

小坂 英男

横浜国立大学大学院工学研究院
教授

ダイヤモンド量子セキュリティ

§ 1. 研究成果の概要

本研究は、超スマート社会の実現に不可欠な情報セキュリティを物理的に保障する、量子暗号通信の長距離化・多重化・高機能化を目的とする。従来の 100km以下の第一世代量子通信を 1000km級の第三世代量子通信に拡張するための量子中継による長距離化・多重化や、機器認証を量子的に行う量子認証による高機能化を目標とする。ダイヤモンド中の窒素空孔(NV)中心における光子と電子の自発的な量子もつれ発光・吸収を基礎とし、光子から核子への伝令付き量子テレポーテーション転写、電子と核子の誤り符号付きのホロミック量子ゲート、シングルショットによる核子間の完全な量子もつれ読み出し、炭素同位体配置の機械学習による量子認証などを行い、量子セキュリティの実用化に道を開くことをねらいとする。

提案書提出時当初の計画に従って量子中継に不可欠な4つの基本機能の開発を並行して行い、基礎的な動作確認を完了した。①量子もつれ発光では、狭帯域のゼロフォノン線を用いた偏光もつれ生成に平均忠実度 90%(前年度 72%)で成功した。②量子テレポーテーション転写では、光子から単一窒素核子への転写忠実度を 99%程度に向上できることを実験により示した。さらにマルチメモリーとなる炭素同位体核スピンの完全無磁場下での個別量子操作に成功した。③量子もつれゲートでは、光波による単一電子スピンのホロミック量子ゲートのみならず、電子スピンと核スピンの間の量子もつれをマイクロ波で操作するホロミックな万能量子もつれゲートに成功し、ランダマイズドベンチマークによる 99.4%(前年度 99.0%)の操作忠実度を実現し、さらにハミルトニアン機械学習をオンライン(前年度はオフライン)で行うことに成功し忠実度の更なる向上に道を拓いた。④量子もつれ測定では、完全な無磁場下でのシングルショット測定およびこれを用いた炭素間のC-NOT 操作に高い忠実度で成功し、完全無磁場下での完全ベル測定に道を拓いた。AIST、NIMS との共同研究では、ダイヤモンド結晶成長における炭素同位体濃度の制御、結晶方位の制御、NV 中心の配向制御などに加え、ダイヤモンドソリッドイマージョンレンズ(SIL)の形状最適化、リンドープによる NV の電荷状態を安定化と PLE スペクトル狭線幅の両立、高速かつ高忠実な量

子ゲート操作の実現に向けた素子構造の改良設計と試作を行った。

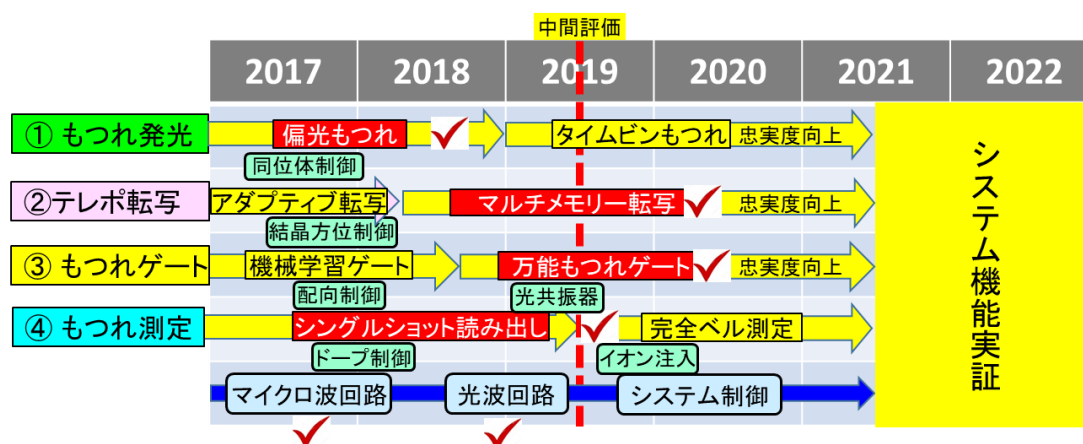


図 1. 提案書提出時の研究計画。黄色は代表機関(横浜国大)、緑色は分担機関(NIMS・AIST)、青色は代表と外部機関の協力による研究項目。

【代表的な原著論文】

1. Kazuya Tsurumoto, Ryota Kuroiwa, Hiroki Kano, Yuhei Sekiguchi and Hideo Kosaka*, “Quantum teleportation-based state transfer of photon polarization into a carbon spin in diamond”, Communications Physics, 2, 74 (2019), DOI: 10.1038/s42005-019-0158-0
2. Yuhei Sekiguchi, Yusuke Komura and Hideo Kosaka, “Dynamical Decoupling of a Geometric Qubit”, Phys. Rev. Applied 12, 051001 (2019), DOI: 10.1103/PhysRevApplied.12.051001
3. P. Siyushev, M. Nesladek, E. Bourgeois, M. Gulka, J. Hruby, T. Yamamoto, M. Trupke, T. Teraji, J. Isoya, F. Jelezko, “Photoelectrical imaging and coherent spin-state readout of single nitrogen-vacancy centers in diamond”, Science, Vol. 363, 728-731,(2019), DOI: 10.1126/science.aav2789

§ 2. 研究実施体制

(1)「横浜国大」グループ

- ① 研究代表者:小坂 英男 (横浜国立大学大学院工学研究院 教授)
- ② 研究項目
 - ・量子もつれ発光の開発
 - ・量子テレポーテーション転写の開発
 - ・量子もつれゲートの開発
 - ・量子もつれ測定の開発

(2)「AIST」グループ

- ① 主たる共同研究者:加藤 宙光 (産業技術総合研究所先進パワーエレクトロニクス研究センター 主任研究員)
- ② 研究項目
 - ・素子化技術の開発
 - ・ドーピング・フェルミレベル制御

(3)「NIMS」グループ

- ① 主たる共同研究者:寺地 徳之 (物質・材料研究機構機能性材料研究拠点 主席研究員)
- ② 研究項目
 - ・NV 配向制御ダイヤモンド結晶成長
 - ・炭素同位体濃度制御ダイヤモンド結晶成長
 - ・ダイヤモンド単一窒素イオン注入