

# 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：研究企画経営会議委員

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）
- ・(社)応用物理学会新領域量子情報研究グループ設立委員会委員（2013 年 4 月～現在に至る）
- ・先端科学高等研究院主任研究者（2018 年 5 月 1 日～現在に至る）
- ・光・量子飛躍フラッグシッププログラム（Q-LEAP）アドバイザーボードメンバー（2018 年 5 月 25 日～現在に至る）

## 2. 研究テーマ

本研究室では、モノのインターネット (IoT) や人工知能 (AI) 技術を支える超スマート社会の量子情報セキュリティプラットフォームの構築に向け、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。2018 年度には具体的には、

1. 単一電子スピンをレーザー光で自在に、正確に操作する新原理（ホロミック光量子ゲート）を考案し、ダイヤモンド中の窒素空孔中心 (NV 中心) を用いて世界で初めて実証実験に成功した。マイクロワットという小さな光パワーで、従来の 100 倍速くかつ 3 倍高い精度で単一スピン操作を実現し、光の位相を制御することでさらに高精度な単一電子スピン光操作を可能とした。（Optics Letters 掲載）
2. 上述のホロミック量子操作をマイクロ波の偏光で行う新たな手法を考案し、ダイヤモンド NV 中心を用いて実験実証に成功した。電子スピンだけでなく核スピンの任意量子操作にも成功し、量子もつれ操作を行うことで任意の規模の量子を操作する“万能”ホロミック量子ゲートを無磁場下で初めて実証した。（Nature Communications 掲載）
3. 量子テレポーテーションの原理による単一光子から単一同位体炭素核スピンへの量子状態転写（量子テレポーテーション転写）に世界で始めて成功した。これにより、量子情報通信のビットレート向上につながる量子中継器の量子メモリ集積化に道を開いた。

（Communications Physics 受理）

を行った。

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) 科学技術振興機構（JST）の戦略的創造研究推進事業（CREST）「量子状態の高度な制御に基づく革新的技術盤創出」において、研究代表者として「ダイヤモンド量子セキュリティ」の研究課題を実施した。
- 2) 量子コンピュータの性能を飛躍的に向上するマイクロ波を用いた万能ホロノミック量子ゲートに関する論文が、極めてハイインパクトの Nature Communications 誌（impact factor = 12.124）に受理され、大学よりプレスリリースを行い、日本経済新聞などに掲載された。
- 3) 量子コンピュータの性能を飛躍的に向上する光を用いた万能ホロノミック量子ゲートに関する論文が、ハイインパクトの Optics Letters 誌（impact factor = 3.416）に受理され、大学よりプレスリリースを行った。
- 4) 量子テレポーテーションに関する解説記事が科学雑誌 Newton6月号に掲載された。
- 5) 5件の国際招待講演、第46回薄膜・表面物理セミナーおよび日本物理学会2018年秋季大会のシンポジウムでの招待講演、など2件の国内招待講演を行った。
- 6) 文部科学省の大型10年プロジェクト、光・量子飛躍フラッグシッププログラム（Q-LEAP）のアドバイザーボードメンバーに就任した。
- 7) 住友電気工業株式会社との共同研究を開始した。
- 8) 本学先端科学高等研究院の主任研究者に就任した。
- 9) 中国国家留学基金委員会代表団から4名が研究室視察を行った（2018/9/6）。
- 10) 修士課程2年生の田宮志郎君が第14回ナノテク交流シンポジウムにおいて最優秀発表賞を受賞した。
- 11) 博士課程3年生の関口雄平が横浜国立大学学生表彰および横浜国立大学大学院工学府優秀学生表彰を受賞した。

### 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	2	0	0

#### ・卒業・修了学生数

卒研究生	博士前期課程	博士後期課程
5	3	1

#### ・学生の国際会議・学会・研究会発表数 自研究室学生の登壇のみ

国際会議	国内学会	国内研究会	学内研究会
------	------	-------	-------

2	8	7	0
---	---	---	---

・学生の受けた表彰・助成金

- [1] 田宮志郎, 第14回ナノテク交流シンポジウム 最優秀発表賞(第14回ナノテク交流シンポジウム), 「機械学習によるダイヤモンドNV中心ハミルトニアン推定」, 2019年3月8日
- [2] 関口雄平, 横浜国立大学学生表彰(横浜国立大学), 2019年3月26日
- [3] 関口雄平, 大学院工学府優秀学生表彰(横浜国立大学), 2019年3月26日
- [4] 長田昂大, 大学院物理工学コース 論文顕彰(横浜国立大学), 2019年3月26日
- [5] 松下和生, 理工学部物理工学EP 学業優秀者表彰(横浜国立大学), 2019年3月26日

5. 国際交流

・海外派遣(受け入れ機関、期間、課題名、財源)

- [1] 倉見谷航洋(D1)(ウルム大学、2018.8.13-2018.9.14、ダイヤモンド量子セキュリティ、JST 戦略的創造研究推進事業(CREST)国際強化支援策)
- [2] 関口雄平(D2)(デルフト工科大学、2018.9.17-2018.10.20、ダイヤモンド量子セキュリティ、JST 戦略的創造研究推進事業(CREST)国際強化支援策)

・海外招聘(研究者名、期間、課題名、財源)

該当なし

・海外国際会議参加発表数 登壇回数による延べ件数

6件

6. 外部資金

・科学研究費(研究種目、研究課題名、代表・分担、交付額、年度)

◆基盤研究(S) 研究代表者

研究課題名: ダイヤモンドナノ量子システムにおける量子メディア変換技術の研究

助成額: 2018年度分 36,790千円、総額 180,570千円

助成期間: 2016年度 ~ 2020年度

◆JSPS 科研費 挑戦的萌芽研究 研究代表者

研究課題名: 物質間の自発的量子もつれ生成へ向けた幾何学的量子光学の創成

助成額: 2018年度分 650千円、総額 3,510千円

助成期間: 2016年度~2018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：2018年度分 67,860千円、総額 298,350千円

研究期間：2017年度～2022年度

◆ポスト「京」萌芽的課題 基礎科学の挑戦ー複合・マルチスケール問題を通じた極限の探求（サブ課題D：量子力学の基礎と情報：エンタングルメント統御による極限精度への挑戦）・研究分担者

研究課題名：量子もつれネットワークのための量子クラウドメモリーシミュレーション

交付額：2018年度分 4,770千円、総額 18,080千円

研究期間：2016年度～2019年度

◆共同研究・住友電気工業株式会社

研究課題名：量子デバイス分野への住友電気工業保有技術の展開可能性の検討

交付額：2018年度分 2,632千円、総額 2,632千円

研究期間：2018年9月1日～2019年3月31日

#### ・海外渡航費

- [1] 倉見谷航洋、ウルム大学共同研究（ドイツ、2018.8.13-2018.9.14）、548,704円
- [2] 関口雄平、デルフト工科大学共同研究（オランダ、2018.9.17-2018.10.20）、455,872円
- [3] 小坂英男、ISPSA 2018 出席（韓国、2018.7.2-2018.7.5）、167,940円
- [4] 小坂英男、AQE2018 出席（シンガポール、2018.6.24-2018.6.27）、23,700円
- [5] 小坂英男、ICPS2018 出席（フランス、2018.7.29-2018.8.5）、378,671円
- [6] 小坂英男、QTech2018 出席（中国、2018.8.22-2018.8.25）、251,509円
- [7] 小坂英男、693. WE-Heraeus-Seminar 出席、ミュンヘン工科大学共同研究（ドイツ、2019.3.24-2019.3.30）、397,551円

#### 7. 公表論文 2018年度公表分

・査読付原著論文（著者：“タイトル”、雑誌名 巻（太字）、ページ、(年)、インパクトファクター(IF).)

↓自研究室学生が主著者のときに頭に星印\* 研究室構成教員には下線

- [1] Shuhei Tamura, Kohei Ikeda, Kotaro Okamura, Kazumichi Yoshii, Feng-lei Hong, Tomoyuki Horikiri\*, and Hideo Kosaka, "Two-step frequency conversion for connecting distant quantum memories by transmission through an optical fiber", Japanese Journal of Applied Physics(JJAP), 57, 6, 062801 (2018). IF=1.384  
DOI: 10.7567/JJAP.57.062801
- [2] \*Naoki Ishida, Takaaki Nakamura, Touta Tanaka, Shota Mishima, Hiroki Kano, Ryota Kuroiwa, Yuhei

Sekiguchi, and Hideo Kosaka\*, "Universal holonomic single quantum gates over a geometric spin with phase-modulated polarized light", Optics Letters, **43**, 2380-2383 (2018). IF=3.416

DOI: 10.1364/OL.43.002380

- [3] Kohei Ikeda, Yusuke Hisai, Kazumichi Yoshii, and Hideo Kosaka, Feng-Lei Hong, and Tomoyuki Horikiri, "Compact frequency-stabilized pump laser for wavelength conversion in long-distance quantum communication", Journal of the Optical Society of America B, **Vol. 35**, Issue 8, pp. 2023-2028 (2018). IF=2.048

DOI: 10.1364/JOSAB.35.002023

- [4] \*Kodai Nagata, Kouyou Kuramitani, Yuhei Sekiguchi, and Hideo Kosaka\*, "Universal holonomic quantum gates over geometric spin qubits with polarised microwaves", Nature Communications, **9**, 3227 (2018). IF=11.329

DOI: 10.1038/s41467-018-05664-w

・国際会議プロシーディングス

該当無し

・解説

- [1] 小坂英男、「量子の世界 第4回 量子テレポーテーション」, 科学雑誌 Newton、6月号, 2018年5月

・著書

該当無し

・その他 出版されたもの（該当あれば記入）（学内の報告書、財団等への報告書や KEK、Spring-8 など共同利用報告書は除く）

- [1] 小坂英男、「量子コンピュータ・通信の現状と将来」その2 最新の研究成果と量子技術の今後」, 電波新聞, 2018年4月19日

- [2] 小坂英男、「量子コンピュータ・通信の現状と将来」その1 「量子の基礎知識」について」, 電波新聞, 2018年3月15日

8. 国際会議・学会・研究会発表（発表者：“題目”，会議名、講演番号、(場所・日時)）

・国際会議発表 研究室構成教員には下線、招待講演は太字で明記

↓自研究室学生が登壇者のときに頭に星印\*

- [1] 小坂英男, “Geometric spin qubits in an NV center in diamond for quantum repeaters” , Qtech2018(China-Japan international workshop on quantum technologies), (University of Science and

- Technology of China, China, 2018 年 8 月 23 日) (招待講演)
- [2] H. Kosaka, “Holonomic quantum control of geometric spin qubits in an NV center in diamond”, 34th International Conference on Physics of Semiconductors, (the Corum conference center, France, 2018 年 7 月 29 日) (招待講演)
- [3] H. Kosaka, “Holonomic Quantum Control of Geometric Spin Qubits in Diamond”, The 19th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (ISPSA2018), (The Ramada Plaza Jeju Hotel, Korea, 2018 年 7 月 1 日) (招待講演)
- [4] H. Kosaka, “Holonomic Quantum Gates and Quantum Teleportation into Solid”, 1st Advances in Quantum Engineering International Meeting, (Nanyang Executive Centre, Nanyang Technological University, Singapore, 2018 年 6 月) (招待講演)
- [5] H. Kosaka, “Holonomic quantum control of hybrid spin qubits in an NV center in diamond”, Coherent Control of Complex Quantum Systems (C3QS) 2018, (沖縄科学技術大学院大学, 2018 年 4 月 16 日) (招待講演)
- [6] \*Kouyou Kuramitani, Takaaki Nakamura, Yuhei Sekiguchi, Hideo Kosaka, "Scalable quantum manipulation over multi-qubit system in an NV center with machine learning "(poster), International Conference on challenges in Quantum Information Science(CQIS 2018), (Tokyo, Japan, 2018 年 4 月 9 日)
- [7] \*Taiichi Ishizaka, Kouyou Kuramitani, Naoki Ishida, Koji Sato, Takaaki Nakamura, Yuhei Sekiguchi, Hideo Kosaka, "Selective quantum control of carbon memories in an NV center in diamond"(poster), International Conference on challenges in Quantum Information Science(CQIS 2018), (Tokyo, Japan, 2018 年 4 月 9 日)

#### ・学会発表

↓ 自研究室学生が登壇者のときに頭に星印\*

- [1] 小坂英男, 「ダイヤモンドを用いた量子暗号通信から量子コンピューターまで」, 第 46 回薄膜・表面物理セミナー(2018)ダイヤモンドの形成技術から応用・未来技術ーセンシングからグリーン・パワーデバイスまでー, (産業技術総合研究所臨海副都心センター, 2018 年 7 月 27 日) (招待講演)
- [2] 小坂英男, 「光と固体中の電子スピンの織り成す新奇量子現象」, 日本物理学会 2018 年秋季大会, (同志社大学 京田辺キャンパス, 2018 年 9 月 9 日) (招待講演)
- [3] \*松田一泰, 長田昂大, 田宮志郎, 倉見谷航洋, 関口雄平, 小坂英男, 「ランダマイズドベンチマーキングを用いたホロノミック量子ゲートの忠実度測定」(oral), 2018 年第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, (名古屋国際会議場, 2018 年 9 月 18 日), 18a-438-6.
- [4] \*田宮志郎, 倉見谷航洋, 古賀悠太, 石坂泰一, 松田一泰, 小坂英男, 「ダイヤモンド NV 中心による量子情報デバイスの実現に向けたハミルトニアンラーニング」(oral), 2019 年 第 66 回

応用物理学会春季学術講演会, (東京工業大学, 2019年3月9日), 9p-M111-6.

- [5] \*安井優貴, 関口雄平, 加納浩輝, 古賀悠太, 鶴本和也, 小坂英男, 「ダイヤモンド NV 中心における幾何学的電子スピンと放出光子のもつれ生成」(oral), 日本物理学会第 74 回年次大会, (九州大学伊都キャンパス, 2019年3月15日), 15aK304-12.
- [6] \*松田一泰, 長田昂大, 田宮志郎, 倉見谷航洋, 関口雄平, 小坂英男, 「ランダマイズドベンチマーキングによるダイヤモンド NV 中心のホロノミック量子ゲート忠実度測定」(oral), 日本物理学会第 74 回年次大会, (九州大学伊都キャンパス, 2019年3月15日), 15aK304-10.
- [7] \*古賀悠太, 倉見谷航洋, 石坂泰一, 田宮志郎, 松田一泰, 小坂英男, 「ハミルトニアン機械学習によるダイヤモンド NV 中心のホロノミック量子ゲートパラメータ全量推定」(oral), 日本物理学会第 74 回年次大会, (九州大学伊都キャンパス, 2019年3月15日), 15aK304-11.
- [8] \*川崎愛大, 今池伸晃, 加納浩輝, 延與梨世, 鶴本和也, 倉見谷航洋, 関口雄平, 小坂英男, 「完全ベル測定のためのダイヤモンド NV 中心における核スピンシングルショット測定」(oral), 日本物理学会第 74 回年次大会, (九州大学伊都キャンパス, 2019年3月15日), 15aK304-9.
- [9] \*倉下滉平, 鶴本和也, 加納浩輝, 関口雄平, 小坂英男, 「ダイヤモンド NV 中心における光子から炭素核スピンへの選択的量子テレポーテーション転写」(oral), 日本物理学会第 74 回年次大会, (九州大学伊都キャンパス, 2019年3月15日), 15aK304-13.
- [10] \*松下和生, 加納浩輝, 鶴本和也, 延與梨世, 倉見谷航洋, 関口雄平, 小坂英男, 「ダイヤモンド集積量子ビットのための光シュタルクシフト量子ゲート」(oral), 日本物理学会第 74 回年次大会, (九州大学伊都キャンパス, 2019年3月15日), 15aK304-14.

## ・研究会発表・セミナーや講演会

(学外研究会)

↓ 自研究室学生に登壇者のときに頭に星印\*

- [1] 小坂英男, 「ダイヤモンドと量子情報 ―量子通信技術の現状と将来―」, 平成 30 年 6 月度大阪一水会幹事会例会, (大阪住友ビル本館, 2018年6月6日) (招待講演)
- [2] 小坂英男, 「量子クラウドメモリーへの量子テレポーテーションによる量子状態転写」, 萌芽的課題「基礎科学の挑戦」サブ課題Dワークショップ, (柏の葉オープンイノベーションラボ, 2018年10月19日) (招待講演)
- [3] \*倉見谷航洋, 「量子もつれネットワークのための量子クラウドメモリーのハミルトニアンラーニング」(oral), 第 2 回ポスト「京」萌芽的課題「基礎科学の挑戦」・「極限マテリアル」合同公開シンポジウム, (東北大学金属材料研究所, 2018年7月3日)
- [4] \*倉見谷航洋, 「量子もつれネットワークのための量子クラウドメモリーのハミルトニアンラーニング」(oral), 萌芽的課題「基礎科学の挑戦」サブ課題Dワークショップ, (柏の葉オープンイノベーションラボ, 2018年10月19日)

- [5] \*田宮志郎, 倉見谷航洋, 古賀悠太, 石坂泰一, 松田一泰, 小坂英男, 「機械学習によるダイヤモンド NV 中心ハミルトニアン推定」(poster), 第 14 回ナノテク交流シンポジウム, (横浜市立大学, 2019 年 3 月 8 日), N24.
- [6] \*安井優貴, 関口雄平, 加納浩輝, 古賀悠太, 鶴本和也, 小坂英男, 「ダイヤモンド NV 中心における幾何学的電子スピンと放出光子のもつれ生成」(poster), 第 14 回ナノテク交流シンポジウム, (横浜市立大学, 2019 年 3 月 8 日), N01.
- [7] \*川崎愛大, 今池伸晃, 加納浩輝, 鶴本和也, 倉見谷航洋, 関口雄平, 小坂英男, 「完全ベル測定のためのダイヤモンド NV 中心における核スピンシングルショット測定」(poster), 第 14 回ナノテク交流シンポジウム, (横浜市立大学, 2019 年 3 月 8 日), N03.
- [8] \*倉下滉平, 鶴本和也, 加納浩輝, 関口雄平, 小坂英男, 「ダイヤモンド NV 中心における光子から炭素核スピンへの選択的量子テレポーテーション転写」(poster), 第 14 回ナノテク交流シンポジウム, (横浜市立大学, 2019 年 3 月 8 日), N19.
- [9] \*松下和生, 加納浩輝, 鶴本和也, 延與梨世, 倉見谷航洋, 関口雄平, 小坂英男, 「ダイヤモンド集積量子ビットのための光シュタルクシフト量子ゲート」(poster), 第 14 回ナノテク交流シンポジウム, (横浜市立大学, 2019 年 3 月 8 日), N02.

#### (学内研究会)

該当無し

#### 9. 特許

概要なし