

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】

先端量子技術プラットフォームと国際頭脳循環による量子ネイティブ人材育成拠点

研究代表者：

浅井 祥仁（高エネルギー加速器研究機構 機構長、東京大学 素粒子物理国際研究センター 客員教授）

主たる共同研究者：

寺師 弘二（東京大学 素粒子物理国際研究センター 教授）

橋本 省二（高エネルギー加速器研究機構 教授）

相手側研究代表者：

David Awschalom シカゴ大学 プリツカー分子工学研究所 教授

Petra Paiè ミラノ工科大学 物理学科 准教授

Sofia Vallecorsa CERN 量子テクノロジーイニシアティブ コーディネーター

1. 研究進捗状況と成果

量子技術の優位性を確立しその利活用を早期に実現していくため、本研究では量子センサー、量子ハードウェアと量子ソフトウェア、それらを繋ぐ量子コネクタ技術の4つの分野で国際共同研究を進める。量子センサー分野では、細胞外小胞を介した細胞の同型ターゲティング特性の量子センサーや、ナノメートルスケール制御技術を用いた機序解明、増強技術の確立に向け研究を進めた。多様な細胞や細胞培養条件下での細胞外小胞と細胞の結びつきの定量化、増強された相互作用の有効性等の成果を学術論文として発表した。量子ハードウェア分野では、量子プロセッサに適した極低温スピントロニクス発振素子の実現に向け、超伝導共振器の設計・作製と、磁化ダイナミクスの非線形発振過程の計測・制御に重点的に取り組んだ。伝送線路との結合や外部磁場下での磁性体との整合性を考慮した超伝導共振器によって、極低温測定および磁性体とのハイブリッド化に向けた有望な共振器設計手法を確立した。量子ソフトウェア分野では、前年度に派遣した博士課程学生とシカゴ大学との共同研究を発展させ、シンドローム情報に基づく古典測定-量子測定における指数的ギャップの証明に成功し、査読前論文として発表した。量子コネクタ分野では、特任助教を共同研究先であるシカゴ大学に半年間派遣し、東京大学で作製したサンプルの現地測定等を行った。現地での共同研究活動から、共著論文の執筆等の成果を挙げた。

東京大学とシカゴ大学、IBM 及び Google との協定をもとに、量子技術に関する国際ネットワークの構築を進めてきた。2025 年度はミラノ工科大学、CERN との連携を進め、量子センサーや量子ハードウェアの分野で欧州ネットワークとの連携を拡大した。2025 年 12 月にシカゴ大学で開催した ASPIRE ワークショップでは、現地研究者との議論や成果発表による研究交流によって米国ネットワークとの関係強化を進めた。また、東京大学とシカゴ大学の間で、大学院学生および教員・研究者の継続的な相互交流を促進するための取り組みを進めている。

2. 代表的な成果事例

1. H. Wang, P. Paiè, K. Goda et. al, "Super homotypic targeting by surface engineering of extracellular vesicles," *Nature Biomedical Engineering*, in press, (2026).

概要:細胞外小胞のナノ粒子による改質によって、細胞外小胞の取り込み効率の大幅な向上や細胞との相互作用の選択的な操作に成功した。

2. T. Makiuchi, E. Saitoh et. al, "Field dispersion and strong coupling of nuclear-electron spin excitation in MnCO_3 ," *Physical Review Research* **7**, 033083 (2025).

概要:弱い異方性をもつ反強磁性体 MnCO_3 において、核スピン励起と電子スピン励起が強く混成したハイブリッド励起の振る舞いを明らかにした。

3. K. Tsubouchi, L. Jiang, N. Yoshioka et. al, "Quantum advantages for syndrome-aware noisy logical observable estimation," arXiv:2603.05145.

概要:量子誤り訂正符号のシンドローム測定を用いた物理量測定の誤差を情報理論的に解析し、古典戦略と量子戦略によって到達可能な論理エラー率に指数的な違いが生じることを明らかにした。

4. M. Diego, M. Nomura et. al, "Hypersonic acoustic wave control via stealthy hyperuniform phononic nanostructures," *Sci. Adv.* **11**, 32, (2025).

概要:ニオブ酸リチウム基板上に金ナノピラーをハイパーユニフォーム状に配置することで、超音波域の表面弾性波を実験的に制御することに成功した。