

## シリコン神経ネットワーク：脳互換 AI へ向けて

### Silicon neuronal network: towards brain-compatible AI

○河野 崇<sup>1</sup> (1. 東大生研)

○Takashi Kohno<sup>1</sup> (1.IIS, Univ. Tokyo)

E-mail: kohno@sat.t.u-tokyo.ac.jp

シリコン神経ネットワークは、神経細胞、シナプスに対応する電子回路を組み合わせることによって電子回路版神経ネットワークを構築しようとする試みであり、脳神経系に近い原理で動作する新しい知的情報処理システムの基盤技術として期待されている。脳神経系を参考にした人工ニューラルネットワークと異なり、脳神経系と同等の原理で情報処理を行う、脳との「互換性」の高いシステムを目指している。これにより、脳神経系のように自律的、適応的でロバストな情報処理を超低消費エネルギーで実行でき、脳とのコミュニケーションを言語を介さずシームレスに行うことができる次世代人工知能の中核技術となりうると考えられている。シリコン神経ネットワークの実現には、脳神経系の電気生理学的特性を効率的に再現できる電子回路技術だけでなく、脳神経系における情報処理原理の解明という難題もクリアする必要がある。

前者に関して、神経細胞、シナプスの電気生理学的特性の解析が進んでおり、脳との「互換性」の高いシリコンニューロン、シナプス回路を実現する素地が整ってきている。MOS トランジスタのサブスレッショルド領域を用いたアナログ回路によりナノワットクラスの消費電力でシリコンニューロン、シナプスを動作させる技術と、脳神経系の定性的モデルを構築する技術とを融合することによって超低消費電力で様々な神経細胞クラスの神経活動を再現できる回路が実現されている [1, 2, 3]。これらを多数集積するためには、シリコンニューロン、シナプス回路のバイアス電圧の保持、シナプス伝達効率の保持と更新のためのアナログメモリ素子が必要である。大脳皮質において神経細胞 1 個あたりのシナプス数は約 1 万程度と考えられており、シナプス伝達効率の保持に用いるメモリ素子は実装面積が特に小さいだけでなく極低消費電力である必要がある。シナプス回路のコンダクタンスは 1 ナノシーメンス未満である必要があり、メモリ素子にも同程度のコンダクタンスが期待される。シナプス伝達効率の更新頻度は 1 秒あたり数百回を超えることはないため、ミリ秒オーダーで更新できれば充分であると考えらる。

後者に関して、上述の通り神経細胞やシナプスの電気的生理学的特性は解明が進んできているが、それらの集合体であるマイクロサーキットの情報処理原理はほとんど未解明のままである。脳神経系と同様に物理ノイズを内包するアナログシリコン神経ネットワークを大規模実装する技術が確立されれば、この難題の解明に「構築による解析」のアプローチにより貢献できると期待している。神経細胞間の詳細な接続情報（コネクトーム）を明らかにする研究や、膜電位感受性色素などにより高時間・空間分解能の神経活動データを得る研究も進んでおり、「構築による解析」の下地も急速に整っていくと期待されている。

[1] T. Kohno, M. Sekikawa, J. Li, T. Nanami, and K. Aihara, “Qualitative-modeling-based silicon neurons and their networks,” *Frontiers in Neuroscience*, vol. 10, no. 273, pp. 1–16, Jun. 2016.

[2] T. Kohno, M. Sekikawa, and K. Aihara, “A configurable qualitative-modeling-based silicon neuron circuit,” *Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE*, vol. 8, no. 1, pp. 25–37, Jan. 2017.

[3] T. Levi, T. Nanami, A. Tange, K. Aihara, and T. Kohno, “Development and applications of biomimetic neuronal networks toward brain-morphic artificial intelligence,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 65, no. 5, pp. 577–581, May 2018.