fig.1) など、人間の潜入しにくい狭隘複雑な経路を移動し探査・作業が行えるロボットが求められている。従来までの棒カメラやファイバースコープでは、移動経路が長くなるにつれて、凹凸瓦礫面との摺動摩擦が増加し、推進が困難な状況に陥っていた。ホース表面に進行波を送り推進する方式も提案されているが、接触する摩擦条件に大きく左右される問題を有していた。

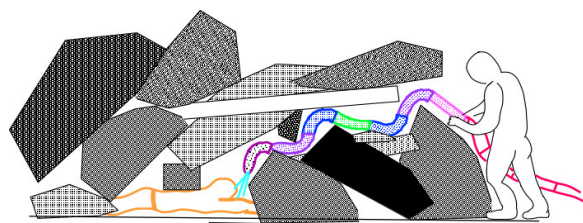


Fig.1 移動式ホースによる災害現場での延命救助

3.2 推進原理

熱処理で断面を偏平化したウレタン製チューブ(以下、偏平チューブ (Fig.2)) に着目する。この偏平チューブを折り曲げて一方より流体で加圧すると、座屈点で流路を遮断しつつ、座屈点が上流側から下流側に移動する現象がみられる (Fig.3)。

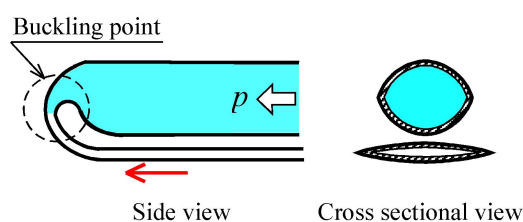


Fig.2 偏平チューブの座屈

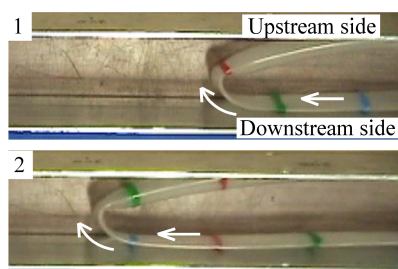


Fig.3 下流側を繰り出ししながら座屈点が推進

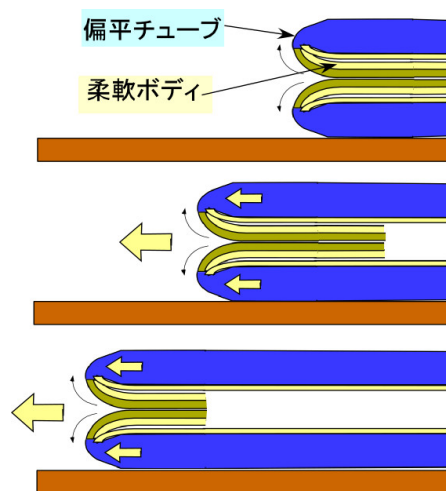


Fig.4 対向配置した偏平チューブによる繰り出し推進

次に、偏平チューブ2本を Fig.4 のように対向配置させたうえで、外側のチューブの一端から流体圧で加圧すると、内側のチューブが繰り出されながら推進することが可能となる。このように構成された流体駆動ホースは、外部環境とホースの外壁とは全く摺動しないため、複雑な瓦礫環境の中でも深淵部まで進入する可能性を有している。

3.3 方向操舵手法

偏平チューブを外皮で覆い、外皮の外側から一定間隔毎にホルダーを装備する構成を導入した。このような構成により、座屈点を境に無加圧側では偏平チューブが外皮に対して相対的に可動できる状態を保ち、加圧側ではホルダーが偏平チューブに食い込むため、偏平チューブは外皮に対して動けない状態が生成される。

上記構成において、双方のチューブの内圧を P_s に保つと直進動作が生成される。チューブ A の内圧を P_h 、チューブ B の内圧を P_l に設定すると、チューブ A が湾曲外側になるように湾曲動作が生成される。ただし、圧力の大小関係は $P_h > P_s > P_l$ とする。双方のチューブとともに、外皮に対してホルダーを介して固定されているため、ホルダーが緩む圧力 P_s 以下に達しない限り、チューブの形状は保たれる。よって、上記の湾曲動作後に、チューブ A, B の双方の内圧を P_s にすると、湾曲形状を保ちながら直進動作が生成されることが可能となる。

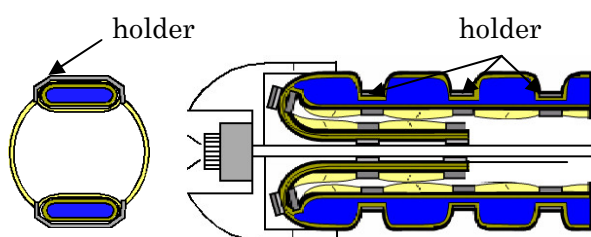


Fig.5 外皮とホルダーを導入した構成

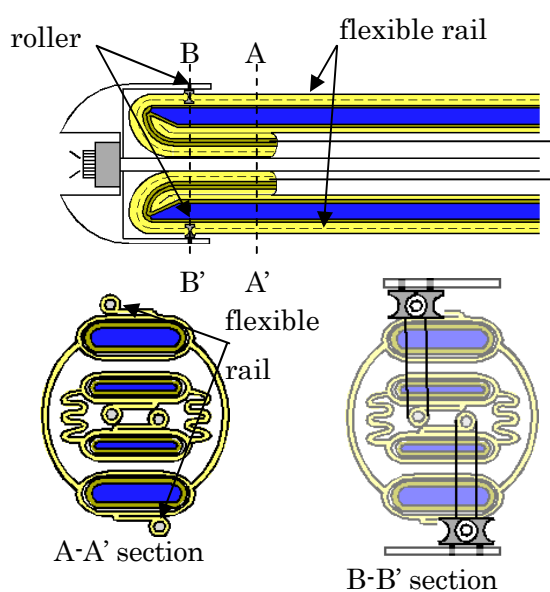


Fig.7 探査機を搬送する構造

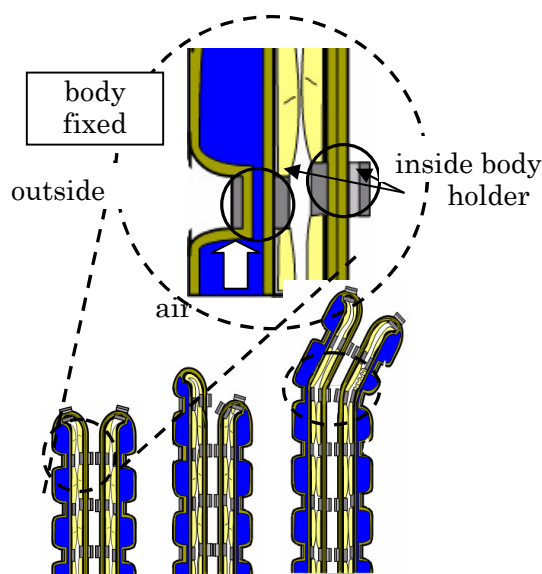


Fig.6 湾曲動作の基本原理解

3.4 探査機を搬送する構造

繰り出し駆動において、探査機を搭載したヘッドユニットの搬送方法は最も困難な課題である。本研究では、Fig.7 に示す柔軟レールを外皮の側面に配置し、ヘッドユニットに装備した受動回転する 2 つのローラーで当該レールを挟みながら推進する構造を導入した。これにより、チューブの繰り出す力を利用してヘッドユニットの搬送が可能となる。

3.5 試作した流体駆動ホースと実験

試作した流体駆動ホースは、Table1 を満たす仕様であり、Table2 に示すようにマイク付きカメラを搭載したヘッドユニットを搬送することができる。試作機は直進状態で 500mm/s、湾曲状態で 20mm/s の速度で繰り出し推進できることを確認した。Fig.8 に示す湾曲パイプ内では 50mm/s の速度で形状を保ちながら、スムーズに繰り出し推進できることを確認した。さらに、Fig.9 に示すような湾曲環境でも、形状を保持しながら推

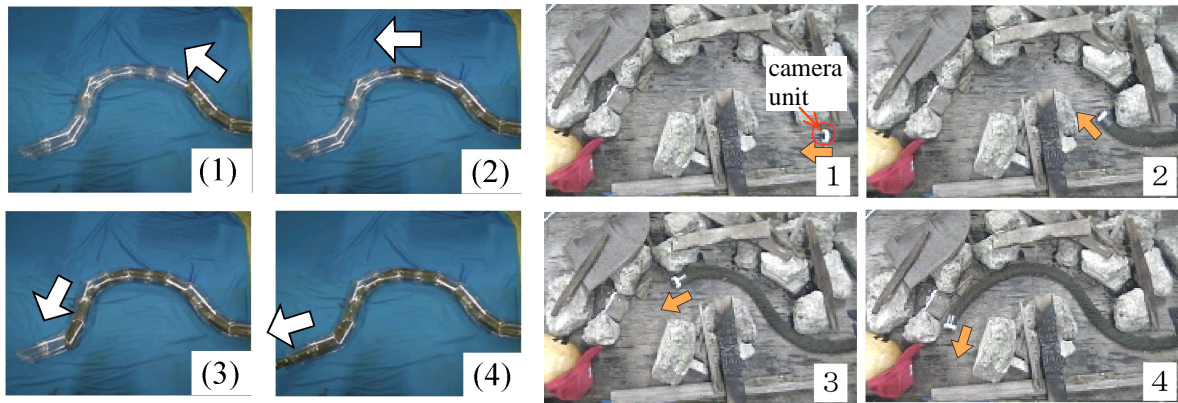


Fig.8 内径 70mm の湾曲パイプ内の移動 Fig.9 ヘッドユニットを搬送しながらの湾曲

Table.1 Specification of Drawn-out hose robot

Size of Robot	Length:3.0m Diameter:50mm
Tube	Flat Tube made of Urethane (width :20mm) ×2 (inside :φ10 outside :φ12)
Max Air Pressure	0.5MPa
Holder Span	25mm-35mm
Hose Body	Spark Satin (Polyester :62%,Nylon :38%)
Tube Span	45mm
Rail	2.0

Table.2 Specification of Camera Module

Unit size	Acrylic plastic case Diameter φ 62.5mm Length 40mm
Camera size	21mm×21mm×16mm
Roller	Stainless steel φ 4mm×8mm

進できるため、外部環境に変化を与えることなくヘッドユニットを搬送できることが確かめられた。

さらに、試作した流体駆動ホースの推力 F は圧力だけでなく、設計時の 2 つの扁平チューブ間の距離に応じて変化することが Fig. 10, 11 より明らかとなった。チューブ間の距離が狭すぎると、上流側チューブと下流側チューブの速度の差により生じる摺動摩擦が推力の損失を増す傾向にある。一方、チューブ間の距離が広すぎると、座屈部で流体が漏れやすくなるため駆動力が減衰する。したがって、推力を最大化する最適なチューブの間隔が存在すると考えられる。

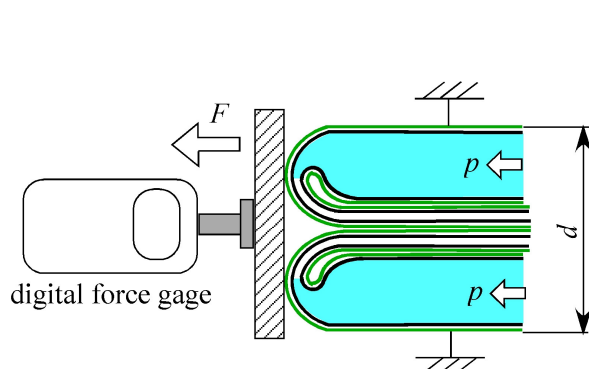


Fig. 10 推力を計測したときの実験装置

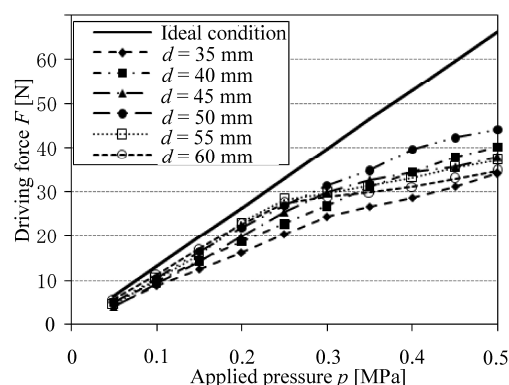


Fig. 11 推力の実験結果

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

塚越秀行・准教授

北川能・教授

5. 研究実施時期

2008 年（平成 20 年） 3 月 1 日から 2010 年（平成 22 年）2 月 28 日

6. 本研究に関連して発表した主な論文等

- 1) Kenichi HOSAKA, Hideyuki TSUKAGOSHI, Ato KITAGAWA, "Mobile Robot by a Drawing-out Type Actuator for Smooth Locomotion inside Narrow and Curving Pipes," 8th JFPS International Symposium on Fluid Power OKINAWA 2011, 2D3-2 (2011)
- 2) Hideyuki Tsukagoshi, Nobuyuki Arai, Ichiro Kiryu, and Ato Kitagawa, "Smooth Creeping Actuator by Tip Growth Movement Aiming for Search and Rescue Operation," 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1720-1725 (2011)
- 3) 穂坂憲一, 塚越秀行, 北川能, "繰り出し式柔軟流体アクチュエータで構成された狭隘地形内の移動探査ロボット," ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011, 1A2-J07 (2011)
- 4) Hideyuki Tsukagoshi, Yotaro Mori, and Ato Kitagawa, "Flexible Fluid Sliding Actuator Referring to Wave Shifting Motion Shown in Octopus Arms," IEEE International Conference on

Applied Bionics and Biomechanics(ICABB) Bio Robotics I No.2 (2010)

5) Akihisa Mikawa , Hideyuki Tsukagoshi , Ato Kitagawa, “Tube Actuator with Drawing Out Drive Aimed for the Inspection in the Narrow and Curved Path,” 2010 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, FrC3.2 (2010)

6) Yotaro Mori, Hideyuki Tsukagoshi, and Ato Kitagawa, “Flexible Sliding Actuator Using A Flat Tube And Its Application To The Rescue Operation,” 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation, ThA2.3 (2010)

7) 穂坂憲一，塚越秀行，北川能，”” 狹隘湾曲管路内のスムーズな移動を目指した繰り出し推進移動体の研究，平成22年秋季フルードパワーシステム講演会，34-36(2010)

8) 穂坂憲一，塚越秀行，北川能，”柔軟チューブによる繰り出し推進移動体の研究，” 計測自動制御学会2010産業応用部門大会第11回流体計測制御シンポジウム講演論文集，59-64(2010)

9) 小林敬，塚越秀行，北川能，”トンネル構築式流体アクチュエータ，” ロボティクス・メカトロニクス講演会2010, 2A2-C28(2010)

10) 三川晃尚，塚越秀行，北川能，”任意位置で湾曲可能な繰り出し式チューブアクチュエータの開発，” ロボティクス・メカトロニクス講演会2010, 2A2-C29(2010)

11) 三川晃尚，塚越秀行，北川 能，”狹隘地形の探査を目指した繰り出し型チューブアクチュエータの開発，” 平成21年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，70-72 (2009)

12) 大沼宏陽，塚越秀行，三川晃尚，北川 能，”トンネル構築式移動探査ロボット -第3報：探査機能の搭載-，” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'09，1A2-G16 (2009)

13) Ichiro KIRYU, Hideyuki TSUKAGOSHI, Ato KITAGAWA, “Grow-Hose-I: a Hose Type Rescue Robot Passing Smoothly through Narrow Rubble Spaces,” Proceedings of the 7th JFPS International Symposium on Fluid Power, Vol.3, 821-824 (2008)

14) 本田駿輔，塚越秀行，北川 能，大沼宏陽，”[トンネル構築式移動探査ロボットにおける方向操舵手法の研究](#)，” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'08，2P2-A09 (2008)

15) 吉柳一郎，塚越秀行，北川 能，”がれきと摩擦なく推進・方向操舵可能なレスキュー探査ホース：Grow-hose-I，” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'08，2P1-A02 (2008)

16) 吉柳一郎，塚越秀行，北川 能，”Grow-hose-I: 植物根の成長プロセスを参考にした人命探査ホース，” フルードパワーシステムワークショップ講演論文集，33-34 (2008)

7．内外における関連研究の状況

複雑な狹隘経路内の探査方式として、従来まで用いられてきた方式とその問題点を挙げる。

