

東北大学 電気通信研究所
研究室外部評価資料
(2013 年度-2018 年度)

**Activity Report of Research Laboratory
for External Review**

April 2013 – March 2019
(FY. 2013–2018)

**Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University**

量子光情報工学研究室
Quantum-Optical Information Technology

A. 研究室名 / Research Laboratory	
量子光情報工学研究室 Quantum-Optical Information Technology	
B. 構成員 / Faculty and Research Staff (as of May 1, 2019)	
教授 / Professor	
氏名 Name	枝松 圭一 Keiichi EDAMATSU (January 2003 -)
分野名 Research Field	量子光情報工学研究分野 Quantum-Optical Information Technology
准教授 / Associate Professor	
氏名 Name	小坂 英男 Hideo KOSAKA (July 2003 – March 2014)
分野名 Research Field	量子物性工学研究分野 Quantum Solid State Physics
氏名 Name	三森 康義 Yasuyoshi MITSUMORI (July 2011 -)
分野名 Research Field	量子レーザー分光工学研究分野 Quantum Laser Spectroscopy
氏名 Name	サッドグローヴ マーク Mark SADGROVE (April 2015 – March 2019)
分野名 Research Field	量子ナノフォトニクス研究分野 Quantum Nanophotonics
助教 / Assistant Professor	
氏名 / Name	松本 伸之 / Nobuyuki Matsumoto (April 2015 -) 金田 文寛 / Fumihiko KANEDA (March 2018 -) ベク ソヨン / Soyoung BAEK (April 2018 -)
他 / Others	
	学術研究員 / Research Fellow: 1 名 (April 2012 – December 2015) 学術研究員 / Research Fellow: 1 名 (April 2017 -)
C. 研究目的 / Research Purpose	
量子光学および光物性物理学を基盤とした量子情報通信技術の実験的研究	
Experimental study of quantum information and communication technologies (QICT) based on quantum optics and condensed matter photophysics.	
D. 主な研究テーマ / Research Topics	
<ol style="list-style-type: none"> 1. 新手法を用いた量子もつれ光子の発生・検出方法の開発と量子情報通信への応用 2. 光ファイバ, 光導波路, 半導体量子構造を用いた量子情報通信デバイスの開発 3. 光子を用いた極限量子計測, 量子状態制御技術の開発と応用 4. 半導体量子ドットにおける超高速光制御法の開発 	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Novel techniques for the generation, manipulation, and detection of photon entanglement. 2. QICT devices using optical fibers, waveguides, and semiconductor nanostructures. 3. Techniques for ultraprecise quantum measurement and quantum state synthesis using photons. 4. Coherent optical control of electron in semiconductor quantum dot. 	

E. 学術論文等の編数 / The Number of Research Papers							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
(1) 査読付学術論文 Refereed journal papers	3	3	2	5	6	5	24
(2) 原著論文と同等に扱う 査読付国際会議発表論文 Full papers in refereed conference proceedings equivalent to journal papers	0	0	0	0	0	0	0
(3) 査読付国際会議 Papers in refereed conference proceedings	9	5	3	2	7	2	28
(4) 査読なし国際会議・シンポジウム等 Papers in conference proceedings	0	0	3	0	2	0	5
(5) 総説・解説 Review articles	1	1	2	0	2	2	8
(5) 査読付国内会議 Refereed papers in domestic conferences	0	0	0	0	0	0	0
(6) 査読なし国内研究会・講演会 Papers in domestic conferences	10	12	1	3	7	8	41
(7) 著書 Books	0	0	0	0	0	1	1
(8) 特許 Patents	1	0	1	0	0	0	2
(9) 招待講演 Invited Talks	6	7	2	2	2	1	20

F. 特筆すべき研究成果 / Significant Research Achievements (FY.2013-2018)

See Ref. 1. “#” mark indicates research carried out at a former organization.

2013-2018年度の研究成果（論文・特許など）のうち、前半（2013-2015年度）と後半（2016-2018年度）それぞれで代表的な数件（2-3件程度ずつ）について、参考資料を引用して、その特徴と学術的意義などを簡単に紹介する。英文のみ、もしくは和文と英文で記載。

要約は300字程度。論文誌の要約/Abstractのコピー可。学術面での国際的インパクトならびに社会的影響を100字程度で記載。

必ずしも当該期間内に発表・出版したものに限りではなく、例えば過去に発表したものでもこの期間内に成果が得られたり、評価されるようになったりしたものも含むものとする。

インパクトファクターや被引用件数など、できる限り第三者が定量的に評価できる指標を用いてアピールすること。それらの指標にはそぐわない場合には、その事情とそれに変わる適当な評価指標・尺度を示すこと。

[2013-2015]

1. S.-Y. Baek, F. Kaneda, M. Ozawa, and K. Edamatsu, “Experimental violation and reformulation of the Heisenberg’s error-disturbance uncertainty relation,” *Sci. Rep.* **3**, 2221/1-5 (2013).

<https://doi.org/10.1038/srep02221> Cited: 66 (WoS Aug. 2019)

Abstract: The uncertainty principle formulated by Heisenberg in 1927 describes a trade-off between the error of a measurement of one observable and the disturbance caused on another complementary observable such that their product should be no less than the limit set by Planck’s constant. However, Ozawa in 1988 showed a model of position measurement that breaks Heisenberg’s relation and in 2003 revealed an alternative relation for error and disturbance to be proven universally valid. Here, we report an experimental test of Ozawa’s relation for a single-photon polarization qubit, exploiting a more general class of quantum measurements than the class of projective measurements. The test is carried out by linear optical devices and realizes an indirect measurement model that breaks Heisenberg’s relation throughout the range of our experimental parameter and yet validates Ozawa’s relation.

Impact on both academic and social aspects: Measurement of physical quantities is one of the most fundamental concepts in science and technology. The work demonstrated the experimental evidence of the theoretically-proposed new uncertainty relation in quantum measurement, and provided a large impact on the society. This article was published in *Scientific Reports* (IF=4.525) with a press release from Tohoku University. Six Japanese newspapers and numbers of Web news sites made much of the work.

要約: 量子力学の基本原理のひとつである「測定誤差と擾乱に関する不確定性関係」に関して、光子の偏光測定における誤差と擾乱の間の不確定性関係を実験的に検証した。その結果、従来信じられていたハイゼンベルクの不等式が破れており、小澤の不等式が成立していることを明確に検証した。

学術面でのインパクトおよび社会的影響: 本研究は、「測定」という科学技術の基本的事項において、従来考えられていた関係に代わる新たな基本的限界が存在することを初めて明瞭に検証したもので、超精密測定技術や新たな量子情報通信技術の開発につながるものと期待され、内外に大きなインパクトを与えた。

本論文は、Nature Publishing Group のオープンアクセス誌である *Scientific Reports* 誌 (IF=) に掲載されるとともに、一般紙を含む多数の新聞 (6 紙) に記事が掲載され、本研究の反響は極めて大きい。

2. F. Kaneda, S.-Y. Baek, M. Ozawa, and K. Edamatsu, “Experimental test of error-disturbance uncertainty relations by weak measurement,” *Phys. Rev. Lett.* **112**, 020502/1-5 (2014).

<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.112.020402> Cited: 59 (WoS Aug. 2019)

Abstract We experimentally test the error-disturbance uncertainty relation (EDR) in generalized, strength-variable measurement of a single photon polarization qubit, making use of weak measurement that keeps the initial signal state practically unchanged. We demonstrate that the Heisenberg EDR is violated, yet the Ozawa and Branciard EDRs are valid throughout the range of our measurement strength.

Impact on both academic and social aspects: This work, following to the previous work (*Sci. Rep.* **3**, 2221) listed above, demonstrated the experimental evidence of the error-disturbance uncertainty relations in a more precise and evident manner. This article was published in *Physical Review Letters* (IF=9.227) as Editors’ Choice with a press release from Tohoku University. Three Japanese newspapers, a journal for general science, and

numbers of Web news sites took up the work. This paper was tagged by Web of Science as Top 1% frequently cited papers in 2014.

要約: 光子の偏光についての精密な弱測定法を開発し、量子測定における測定誤差と擾乱の間の不確定性関係を実験的に検証した。その結果、ハイゼンベルクの不等式が破れており、小澤の不等式および新たに提案された Branciard の不等式が成立していることを明確に検証した。

学術面でのインパクトおよび社会的影響: 本研究は、上述した成果 (Sci. Rep. **3**, 2221) に続き、「測定誤差と擾乱に関する不確定性関係」において、従来考えられていた関係に代わる新たな関係式をさらに明瞭に検証したもので、超精密測定技術や新たな量子情報通信技術の開発につながるものと期待される。特に、最近理論的に提案された新しい不確定性関係を実験的にいち早く検証したことで、内外に大きなインパクトを与えた。本論文は、物理学分野で最も権威ある学会誌 *Physical Review Letters* 誌 (IF=9.227) に掲載されるとともに、新聞 (3 紙)、雑誌等に記事が掲載された。また、本論文は、Web of Science で 2014 年の Top 1% 高被引用度論文に選出された。

[2016-2018]

3. N. Abe, Y. Mitsumori, M. Sadgrove, and K. Edamatsu, “Dynamically unpolarized single-photon source in diamond with intrinsic randomness,” *Scientific Reports* **7**, 46722/1-7 (2017).
<https://doi.org/10.1038/srep46722> Cited: 2 (WoS Aug. 2019)

Abstract: Polarization is one of the fundamental properties of light, providing numerous applications in science and technology. While ‘dynamically unpolarized’ single-photon sources are demanded for various quantum applications, such sources have never been explored. Here we demonstrate dynamically unpolarized single-photon emission from a single [111]-oriented nitrogen-vacancy centre in diamond, in which the single-photon stream is unpolarized, exhibiting intrinsic randomness with vanishing polarization correlation between time adjacent photons. These properties not only allow true random number generation, but may also enable fundamental tests in quantum physics.

Impact on both academic and social aspects: This work will contribute to the progress of quantum information and communication technologies, e.g., true random number generators, as well as the fundamentals of quantum mechanics, e.g., quantum measurement and interference of general quantum states including mixed states. This article was published in *Scientific Reports* (IF=4.525) with a press release from Tohoku University. A Japanese newspaper and numbers of Web news sites took up this work.

要約: 静的にも動的にも真にランダムな偏光状態にある単一光子の発生・検証に世界で初めて成功した。本成果は、光子を用いた真性乱数発生器の実現や量子暗号の技術開発、および量子力学の基礎問題の検証に重要な役割を果たすことが期待される。

学術面でのインパクトおよび社会的影響: 量子情報通信技術および量子力学の基礎問題の検証に応用可能な重要な成果であり、*Scientific Reports* 紙 (IF=5.228) に掲載された。また、日本語および英語での報道発表を行い、新聞 (日刊工業新聞等) および種々の Web ニュースに掲載された。さらに、電子情報通信学会誌から、ニュース解説記事の執筆依頼を受けるなど、一般からも注目された。

4. M. Sadgrove, M. Sugawara, Y. Mitsumori, and K. Edamatsu, “Polarization response and scaling law of chirality for a nanofibre optical interface,” *Scientific Reports* **7**, 17085/1-9 (2017).
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-17133-3> Cited: 3 (WoS Aug. 2019)

Abstract: Two port optical devices couple light to either port dependent on the input photon state. An important class of two-port devices is that of evanescently-coupled interfaces where chirality of photon coupling can lead to important technological applications. Here, we perform a fundamental characterization of such an interface,

reconstructing the two-port polarization response over the surface of the Poincaré sphere for an optical nanofibre. From this result, we derive a chirality measure which is universal, obeying a one parameter scaling law independent of the exact parameters of the nanofibre and wavelength of light. Additionally, we note that the polarization response differs qualitatively for single and multiple coupled emitters, with possible implications for sensing and the characterization of waveguide coupled spins.

Impact on both academic and social aspects: Chirality was demonstrated in nanofibers a few years ago, but in this work a complete characterization of the behavior was demonstrated. In the future, nanofibers using the chiral property may be important components of next generation networks. This article was published in Scientific Reports (IF=4.525) with a press release from Tohoku University. Numbers of Web news sites took up this work.

要約: ナノ光ファイバの表面に金ナノ粒子を付着した結合系において、入力光の偏光状態と互いに対向する2つの導波モードとの結合に関するキラリティを全ての偏光状態に対して計測・解析して、その特性を解明するとともに、一般的に成立するスケールリング則を導いた。

学術面でのインパクトおよび社会的影響: 本研究成果は、ナノ粒子—ナノファイバ結合系における新たな光学応答の理解とその応用を拓く成果として注目され、Scientific Reports 紙 (IF=4.525) に掲載されるとともに、和文、英文双方での報道発表も行われ、種々の Web ニュース等に掲載された。

5. N. Matsumoto, S. B. Cataño-Lopez, M. Sugawara, S. Suzuki, N. Abe, K. Komori, Y. Michimura, Y. Aso, and K. Edamatsu, “Demonstration of Displacement Sensing of a mg-Scale Pendulum for mm- and mg- Scale Gravity Measurements”, Phys. Rev. Lett. **122**, 071101/1-5 (2019)
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.122.071101> Cited: 0 (WoS Aug. 2019)

Abstract: Gravity generated by large masses has been observed using a variety of probes from atomic interferometers to torsional balances. However, gravitational coupling between small masses has never been observed so far. Here, we demonstrate sensitive displacement sensing of the Brownian motion of an optically trapped 7 mg pendulum motion whose natural quality factor is increased to 10^8 through dissipation dilution. The sensitivity for an integration time of one second corresponds to the displacement generated in a millimeter-scale gravitational experiment between the probe and a 100 mg source mass, whose position is modulated at the pendulum mechanical resonant frequency. Development of such a sensitive displacement sensor using a milligram-scale device will pave the way for a new class of experiments where gravitational coupling between small masses in quantum regimes can be achieved.

Impact on both academic and social aspects: This work opened the door to the ultraprecise measurement of gravity between milligram- and millimeter-scale objects toward the observation of gravity in a quantum regime. This article was published in Physical Review Letters (IF=9.227) and featured in APS Physics (<https://physics.aps.org/synopsis-for/10.1103/PhysRevLett.122.071101>). A press release was published from Tohoku University. A Japanese newspaper and numbers of Web pages took up the work.

要約: ミリグラムオーダーの懸架鏡振子を用いて、極微小な重力の測定を可能とする小型超低雑音変位センサーを開発した。将来的には、量子的領域にある小物体間の重力結合の計測を可能とし、重力と量子力学を融合する革新的研究につながることを期待される。

学術面でのインパクトおよび社会的影響: 本研究の成果は米国物理学会論文誌 Physical Review Letters 誌 (IF=9.227) に掲載され、「Highlighted Article」として論文誌から高い評価を受けるとともに、米国物理学会の米国物理学会の Web ニュース APS Physics でも紹介された。また、新聞報道1件、国内 Web News での報道多数。

G. 特筆すべき活動 / Significant Activities (FY.2013-2018)

See Ref. 2-9. “#” mark indicates research carried out at a former organization.

研究室外部評価参考資料の2以降を参照しながら、2013-2018年度のなどの活動の中から特筆すべきものを取り出し、前半（2013-2015年度）と後半（2016-2018年度）に分けて簡単に紹介する。英文のみ、もしくは和文と英文で記載。

[2013-2015]

As those listed in the reference. Nothing special to be mentioned.

[2016-2018]

As those listed in the reference. Nothing special to be mentioned.