

機関番号：12608
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20360113
 研究課題名（和文） 植物成長型アクチュエータの探究と
 そのレスキューおよび医療機器への展開
 研究課題名（英文） Research on Plant Growing Type Actuator and its Application to Rescue
 Operation and Medical Devices
 研究代表者 塚越秀行（Tsukagoshi Hideyuki）
 東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授
 研究者番号：50313333

研究成果の概要（和文）：

本研究では、植物の根が先端付近の分裂組織（成長点）を伸長させながら地中に到達する現象に着目し、先端から生えながら目標方向に方向操舵できるアクチュエータの駆動原理を構築した。そして、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や、介護現場で臥床中の人体とベッドとの間に進入し、人体を柔軟に抱きかかえる人体把持用マットなどを開発し、「植物成長型アクチュエータ」の有用性と発展性を示すことができた。

研究成果の概要（英文）：

In this research, a driving principle of growing from the tip and of steering the directions was constructed, aimed to realize the same phenomenon as the plant root whose growing point is extending in the deep earth. Furthermore, by taking advantage of the proposed principle, the inline pipe robot to search for the crack in pipes, the search robot in disastrous sites, and the flexible manipulator to hold a human body after creeping between the body and the bed were developed, which could demonstrate the usefulness and the validity of "Plant Growing Actuator."

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	4,700,000	1,410,000	6,100,000
2009 年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
2010 年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
年度			
年度			
総計	14,700,000	4,410,000	19,100,000

研究分野：知能機械

科研費の分科・細目：ソフトメカニズム

キーワード：アクチュエータ、バイオミメティクス、レスキューロボット、医療ロボット

1. 研究開始当初の背景

災害現場での人命探査・上下水道やガス管の配管検査などにおいて、複雑な狭隘経路内でのスムーズな移動が実現できれば、探査効

率の飛躍的な向上が期待される。従来方式の課題解決のためには、移動面の摩擦に左右されず、目標どおりの方向操舵を自在に行える全く新しい推進原理の創出が要求される。

2. 研究の目的

「植物が土内の地下深くまで「根」を成長させるプロセスを参考とする。根は、全体が成長するのではなく、先端付近の分裂組織（成長点）のみが成長し、土内奥深くにまで達することができる。同様に、先端から生えるアクチュエータできれば、狭隘経路との摺動抵抗を生じることなく移動する索状体探索ロボットの開発につながる。」ただし、根の成長する時間スケールと異なり、探索ロボットとして実用的な移動速度の実現を目指す。

3. 研究の方法

植物根の成長プロセスを規範とし、その成長速度を速めた動作を生成するアクチュエータとして工学的に再現することを目指す。そのため、以下2項目を研究方針の柱とする。

i) 流体エネルギーによるチューブの手繰り出し現象に着眼し、独創的なチューブアクチュエータを設計・製作しながら、目的の動作を達成する設計論を構築する。

ii) 当該アクチュエータの産業への応用も視野にいれ、配管探索ロボット・人命救助ロボット・医療機器として適用するための試作機を開発し、動作試験により有効性を検証する。

4. 研究成果

本研究では、大別して以下の3種類のアクチュエータおよびロボットを開発した。

(1) 座屈推進式移動探索ロボット

偏平チューブを折り曲げて内部を流体エネルギーで加圧すると、座屈部で流路を遮断しながらチューブの下流側が繰り出される動作が生成される。研究代表者らが見つけたこの現象をもとに、Fig.1のように複数本の偏平チューブを対向配置させて柔軟な外皮に覆う構成をとることにより、内部からチューブを繰り出す動作を実現することができた。

また、外皮側面に外皮とチューブを固定す

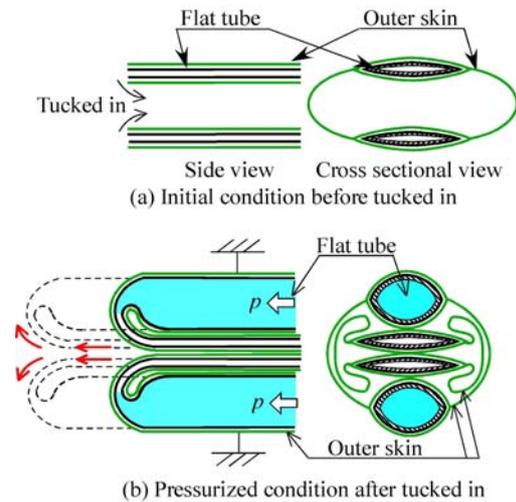


Fig.1 Tip growth with two flat tubes facing

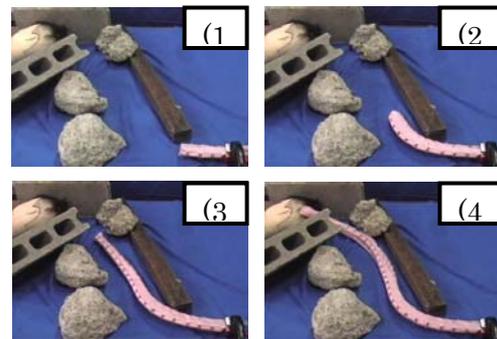


Fig.2 Tip growth in the initial prototype steering along a curved path

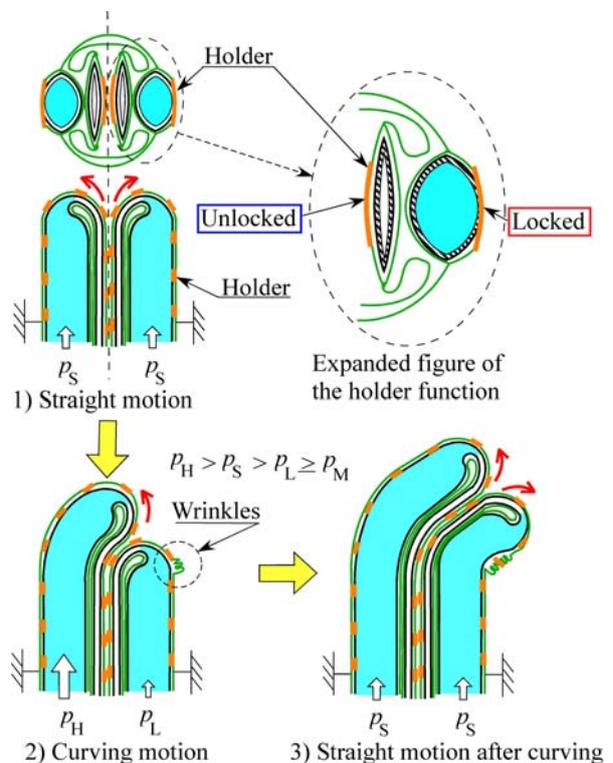


Fig.3 Steering the direction of tip.

る機能としてホルダー (Fig.2) を設けることによりにより、繰り出したチューブの形状を

保持しながら、任意の方向に湾曲する動作が実現できることを確認した(Fig.3)。さらに、外皮の側面に柔軟なレールを装備することにより、カメラなど情報収集機器を搭載した先頭ユニットを搬送できることも確かめられた(Fig.4)。



Fig.4 Overall view of Grow-hose-I with a head unit on its tip

Table 1 Specification of Grow-hose-I

Size	Length:3.0m, Diameter ϕ 50mm
Tube	Flat tube made of urethane inner diameter ϕ 10mm outer diameter ϕ 12mm
Air pressure	0.5MPa
Holder	Paper clip with thin flat shape (22mm \times 6mm \times 0.5mm) Stainless Installed Interval : 25mm-35mm
Flexible rail	Nylon string Outer diameter ϕ 2mm

Table 2 Specification of the head unit

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

(2) トンネル構築式移動作業ロボット

自らホースのようなトンネル体を構築しながらその内部を移動することにより、劣悪な凹凸狭隘空間内部でも迅速な探査作業を行える移動ロボットを検討した。その最

大の特徴は、1)外部の凹凸移動面と全く摺動せずにトンネルを構築でき、なおかつ、2)外部環境条件に左右されることなくトンネル内を移動できる点にある。考案したロボットは、長いチャック構造を有する带状シート、円筒体、円筒体内部に装備する無限回転型アクチュエータから構成されている。回転型アクチュエータがファスナーを円筒体外周上で円運動させることにより、チャックが連結されながら螺旋形状のトンネルを形成する。同時、円筒体もトンネル内を螺旋のピッチ分だけ移動する。さらに、帯の幅を変えることにより、湾曲したトンネルを構築することも可能となる。災害現場での劣悪狭隘な瓦礫内探査と延命作業への応用を想定し、試作機の瓦礫環境における動作実験を行い、上記に提案した設計手法の有効性を検証した。

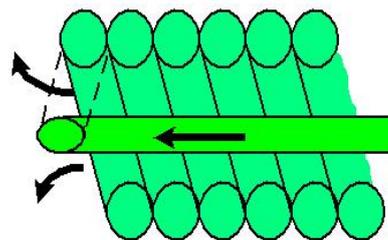


Fig.5 Basic concept of tunnel making propel.



Fig.6 Developed head unit equipped with a camera, LEDs, and the driving mechanism.

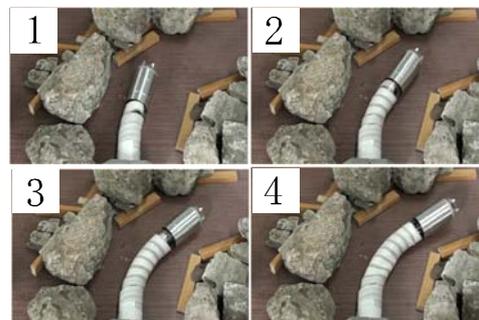


Fig.7 Steering motion.

(3) 内部繰り出し式人体把持用マット

介護現場などを対象とし、臥床中の人体とベッドとの間に進入し、人体とほとんど摺動せずに人体の下を移動できる人体把持用マットを開発した。内部から空圧により繰り出される柔軟なチューブをファスナーで連結しながら幅広のマットを構成し、人体の脇腹の一方から進入したのち、人体の他方からスムーズに繰り出されることを確認した。人体の起き上がり支援、移乗支援などに役立つものと期待される。

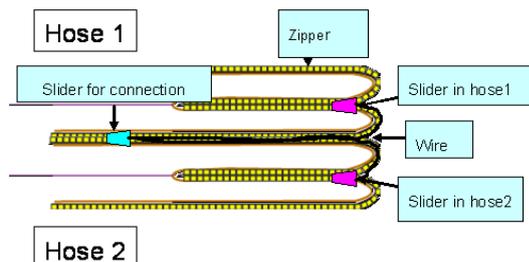


Fig.8 Mechanism of the drawn-out mat.

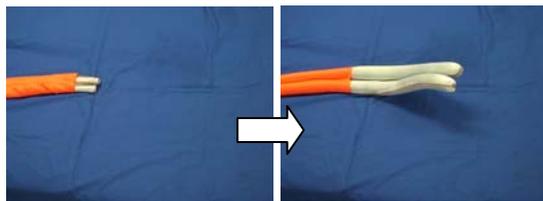


Fig.9 Developed drawn-out mat.



Fig.10 Demonstration to pass under the human body.

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) Hideyuki Tsukagoshi, Nobuyuki Arai, Ichiro Kiryu, Ato Kitagawa, "Tip Growing Actuator with the Hose-Like Structure Aiming for Inspection on Narrow Terrain," International Journal of Automation Technology, Vol.5, No.4, 516-522 (2011)
- (2) Yotaro Mori, Hideyuki Tsukagoshi, Ato Kitagawa, Fluid Powered Ropeway: Self-propelled Probe Sliding Along Flexible Tube, Journal of Robotics and

Mechatronics, Vol.23, No.2, 215-224 (2011)

- (3) 森庸太郎, 塚越秀行, 北川能, "柔軟偏平チューブに沿ってスライドする流体アクチュエータ(第1報:A-driveの提案とその動作解析),"日本フルードパワーシステム学会誌, Vol.41, No.5, pp.98-105 (2010)

〔学会発表〕(計 17 件)

- (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), Okinawa, 2011年10月27日
- (2) 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), Venice, 2011年10月16日
- (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), 岡山, 2011年5月27日
- (4) 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), Shanghai, 2011年5月11日
- (5) 穂坂憲一, 塚越秀行, 北川能, "狭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), 別府, 2010年12月2日
- (6) 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), 大岡山, 2010年11月9日
- (7) 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), Montreal, 2010年7月7日
- (8) 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), 旭川, 2010年6月15日

(9) 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), 旭川, 2010年6月15日

(10) 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, Th A2.3 (2010), Anchorage, 2010年5月6日

(11) 三川晃尚, 塚越秀行, 北川能, “狭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), 東京, 2009年11月26日

(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), 福岡, 2009年5月26日

(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), 富山, 2008年9月17日

(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), 長野, 2008年6月6日

(15) 大沼宏陽, 塚越秀行, 北川能, “[トンネル構築式移動ロボットの推進原理](#),” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'08, 2P2-A08 (2008), 長野, 2008年6月6日

(16) 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), 長野, 2008年6月6日

(17) 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), 東京, 2008年5月29日

〔産業財産権〕

出願状況(計3件)

名称: リニアアクチュエータ

発明者: 塚越秀行、森庸太郎、平井雅大、北川能

権利者: 東京工業大学

種類: 特許

番号: 特願 2008 137508

国内外の別: 国内

名称: 能動湾曲するチューブアクチュエータと能動探査装置

発明者: 塚越秀行、三川晃尚、北川能

権利者: 東京工業大学

種類: 特許

番号: 特願 2009-267198

国内外の別: 国内

名称: アクチュエータ

発明者: 塚越秀行、コンヴェルソ アントニオ、北川能

権利者: 東京工業大学

種類: 特許

番号: 特願 2008 137508

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.cm.ctrl.titech.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者 塚越秀行

東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号: 50313333