

2023 年度年次報告書
情報担体を活用した集積デバイス・システム
2020 年度採択研究代表者

齊藤 英治

東京大学 大学院工学系研究科
教授

非古典スピン集積システム

主たる共同研究者:

石田 真彦 (日本電気(株) セキュアシステムプラットフォーム研究所 主幹研究員)

齊藤 英治 (東北大学 材料科学高等研究所 客員/委嘱教授)

鈴木 義茂 (大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授)

ペパー フェルディナンド (情報通信研究機構 未来 ICT 研究所脳情報通信融合研究センター
嘱託)

研究成果の概要

非古典状態を維持する時間を従来よりも桁違いに伸ばす原理の実証を論文成果としてまとめ上げた (Nature Materials, 23, 627-632 (2024)) とともに、非古典状態を実用化済みの集積磁気メモリ素子と同じ組成のナノ磁性体中に生成する原理を実証した。さらに物理系が持つ大量の自由度を利用することで自発的に深層学習ネットワークを最適化するアルゴリズムを開拓し、高度集積化された非古典情報担体に深層学習を実行させる新たな学理を構築した。

ハードウェア面ではナノサイズの磁気トンネル接合素子中での非古典状態を達成した。磁気トンネル接合素子は半導体生産ラインに唯一導入可能な実用的スピントロニクスデバイスであり、既に数百メガビットの高度集積化が実現している。このビット集積度は本格的な量子誤り耐性を有する量子ビットに必要とされる集積度をすでに達成しており、したがって、ひとたびナノサイズの磁気トンネル接合素子が量子ビットとして機能する原理が明らかになれば、高度に集積化された量子情報担体を実現することとなる。本年度は実用的スピントロニクスデバイスと同組成の磁気トンネル接合素子中に生じる電界効果を利用することにより、マグノン量子状態を初期化する際に不可欠なスクイズ相互作用が実現することを実験的に実証した。

ソフトウェア面では、自由エネルギー原理に基づく熱平衡機械学習という新概念を打ち出した。これは、任意の物理系をニューラルネットワークと対応付ける対応原理であり、解きたい問題別に制御された入力を入れることにより物理系自身に演算を担わせることができる。本年度は実際に磁性体パラメトロンの高速度物理的応答を利用することにより、画像分類タスクなどの初等的な問題設定を解くニューラルネットワークの重みを、最適化なしに得られることを実証した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) T. Makiuchi, T. Hioki, H. Shimizu, K. Hoshi, M. Elyasi, K. Yamamoto, N. Yokoi, A.A. Serga, B. Hillebrands, G.E.W. Bauer and E. Saitoh, “Persistent magnetic coherence in magnets”, Nature Materials, 23, 627-632 (2024)
- 2) G. Emdin, T. Hioki, K. Hoshi, and E. Saitoh, Physical Review B, 108, L140410 (2023).
- 3) Y. Utsumi, D. Golubev, F. Peper, “Thermodynamic cost of Brownian computers in the stochastic thermodynamics of resetting”, The European Physical Journal Special Topics, Vol. 232, pp. 3259-3265 (2023).