

情報担体を活用した集積デバイス・システム  
2021年度採択研究代表者

2022年度  
年次報告書

納富 雅也

日本電信電話(株) 物性科学基礎研究所  
センター長

空間・時間・波長自由度を活用する光電融合演算基盤の開発

主たる共同研究者:

石原 亨 (名古屋大学 大学院情報学研究科 教授)

川上 哲志 (九州大学 大学院システム情報科学研究所 准教授)

林 和則 (京都大学 国際高等教育院 教授)

山田 浩治 (産業技術総合研究所 プラットフォームフォトニクス研究センター  
総括研究主幹)

## 研究成果の概要

本計画では、光集積技術を用いて低遅延かつ省エネの積和演算機能を用いた光電融合型のニューラルネット演算回路の具現化を目指す。この目標を達成するために、光が持つ空間、波長、時間の自由度を最大限に生かすハードウェア、アルゴリズム、アーキテクチャの開発を目標としている。

空間自由度に関しては、多重干渉系の活用を狙っており、昨年度  $16 \times 16$  の Clements 型積和演算回路を試作したが、これを  $10 \times 10$  積和器として用いていた。今年度はフルに  $16 \times 16$  積和器として働かせて、オンチップ出力による十種類の手書き文字分類(MNIST)処理の実証に世界で初めて成功した。一般に光回路規模が増大すると較正が難化するが、光回路の不完全性を学習するアルゴリズムを開発することで、処理を実行することができた。また、昨年達成した簡易型積和演算器における入力光電変換の非線形を利用したニューラルネットワーク演算実証の成果を *Nature Communications* 誌に発表し、JST、産総研、NTT で報道発表を行った。

波長自由度に関しては、波長多重演算を狙っているが、そのためには各要素の波長依存性低減が必須である。今年度は、干渉計の波長依存性を低減するデザインを考案し、素子試作による動作実証を行った。また、積和演算器の波長依存性の初期的な調査を行った。

時間自由度に関しては、再帰型ニューラルネットワーク(RNN)を狙っている。その一つとして上記の簡易型積和演算器に外部アナログ電気回路を組み合わせた RNN を構成し、音声認識、ビット列の連想学習動作を実証した。

また、我々が提案する演算方式における雑音や揺らぎの影響を様々な角度から解析する手法を開発し、特に時間軸を利用する RNN 回路において影響の定量的評価を開始した。応用先の一つとして検討中の圧縮センシングに関しても、複数のアルゴリズムを提案し、雑音の影響の比較を行った。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) S. Kita, K. Ikeda, K. Nozaki, K. Takata, K. Aoyama, K. Suzuki, Y. Maegami, M. Ohno, G. Cong, N. Yamamoto, K. Yamada, A. Shinya, H. Sawada, and M. Notomi, "Demonstration of a Clements-type  $16 \times 16$  photonic analog matrix processor based on silicon photonics," CLEO-PR CThA13B-1, 2022
- 2) S. Kita, K. Ikeda, K. Nozaki, K. Takata, K. Aoyama, K. Suzuki, Y. Maegami, M. Ohno, G. Cong, N. Yamamoto, K. Yamada, A. Shinya, H. Sawada, and M. Notomi, "A Clements-type silicon photonics  $16 \times 16$  analog matrix processor with complex-valued inputs toward nanophotonics accelerators," SPIE Photonics West PC12438-4, 2023.
- 3) Guangwei Cong, Noritsugu Yamamoto, Takashi Inoue, Yuriko Maegami, Morifumi Ohno, Shota Kita, Shu Namiki and Koji Yamada, "On-chip bacterial foraging training in silicon photonic circuits for projection-enabled nonlinear classification," *Nature Communications* 13, 3261 (2022)

- 4) Guangwei Cong, Noritsugu Yamamoto, Rai Kou, Yuriko Maegami, Morifumi Ohno, and Koji Yamada, "Silicon Photonic Hopfield-like Electro-optical Recurrent Network for Time-series Data Processing and Recognition," OFC2023, W3G.2.
- 5) Eito Sato, Koji Inoue and Satoshi Kawakami, "Design and Analysis of a Nano-phonic Processing Unit for Low-Latency Recurrent Neural Network Applications", In Proceedings of the IEEE International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoc), pp.321-329, Dec. 2022.