



Kakogawa Atsushi

加古川 篤

理工学部 准教授

2010年立命館大学理工学部ロボティクス学科卒業、2012年立命館大学大学院理工学研究科 創造理工学専攻機械システムコース博士課程前期課程修了、2015年同大学院理工学研究科 機械システム専攻博士課程後期課程修了。博士(工学)。2015年立命館大学理工学部助教、2017年ウォータールー大学工学部客員助教、2019年立命館大学理工学部講師、2022 年同大学総合科学技術研究機構准教授を経て、現職。専門は機械力学・制御、ロボット機構学。日本ロボット学会学術講演会セッションオーガナイザー(配管検査ロボット)、日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会(ROBOMECH) セッションオーガナイザー(狭隘環境ロボティクス、創造的ロボット機構とその制御)、日本ロボット学会 欧文誌論文査読編集小委員会委員、2022 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS 2022)、Organizing Committee E-media Chair や2024 IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA2024)、Organizing Committee eMedia Co-Chairs、産業用ハンドリングシステムアライアンス(IHaSA)の事務局長等を務める。

- 1) Atsushi Kakogawa, Kenya Murata, and Shugen Ma, Automatic T-branch Travel of an Articulated Wheeled In-pipe Inspection Robot Using Joint Angle Response to Environmental Changes, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 70, No. 7, pp. 7041-7050, 2023
- 2) Atsushi Kakogawa, Taihei Kawabata, and Shugen Ma, Platespringed Parallel Elastic Actuator for Efficient Snake Robot Movement, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 26, No. 6, pp. 3051-3063, 2021
- 3) Atsushi Kakogawa, Chihiro Hirose, Shugen Ma, A Standards- Based Pipeline Route Drawing System Using a Towed Sensing Unit, Proc. The 2022 IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems (IROS 2022), pp. 7167-7173, 2022
- 4) Shah Darshankumar Rajendrakumar, Atsushi Kakogawa, and Shugen Ma, An Underwater Snake Robot that Does Not Consider Actuators' Waterproof: Design and Primary Experiments, Proc. The 2023 IEEE Int. Conf. Intelligent Robotics and Biomimetics (ROBIO 2023), pp. 226-231, 2023, Accepted
- 5) 加古川篤, 山本知生, 緊急脱出のためのワイヤ駆動式伸縮機構を有する3インチ管内検査ロボット「Xbot 1」の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 1A1-B12, 2023 extraterrestrial environments, Icarus 404, 115666, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2023.115666>
- 6) 小林泰三, 他15名: 月面における測量・地盤調査ロボットの開発, 第67回宇宙科学技術連合講演会, 富山, 2023.

ロボットシステム、メカトロニクスに於ける機構と制御

人間が入り込めない極限環境でのデータ取得、物理的作業をめざす

人間が直接立ち入れない環境は宇宙空間だけでなく地球上にも多く存在します。息のできない水中、高水圧の深海、火山のような高熱かつ有毒の環境、極低温の極地、そのほか地中や空中など到達困難な自然環境は様々です。一方、人工的な環境であっても建築構造物やインフラなどには狭い空間があり、必ずしも人間が立ち入れるわけではありません。私たちはモータや減速機、機構などのハードウェアとその制御技術を駆使して、このような極限環境で人間が物理的に不可能な作業を実現するためのロボットを研究開発しています。また、社会実装にも力を入れており、インフラ点検ロボットについては既にいくつかの現場で実証実験を進めています。このような過酷な環境であっても高い信頼性を達成しやすい機構を基盤としたロボットは宇宙空間や惑星だけでなく地球上の様々な環境における探査、測量、作業などの幅広い応用が期待できます。

配管内検査ロボット「AIRo(アイロ)」「Xbot(エックスボット)」

配管内部の検査には工業用内視鏡が多く使われますが、曲がりくねった経路を進むことは難しく、T字の分岐管にも対応できません。M字型配管内検査ロボット「AIRo」(図1)は関節のトルク制御によって段差や曲がりなどに手動操作なしで適応し、この機能に角度制御を組み合わせることでT字管にも対応します。

実験室環境では、合計19個の曲がりを含んだ内径約100mmのコースを約26m走破しました。これほどのロボットは世界でも類を見ません。この技術を実用化したロボットを実際の埋設管に通す試験もを行い、無事に50mの検査に成功しました。そのほか配

管経路図を描くためのセンシングユニットの開発も行っています。

一方、X字型配管内検査ロボット「Xbot」(図2)は、緊急回収性の悪いAIRoの課題を克服するために開発しました。ハサミのようなX字型の構造と車輪によって走行します。X字型の構造にはバネが仕込まれており、電源オフになると動力不要で収縮するため、回収が容易です。

滋賀県草津市と共同で

行った下水道圧送管内の実証実験では、Xbotを使ってこれまで誰も見たことのない内径約75mmの圧送管内部映像を約20mに亘って入手できました。今後は他の自治体でも広く実証実験を行う予定です。



図1:M字型配管内検査ロボット「AIRo」



図2:X字型配管内検査ロボット「Xbot」

防水不要な関節で構成された水中蛇行遊泳ロボット

水中ロボットなどで使用されているアクチュエータの多くは、浸水を防ぐためにパッキンなどの防水シールによって隙間を埋める構造となっています。しかし、ロボットの関節のように往復運動する部分では、パッキンが他の構成部品に擦れてしまい、伝達効率が低下します。また、本来直流モータには、電流とトルクが比例するという特性があります。そ

のため、電流値からトルクを推定してロボットにはたらく力を調節することができますが、水中ではパッキンの摩擦の影響により、この力調節の機能も困難でした。

そこで、防水シールを必要とせずそのまま水に漬けられるギアード電動モータを研究開発しています。モータや減速機が直に水冷されるため、大電流

を流しても熱を持ちにくく、空気中よりも高いトルクを発揮できます。この防水不要のアクチュエータを使えば、屋外の自然環境だけでなく屋内のプールや炊事場、浴室などでの利用が期待できます。現在、まずは手始めにこのアクチュエータで水中ロボットアームや水中グリッパ(ハンド)、水中ヘビ型ロボット(図3)などの開発に取り組んでいます。

現実世界への物理的な働きかけと実地での実証にこだわる

私たちはモータや減速機、機構などを基盤としたアクチュエーション技術を使って、現実世界に物理的に働きかけるロボットの研究開発に日夜励んでいます。私達が生きる空間は、質量、形、弾性、粘性、摩擦など様々な特性を持った物体であふれています。このような環境を素早く効率的に移動しながら、対象物を上手に移動させたり、観察したり、時に破壊したりするためのロボット機構やその制

御について実物の具現化にこだわって追求しています。

大学の実験室に設置された言わばぬるま湯の環境ではなく、実際の現場にロボットを運んで試験することもとても重要視しています。ESECでは、多様な研究者の方々と協力して、現場のニーズや意見を収集し、それらに基づいた宇宙・地球探査作業用のロボット技術を研究開発したいと考えています。



図3:水中ヘビ型ロボット