

補助事業番号 2021M-233

補助事業名 2021年度 身体と知の連関を内蔵したデータ駆動型ロボティクスの創成補助事業

補助事業者名 大阪大学 基礎工学研究科 志垣俊介

## 1 研究の概要

本研究は、化学感覚を用いた空間認知を題材に、昆虫が有する適応能の抽出と再構成を目的とする。昆虫は身体を介して環境との相互作用を行うことにより、状況に応じて適応的に振る舞うことができる。本研究では、適応的な振舞いを可能としている身体的な特性と行動の関係を計測するとともに、工学システムに応用することを実施した。生物学的実験では、昆虫の匂い源への定位行動中の羽ばたき周波数を計測したところ、常に一定に羽ばたくのではなく、匂いの受容状況に応じて変化させていることが明らかとなった。このことから、化学感覚センサの状態に応じて行動を適切に調整・選択することが重要であることが示唆され、それを工学システムへと適用した。その結果、従来の探索アルゴリズムに比べて、定位性能が向上することが明らかとなった。これら一連の研究成果は、国際学術論文誌3編、学会発表6件において発表された。

## 2 研究の目的と背景

本研究では、生物学的実験と工学的再構成を相補的に実施することで、生物が普遍的に有する身体を活用した適応能力の抽出と工学的実装を目的とする。特に、生物は周囲の化学的特性を常に活用することによって、生存や繁栄を達成している。一方、人工的なシステムは時空間解像度が低く、不確実性が高いため、匂い(化学物質)を用いることを苦手としている。人工システムが匂いを生物と同じように利用できるようになった暁には、直視不可能な有毒物質等の漏洩源や被災者の所在等を発見に応用できるため、我々の安全安心に大きく貢献できる。

## 3 研究内容

本研究では、以下に示す生物学的実験と工学的再構成の二項目を実施した。

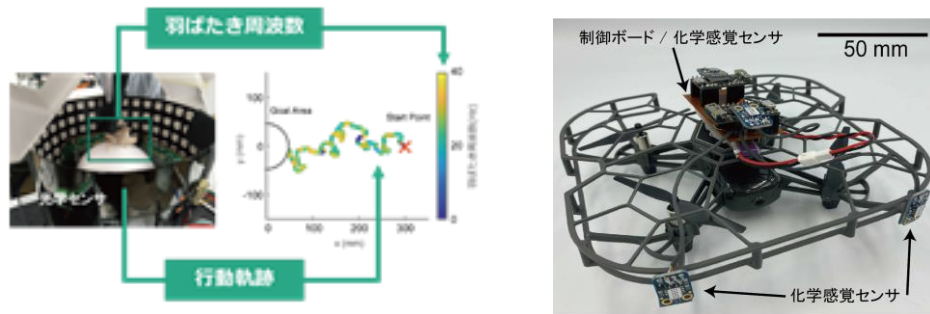
(<https://sshigaki.jimdofree.com/research/>)

### (1) 昆虫の身体変形と行動の連関計測実験

- 嗅覚行動中の昆虫(カイコガ)の行動と身体的な変位(羽ばたき)を同時に計測。
- 気流可視化による嗅覚行動中の羽ばたきによる周囲環境の変化を計測。
- データ解析の結果、嗅覚行動中に羽ばたき周波数が匂い受容の履歴に依存して変化することを解明。
- 匂いを引き込む周波数を適切に設定することで昆虫の匂い源定位性能が向上することを確認。

## (2) データ駆動型運動生成モデルの検証

- 生物実験で獲得した入出力関係からガウス過程回帰を学習させ、匂い濃度入力変化によって移動方向と速度を出力するモデルを構築.
- 質点モデルとしてシミュレーションによってデータ駆動型モデルを検証した結果、従前の生物模倣型モデルよりも探索性能が向上することを確認.
- 匂いの時系列特徴量を用いて運動生成することにより、2次元だけでなく3次元空間においても匂い源の位置推定の精度が向上することを確認.



## 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

科学技術が進歩した今日においても、時空間解像度が低く、不確実性の高い物理量である匂い(化学物質)を頼りとした探索はロボットにとって苦手とする分野であるが、本研究の進展により直視不可能な有毒物質等の漏洩源や被災者の所在等を発見に 응용が期待される。また、ロボットが嗅覚を手に入れることになるため、救助犬等の代替としてロボットシステムが災害現場や空港等の現場に投入されることとなり、我々の安全安心に寄与することとなる。

## 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

災害時のガス漏れ源や被災者の探索、空港における違法薬物や爆発物の探知等、空気中に漂う匂いや化学物質を頼りにその源を探索する方法は有用である。そのため、以前より米国国防高等研究計画局 (DARPA) や The Office of Naval Research (ONR) 主体の国家的プロジェクトとして採用されるなど、重要課題として位置づけられてきた (例えば, Cowen E.A. and Ward K.B., 2002). 匂い源探索は一種のナビゲーションであることから、これらの研究の多くは、専ら探索アルゴリズムに焦点が当てられており (Chen, X. X., and Huang, J., 2019), 中でもリアルタイム性に優れている生物模倣型探索アルゴリズムの構築が盛んに実施されてきた。しかしながら、直接生物を詳細に調べてモデル化しているものは少なく、生物本来の探索能力を人工物に付与することは未だ実現していない (例えば, Harvey, D. J., et al., 2008). 特に、身体機能と行動の連関関係を意識したアルゴリズム構築はなされていないことから、本研究は匂い源探索問題を取り扱った領域の中でも新しい側面を持つ研究である。

## 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

### < 学術論文 >

- [1] Shunsuke Shigaki, Natsuki Minakawa, Mayu Yamada, Hirono Ohashi, Daisuke Kurabayashi, and Koh Hosoda, Animal-in-the-loop System with Multimodal Virtual Reality to Elicit Natural Olfactory Localization Behavior, *Sensors and Materials*, Vol. 33, No. 12, pp. 4211–4228, Dec. 2021.
- [2] K. Okajima, S. Shigaki, T. Suko, D. N. Luong, C. A. Hernandez-Reyes, Y. Hattori, K. Sanada, and D. Kurabayashi, “A novel framework based on a data-driven approach for modeling the behavior of organisms in chemical plume tracing”, *Journal of The Royal Society Interface*, Vol. 18, No. 181, 2021.
- [3] S. Shigaki, Y. Yoshimura, D. Kurabayashi, and K. Hosoda, “Palm-Sized Quadcopter for Three-Dimensional Chemical Plume Tracking”, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 71, 1–12, 2022.

## 7 補助事業に係る成果物

### (1) 補助事業により作成したもの

研究成果発信, “A palm-sized drone to track chemical plumes”, *Tech Xplore*, 2022/11/14.

<https://techxplore.com/news/2022-11-palm-sized-drone-track-chemical-plumes.html>

### (2) (1) 以外で当事業において作成したもの

該当なし.

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 国立情報学研究所 (コクリツジョウホウガクケンキュウジョ)

(旧: 大阪大学 基礎工学研究科 システム創成専攻 細田研究室)

住 所: 〒101-8430 東京都千代田区一ツ橋2-1-2

担 当 者: 助教 志垣俊介 (ジョキョウ シガキシユンスケ)

担 当 部 署: 情報学プリンシプル研究系 (ジョウホウガクプリンシプルケンキュウケイ)

E - m a i l: [shigaki@nii.ac.jp](mailto:shigaki@nii.ac.jp)

U R L: <https://sshigaki.jimdofree.com/>