2025 年度年次報告書

先端国際共同研究推進事業

【2024 年度採択　Top のための ASPIRE　半導体分野】

【研究課題名】

異種チップ集積による量子古典インタフェースの国際共同研究

研究代表者：

石黒 仁揮（慶應義塾大学大学院　教授）

主たる共同研究者：

内田 建（東京大学大学院　教授）

多田 宗弘（慶應義塾大学大学院　教授）

田中 雅光（名古屋大学大学院　教授）

野口 篤史（東京大学大学院　准教授）

井上 弘士（九州大学大学院　教授）

相手側研究代表者：

Vadim Issakov（TU Braunschweig　教授）

1. 研究進捗状況と成果

① 研究構想

本研究では、超伝導方式およびイオントラップ方式の量子コンピュータをモチーフとして、異種チップ集積による量子古典インタフェースの実現を目指して国際共同研究を行う。日独の複数の技術レイヤーの研究グループでチームを構成し、若手研究者の相互派遣を通して、量子技術と半導体技術の双方の専門知識を有し、国際的に活躍できる研究者を育成する。

2025 年度は、各研究機関において整備を進めた研究環境を基盤にして、特に近いレイヤー同士の研究室間での若手研究員の派遣を開始し、各レイヤーの要素技術の研究を開始した。また、超伝導回路と CMOS 回路など、異種チップ集積に向けたシステムの議論および実験を開始した。

② 国際ネットワーク構築・拡大、および③ 国際頭脳循環に資する若手研究者の人材育成

本研究に参画する PI および Co-PI が、これまで個々に実施してきた国際頭脳循環を目的とした若手研究者の海外への派遣、海外研究者の招へい、スクール、セミナー、シンポジウムの開催で得られた経験を基盤にして、日独の若手研究者の相互派遣を活発に行った。2025 年度はトータルで 14 名の学生および若手研究者の相互派遣を実施し、セミナーやワークショップでの交流のために延べ6名のPIおよびCo-PIが相互に訪問した。学術論文を6件発表（国際会議論文を含む）し、プロジェクトに関連する国際ワークショップ、セミナー等を 4 件開催した。

2. 代表的な成果事例

1. （招待講演）A. Noguchi, “Hybrid quantum technologies with high-performance superconducting circuits,” CLEO2025, Long Beach, USA, May 8th, 2025.
   概要：高性能超伝導回路を用いたハイブリッド方式量子技術に関する講演
2. K. Yamashita, K. Yoshioka, C. Ziegler, V. Issakov, and H. Ishikuro, "A 4.2–373 K Functional 800-MS/s 12-b Buffer-Then-Amplify Charge-Pump-Based Pipelined TI-SAR ADC With Integrated Active-Hold Technique," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 62, no.3, pp. 977-989, 2026.
   概要：極低温で動作する量子ビット信号検出用の高速低電力 AD 変換器を 12nm-FinFET プロセスで設計、試作し、テストチップで動作を実証した。
3. **(受賞)** P. Toth, P. E. Shine, S. Halama, Y. Kudabay, K. Yamashit, H. Ishikuro, C. Ospelkaus, and V. Issakov, "A Cryo-BiCMOS Controller for 9Be+-Trapped-Ion-Based Quantum Computers," IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC), The Jan Van Vessem Award for Outstanding EWAA Paper, San Francisco, USA, Feb.16, 2026.
   概要：イオントラップ方式の量子ビットを制御する極低温動作 BiCMOS 集積回路を開発し、実機でイオントラップ型量子ビットの制御を行った。