

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：11301

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2018～2022

課題番号：18H05471

研究課題名(和文)超柔軟素材を用いた分岐・伸展トラス機構を基軸とするロボット駆動体の設計と具現化

研究課題名(英文)Design and embodiment of robotic driver based on branched and extension torus mechanism using super flexible materials

研究代表者

多田 隈 建二郎 (Tadakuma, Kenjiro)

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

研究者番号：30508833

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 74,100,000円

研究成果の概要(和文)：分岐・伸展を行う生物学的トラス構造として、植物の根では不可能な応答性・可逆性を有するより高次機能を実現させているヒモムシ吻構造に着目し、生物学者と共同で研究開発を遂行し、分岐動作、戻し動作・操舵動作のそれぞれを可能にする機械モデルの原理創案と実機具現化に成功した。その研究過程でも、加圧式の柔剛切替え要素や外界からの身体保護のための柔剛を併せ持つウロコ状の機構など各種機構要素を創出した。さらに、分岐部分を自由に構築できるという概念をより推し進め、傷口ができて自ら能動修復させるというロボット血管機構の研究を遂行し、2液体の混合による能動自己修復機能の実現に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果として、ヒモムシ分岐構造においては生物学的にも完全解明がなされていない吻構造の機能を構成論的に研究遂行し、展開動作、戻し動作・操舵動作を可能にさせる実機を具現化させた点は学術的に著しく高い意義がある。また、本機構は災害対応の際の狭隘部調査や、体内でのステントグラフトにも応用可能であるため、社会的意義という点においても非常に価値のある原理を創出できたと言える。さらに、このヒモムシ吻構造の工学的実現の過程で生み出された柔剛切替え機構やウロコ状機構などの各種要素は、ソフトロボット分野においても屋外移動・作業での力学的接触を考慮に入れての設定であるため、学術的に非常に高い意義がある。

研究成果の概要(英文)：Focusing on the proboscis of nemertea structure as a biological torus structure that performs branching and extending, and which realizes higher-order functions with responsiveness and reversibility not possible with plant roots, we conducted R&D in collaboration with biologists and succeeded in creating the principle of a mechanical model that enables branching, returning, and steering movements, as well as in realizing the actual device. In the process of this research, we also created various mechanical elements, such as a pressurized soft-rigid switching element and a scaly mechanism that combines softness and rigidity to protect the body from the outside environment. In addition, the concept of freely constructable branches was further advanced, and research on a robotic blood vessel mechanism that can actively repair itself even if it has wounds was carried out, and an active self-repair function by mixing two liquids was successfully realized.

研究分野：ロボット機構学

キーワード：ロボット機構 柔軟機構 メカニズム設計 柔剛切替え 生物抽能 位相機構 トラス構造

1. 研究開始当初の背景

これまでに、約 50 年前からも蛇型や蠕動運動、さらには 4 脚など様々な生物規範型のロボットが研究開発されてきた。しかしながら、植物の木の枝や根のように分岐して伸展するロボットの構造例は我々の知る限りなく、このような構造を実現することは、科学的にはその構成論的な手法により仕組みそのものの理解の促進が期待され、工学的には新しい展開機構の知見拡張と、狭隘部探索装置への応用など、価値のある取り組みとなる。我々は、研究チーム内で培ってきているトーラス機構を用いてこの伸展機構の具体的構造の創案と実機具現化を実施する。また、近年、ソフトロボティクスの分野で様々な柔軟なロボットの研究開発が盛んに行われている。柔軟性の高さを生かし、従来の剛体のロボットでは実現が困難であった生物的な多自由度の動作生成や大変形性、衝撃の吸収性、人体親和性を付与することが可能となる。当ソフトロボティクス分野において、構造の剛性を切り替えることが可能な柔剛切替機構が多数報告されている。大きな受動的および能動的変形が必要なロボットには柔軟な構造が必要であるが、一方で正確な位置制御を行うために外力やロボットの自重で変形しない高剛性な構造も求められる。そこで剛性を任意に切り替えられる機構は、両方の機能が必要な用途への適用が期待されている。これらの観点からも、伸展機構の具体的構造の創案と実機具現化の過程において、機構要素としての柔剛切替え機構などの創出も行い、学術的な体系化に貢献することも視野に入れる。

2. 研究の目的

本研究計画では、柔剛切替え機構などのメカニズムと、形状記憶ゲルなどの柔軟素材との融合技術を研究コアとして設定し、分岐・伸展が可能な膨張式の枝分かれロボット機構を実装するための設計論・具現化手法の確立を目指す。具体的には、伸縮式のトーラス構造に基づいて先端部で内部から外側に反転しながら伸張していく植物根・ヒモムシ吻など生物構造や機能を抽出したロボット機構を構築する過程において、実装事例を複数生み出す。そして、実機具現化の際に必要な本質的要素の抽出を行う。基礎的原理が創出され体系化されれば、究極には全方向に自由な伸展と全体形状を生み出す機構、つまり形の制約が無いロボットの構築を実現する原理につながり、学術的に価値が高いものである。この実現に向けての各種基礎要素原理の創出を本研究の大目的とする。

3. 研究の方法

上記背景のもと、目標達成にあたり、可能な限り学術的新規性を高めたうえで、実際に実体として存在し得る構造を基本原理レベルから創案する。次に、その創案した基本原理に基づいて、実機を設計・試作する。具現化した実機を用いた実験により、創案した基本原理の効果・特性を確認する。このような創案から実機具現化、検証までの過程を何度もループとして研究期間内に繰り返しスパイラル状に実施することで、可能な限り研究の質を高めるという方法を取る。

4. 研究成果

下記のように、ヒモムシ吻機構と、その創出の過程で出てきた 3 つのテーマ内容が成果として挙げられる。

(1) ヒモムシ吻機構

長尺移動体は車輪型のロボットが踏破できない軟弱地帯でも、表面全体で駆動力を発生させたりロボット全体を根本で支えながら先端を伸ばしたりすることで移動できる。また一般に細い構造で構成できることから、狭隘・複雑な地形内の探索にも有効性である。さらにその中でも体表面が循環するトーラス型構造体は環境と摺動せず移動できることから、脆弱な環境においても高い推進能力を有する。

トーラス構造体の操舵手法として、Mishima, Hiroseらは先端に硬い操舵機構をもつ先端伸展型ロボットを提案している。この手法は伸展時に操舵機構を環境と接触させ、体が受動的に変形することで環境に適応しながら推進する仕組みである。簡素な構成だが、環境に大きな力を加えるため用途が限定的である。Coad, Allisonらが提案したのは、体を収縮する膜状のアクチュエータで構成することで構造全体を一様に湾曲させる方法は、湾曲の曲率に限界があり、またS字のような複数の湾曲部を持つ形状に変形できないため、環境に負荷を与える恐れがある。Kiryu, Kitagawaらの提案する手法では湾曲形状をロックすることができるので任意軌跡を無摺動で推進できるが、加圧面積を大きく取れないことや先端の戻し動作に課題を残している。



図 1 : 分枝式トーラス型展開機構の実機外観

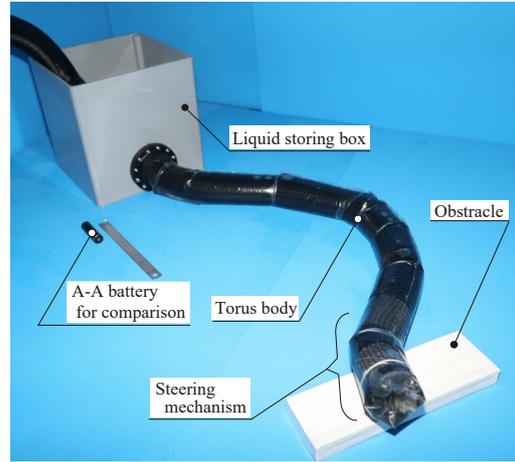


図 2 : 非密閉型トーラス機構の実機写真

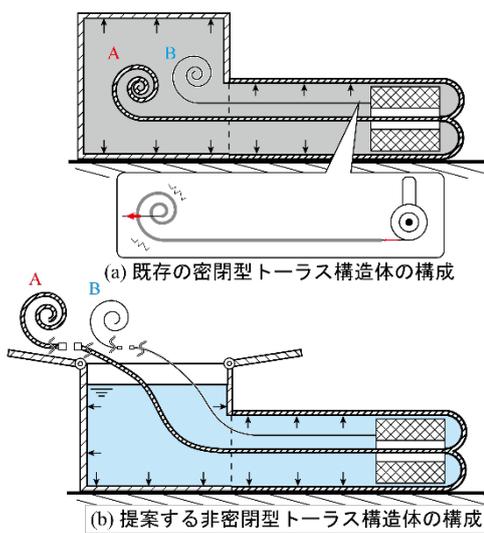


図 3 : 従来型の密閉型との構造比較図

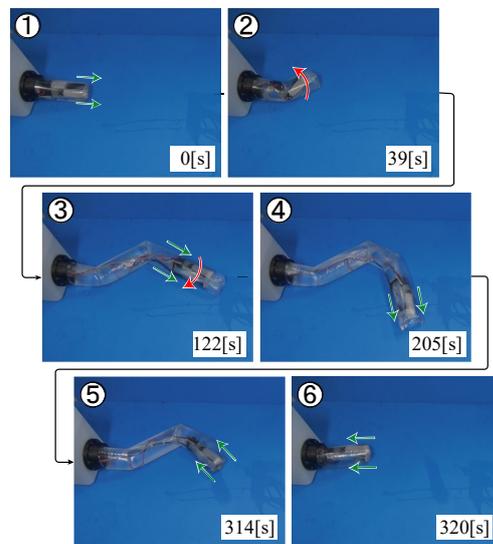


図 4 : 実機を用いた操舵実験の様子

このような従来研究と我々の機構技術のノウハウを鑑み、本研究では分枝機能としては図 1 の圧縮性流体を用いた展開機構を、また戻し・操舵機能としては図 2 - 4 にそれぞれ示すように、内部に比重の大きい非圧縮性流体を用いることで、環境からの反力を必要としない操舵及び推進軌跡の固定手法の原理を創案・実機具現化した。また後者の手法の具現化のために作動流体に液体を用いることで上面を開放し、チューブ状操舵機構をトーラス構造体と独立して動かすことでシンプルな構成で操舵動作を実現した。これにより、二次元平面上での任意方向操舵、段差乗り越え、そして先端からの戻し動作の 3 つの機能を有する長尺伸展ロボットの実機具現化を達成した[2]。

(2) 柔剛切替機構

柔軟な材料と高剛性構造を組み合わせることは、柔剛切替機構を具現化する際に最も一般的な方法である。具体的な方法としては、負圧方式、ワイヤ方式、および温度を使用した相変化方式が挙げられる。摩擦を利用して剛性を切り替える負圧方式は、袋内の粉体やレイヤに負圧を加えて互いに接触させることで高剛性化する。この方法は、充填物を覆う袋の形状を任意に決められ、負圧が印加されていない状態では、外力により袋が大きく変形可能である。しかし、最大駆動圧は 0.1MPa であり、充填物は柔軟な袋で覆われているため、袋に鋭利な物体を押し付けた場合に破損し、機能不全に陥る可能性がある。

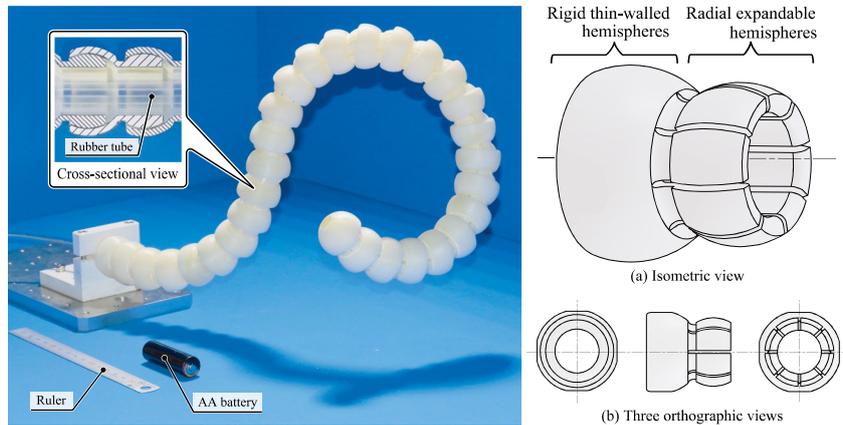


図5：創案した加圧式1次元ジャミング機構の外観（左）および1ユニット構造（右）

本研究では、図5に示すように、加圧により剛性を切り替えるボール型ジョイントを用いた柔剛切替機構の基本原理の創案と実機具現化を実施した。実際に試作した実機を用いた実験によって、保持性能を評価の1つとして、関節角度を保持するためのトルクを評価するため、ピッチ方向とロール方向それぞれ理論モデル構築とFEM解析、実測を行った。ロール方向の保持トルクはピッチ方向の保持トルクより $\pi/2$ 倍大きくなることを確認した[1]。

(3) ウロコ状保護機構

一般に、ソフトロボットはエラストマや繊維などの素材を主体に作られている。これらは伸縮性に富む一方、破れやすいため、鋭利な対象物と頻繁に接触する作業に不向きである。特に、内部の流体や粉体を利用したアクチュエータやグリップの多くは、わずかでも破れると機能不全に陥るため、使用環境が限定される。耐刃防護の観点から、柔軟構造体の破損防止を目指した研究が様々行われている。その方法として、i)柔軟材料そのものの耐久性の向上、ii)自己修復性機能の付与、iii)耐切削性の繊維の活用、iv)折紙構造の導入、v)ウロコ状保護外皮の導入、が提案されている。特に、本研究で着目するウロコ状機構は、原理的に柔軟性と耐穿刺性を両立できる方法であり、高い保護性能を実現し得るものである。鱗構造は、魚類、爬虫類、昆虫など自然界に見られる様々な生物が獲得しており、収斂進化の結果として動物群を超えて見られることから、その有用性を確認する

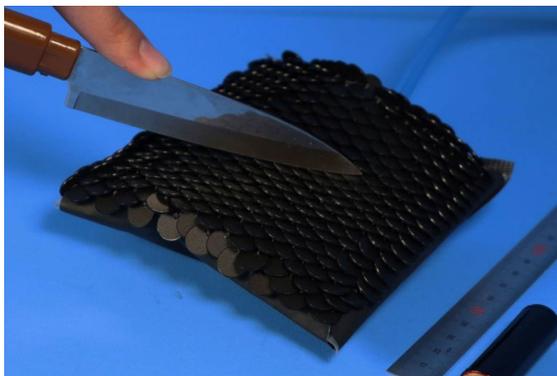


図6：柔剛兼備なウロコ状保護機構の実機外観

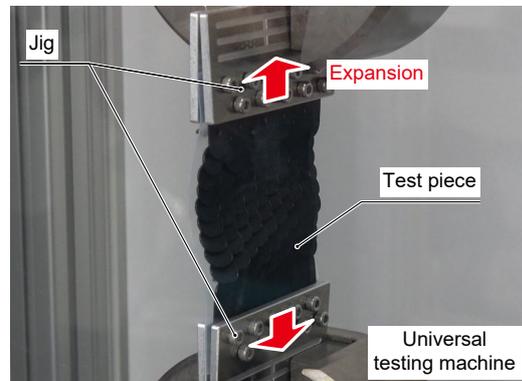
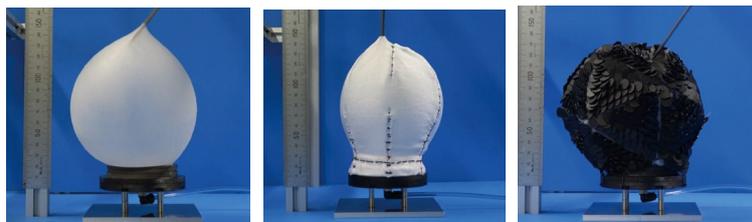


図7：伸展性確認実験の様子



(a) No protection (b) With cut resistant fabric (c) With scaled mechanism

図8：従来版と比較しての保護機能の確認

本研究では、図6に示すように、直縫付け方式で構成したウロコ状機構の創案と実機具現化を実施した。その過程において、創案構造の設計手法と基本特性を明らかにし、柔軟構造体の動作を妨げない伸縮機能（図7）、一方で保護装置として機能すること（図8）を実機を用いた基本実験を通して確かめた[1]。

(4) ロボット血管機構

材料の分野においては、高分子材料を中心に自己修復機能を持つ材料の研究開発が進められている。しかしながら、これらの自己修復性材料は、自己修復の際に外部からの紫外線照射や加熱といったエネルギー供給の必要や、破損部分の密着を維持する必要がある。また、砂塵などの不純物が多数存在する環境下においては、断面に不純物が付着することで、自己修復後の強度が低下してしまう。自己修復機構に着目し、穴が空いても機能を回復する研究も進められている。例えば吸水性ポリマーの膨張を利用することで、傷口を塞ぐ方法が提案されている。しかし、従来の手法の多くは一定大きさ以上の損傷に対して自己修復することが困難である。

これらの問題を鑑み、我々はソフトロボットにおいて迅速かつ能動的に自己修復を可能とするソフトロボット血管機構を考案した。本稿は、ソフトロボット血管機構のバルーン構造への実装を見据えて行った、プレート状の母材に対して、膨張圧力を加えた状態での自己修復能力の評価実験結果について報告する。

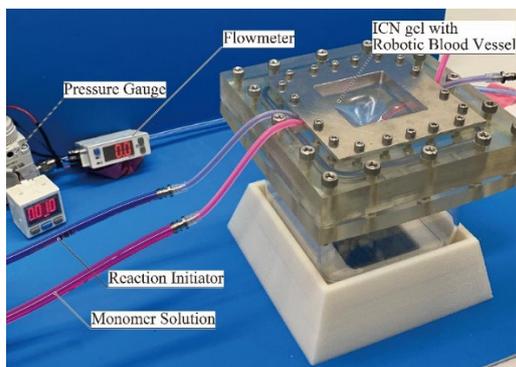


図 9 : 創案したロボット血管機構の実機外観

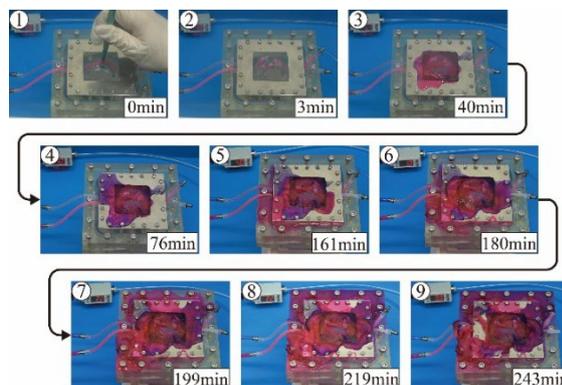


図 10 : 能動自己修復の様子



図 11 : 貫通傷部の自己修復後の外観

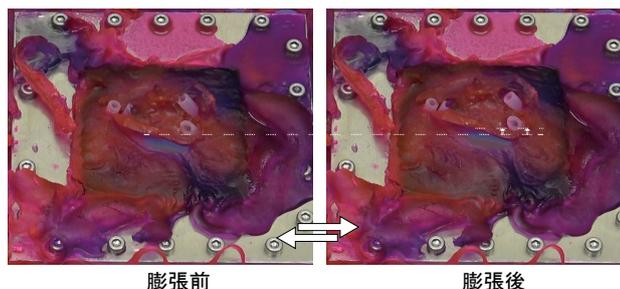


図 12 : 内圧付加によって膨張機能の回復の確認

本研究では、図 9—11 に示すように、ソフトロボット、特にバルーン状構造の、損傷のしやすさの問題に対して、生体における血液のように傷口を塞ぐことで能動的に自己修復を行うロボット血管機構を原理創案・実機具現化した。また、実際に試作した実機を用いた基本実験を通して、創案した機構が有する修復性能について評価を行い、創案機構の基本的な有効性について確認した[3]。

以上より、分岐構造を有するヒモムシ吻機構の工学的実現とその過程での各種機構要素の創出は、ソフトロボット学の発展に確実に貢献できる学術的新規性を有し、体系化へも寄与することができる成果を生むことにつながった。この場をお借りして感謝を申し上げます。

<引用文献>

- [1]Kenjiro Tadakuma, SOFUMO2.0 コンソーシアム キックオフシンポジウム, "Beyond Soft Robotic Mechanisms", 14:20-14:50, 山形大学工学部百周年記念会館+Web のハイブリッド, 2022 年 10 月 29 日.
- [2]Tomoya Takahashi, Kenjiro Tadakuma, Masahiro Watanabe, Eri Takane, Natsumi Hookabe, Hiroshi Kajihara, Takeshi Yamasaki, Masashi Konyo, and Satoshi Tadokoro, "Eversion Robotic Mechanism with Hydraulic Skeleton to Realize Steering Function", IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 6, no. 3, pp. 5413-5420, Jul. 2021. DOI: 10.1109/LRA.2021.3073653.
- [3]猪股翔平, 飯島哲朗, 山崎裕太, 恩田一生, 高橋知也, 渡辺将広, 多田隼建二郎, 古川英光, 昆陽雅司, 田所諭, "自己修復機能を実現するソフトロボット血管機構", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020, 1P2-J16, 金沢(オンライン開催), 2020 年 5 月 27-29 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 0件）

1. 著者名 Akira Fukuhara, Megu Gunji, Yoichi Masuda, Kenjiro Tadakuma, and Akio Ishiguro	4. 巻 34
2. 論文標題 Flexible Shoulder in Quadruped Animals and Robots Guiding Science of Soft Robotics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 304-309
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2022.p0304	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 Gen Endo, Kaisei Yamagishi, Yuta Yamanaka, and Kenjiro Tadakuma	4. 巻 34
2. 論文標題 Development of High-Durability Flexible Fabrics Using High-Strength Synthetic Fibers and its Application to Soft Robots	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 266-269
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2022.p0266	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 Kenjiro Tadakuma, Masaru Kawakami, and Hidemitsu Furukawa	4. 巻 34
2. 論文標題 From a Deployable Soft Mechanism Inspired by a Nemertea Proboscis to a Robotic Blood Vessel Mechanism	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 234-239
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2022.p0234	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 Tomoya Takahashi, Masahiro Watanabe, Kenjiro Tadakuma, Eri Takane, Masashi Konyo, and Satoshi Tadokoro	4. 巻 6
2. 論文標題 Two-Sheet Type Rotary-Driven Thin Bending Mechanism Realizing High Stiffness	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 8333-8340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2021.3105744	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 Tomoya Takahashi, Kenjiro Tadakuma, Masahiro Watanabe, Eri Takane, Natsumi Hookabe, Hiroshi Kajihara, Takeshi Yamasaki, Masashi Konyo, and Satoshi Tadokoro	4. 巻 6
2. 論文標題 Eversion Robotic Mechanism with Hydraulic Skeleton to Realize Steering Function	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 5413-5420
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2021.3073653	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 Takahashi Tomoya, Watanabe Masahiro, Tadakuma Kenjiro, Konyo Masashi, Tadokoro Satoshi	4. 巻 5
2. 論文標題 Retraction Mechanism of Soft Torus Robot With a Hydrostatic Skeleton	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 6900 ~ 6907
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2020.3019736	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 Watanabe Masahiro, Tadakuma Kenjiro, Konyo Masashi, Tadokoro Satoshi	4. 巻 NA
2. 論文標題 Bundled Rotary Helix Drive Mechanism Capable of Smooth Peristaltic Movement	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 1 ~ 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2020.2986993	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 Rio Mukaide, Masahiro Watanabe, *Kenjiro Tadakuma, Yu Ozawa, Tomoya Takahashi, Masashi Konyo, and Satoshi Tadokoro	4. 巻 TBD
2. 論文標題 Radial-Layer Jamming Mechanism for String Configuration	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters, Mar. 2020	6. 最初と最後の頁 TBD
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2020.2983679	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 Masahiro Watanabe, *Kenjiro Tadakuma, Masashi Konyo, and Satoshi Tadokoro	4. 巻 TBD
2. 論文標題 Bundled Rotary Helix Drive Mechanism Capable of Smooth Peristaltic Movement	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters,	6. 最初と最後の頁 TBD
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2020.2986993	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 多田隈建二郎, 古川英光	4. 巻 122
2. 論文標題 トラス駆動形の究極の柔軟ロボット機構を創造する	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本機械学会誌 特集 ソフトロボット学	6. 最初と最後の頁 25-27
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 -

[学会発表] 計50件 (うち招待講演 23件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Masahiro Watanabe, Yuto Kemmotsu, Kenjiro Tadakuma, Kazuki Abe, Masashi Konyo, and Satoshi Tadokoro
2. 発表標題 Toroidal Origami Monotrack: Mechanism to Realize Smooth Driving and Bending for Closed-Skin-Drive Robots
3. 学会等名 2022 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), MoA-8.6, pp. 480-487, Kyoto, Japan, Oct. 23-27 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kenjiro Tadakuma
2. 発表標題 Topological Robotic Mechanism Design
3. 学会等名 A Special Robotics Seminar: Stanford University, MERL 203 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kenjiro Tadakuma
2. 発表標題 Advanced Mechanisms Design for Robotics
3. 学会等名 Thought-leadership Series - AI and Robotics for Garment Industry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kenjiro Tadakuma
2. 発表標題 Beyond Soft Robotic Mechanisms
3. 学会等名 SOFUMO2.0コンソーシアム キックオフシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kenjiro Tadakuma
2. 発表標題 Inventing Robotic Mechanisms
3. 学会等名 2022 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kenjiro Tadakuma
2. 発表標題 Homeomorphic Mechanisms: Topological Robot Mechanism Design
3. 学会等名 V-RITA2022 2nd Edition of Robot Intelligence Technology and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kenjiro Tadakuma
2. 発表標題 Robo-Mechanisms: How to Ideate & Invent them?
3. 学会等名 GSEIME2022 2nd Global Summit and Expo on Industrial and Manufacturing Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 多田隈 建二郎
2. 発表標題 細胞シート工学への貢献のためのロボット機構の原理創案・実機具現化
3. 学会等名 未来医学研究会 マンスリーセミナーVOL.23 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 多田隈 建二郎
2. 発表標題 ロボット機構の原理創案・実機具現化の実際 - 移動ロボット機構から細胞シート用ヘラ機構に至るまでの過程 -
3. 学会等名 RC-52 第70回 バイオ・マイクロ・ナノテク研究会 特別講演会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 多田隈 建二郎
2. 発表標題 第6章「ソフトロボットの機能と制御」
3. 学会等名 ソフトロボット学入門-基本構成と柔軟物体の数理- 日本機械学会講習会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Zebing Mao, 植田大輝, 難波江裕之, 前田真吾, Young ah Seong, 藤枝俊宣, 多田隈建二郎, 澤田秀之, 宮川祥子, 鈴森康一
2. 発表標題 摘便シミュレータの開発
3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会, 4K1-08, 2022年9月5-9日.
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福原洸, 郡司芽久, 増田容一, 多田隈建二郎, 石黒章夫
2. 発表標題 四脚動物の柔軟な肩部の運動機能の理解に向けた膜様筋骨格ロボットの開発
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2022, 2A2-J07, 札幌, 2022年6月1-4日
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈞持優人, 高橋景虎, 阿部一樹, 渡辺将広, 多田隈建二郎, 昆陽雅司, 田所諭
2. 発表標題 有機流体型アクチュエータ
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2022, 2A2-J07, 札幌, 2022年6月1-4日
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡辺将広, 鈞持優人, 前澤侑大, 阿部一樹, 多田隈建二郎, 昆陽雅司, 田所諭
2. 発表標題 トラス型折紙クローラー -折紙蛇腹構造に沿った袋状外皮の循環と湾曲変形の機構の考案-
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2022, 2A2-S05, 札幌, 2022年6月1-4日
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山岸海聖, 遠藤玄, 多田隈建二郎, 難波江裕之, 鈴森康一
2. 発表標題 高強度柔軟布のロボット応用に向けた屈曲耐久性評価 –第2報: 重荷重試験機の設計と屈曲試験–
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2022, 2A2-S07, 札幌, 2022年6月1-4日
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 劔持優人, 高橋景虎, 阿部一樹, 渡辺将広, 多田隈建二郎, 昆陽雅司, 田所諭
2. 発表標題 可食浮沈型駆動メカニズム
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2022, 2P1-K03, 札幌, 2022年6月1-4日
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 劔持優人, 高橋景虎, 佐野峻輔, 阿部一樹, 渡辺将広, 多田隈建二郎, 昆陽雅司, 田所諭
2. 発表標題 ワセリン蓋式柔軟封入機構
3. 学会等名 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
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kenjiro Tadakuma, Shohei Inomata, Yuta Yamazaki, Fumiya Shiga, Masanori Kameoka, MD Nahi Islam Shiblee, Issei Onda, Tomoya Takahashi, Yu Ozawa, Masahiro Watanabe, Hidemitsu Furukawa, Masashi Konyo, and Satoshi Tadokoro
2. 発表標題 Robotic Blood Vessel Mechanism for Self-Healing Function of Soft Robots
3. 学会等名 The 11th JFPS International Symposium on Fluid Power (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名	Tomoya Takahashi, Masahiro Watanabe, Kenjiro Tadakuma, Eri Takane, Masashi Konyo, and Satoshi Tadokoro
2. 発表標題	Two-Sheet Type Rotary-Driven Thin Bending Mechanism Realizing High Stiffness
3. 学会等名	IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) 2021 (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	猪股翔平, 山崎裕太, 志賀郁也, 亀岡将成, MD Nahin Islam Shiblee, 恩田一生, 高根英里, 渡辺将広, 多田隈建二郎, 古川英光, 昆陽雅司, 田所諭
2. 発表標題	能動自己修復性ロボット血管機構, -吸水性表面による修復能力の向上-
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2021
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	釘持優人, 金田侑, 西谷誠治, 戸島亮, 高根英里, 渡辺将広, 多田隈建二郎, 昆陽雅司, 田所諭
2. 発表標題	袋内のMR流体に磁束を伝播する磁性ピンアレイグリッパ機構 磁束伝播性能・剛性可変性・物体把持性能の評価
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2021
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Anubrata NATH, Masahiro WATANABE, Eri TAKANE, Kenjiro TADAKUMA, Masashi KONYO, and Satoshi TADOKORO
2. 発表標題	Deformation Property of Space-Filling Mechanism Fabricated through Continuous Threading of Beads
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2021
4. 発表年	2021年

1. 発表者名 渡辺将広, 多田隈建二郎, 昆陽雅司, 田所諭
2. 発表標題 任意の形状保持と可変剛性を実現する空圧式弾性線状体
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2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋優太, 高根英里, 渡辺将広, 多田隈建二郎, 昆陽雅司, 田所諭
2. 発表標題 断面2次モーメントを活用した柔剛切替機構 柔剛切替性能の評価と車輪への応用
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2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoya Takahashi, Kenjiro Tadakuma, Masahiro Watanabe, Eri Takane, Natsumi Hookabe, Hiroshi Kajihara, Takeshi Yamasaki, Masashi Konyo, and Satoshi Tadokoro
2. 発表標題 Eversion Robotic Mechanism with Hydraulic Skeleton to Realize Steering Function
3. 学会等名 2021 IEEE 4th International Conference on Soft Robotics (RoboSoft) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ssei Onda, Masahiro Watanabe, Kenjiro Tadakuma, Eri Takane, Masashi Konyo, and Satoshi Tadokoro
2. 発表標題 Pneumatic Driven Hollow Variable Stiffness Mechanism Aiming Non-Contact Insertion of Telescopic Guide Tubes
3. 学会等名 2021 IEEE 4th International Conference on Soft Robotics (RoboSoft) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kenjiro Tadakuma
2. 発表標題 From a Deployable Soft Mechanism Inspired by a Nemertea Proboscis to a Robotic Blood Vessel Mechanism
3. 学会等名 FINAL SHORT TALK SESSION, Embodied Intelligence Workshop 2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kenjiro Tadakuma
2. 発表標題 Actual Process of Inventing Soft Robot Mechanisms and Embodying as Actual Real Prototypes
3. 学会等名 32nd 2021 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (From Micro & Nano Scale Systems to Robotics & Mechatronics Systems) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多田隈 建二郎
2. 発表標題 様々な作業を実現するロボット機構の原理考案と具現化
3. 学会等名 精密工学会 超精密位置決め専門委員会 9月度定例会 (Webex) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多田隈 建二郎
2. 発表標題 軟体動物学とソフトロボット機構学の中の正の超スパイラル共同研究機構, 動物学 x ロボット機構学
3. 学会等名 軟体動物学とソフトロボット機構学の中の正の超スパイラル共同研究機構, 動物学 x ロボット機構学 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoya Takahashi, Masahiro Watanabe, Kenjiro Tadakuma, Masashi Konyo, and Satoshi Tadokoro
2. 発表標題 Retraction Mechanism of Soft Torus Robot with a Hydrostatic Skeleton
3. 学会等名 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) 2020, WeAT20.6, Oct 25-29, 2020, Las Vegas, NV, USA (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masahiro Watanabe, Kenjiro Tadakuma, Masashi Konyo, and Satoshi Tadokoro
2. 発表標題 Bundled Rotary Helix Drive Mechanism Capable of Smooth Peristaltic Movement
3. 学会等名 2020 3rd IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft), Paper TuPT.4, May 15 - July 15, 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kenjiro TADAKUMA
2. 発表標題 Soft Robotic Mechanisms from Robotic Nemertea Proboscis into Robotic Blood Vessel Mechanism -
3. 学会等名 講演: Self-organization and bio-inspired robotics 2 (THURSDAY 25th 08:00 - 09:00 GMT), Embodied AI Conference, March24-25, 2021. (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masahiro Watanabe, *Kenjiro Tadakuma, Masashi Konyo, and Satoshi Tadokoro
2. 発表標題 Bundled Rotary Helix Drive Mechanism Capable of Smooth Peristaltic Movement
3. 学会等名 2020 3rd IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kenjiro Tadakuma, Tomoya Takahashi, Natsumi Hookabe, Masahiro Watanabe, Yu Ozawa, Tori Shimizu, Eri Takane, Hiroshi Kajihara, Takeshi Yamazaki, Masashi Konyo, and Satoshi Tadokoro
2. 発表標題 Nemertea Proboscis Inspired Extendable Mechanism
3. 学会等名 2019 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science Symposium on "Science of Soft Robots" (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 多田 建二郎
2. 発表標題 ソフトロボット機構の考案と具現化の実際
3. 学会等名 SICEソフトマテリアル研究部会, 山梨大学 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenjiro Tadakuma
2. 発表標題 Fiber Jamming Gripper Mechanisms with High Protection Ability
3. 学会等名 AIM 2019 Workshop on "Towards Soft Robotics for Biomimetics and Applications: Emerging Sensors, Actuators, and Methods", Hong Kong Science Park, Hong Kong, China, July 8, 2019. (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenjiro Tadakuma
2. 発表標題 Robotic Soft Mechanism Designs and the Practical Embodiments
3. 学会等名 2019 Japan-Korea Joint Workshop on Next Generation Robotics, Sendai, Japan, Dec. 2019. (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenjiro Tadakuma
2. 発表標題 Cut and Fire Resistance Deformable Soft Gripper Based on Wire Jamming Mechanism
3. 学会等名 19th International Conference on Advanced Robotics (ICAR), Robotics for Occupational Safety & Health in Industrial Environments (ROSHIE), Belo Horizonte, Brazil, Dec. 2019. (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 多田隈 建二郎
2. 発表標題 柔軟袋状グリップ機構の考案・具現化の実際
3. 学会等名 第二回マニピュレーション冬の学校 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 多田隈 建二郎
2. 発表標題 ソフトロボット機構要素の考案・具現化の実際 - やわらかい機構の学術的位置づけとその展開に関する一考察 -
3. 学会等名 第1回ロボット部会・やわらか共創コンソーシアム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 多田隈 建二郎
2. 発表標題 ソフトロボット機構の考案と具現化の実際 柔軟グリップ機構・トールス移動体から、有機体としての可食ロボへの展開までの過程
3. 学会等名 第2回 ソフトロボット創世シンポジウム 「ソフトロボットの新学術 × 産学共創」 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林聡輔, 清水杜織, 藤本敏彰, 藤田政宏, 高根英里, 渡辺将広, 郡司芽久, 多田隈建二郎, 昆陽雅司, 田所諭
2. 発表標題 生体解剖の観点からのロボット機構研究の展開
3. 学会等名 計測自動制御学会 東北支部 第320回研究集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 林聡輔, 清水杜織, 高根英里, 渡辺将広, 郡司芽久, 多田隈建二郎, 昆陽雅司, 田所諭
2. 発表標題 吸引捕食を生物抽能した負圧生成式引寄せ機能を実現する劣駆動グリップ機構
3. 学会等名 計測自動制御学会 東北支部 第321回研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林聡輔, 清水杜織, 渡辺将広, 多田隈建二郎, 昆陽雅司, 田所諭
2. 発表標題 伸展分岐可能なトラス駆動機構 - ヒモムシ吻構造を生物抽能した柔軟メカニズム -
3. 学会等名 計測自動制御学会 東北支部 第321回研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 多田隈 建二郎
2. 発表標題 ロボット機「巧」学
3. 学会等名 計測自動制御学会システムインテグレーション部門 マニピュレーション研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 多田隈 建二郎
2. 発表標題 超柔軟素材を用いた分岐・伸展トラス機構を基軸とするロボット駆動体の設計と具現化
3. 学会等名 科研費新学術領域「ソフトロボット学」×山形大学OPERA「ソフトマターロボティクスコンソーシアム」合同シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenjiro TADAKUMA
2. 発表標題 Soft Robotic Mechanism Designs and the Practical Embodiments
3. 学会等名 The 2nd International Workshop on Science of Soft Robots（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenjiro TADAKUMA
2. 発表標題 Branched Extendable Mechanism based on Nemertea Proboscis
3. 学会等名 RoboSoft2019(WS1 (Full-day): Toward the Nature of Information Processing in Soft machines: Bridging Flexible Electronics and Morphological Computation)（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenjiro TADAKUMA
2. 発表標題 Robotic Mechanism Designs and the Practical Embodiments
3. 学会等名 2019 International Conference on Soft Computing & Machine Learning(SCML2019)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 Koichi Suzumori, Kenjiro Fukuda, Ryuma Niiyama, Kohei Nakajima	4. 発行年 2023年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 420
3. 書名 The Science of Soft Robots: Design, Materials and Information Processing	

1. 著者名 新学術領域「ソフトロボット学」研究班, 日本ロボット学会: 監修, 鈴森康一, 中嶋浩平: 著, 多田隈建二郎: 分担執筆	4. 発行年 2023年
2. 出版社 オーム社	5. 総ページ数 320
3. 書名 ソフトロボット学入門: 基本構成と柔軟物体の数理	

1. 著者名 古川英光, 川上勝; 著, 監修, 多田隈建二郎: 分担執筆	4. 発行年 2022年
2. 出版社 NTS	5. 総ページ数 600
3. 書名 『やわらかものづくりハンドブック ~先端ソフトマターのプロセスイノベーションとその実践~』, "3.23 やわらかハンドの作り方", pp. 421-433, 2022年12月5日.	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 変形機構およびグリッパ	発明者 高橋知也, 渡辺将 広, 多田隈建二郎, 高根英里, 昆陽雅	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-082469	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	川上 勝 (Kawakami Masaru) (70452117)	山形大学・有機材料システムフロンティアセンター・准教授 (11501)	
研究 分 担 者	古川 英光 (Furukawa Hidemitsu) (50282827)	山形大学・大学院理工学研究科・教授 (11501)	削除：2021年1月20日

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1件

国際研究集会 The 2nd International Workshop on Science of Soft Robots	開催年 2019年～2019年
--	--------------------

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