

縮退光パラメトリック発振器を用いた神経細胞の発火ダイナミクスの模擬実験

Spiking dynamics of artificial neurons using degenerate optical parametric oscillators

NTT 物性研¹, 東京大学², NTT 先端集積デバイス研究所³°稲垣卓弘^{1*}, 稲葉謙介^{1*}, Timothée Leleu², 本庄利守¹, 生田拓也¹, 圓佛晃次³,
梅木毅伺³, 笠原亮一³, 合原一幸², 武居弘樹¹NTT BRL¹, The University of Tokyo², NTT Device Technology Laboratories³Takahiro Inagaki^{1*}, Kensuke Inaba^{1*}, Timothée Leleu², Toshimori Honjo¹, Takuya Ikuta¹,
Koji Enbutsu³, Takeshi Umeki³, Ryoichi Kasahara³, Kazuyuki Aihara² and Hiroki Takesue¹

*These authors contributed equally to this work. (E-mail: takahiro.inagaki.vn@hco.ntt.co.jp)

機械学習などで用いられている人工ニューラルネットワークの発展形として、神経細胞(ニューロン)の発火ダイナミクスを模したスパイクングニューラルネットワーク(spiking neural network: SNN)が近年注目を集めており、物理システムを用いてこの SNN を実装するニューロモフィックデバイスの研究開発が進められている。この中で、光発振器のもつ非線形性が人工ニューロンの実現に適していると期待をされているが、均質な光発振器を多数用意し、それらに複雑なネットワーク構造を実装することは困難であった。我々はこれまで、長距離光ファイバリング共振器中で時分割多重された 2000 個以上の縮退光パラメトリック発振器(degenerate optical parametric oscillator: DOPO)を一括発生し[1,2]、それら全ての DOPO 間に任意の光結合を実装することで、大規模な DOPO ネットワークを用いた情報処理を実現してきた[3-5]。本研究では、この DOPO ネットワークを用いた SNN の実装に向けて、反対称に光結合した DOPO のペアを用いることで神経細胞の発火ダイナミクスの模擬実験を行った。

本研究の DOPO を用いた SNN では、図 1(a)のように、2 個の DOPO で 1 個のニューロンが構成される。この対となる DOPO 間に反対称な光結合を実装することで DOPO 間にエネルギー移動が発生し、これによってパルス形状の出力信号が得られるようになる。図 1(b)のように、本研究の実験系では 480 個の DOPO ネットワークが実装され、240 個の DOPO ニューロンを構成できる。利得媒質に PPLN 導波路を用いた位相感応増幅器を使用することで、DOPO の光位相は 0 位相もしくは π 位相に離散化する性質を持つ。また、DOPO ニューロン内部およびニューロン間の光結合は 8 bit の分解能で個別設定が可能である。この実験系を用いて DOPO ニューロンの発火ダイナミクスを測定した結果が図 1(c)である。ここで、DOPO のポンプ光の振幅を変化させることで、挙動の異なる 2 種類の発火モードが観測された。この 2 つの発火モードはそれぞれ class-I、class-II と分類される神経細胞の発火モードに対応しており、DOPO ニューロンはこの 2 つの発火モードを任意に制御可能な人工ニューロンであることが確認された[6]。本発表ではこの DOPO ニューロンの発火ダイナミクスの制御性について報告する。

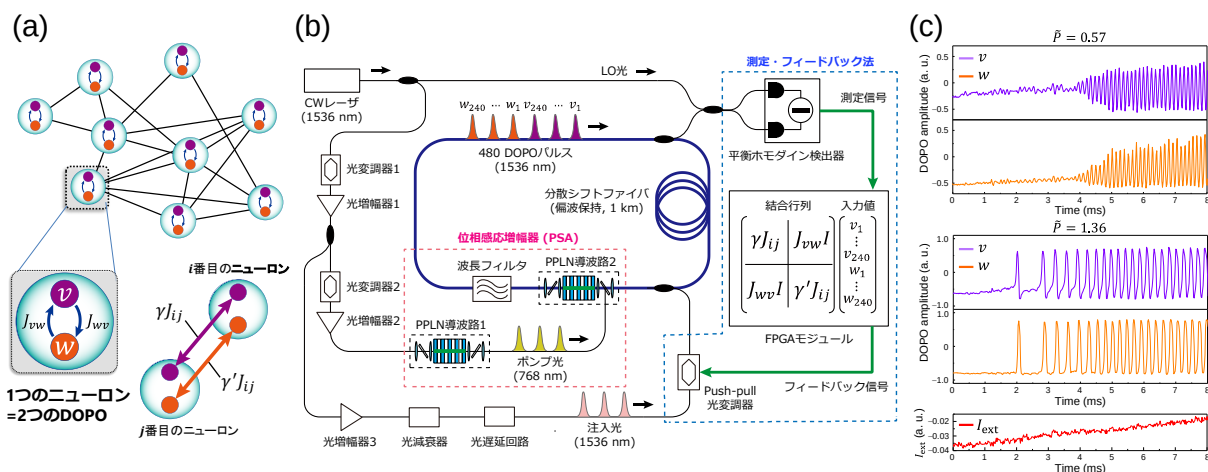


図 1 (a) DOPO を用いた SNN の模式図 (b) 実験概略図 (c) DOPO ニューロンの 2 種類の発火モード

本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議により制度設計された革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) により、科学技術振興機構を通して委託されたものです。

- [1] T. Inagaki et al., Nature Photon. **10**, 415 (2016).
 [3] T. Inagaki et al., Science **354**, 603 (2016).
 [5] R. Hamerly et al., Science Advances **5**, eaau0823 (2019).

- [2] H. Takesue et al., Opt. Lett. **41**, 4273 (2016).
 [4] F. Böhm et al., Nature Comm. **9**, 5020 (2018).
 [6] T. Inagaki et al., <https://arxiv.org/abs/2009.11454> (2020).