



ムーンショット目標 6

2050年までに、経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる
誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現

実施状況報告書

2020年度版

2020年12月～2021年3月

大規模集積シリコン量子コンピュータの

研究開発

水野 弘之

株式会社日立製作所 研究開発グループ



研究開発プロジェクト概要

半導体の回路集積化技術を活かし、シリコン量子ビットの大規模化、高集積化を実現します。それにより、2050年には、高集積性・低消費電力を特徴とする大規模な量子コンピュータの実現を目指します。

https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal6/65_mizuno.html

課題推進者一覧

課題推進者	所属	役職
水野弘之	株式会社日立製作所 研究開発グループ	主管研究長
永田真	神戸大学 大学院科学技術イノベーション研究科	教授
小寺哲夫	東京工業大学 工学院	准教授

1. 当該年度における研究開発プロジェクトの実施概要

当該年度は、令和3年度からの研究本格化に備え、各研究開発項目の開発を進める上で必要となる各要素技術の開発を実施した。研究開発項目1“量子コンピューティングシステム”では、令和3年度に予定している大規模な2次元量子ビットアレイの開発に向けて、64量子ドット以上を集積可能にする2次元量子ドットアレイ構造の設計、および、プロセスフローの仕様策定を行った。さらに、量子ビット高精度制御・高感度読み出し回路に必要な極低温下で動作するエレクトロニクス回路の検討、および、仕様の策定を行うとともに、量子コンピュータシステムの実現に向け、装置全体のアーキテクチャ策定を開始し、全体の方向性策定を行った。研究開発項目2“極低温複数チップ実装システム”では、極低温向け半導体集積回路の設計環境を構築し、極低温下でのアナログCMOS回路及びデジタルCMOS回路の基本動作を評価するための試験回路を設計するとともに、極低温マルチチップパッケージングに関して、複数のチップに跨る機能分割や分散配置の設計モデルを検討した。また、極低温向け半導体集積回路の設計環境を構築し、極低温で動作する半導体集積化センサの部分回路を設計し、回路システム・シミュレーションにより機能確認と性能予測を行った。研究開発項目3“ホットシリコン量子ビット”では、シリコン量子ビットの高温動作実現に向け、「小規模な実験回路」を用いた実験に適しており、かつ動作温度の高温化実験に対応した測定系の検討および仕様策定を行った。さらに、令和3年度に予定している「小規模な実験回路」を用いた実験のための測定系の構築を効率的に行えるよう、量子ビット制御用エレクトロニクスの仕様策定を行い、導入を進めた。

2. 当該年度の研究開発プロジェクトの実施内容

(1) 研究開発項目1: 量子コンピューティングシステム

研究開発課題1: 2次元量子ビットアレイ

当該年度実施内容: 大規模な2次元量子ビットアレイの開発に向けて、当該年度では、64量子ドット以上を集積可能にする2次元量子ドットアレイ構造の設計を行うとともに、量子ドットを選択制御するために必要となる直接周辺回路を混載したチップの設計、および、プロセスフローの検討・仕様策定を行った。アレイ構造の設計においては、研究開発課題6と密接な連携体制を構築し、実素子の測定結果を設計仕様に反映させた。

課題推進者: 水野 弘之(日立製作所)

研究開発課題2: 量子ビット高精度制御・高感度読み出し回路

当該年度実施内容: 2次元量子ビットアレイ開発と並行して、2次元量子ドットアレイを制御・読み出し回路の実現に向け、研究開発課題4、および5とも連携

し、極低温下で動作させるために必要となるデバイス、および、回路種を選定し、これらの基本特性を取得するための回路設計を行った。さらに、令和3年度のチップ試作を円滑に行うべく、量子ビット高精度制御・高感度読み出し回路仕様の検討を実施し、仕様を策定した。

課題推進者:水野 弘之(日立製作所)

研究開発課題3:システムアーキテクチャ

当該年度実施内容:本研究開発課題では、他の研究開発項目に対して全体を統括し、本システムをコンピュータとして動作させるためのシステムアーキテクチャを開発する。開発に先立ち、量子コンピュータ装置全体のアーキテクチャ策定を開始し、極低温環境と常温環境での役割分担など、全体の方向性策定を行った。さらに、令和3年度以降で予定している大規模2次元量子ビットアレイの評価に必要な実験装置の検討、および、仕様の策定を行った。

課題推進者:水野 弘之(日立製作所)

(2) 研究開発項目2:極低温複数チップ実装システム

研究開発課題4:極低温複数チップ実装

当該年度実施内容:極低温制御チップに搭載する極低温アナログ・デジタル混載集積回路の開発に向けて、極低温下でのアナログCMOS回路、及び、デジタルCMOS回路の基本動作を評価するための試験回路を設計した(研究開発課題2連携)。また、本研究プロジェクトで利用する希釈冷凍機(複数種類)の機械構造や温度ステージ構成について調査するとともに、極低温マルチチップパッケージングに関して、複数のチップに跨る機能分割や分散配置の設計モデルを検討した。

課題推進者:永田 真(神戸大学)

研究開発課題5: 環境モニタリング手法

当該年度実施内容:極低温向け半導体集積回路の設計環境を構築し、極低温で動作する半導体集積化センサの部分回路を設計し、回路システム・シミュレーションにより機能確認と性能予測を行った。

課題推進者:永田 真(神戸大学)

(3) 研究開発項目3:ホットシリコン量子ビット

研究開発課題6: シリコン量子ビットの高温動作

当該年度実施内容: 本研究開発課題では、まずは量子ビットアレイ構造の一部を用いた「小規模な実験回路」実験を行い、プロジェクトにおける5年目の目標(量子ビット演算)に向けた課題抽出を行う。次にシリコン量子ビットの1K温度動作を評価・検証する。当該年度はこの目標達成にむけて、量子ビットアレイ構造の一部を用いた「小規模な実験回路」を用いた実験に適しており、かつ動作温度の高温化実験に対応した測定系の検討および仕様策定を行った。さらに、令和3年度に予定している「小規模な実験回路」を用いた実験のための測定系の構築を効率的に行えるよう、量子ビット制御用エレクトロニクスについて先駆けて導入を進めた。

課題推進者: 小寺 哲夫(東京工業大学)

3. 当該年度のプロジェクトマネジメント実施内容

(1) 研究開発プロジェクトのガバナンス

進捗状況の把握

- 代表機関にて PM 支援体制チームの編成を行った。具体的には、株式会社日立製作所の産学連携部門、知財担当部門、広報部門等の本プロジェクトの運営に必要となるアシスタントスタッフによる本研究開発プロジェクトの推進・管理を円滑に行うための体制を構築した。
- 令和2年度のプロジェクト発足に伴い、課題推進者を集めたキックオフ会議を開催して、以下の情報共有と確認を行った。
 - (ア) プロジェクト目標
 - (イ) 研究開発項目と研究課題の位置づけ
 - (ウ) 全体スケジュールとマイルストーン
 - (エ) 予算計画
 - (オ) 知財に対する取り扱い
- プロジェクトの円滑な推進に向け、プロジェクト全体定例会議を原則として1ヶ月に一度開催する会議体を設計し、運用を開始した。本定例会議にて、重要事項の連絡・調整、および、各課題推進者の進捗状況の把握および共有等を行った。

研究開発プロジェクトの展開

- サイトビジットなどを通じ、課題推進者のアセットなどの正確な状況把握を実施した。ただし、令和2年度はコロナ状況下であったため、定例会議の場を利用した東工大のサイトビ

ジットの実施のみにとどまった。限定された状況下ではあったが、研究開発課題の詳細議論・深耕、および、具体的な対策案の議論に本サイトビジットを有効活用した。コロナ状況にも依存するが、令和3年度以降も積極的にサイトビジットの機会を増やすことで、プロジェクト実現に向けた課題推進者間連携による詳細議論、および、円滑な運営に努めていく。

(2) 研究成果の展開

- 学会・論文投稿、招待講演、および、学術誌への総説の寄稿を通じ、研究成果の情報公開を行った。令和3年度以降は、これまでの活動に加え、展示会での成果発表による積極的なプレゼンス向上に努めるとともに、各課題推進者の所属する学生、および、関係者に向けた講義活動等を通じ、若手の人材育成に向けた取り組みも強化していく。
- 各課題推進者間の連携やプロジェクト関連を円滑に行うべく、知財をはじめとした契約内容の改定案の議論を、各課題推進機関の研究者、産学連携部門、知財担当部門で開始した。議論した内容は、令和3年度の実施規約の改訂に反映させる(オープン量子)。オープン量子開発戦略を策定することで、シリコンを用いた大規模量子システムの研究開発コミュニティの拡大、および、社会実装のさらなる促進をめざす。

(3) 広報、アウトリーチ

- 本プロジェクトの広報、アウトリーチについては、代表機関である日立製作所の既存広報部門の支援を受け、本プロジェクトのHPを立ち上げる前の暫定版として、日立製作所のHPの一部にムーショットの取り組みを紹介した。

<https://www.hitachi.co.jp/rd/sc/qc/index.html>

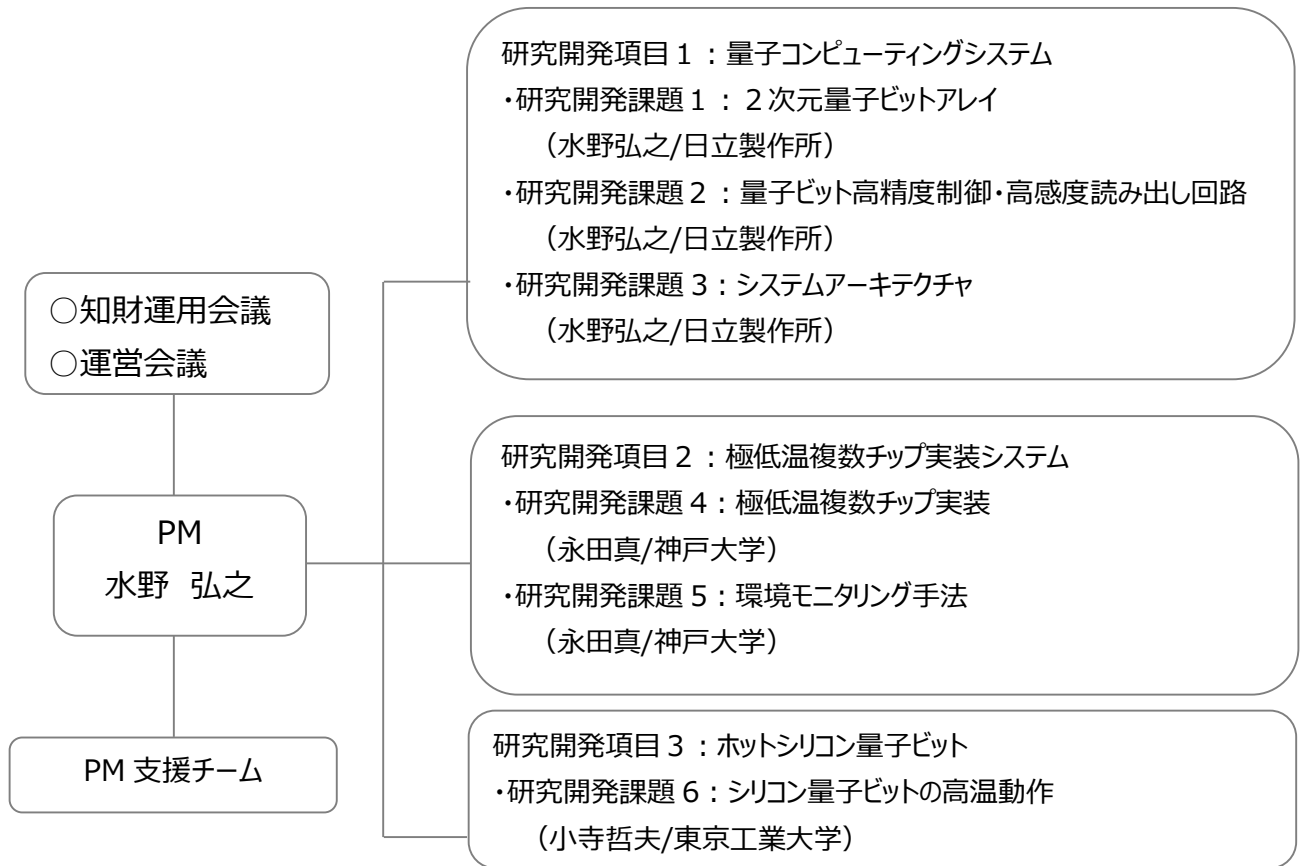
また、さらなるプレゼンス向上に向け、広報、アウトリーチ戦略の具体的な進め方に関して、外部有識者を交えた議論を開始した。令和3年度も本議論を継続し、広報、アウトリーチ活動を最大化する具体的な戦略を策定し、令和3年度は、それを実行に移す。本活動を通じ、本プロジェクト独自のホームページの立上げを行っていく予定である。

(4) データマネジメントに関する取り組み

- データマネジメントの一環として、BOX、および、Slack の運用を開始した。具体的には、セキュリティ保護の必要となるファイル共有には、高度なセキュリティ対策が施されたBOXを活用する一方で、Slack は、研究課題推進者間での議論、情報共有を行う場として利用する。アクセス権に関しても制限を適正化することで、セキュアな情報管理と、課題推進者間での円滑な情報共有との両立を目指す(BOX:各研究課題機関の取り纏め層のみにアクセス権を付与、Slack:各研究課題を行う参加者全員にアクセス権を付与)。

4. 当該年度の研究開発プロジェクト推進体制図

PM を中心とした当該年度の研究開発プロジェクトの推進体制を以下に示す。



* 令和3年度より、研究開発項目4 小規模回路による量子演算として、課題推進者 理研中島峻が参画する。

知財運用会議 構成機関と実施内容

構成機関について、議長は PM、参加者は PM、課題推進者、同機関の知財部門など関係部門が考えられるが、案件ごとに PM が機構と協議のうえ決定する。また、必要に応じて、本規約の遵守に同意した外部有識者を加える。実施内容は、本研究開発プロジェクトに関連する知的財産権の実施許諾条件等の運用に関し必要な事項について協議する。実施方法は、PM の判断により書面等による協議で代替できるものとする。

運営会議 実施内容

構成機関について、議長は PM、参加者は PM、課題推進者、PM が必要と認めた外部有識者等から構成する。実施内容については、実施規約に記載された以下の内容を中心に協議する場とする。PM による新たな研究開発機関の参加、参加機関等以外からの本研究開発プロジェクトへの新たな関与者、実施規約の改正、課題推進者間の情報交換・助言等も協議の上行えるようにする。

5. 当該年度の成果データ集計

知的財産権件数				
	特許		その他産業財産権	
	国内	国際(PCT含む)	国内	国際
未登録件数	0	0	0	0
登録件数	0	0	0	0
合計(出願件数)	0	0	0	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	0	0	0
口頭発表	0	0	0
(うち、査読有)	0	0	0
ポスター発表	0	0	0
合計	0	0	0

原著論文数(※proceedingsを含む)			
	国内	国際	総数
件数	0	1	1
(うち、査読有)	0	(1)	(1)

その他著作物数(総説、書籍など)			
	国内	国際	総数
総説	0	0	0
書籍	0	0	0
その他	0	0	0
合計	0	0	0

受賞件数		
国内	国際	総数
0	0	0

プレスリリース件数
0

報道件数
0

ワークショップ等、アウトリーチ件数
1