

未来社会創造事業 探索加速型  
「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域  
年次報告書(探索研究)

H30 年度 研究開発年次報告書
---------------------

平成30年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名：井上 弘士]

[九州大学大学院システム情報科学研究院・教授]

[研究開発課題名：低炭素 AI 処理基盤のための革新的超伝導コンピューティング]

実施期間：平成30年11月15日～平成31年3月31日

## §1. 研究開発実施体制

### (1)「井上」グループ(九州大学)

- ① 研究開発代表者:井上 弘士 (九州大学大学院システム情報科学研究院、教授)
- ② 研究項目
  - ・SFQ 向けアーキテクチャ開発
  - ・システム・シミュレーション環境の構築
  - ・電力性能評価

### (2)「田中」グループ(名古屋大学)

- ① 主たる共同研究者:田中 雅光 (名古屋大学大学院工学研究科、助教)
- ② 研究項目
  - ・SFQ 主要構成要素の設計・試作
  - ・SFQ 回路の特性評価

### (3)「近藤」グループ(東京大学)

- ③ 主たる共同研究者:近藤 正章 (東京大学大学院情報理工学系研究科、准教授)
- ④ 研究項目
  - ・SFQ 向けニューラルネットワーク・モデルの構築
  - ・SFQ 向け機械学習アルゴリズムの開発

## §2. 研究開発実施の概要

本研究で達成する POC は、来たるべく AI 社会を支える極低温コンピューティング基盤の実用化を念頭に、その主要構成要素となる AI 処理エンジン SFNuro を開発し、その実現可能性ならびに情報処理インフラとしての CO2 排出量削減効果を示すことにある。この目標を達成するためには、SFQ デバイスの特性を最大限に発揮し、その上で欠点を隠蔽するためのシステム構成法を、回路・アーキテクチャ・アルゴリズムの技術レイヤを跨いだ横断的最適化により導き出すことが必要となる。この目標を達成すべく、2018 年度は、①SFQ 向けニューラルネットワークモデル/機械学習法を確立するための各種調査・検討、②SFQ メモリテスト試作とニューラルネットワーク・アーキテクチャの検討、③低電圧駆動 SFQ 演算回路ならびに超高速乗算回路の試作と動作実証を行った。①においては、現状では多数のゲートを集積できない SFQ において省面積化の利点大きいこと、また XNOR、POPCOUNT という単純な回路構成で計算処理を実現でき SFQ におけるゲートレベルパイプラインとの親和性が良いと考えられることなどから、まずは 2 値化ニューラルネットワークを SFNuro 開発の第一ニューラルネットワークモデル候補にすることとした。②に関しては、完全動作には至らなかったものの部分動作として 37GHz 程度でのメモリ動作が可能であることを実証した。③では、これまでに設計した 56 GHz 1.6mW で動作可能な算術論理演算回路をベースラインとし、

低電圧化によるエネルギー効率の向上を進め、100 テラ・オペレーション(100 TOPS/W)の電力効率を達成できる見込みであることを確認した。また、8 bit のアレイ型乗算器についてオンチップでの動作テストを進めた結果、最高 48 GHz での正常動作を確認することができ、超伝導受動線路を用いた長距離広帯域配線技術やタイミング設計手法といった SFQ 集積回路設計技術の有効性を確認することができた。