

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(探索研究期間)

令和2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]

[国立大学法人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：令和2年4月1日～令和3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)

- ① 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)
- ② 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 CO<sub>2</sub> 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、2020 年度は、①SFQ 向け 2 値化ならびにスパイクング・ニューラルネットワークに関する検討と応用開拓、②SFQ 超高速動作に関するエラーモデル構築と解析、③エラーを許容した高電力効率アーキテクチャの検討と予備評価、を行った。①においては、学習済みモデルのハードウェア割り当てのための最適化や、ハードウェア・エラーを考慮したニューラルネットワーク学習の機能を持つ学習フレームワークを開発した。また、Spiking Neural Network (SNN)の応用例として重み付きグラフの最大マッチング問題への適用法を考案し、実応用先としてゲート方式の量子計算機のエラー訂正機構を検討した。②に関しては、タイミングジッターに着目した SFQ 論理ゲートのエラーの解析とモデル化を行った。加えて、論理ゲートレベルの解析結果を利用して演算ユニットレベルでのエラーを評価するフレームワークを

開発した。③では、積和演算器によって生じた誤差が最終的な AI 処理の推定精度にどの程度影響を与えるかを明らかにするためのシミュレーション環境の構築し、推定誤差の大きな劣化を伴わずに PE アレイの消費電力を大幅に削減できる可能性を確認した。