

2024 年度年次報告書

細胞操作

2023 年度採択研究代表者

木村 幸太郎

名古屋市立大学 大学院理学研究科
教授

超高速光 call & response による脳とのセッション

主たる共同研究者:

奥 寛雅 (群馬大学 情報学部 教授)

塚田 祐基 (慶應義塾大学 理工学部 専任講師)

研究成果の概要

木村 G は、超高速三次元イメージングのための光学系として、ライトフィールド顕微鏡システムの独自の改良を行った。当初計画していた SCAPE システムに対して空間解像度、時間解像度で凌駕し、また既存のライトフィールド顕微鏡システムに対しても 3D 画像再構成速度を大幅に改善した。また、線虫を行動させるためのアリーナ型マイクロ流体装置を研究室内で作成できるように設備を導入した。さらに、光による神経活動計測と神経活動摂動の最適化のために、Olivia Masseck 博士(独国)らとの国際共同研究を開始した。神経活動の数理モデル化に関しては、本田直樹教授(名大・医)との共同研究として、我々が見いだした「電気刺激に対する持続的応答」に関する神経細胞を推定することに成功し、現在実験的な検証を進めている。

奥 G は、3ms の低遅延プロジェクタ、高出力 LED、約 500fps の高速ビジョンを用い、対象の状態に応じて低遅延で二次元的な光刺激分布を投影できる超高速 2DFB 光操作システムを構築した。加えて深層学習に基づく YOLOv10 の推論時間を 1ms 程度で実行できる環境を開発し、システム全体の遅延時間 7ms 程度を実現し、運動する線虫頭部に動的に光を投影可能であることを実証した。また、神経ネットワーク数理モデル構築のために Dynamic Mode Decomposition 法を基に既存の線虫神経細胞活動データを解析し、支配的であることが既知の神経細胞の活動が抽出されることを確認した。

塚田 G は、自由行動中の線虫を自動追尾するシステムに状態推定のアルゴリズムを加え、頑健なトラッキングシステムの構築を行った。さらに実時間画像処理とパターン照明技術を組み合わせ、特定の屈曲を自動検知してその場所に光照射するシステムを開発した。開発したシステムにより、線虫の蛇行運動中に光照射することで任意の移動方向に制御することに成功した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Sprague, D.Y., Rusch, K., Dunn, R.L., Borchardt, J.M., Ban, S., Bubnis, G., Chiu, G.C., Wen, C., Suzuki, R., Chaudhary, S., Lee, H.J., Yu, Z., Dichter, B., Ly, R., Onami, S., Lu, H., Kimura, K.D., Yemini, E., Kato, S. Unifying community whole-brain imaging datasets enables robust neuron identification and reveals determinants of neuron position in *C. elegans*. *Cell Reports Methods*, **5**,100964-100964 (2025)
- 2) Oku, H., Eda, A., Fujita, T. Milliseconds Photon-to-Photon Latency Projection System for Adaptive Optogenetics Applications, *In proc. 2024 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 644-648 (2024)
- 3) Aleogho, B.M., Mohri, M., Jang, M.S., Tsukada, S., Al-Hebri, Y., Matsuyama, H.J., Tsukada, Y., Mori, I., Noma, K. Aberrant neuronal hyperactivation causes an age-dependent behavioral decline in *Caenorhabditis elegans*. *PNAS* **122**, e2412391122. (2025)