

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：特定領域研究
研究期間：2004～2008
課題番号：16078208
研究課題名（和文） 能動索状体のアクチュエーションに関する研究

研究課題名（英文） Actuation of Active Tethers

研究代表者

田所 諭 (TADOKORO SATOSHI)
東北大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号：40171730

研究成果の概要：

ケーブルやビデオスコープなどの細径の索状体に対し、分布的に繊毛振動駆動を行うことによって索状体全体が能動的に運動を発生できる技術を開発した。拘束下を含む力学的モデリングにより計算機シミュレーションを行い、設計の最適化を行い、分布的形状センシングに基づいて分布的形状制御を行った。本研究成果を活用して開発した能動スコープカメラを災害現場に適用し、その有効性を実証した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2004年度	14,500,000	0	14,500,000
2005年度	14,300,000	0	14,300,000
2006年度	15,000,000	0	15,000,000
2007年度	14,300,000	0	14,300,000
2008年度	12,800,000	0	12,800,000
総計	70,900,000	0	70,900,000

研究分野：アクチュエータ

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：アクチュエータ、ロボット、分布駆動、振動駆動、能動索状体、アクティブテザー、探査ロボット、ケーブルハンドリング

1. 研究開始当初の背景

索状体を能動的に運動させる研究は、ロボティクス分野ではヘビ型ロボットや管内移動ロボットとして行われてきたが、ケーブルのような細径の物体に運動を実現したり、絡まりを避ける機能を持たせたりすることはできなかった。そのため、たとえば、狭隘箇所やレスキュー用のビデオスコープで検査や探索が可能な範囲が限定される、などの問題があった。今後、社会インフラの老朽化や自然災害の増加に伴い、狭隘地で移動する機

能、ロボットや各種機器に不可欠なケーブルのハンドリング機能に対する技術ニーズが高まってくると予想し、学術的アプローチによる根本的な解明及び解決が不可欠であると考えた。

2. 研究の目的

本研究は、移動カメラや有線ロボットのケーブル、狭窄地を探索するビデオスコープに代表される細径の可動索状体を対象とし、新しいアクチュエーションの原理（分布駆動、

振動駆動など）・機構・制御を適用することにより、能動的あるいは半能動的に運動する機能を、構成論的および理論的に実現することを目的として研究を遂行した。それにより、ビデオスコープやケーブルのハンドリングや絡まりの問題に対する根本的かつ新しい解を与えることを目指した。

3. 研究の方法

図1に、本研究成果をロボットケーブルに適用した際のイメージを示す。

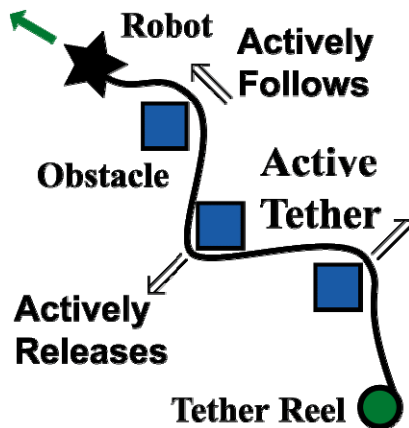


図1 能動索状体をロボットケーブルに適用した場合のイメージ

この実現のために、下記の方法で研究を進めた。

(1) 分布的振動駆動デバイスを内蔵する索状体のアクチュエーションの方式と構成論に関する研究

能動索状体を構成するためのアクチュエータの方式・設計・最適化を行い、システムを構成するための方法論を実証的に明らかにした。

(2) 拘束下を含む能動（半能動）索状体のモデリング

能動索状体の運動に関するモデルを構築し、計算機シミュレーションを可能にするとともに、運動性能向上のための指針を得た。

(3) 索状体の分布的形状センシング

能動索状体の運動を計測し、制御することを目的として、分布的に形状をセンシングできる方法を検討し、実装した。

(4) 索状体の分布的形状制御

索状体の性質を利用することにより、分布的な駆動原理によって、全体の形状や進行方法を制御する方法を開発した。

(5) 能動索状体の適用システムの開発

本研究成果を能動スコープカメラに適用することによって、その有効性を示した。

4. 研究成果

下記の研究成果を挙げた。

(1) 2004 年度

①分布的振動駆動デバイスの方式の検討，デバイス単体の部分設計，部分試作，性能試験，改良。

部分的な試作に基づく評価に基づいて，基本方式に関する検討を行うことを目的として，研究を遂行した．具体的には，絨毛振動駆動を採用することとし，能動索状体の部分試作（長さ40cm，直径6cm）を行い，がれきを模擬したフィールドで実験を行った結果，駆動が可能であることを確認した．また，第2試作として索状体を屈曲させる機構を追加し，それによって乗り越え運動が可能であることを確認した．さらに，それをファイバースコープのボディに部分的に実現する試作を行い，本方式が適用可能であることを確認した．

②実験のためのセンサ系の環境整備

実験，モデリングを今後効率的に進めていくため，高速度カメラ，および，3次元運動計測装置によるセンサ系の環境整備を行った．

③分布振動駆動と索状体のハンドリングに関する調査

国内・国際学会（電気学会，機械学会，精密工学会，ロボット学会，ICRA，IROSなど）での調査を行った．

(2) 2005 年度

①絨毛振動駆動の工業用ファイバースコープへの適用。

第2試作のデータに基づき，工業用ファイバースコープに最適化した絨毛テープを巻き付け，一定間隔毎に振動子を取り付ける方法により，ファイバースコープを能動的に動かすことに成功した．実験により，ファイバースコープの摩擦抵抗の減少，駆動力の発生を計測した．

②絨毛振動駆動のモデル化とシミュレーション。

高速度カメラにより絨毛の運動と索状体の運動との関係を計測し，その知見に基づいて五百井らのモデルに基づき駆動力に関するシミュレータを作成した．

③振動方向をダイナミックに変化させるための振動子の開発。

安川電機（株）の協力の下に，振動方向をダイナミックに変化させることを目的とした新しいリニア振動子，および，その駆動装置を開発し，駆動性能を向上させるための準備を行った．

④分布振動駆動と索状体のハンドリングに関する調査

国内・国際学会（機械学会，ロボット学会，ICRA，IROSなど）での調査を行った．

(3) 2006 年度

① 繊維振動駆動の改良

工業用ビデオスコープに取り付けた振動子の最適化を行うことによって、ビデオスコープを瓦礫等の限定された条件下で、実用に近いスピード（秒速 5 cm/s 程度）で動かし、勾配（20 deg 程度）を登坂し、段差（10 cm 程度）を乗り越える事に成功し、摩擦分布を制御することができることを示した。瓦礫環境等のいくつかの実用現場における試験を行った。これを「能動スコープカメラ」と名付けることにした。



図2 レスキュー用能動スコープカメラ

② 繊維振動駆動、索状体のモデル化とシミュレーション

疑似線形バネモデル、固着滑りモデルの2つのモデルにもとづく繊維振動駆動のシミュレーションを行い、駆動力、周波数特性等の定性的な性質の再現および特性改善の指針を得た。索状体全体をリンク機構に近似したモデリングを行い、分布的な駆動力により索状体の運動が受ける影響を解析できること、進行方向を制御できる可能性を示した。

③ 索状体の形状・分布圧計測

内界センサによる形状・分布圧計測法の調査と基礎実験を行い、形状に関してはFST方式が優れており、分布圧計測は実用的でない、という結論に至った。FSTの適用実験を行うための索状体の設計を行った。

④ 分布振動駆動と索状体のハンドリングに関する調査、および、研究成果発表

国内・国際学会（ICRA, IROS, ACTUATOR など）での調査および研究成果発表を行った。

(4) 2007 年度

① 索状体の分布的な形状のセンシング

FST方式により能動索状体を試作し、各ユニット間の相対角度によって形状計測が可能であることを確認した。

② 索状体の分布的な形状制御

各ユニットに繊維振動駆動機構を適用し、ユニット毎独立に駆動力の制御を可能にした。ユニットに発生させる軸方向および横方向の力の組み合わせによって、緩やかな移動動

作において、形状の制御、移動方向の制御が可能であることを実験的に示した。

③ 拘束下を含む索状体のモデリングとシミュレーション

各ユニットでの発生力特性の同定を行い、床から受ける力を含めた直列リンクモデルを試作し、実験結果を定性的にシミュレーション可能であることを示した。

④ 研究成果の発表、及び、分布振動駆動と索状体のハンドリングに関する関連研究の調査

国内・国際学会（ICRA, IROS, ACTUATOR など）での調査および研究成果発表を行った。

⑤ 開発した索状体の応用試験

能動スコープカメラの改良を進めた。それを、米国 Disaster City の模擬災害現場、米国 Berkman Plaza II の倒壊現場へ適用し、がれき環境における検索作業に対する有効性を確認した。

(5) 2008 年度

① 拘束下を含む索状体のモデリングとシミュレーション

シリアルリンク機構として横滑りを含むモデリングを行い、ODEによるシミュレーションを可能にした。

② 索状体の分布的な形状制御

部分的な角度情報に基づき、引張りと押しに関する単純なルールを定めることによって、平面上で索状体の形状を変更するとともに、任意の方向に動作させることができた。

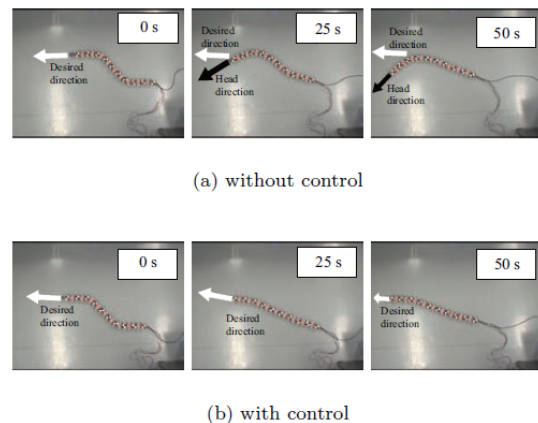


図3 分布的な形状制御の結果

③ 研究成果の発表、及び、分布振動駆動と索状体のハンドリングに関する関連研究の調査

国内・国際学会（ICRA, IROS, ACTUATOR など）での調査および研究成果発表を行った。

④ 開発した索状体の応用試験

能動スコープカメラの改良を進め、FEMA TF 隊員とともに、米国 Disaster City の模擬災

害現場へ適用し、がれき環境における検索作業に対する有効性を確認した。

特筆すべき点として、能動スコープカメラが、自治消防 60 周年記念事業「消防防災ロボット・高度な資機材等」消防庁長官賞最優秀賞、「今年のロボット」大賞優秀賞、計測自動制御学会学術奨励賞 (SI2007 講演論文に対して大学院生畑崎が受賞)、日本機械学会基礎潤滑設計部門一般表彰 (優秀講演) (基礎潤滑設計部門講演会講演論文に対して)、を受賞した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7 件)

- ① Kazuna Sawata, Masashi Konyo, Satoshi Saga, Satoshi Tadokoro, Koichi Osuka, Sliding Motion Control of Active Flexible Cable with Simple Shape Information, Proc. 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3736-3742, 2009, 査読有
- ② Robin Murphy, Masashi Konyo, Satoshi Tadokoro, Pedro Davalas, Gabe Knezke, Maarten Van Zomeren, Preliminary Observation of HRI in Robot-Assisted Medical Response, HRI 2009, 2009, 査読有
- ③ Masashi Konyo, Kazunari Hatazaki, Satoshi Saga, Satoshi Tadokoro, Development of an Active Flexible Cable Using a Single Vibratory Source, Proc. 11th International Conference on New Actuators (ACTUATOR 2008), pp.333-336, 2008, 査読有
- ④ Masashi Konyo, Kazuya Isaki, Kazunari Hatazaki, Satoshi Tadokoro, Fumiaki Takemura, A Ciliary Vibration Drive Mechanism for Active Scope Cameras, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 20, No. 3, pp. 490-499, 2008, 査読有
- ⑤ Kazunari Hatazaki, Masashi Konyo, Kazuya Isaki, Satoshi Tadokoro, Fumiaki Takemura, Active Scope Camera for Urban Search and Rescue, Proc. 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2007), pp.2596-2602, 2007 (IEEE Robotics and Automation Society Japan Chapter Young Award受賞), 査読有
- ⑥ Kazuya Isaki, Akira Niitsuma, Masashi Konyo, Fumiaki Takemura, Satoshi Tadokoro, Development of an Active Flexible Cable by Ciliary Vibration Drive for Scope Camera, Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent

Robots and Systems (IROS2006), pp. 3946-3951, 2006 (IEEE Robotics and Automation Society Japan Chapter Young Award受賞), 査読有

- ⑦ K. Isaki, A. Niitsuma, M. Konyo, F. Takemura, S. Tadokoro, Development of an Active Flexible Cable Driven by Ciliary Vibration Mechanism, Proc. 10th International Conference on New Actuators (ACTUATOR 2006), A6.6, pp.219-222, 2006, 査読有

[学会発表] (計 3 件)

- ① 昆陽他, 単一の揺動振動機構を用いた能動索状体の駆動法, 日本機械学会基礎潤滑設計部門講演会, 2008
- ② Koichi Osuka, Tomoharu Doi, Satoshi Tadokoro, Naoji Shiroma, Takashi Tsubouchi, Hideyuki Tsukagoshi, Shigeo Hirose, Fumitoshi Matsuno, Takumi Hashizume, Masamitsu Kurisu, Hiroyuki Kuwahara, Toshi Takamori, Yasuyoshi Yokokoji, Shugen Ma, Tatsuo Arai, Koichi Suzumori, In-Rubble Robot System for USAR Under Debris, Proc. Workshop on Rescue Robotics - DDT Project on Urban Search and Rescue, 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2007), pp. 57-81, 2007
- ③ Satoshi Tadokoro, Akira Niitsuma, Kazuya Isaki, Masashi Konyo, Fumiaki Takemura, Active Flexible Cables by Ciliary Vibration Drive, Actuator International Symposium, 2006

[その他]

○受賞 (計 6 件)

- ① 平成 21 年 8 月 計測自動制御学会学術奨励賞 (学生畑崎計成が受賞「畑崎他, 繊維振動駆動機構を用いた能動スコープカメラの開発, S I 2 0 0 7」に対して)
- ② 平成 20 年 12 月 18 日 「今年のロボット」大賞優秀賞 (「能動スコープカメラ」に対して)
- ③ 平成 20 年 日本機械学会基礎潤滑設計部門一般表彰 (優秀講演) (助教昆陽雅司が受賞, 「昆陽他, 単一の揺動振動機構を用いた能動索状体の駆動法」, 基礎潤滑設計部門講演会, 2008 に対して)
- ④ 平成 20 年 6 月 27 日 自治消防 60 周年記念事業「消防防災ロボット・高度な資機材等」消防庁長官賞最優秀賞 (「能動スコープカメラ」に対して)
- ⑤ 平成 19 年 10 月 30 日 IEEE Robotics and Automation Society Japan Chapter Young Award (IROS2007 で発表した「Kazunari

Hatazaki, Masashi Konyo, Kazuya Isaki, Satoshi Tadokoro, Fumiaki Takemura, Active Scope Camera for Urban Search and Rescue, Proc. 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2007」に対して、学生畑崎計成が受賞)

- ⑥平成18年10月11日 IEEE Robotics and Automation Society Japan Chapter Young Award (IROS2006で発表した「Development of an Active Flexible Cable by Ciliary Vibration Drive for Scope Camera」に対して、学生伊崎和也が受賞)

○ホームページ

<http://www.rm.is.tohoku.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田所 諭 (TADOKORO SATOSHI)
東北大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号：40171730

(2) 研究分担者

昆陽 雅司 (KONYO MASASHI)
東北大学・大学院情報科学研究科・助教
研究者番号：20400301

大野 和則 (OHNO KAZUNORI)
東北大学・大学院情報科学研究科・講師
研究者番号：1130189328

竹内 栄二郎 (TAKEUCHI EIJIRO)
東北大学・大学院情報科学研究科・助教
研究者番号：00509680

武村 史朗 (TAKEMURA SHIRO)
沖縄工業高等専門学校・機械システム工学
科・准教授
研究者番号：70455187

嵯峨 智 (SAGA SATOSHI)
東北大学・大学院情報科学研究科・助教
研究者番号：10451535

徳田 献一 (TOKUDA KENICHI)
和歌山大学・工学部・助手
研究者番号：60335411

牧田 忍 (MAKITA SHINOBU)
国際レスキューシステム研究機構・神戸ラ
ボラトリー・研究員
研究者番号：99999999