

## 研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名： 超伝導量子ビットシステムの研究開発

2. 研究代表者名： 蔡 兆申（日本電気株式会社 基礎・環境研究所 主席研究員  
理化学研究所フロンティア研究システム 非常勤チームリーダー）

### 3. 研究概要

超伝導量子ビット回路と、それをサポートする超伝導の高速・低消費電力周辺回路を融合した、超伝導量子ビットシステムの基礎技術の確立を目指す。既に固体素子では最長の3マイクロ秒のデコヒーレンス時間(T2)を達成し、さらに同様な寿命を持つスケラブルで、結合可変な2ビットの基本ゲートの動作を初めて実現した。周辺回路としては、超伝導マイクロ波チョッパの基本技術を確認し、高速読み出し回路の研究も進めている。システム構成の基盤となる広帯域マルチチップモジュール技術を確認した。

### 4. 中間評価結果

#### 4-1. 研究の進捗状況と今後の見込み

本チームは、超伝導量子ビットの開発を行う NEC グループ、超伝導量子ビットの理論研究を行う理研グループ、超伝導量子ビットを制御する SFQ 回路開発を行う横浜国大グループ、超伝導量子ビットの読み出し技術を開発する名古屋大学グループ、超伝導マルチチップモジュール開発を行う ISTE C グループ、新しい超伝導ビットの構成法を探索する SUNY グループから構成される。各グループともそれぞれの実務をよく認識していて、研究計画通りに進んでいる。この分野の世界有数の研究集団である NEC グループを中心に、各グループのミッションが順調に進み、グループ間の連携もうまく機能している。コアとなる研究テーマへの取り組みと新しい展開への模索もバランス良く行われている。

#### 4-2. 研究成果の現状と今後の見込み

既に特筆すべき研究成果がいくつか出ている。

- ① 磁束量子ビット系でデコヒーレンス時間  $T_2 = 3 \mu s$ （超伝導量子ビットで最長の  $T_2$  時間）という極めて良好な値を得ている。
- ② 2量子ビットの制御可能な結合方式の提案と実証に成功した。
- ③ 電荷量子ビット系でデコヒーレンスの機構解明を進めた。（この研究論文はすでに39回引用されている。）
- ④ 電荷量子ビット系でシングルショット測定に成功した。（この研究論文はすでに25回引用されている。）

以上の成果以外にも、周辺制御回路技術、測定回路技術、集積化技術においても順調に技術の蓄積が行われている。磁束量子ビットのシングルショット QND 測定、制御回路の多周波数化などは今後の課題である。

#### 4-3. 今後の研究に向けて

最も望まれるのは、今回開発された可変パラメトリック結合を用いた2磁束量子ビットゲートを多ビット（例えば4量子ビット）系へ拡張する実験である。この研究を通して、量子ビット間のクロストークが及ぼすゲート操作のフィデリティへ及ぼす影響などを定量化できるものと期待される。提案された量子ビット結合方式が真にスケラブルティを持つかどうかの試金石となる。

当初計画になかった新しい研究テーマ(クラスター状態、Cavity QED、単一量子ビットメーザー、など)についても、日本の量子情報科学をリードするチームであるという自覚を持って、精力的に取り組むことを期待する。

#### 4-4. 戦略目標に向けての展望

本チームは、超伝導量子ビットの研究において、デルフト工科大学、エール大学、カリフォルニア大学サンタバーバラ校、米国国立研究所(NIST)、仏国立研究所(サクレ)などの世界のトップ集団と競合できる力を持った研究集団である。また、超伝導量子ビットの周辺回路、集積回路技術の開発をも同時に行っている唯一の研究チームである。

大規模な量子コンピュータ構築に向けて最もリソースを揃えた研究集団となっている。今後、要素技術の着実な積み上げを行って、小規模システムでの超伝導量子コンピュータの動作確認まで持って行くことを期待する。

#### 4-5. 総合的評価

本チームは、この3年間に超伝導量子ビットのデコヒーレンス機構の解明、可変なパラメトリック過程を用いた2量子ビット演算の実現、超高速 SFQ 制御回路の開発、量子ビットの非破壊測定法の提案と実証、量子ビット回路と SFQ 回路の集積化技術の開発、などの重要な成果を上げてきた。また、新しい研究テーマの発掘(Cavity QED、単一量子ビットメーザー、flying qubit、クラスター状態)も順調に進んでいる。2年後の研究成果のイメージ(最終目標)を明確にし、それを達成するためのリソースの集約、各グループの役割分担とグループ間の協力を積極的に進めることが期待される。また、日本の量子情報科学研究の牽引役として、他 CREST チームとの交流、新しい研究潮流の形成、個別技術の他分野への応用、などの可能性についても目を配ることを期待する。