2025 年度年次報告書

先端国際共同研究推進事業
【2023 年度採択　Top のための ASPIRE　量子分野】

【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

研究代表者：
水上 渉（大阪大学 教授）

相手側研究代表者：
Martin Plenio (ウルム大学 センター長)
Javad Shabani （ニューヨーク大学 センター長）
Dominic O’ Brien （オックスフォード大学 教授）
Kristiaan De Greve（imec ディレクター）

1. 研究進捗状況と成果

① 研究構想にかかる成果

＜実施したこと＞

25 年度は、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）それぞれが 23,24 年度を通じて立ち上がった海外の相手先研究機関との共同研究を発展させた。また、これと並行して、国際共同研究ネットワーク網の構築に向けて新たな連携先の模索もおこない、アーヘン工科大学との共同研究を立ち上げた。

＜得られた成果＞

量子コンピューティングについては、Oxford 大学との共同研究として 24 年度に開発した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)」をさらに発展させた。具体的には、TE-PAI と Shadow Spectroscopy を組み合わせ、IBM の実機上で実験を行い、応用上重要なエネルギーギャップ推定問題において既存手法よりも優れた性能を示すことに成功した。この成果は “Low-Resource Quantum Energy Gap Estimation via Randomization” として発表された[arXiv:2601.13881]。

量子デバイスについては、通信波長光子の量子状態を強いスピン軌道相互作用を介して結合した InAs 系スピン量子ビットから超伝導共振器中のマイクロ波光子の量子状態へ変換するトランスデューサーの開発を目指している。大岩グループは、ニューヨーク大学 Shabani グループから提供された In0.8Ga0.2As 量子井戸基板上に量子ドット素子を作製し、大阪大学製 NbTiN 超伝導共振器とともに学生派遣により特性評価を実施した。その結果、ゲートリーク等の課題を抽出し、大阪大学で新素子の作製に着手した。また、共振器作製・評価法もニューヨーク大学で習得し、大阪大学に導入した。並行して九州大学と大阪大学は InAs 4 重量子ドットでシングルショットスピン読み出しに成功した。imec とは世界最高水準の忠実度が報告される Si/SiGe 系を基盤に、評価契約を更新し、試作ドットアレイデバイスを日本側測定系で評価する体制を整え、高忠実度ゲート操作と中距離輸送の検証へ移行する準備を進めた。

量子センシングについては、近年動的核偏極への応用が期待されている一重項分裂の収率上限の計算に量子リソース理論を適用する共同研究について議論し、情報交換を行った。一重項分裂で生じる三重項対状態における量子リソースの散逸過程について理論研究を進め、qLIFE などの国際学会で発表をおこなった。また、Ulm 大学との共同研究では、超低温三体再結合反応において外部磁場による分子準位の回避交差を利用し、生成チャネル間の反応フラックスを連続的に制御することにも成功した[Phys. Rev. Lett, doi: 10.1103/5mxs-g3z8]。

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 1 名が 2025 年 8 月下旬から 10 月上旬にかけて約 1.5 か月間 Oxford 大学に派遣し、SEEQA2025 での発表後、同大学にて共同研究を実施した。御手洗准教授も 2025 年 6 月に英国王立協会で開催された UK-Japan Frontiers of Science（FoS）シンポジウムへの参加に合わせ、Oxford 大学でセミナーを実施した。新たな連携先であるアーヘン工科大学に対しては、2025 年 11 月に水上教授が Japanese-German Symposium on Sustainable

Catalysis で招待講演を行ったほか、2026 年 3 月に特任助教 1 名と大阪大学の PhD 学生 1 名を約 2 週間派遣し、共同研究の打ち合わせを行った。量子デバイス分野では、2025 年 5 月から 8 月までの約 3 か月間、大阪大学から PhD 学生をニューヨーク大学に派遣し、InGaAs 量子ドットと超伝導共振器の評価を行った。派遣開始時には、大岩教授と木山准教授もニューヨーク大学を訪問した。大岩教授は 2025 年 10 月にも再度ニューヨーク大学を訪問し、Shabani 教授主催の Quantum Summit 2025 で招待講演を行った。また九州大学では 2025 年 10 月から若手研究者を新規採用し、2025 年 11 月には木山准教授とともにニューヨーク大学を訪問し、研究打合せと試料作製講習を実施した。量子センシング・量子生命については、本年度より新たに雇用した特任研究員を Ulm 大学へ計 2 回（2025 年 8 月に 8 日間、2025 年 10 月から 12 月に 70 日間）派遣し、Plenio 教授らとの共同研究打合せを行った。同研究員は併せて 2025 年 11 月にオーストラリア・Wollongong で開催された qLIFE（International Conference on Quantum Technology in the Life Sciences）にも参加し、Plenio 教授らとの共同研究を発表するとともに、量子生命科学分野での国際連携を進めた。

＜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 への派遣については、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. 代表的な成果事例

1. H. Pages, et al., “Low-Resource Quantum Energy Gap Estimation via Randomization”, arXiv:2601.13881 (2026).
2. D. Dorer, et al., “Steering Reaction Flux by Coupling Product Channels”, Physical Review Letters, 136, 063401 (2026).
3. 大阪大学量子情報・量子生命研究センター（QIQB）, Continental Quantum City Prize – Asia, 2026 年 2 月 11 日.
4. 木山治樹、林望、大岩顕, 第 7 回物質・デバイス共同研究賞, 2025 年 6 月 25 日.