

## 研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名： 単一磁束量子回路による再構成可能な低電力高性能プロセッサ

2. 研究代表者： 高木 直史（名古屋大学大学院情報科学研究科 教授）

### 3. 研究概要

超伝導単一磁束量子回路による再構成可能な大規模データパスを有するプロセッサの研究を行い、10 テラフロップス程度の計算能力をもち、デスクサイドに設置可能なコンピュータを、現在の技術を用いる場合に比べ約 100 分の 1 の消費電力で実現するための基盤技術を確立する。

### 4. 中間評価結果

#### 4-1. 研究の進捗状況及び研究成果の現状

平成 20 年度末に SFQ 回路実現に適した RD アーキテクチャの仮決定を行った。アーキテクチャ開発のための RDP コンパイラは RDP 計算部分のデータフローグラフ (DFG) 作成ツールと DFG の RDP へのマッピングツールがほぼ完成している。また、性能評価環境の開発にも着手し、RDP をモデル式にて評価する手法が完成している。

SFQ 回路による RDP の開発については、浮動小数点加算器、乗算器、除算器の構成法を開発し、半精度浮動小数点加算器 LSI および乗算器 LSI を試作し、当初の予定通り、およそ 25GHz での動作を実証した。中間目標としていた、ALU を 4 個搭載した  $2 \times 2$  RDP の 25GHz での動作実証は平成 19 年度末までにほぼ達成し、さらに大規模化した  $2 \times 3$  RDP を設計、試作し、23GHz での動作に成功している。これらの回路は SFQ 回路としていずれも世界最大規模となっている。

$1 \mu\text{m}$  SFQ 多層配線プロセス技術・配線技術の高度化については、ニオブ 10 層の多層デバイス構造実現するための完全平坦化技術、配線技術を確立し、多層配線プロセスを開発した。さらに、多層配線プロセス用論理セルライブラリのみニウムセットを開発した。このセルライブラリを利用することにより、ALU やスイッチ回路など幾つかの回路で 90GHz 程度の動作が実証された。集積密度は従来の 2~5 倍となっており、CMOS 同様のスケールリング則が成り立つことを示した。

多層配線プロセスに対応した配置・配線アルゴリズムの検討とツールの開発を行った。また、セルベース回路設計フロー全体について検討し、自動配線の前段階でのタイミングを考慮したセルの自動配置の処理方式を検討している。

全体にすべての研究項目が計画通り、あるいは前倒して進んでおり、概ね順調な進捗である。しかし、高速パルス論理のクロック供給設計技術の開発は遅れており、今後の重要な課題である。また、現在の RDP アーキテクチャが想定する応用に対して適切であることを示す説得性のあるデータが示されていない。

超伝導研究所が参加した研究体制はバランスがとれており、望ましい展開であるが、アーキテクチャグループと他のグループとの連携がやや見えにくい。

#### 4-2. 今後の研究に向けて

主要な成果となる  $4 \times 4$  SFQ-RDP の  $1 \mu\text{m}$  チップによる実現自体については、明るい見通しであると判断できる。一方、SFQ 演算加速機構のキーである RDP への数値計算アルゴリズムの効率的なマッピングについては、適用力に優れた有効な方法が見出せていない印象が強く、今後一層の努力が望まれる。RDP アーキテクチャが優れていることを示す説得性のあるデータがほしい。また、これまでの SFQ 回路設計において、設計容易化・効率化のための具体的な方法論が示されているとは言えず、設計基盤技術の確立という目標に向けた努力も必要である。

システムとしての完成イメージを明確することが望まれる。開発した技術を具体的にどの分野に適用し、どのような効果を主張するのかの検討も今後必要である。さらに実用化に向けて本プロジェクトを終えた後も考えたグ

ランドデザインを描いて見せることも必要だと思われる。

#### 4-3. 総合的評価

2 $\mu$ m チップの開発成果や 1 $\mu$ m チップの開発見通しは評価できるが、既存の CMOS 技術と対抗するために必要なアーキテクチャや設計の基盤技術の確立という面ではむしろ課題が多い。早期の実用化に対してはさらに課題(プロセスの安定化、超低温冷却のコストなど)が多い。

今後の研究では推進している大規模再構成可能データパス(RDP)プロセッサ・アーキテクチャを、小規模であっても実際に試作して動作させることが重要である。そのためには試作にかかわる研究費に重点をおくべきである。

また、アメリカで急速に進んでいるとされる研究の内容を明らかにし、それに負けないような計画に練りなおす必要がある。ややもすると現在の研究環境で出来る範囲の事をやっているという印象がある。日本の SFQ を成功させる気概を持って取り組んで欲しい。