

2023 年度年次報告書
情報担体とその集積のための材料・デバイス・システム
2022 年度採択研究代表者

山栄 大樹

横浜国立大学 先端科学高等研究院
特任教員(助教)

熱力学的に可逆な制御による超伝導計算システム

研究成果の概要

本年度は、以下の二つのテーマについて取り組んだ。(i)本研究で提案する可逆計算を超伝導論理素子である断熱磁束量子パラメロン (AQFP) ゲートに適用した場合の動作原理の数値計算と実験の両面からの検証。(ii)大規模 AQFP 回路を実現するためのセルライブラリの開発。

(i)については、まず、検討した動作原理のとおり動作するか数値計算を用いて検証した。本研究では、各 AQFP ゲート間に遅延線を挿入し、回路の入出力双方向から AQFP ゲートを駆動するための励起電流を供給する手法を用いた。本手法により、回路規模に依存せずに二つの電源だけでスケーラブルに大規模化することが可能になった。数値計算において、検討した動作原理に基づいて AQFP ゲート間でデータ伝搬できることを確認した。AQFP ゲート単体の消費エネルギーを計算した結果、従来 AQFP ゲートと同等の消費エネルギーであることを確認した。また、試作した AQFP ゲートの液体ヘリウムを用いた低温測定を行った結果、正常に動作することを確認した。

(ii)については、まず、論理ゲートを構成するために必要なセルの開発を行った。熱雑音による回路動作のエラーを回避するために、論理ゲートの出力電流と各回路パラメータが変動した際の動作余裕度を数値計算を用いて評価し、それらの観点において回路パラメータが最適になるように調整した。最適化した回路パラメータを反映させたレイアウトを設計し、セルライブラリを完成させた。セルライブラリを用いた基本ゲートである多数決論理ゲートの消費エネルギーを計算した結果、従来の論理ゲートに対して低消費エネルギーであることを確認した。また、試作した AND ゲートの低温測定を行った結果、正常に動作することを確認した。