

量子情報物理学（小坂）研究室

1. 構成

名前： 小坂 英男（教授）

主要担当科目：

（学部） 量子物理学、電磁気学 I

（大学院） 量子情報物理学概論、量子情報物理学特論

教育研究分野： 物理学

所属学会： 日本物理学会、応用物理学会

学内委員：

- ・ 工学研究院 研究企画経営会議委員
- ・ 先端科学高等研究院 量子情報ユニット主任研究者（2018年4月1日～現在に至る）
- ・ 量子情報研究センター センター長（2020年10月1日～現在に至る）
- ・ 先端科学高等研究院 運営委員

学外委員・公的活動：

- ・ 総務省 量子情報通信技術（量子ICT）運営会議 組織委員（2005年4月～現在に至る）
- ・ 文部科学省 審査専門委員会委員（2012年4月～現在に至る）
- ・ JST CREST 量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出・研究代表者（2017年12月～現在に至る）
- ・ 文部科学省 光・量子飛躍フラッグシッププログラム（Q-LEAP）
量子計測・量子生命 アドバイザリーボード（2018年5月25日～現在に至る）
- ・ 文部科学省 科研費・挑戦的研究（開発）研究代表者（2019年4月～現在に至る）
- ・ 量子インターネットタスクフォース（QITF） アドバイザリーボード
（2019年5月～現在に至る）
- ・ 内閣府 量子技術イノベーション戦略 有識者（2019年10月1日～現在に至る）
- ・ 文部科学省 光・量子飛躍フラッグシッププログラム（Q-LEAP）公募審査委員
（2020年4月～現在に至る）
- ・ 文部科学省 科研費・基盤研究（S）研究代表者（2020年4月～現在に至る）
- ・ 国立研究開発法人 情報通信研究機構 NICT Quantum Camp 実行委員・推進委員・NICT 量子人材
育成講師（2020年9月～現在に至る）
- ・ 一般社団法人 量子ICTフォーラム 量子鍵配送技術推進委員（2020年10月～現在に至る）
- ・ 総務省委託事業「グローバル量子暗号通信網構築のための研究開発」量子中継技術プロジェクト
とりまとめ代表（2020年10月～現在に至る）
- ・ 内閣府/JST ムーンショット型研究開発制度/事業 プロジェクトマネージャー（PM）
（2020年12月1日～現在に至る）
- ・（社）応用物理学会 量子情報工学研究会 委員長（2021年4月1日～2022年3月31日）

2. 研究テーマ

当研究室では、光・量子技術による破壊的イノベーションの創出を目指した研究開発を行っている。2021年度には具体的には、

1. 当研究室が代表（PM 兼 PI）を務めるムーンショット型研究開発事業（目標6）の小坂プロジェクト（QuINT）では、量子コンピュータ間を量子通信で接続して分散処理化を図ることで、誤り耐性を有する大規模量子コンピュータネットワークを実現するため、超伝導量子ビットと通信用光量子ビットとの間を量子変換する量子インターフェースの研究開発を行っている。ダイヤモンドを基本プラットフォームとした量子メモリを用いることで、従来にはない高い変換効率と高忠実度の両立を目指す。東大、医科歯科大などの大学および量研機構、産総研、物材機構、NICT、理研など国研との共同研究により理論検討、材料開発、微細加工、デバイス作製、システム構築、プロトコル開発まで一貫した研究活動を行っている。本研究室では超伝導技術、マイクロ波技術、磁気共鳴技術、光集積技術などの異分野融合に取り組み、デバイス作製を牽引している。
2. 当研究室がとりまとめ機関代表を務める総務省委託研究事業の量子中継技術プロジェクト（QuREP）では、暗号通信に用いられるビット鍵を量子力学の原理で絶対安全に配布する量子鍵配送（QKD）ネットワークの1000km級への長距離化を図るべく、量子中継器の研究開発を行っている。東芝、古河電工などの企業、東大などの大学および産総研、物材機構などの国研との共同研究により量子メモリ方式、全光方式、波長多重方式の3方式を並行して開発している。本研究室ではダイヤモンド中のNV中心などの色中心を用いた量子メモリ方式に取り組んでいる。量子中継処理の高忠実度化だけでなく、高速化が主な課題であり、量子メモリ光入出力の高効率化と小型モジュール化に取り組んでいる。
3. 当研究室が研究代表を務める科研費基盤研究（S）では、量子コンピュータネットワークあるいは量子インターネットの到来に向け、膨大な量子情報をクラウド上に保存するための量子ストレージの研究開発を行っている。量子状態の長時間保存が可能なダイヤモンド中の炭素同位体核スピンを用いた1M量子ビット級の大規模量子ストレージを目指し、高速かつ高忠実で高分解能の光磁気アクセスと量子誤り訂正に取り組んでいる。

キーワード：

量子情報、量子物理、量子光学、量子物性、スピントロニクス

3. 本年度のトピックス

- 1) 責任著者をつとめる論文“Geometric entanglement of a photon and spin qubits in diamond”がNature Portfolio journalのCommunications Physicsに掲載された。
- 2) 1) に関して、「世界初、ダイヤモンド中の電子と光子の幾何学的な量子もつれの生成に成功」が横浜国立大学プレスリリースに掲載された。

- 3) 国立研究開発法人 科学技術振興機構主催 ムーンショット目標 6 国際シンポジウムにおいて研究開発プロジェクト「量子計算網構築のための量子インターフェース開発」の紹介を行った。
- 4) 弾性波素子技術コンソーシアム第3回研究会において招待講演「量子コンピュータネットワークへ向けた挑戦」を行った。
- 5) 内閣府開催、日米量子ラウンドテーブルにおいて招待講演「Development of Quantum Interfaces for Building Quantum Computer Networks」を行った。
- 6) 産学官連携コンソーシアム「量子インターネットタスクフォース (Quantum Internet Task Force, (QITF))」を共同で設立した。
- 7) 6)に関して、「横浜国立大学 産学官連携コンソーシアム量子インターネットタスクフォース (QITF) を共同設立」が横浜国立大学プレスリリースに掲載された。
- 8) (社) 応用物理学会 量子情報工学研究会、横国大・量子情報研究センター共催にてセミナー「量子情報工学の最前線」を開催した。
- 9) 第 82 回応用物理学会 秋季学術講演会秋季学術講演会において (社) 応用物理学会 量子情報工学研究会によるシンポジウム「グローバル量子暗号通信の展開」を開催、また、同シンポジウムにて招待講演 (タイトル:「量子メモリを用いた量子中継技術」) を行った。
- 10) 第 69 回応用物理学会春季学術講演会において、(社) 応用物理学会 量子情報工学研究会企画によるシンポジウム「量子コンピュータ: システム構築のための技術と期待されるアプリケーション (II)」を共催し、世話人並びに座長を行った。
- 11) 日経クロステックにダイヤモンド NV センターを用いた量子中継器の研究に関する記事「量子インターネット最大の難所は中継、“ダイヤモンド” が救世主」が掲載された。
- 12) 日経エレクトロニクスに「最大の難所は量子中継 有力候補は“ダイヤモンド”」の記事が掲載された。
- 13) YNU 工学研究院ハイライト 2020-2021 (発行日: 2021 年 6 月) に「ムーンショット研究 (内閣府 /JST) 量子情報プロジェクトマネージャーに就任」が掲載された。
- 14) 外部資金獲得研究者表彰 (YNU 研究貢献賞) を受賞した。
- 15) 令和 2 年度 横浜国立大学ベストティーチャー賞を受賞 (受賞日: 2021 年 7 月 19 日) した。

4. 学生の研究教育活動

・在籍学生数

卒研究生	博士前期課程	博士後期課程	研究生	交換留学生
5	8	1	0	0

・卒業・修了学生数

卒研生	博士前期課程	博士後期課程
5	4	0

・学生の国際会議・学会・研究会発表数

国際会議	国内学会	国内研究会	学内研究会
0	4	5	0

・学生の受けた表彰・助成金

- [1] レイエス ラウステイン, 理工学府学業優秀者表彰, (横浜国立大学, 2022年3月24日)
- [2] レイエス ラウステイン, 論文顕彰, (横浜国立大学, 2022年3月24日)
- [3] レイエス ラウステイン, 横浜物理工学会優秀賞, (横浜国立大学, 2022年3月24日)
- [4] 中里隆也, 論文顕彰, (横浜国立大学, 2022年3月24日)
- [5] 中里隆也, 横浜物理工学会優秀賞, (横浜国立大学, 2022年3月24日)

5. 国際交流

・海外派遣

該当なし

・海外招聘

該当なし

・海外国際会議参加発表数

3件

6. 外部資金

・科学研究費

◆基盤研究(S) 研究代表者

研究課題名: ダイヤモンド量子ストレージにおける万能量子メディア変換技術の研究

助成額: 2021年度分 38,220千円、総額 167,440千円

助成期間: 2020年度~2024年度

◆挑戦的研究(開拓) 研究代表者

研究課題名: ダイヤモンド量子コンピュータへ向けた光シフト制御万能ホロノミック量子ゲート

助成額: 2021年度分 9,620千円、総額 25,870千円

助成期間: 2019年度~2021年度

・一般財団助成・奨学寄付金

該当なし

・受託・共同研究

◆JST CREST 量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出・研究代表者

研究課題名：ダイヤモンド量子セキュリティ

交付額：2021年度分 63,609千円、総額302,159千円

研究期間：2017年度～2022年度

◆総務省委託事業「グローバル量子暗号通信網構築のための研究開発」

課題Ⅲ「量子中継技術」とりまとめ機関代表者 兼 研究代表者

研究課題名：課題Ⅲ「量子中継技術」

交付額：2021年度分 145,000千円、総額702,750千円

研究期間：2020年度～2024年度

◆ムーンショット型研究開発事業 プロジェクトマネージャー 兼 研究課題推進者

研究課題名：量子計算網構築のための量子インターフェース開発

交付額：2021年度分145,999千円、総額709,995千円

研究期間：2020年度～2025年度

◆古河電気工業

研究題目：量子暗号中継技術の開発

交付額：2021年度分1,000千円、総額2,740千円

研究期間：2021年度～2022年度

・海外渡航費

該当なし

7. 公表論文

・査読付原著論文

[1] Yuhei Sekiguchi, Yuki Yasui, Kazuya Tsurumoto, Yuta Koga, Raustin Reyes, and Hideo Kosaka, "Geometric entanglement of a photon and spin qubits in diamond", Communications Physics (Nature Portfolio journal) 4, 264 (2021), DOI: 10.1038/s42005-021-00767-1

[2] Takaya Nakazato, Raustin Reyes, Nobuaki Imaike, Kazuyasu Matsuda, Kazuya Tsurumoto, Yuhei Sekiguchi, and Hideo Kosaka, "Quantum error correction of spin quantum memories in diamond under

a zero magnetic field”, Communications Physics (Nature Portfolio journal), in printing (2022)

DOI: 10.1038/s42005-022-00875-6

[3] Hodaka Kurokawa, Moyuki Yamamoto, Yuhei Sekiguchi, and Hideo Kosaka, “Remote entanglement of superconducting systems via solid-state spin quantum memory”, quant-ph(preprint), DOI: 10.48550/arXiv.2202.07888

・国際会議プロシーディングス

該当無し

・解説

- [1] 小坂英男, 科学雑誌 Newton 別冊『量子論のすべて 改訂第2版』「第4章 もっと知りたい! 量子論」, 2021年6月

・著書

該当無し

・その他

- [1] 小坂英男, 「最大の難所は量子中継 有力候補は“ダイヤモンド」, 日経エレクトロニクス, 2021年5月20日
- [2] 小坂英男, 「産学官連携コンソーシアム量子インターネットタスクフォース (QITF) を共同設立」, 横浜国立大学プレスリリース, 2021年5月31日
- [3] 小坂英男, 「量子インターネット最大の難所は中継, “ダイヤモンド”が救世主」, 日経クロステック, 2021年6月1日
- [4] 小坂英男, 関口雄平, 「Flawed diamonds may provide perfect interface for quantum computers」, EurekAlert! プレスリリース, 2021年12月15日
- [5] 小坂英男, 関口雄平, 「世界初、ダイヤ中の電子と光子の幾何学的な量子もつれの生成に成功」, 横浜国立大学プレスリリース, 2021年12月15日
- [6] 小坂英男, 関口雄平, 「横浜国大、ダイヤ中の電子と光子の幾何学的な量子もつれの生成に成功」, 日本経済新聞, 2021年12月16日
- [7] 小坂英男, 関口雄平, 「横浜国大、ダイヤ中の電子と光子の幾何学的な量子もつれの生成に成功」, マイナビニュース, 2021年12月16日
- [8] 小坂英男, 関口雄平, 「横浜国大、ダイヤ中の電子と光子の幾何学的な量子もつれの生成に成功」, goo ニュース, 2021年12月16日
- [9] 小坂英男, 関口雄平, 「世界初、ダイヤ中の電子と光子の幾何学的な量子もつれの生成に成功」, Tii 技術情報, 2021年12月16日

- [10] 小坂英男, 関口雄平, 「ダイヤモンド中の電子と光子の幾何学的な量子もつれの生成に成功」, OplusE, 2021年12月17日
- [11] 小坂英男, 関口雄平, 「ダイヤモンド中の電子と光子の幾何学的な量子もつれの生成に成功」, Laser Focus World JAPAN, 2021年12月17日
- [12] 小坂英男, 関口雄平, 「Flawed Diamonds May Provide Perfect Interface for Quantum Computers - Faster and More Secure」, SciTechDaily, 2021年12月15日
- [13] 小坂英男, 関口雄平, 「Flawed diamonds may provide perfect interface for quantum computers」, news wise, 2021年12月15日
- [14] 小坂英男, 関口雄平, 「Flawed diamonds may provide perfect interface for quantum computers」, PHYS ORG, 2021年12月15日
- [15] 小坂英男, 関口雄平, 「Flawed diamonds may provide perfect interface for quantum computers」, Bioengineer.org, 2021年12月15日
- [16] 小坂英男, 関口雄平, 「Flawed diamonds may provide perfect interface for quantum computers」, nano werk, 2021年12月15日
- [17] 小坂英男, 関口雄平, 「Flawed diamonds may provide perfect interface for quantum computers」, TECH AND SCIENCE POST, 2021年12月16日
- [18] 小坂英男, 関口雄平, 「Flawed diamonds may provide perfect interface for quantum computers」, researchnews.cc, 2021年12月16日
- [19] 小坂英男, 関口雄平, 「Flawed diamonds may provide perfect interface for quantum computers」, 5g newsroom, 2021年12月16日

8. 国際会議・学会・研究会発表

・国際会議発表

- [1] 黒川穂高, 山本萌生, 関口雄平, 小坂英男, 「Remote entanglement of superconducting systems using solid-state spin quantum memory」, APS March Meeting 2022, (Chicago, USA, または、オンライン, 2022年3月14日)
- [2] 関口雄平, 関口雄平, 松下和生, 川崎愛大, 小坂英男, 「Spatially selective universal quantum operation of a nitrogen-vacancy center in diamond」, APS March Meeting 2022, (Chicago, USA, または、オンライン, 2022年3月14日)

・学会発表

- [1] 黒川穂高, 山本萌生, 申 秀成, 佐々木 遼, 関口 雄平, 野村 政宏, 小坂英男, 「量子インターフェースの実現に向けたピエゾー音共振器の電場歪み場シミュレーション」, 第82回応用物理学会秋季学術講演会, (オンライン, 2021年9月12日)

- [2] 中里慎太郎, 松木愛美, 中里隆也, レイエスラウスティン, 関口雄平, 小坂英男, 「ダイヤモンド NV 中心におけるゼロ磁場下での電子と炭素の排他的もつれ操作」, 日本物理学会 2021 年秋季大会, 21pA2-9 (オンライン, 2021 年 9 月 21 日)
- [3] 山本萌生, 申秀成, 佐々木遼, 黒川穂高, 関口雄平, 野村政宏, 小坂英男, 「量子インターフェースのためのピエゾ-音共振器のシミュレーション」, 日本物理学会 2021 年秋季大会, 21pA2-9 (オンライン, 2021 年 9 月 21 日)
- [4] 渡辺幹成, 中里隆也, 江川直也, 関口雄平, 小坂英男, 「ダイヤモンド NV 中心におけるゼロ磁場下での電子と炭素の動的デカップリングもつれ操作による量子テレポーテーション」, 日本物理学会第 77 回年次大会, (岡山大学, 岡山理科大学, 2022 年 3 月 17 日)
- [5] 江川直也, 中里隆也, 渡辺幹成, 関口雄平, 小坂英男, 「ダイヤモンド NV 中心におけるゼロ磁場下でのホロノミックな電子・炭素間操作の理論」, 日本物理学会第 77 回年次大会, (岡山大学, 岡山理科大学, 2022 年 3 月 17 日)

・研究会発表・セミナーや講演会

(学外研究会)

- [1] 小坂英男, 「量子計算網構築のための量子インターフェース開発」, ムーンショット目標 6 国際シンポジウム プロジェクト紹介, (オンライン, 2021 年 4 月 23 日) (招待講演)
- [2] 小坂英男, 「量子コンピュータネットワークへ向けた挑戦 Challenges toward Quantum Computer Networks」, 弾性波素子技術コンソーシアム研究会第 3 回研究会, (オンライン, 2021 年 6 月 10 日), (招待講演)
- [3] 小坂英男, 「Development of Quantum Interfaces for Building Quantum Computer Networks」, 日米量子ラウンドテーブル, (オンライン, 2021 年 7 月 1 日), (招待講演)
- [4] 小坂英男, 「量子メモリを用いた量子中継技術」, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, (オンライン, 2021 年 9 月 10 日), (招待講演)
- [5] 小坂英男, 「「量子コンピュータ」「量子通信」の次に来る、「量子中継ネットワーク」」, NICT Quantum Camp 体験型人材育成コース, (オンライン, 2021 年 11 月 13 日), (招待講演)
- [6] 小坂英男, 「量子計算網構築のための量子インターフェース開発」, (オンライン, 2022 年 3 月 11 日), ムーンショット目標 6 公開シンポジウム, (招待講演)
- [7] レイエスラウスティン, 川崎愛大, 松田一泰, 関口雄平, 加藤宙光, 牧野俊晴, 小坂英男, 「ダイヤモンド NV スピンの高忠実度ホロノミック量子ゲート (poster)」, 2021 年度量子情報関東・関西合同 Student Chapter, (オンライン, 2021 年 9 月 17 日)
- [8] 山本萌生, 申秀成, 佐々木遼, 黒川穂高, 関口雄平, 野村政宏, 小坂英男, 「量子インターフェースのためのピエゾ-音共振器のシミュレーション」, 2021 年度量子情報関東・関西合同 Student Chapter, (オンライン, 2021 年 9 月 17 日)

- [9] レイエスラウステイン, 量子情報勉強会, (オンライン, 2021年12月18日)
- [10] 江川直也, 量子情報勉強会, (オンライン, 2021年12月18日)
- [11] 渡辺幹成, 中里隆也, 江川直也, 関口雄平, 小坂英男, 「量子メモリ増加に向けた動的デカップリング核子量子ゲート操作」, 第31量子情報関東 Student Chapter 研究会, (オンライン, 2022年3月29日)

9. 特許

該当なし