



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

2023 年度版

ナノファイバー共振器 QED による

大規模量子ハードウェア

青木 隆朗

早稲田大学 理工学術院



1. 当該年度における研究開発プロジェクトの実施概要 ※この項目は2頁以内で作成 令和5年度計画時の計画概要

(1) 研究開発プロジェクトの概要

独自のナノファイバー共振器 QED 技術に基づき、大規模化と分散化が可能な新方式の量子コンピューターハードウェアを開発するとともに、社会実装を推進する。それにより、2050 年には、圧倒的に大規模な量子ビット数を持つ分散型の誤り耐性汎用量子コンピューターと量子インターネットの実現を目指す。

(2) 研究開発プロジェクトの実施状況

ナノファイバー共振器 QED 方式ハードウェアの原理実証に関しては、原理実証用ユニットの立ち上げを完了した。量子誤り訂正理論では、共振器 QED を用いた光子生成、量子ゲートなどの要素技術の提案を行なった。また、共振器 QED 系に対して誤り耐性量子計算方式を適応した場合の具体例を主要な方式である表面符号において評価した。周波数安定化光源システムでは、光バンドパスフィルターを用いた波長 852nm の狭線幅・安定・堅牢な ECDL を製作した。大規模化では、1,000 ビット用イメージング光学系の開発に向け、100 ビット用イメージング光学系を試作した。分散化では、分散化ユニットを試作するとともに、複数ユニット接続のための要素技術を開発した。社会実装では、クラウドシステム用ハードウェアを設計するとともに、試作機を開発した。

(3) プロジェクトマネジメントの実施状況

3 プロジェクトとして重要事項の連絡・調整のため運営会議を開催し、また、PM が各研究開発機関における研究の進捗状況を把握すると同時に、各課題推進者がプロジェクト全体の状況と MS 目標達成からバックキャストしたシナリオ上での現在地を把握するため、PM を起点として各課題推進者と連携した。また、必要に応じて PM によるサイトビジットを実施した。

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:ナノファイバー共振器 QED 方式ハードウェアの研究開発

研究開発課題1:ナノファイバー共振器 QED 方式ハードウェアの原理実証

当該年度実施内容:ナノファイバー共振器 QED 基盤技術を開発し、ナノファイバー共振器 QED 方式ハードウェアの原理実証を確立するため、原理実証用ナノファイバー共振器 QED ユニットの立ち上げを完了した。

課題推進者:青木 隆朗(早稲田大学)

研究開発課題2:ナノファイバー共振器 QED 方式に適した量子誤り訂正理論

当該年度実施内容:共振器 QED を用いた光子生成、量子ゲートなどの要素技術の提案を行った。光子の純粋度を悪化させる再励起過程が起こらない形の光子生成方式を提案した。また光子の損失やパルス形状などを考慮した上で精度の良い共振器 QED 系による量子ゲートを提案した。共振器 QED 系に対して誤り耐性量子計算方式を適応した場合の具体例を主要な方式である表面符号において評価した。3つの基本的な共

振器 QEC ネットワーク構成において評価を行い、優劣の比較を行った。
またこの構成に適した新たな復号方式も提案した。

課題推進者:徳永 裕己(NTT コンピュータ&データサイエンス研究所)

研究開発課題 3:周波数安定化光源システム

当該年度実施内容:光バンドパスフィルターを用いた波長 852nm の狭線幅・安定・堅牢な ECDL を製作した。量子コンピュータへの適用を目指し、セシウム原子の D2 線近傍に波長を設定した。発振モード特性、強度雑音、位相雑音、および周波数変調に対する応答特性の評価を行うとともに、光コムの一周期成分に位相同期することに成功した。長時間連続稼働に向け、誤差信号の変動を観察したところ、環境、特に気圧変化の影響が大きいことを突き止めた。

課題推進者:稲場 肇(産業技術総合研究所)

研究開発課題 4:大規模化・分散化

当該年度実施内容:ナノファイバー共振器 QED ユニットの大規模化および複数ユニット接続による分散化に基づく大規模ハードウェア技術の開発を進めた。今年度は、ユニットの大規模化については、1,000 ビット用イメージング光学系の開発に向け、100 ビット用イメージング光学系を試作した。分散化については、遠隔 2 ユニット間での 2 量子ビットゲートの実証に向け、分散化ユニットを試作するとともに、複数ユニット接続のための要素技術を開発した。

課題推進者:青木 隆朗(早稲田大学)

研究開発課題 5:社会実装

当該年度実施内容:ナノファイバー共振器 QED 方式量子コンピュータークラウドシステムに向け、クラウドシステム用ハードウェアを設計するとともに、試作機を開発し、システムの初期プロトタイプを確立した。特に、今後の大規模化を見据え、試作機はモジュール式で構成し、各モジュールを独立してテストした後、全体として統合した。

課題推進者:碁盤 晃久(Nanofiber Quantum Technologies)

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

代表機関として早稲田大学は、リサーチイノベーションセンターが PM 活動を支援し、さらに全体の事務統括として研究推進部が事業進捗を管理した。プロジェクトとしての重要事項は PM および PM 支援チームより連絡・調整を行い、また、PM が各研究開発機関における研

究の進捗状況を把握すると同時に、各課題推進者がプロジェクト全体の状況と MS 目標達成からバックキャストしたシナリオ上での現在地を把握するため、PM を起点として各課題推進者と連携した。また、必要に応じて PM によるサイトビジットを実施した。

研究開発プロジェクトの展開

プロジェクト内で課題推進者が有機的に連携できるよう、メンバーの相互派遣を含めた協働体制を構築した。また、効果的な社会実装のため、知的財産権の適切な取得や技術移転活動等を推進した。さらに、MS 目標 6 内にてプロジェクト間連携を展開した。

(2) 研究成果の展開

研究開発プロジェクトにおける知財戦略や知財出願の計画、技術動向調査、市場調査、事業化戦略、グローバル展開戦略等を継続的に検討した。

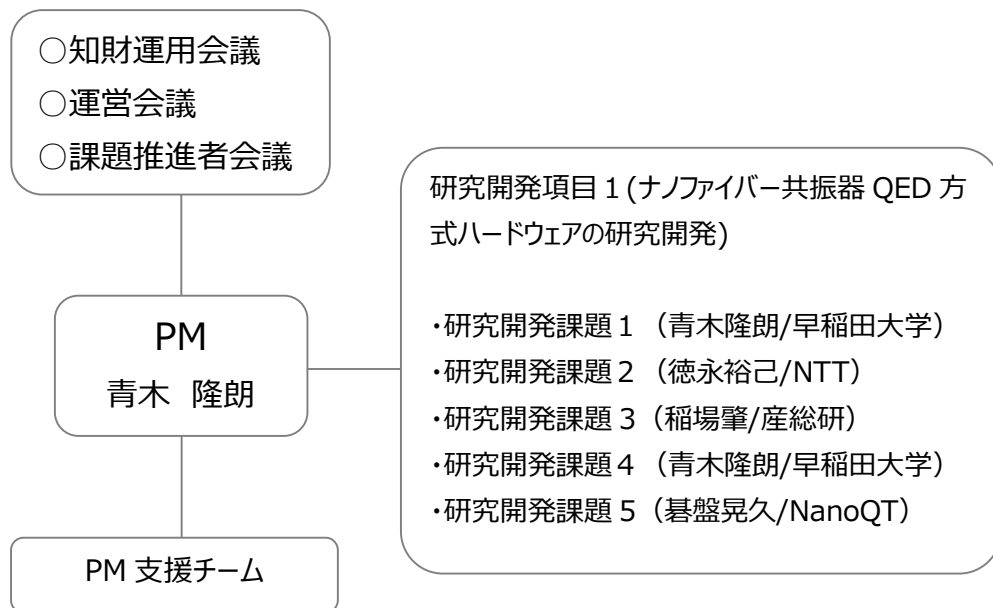
(3) 広報、アウトリーチ

ホームページ、リーフレット等による積極的な広報、アウトリーチ活動を実施した。特に、早稲田大学において、「早稲田大学量子技術社会実装拠点」を設立し、3 月に拠点設立シンポジウムを実施した。また、早稲田大学が参画する他のムーンショットプロジェクトと連携し、「ムーンショット早稲田デー」を開催し、プロジェクトのビジョン、ミッション、および研究成果を紹介した。

(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プランを作成し、これに基づいたデータの保存・管理・公開を実施した。

4. 当該年度の研究開発プロジェクト推進体制図



知財運用会議

構成機関：早稲田大学、NTT、産総研、NanoQT

実施内容：研究開発プロジェクトにおける知財戦略や知財出願の計画、技術動向調査、市場調査、事業化戦略、グローバル展開戦略等の検討

運営会議

実施内容：プロジェクトの重要事項の連絡・調整

課題推進者会議

構成機関：早稲田大学、NTT、産総研、NanoQT

実施内容：プロジェクト全体の状況、および MS 目標達成からバックキャストしたシナリオ上での現在地の共有

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	1	0	0
登録件数	0	0	0	0
合計(出願件数)	0	1	0	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	5	5	10
口頭発表	6	1	7
ポスター発表	1	10	11
合計	12	16	28

原著論文数(※proceedings を含む)			
	国内	国際	総数
件数	0	2	2
(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
14