

# ナノ材料集合体を記憶部に用いた時間遅延型リザーバーコンピューティング

°(M2)中尾祐介<sup>1</sup>, 宇佐美雄生<sup>1,2</sup>, Saman Azhari<sup>1,2</sup>, Hadiyawardman<sup>1,2</sup>, 田中啓文<sup>1,2</sup>

九工大院生命体<sup>1</sup>, 九工大 Neumorph センター<sup>2</sup>

Yusuke Nakao<sup>1</sup>, Yuki Usami<sup>1,2</sup>, Saman Azhari<sup>1,2</sup>, Hadiyawardman<sup>1,2</sup>, Hirofumi Tanaka<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Life Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology.

<sup>2</sup>Research Center for Neuromorphic AI Hardware, Kyushu Institute of Technology.

E-mail: [tanaka@brain.kyutech.ac.jp](mailto:tanaka@brain.kyutech.ac.jp)

**[緒言]** 人工ニューラルネットワークの代表的なものであるリザーバーコンピューティング(RC)は、低消費電力で高性能な演算回路を生み出すと期待されている。RCの構成は入力層、中間層、出力層からなり、中間層と出力層の間のフィードバックを利用して学習を行う。その中でも、中間層に遅延時間を与えてノードを更新する仕組みを時間遅延リザーバーコンピューティングと呼び[1]、時系列データの学習が可能なシステムとして単一の記憶装置(メモリ)で動作できる。本研究では、メモリ部に粒子の接触部分における銀フィラメントの伸縮により系の状態が記憶できる Ag/Ag<sub>2</sub>S ナノ粒子集合体デバイス(以下 Ag/Ag<sub>2</sub>S デバイス)を用いて、時間遅延リザーバー演算の研究を行った。

**[実験方法]** 厚さ 30nm の Al 電極をスパッタリングし、時間遅延リザーバーコンピューティングを測定した。本研究で使用した測定回路を図 1(a)に示す。まず、DAQ からの入力として正弦波信号をデバイスに印加した(①)。遅延装置により Ag/Ag<sub>2</sub>S デバイスからの出力信号を遅延させ(②)、遅延時間後の出力を再び Ag/Ag<sub>2</sub>S デバイスへの入力として印加した(③)。この時、遅延装置の動作開始と同時にファンクションジェネレータは回路から切り離され、デバイス、アンプ、遅延装置とは独立した回路として機能する(①を OFF にすると赤線の閉回路に切り替わる)。Ag/Ag<sub>2</sub>S デバイスからのループ出力をループ回数最大 20 回まで DAQ で記録した。

**[結果と考察]** Ag/Ag<sub>2</sub>S デバイスからの出力信号は、1 回目から 20 回目のループ信号まで記録された。それらを FFT 解析した結果、各々のループ信号において、高次高調波特性が確認された。また、高次高調波の振幅強度の比率は、ループごとに変化しており、ループごとに Ag/Ag<sub>2</sub>S デバイスの状態が変化していることが示唆される。図 1(b), (c)は NARMA タスクと音声分類タスクの結果を示しており、NARMA タスクの正規化平均二乗誤差(NMSE)は学習信号で 0.01、予測信号で 0.2 であった。学習信号の NMSE が予測信号のものより小さいことから、過学習が発生していると考えられる。同一人物が発生した 0-9 の数字の音声分類タスクの精度は 93% であった。このことから、時間遅延リザーバー計算が音声信号の特徴量を抽出可能であり、時間ダイナミクスを利用して学習タスクを実行できることが示された。

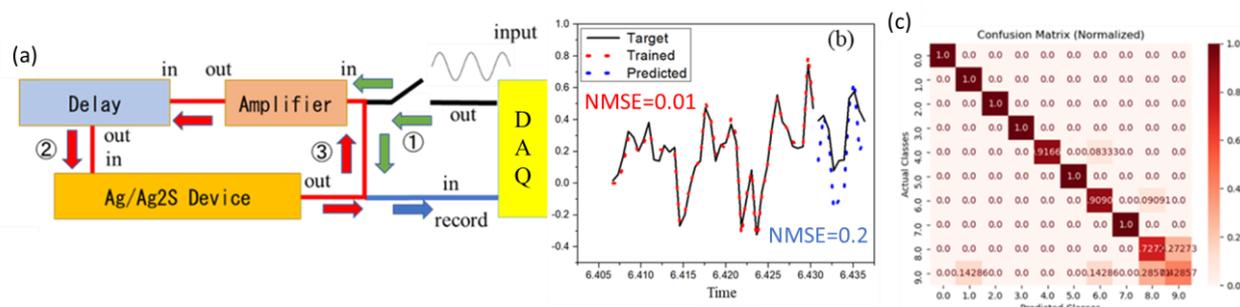


Fig. 1 (a) Measurement circuit of time-delay reservoir computing (b) Training and prediction results of NARMA task (c) Confusion matrix of voice classification task

Refs: [1] E. Wlazlak et al., *ACS appl.* **18**, 17013 (2019) [2] H. Jun, Yu-Fei, Song. *et al.*, *Energy Environ. Sci.* **9**, 1095-1101 (2016).