

低レイテンシかつ高効率な光電融合アクセラレータの実現に向けて

Towards the realization of low-latency and high-efficiency photoelectronic accelerators

○北 翔太^{1,2}, 野崎 謙悟^{1,2}, 小野 真証^{1,2}, 高田 健太^{1,2}, 新家 昭彦^{1,2}, コン グアンウェイ³, 山本 宗継³,
前神 有里子³, 大野 守史³, 山田 浩治³, 川上 哲志⁴, 井上 弘士⁴, 石原 亨⁵, 納富 雅也^{1,2}

(1. NTT ナノフォトニクスセンタ, 2. NTT 物性研, 3. 産総研 4. 九大, 5. 名大)

○S. Kita^{1,2}, K. Nozaki^{1,2}, M. Ono^{1,2}, K. Takata^{1,2}, A. Shinya^{1,2}, G. Cong³, N. Yamamoto³,

Y. Maegami³, M. Ohno³, K. Yamada³, S. Kawakami⁴, K. Inoue⁴, T. Ishihara⁵, and M. Notomi^{1,2}

(1. NTT Nanophotonics Center, 2. NTT Basic Research Labs., 3. AIST, 4. Kyushu Univ., 5. Nagoya Univ.)

E-mail: syouta.kita.ue@hco.ntt.co.jp

究極的な微細化による電子演算回路の集積度の上昇は、その配線抵抗やリーク電流の増大により物理的な限界に到達しつつある。これまではチップ面積あたりの処理能力（スループット）ばかりが演算性能の指標として重視されてきたが、他の重要な指標である電力あたりのスループットは飽和傾向にある¹⁾。さらに演算遅延（レイテンシ）に目を向ければ、CR 時定数の劇的な上昇によってすでに増大の一途をたどっている。レイテンシの増大はリアルタイム性を悪化させ、制御・金融・社会基盤およびセキュリティ分野における情報処理応用の発展を阻害する要因になる。

このレイテンシ増大を根本的に解決するために、我々は 5 年以上かけて光電融合アクセラレータ²⁾の実現に向けて要素技術の“再”検討を進めてきた。この“再”の字が示す通り、光コンピューティングは過去にその空間並列性に着目した構成が多数検討されてきた。しかし、電子回路の集積度の向上に圧倒された結果、光を使うメリットが失われ、いったんはその可能性は忘却された。それから 35 年余り、シリコンフォトニクス技術などの台頭により多数の光スイッチを高歩留まりで集積できる見通しが立った今日において³⁾、光が通信レイヤーだけにとどまらず演算レイヤーにおいても利用されるメリットについて検討するタイミングが再び訪れた。

我々は光のもつ低レイテンシ性を引き出す方式として、回路中の光伝搬に基づく「光パスゲート論理」を提案し、光パス長、すなわち光スイッチが十分に小さくできれば、レイテンシが 10 倍以上改善できる見込みを、光デジタル加算器^{4,5)}を例に世界に先駆けて示してきた。さらに超低レイテンシ光電融合演算を推進する要素技術として、低損失・高速応答・波長多重が可能な線形光学素子を活用した光論理素子⁶⁾や光デジタル・アナログ変換 (DAC) 回路⁷⁾、ごく微小なモード断面積をもつプラズモニクス導波路を用いたきわめて短尺な全光非線形ゲート⁸⁾、あるいは InP 系埋め込みヘテロ構造を用いた超小型かつ高効率な光-電気-光 (OEO) ゲート (疑似的な光非線形ゲート)⁹⁾を実証してきた。本発表ではこれらの方式や技術およびメリットについて紹介する。

今後はこれらの要素技術を集約し、光演算がどこでどれくらいのメリットを持ちうるのか多角的な視点かつ異なる粒度で並行して詳細な議論を進める。超低レイテンシかつ高効率な応用の一つの可能性として、光ニューラルネットワーク (ONN) による推論アクセラレータ⁹⁾がすでに提案・原理実証されており、その潜在能力への期待から世界的な潮流となりつつある。我々の持ちうる技術によって多層 ONN を構成した場合についても簡潔に展望を述べる。

本研究は CREST (#JPMJCR15N4), JST の支援を受けたものである。

参考文献 1) K. Rupp, <https://github.com/karlrupp/microprocessor-trend-data/tree/master/42yrs> (2018). 2) K. Kitayama et al., *APL Photon.* **4**, 090901 (2019). 3) K. Suzuki et al., *J. Lightw. Tech.* **37**, 116 (2019). 4) T. Ishihara et al., *ACM JETC* **26** (2018). 5) A. Shinya et al., *SPIE OPTO* **1055106** (2018). 6) S. Kita et al., *Commun. Phys.* **3** (To be published) (2020). 7) S. Kita et al., *SPIE OPTO* **11299-30** (2020). 8) M. Ono et al., *Nat. Photon.* **14**, 37 (2020). 9) K. Nozaki et al., *Nat. Photon.* **13**, 454 (2019). 10) Y. Shen et al., *Nat. Photon.* **11**, 441 (2017).