

報告日 2014年(平成26年)6月5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) 柔軟チューブの座屈を利用した流体駆動スライダとその危険環境内での情報収集作業への応用
- (2) 研究者氏名 塚越秀行, 東京工業大学, 准教授
- (3) 研究概要 (日本文) 本研究では, 柔軟チューブに沿って推進する移動体の高い踏破性と簡易な遠隔操作性に着目し, 劣悪な移動環境内でも迅速な移動と探査作業を遂行する「流体ロープウェイ」を実現するための基盤技術を構築する. 具体的には, i) 消防ホースの水圧を利用したホースに沿ってスライド推進を生成する高出力駆動系の開発, ii) 高速駆動系—磁性ブレーキシリンダにより高度 10m にホースを投擲する装置の開発, iii) 凹凸障害物へのスタックを回避できるゴンドラの能動変形駆動機構の検討, などを行う.
- (4) キーワード  
流体駆動アクチュエータ, レスキューロボット, 柔軟スライドアクチュエータ

(英文)

(1) **Research title** Fluid Powered Slider Using the Buckling of a Flexible Tube  
And its Application to Searching Operation in Dangerous Buildings

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

Hideyuki Tsukagoshi, Associate Professor, Tokyo Institute of Technology

(3) **Summary**

In this research, a method of locomotion called the “fluid powered ropeway” is investigated. It aims to collect information in dangerous buildings as rapidly and safely as possible. The device is mainly composed of a flexible flat tube and a gondola probe driven by fluid power using the buckling phenomenon of the tube. The big advantage is the gondola has the potential to traverse rocky terrains that wheeled and crawler-type vehicles have difficulty in crossing over. In this study, we investigate following three aspects. i) Development of high powered driving device for generating sliding motion

using water hydraulic power inside the fire hose, ii)development of casting device for setting the hose, and iii)development of the gondola device to getting out from the stuck condition.

#### (4) Key Words Fluid Powered Actuator, Rescue Robot, Flexible Sliding Actuator

## 2. 本研究の意義・特色

- (1)チューブを簡易敷設式レールとする移動により、床反力を得にくい劣悪な不整地でも推進可能となる従来にない新しい移動方式の試み。⇒ 移動ロボットにおける新たな学問体系を創成。
- (2) $\Lambda$ -driveと名付けた偏平チューブの座屈点で流路を遮断しながらスライドする全く新しい駆動原理は、i)長いストロークを生成でき、ii)チューブの粘性摩擦を軽減できる駆動法のため、新たな流体ソフトアクチュエータとして、生産・医療福祉現場など多様な分野への応用が期待される。
- (3)従来のロープウェイ方式では実現しづらい優れた性能を発揮。すなわち、
  - i)ゴンドラとロープの一体牽引式と異なり、環境上で不動のチューブに摺動摩擦は生じない。
  - ii)モータによる電動駆動式と比べると、出力/重量比が著しく高い駆動系を構成できる。  
参考) 流体駆動スライダ式：スライダの質量19gで速度2m/s, 21Wを生成。  
電動駆動式：モータ+ギヤヘッドの質量130gで20Wを生成。

## 3. 実施した研究の具体的内容、結果 (本文)

下記3項目について、研究内容および結果を記す。

### i)消防ホース内の水圧エネルギーを利用した高出力駆動系の開発：

先般の東日本大震災を踏まえ、本研究制度で開発した投擲型流体ロープウェイをがれきの散在する港湾内の情報収集作業に適用するための可能性を検証した。沿岸と海上のフロートとを結ぶホース上をゴンドラ探査機で往復しながら、情報収集作業を行った。実験の結果、海中に岩などの障害物のある環境、波打ち際で従来の海洋ロボットを使用しづらい環境でも、ホース内に供給される0.2MPaの水道圧エネルギーをもとに、秒速300mm程度で30mの距離をゴンドラが安定して往復移動できることが明らかとなった。また、ゴンドラ内に装備されたビデオカメラにより、海中内の情報を無線で取得可能であることも確認できた。

### ii)高速駆動系－磁性ブレーキシリンダによるホースの高位置への投擲の実現：

ホース付き子機の投擲高度の向上を図るために、磁性ブレーキ式空圧シリンダ(MB シリンダ)に対するホース収納部の適切な設置方法について検討した。まず、ホース収納部の設置方法が4種類に分類され、そのうち、チューブ収納部全体にシリンダの運動エネルギーを与える理想的な方法が存在することを確認した。

次に、MB シリンダの負荷特性や運用上の制約条件なども考慮したうえで、投擲高度を最も高く生成しやすい設置方法の選定基準も考案した。実験の結果、提案手法は従来方式より 1.5 倍程度高く投擲できることを確認した。

iii) 凹凸障害物へのスタックを回避できるゴンドラの能動変形駆動機構の検討：

ゴンドラが障害物にスタックした状態から脱却しやすくするために、ゴンドラ先端の傾きをピッチ軸・ヨー軸回りに能動的に可変とする構造を導入した。これにより、ゴンドラと障害物との接触面において、ホースから提供される推力の伝達方向を変えられるようになる。導入手法は、傾き一定の状態に比べて、約 70%程度小さい推力でもスタック状態から脱却しやすくなることを確認した。

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

5. 研究実施時期

2012年（平成24年） 4月 1日から 2013年（平成25年） 5月 31日

6. 本研究に関連して発表した主な論文等

[1]Hideyuki Tsukagoshi, Yotaro Mori, Ato Kitagawa, “Fast Accessible Rescue Device by Using a Flexible Actuator”, International Conference on Robotics and Automation (ICRA2012), 1175-1180 (2012)

[2] Hideyuki Tsukagoshi, Eyri Watari, Kazutaka Fuchigami, Ato Kitagawa, “Casting Device for Search and Rescue Aiming Higher and Faster Access in Disaster Site”, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 4348-4353(2012)

[3] Hideyuki TSUKAGOSHI, Yotaro MORI, Eyri WATARI, Ato KITAGAWA, “Flexible Sliding Actuator and Its Application to Search and Rescue Operation”, The 4th TIT-BIT Joint Workshop on Mechanical Engineering, 78-89(2012)

[4]塚越秀行, 森庸太朗, 堀江宏太, 北川能, レザジョバニ, “がれきの散在する港湾内での情報収集を目指したロープウェイ式海洋探査ロボット”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, 2A1-O07(2012)

[5]Eyri Watari, Hideyuki Tsukagoshi, Ato Kitagawa, “Methods for Casting a Tethered Child Machine to Aid Resuce Operations Inside Dangerous Buildings”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, 2A2-O06(2012)

[6]塚越秀行, 森庸太朗, 北川能, “スライド式柔軟流体アクチュエータ：A-drive とその応用”, 日本機械学会 2012 年度年次大会 J113023

[8]塚越秀行, 森庸太朗, 北川能, “スライド式柔軟流体アクチュエータとその設計方法”, 日本ロボット学会第 30 回記念学術講演会, 4B1-1(2012)

[9]塚越秀行, 森 庸太朗, 北川 能, “スライド式柔軟流体アクチュエータの設計と応用”, 計測自動制御学会 2012 産業応用部門大会第 13 回流体計測制御シンポジウム講演論文集, 75 - 78(2012)

[10]ワタリエイリ, 塚越秀行, 北川能: ”空圧シリンダによりテザー付子機を高く投擲する方法”, 日本フルードパワーシステム学会誌, Vol.43, No.6 149-156(2012)

[11]中野奨, 塚越秀行, 北川能, “半壊家屋内の迅速な人命救助を目指したロープウェイ”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, 2A1-O06(2012)

## 7. 内外における関連研究の状況

ホース内の流体エネルギーを利用したスライド推進の生成は, 複数のローラーでホースを挟み込むピンチローラー (広瀬ら), ホース内の球体とホース外の球体で挟み合う柔軟ロッドレスシリンダ (赤木ら) などが提案されていたが, いずれもホースと挟む装置との間の摺動抵抗のため, 駆動効率の劣化・低圧領域での駆動が困難・ホースの摩耗などが問題となっていた. 本研究で導入した  $\Lambda$ -drive は, ホースを挟み込む方式ではなく, ホースを折り曲げた座屈に基づく駆動方式のため, 従来の問題を解決できる画期的な推進方式である.

## 8. 今後の発展に対する希望

ホース上でのスライダの位置情報を把握する手法の開発が望まれる.