

2025 年度中央大学共同プロジェクト 研究実績報告書

1. 概要

研究代表者		所属機関	理工学部	2025 年度助成額	
		氏名	松崎 雄一郎	10,000,000 円	
		NAME	Yuichiro Matsuzaki		
研究 課題名	和 文	量子コンピュータへの応用に向けた量子状態の長寿命化		研究 期間	2025 年度
	英 文	Extending the Lifetime of Quantum States for Applications to Quantum Computers			

2. 研究組織

※所属機関・部局・職名は 2026 年 3 月 31 日時点のものです。

	研究代表者及び研究分担者		役割分担	備考
	氏名	所属機関/部局/職		
1	松崎 雄一郎	中央大学・理工学部・准教授	クラウド量子コンピュータによる実験	
2	土屋 俊二	中央大学・理工学部・准教授	数値計算による理論の検証	
3	工藤 和恵	お茶の水女子大学・基幹研究院・教授	近似計算による定量化	
4				
5				
6				
合計 3 名				

3. 2025年度の研究活動報告 ※行が不足する場合は、適宜、行を追加してご記入ください。

(和文)

本プロジェクトの目的は、長寿命の量子状態を生成し、その状態を量子情報処理へ応用する手法を提案・実証することである。まず、長寿命量子状態の生成について、クラウド型量子実機を用いた実証を行った。具体的には、量子ビット数を一次的に増加させながら寿命を評価した結果、単一量子ビットの場合よりも、複数量子ビットからなる状態の方が長い寿命を示すことを確認した。この結果は、長寿命化の要因が単一量子ビットの性質ではなく、複数量子ビット間の相互作用にあることを示唆している。

さらに、その起源を明らかにするため、ノイズモデルを構築し、理論と実験の比較を行った。その結果、両者の間に定性的な一致が得られ、長寿命化を制限する主要なノイズ源が磁場揺らぎであることを明らかにした。

また、得られた長寿命量子状態の活用法についても複数の手法を提案した。まず、量子アニーリングを用いた組合せ最適化への応用として、特に混合整数計画問題を従来よりも効率的に解く手法を提案した (JJAP, 65(2), 022002, 2026)。加えて、量子センサへの応用も進め、多数の量子センサを配置して位相板の集合的性質を解析する手法 (Jpn. J. Appl. Phys. 64, 082002, 2025)、量子センサを離して配置することで非局所的情報を抽出する手法 (Physical Review Letters 135(24), 2025。本成果は physics.org の解説記事でも紹介された)、および量子センサの高感度化手法 (Physical Review A 113(2), 2026) を提案した。

さらに、より一層の長寿命化を実現するためのノイズ抑制法 (Physical Review A 111(6), 2025) や、量子計算の高効率化を可能にするプロトコル (Phys. Rev. Research 7, 043343) についても提案を行った。

研究代表者と工藤先生と土屋先生の三名で月に一回の定例会議を開き、長寿命量子状態の実現方法及び、その応用について議論を行い、一定の成果を得た。具体的には、研究代表者と工藤先生とで、長寿命状態の活用法のひとつとして、量子コンピュータを用いた微分方程式の求解の定式化に成功して、その成果を論文として投稿予定である。土屋先生とは、長寿命量子コンピュータの実現のための誤り訂正のプロトコルにおいて、状態の純粋さを表す忠実度と呼ばれる手法の振る舞いについて、議論を続けており、成果がまとまり次第、学会発表を行う予定である。

(英文)

In this project, we aimed to generate long-lived quantum states and to propose their applications to quantum information processing. First, we experimentally demonstrated the generation of long-lived quantum states on cloud-accessible quantum hardware. Specifically, we increased the number of qubits in a one-dimensional manner and examined the corresponding lifetimes. As a result, we confirmed that multi-qubit states can exhibit longer lifetimes than single-qubit states. This finding suggests that the origin of the lifetime enhancement lies not in an individual qubit, but rather in the interactions among multiple qubits.

To further investigate the origin of this effect, we constructed a noise model and compared theoretical predictions with experimental results. We found qualitative agreement between theory and experiment, which allowed us to identify magnetic-field fluctuations as the dominant source of noise.

We also proposed several methods to utilize long-lived quantum states. As an application to combinatorial optimization, we proposed a method based on quantum annealing that solves mixed-integer programming problems more efficiently than conventional approaches (JJAP 65(2), 022002, 2026). In addition, we explored applications to quantum sensing, including a method for analyzing the collective properties of phase plates by deploying a large number

of quantum sensors (Jpn. J. Appl. Phys. 64, 082002, 2025), a method for extracting nonlocal information by spatially separated quantum sensors (Physical Review Letters 135(24), 2025; this work was also featured in a commentary article on physics.org), and a high-sensitivity quantum sensing protocol (Physical Review A 113(2), 2026).

Furthermore, we proposed a method for suppressing noise in order to achieve even longer lifetimes (Physical Review A 111(6), 2025), as well as a protocol for improving the efficiency of quantum computation (Phys. Rev. Research 7, 043343).

Prof. Matsuzaki, Professor Kudo, and Professor Tsuchiya held regular monthly meetings to discuss methods for realizing long-lived quantum states and their potential applications, and achieved steady progress. Specifically, Professor Matsuzaki and Professor Kudo successfully formulated a method for solving differential equations using a quantum computer as one possible application of long-lived quantum states. They plan to submit these results for publication in a scientific journal. Prof. Matsuzaki has also continued discussions with Professor Tsuchiya regarding the behavior of fidelity in quantum error-correction protocols designed to realize long-lived quantum computers. They plan to present the results at an academic conference once the study has been completed.

4. 主な発表論文等（予定を含む）

2025年度に行った共同研究プロジェクトの研究課題としての成果内容についてご記載ください。

※行が不足する場合は、適宜、行を追加してご記入ください。

【学術論文】（著者名、論文題目、誌名、査読の有無（査読がある場合は必ず査読有りと明記してください）、巻号、頁、発行年月）＜発表予定を含む。但し、投稿中、投稿準備中のものは除く＞

著者名 : Mamiko Tatsuta, Yuichiro Matsuzaki, Hiroki Kuji, Ryusuke Hamazaki, Akira Shimizu

論文題目 : Characterization and generation of a standard-quantum-limit-beating catlike state through repetitive measurements

誌名 : Physical Review A

査読有り、最終著者、責任著者

巻号 : 113 巻 2 号

頁 :

発行年 : 2026 年 2 月 10 日

著者名 : Seiya Endo, Shohei Kawakatsu, Hiromichi Matsuyama, Kohei Suzuki, Yuichiro Matsuzaki

論文題目 : Quantum annealing with qubit-resonator systems for simultaneous optimization of binary and continuous variables

誌名 : Japanese Journal of Applied Physics

査読有り、最終著者、責任著者

巻号 : 65 巻 2 号

頁 : 022002-022002

発行年 : 2026 年 1 月 21 日

著者名 : Keitaro Anai, Yasunari Suzuki, Yuuki Tokunaga, Yuichiro Matsuzaki, Shuntaro Takeda, Suguru Endo

論文題目 : Unitary-transformed projective squeezing: Applications for circuit knitting and state preparation of non-Gaussian states

誌名 : Physical Review Research

査読有り

巻号 :

頁 :

発行年 : 2025 年 12 月 29 日

著者名 : Hajime Fukuda, Yuichiro Matsuzaki, Thanaporn Sichanugrist

論文題目 : Directional Searching for Light Dark Matter with Quantum Sensors

誌名 : Physical Review Letters

査読有り、責任著者

巻号 : 135 巻 24 号

頁 :

発行年 : 2025 年 12 月 9 日

著者名 : Yusuke Machida, Hiroki Kuji, Yuichiro Mori, Hideaki Kawaguchi, Takashi Imoto, Yuki Takeuchi, Miku Ishizaki, Yuichiro Matsuzaki
論文題目 : Identification of phase plate properties using photonic quantum sensor networks
誌名 : Japanese Journal of Applied Physics
査読有り、最終著者、責任著者
巻号 :
頁 :
発行年 : 2025 年 7 月 24 日

著者名 : Suguru Endo, Yasunari Suzuki, Kento Tsubouchi, Rui Asaoka, Kaoru Yamamoto, Yuichiro Matsuzaki, Yuuki Tokunaga
論文題目 : Quantum error mitigation for rotation-symmetric bosonic codes with symmetry expansion
誌名 : Physical Review A
査読有り、責任著者
巻号 : 111 巻 6 号
頁 :
発行年 : 2025 年 6 月 2 日

【学術論文】（著者名、論文題目、誌名、査読の有無（査読がある場合は必ず査読有りと明記してください）、巻号、頁、発行年月）＜発表予定を含む。但し、投稿中、投稿準備中のものは除く＞ **研究分担者**

【発表予定の論文】

著者名 : Kazuki Miyanishi, Taketosho Naito, Kazue Kudo, Toshiki Yamaji, Yuichiro Matsuzaki
論文題目 : Solving differential equations using quantum annealing with continuous variables
誌名 : Japanese Journal of Applied Physics

著者名 : Kazue Kudo

論文題目 : Annealing-based approach to solving partial differential equations

誌名 : 2026 International Conference on Quantum Communications, Networking, and Computing (QCNC)

査読有

頁 : 912-917

発行年 : 2026 年 4 月

著者名 : Tatsuya Numajiri, Shion Yamashika, Tomonori Tanizawa, Ryosuke Yoshii, Yuki Takeuchi, and Shunji Tsuchiya

論文題目 : Phase Transitions and Noise Robustness of Quantum Graph States

誌名 : Quantum

査読有

巻号 : 10 巻

頁 : 2094

発行年 : 2026 年 5 月 5 日

著者名 : Hiroki Ohta, Aaron Merlin Müller, and Shunji Tsuchiya

論文題目 : Measurement-Based Quantum Computation Using the Spin-1 XXZ Model with Uniaxial Anisotropy

誌名 : Physical Review A

査読有

巻号 : 113 巻 5 号

頁 : 052407

発行年 : 2026 年 5 月 4 日

著者名 : Kota Tani, Shunji Tsuchiya, Seiichiro Tani and Yuki Takeuchi
論文題目 : Quantum algorithm for unstructured search of ranked targets
誌名 : Physica Scripta
査読有
巻号 : 100 巻 5 号
頁 : 075114
発行年 : 2025 年 6 月 23 日

著者名 :

【学会発表】(発表者名、発表題目、学会名、開催地、開催年月)

発表者名 : 松崎雄一郎
発表題目 : Enhancing the Dynamic Range of Quantum Sensing via Quantum Circuit Learning
学会名 :
開催地 :
開催年月 : 2025 年 12 月 10 日
招待有り

発表者名 : 松崎雄一郎
発表題目 : Enhancing Quantum Sensing Performance via Quantum Circuit Learning
学会名 : Quantum sensing and applications for physics
開催地 :
開催年月 : 2025 年 10 月 30 日
招待有り

発表者名：松崎雄一郎

発表題目：Enhancing Quantum Sensing Performance via Quantum Circuit Learning

学会名：2nd International Workshop on Quantum, Cryogenic and Superconductive Computing

開催地：

開催年月：2025 年 10 月 28 日

招待有り

発表者名：川口英明，松崎雄一郎

発表題目：第 6 回量子ソフトウェアワークショップ：最先端の量子技術 ―量子センサーから量子アルゴリズムまで―

学会名：

開催地：

開催年月：2025 年 6 月 30 日

招待有り

発表者名：Yuichiro Matsuzaki

発表題目：Theoretical study of the spectroscopic measurements of Kerr non-linear resonators with four-body interaction

学会名：International Network on Quantum Annealing (INQA)

開催地：

開催年月：2025 年 5 月 27 日

招待有り

発表者名：松崎雄一郎

発表題目：量子 IoT(モノのインターネット)の構築

学会名：第 19 回 DPF 研究会

開催地：

開催年月： 2025 年 5 月 23 日

招待有り

【図 書】(著者名、出版社名、書名、刊行年)

【その他】(知的財産権、ニュースリリース等)

ネット上の解説記事に研究成果が取り上げられた。

January 1, 2026 feature, Searching for light dark matter by tracking its direction with quantum sensors by Ingrid Fadelli, Phys.org edited by Sadie Harley, reviewed by Robert Egan