

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H00748

研究課題名(和文) 流体を噴射して閉鎖空間を飛行する索状ロボットの研究

研究課題名(英文) Serpentine Robot Flying by Fluid Jet in Confined Space

研究代表者

田所 諭 (Tadokoro, Satoshi)

東北大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：40171730

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 42,270,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、流体を噴射して閉鎖空間を飛行する空飛ぶ消火ホースロボットの研究開発を目指し、ロボットを長尺化するための4つの基礎技術の研究を行った。(1)長尺ホースの高次モード振動を抑制するための、内部流体の散逸効果を利用した安定浮上方法の提案と実証。(2)ホースのねじれの影響を最小化するための、ねじれの影響を受けないノズルユニットの提案と実現。(3)閉空間内にホースが進入、経路に沿って曲がりながら運動するための、移動体によるロボット根本の能動化とそれに伴う振動抑制、ノズル稼働制約を考慮した形状制御法の提案と実証。(4)障害物への接触等に対応するための、ノズルの稼働域を増やしたロボットの新規開発。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、柔軟索状体の流体噴射による安定浮上ならびにねじれの影響を考慮した形状変形を世界ではじめて実現した。これらは、柔軟体を操るための本質的な問題を解決した学術的に重要な結果である。また、火災はひとたび起きると甚大な被害をもたらす、迅速かつ安全に消火する必要がある。本研究は、自ら火災建物内に入ってゆき、直接水を火に当てて迅速に消火する消火ホースロボットの実現のための要素技術を開発したものであり、本成果を用いることで迅速かつ安全な消火戦術を生み出すことが期待できる。

研究成果の概要(英文)：This study aims to research and develop a flying hose-type firefighting robot that flies in a confined space by injecting fluid. Concretely, this study investigated four essential technologies for making the robot longer. (1): Proposal and demonstration of a stable levitation method using the dissipation effect of internal flowing fluid to suppress higher-order mode vibration of a long hose. (2): Proposal and realization of a nozzle unit that is not affected by the torsion of the hose, which often occurs in the shape deformation of the flexible hose. (3): Proposal and demonstration of a shape control method to move along the desired path in a confined space. In addition, we also realized the robot root's horizontal movement to enter the confined space while installing a vibration suppression controller on the nozzle unit. (4): Development of a new 4m long robot with an increased operating range of the nozzle to cope with contact with obstacles.

研究分野：ロボティクス

キーワード：レスキューロボット 索状ロボット 消火 飛行 流体噴射

## 1. 研究開始当初の背景

高層ビル火災や大規模倉庫火災など、消防隊員の進入が困難で危険な閉鎖空間における消火では、消火の能力を高め、隊員のリスクを低減するために、ロボットの適用が望まれている。遠隔からの放水は、水の蒸発で高温の火炎を徐々に冷却するに過ぎず、火元の燃焼を直接止めることができないため、大量放水が必要であり、鎮火に時間がかかるという問題がある。閉鎖空間内の火災では、消防士の進入が困難なため、可燃物が燃え尽きるまで延焼を防ぎながら待つ、という戦略をとらざるを得ないのが現状である。

これまで、研究代表者らは空飛ぶ消火ホースロボット「ドラゴンファイヤーファイター」を研究開発してきた。その目的は、空中を飛行することによって、複雑な形状の閉鎖空間を縫って長尺のロボットホースが移動し、火元にアプローチ、直接放水してピンポイント消火を行うことであり、少ない水量で迅速な消火を実現することを目指している。2018年6月14日に福島ロボットテストフィールドで開催した ImPACT タフ・ロボティクス・チャレンジ公開フィールド評価試験では、先端ノズルから噴射する水によって火元直接消火ができることを、試作機により初めて実証した。

しかし、ホースを長尺化し、閉鎖空間を縫って移動させようとしたところ、下記の4つの重大な学術的課題が明らかとなり、ドラゴンファイヤーファイターの実現には、これらの課題の根本的解決が不可欠であることがわかった。

- (1) 長尺のホース全体の高次モードの動的挙動の安定性を確保すること。
- (2) ホースのねじれの影響を最小化すること。
- (3) ホースを経路に沿って曲げながら運動すること。
- (4) 壁・床・天井等の障害物との接触時でも安定性を維持すること。

## 2. 研究の目的

本研究では、ホースロボットの長尺化を可能にするために、(1) 長尺ホース全体の高次モードの動的挙動の安定性を確保し、(2) ホースのねじれの影響を最小化する研究を行う。また、閉鎖空間を縫った移動を可能にするために、(3) ホースを経路に沿って曲げながら運動すること、(4) 壁・床・天井等の障害物との接触時でも安定性を維持することを目的とした研究を行う。これら4つの課題を、ロボットの構成論、モデリング、制御、運動計画、ナビゲーションの方法論によって解決し、シミュレーションと試作ロボットで実証する。これにより、消火ホースロボット実現のための技術的基盤創成を目指した。

## 3. 研究の方法

### (1) ホース全体の高次モードの動的挙動の安定性確保

対象とするシステムは、ホースと内部流体の力学的特性が複合して非線形な分布定数系を構成しており、その安定化制御は容易ではない。特に長尺になるほど内部流体の運動による影響は大きくなる。これまでの研究では、流体の及ぼす力学的特性は無視して議論を進めてきた。

本研究では、課題(1)の解決のために、ホースと流体の動的特性を分布定数系としてモデル化し、それに基づいて、高次モードを含む安定性を解析し、安定化するための制御系の設計を行った。具体的には、先端にノズルユニットを持つ、片持ちのオイラー梁の送水管を対象として、流体運動を考慮した運動方程式と制御系を導出した。特に、分布的流体力を浮上安定性向上のために用いことができる制御系を設計した。シミュレーションと試作したロボットによりその効果を評価した。

### (2) ホースのねじれの影響最小化

柔軟なホースでは、一般的に曲げて形状を変化させると幾何特性によりねじれてしまう。ホースが曲げによってねじれると、ノズルユニットの姿勢が変わってしまい、ノズルの稼働制約により、浮上に十分な力を実現できず制御が破綻する恐れがある。

本研究では、課題(B)を根本的に解決するために、ホースのねじれの影響を受けないノズルユニットの開発に取り組んだ。ノズルユニットとホースを受動回転軸で連結し、ノズルユニットで内向き方向に流体を噴射して合力を実現することで、合力の方向をユニットが自動的に追尾する。これによりホースのねじれの影響を受けずに合力を実現することができる。本原理を検証するために、簡易ノズルユニットモデルによる理論検証と、試作機による実験を行った。

### (3) ホースを経路に沿って曲げながら運動

閉鎖空間を縫って柔軟ホースが移動するためには、ホースを経路に沿って曲げる運動を実現するとともに、ホースの根本部を能動化して並進移動を可能にする必要がある。

#### (3)-① 並進外乱に対するホースの振動抑制

ホース根本を移動体と連結して能動化することにより、ホースが振動してしまうことが考えられる。ホースが振動してしまうと障害物との接触リスクが高くなる。また、ノズルユニットの姿勢も振動してしまい、ノズル制約から浮上に十分な力を実現できなくなる可能性も上がる。ま

た、本ロボットは、消防のはしご車に搭載するなど、既存の移動体に後付けして使用することを想定しているため、ホース根本の運動にかかわらずホース全体を制振する必要がある。本研究では、移動体を並進方向の外乱とみなした安定浮上方法を新たに提案し、ロボットを用いてその妥当性を検証した。

### (3)-② ホースの形状制御

ホースを経路に沿って曲げる運動を実現するために、ホースの形状を制御しながら目標位置を追従する手法を提案した。特に、ノズルユニットのノズルには稼働制限があるため、稼働制限に十分余裕をもって形状を実現することが望ましい。ノズルの稼働制約を考慮した形状制御手法をロボットに搭載し、その妥当性を検証した。

### (4) 障害物との接触時の安定性維持のためのロボット開発

障害物との接触時でも安定性を維持するためには、障害物に衝突した際の制御だけではなく、ロボット自身の物理的性能を上げることも重要である。本研究期間では、ロボット自身の物理的性能向上に取り組んだ。具体的には、スイベルジョイントを用いた流体噴射ノズルの稼働域拡大に取り組み、噴射により実現可能な力の範囲を増やして外乱に対応しやすい新しいロボットを製作した。

## 4. 研究成果

### (1) ホースの高次モードの動的挙動の安定性確保

導出したモデルをもとに、分布流体力が行う仕事を負にできる（安定性向上に役立つ）ような制御系を構築し、シミュレーションと実験によりその効果を検証した。図 1A-C は実験に用いた 2.4m のロボットを示している。先端にノズルユニット(図 1C)が搭載され、2つのノズルの方向を能動的に変えて提案制御を実現する。図 1D は提案制御を用いたロボットに初期外乱を与えた際の、先端高さの時間応答を示している。流速を変えながら同様の実験を行っている。このグラフから、流速が上がるにつれて制振性能が上がっていることが確認できる。また、シミュレーションの結果、流速を上げるにつれ、高次モードがより抑制できることが示された。これらの研究成果は、学際論文として IEEE Access に採択された(文献①)。

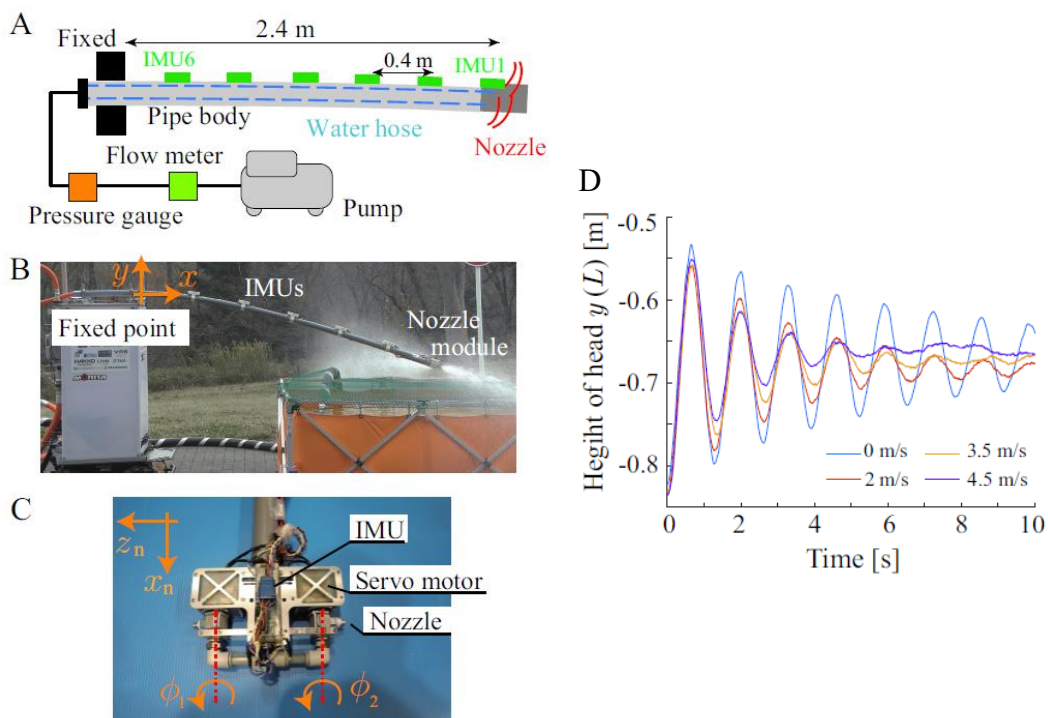


図 1 開発した実験ロボット(A-C) と 提案制御下での先端高さの時間変位(D)

流体ノズル制御によって、送水ホースを安定に浮上させる研究は世界的にもあまりなされておらず、今後これらの知見を、3次元運動やより柔軟なホースの運動へ応用することで、学術的な知見を増やすことができると期待される。

### (2) ホースのねじれの影響最小化

提案したノズルユニットについて、簡易モデルを用いて安定性の理論検証を行った。結果、ノズルユニットの重心位置が幾何的条件を満たせば、ノズルユニットの姿勢は合力の方向を追従できることが分かった。本ノズルユニットは実際に試作され、合力の方向に対してのノズルが追従することが示された。本機構は特許として出願され、またロボット分野上位の査読付き論文誌

RALetter に採択, 並びに国際会議 IROS2021 で発表された (文献②). また, 当該ノズルを実際の 2m のロボットに搭載し (図 2A), ねじれの影響を受けずに大きく形状変形できることを実証, IEEE Access に採択された (文献③). 図 2B は, 文献③の実験において, ロボットが実際に変形した形状を表している. 図 2C はその際のノズルの姿勢とホースのねじれを表す. ノズルが大きくヨー回転する (ロボットが形状を左右に変える) につれて, ホースが大きくねじれる現象が確認できる. 一方でノズルのロール姿勢はほぼゼロに保たれており, 提案したノズルはホースのねじれの影響を受けていないことが分かる.

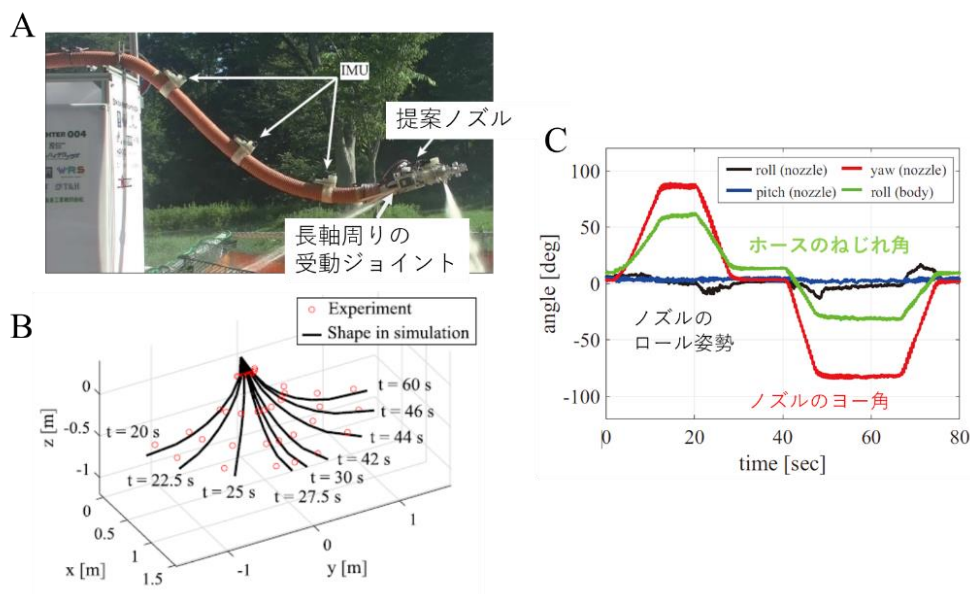


図 2 開発した実験ロボット(2m)(A)を, 左右に浮上変形させたときの形状変化(B)とノズル姿勢ならびにホースねじれの時間変化(C)

本結果は, 幾何的な制約でねじれを避けることのできない柔軟索状ロボットの分野において, ねじれの影響を解消する画期的な技術であると期待される.

### (3)-① 並進外乱に対するホースの振動抑制

移動体の外乱を考慮した浮上制御方法を提案した. また, これを実際のロボットに適応するために, 制御に用いるロボットモデルの物理パラメータ推定を, 当初の計画内容を拡充して行った. 具体的には, 静的な引張試験によるロボット胴体 (柔軟索状体) の水圧を考慮した弾性特性の測定と, 動的な加振実験を通じた索状体のダンパ特性の測定, さらに実際の浮上形状から索状体の持つ曲げ癖の推定を行い, これらの特性を物理パラメータとして組み入れた簡易ロボットモデルを構築した. このモデルを用いて構築した制御系を 4 m の実際のロボット ((4) 節に同じ) に適応し, 移動体の運動によるロボットの振動を抑制できることを確認した. 図 3 は, 移動体を共振周波数で振動させたときの, ロボット先端ノズルのピッチ姿勢の時間変化を示している. 提案法 (図 3B) では, 従来法 (図 3A) と比べて約 30%程度ピッチ振動を抑制できた. 本結果は学術論文として投稿し, 現在査読中である.

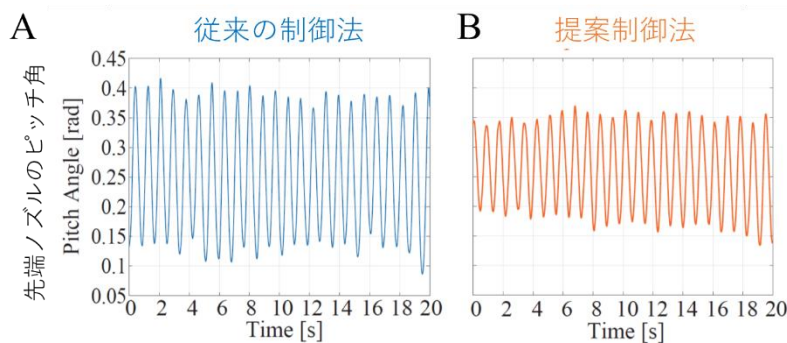


図 3 移動体の振動下における先端ノズルのピッチ振動 (A:従来法, B:提案法)

本研究では, ロボットモデルの物理パラメータ推定する際に, 当初の計画よりも内容を追加して実験を行った. これは, ホースの曲がり癖が, ホースの形状変化に応じて時間とともに無視できないオーダーで変わってしまったためである. 本問題は柔軟体に共通する問題であると考えられ, 本手法で取り扱った曲がり癖を考慮したモデル化方法は, 今後さらに発展させることで索状体のモデル化における普遍的な問題解決に寄与できると期待される.



### (3)-② ホースの形状制御

ホースを経路に沿って曲げながら運動させるために、ノズルの稼働制約を考慮した形状制御法を提案した(文献④)。シミュレーション上の4mのロボットで、適切な形状を選びながら、墜落せずに目標先端位置を追従することを実現した。実機(4m)においても、先端位置の目標経路(左右への円弧軌道)を与えて追従させたところ、形状を適切に制御し、ノズルユニットの姿勢変化を抑えて稼働制約を保ちながら、片側の最大横変位3m以上(従来は1m程度まで実現)の首振り運動を実現できた。本結果についても、後日学術論文として投稿を予定している。

### (4) 障害物との接触時の安定性維持のためのロボット開発

4mの空飛ぶ消火ホースロボットのプロトタイプを作成した(図4)。外乱への対応性能向上を目指したノズルの稼働範囲拡大(従来比2倍)や、さらなる長尺化を見据えたセンサシステムの通信信頼性向上も実現した。また、(3)の研究目的を見据えて、移動体による遠隔操作も可能にした。結果、ロボットは従来に比べてより安定した運動を実現できるようになった。これらの成果は、World Robot Summit 2020 福島大会におけるオープニングデモ実演・技術内容講演等、社会へのアウトリーチ活動につながった(文献⑤⑥)。本成果は学術論文として執筆中である。



図4 World Robot Summit 2020 福島大会におけるデモの様子

なお、当初の計画では障害物との接触時の制御方法も提案する予定であったが、上述した(3)-①のパラメータ推定とモデルの改良に時間を要し、提案できなかった。今後これらの課題についても取り組む予定にしている。

本研究では、柔軟索状体の流体噴射による安定浮上ならびにねじれの影響を考慮した形状変形を世界に先駆けて実現した。これらは、柔軟体を操るための本質的な問題を解決した学術的に重要な結果である。また、本研究成果は、自ら火災建物内に入ってゆき、直接水を火に当てて迅速に消火する消火ホースロボットの実現のための要素技術を開発したものであり、本成果を発展させることで迅速かつ安全な消火戦術を生み出すことが期待できる。

### <引用文献>

- ① Yuichi Ambe, Yu Yamauchi, Masashi Konyo, Kenjiro Tadakuma, Satoshi Tadokoro, “Stabilized Controller for Jet Actuated Cantilevered Pipe using Damping Effect of an Internal Flowing Fluid”, *IEEE Access*, vol. 10, pp. 5238-5249, (2022)
- ② Yu Yamauchi, Yuichi Ambe, Masashi Konyo, Kenjiro Tadakuma, Satoshi Tadokoro, “Passive Orientation Control of Nozzle Unit With Multiple Water Jets to Expand the Net Force Direction Range for Aerial Hose-Type Robots”, *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 6, no. 4, pp. 5634-5641, (2021)
- ③ Yu Yamauchi, Yuichi Ambe, Masashi Konyo, Kenjiro Tadakuma, Satoshi Tadokoro, “Realizing Large Shape Deformations of a Flying Continuum Robot With a Passive Rotating Nozzle Unit That Enlarges Jet Directions in Three-Dimensional Space”, *IEEE Access*, vol. 10, pp. 37646-37657, (2022)
- ④ 安部 祐一, 山内 悠, 前澤 侑大, 昆陽 雅司, 多田隈 建二郎, 田所 諭, 長尺浮上を目指した流体駆動型索状ロボットの形状最適化, 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2021), 2021年12月15-17日
- ⑤ 安部 祐一, “空飛ぶ消火ホースの技術紹介”, ワールドロボットサミット2020 福島大会 ロボティクスフォーラム, 2021年10月8日
- ⑥ World Robot Summit (ワールドロボットサミット), “WRS Opening Ceremony [Fukushima Venue]” [Video], YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=sJankj0VYNg&t=2598s>, 2021年10月8日

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 安部 祐一, 昆陽 雅司, 多田隈 建二郎, 田所 諭	4. 巻 40
2. 論文標題 流体噴射で浮上する柔軟索状ロボット	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本ロボット学会誌	6. 最初と最後の頁 310 ~ 314
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7210/jrsj.40.310	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamauchi Yu, Ambe Yuichi, Nagano Hikaru, Konyo Masashi, Bando Yoshiaki, Ito Eisuke, Arnold Solvi, Yamazaki Kimitoshi, Itoyama Katsutoshi, Okatani Takayuki, Okuno Hiroshi G., Tadokoro Satoshi	4. 巻 9
2. 論文標題 Development of a continuum robot enhanced with distributed sensors for search and rescue	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ROBOMECH Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40648-022-00223-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamauchi Yu, Ambe Yuichi, Konyo Masashi, Tadakuma Kenjiro, Tadokoro Satoshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Realizing Large Shape Deformations of a Flying Continuum Robot With a Passive Rotating Nozzle Unit That Enlarges Jet Directions in Three-Dimensional Space	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 37646 ~ 37657
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2022.3162835	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ambe Yuichi, Yamauchi Yu, Konyo Masashi, Tadakuma Kenjiro, Tadokoro Satoshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Stabilized Controller for Jet Actuated Cantilevered Pipe Using Damping Effect of an Internal Flowing Fluid	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 5238 ~ 5249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2022.3140760	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ando Hisato, Ambe Yuichi, Yamaguchi Tomoka, Yamauchi Yu, Konyo Masashi, Tadakuma Kenjiro, Maruyama Shigenao, Tadokoro Satoshi	4. 巻 34
2. 論文標題 Fire extinguishment using a 4m long flying-hose-type robot with multiple water-jet nozzles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 700 ~ 714
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01691864.2020.1769723	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hisato Ando, Yuichi Ambe, Yu Yamauchi, Yukihiro Maezawa, Masashi Konyo, Kenjiro Tadakuma, Hiroyuki Torikai, Shigenao Maruyama, Satoshi Tadokoro	4. 巻 -
2. 論文標題 Novel Fire Extinguishing Method using Flying-Hose-Type Robot Dragon Firefighter	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. International Symposium on Fire Safety Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamauchi Yu, Ambe Yuichi, Konyo Masashi, Tadakuma Kenjiro, Tadokoro Satoshi	4. 巻 6
2. 論文標題 Passive Orientation Control of Nozzle Unit With Multiple Water Jets to Expand the Net Force Direction Range for Aerial Hose-Type Robots	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 5634 ~ 5641
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2021.3082019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamaguchi Tomoka, Ambe Yuichi, Ando Hisato, Konyo Masashi, Tadakuma Kenjiro, Maruyama Shigenao, Tadokoro Satoshi	4. 巻 4
2. 論文標題 A Mechanical Approach to Suppress the Oscillation of a Long Continuum Robot Flying With Water Jets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 4346 ~ 4353
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/Lra.2019.2932582	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ando Hisato, Ambe Yuichi, Yamaguchi Tomoka, Konyo Masashi, Tadakuma Kenjiro, Maruyama Shigenao, Tadokoro Satoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Fire Fighting Tactics with Aerial Hose-type Robot “Dragon Firefighter”	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. 2019 IEEE International Conference on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO)	6. 最初と最後の頁 291 ~ 297
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ARSO46408.2019.8948716	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fujikawa Takumi, Yamauchi Yu, Ambe Yuichi, Konyo Masashi, Tadakuma Kenjiro, Tadokoro Satoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of Practical Air-floating-type Active Scope Camera and User Evaluations for Urban Search and Rescue	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. 2019 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR)	6. 最初と最後の頁 1 ~ 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SSRR.2019.8848966	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計29件 (うち招待講演 17件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 安部 祐一
2. 発表標題 空飛ぶ消火ホースの技術紹介
3. 学会等名 ワールドロボットサミット2020福島大会 ロボティクスフォーラム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前澤 侑大, 山内 悠, 安部 祐一, 昆陽 雅司, 多田隈 建二郎, 円山 重直, 田所 諭
2. 発表標題 連続体の剛体多リンクモデルにおけるバネ定数及び曲がり癖パラメータの推定手法に関する研究
3. 学会等名 ROBOMECH2022
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 安部 祐一, 山内 悠, 前澤 侑大, 昆陽 雅司, 多田隈 建二郎, 田所 諭
2. 発表標題 長尺浮上を目指した流体駆動型索状ロボットの形状最適化
3. 学会等名 SI2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前澤 侑大, 山内 悠, 安部 祐一, 昆陽 雅司, 多田隈 建二郎, 円山 重直, 田所 諭
2. 発表標題 遠隔操作可能な空飛ぶ消火ホースの外乱を考慮した安定浮上に関する研究
3. 学会等名 SI2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前澤 侑大, 山内 悠, 安部 祐一, 安藤 久人, 昆陽 雅司, 多田隈 建二郎, 円山 重直, 田所 諭
2. 発表標題 空飛ぶ消火ホースの遠隔操作を目指した根本台車の制御方法の検討 --台車運動が安定浮上に与える影響の分析--
3. 学会等名 SC12021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安部 祐一, 昆陽 雅司, 多田隈 建二郎, 田所 諭
2. 発表標題 片持ち送水管の流体噴射による安定浮上制御
3. 学会等名 SC12021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山内 悠, 安部 祐一, 昆陽 雅司, 多田隈 建二郎, 田所 諭
2. 発表標題 分布繊毛推進機構により駆動される柔軟索状ロボットのモデルの評価と分散制御の検討
3. 学会等名 SSI2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Satoshi Tadokoro
2. 発表標題 ImPACT Tough Robotics Challenge and Use in Disasters
3. 学会等名 2020 IEEE International Symposium on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Satoshi Tadokoro
2. 発表標題 ImPACT Tough Robotics Challenge and Use in Disasters
3. 学会等名 Seminar Series by Hong Kong Centre for Logistics Robotics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田所諭
2. 発表標題 ImPACTタフ/ロボティクス/チャレンジの取り組み
3. 学会等名 防災学術連携体講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前澤侑大, 山内悠, 高橋優太, 郷初瑠, CHING QUEK Alvin, ANUBRATA Nath, 安藤久人, 安部祐一, 昆陽雅司, 多田隈建二郎, 圓山重直, 田所諭
2. 発表標題 根本台車の遠隔操作を可能にした空飛ぶ消火ホースロボットの評価システムの開発
3. 学会等名 SI2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山内 悠, 前澤 侑大, 高橋 優太, 郷 初瑠, Quek Ching Alvin, Nath Anubrata, 安藤 久人, 安部 祐一, 昆陽 雅司, 多田隈 建二郎, 圓山 重直, 田所 諭
2. 発表標題 信頼性を向上させた水噴射により浮上する索状ロボットの開発
3. 学会等名 ROBOMECH2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山口 智香, 安部 祐一, 安藤 久人, 昆陽 雅司, 多田隈 建二郎, 円山 重直, 田所 諭
2. 発表標題 浮上型索状ロボットのためのワイヤを用いた受動的制振機構の性能評価
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤 久人, 安部 祐一, 山口 智香, 昆陽 雅司, 多田隈 建二郎, 円山 重直, 田所 諭
2. 発表標題 空飛ぶ消火ホースロボットの長尺化を考慮した流路設計
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口 智香, 安部 祐一, 安藤 久人, 山内 悠, 昆陽 雅司, 多田隈 建二郎, 円山 重直, 田所 諭
2. 発表標題 空飛ぶ消火ホースのための受動噴射ノズルの開発
3. 学会等名 第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安部 祐一, 山内 悠, 昆陽 雅司, 多田隈 建二郎, 田所 諭
2. 発表標題 大変形する柔軟送水ホースの流体力を考慮したモデル化に関する考察
3. 学会等名 第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Tadokoro
2. 発表標題 ImPACT Tough Robotics Challenge - A national project of Japan Cabinet Office on disaster robotics
3. 学会等名 IEEE/RSJ International Conference on Robots and Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Tadokoro
2. 発表標題 ImPACT Rough Robotics Challenge
3. 学会等名 International Tribology Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Tadokoro
2. 発表標題 ImPACT Tough Robotics Challenge
3. 学会等名 Great Bay Area Summit on Robotics and Artificial Intelligence (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Tadokoro
2. 発表標題 ImPACT Tough Robotics Challenge for diaster response and recovery
3. 学会等名 KIRO DRC - IRS International Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Tadokoro
2. 発表標題 ImPACT Tough Robotics Challenge
3. 学会等名 HeKKSaGON Workshop on Robotics and Artificial Intelligence (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Tadokoro
2. 発表標題 Tough robotics - Results of ImPACT Tough Robotics Challenge
3. 学会等名 Bilateral Workshop between Tohoku University and National Tsing Hua University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田所諭
2. 発表標題 ImPACTタフ・ロボティクス・チャレンジ
3. 学会等名 SSII2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田所諭
2. 発表標題 ImPACTタフ・ロボティクス・チャレンジ
3. 学会等名 日本機械学会設計工学・システム部門講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田所諭
2. 発表標題 ImPACTタフ・ロボティクス・チャレンジ
3. 学会等名 放送大学栃木学習センター公開講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田所諭
2. 発表標題 ImPACTタフ・ロボティクス・チャレンジの成果と東北大学タフ・サイバーフィジカルAI研究センターへの発展
3. 学会等名 ROBOMECH2019フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 田所諭
2. 発表標題 ImPACTタフ・ロボティクス・チャレンジ
3. 学会等名 多摩川精機技術フォーラム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田所諭
2. 発表標題 ImPACTタフ・ロボティクス・チャレンジ
3. 学会等名 多摩川精機技術フォーラム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田所諭
2. 発表標題 ImPACTタフ・ロボティクス・チャレンジ
3. 学会等名 多摩川精機技術フォーラム（招待講演）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Satoshi Tadokoro et al.	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 534
3. 書名 Disaster Robotics - Results from the ImPACT Tough Robotics Challenge	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 流体噴射装置	発明者 安部 祐一, 山内 悠, 昆陽 雅司, 多田 隈 建二郎, 田所 諭	権利者 東北大学
産業財産権の種類、番号 特許、P2022-186397A	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	昆陽 雅司 (Konyo Masashi) (20400301)	東北大学・情報科学研究科・准教授  (11301)	
研究分担者	多田隈 建二郎 (Tadakuma Kenjiro) (30508833)	東北大学・タフ・サイバーフィジカルAI研究センター・准教授  (11301)	
研究分担者	安部 祐一 (Ambe Yuichi) (90778622)	大阪大学・基礎工学研究科・助教  (14401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
米国	NIST	Texas A&M University	