

2024 年度年次報告書

光と情報・通信・センシング・材料の融合フロンティア

2024 年度採択研究代表者

内田 淳史

埼玉大学 大学院理工学研究科
教授

光インセンサーコンピューティングの革新的技術の創成

主たる共同研究者：

浅井 哲也（北海道大学 大学院情報科学研究院 教授）

砂田 哲（金沢大学 理工研究域 教授）

田中 剛平（名古屋工業大学 大学院工学研究科 教授）

研究成果の概要

人工知能(AI)の急速な社会普及に伴い、機械学習における計算コストの削減は喫緊の課題である。光を用いたコンピューティング技術の研究が近年盛んに行われているが、社会実装の可能性を示唆した応用研究は未だ不十分であり、基礎研究と実用化の間には大きなギャップが存在している。一方で光を用いたセンシング技術は非常に多くの応用分野で発展しているが、光は信号を計測する役割のみであり、大容量の光信号を電気信号に変換した後に、コンピュータ内で複雑な信号処理を行う必要がある。

そこで本研究では、光センサーと光コンピュータを融合して抜本的な設計・開発を行う光インセンサーコンピューティング (Photonic in-sensor computing) の革新的技術の創成を目的とする。本研究は単なる光センシングとコンピューティングの一体化ではなく、特徴抽出のための光リザーバー技術の開発を行い、光センサーと光コンピュータを融合して全体機能を最大化するための高速・低遅延システムの設計・開発を行う。

本年度は初年度であるため、光インセンサーコンピューティングの基盤となる要素技術の開発を主に行った。本年度の成果として、大規模言語モデルに用いられる注意機構と呼ばれる機械学習方式をリザーバーコンピューティングに適用し、性能向上を実現した。特に、特徴量が時間的に変化する時系列データに対して、注意機構付きリザーバーコンピューティングを用いた時系列予測タスクを達成し、従来法よりも予測性能の向上に成功した。

また物理デバイスにて深層学習を実装するために、制御理論に基づく新たな学習方法を提案し、電気-光遅延システムを用いた実証実験に成功した¹⁾。本手法は任意の物理デバイスを用いた機械学習の実装が容易であり、汎用性や波及効果が非常に高い手法である。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Sunada, S., Niiyama, T., Kanno, K., Nogami, R., Roehm, A., Awano, T., Uchida, A., Blending optimal control and biologically plausible learning for noise-robust physical neural networks. *Physical Review Letters*, **134**, 017301 (2025).
- 2) Tamada, K., Abe, Y., Asai, T., Resource-efficient streaming architecture for ensemble Kalman filters designed for online learning in physical reservoir computing. *Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE*, **16**, 120-131 (2025).