

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**

**超高速光通信研究室**

**Ultrahigh-Speed Optical Communication**

|   |  |
|---|--|
| <b>A. 研究室名 / Research Laboratory</b>  |  |
| 超高速光通信研究室<br>Ultrahigh-Speed Optical Communication  |  |
| <b>B. 構成員 / Faculty and Research Staff (as of May 1, 2019)</b>  |  |
| ※ 欄を適宜追加削除等調整して下さい。期間内に異動等があった場合には、在籍期間を記載して下さい。  |  |
| <b>教授 / Professor</b>   |  |
| 氏名<br>Name  | 中沢 正隆<br>Masataka Nakazawa (- March 2018)                  |
| 分野名<br>Research Field   | 光伝送研究分野<br>Optical Transmission                            |
| 氏名<br>Name  | 廣岡 俊彦<br>Toshihiko Hirooka (April 2018 -)                  |
| 分野名<br>Research Field   | 超高速光通信研究分野<br>Ultrahigh-Speed Optical Communication        |
| <b>准教授 / Associate Professor</b>  |  |
| 氏名<br>Name  | 廣岡 俊彦<br>Toshihiko Hirooka (- March 2018)                  |
| 分野名<br>Research Field   | 光信号処理研究分野<br>Optical Signal Processing                     |
| 氏名<br>Name  | 吉田 真人<br>Masato Yoshida (- March 2018)                     |
| 分野名<br>Research Field   | 高精度光ファイバ計測研究分野<br>High-Precision Optical Fiber Measurement |
| <b>助教 / Assistant Professor</b>   |  |
| 氏名 / Name   | 葛西 恵介 / Keisuke Kasai (April 2016 -)                       |
| <b>C. 研究目的 / Research Purpose</b>   |  |
| <p>インターネットや携帯で扱われる情報が多彩になり、また利用者が広がるにつれ、快適なコミュニケーション環境を提供する大容量・超高速ネットワークの実現が大変重要になってきている。超高速光通信技術はそのネットワークを支える中核技術である。本研究分野では、超高速光通信の基盤となる超短光パルス発生・伝送技術、ソリトンを中心とする非線形波動技術、超高速レーザ技術、デジタルコヒーレント光信号処理技術の研究を行い、21世紀のグローバルな超高速光ネットワークの構築を目指している。</p>   |  |
| <p>With the vast growth of Internet traffic, it has become increasingly important to realize a high-capacity and high-speed network. Ultrahigh-speed optical communication is the key technology for building such an interconnected world. This laboratory aims to achieve a global ultrahigh-speed optical network by engaging in the research of ultrashort pulse and coherent transmission. Our research areas include ultrahigh-speed transmission, digital coherent optical transmission, high-speed mode-locked lasers, optical signal processing, and the development of fibers with new functions.</p> |  |
| <b>D. 主な研究テーマ / Research Topics</b>   |  |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 超高速光通信に関する研究</li> <li>2. 超多値デジタルコヒーレント伝送に関する研究</li> <li>3. 超高速光パルスレーザと光計測・周波数標準への応用</li> <li>4. 新機能性ファイバの研究と新パラダイムの創生</li> </ol>  |  |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ultrahigh-speed optical communication</li> <li>2. Digital coherent transmission with ultrahigh multiplicity</li> <li>3. Ultrahigh-speed optical pulse lasers and their application to optical measurement and standards</li> <li>4. Novel optical fibers and new paradigm shifts</li> </ol>   |  |

| 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<br>Refereed journal papers                   | 9    | 13   | 13   | 7    | 11   | 4    | 57    |
| (2) 査読付国際会議<br>Papers in refereed conference proceedings | 17   | 16   | 11   | 18   | 13   | 8    | 83    |
| (3) 査読なし国際会議・シンポジウム等<br>Papers in conference proceedings | 1    | 0    | 4    | 0    | 2    | 0    | 7     |
| (4) 総説・解説<br>Review articles                             | 0    | 1    | 1    | 1    | 0    | 0    | 3     |
| (5) 査読なし国内研究会・講演会<br>Proceedings in domestic conferences | 2    | 6    | 5    | 4    | 4    | 10   | 31    |
| (6) 著書<br>Books  | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1     |
| (7) 特許<br>Patents  | 0    | 2    | 3    | 4    | 5    | 3    | 17    |
| (8) 招待講演<br>Invited Talks                                | 6    | 4    | 8    | 4    | 9    | 0    | 31    |

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

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・出版したものに限るのではなく、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. M. Nakazawa, M. Yoshida, T. Hirooka, and K. Kasai, "QAM quantum stream cipher using digital coherent optical transmission," Opt. Express vol. 22, no. 4, pp. 4098-4107, February (2014). [IF: 3.561], [Times Cited: 44 (Google Scholar)]

M. Yoshida, T. Hirooka, K. Kasai, and M. Nakazawa, "Real-time Adaptive 4-64 QAM, 20-60 Gbit/s Quantum Noise Stream Cipher Transmission over 320 km with FPGA-based Transmitter and Receiver," ECOC 2015, P.5.13.

**Abstract:** A Quantum Noise Stream Cipher (QNSC) using Quadrature Amplitude Modulation (QAM) was newly proposed for digital coherent optical communication with extremely high security. In the proposed scheme, both amplitude and phase of the light beam are encrypted simultaneously, where the signals are masked by quantum noise. We showed experimentally that the number of masked signals in the quantum noise for QAM/QNSC becomes a square multiple larger than that for conventional OOK-based QNSC, which indicates that the QAM/QNSC technique is extremely robust against eavesdroppers. We demonstrated a real-time adaptive 4-64 QAM, 20-60 Gbit/s QNSC transmission over 320 km with an FPGA-based transmitter and receiver, in which the QAM data multiplicity is randomly changed on-line for increased encryption security.

**International impact on both academic and social aspects:** In contrast to quantum key distribution such as BB-84, whose speed and distance are typically limited to ~1 Mbit/s and < a few tens of km respectively, QNSC scheme features high-speed secure transmission over long distances and compatibility with the deployed optical networks. The proposed scheme introduces QNSC to QAM transmission, and both the transmission capacity and security can be enhanced. QAM/QNSC is highly compatible with the deployed network and can contribute to constructing robust networks against cyber attack.

**要約:** QAM と呼ばれる多値デジタルコヒーレント光伝送方式に量子雑音を付加し、伝送信号をその雑音の中に隠すことにより、高速・大容量の強力な 2 次元量子暗号伝送に世界で初めて成功した。本方式では、光の量子雑音を利用した量子ストリーム暗号(QSC: Quantum Stream Cipher)は、共通鍵を元に生成した擬似乱数を用いて光信号の位相あるいは振幅を多値変調し、信号を光の量子揺らぎの中に埋め込むことにより、盗聴者が光信号を正確に受信出来なくしている。本方式により、暗号としての秘匿性が従来の OOK 型量子ストリーム暗号に比べて二乗倍強いことを実証した。FPGA を用いて 4~64 QAM で多値度をリアルタイムで切替可能な QNSC 送受信器を作製し、20-60 Gbit/s QNSC 信号の 320 km オンライン伝送に成功した。

**学術面での国際的インパクトおよび社会的影響:** 今まで光量子暗号通信方式として、BB-84 を代表とする量子鍵配送方式が提案されているが、1 Mbit/s の伝送速度であっても伝送距離が数 10 km 以下に制限されてしまう限界があった。今回提案した方式は、QAM を QSC に導入することにより伝送容量の増

大と同時に安全性も著しく増強できる新たな量子暗号方式である。QAM は近い将来長距離・大容量光ネットワークに導入されると予想されており、QAM 型 QSC はその高い親和性から、サイバー攻撃に耐え得るセキュア通信の実現に大きく貢献するものと期待される。

2. M. Nakazawa, M. Yoshida, and T. Hirooka, "The Nyquist laser," *Optica* vol. 1, no. 1, pp. 15-22, July (2014). [IF: 9.263], [Times Cited: 29 (Google Scholar)]

**Abstract:** In this paper, we proposed a new pulsed laser that can directly emit an optical Nyquist pulse train. The Nyquist laser is based on a regeneratively and harmonically mode-locked erbium fiber laser that incorporates a special spectral filter to generate a Nyquist pulse as the output pulse. We showed that the Nyquist laser enables 10 dB higher S/N compared to a conventional scheme based on external spectral manipulation,

**International impact on both academic and social aspects:** Optical Nyquist pulses, which were proposed by our group in 2011, can be used to simultaneously achieve an ultrahigh data rate and spectral efficiency (SE). Coherent Nyquist optical time-division multiplexing transmission increases SE, but the optical signal-to-noise ratio (OSNR) is limited by the amplitude of the original CW beam. The Nyquist laser is important not only for the direct generation of high-OSNR pulses but also for scientific advances, providing that pulse shapes that differ significantly from the conventional hyperbolic-secant and Gaussian pulse shapes can exist stably in a cavity. This paper was published in the first issue of *Optica*, known as an optics journal featuring high impact factor.

**要約:** 光ナイキストパルスを直接出力できるパルス光源「ナイキストレーザ」を新たに提案した。本レーザはモード同期レーザの共振器内にスペクトル可変光フィルタを設け、そのスペクトル形状を制御することにより、レーザからナイキストパルスを直接生成することができる。従来のようにレーザ外部で波形整形用光フィルタを用いる方法と比べ 10 dB 高い S/N 比を実現し、光信号の S/N 低下を生じることなく高品質なナイキストパルスを生成することに成功した。

**学術面での国際的インパクトおよび社会的影響:** 光ナイキストパルスは超高速・高効率伝送が実現可能な新しい光パルスとして我々が 2011 年に提案したものである。その特徴を最大限に引き出すためには、如何に S/N 比の高い光ナイキストパルスを発生させるかが重要な課題となっている。従来のパルス整形法はパルス整形回路やその挿入損失を補償するための光増幅器が必要であるのに対し、本レーザは光ナイキストパルスを直接出力できるため、S/N 比が格段に向上するとともに極めて簡便な構成でナイキストパルスの生成が可能である。また、本レーザはナイキストパルスに基づく新たなモード同期理論の構築という意味で学術的にもインパクトが大変大きい。なお本成果は、米国光学会からの要請により、インパクトファクターの高い成果に特化した論文誌として創刊された *Optica* の創刊号に掲載された。

3. K. Kasai, Y. Wang, S. Beppu, M. Yoshida, and M. Nakazawa, "80 Gbit/s, 256 QAM coherent transmission over 150 km with an injection-locked homodyne receiver," *Opt. Express*, vol. 23, no. 22, pp. 29174-29183, November (2015). [IF: 3.561], [Times Cited: 12 (Google Scholar)]

Y. Wang, S. Okamoto, K. Kasai, M. Yoshida, and M. Nakazawa, "Single-channel 200 Gbit/s, 10 Gsymbol/s-1024 QAM injection-locked coherent transmission over 160 km with a pilot-assisted adaptive equalizer," *Opt. Express* vol. 26, no. 13, pp. 17015-17024, June (2018). [IF: 3.561], [Times Cited: 3 (Google Scholar)]

**Abstract:** We demonstrated an 80 Gbit/s, 256 QAM coherent optical transmission by employing an injection-locked homodyne detection circuit. Low phase noise carrier-phase synchronization between the transmitted data signal and an LO was achieved with a phase noise variance of only 0.2 degrees. As a result, we successfully transmitted a 256 QAM signal over 150 km with a simple receiver configuration. Furthermore, the multiplicity was increased to 1024 QAM by adopting a pilot-assisted adaptive equalizer, and 200 Gbit/s-160 km transmission was achieved at 10 Gsymbol/s with a potential spectral efficiency of 12.6 bit/s/Hz. This is the highest QAM multiplicity yet realized with injection-locked homodyne detection.

**International impact on both academic and social aspects:** Current digital coherent transmission systems employ carrier-phase estimation based on digital signal processing (DSP). In order to satisfy the demands for larger transmission capacity, both the symbol rate and multiplicity must be increased further, where DSP may not be sufficient to meet the required speed and accuracy of phase estimation. In order to meet these requirements, analog phase synchronization schemes are attractive, and in particular, injection locking scheme can offer highly precise phase synchronization in a very simple configuration. In our work, we clarified the applicability of injection-locking scheme in QAM transmission as high as 1024 levels for the first time. We gave an invited talk at ECOC 2016 and OFC 2018 on this topic.

**要約:** 光注入同期法により 80 Gbit/s, 256 QAM 信号の 150 km 伝送に成功した。本手法は伝送信号と局発光との高精度な位相同期を簡便な構成で実現できる点が特徴であり、0.2 度という極めて低い位相雑音を達成している。さらに、変調多値度を 1024 まで増大させ、200 Gbit/s (10 Gsymbol/s)信号の 160 km 伝送を 12.6 bit/s/Hz という高い周波数利用効率で実現した。これらの結果は光注入同期法が超多値デジタルコヒーレント伝送に大変有用であることを示している。

**学術面での国際的インパクトおよび社会的影響:** 現在実用化されているデジタルコヒーレント光通信では、キャリアの位相推定にデジタル信号処理を用いている。その一方で、増加の一途を辿る情報トラフィックを支えていくには、今後変調速度ならびに多値度の増大による伝送容量の拡大が不可欠である。このような高速・多値伝送を実現するためには、デジタル信号処理では限界があり、アナログ光位同期技術が非常に重要な役割を果たす。中でも光注入同期法は簡便な構成で高精度な光位同期を実現可能であり、本成果は本手法が超多値デジタルコヒーレント伝送の実現に極めて有用であることを示した有意義な成果である。本成果に関しては、国際会議 ECOC 2016, OFC 2018 において招待講演を行っており、国際的にも高い評価を受けている。

4. M. Yoshida, S. Beppu, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "1024 QAM, 7-core (60 Gbit/s x 7) fiber transmission over 55 km with an aggregate potential spectral efficiency of 109 bit/s/Hz," Opt. Express, vol. 23, no. 16, pp. 20760-20766, August (2015). [IF: 3.561], [Times Cited: 6 (Google Scholar)]

**Abstract:** We demonstrated the first 1024 QAM polarization-multiplexed transmission at 3 Gsymbol/s over a 55 km 7-core fiber, with a total bit rate of 420 Gbit/s (60 Gbit/s x 7 cores). The potential spectral efficiency per core reached 15.6 bit/s/Hz, which corresponds to an aggregate spectral efficiency as high as 109 bit/s/Hz in a multi-core single-mode fiber.

**International impact on both academic and social aspects:** This paper demonstrated the feasibility of multi-core fiber for transmitting QAM signal with extremely high multiplicity, and an aggregate spectral efficiency can be extended to 100 bit/s/Hz in a single fiber. The obtained results indicate that the influence of

MCF crosstalk is still negligible over this distance, and thus a longer transmission reach can be expected by employing a multi-core EDFA. Among three “multi” technologies toward overcoming capacity crunch, i.e., multi-level, multi-core, and multi-mode, this work involves two of these technologies.

**要約:** 長さ 55 km の 7 コアファイバを用いて、1024 QAM 信号を 420 Gbit/s (1 コアあたり 60 Gbit/s) の伝送容量で伝送した。これにより 1 コアあたり 15.6 bit/s/Hz、7 コアで 109 bit/s/Hz の高い周波数利用効率を達成し、超多値デジタルコヒーレント信号のマルチコア伝送を初めて実証した。

**学術面での国際的インパクトおよび社会的影響:** 本論文は、ファイバ 1 本あたり 100 bit/s/Hz の超高周波数利用効率を目指して、超多値デジタルコヒーレント信号のマルチコア伝送に初めて取り組んだ成果である。本実験では 55 km 伝送においてもクロストークによる劣化が見られておらず、マルチコア EDFA の導入によるさらなる長距離化の可能性が期待される。最近の光通信では Multi-level, Multi-core, Multi-mode の 3 つの Multi 技術 (3M 技術) が容量限界を打破するための革新的技術として研究が活性化しているが、本成果はそのうち 2 つの Multi 技術を融合したもので、超大容量化の可能性を示唆する重要な成果である。

#### [2016-2018]

1. M. Terayama, S. Okamoto, K. Kasai, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “4096 QAM (72 Gbit/s) Single-Carrier Coherent Optical Transmission with a Potential SE of 15.8 bit/s/Hz in All-Raman Amplified 160 km Fiber Link,” OFC 2018, Th1F.2, March (2018). [Times Cited: 6 (Google Scholar)]

**Abstract:** We have successfully achieved a 4096 QAM (72 Gbit/s) - 160 km transmission with a potential spectral efficiency of 15.8 bit/s/Hz by employing precise digital polarization demultiplexing. The conventional Stokes vector method, which was employed in our previous demonstration of 2048 QAM-160 km transmission, was improved by data length optimization and highly precise polarization demultiplexing was successfully realized.

**International impact on both academic and social aspects:** Recently, intensive efforts have been made for QAM transmission with higher multiplicity toward realizing a spectral efficiency approaching the Shannon limit. This paper reported the highest multiplicity ever achieved in QAM transmission. QAM with such high multiplicity can contribute to the efficient utilization of finite frequency resources and provide sufficient information capacity to accommodate ever increasing network traffic.

**要約:** QAM コヒーレント伝送方式において 4096 値の超多値光伝送を世界で初めて実現し、容量 72 Gbit/s の信号を僅か 3.8 GHz の光帯域で伝送することに成功した。1 シンボルで 12 ビットの情報量を実現しており、その周波数利用効率は 15.8 bit/s/Hz に達する。これまでにストークスペクトル法を用いた偏波分離アルゴリズムを導入し 2048 QAM - 160 km 伝送を実現しているが、今回偏波分離アルゴリズムにおけるデータ長の最適化を行うことにより 4096 QAM 信号の復調に十分な偏波分離精度を達成し、この高精度な偏波分離処理の適用により 4096 QAM 伝送に初めて成功した。

**学術面での国際的インパクトおよび社会的影響:** 近年、シャノンリミットに迫る周波数利用効率 (SE) の実現に向けて超多値 QAM 信号の研究が盛んに行われている。本成果は光通信において最も高い多値度を達成したものであり、光通信システムの低コスト化、低消費電力化、および周波数資源の有効活用に大きく貢献する伝送技術である。本伝送技術により、将来の通信トラフィックの増大に対して、十分

な情報量の確保が可能となると期待される。

2. M. Nakazawa, M. Yoshida, M. Terayama, S. Okamoto, K. Kasai, and T. Hirooka, "Observation of guided acoustic-wave Brillouin scattering noise and its compensation in digital coherent optical fiber transmission," *Opt. Express* vol. 26, no. 7, pp. 9165-9181, April (2018). [Impact Factor: 3.561], [Times Cited: 2]

M. Yoshida, N. Takefushi, M. Terayama, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Reverse Phase Modulation Technique for GAWBS Noise Error Floor Elimination in 1024 QAM-160 km Digital Coherent Transmission," *OECC 2018*, 4B1-3, July (2018).

**Abstract:** We describe the first observation of guided acoustic-wave Brillouin scattering (GAWBS) phase noise in a digital coherent optical fiber transmission. GAWBS noise, which is a forward lightwave generated by thermally excited vibration modes in a cylindrical fiber structure, occurs coherently not only in a signal at a single carrier frequency, but also in modulated wide-band optical signals. We propose two analogue and one digital method to compensate for the GAWBS noise and demonstrate improved performance in a QAM digital coherent transmission.

**International impact on both academic and social aspects:** It has been well known that GAWBS noise causes problems in various fields including quantum optics. In this paper, we pointed out for the first time that GAWBS noise exists even in a digital coherent transmission system such as quadrature amplitude modulation (QAM), and degrades the transmission performance, since the phase noise is inevitably included within the bandwidth of the transmitted data. Recently, GAWBS has received attention in submarine optical cables as well. Another important aspect of this work is the demonstration of GAWBS noise compensation, which is expected to result in significant performance improvement in QAM transmission especially in a long-haul system.

**要約:** 光ファイバ伝送時に導波音響波型ブリルアン散乱(GAWBS: Guided Acoustic-Wave Brillouin Scattering)と呼ばれる位相歪み効果が存在する。今回我々は、コヒーレント QAM 伝送における GAWBS 雑音の測定とそのデジタル補償に初めて成功した。

**学術面での国際的インパクトおよび社会的影響:** 本研究では、超多値光伝送における新たな信号歪み要因として GAWBS 雑音の存在を明らかにした。GAWBS は従来量子光学分野で注目されていた物理現象であるが、これが最先端のコヒーレント光通信においても信号歪みをもたらすことを初めて明らかにしている。最近では海底ケーブルにおいても GAWBS 雑音の重要性が認識され始めている。本論文では、GAWBS 雑音の補償により超多値 QAM 信号の伝送性能が大幅に向上できることを基礎実験を通して示しており、特に長距離伝送において重要な役割を果たすことが期待される。

3. K. Kimura, J. Nitta, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Single-channel 7.68 Tbit/s, 64 QAM coherent Nyquist pulse transmission over 150 km with a spectral efficiency of 9.7 bit/s/Hz," *Opt. Express* vol. 26, no. 13, pp. 17418-17428, June (2018). [Impact Factor: 3.561], [Times Cited: 4 (Google Scholar)]

**Abstract:** We achieved a record capacity of 7.68 Tbit/s in a single-channel OTDM transmission, where a



polarization-multiplexed 640 Gbaud, 64 QAM coherent Nyquist pulse has been transmitted over 150 km within an optical bandwidth of 660 GHz. The spectral efficiency reached as high as 9.7 bit/s/Hz despite such an ultrahigh-speed single-carrier transmission.

**International impact on both academic and social aspects:** We have proposed an optical Nyquist pulses and engaged in research on its TDM transmission in Grant-in-Aid for Specially Promoted Research of MEXT, with the aim of simultaneously achieving an ultrahigh data rate and spectral efficiency (SE). Through these works, Nyquist pulses are found to be the only pulse that can achieve a 10 Tbit/s-class transmission speed and an SE approaching 10 bit/s/Hz simultaneously.

**要約:** 我々は、狭い帯域でも超高速伝送が可能な伝送方式として光ナイキストパルスを用いた TDM 伝送を提案している。本論文では、ナイキストパルスをコヒーレント化して 64 QAM 信号を生成し、OTDM で 640 Gbaud に高速化することにより、単一チャネル 7.7 Tbit/s 信号を生成した。本信号を 660 GHz の帯域で 150 km 伝送させ、単一チャネルで 10 Tbit/s 近い高速伝送でありながら 9.7 bit/s/Hz の高い周波数利用効率を達成した。

**学術面での国際的インパクトおよび社会的影響:** 光ナイキストパルスはスペクトル広がりを抑えつつ高速伝送を実現できる新たな光パルスとして本研究室が提案したものであり、文科省の特別推進研究として進めてきた。本論文は光ナイキストパルスが超高速化と周波数利用効率の拡大に極めて有用であること示した成果である。単一チャネルで 10 Tbit/s 級の伝送速度で 10 bit/s/Hz に迫る周波数利用効率を実現できるのはナイキストパルスしかなく、光通信の超高速・高効率化に向けた今後の発展が期待されている。

4. T. Hirooka, R. Hirata, J. Wang, M. Yoshida, and M. Nakazawa, "Single-channel 10.2 Tbit/s (2.56 Tbaud) optical Nyquist pulse transmission over 300 km," Opt. Express, vol. 26, no. 21, pp. 27221-27236, October (2018). [Impact Factor: 3.561], [Times Cited: 1]

**Abstract:** We describe a single-channel 10.2 Tbit/s online transmission using non-coherent ultrashort optical Nyquist pulses. A 10.2 Tbit/s signal was generated at a symbol rate of as fast as 2.56 Tbaud with a polarization-multiplexed DQPSK format. With precise higher-order dispersion compensation up to fourth order and the development of ultrafast demultiplexing, a 10.2 Tbit/s signal was transmitted over 300 km for the first time as a real-time demonstration.

**International impact on both academic and social aspects:** This paper demonstrated an ultrafast symbol rate of 2.56 Tbaud for the first time, which cannot be realized with any other optical pulses due to bandwidth constraint. Such an ultrahigh-speed signal occupies the entire C-band by itself in a single carrier and the present results represent an ultimate performance of ultrashort pulses.

**要約:** ノンコヒーレントナイキストパルスを超短パルス化しシンボルレートを 2.56 Tbaud に高速化することにより、単一チャネル 10.2 Tbit/s 伝送を実現した。サブピコ秒パルスの高精度な分散補償ならびに超高速多重分離技術により 10.2 Tbit/s 信号の 300 km のリアルタイム伝送に成功した。

**学術面での国際的インパクトおよび社会的影響:** 本論文は、ナイキストパルスの高速性を最大限活用することにより、光通信の極限性能となる単一チャネル 10 Tbit/s への超高速化に世界で初めて成功した成

果である。単一チャネルで 2.56 Tbaud のシンボルレートはナイキストパルスでしかなし得ない高速伝送であり、本パルスの特徴を象徴している。

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

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。

### 1. 学会活動 / Activities in academic societies

#### (1) 学会役員等の活動 / Activities on committees of academic societies

- [1] Masataka Nakazawa, Vice President of IEICE (中沢正隆, 電子情報通信学会 副会長) (2015~2017)
- [2] Masataka Nakazawa, Board of Governors, IEEE Photonics Society (2013~2015)
- [3] Masataka Nakazawa, Chair of IEEE Sendai Section (2016~2017)
- [4] Masataka Nakazawa, President Elected of IEICE (中沢正隆, 電子情報通信学会 副会長) (2018)

#### (2) 学術的国際会議の企画・運営 / Planning and organizing academic international conferences.

- [1] Masataka Nakazawa, ISUPT International Advisory (2003~)
- [2] Toshihiko Hirooka, ECOC Program subcommittee member (2014~2018)
- [3] Toshihiko Hirooka, OECC Program subcommittee member (2012~2017)
- [4] Toshihiko Hirooka, OFC Program subcommittee member (2016~2018)

### 2. 競争的資金の獲得状況 / Research funds/grants received

#### (1) 科学研究費補助金 / Grant-in-Aid for Scientific Research (KAKENHI)

Grant-in-Aid for Specially Promoted Research (MEXT), “Proposal of multi-functional coherent Nyquist pulse and its ultrahigh-speed and highly-efficient optical transmission” (2014-2018, Project head: Masataka Nakazawa, Total budget: 483,900,000 JPY (~4,500,000 USD))

特別推進研究「多機能なコヒーレントナイキストパルス提案とそれを用いた超高速・高効率光伝送技術」(代表者名: 中沢正隆、交付金総額 483,900 千円) (平成 26 – 30 年度)

#### (2) 受託研究費 / Other grants and subsidies

- [1] Commissioned Research of National Institute of Information and Communications Technology (NICT), “R&D on innovative optical communications infrastructure,” (2011-2015, Project head: Hidehiko Takara (NTT), Total budget: 208,000,000 JPY (~1,900,000 USD))

国立研究開発法人 情報通信研究機構 高度通信・放送研究開発委託研究「革新的光通信インフラの研究開発」(代表者名: NTT 未来ねっと研究所 高良秀彦、交付金総額 208,000 千円、平成 23 – 27 年度)

- [2] Commissioned Research of National Institute of Information and Communications Technology (NICT), “R&D on innovative optical fiber and communication technology,” (2013-2017, Project head: Itsuro Morita (KDDI Research), Total budget: 577,000,000 JPY (~5,400,000 USD))

国立研究開発法人 情報通信研究機構 高度通信・放送研究開発委託研究「革新的光ファイバの実用化に向けた研究開発」(代表者名: KDDI 総合研究所 森田逸郎、交付金総額 577,000 千円、平成 25 – 29 年度)

- [3] Commissioned Research of Ministry of Internal Affairs and Communications (MIC), “High Capacity Technologies with Ultra High-Density Multi-Band and Multi-Access Layered Cells,” (2015-2018, Project head: Akihiro Otaka (NTT), Total budget: 175,800,000 JPY (~1,600,000 USD))

総務省委託研究「第5世代移動通信システム実現に向けた研究開発～超高密度マルチバンド・マルチアクセス多層セル構成による大容量化技術の研究開発～」(代表者: NTT アクセスネットワークシステム研究所 大高明浩、交付金総額 175,800 千円、平成 27-30 年度)

### 3. 国際共同研究・連携研究・連携教育活動の実績

International joint research, collaborative research, and collaborative education

- [1] Tohoku University's Focused Research Program, "Research collaboration in photonics with MIT towards future University Partnership Agreement," (2010-2015)  
東北大学重点戦略支援プログラム「将来の大学間協定を見据えた東北大学電気通信研究所－MIT 電子工学研究所国際共同研究プロジェクト(RIEC-RLE Project)」(2010 ～ 2015 年)
- [2] JSPS Invitational Fellowships for Research in Japan, Prof. Shiva Kumar (Department of Electrical & Computer Engineering, McMaster University), Nov. 2016-July 2017.  
日本学術振興会外国人研究者招へい事業 マクマスター大学工学部電気情報工学科・Shiva Kumar 教授 (2016 年 11 月 ～ 2017 年 7 月)「コヒーレントナイキストパルス伝送における非線形波形歪みの解析とその補償技術の開発」

### 4. 叙勲・受賞・表彰 / Honors, awards, and prizes

- [1] Masataka Nakazawa, Japan Academy Prize (中沢正隆, 日本学士院賞) (2013.6)
- [2] Tatsunori Omiya (大宮達則), OECC 2013 Best Paper Award (2013.7)
- [3] Masataka Nakazawa (中沢正隆), MOC (Micro Optics Conference) Award (2013.10)
- [4] Masataka Nakazawa, 2013 C&C Prize (中沢正隆, NEC 財団 C&C 賞) (2013.11)
- [5] Shohei Beppu (別府翔平), OFC 2014 Outstanding Student Paper Competition Honorable Mention (2014.3)
- [6] Masataka Nakazawa (中沢正隆), OSA Charles Hard Townes Award (2014.6)
- [7] Masataka Nakazawa (中沢正隆), International Wire & Cable Symposium, Inc・Jack Spergel Memorial Award (2014.11)
- [8] Yixin Wang (王怡昕), ACP 2014, IEEE Photonics Society Best Student Paper Awards (1st Grade Awards) (2014.11)
- [9] Masataka Nakzawa, Fujihara Award (中沢正隆, 第 56 回藤原賞) (2015.11)
- [10] Takashi Kan (管貴志), IEEE Sendai Section Student Awards 2016 "The Encouragement Prize" (2016.12)
- [11] Masaki Terayama (寺山雅樹), IEEE Sendai Section Student Awards 2016 "The Encouragement Prize" (2016.12)
- [12] Masato Yoshida (吉田真人), OECC 2018 Best Paper Award (2018.7)
- [13] Kosuke Kimura (木村光佑), OECC 2018 Best Student Paper Award (2018.7)