

先端国際共同研究推進事業

2023 年度採択

Top チームのための ASPIRE

量子分野

2023 年度～2024 年度

年次報告書（公開版）

研究課題名	量子情報と量子生命科学を包括する国際共同研究網の構築
日本側研究代表者	水上 渉 大阪大学 教授
相手側研究代表者	<ul style="list-style-type: none">• Kristiaan De Greve, imec Fellow and Program Director Quantum Computing, Quantum Computing Program, IMEC• Martin Plenio, Director, Institute of Theoretical Physics, Ulm University• Dominic O'Brien, Professor, Department of Engineering Science, Oxford University• Javad Shabani, Director, Center for Quantum Information Physics, New York University
研究期間	2024 年 2 月 1 日～2029 年 3 月 31 日

1. 研究成果の概要

① 研究構想にかかる成果

<実施したこと>

3つの研究グループ（量子コンピューティング、量子デバイス、量子センシング）それぞれで海外パートナーとの共同研究を開始した。各グループで研究基盤となる装置・技術の整備を実施した。また、新しい連携先候補の探索にも着手した。

<得られた成果>

量子コンピューティングについては、共同研究に向けて分子系のための量子機械学習のデータベースを作成することに成功した。さらに、Oxford 大学と共同で量子ハミルトニアン の時間発展を効率的にシミュレーションする新しい手法「TE-PAI (Time Evolution via Probabilistic Angle Interpolation)」を開発した [arxiv:2410.16850]を開発した。このアルゴリズムは、Xanadu 社が選ぶ 2024 年の第四半期の Top quantum algorithms papers の一つにも選ばれた。

量子デバイスについては、これまで世界的にもほとんど報告がない InGaAs 量子ドットの作製に着手した。まだ量子ドットの形成には至っていないが、オーミック性電極やショットキー電極の性質を明らかにすることができた。加えて、高インピーダンス超伝導共振器の開発とともに、3 重量子ドットにおけるドット間遷移による高速スピン操作と軌道結合状態制御によるノイズに対するスイートスポット形成など研究室の独自の知見も盛り込みながら、トランスデューサー開発を進めた。

量子センシングについては、量子センシング高度化に向け、MRI 分子プローブやタンパク質への偏極移動技術を開発し、室温におけるピルビン酸の超偏極化に成功した。さらに、イオントラップを使った海外研究グループとの共同研究も進め、Oxford 大学と共同で 1.5×10^{-7} のという極めて低いエラーレートの 1 量子ビットゲートを実現した [arxiv:2412.04421]。また、Ulm 大学からは、フェッシュバツハ共鳴近傍での三体衝突において、外部磁場により反応経路を制御し異なるスピン特性を持つ分子生成の量子制御に成功した [Nature Phys. doi:10.1038/s41567-024-02726-3]

② 国際ネットワーク構築・拡大／国際頭脳循環の促進に資する若手研究者の人材育成に関する成果

<実施したこと>

研究者の海外派遣については、量子コンピューティンググループは特任助教を1名雇用し、Oxford 大学に3ヶ月間派遣した。また、同大学には Co-PI（主たる共同研究者）の宮西講師も3か月派遣した。量子デバイス分野では、九州大学で外国人若手研究者を2024年9月に採用し、NYU (New York University) への同博士の派遣についても議論を進めていく予定である。また、大阪大学から NYU へ博士課程学生も派遣予定であり、派遣開始時には大阪大学と九州大学の Co-PI および九州大学で雇用した若手研究者も NYU の訪問を計画している。NYU には、量子コンピューティンググループからも博士後期課程の学生1名を3ヶ月弱派遣した。さらに、新たな連携先候補として、量子コンピューティンググループからは、オーストラリアのクイーンズランド大学に博士後期課程の学生を2ヶ月ほどの派遣をおこなった。2024年11月には大阪大学の URA を各連携先の研究機関に派遣し、共同研究契約や今後の連携について現地で議論をおこなった。

国際会議などについては、量子コンピューティンググループは2024年9月に“Current and Future Computational Approaches to Quantum Many-Body Systems 2024 (CompQMB2024)”を東大物性研で共催した。量子コンピューティングに関して連携先からは Oxford 大学から Koczor 博士と博士後期課程の研究者の2名を招待した。量子デバイスに関連して、2024年12月にベルギー imec で開催された imec-

handai 国際シンポジウムでは ASPIRE プログラムの連携先として Si デバイス研究に関する議論をおこなった。さらに、Co-PI の大阪大学藤田准教授・大岩教授両名と九州大学木山准教授のグループメンバーは、本プロジェクトの連携先拡大の候補として、ドイツ RWTH Aachen (アーヘン工科大学) と Forschungszentrum Jülich (ユーリッヒ総合研究機構) JARA-Institute Quantum Information (PGI-11)の Hendrik Bluhm 教授、Beata Kardynal 博士、Vincent Mourik 博士、そして大阪大学チームもこれまで高品質 GaAs 系量子構造の基板提供を受けていた Ruhr University Bochum (ルール大学ボーフム) の Arne Ludwig 博士らを 2024 年 12 月に訪問し、光子ースピン量子インターフェース開発を中心とした打ち合わせをおこなった。これら欧州連携拡大の取り組みでは、若手研究者や学生計 3 名を帯同して見学・対話・発表をおこない、またオランダ (デルフト工科大学、QuTech) へも学生 2 名を派遣している。

<得られた成果>

宮西講師は、本プロジェクトに先行して 2023 年 7 月から Oxford 大学に滞在しており、併せて 1 年間の滞在となり、現地でのネットワーキングを十分におこなうことができた。また、CompQMB2024 を通じて来年度以降に向けた共同研究についてより深い議論をおこなうことができた。URA の派遣については、連携先機関と直接話し合えたことにより共同研究契約の締結に向けて前進があり、特に Oxford 大学との間の共同研究契約が短期のものではあるが締結される運びとなった。imec-handai 国際シンポジウムでは、ASPIRE プログラムの連携先である imec 量子部門との連携促進の議論がシンポジウムの主旨の一部に組み込まれた。同機会では、次年度の派遣計画を具体的に議論し、Si デバイスに関する研究内容を中心に、MOS 構造や Si/SiGe 構造に関する量子測定および産業レベルでの大規模化プロセスの計画について情報共有した。これにより、imec からのデバイス評価契約が継続され、物的・人的交換の機会が確保された。派遣した若手研究者が分野の中心的組織に認知され、具体的な交流計画に貢献した。

2. 研究実施体制

研究テーマ	中心となる研究者氏名	所属機関・部署・役職名
研究テーマ1	Dominic O'Brien	オックスフォード大学・工学部・教授
研究テーマ1	水上 渉	大阪大学・量子情報・量子生命研究センター・准教授
研究テーマ1	御手洗 光祐	大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授
研究テーマ2	Javad Shabani	ニューヨーク大学・量子情報物理学研究センター・センター長
研究テーマ2	Kristiaan De Greve	Imec・量子コンピューティングのプログラム・ディレクター
研究テーマ2	藤田 高史	大阪大学・産業科学研究所・准教授
研究テーマ2	大岩 顕	大阪大学・産業科学研究所・教授
研究テーマ2	木山 治樹	九州大学・システム情報科学研究院・准教授
研究テーマ3	Martin Plenio	ウルム大学・理論物理学研究センター・センター長
研究テーマ3	宮西 孝一郎	大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教
研究テーマ3	山本 俊	大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授

3. 代表的な業績（原著論文、プレスリリース、表彰など）

[1] C. Kiumi and B. Koczor, "TE-PAI: Exact Time Evolution by Sampling Random Circuits", arXiv:2410.16850 (2024)

[2] S. Haze et al., "Controlling few-body reaction pathways using a Feshbach resonance." *Nat. Phys.* (2025). <https://doi.org/10.1038/s41567-024-02726-3>

[3] M. C. Smith, A. D. Leu, K. Miyanishi et al., "Single-qubit gates with errors at the 10^{-7} level", arXiv:2412.04421 (2024)

[4] F. Kobayashi et al., " Tensor-network decoders for process tensor descriptions of non-Markovian noise", arXiv: 2412.13739 (2024)