



## 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

## 2022年度版

スケーラブルで強靱な  
統合的量子通信システム

**永山 翔太**

慶應義塾大学 大学院政策・メディア研究科



## 研究開発プロジェクト概要

本プロジェクトでは、分散型大規模量子コンピュータの主要技術である汎用量子通信ネットワークのテストベッドを構築し、実運用を見据えた通信アーキテクチャやプロトコル等の原理・技術実証にハードウェア・ソフトウェアを統合して取り組みます。本プロジェクトの成果は分散型大規模量子コンピュータのみならず量子インターネットにも繋がり、両者を両輪とする、量子情報を自在に生成・流通・分散処理する世界の実現に貢献します。

[https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal6/6C\\_nagayama.html](https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal6/6C_nagayama.html)

## 課題推進者一覧

課題推進者	所属	役職
永山 翔太	株式会社メルカリ mercari R4D	シニアリサーチャー
大野 浩之	金沢大学 学術メディア創成センター	教授
佐々木 寿彦	東京大学 大学院工学系研究科	講師
Rodney Van Meter	慶應義塾大学 環境情報学部	教授
根本 香絵	沖縄科学技術大学院大学学園 量子情報科学・技術ユニット	教授
生田 力三	大阪大学 大学院基礎工学研究科	講師
武岡 正裕	慶應義塾大学 大学院理工学研究科	教授
赤松 大輔	横浜国立大学 大学院工学研究院	准教授
新関 和哉	LQUOM 株式会社	代表取締役
堀切 智之	横浜国立大学 大学院工学研究院	准教授
洪 鋒雷	横浜国立大学 大学院工学研究院	教授
丹治 はるか	電気通信大学 レーザー新世代研究センター	准教授
山崎 歴舟	国際基督教大学 教養学部	准教授
山口 祐也	情報通信研究機構 ネットワーク研究所	研究員
佐々木 遼	理化学研究所 量子コンピュータ研究センター	訪問研究員
添田 彬仁	国立情報学研究所 情報学プリンシプル研究系	准教授
佐藤 貴彦	慶應義塾大学 大学院理工学研究科	特任講師
松崎 雄一郎	産業技術総合研究所 新原理コンピューティング研究センター	主任研究員
永山 翔太	慶應義塾大学 大学院政策・メディア研究科	特任准教授
長田 有登	東京大学 大学院総合文化研究科	助教

## 1. 当該年度における研究開発プロジェクトの実施概要

### (1) 研究開発プロジェクトの概要

#### プロジェクトの課題

2050年の社会像において、量子コンピュータネットワークを通じて世界中で量子データが自由に生成、流通、処理される“Advanced” Society 5.0を目指す。このビジョンの実現には量子情報を自由に操作できる堅牢な基盤が必要で、その一環として分散型量子コンピュータの開発が進められる。

分散型量子コンピュータは、局所的に処理を実行可能な単位の量子コンピュータを大量に連結する形態を取る。その大規模なシステムを物理的、論理的に管理するためには、分散化が必要である。この規模のシステムを効率的に実現するためには、量子コンピュータ本体、量子コンピュータの通信インターフェース、そして多数の量子コンピュータ間の自由な接続を可能にする量子通信ネットワークの3つが必要となる。

本プロジェクトでは、特に3つ目の要素である量子通信ネットワークを開発・実証し、2つ目の要素である通信インターフェースにも対応する。分散システムは、ネットワークの上に構築され、各量子コンピュータの計算力とそれらをつなげるネットワークの通信力によって全体の計算能力が決まる。本プロジェクトでは、これらの通信力の研究開発に貢献し、多数の量子コンピュータを高効率に繋げ、負荷や障害に対して強く、メンテナンス性を含めて安定した量子通信ネットワークを実現する。

本プロジェクトでは、「量子通信アーキテクチャ」を開発・実証する。その際、実機による具体的な実証と、シミュレーションを用いた将来的な大規模ネットワークでの振る舞いの検証(スケーラビリティの検証)を二本柱とする。本プロジェクトの成果は、量子情報の自由な流通を可能にする量子インターネットの実現への貢献も期待される。

目標6全体の研究開発プログラムに対して、本プロジェクトは量子通信ネットワークの研究開発を行う役割を担い、それはアーキテクチャ、ネットシステム、ハードウェアの3つの部分から成る。それぞれの部分は相互に連携し、その結果として量子ネットワークが早期に実現する。このネットワークを通じて他のプロジェクトで開発されている量子コンピュータを接続し、多数の量子コンピュータ同士の接続を実現する。

#### 体制

本プロジェクトは、長期的な目標である量子メモリと光技術の両方を利用した量子通信システムの原理と技術の統合的な実証に向けて、各個別課題に着実に取り組む体制を構築している。項目5課題1では、この長期目標を目指し、まず光技術による量子通信システムの原理・技術実証を目指している。そして、長期目標ならびに項目5課題1からバックキャストして考えた、これらを構成する専門領域における具体的な課題解決に、項目1から4が努めている。この体制は、PMが課題推進者として項目5課題1を取りまとめ、各PIが各々の専門性を活かしてこれに貢献する形になっている。

項目5課題1で実証したシステムを用いて、イオントラップ量子コンピュータの接続と分散量子計算の実証を目指す項目5課題2を設定している。これらの取り組みにより、量子通信システムの統合的な実証に向けた進行、分散量子計算の実証、個別領域での技術開発が同時並行で行われる体制が整っている。

### (2) 研究開発プロジェクトの実施状況

2022年11月にプロジェクト開始となり、2022年度は実質的に5ヶ月しかなかったが、全体を通して、各研究開発課題は予定通りに順調に進行しており、期待される結果に向けた重要な進展が確認できている。項目5課題1(光技術による量子通信システムの原理・技術実証)について、特に項目1(ネットワークアーキテクチャ)および項目2(量子光

技術)のメンバーが初期設計と理論的検証を牽引している。本年度には、実証すべき量子通信システムにおける量子ハードウェア系の初期設計を作成し、この設計を基に、必要な機材の調達を開始した(項目5)。また、この設計を基に、量子通信に係るモジュールの切り分けやインターフェース設計・量子信号の送受信を支えるネットシステムの設計を開始し、シミュレータ設計の更新も開始した。これらの実装が目指すべき将来像のより良い新規開拓も進めており、誤り訂正符号の使い方やスケール性の理論研究も進めている(ここまで項目1)。また、光技術によるルーティング機構や、信号減衰に強い多ノード通信メカニズムの研究も開始し、成果が挙げられた(項目2)。実装的には長期目標で合流する量子メモリ技術や、そのような量子メモリを光接続するための研究を行っているメンバーも、個別研究を進める傍ら試験システムの設計に参加しており、量子メモリのインストールを前提とした仕組みの検討や、量子メモリ研究へのフィードバックを行っている。また、超伝導量子コンピュータを通信ネットワークに接続するための最も現実的で早期に実現可能と見込まれる技術の開発に取り組んでいる。挙動が確率的で不確実な量子通信を高確度で行うための研究も開始した。(項目3)

プロジェクトの遂行に当たっては、予め見込まれていた課題だけでなく、進行過程で新たに浮き彫りになった課題についても対応が必要となる。上述の通り、本プロジェクトでは、これらの課題に対して、各研究者が各自の専門領域における課題として取り組む形で解決策を模索している。この結果、アプリケーション研究では、量子通信システム・分散量子情報処理システムの動作を検証するための理論を構築して、成果を挙げた。また、分散処理プラットフォームに求められる性能の定量化に資する研究も開始した。(項目4)

これらの進行状況は、プロジェクトが成功に向けた重要な進展を遂げていることを示している。今後もこのような着実な進行を続けられることを期待している。

### (3) プロジェクトマネジメントの実施状況

本年度のプロジェクトマネジメントでは、PM支援チームを組織すると共に、クラウドメッセージアプリを活用して日常的にコミュニケーションを取る体制を構築し、プロジェクト運営を円滑に進めている。また、四半期ごとにPMと課題推進者の1on1会議を実施し、個別の問題をPM側から積極的に掘り上げ、解決する体制を作っている。

競争と協働のバランスを保ちつつ、量子通信システムの原理と技術の実証に取り組んでいる。自己調整する体制を取ることで、情報の透明性が向上し、誤解や不明確な状況を防ぎ、問題の早期発見と解決を促進している。

国際的な情報発信と協力を重視し、研究者の育成にも力を入れている。実験家・理論家の枠にとらわれない量子情報工学者の育成が、日本が世界を牽引していくための鍵である。特にソフトウェア・ネットシステム領域においては、オープンソースでの研究開発や、IETF/IRTF等のトップ国際会議での情報発信・議論により、プロジェクトの国際展開を進めている。

知財戦略としては、本プロジェクトで研究開発しているモジュール間インターフェース仕様を公開し、オープンイノベーションを推進する一方で、各モジュールの内部実装については自由に知財を取得することを合意している。

広報とアウトリーチについては、量子インターネットタスクフォースとの合同シンポジウムを開催し、ウェブサイト上での情報提供などを通じて情報発信を行っているほか、分野・業界横断的に各種講演活動を実施している。

データマネジメントについては、クラウドを活用し、データアクセス権限を設定することで、円滑な協力とデータの管理を両立している。

## 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:強靱で大規模な通信網を実現する新しいネットワークアーキテクチャ・プロトコルの開発

研究開発課題1:量子通信アーキテクチャ・プロトコルに関する研究開発

当該年度実施内容: 本年度の研究活動は、量子コンピュータネットワークの開発に必要な要求性能を特定するために、各コンポーネントの詳細な検討を行った。来年度には、本年度の検討を基に、通信ハードウェアに求められる性能を定量的に算出する予定である。

課題推進者:株式会社メルカリ 永山翔太

研究開発課題2:古典システム・プロトコル実装

当該年度実施内容: 本課題は、量子通信システムの原理・技術を実証する項目5課題1と強く連携する位置にある。項目5課題1で検討している量子ハードウェア設計からの要求を常に参照しつつ、アーキテクチャや各研究開発項目の要求性能から古典制御系に求められる性能を検討した。この検討とその結果に基づく実装は2023年度も継続するため、一連の検討やそれに基づく評価実験に必要となる実験支援系についても設計し、実装の準備に入った。

課題推進者:金沢大学 大野浩之

研究開発課題3:モジュール間インターフェースの研究開発

当該年度実施内容: 本課題は、項目5課題1で構築する量子通信システムプロトタイプを効率的に開発するためのモジュール分けやインターフェース開発を担っている。当該年度には、項目1課題1「量子通信アーキテクチャ・プロトコルに関する研究開発」項目1課題4「1000台規模のデータセンター遅延のネットワークプロトコル・オペレーション手法の研究開発」や項目2課題1「量子光通信の高性能化技術の開発」と協力し、アーキテクチャとインターフェースについて大枠の合意をとりつけた。これに加えて、項目1課題2「古典システム・プロトコル実装」および項目5課題1「量子通信ネットワークの統合的実証」とも協力し、策定するインターフェースを満たせるように、ハードウェア用のソフトウェア作成支援も行っている。

課題推進者:東京大学 佐々木寿彦

研究開発課題4:1000台規模のデータセンター遅延のネットワークプロトコル・オペレーション手法の研究開発

当該年度実施内容: Work on several of the network specifications has begun. Rather than the individual node specifications, we have come to understand that the broader network-level specifications must take priority. The first specifications include the network architecture; RuleSets, which govern the behavior of the inter-node connections; and the connection setup and teardown protocol, incorporating the basic link-level mechanism for synchronizing the point when a multiplexed link changes state to add or remove connections from the set of consumers of Bell pairs generated by the link.

課題推進者:慶應義塾大学 Rodney Van Meter

## 研究開発課題5:スケーラブルな量子通信ネットワーク・エッジアーキテクチャの研究開発

当該年度実施内容:本年度は、線形ネットワークを用いて、ネットワークの量子通信に Bosonic 符号を用いる方法で、実装上必要となるリソースを考慮に入れ、複数の Bosonic 符号について性能を解析することで、単純なネットワークのスケール性を評価した。異なる種類の量子ビット間の通信で現れる、符号の特性と物理的な特性とを検討し、特性を調査した。また、point-to-point の最適な実装を見出すための分析ツールを開発した。精製プロトコルとグラフ符号の関係性を見出すことで、複数のタスクに対して証明可能な最適な精製プロトコルを見出した。さらに、n から1ペアへ精製する場合の量子鍵配送の精製プロトコルで評価した。

課題推進者:沖縄科学技術大学院大学 根本香絵

## (2) 研究開発項目2:量子光の精緻な制御を可能にする量子光通信技術

### 研究開発課題1:量子光通信の高性能化技術の開発

当該年度実施内容:研究開発項目1に関係する永山 PI、佐々木 PI と共に、上位レイヤにおけるネットワーク管理を考慮した元での適切な光学回路設計をおこなった。2光子干渉方式のみならず、将来的な1光子干渉方式への移行がスムーズに行えるように、研究開発項目2の赤松 PI、武岡 PI、新関 PI、研究開発項目3の堀切 PI、洪 PIらと共に、遠隔者間での位相制御方式の実装方法についても検討した。また、研究開発項目5の永山 PIらと共にテストベッドで構築する光学回路を決定した。パルスレーザや超伝導光子検出器など、光学回路立ち上げに必要な機器を一部手配した。

課題推進者:大阪大学 生田力三

### 研究開発課題2:損失に強い量子光通信技術の研究開発

当該年度実施内容:スター型ネットワークにおける1光子干渉型の量子ルーターの設計と理論解析を行った。ネットワークの中心において、それぞれのエンドユーザーから損失のある通信路を通じて伝送された0光子-1光子重ね合わせの量子信号を全て互いに等しく干渉するような光学回路を持つ光学回路を通した後に光子検出を行う量子ルーターにより、ベル状態、W状態、Dicke状態など2体~多体の様々なエンタングルメントを、従来手法よりも高効率に配信できることを理論的に示した。また、実証実験系構築に向けた物品購入と環境整備を進めた。

課題推進者:慶應義塾大学 武岡正裕

### 研究開発課題3:量子光通信の位相同期・安定化技術の開発

当該年度実施内容:本年度は、狭線幅レーザを開発するために必要な光共振器、およびそれを設置するための真空装置とその周りの機器(除震装置や音響遮蔽箱)の設計を完了し、来年度初頭の発注に間に合わせる事が出来た。

また、1.5umレーザの評価を行う予定であったが、1.5umレーザの選定・納品・資金執行開始等に時間がかかってしまい、年度内に入手することができなかった。そのため、レーザの評価に関しては行う事が出来ず、来年度のレーザの納品を待ってすぐに始める予定である。

課題推進者:横浜国立大学 赤松大輔

#### 研究開発課題4: 希土類量子メモリと量子光通信との光インターフェースの開発

当該年度実施内容: 本課題は、希土類量子メモリと効率的に結合(すなわち量子メモリへの保存と読み出し)できる光子の高効率での生成を目的としている。保存の高効率化を目的として、光を閉じ込める光共振器光学系を構築するため、本年度には、本課題推進者が確立してきた光学系の設計プログラムを作成した。この閉じ込めは、希土類量子メモリが反応できる光周波数に、光を調整(狭線幅化)する効果がある。しかも、この共振器は、周波数多重化を同時に担うことができるため、周波数多重化をネイティブに実現可能な希土類量子メモリとの相性が良く、将来的に効率を最大化できる。しかし、この設計には大量のパラメータ領域を探索して良いパラメータを見つけ出す必要がある。このため、専用の算出プログラムを作成した。来年度には、このプログラムを利用して、まず共振器に用いる結晶の設計を決定する。また、実際に共振器の開発を開始し、試作して、性能の評価や改善に繋げる。

課題推進者: LQUOM 株式会社 新関和哉

#### (3) 研究開発項目3: 量子信号の中継・変換を実現する量子メモリ・量子中継

##### 研究開発課題1: 量子中継ネットワークに向けた多重化量子メモリ開発

- (1) GHz オーダー駆動周波数による電気光学変調をもちいた変調レーザにより、Pr:YSO 不均一幅内に30以上の透明領域を生成する
- (2) ダイナミカルデカップリングによるメモリ時間延長に向けた、10MHz 交流磁場印加システムの構築

当該年度実施内容:

多重化量子メモリおよびそれを利用した量子中継技術の開発を行った。希土類添加物質 Pr:YSO の不均一広がりおよそ 10GHz の領域に量子メモリ領域を生成し、複数のメモリ領域を生成する準備を実施した。特に多重化達成のための高速光周波数変調システム構築準備のため物品調達を実施した。

また、波長チャンネル間識別システム構築のため、Pr:YSO の不均一広がり制御により波長情報を時間情報に転写し、時間情報による読出しを可能にするシステム開発のための制御システム調達を行った。

さらに、項目 5 課題 1 への貢献として、試験実装の量子ハードウェア系の設計に協力した。

課題推進者: 横浜国立大学 堀切智之

##### 研究開発課題2: 中継用量子メモリ光源安定化技術の開発

当該年度実施内容:

1010 nm フィルター型外部共振器半導体レーザーを設計・製作し、レーザー発振させることができ、発振周波数のチューニングも成功した。

将来的な光コムの開発のために、モード同期 Er ファイバーレーザーを開発している。当該年度では、可飽和吸収体ミラー (SESAM) を用いたモード同期ファイバーレーザーを発振させることができた。

課題推進者: 横浜国立大学 洪鋒雷

##### 研究開発課題3: スピン波によるもつれ光子発生の確実性向上に関する研究開発

当該年度実施内容:



本課題では、分散量子コンピュータにおけるバッファ付き量子もつれ光源として高読み出し確率を持つ原子スピン波 QED 系を利用し、利用が集中する共有モジュールの高効率な利用を目指す。2022 年度は、原子スピン波 QED 系の構築に向けて、原子冷却系の構築を行い、磁気光学トラップ中で冷却された原子集団からの蛍光を観測した。

課題推進者: 電気通信大学 丹治はるか

#### 研究開発課題4-1: 量子メカニカルメモリの開発-1

当該年度実施内容: 本年度のプロジェクトでは、量子トランスデューサの開発に重点を置いた。量子トランスデューサは、超伝導量子ビットと光通信ネットワークをリンクし、量子計算の拡張や量子インターネットを通じたセンサ群の開発に大いに寄与する。そのためには、高いマイクロ波から光への変換効率が必要である。本年にはインフラ整備を行い、概ね実験開始ラインに立った。また理論方面では、新たなデバイス構築に向けた、音波共振器・光共振器のデザインについて検討した。フォトニック・フォトニック結晶構造を生かした、極小モード体積デバイスと、高い共振器 Q 値を用いたリング共振器のデザインの両方を検討して、ファブリケーションに向けたデザインの最適化を行った。

課題推進者: 国際基督教大学 山崎歴舟

#### 研究開発課題4-2: 量子メカニカルメモリの開発-2

当該年度実施内容: 本課題は量子メカニカルメモリの開発を課題 4-1 および 4-3 と連携して行うものであり、本課題では特に導波路型光共振器の高性能化に注力している。初年度である 2022 年度は、目標とするデバイス性能を見据えた材料基板仕様の明確化やデバイス作製プロセスの条件出し、試作を行った。2022 年度計画書にて設定していたマイルストーンを満足する結果が実験的に得られており、2023 年度は引き続き基礎特性の高性能化を図るとともに最終目標である量子メカニカルメモリ/トランスデューサの開発を進める。

課題推進者: 情報通信研究機構 山口 祐也

#### 研究開発課題4-3: 量子メカニカルメモリの開発-3

当該年度実施内容: 量子メカニカルメモリの開発に当たっては山口、佐々木、山崎、の 3 人 1 チームで取り組んでおり、それぞれファブリケーションの最適化(山口 PI)、メカニカルメモリの時間の向上(佐々木)、量子トランスデューサ機能における変換効率の向上を目指した測定環境の構築や設備の整備(山崎 PI)と分担している。佐々木の担当しているメカニカルメモリ開発について、今年度には、バルク材料を用いたデバイスでは十分に長い寿命を達成することができた。また高い変換効率期待できる薄膜材料を用いたデバイスでは現状では十分な寿命は得られていないが、今後のデバイス構造の改善によりさらなる寿命の向上が期待できる。得られたデータを元に数値シミュレーション等による解析を行い、寿命をより延長するための課題の抽出や設計の洗練を実施している。

課題推進者: 理化学研究所 佐々木 遼

#### (4) 研究開発項目4: 量子情報の分散環境が可能とする分散量子アプリケーション



### 研究開発課題1:分散処理環境における量子性とその応用研究

当該年度実施内容:当該年度の研究では、まず、小規模な量子系から構成される量子ネットワーク上で実行可能な量子操作を記述する理論を構築した。その後、リンク1本・単一量子ビット計算機が有する物理的性質のうち、大規模量子ネットワーク実現に必要な量子性を特定した。その後、当該量子性がどの程度発揮されているかを評価する理論を完成させた。リンク1本・単一量子ビット計算機が開発されたときに、この評価理論によって、1量子ビット計算機であるにもかかわらず、当該量子ビット計算機2台が接続した場合に、大規模量子ネットワーク実現に必要な量子性がどの程度発揮されるかを定量的に評価することが可能となった。

課題推進者:国立情報学研究所 添田彬仁

### 研究開発課題2:分散処理プロトコルとユースケースの研究開発

当該年度実施内容:

2022年度は、プロトコル開発の対象とする分散型アルゴリズムの選定と、運用に必要となるさまざまなリソースの分類を行って、アプリの運用環境やリソース定量化の準備を進めることを目標としていた。この目標に沿って、特性の異なる複数のアルゴリズムの選定を行い、運用要件の分類を進めた。また、アプリの性能と必要とするリソースを議論するためのフレームワークを設計した。

課題推進者:慶應義塾大学 佐藤貴彦

### 研究開発課題3:分散環境を用いた量子アプリケーションの理論提案

当該年度実施内容:量子センサを分散配置させて、磁場の情報を読み取り、その情報を一か所に集約することで、FRQI(flexible representation of quantum imaging)やQRAM(quantum random access memory)を構成する方法について考察した。さらにその数値計算を行うためのプログラムを作成した。分散配置された量子センサから得た情報を処理する研究である、Shettell, Nathan, Majid Hassani, and Damian Markham. "Private network parameter estimation with quantum sensors." arXiv preprint arXiv:2207.14450 (2022). の論文の調査を行い、我々の今後の研究の方向性を検討した。

課題推進者:国立研究開発法人産業技術総合研究所 松崎雄一郎

## (5) 研究開発項目5:技術を統合・実証していくテストベッド・統合実装

### 研究開発課題1:光技術による量子通信ネットワークの統合的実証

当該年度実施内容:

本課題は、永山 PJ 傘下の他の課題を糾合して量子通信システムの統合実証を実施する課題である。したがって、他の課題と連携して本課題のマイルストーンを達成していく構成になっている。

2022年度には、計画に従って環境整備計画を進行し、光技術による量子通信ネットワークのシステム設計を開始した。本課題は、量子もつれ光子生成装置などの量子ハードウェア、その制御装置、古典コンピュータとプログラムモジュール等の多様な要素を統合して、次世代の量子通信システムの設計・実証を目指している。

本年度の具体的な初期設計を通じて、プロジェクト全体の目標が理論的に達成可能であることを再確認した。また、それを達成するための技術課題も明らかにした。これに加えて、量子ハードウェア系の特徴に合わせた高速な信号処理やデータ処理・転送を実現するための古典ソフトウェア・古典ハードウェア・量子ソフトウェアなどの実現も、克服すべき課題であることを確認した。

2023 年度には、本年度に特定した課題への対応を含め、設計の改善を検討する予定である。また、システム構築も開始する。

課題推進者: 慶應義塾大学 永山翔太

研究開発課題2: 量子ネットワークシステム実証実験のためのイオントラップ量子ノードの開発

当該年度実施内容: 本研究開発課題では量子通信システムの実装実験に利用するためのイオントラップ量子ノードの開発を行っている。当該年度においてはイオントラップ量子ノードの設計とその開発に必要な物品の調達を行った。具体的に調達したものはイオントラップのための電極チップ、それを固定する治具、真空系、蛍光を高効率に収拾するための蛍光捕集系などである。

課題推進者: 東京大学 長田有登

### 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

- 慶應義塾大学政策・メディア研究科に PM 支援チームを構築している。事務処理システムについては、研究科の支援を受けている。
- ビジネス用のクラウドメッセージアプリを用いて日常的にコミュニケーションを取っており、進捗の把握・議論・連絡・調整などを円滑に行っている。そのようなアプリケーションを利用する習慣がない PI については、習慣を持つ秘書等を介して円滑にコミュニケーションを取っている。
- また、四半期に一回程度、PM と各課題推進者の 1on1 会議を実施しており、個別の問題について PM 側からの積極的な掘り上げと解決に務めている。
- プロジェクト運営に関する重要事項についての調整と合意のために、PM を議長とする運営会議を設置している。初年度は研究期間が 5 ヶ月しかなく、プロジェクト開始前に調整できた。来年度には、運営会議で規約の改定等の調整を実施する。

##### 競争と協働について

- 光技術による量子通信システムの原理と技術の実証を行う項目 5 課題 1 に直接的に貢献する項目 1、項目 4、および項目 2 の一部は、試作システムの設計を通して互いの進捗状況や要求事項を共有し合う体制が整っている。その結果、課題推進者同士が自己調整する効果が見受けられており、情報の透明性が向上し、誤解や不明確な状況を防ぐことができている。これはチーム間のコミュニケーションを効率化、生産性の向上、問題の早期発見と解決の可能性を向上させている。また、チームが自己調整する体制は、メンバー個々の自律性と責任感を高め、全体としてのチームの成果を向上させる助けとなる。現状、この仕組みは上手く回っている。
- 長期目標で試作システムに合流する量子メモリに関する課題については、異なる物理系を協調的に動作させることは 2050 年に向けた分散量子コンピューティングにおいて極めて重要である一方で、当面のプロトタイプ実装としては早期のインストール

に有望な系を選択する必要があることから、研究開発機関同士の競争原理が働いている様子を見て取れる。

- 2022 年度終了時において、プロジェクト開始 5 ヶ月であることから、大幅な方針展開等は実施していない。

### 研究開発プロジェクトの展開

- 国際連携に関する取り組みについては、専門家の集まる国際会議で積極的に情報発信している。2022 年度には、今日世界中で利用されているコンピュータネットワークを作ってきた IETF/IRTF の会合(現地参加 1000 人程度)において、本プロジェクトについて情報発信し、講演(目算、聴講者 100 人以上)を行ったほか、堀切 PI の実験室の見学ツアー(参加者枠 40 名満席・キャンセル待ち発生)を開催した。また、海外の研究機関から日本に赴任してきた研究者の取り込みを実施している。オープンソースによる研究開発も、国際協力のみならず、プロジェクト成果の国際展開に資する。
- 中長期を考えると、研究者の育成や、プロジェクトに貢献できる学生の教育が極めて重要である。特に、実験家・理論家と言った枠組みに囚われない量子情報工学者の育成が急務である。このような人材を育成するための、テストベッド環境での教育について、本プロジェクトも含めて計画している。
- メルカリ R4D が大阪大学 ELSI センターと取り組んできた量子技術と ELSI についての取り組みへの本プロジェクト成果の展開や、メルカリ/阪大 ELSI センターの成果の本プロジェクトへの展開を検討している。

### (2) 研究成果の展開

- 知財戦略・グローバル化戦略・競争戦略について統合的に戦略化しており、課題推進者と下記方針について合意した。インターフェースと記載しているが、正確にはインターフェース仕様である。本方針の草稿は、WIDE プロジェクトの協力で作成した。
  - 研究開発項目 1 課題 3 を中心として、モジュール間インターフェースを設計する。モジュール間インターフェースに関する成果は公開するものとし、インターフェース自体では知財を取得せず、オープンイノベーションに供する。
  - インターフェースの世界的公開と IETF/IRTF 等の国際会議等での活動により、世界中の研究開発者が、本プロジェクトのインターフェースを利用することを促進する。これにより、プロジェクト成果の最大化を図る。
  - 各モジュールの実装は、上述のインターフェースに従いつつ、内部実装については自由に知財を取得することとする。これにより、同種モジュール間のコンパチビリティや、異種モジュール間のインターオペラビリティを担保する。また、モジュール開発の自由競争を促す。
- 2022 年度終了時(プロジェクト開始から 5 ヶ月)において、知財運用会議を召集する案件は発生していない。

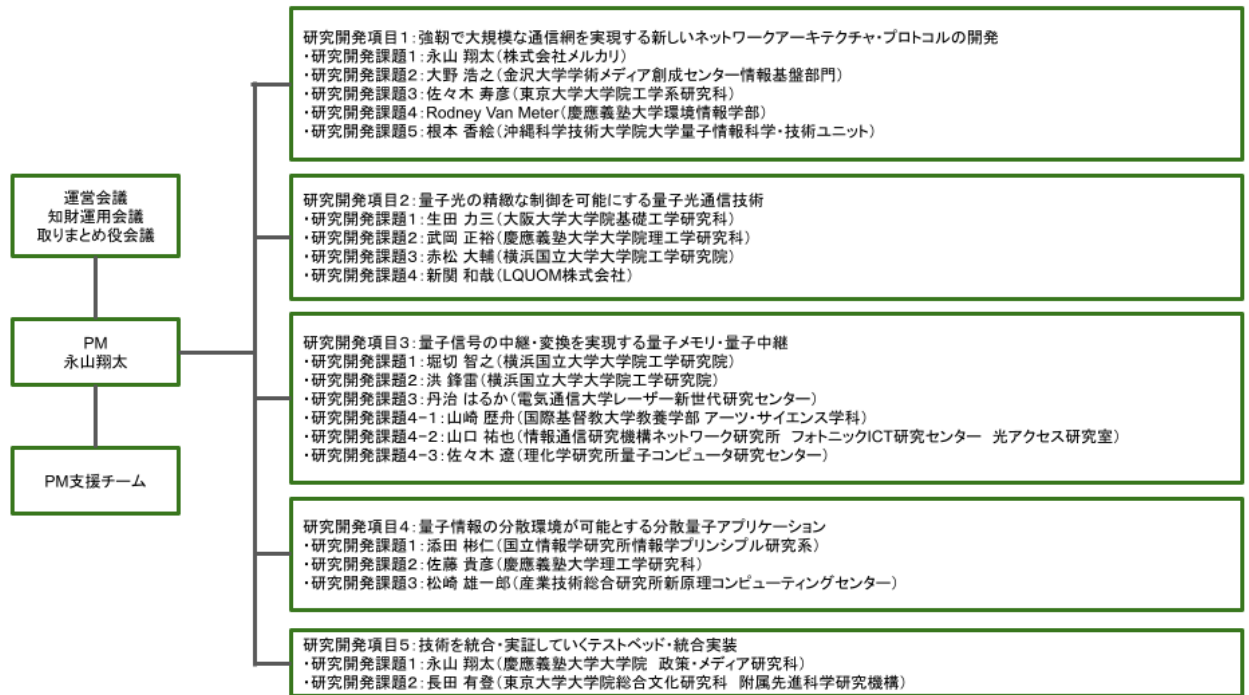
(3) 広報、アウトリーチ

- 2023年1月13日に、本プロジェクトと量子インターネットタスクフォースの合同シンポジウムを開催した。常時100人前後のオンライン接続があった。
- 内閣府・理研を中心として開催された Quantum Innovation 2022 において、量子通信若手セッションを本プロジェクトの PM・PI が主催し、量子通信システムについて国際的に議論した。
- 本プロジェクトの専用ウェブサイト開設について仕様の検討を進めている。
- PM が日常的に量子分野・情報通信分野等の各種コンソーシアム、研究会、技術イベントの講演に招待されており、本プロジェクトやムーンショット目標 6、特に量子ネットワーク関連プロジェクトについて広報している。

(4) データマネジメントに関する取り組み

クラウドを活用しており、各種データについてデータアクセス権限を設定し、円滑な協力とデータマネジメントの両立に務めている。

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 構成機関と実施内容

2022 年度には、知財運用会議に附議する案件は発生しなかった。

運営会議 実施内容

2022 年度(2022 年 11 月～2023 年 3 月)は、プロジェクト開始前の合意内容に従ってプロジェクトを管理運営した。

## 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	10	3	13
口頭発表	3	1	4
ポスター発表	0	1	1
合計	13	5	18

原著論文数(※proceedingsを含む)			
	国内	国際	総数
件数	0	3	3
(うち、査読有)	0	3	3

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	1	1	2
その他	0	0	0
合計	1	1	2

受賞件数		
国内	国際	総数
0	0	0

プレスリリース件数
1

報道件数
2

ワークショップ等、アウトリーチ 件数
5