様式20

先端研究助成基金助成金（最先端・次世代研究開発支援プログラム）
実績報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	グリーンICT社会インフラを支える超高速・高効率コヒーレント光伝送技術の研究開発
研究機関・ 部局・職名	東北大学・電気通信研究所・准教授
氏名	廣岡　俊彦

1. 研究実施期間　平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

（単位：円）

	交付決定額	交付を受けた額	利息等収入額	収入額合計	執行額	未執行額	既返還額
直接経費	135,000,000	135,000,000	0	135,000,000	135,000,000	0	0
間接経費	40,500,000	40,500,000	0	40,500,000	40,500,000	0	0
合計	175,500,000	175,500,000	0	175,500,000	175,500,000	0	0

3. 執行額内訳

（単位：円）

費目	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	合計
物品費	169,365	36,302,700	31,792,339	45,419,331	113,683,735
旅費	0	1,686,764	1,614,782	5,156,486	8,458,032
謝金・人件費等	0	0	4,416,724	4,632,381	9,049,105
その他	0	253,829	188,454	3,366,845	3,809,128
直接経費計	169,365	38,243,293	38,012,299	58,575,043	135,000,000
間接経費計	60,000	13,530,000	12,810,000	14,100,000	40,500,000
合計	229,365	51,773,293	50,822,299	72,675,043	175,500,000

4. 主な購入物品（1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの）

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価（単位：円）	金額（単位：円）	納入年月日	設置研究機関名
ディジタルオシロスコープ	DSOX91604A	1	12,728,100	12,728,100	2011/6/10	東北大学
クロスコリレータ	FR-103XL/IR/FA/FA(CC)	1	1,481,550	1,481,550	2011/8/26	東北大学
光スペクトル整形器	1000S	1	4,672,500	4,672,500	2011/10/26	東北大学
リニア増幅器	40GHz	1	1,837,500	1,837,500	2011/11/30	東北大学
光スペクトル整形器	4000S	1	6,982,500	6,982,500	2011/12/22	東北大学
狭線幅レーザ	OE4010-1538	1	2,155,650	2,155,650	2012/1/10	東北大学
狭線幅レーザ	CUS-OE4010-1538	1	1,470,000	1,470,000	2012/1/11	東北大学
光ファイバ増幅器	YFA-200-20-SM-SA	4	712,950	2,851,800	2012/2/29	東北大学
Cバンド ラマン増幅器	ARA-C-500-B-F	4	649,950	2,599,800	2012/4/26	東北大学
RFアンプ	L3939-36-T736	1	1,260,000	1,260,000	2012/5/8	東北大学
フォトニック結晶ファイバ	低分散型	1	6,930,000	6,930,000	2012/7/30	東北大学
40GHz LN位相変調器	内部終端型	1	1,202,250	1,202,250	2012/8/21	東北大学
1070nmファイバ光増幅器	YFA-200-20-SM-SA	1	735,000	735,000	2012/12/21	東北大学
1060nmファイバ接合型AO変調器	T-M200-0.1C2G-3-F2S	1	850,080	850,080	2012/12/21	東北大学
1×2高消光比・超高速光スイッチサブシステム	EPS0102S-D-R	2	685,650	1,371,300	2013/1/15	東北大学
広帯域オシロスコープ	86100D	1	2,976,750	2,976,750	2013/1/31	東北大学
カートリッジ型偏波コントローラ	PCUA15-D/F(5Q/ 5H/5Q)	1	1,470,000	1,470,000	2013/2/4	東北大学
MUX・DEMUX回路	FMF用	2	745,500	1,491,000	2013/2/5	東北大学
アプリケーショントラフィックモニタ	MD1230B-29	1	1,848,000	1,848,000	2013/2/15	東北大学
可変フィルター	WSM-160-BP	1	1,134,000	1,134,000	2013/2/15	東北大学

様式20

誤り率測定器	MT1810A		1	2,882,775	2,882,775	2013/2/20	東北大学
パワーメータ	N1913A, N1913A-ABJ, N8487A		2	748,125	1,496,250	2013/2/27	東北大学
レンズシステム	光貿易株式会社		1	525,000	525,000	2013/3/26	東北大学
波長可変レーザ光源	N7714A		13	920,745	11,969,685	2013/4/18	東北大学
偏波多重エミュレータ	アーチネクスト株式会社		1	890,400	890,400	2013/5/8	東北大学
ソフトウェア	QAM伝送用レート可変機能		1	1,499,400	1,499,400	2013/9/20	東北大学
高非線形ファイバ	HNDS1615AAB-3-2-1		1	919,800	919,800	2013/10/30	東北大学
高非線形分散シフトファイバ	ｺｲﾙﾀｲﾌﾟﾓｼﾞｭｰﾙ		1	2,625,000	2,625,000	2013/11/22	東北大学
フィルタモジュール	角度ﾁｭｰﾆﾝｸﾞ型、偏波型		1	1,470,000	1,470,000	2013/12/10	東北大学
偏波コントローラ	PCUA10-S/F(Q/H/Q)		2	519,750	1,039,500	2013/12/26	東北大学
光ファイバ	ULA fiber 20km ×16spools		1	7,087,710	7,087,710	2014/1/9	東北大学
バランス型光検出器	BPDV3120R-VM-LA		1	860,000	860,000	2014/1/27	東北大学
エタロンモジュール	株式会社オプトクエスト		2	1,249,500	2,499,000	2014/1/31	東北大学
MUX/DEMUX回路	PCK_TKU_CL_100_FTF_IN		1	9,765,000	9,765,000	2014/2/21	東北大学

5. 研究成果の概要

超短光パルスの振幅と位相を64 QAM (Quadrature Amplitude Modulation)と呼ばれる方式で多値変調し、これをシンボルレート(パルスの繰り返し周波数) 160 Gsymbol/sに高速化することにより、単一チャネル1.92 Tbit/s の速度で150 kmの伝送に成功した。テラビットを上回る伝送速度を10 GHz程度で動作する電子デバイスと超高速動作するパッシブな光デバイスだけで実現しており、超高速伝送の低消費電力化と同時に周波数資源を6倍以上効率良く利用できることを明らかにした。また、幅の広いパルスでも超高速伝送を実現できる新たな光パルス「光ナイキストパルス」を提案し、超短光パルスの伝送限界の克服と周波数利用効率向上の課題を同時に解決できることを実証した。これらの成果は、周波数資源の節約がもたらす光通信システムの省エネルギー化および高効率化を通じて、また光領域での高速化により低速なRF 部品でも超高速伝送を実現できる経済的に優れた通信システムとして、グリーン・イノベーション推進への多大な貢献が期待される。

様式21

課題番号	GR013

先端研究助成基金助成金（最先端・次世代研究開発支援プログラム）
研究成果報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名 （下段英語表記）	グリーンICT社会インフラを支える超高速・高効率コヒーレント光伝送技術の研究開発
	Research and Development of Ultrahigh-speed and Highly-efficient Coherent Optical Transmission Technology for Green ICT Infrastructure
研究機関・部局・職名 （下段英語表記）	東北大学・電気通信研究所・准教授
	Associate Professor, Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University
氏名 （下段英語表記）	廣岡　俊彦
	Toshihiko Hirooka

研究成果の概要

（和文）: 本研究では、1 つの波長で 1 Tbit/s を上回る超高速光伝送を低いシンボルレート（パルスの繰り返し周波数）で実現するために、振幅と位相を多値変調した光パルスを時間領域で多重化する新たな高速・高効率伝送技術を開発した。その結果、コヒーレントな光パルスを 64 QAM (Quadrature Amplitude Modulation)と呼ばれる方式で多値変調し、シンボルレート 160 Gsymbol/s へ時間多重/偏波多重することにより、単一チャネルで 1.92 Tbit/s の超高速・高効率伝送に初めて成功した。また、幅の広いパルスでも超高速伝送を実現できる新たな光パルス「光ナイキストパルス」を提案し、超短光パルスの伝送限界の克服と周波数利用効率向上の課題を同時に解決できることを実証した。これらの成果は、周波数資源の節約がもたらす光通信システムの省エネルギー化および高効率化を通じて、また光領域での高速化により低速な電子デバイスでも超高速伝送を実現できる経済性に優れた通信システムとして、グリーン・イノベーション推進への多大な貢献が期待される。

（英文）: We developed a new high-speed and highly-efficient optical transmission technology that enables us to realize an ultrahigh bit rate beyond 1 Tbit/s/ch at lower symbol rate. Specifically, by encoding data on both amplitude and phase of coherent RZ (Return-to-Zero) pulses and multiplexing them in time domain, we successfully demonstrated a single-channel 1.92

Tbit/s transmission at a symbol rate of 160 Gsymbol/s and 64 QAM (quadrature amplitude modulation) modulation format. Furthermore, we proposed a novel optical pulse called "Nyquist pulse" that enables ultrahigh-speed transmission even with a broad pulse width, and demonstrated the tolerance to waveform distortions is greatly improved due to their reduced bandwidth. These results indicate seminal contribution to green innovations in ICT due to the increased spectral efficiency and the reduced energy consumption through the deployment of low-speed and less expensive electrical devices.

1. 執行金額　175,500,000 円
（うち、直接経費　135,000,000 円、 間接経費　40,500,000 円）

2. 研究実施期間　　平成23年2月10日～平成26年3月31日

3. 研究目的

国内のインターネットトラフィックは 1 Tbit/s を超え、現在も年率 40%の勢いで増加を続けており、グローバル規模での情報量の急増が問題になっている。エネルギー消費を抑えつつ情報爆発に対応可能な超大容量光通信網を実現するためには、周波数利用効率（単位周波数幅の中で伝送可能な通信速度）を如何にして増大させ、省資源化・低消費電力化を図るかが重要な課題となっている。そこで本研究は、グリーン・イノベーションの牽引力として、光の高速性とコヒーレンスという特徴を最大に利用した究極的な性能を有する光通信の実現を目的とする。具体的には、超短光パルスの振幅および位相に同時に情報を乗せ、さらに光時分割多重(OTDM: Optical Time Division Multiplexing)方式を導入することにより、超高速かつ高効率な光伝送技術を実現することを目的とする。本技術は、光の領域で時間多重を行うことから、電子デバイスの処理限界を超える超高速伝送が低い消費電力で実現できる点が特徴である。それと同時に、振幅と位相を多値変調することにより周波数利用効率が格段に向上し、限られた周波数資源を有効に利用できることから、基幹光通信システムの省エネルギー化および高効率化に貢献できると期待される。

4. 研究計画・方法

従来の超高速光パルス伝送は、光のオン・オフで 1 と 0 のディジタル情報を伝送する、1 パルスあたり 1 ビットの伝送が主流であった。一方最近の光通信では、無線の QAM (Quadrature Amplitude Modulation)のように、光の振幅だけでなく位相も多値で変調し、受信部で光信号の歪み補償と復調をディジタル信号処理で行うディジタルコヒーレント伝送技術が精力的に研究されている。これにより 1 つのシンボルで多ビットの伝送を実現でき、周波数利用効率が大幅に向上する。そこで本研究では、OTDM による高速化と QAM による周波数利用効率の拡大を同時に実現するために、RZ (Return-to-Zero)と呼ばれるコヒーレントな光パルスを QAM により多値変調し OTDM により多重化を行うコヒーレント OTDM-QAM 伝送を実現する。例えば 64 (=2^6) QAM 方式は 1 シン

ボルで 6 ビットの情報を伝送できることから、従来方式と同じ帯域で 6 倍の情報伝送(すなわち 6 倍の周波数利用効率)が可能となる。この 64 QAM 変調を OTDM 伝送に適用すると、シンボルレートが 160 G であっても伝送速度は 160 Gsymbol/s × 6 bit/symbol = 960 Gbit/s(偏波多重と組み合わせると 1.92 Tbit/s)となり、1～2 Tbit/s 級の超高速伝送を比較的低速な伝送技術で実現することが出来る。

このような新しい光伝送技術を実現するために、本研究ではコヒーレント超短光パルス発生、超高速パルスの高精度光位相同期、OTDM-QAM 信号の高感度コヒーレント検波ならびにディジタル信号処理などの要素技術を開発する。これらを結集させて、OTDM-QAM 信号による単一チャネルテラビット長距離伝送を実証し、超高速・高効率光伝送の基盤技術を確立する。そして、160 Gsymbol/s 以上のシンボルレートならびに 64 値以上の多値度により、1 波長あたりテラビットの伝送をこれまでの 10 倍以上の効率で実現することを目標とする。

5. 研究成果・波及効果

(1) コヒーレント光パルスによる 1.92 Tbit/s, 64 QAM 超高速多値伝送

本研究では、シンボルレート(パルスの繰り返し周波数)10 Gsymbol/s のコヒーレント光パルスに対して、OTDM による高速化ならびに QAM 多値度の拡大に取り組み、図 1 に示すように両者を組み合わせることにより超高速・高効率伝送技術を開発した。その結果、OTDM 多重度 160 Gsymbol/s、変調多値度 64 QAM、および偏波多重方式の導入により、単一チャネル 1.92 Tbit/s の超高速化を実現し、その 150 km 伝送に成功した。伝送実験の構成および伝送結果を図 2 に示す。コヒーレント RZ (Return-to-Zero)光パルスは、周波数安定化 CW (Continuous Wave)ファイバレーザより出力されるコヒーレント CW 光から光コム発生器およびパルス整形器により生成している。このパルスに 64 QAM 変調および 160 Gsymbol/s への OTDM 多重化を行い、150 km 伝送させている。受信側では 10 Gsymbol/s へ多重分離を行った後、我々が考案した RZ-CW 変換(パルスから CW 光への変換)によりスペクトルを狭窄化し、これを局発光(CW)とホモダイン検波させることにより 64 QAM 信号を高い S/N 比で受信している。受信した信号はディジタル信号処理で歪み補償を行うが、ここでは従来 QAM に用いられてきた FIR (Finite Response Filter)フィルタの代わりに周波数領域等化法(FDE: Frequency Domain Equalization)を新たに導入することにより、高い周波数分解能で波形歪みを除去している。

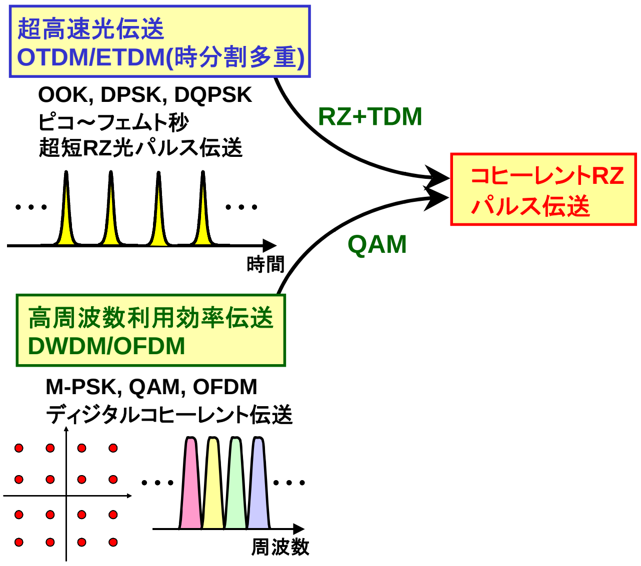

図 1 超高速・高密度光伝送の実現に向けた取り組み

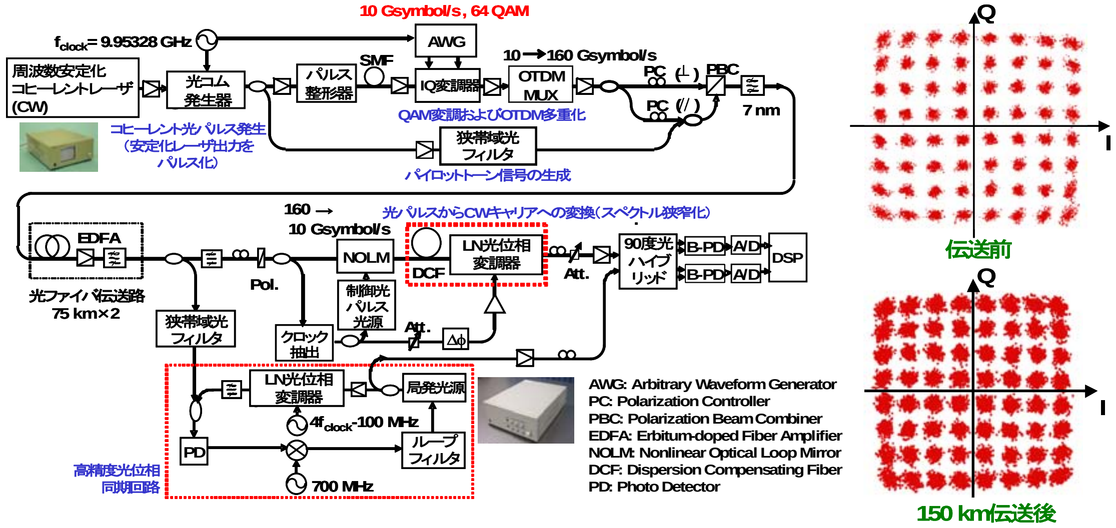

図 2　単一チャネル 1.92 Tbit/s, 64 QAM 超高速多値伝送実験

本伝送では、1 チャネルあたり 1.92 Tbit/s の伝送容量をその 1/10 以下の速度である 160 Gsymbol/s のシンボルレートで実現しており、従来技術の 10 倍の高効率化が達成されている。さらに、OTDM のもととなる信号は 10 Gsymbol/s のシンボルレートであることから、本伝送は電子デバイスの処理限界を超える伝送速度でありながら、10 GHz 程度で動作する電子デバイスとパッシブな光デバイスだけで実現している。このように高速 OTDM と多値 QAM の融合は、超高速光伝送システムの低消費電力化に大変有効であり、経済性の点からも優れた伝送技術であると言える。また、周波数資源の有効活用の度合いを表す周波数利用効率(伝送速度をスペクトル幅で割った値)は 3.2 bit/s/Hz であり、従来このような超高速伝送では 0.5 bit/s/Hz 程度であったのに対し、6 倍以上高効率化されていることがわかる。

(2) 超高速テラビット伝送における PMD の影響と超短光パルスの伝送限界の究明

上記(1)と並行して、本研究では超短パルスによる究極的な高速伝送の可能性を追求するために、サブピコ秒の超短光パルスを用いて超高速偏波多重伝送を実現し、その伝送限界を明確化した。具体的には、光パルスの幅を 0.6 ps まで圧縮し、OTDM でシンボルレートを 640 Gsymbol/s まで高速化して 300 km の長距離伝送実験を行った。変調方式には DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying:4 値の差動位相変調)を用いており、伝送速度は 2.56 Tbit/s に達している。実験の結果、図 3 に示すように、このような超短パルス伝送では距離の拡大とともに伝送性能が急激に劣化することが判明した。その原因を究明したところ、光ファイバの PMD、特に Depolarization と呼ばれる 2 次 PMD の効果が、直交する偏波チャネル間に大きなクロストークをもたらすことを新たに見出した。PMD は光ファイバ固有の歪み要因であり、1 次の PMD は様々な補償方法が開発されているが、2 次 PMD の補償は一般に困難である。理論解析の結果、このクロストークは伝送距離の 2 乗、およびスペクトル帯域の 4 乗に比例し、パルス幅を狭くするほどその効

果が急激に増大することから、このことが究極的には超高速パルス伝送の限界を決定することを明らかにした。

(3) 光ナイキストパルスによる超高速光伝送の高性能化

(2)で明らかにした超短パルスの伝送限界を克服するための取り組みとして、新しい光パルス「光ナイキストパルス」による超高速・高効率 TDM 伝送技術を提案した。(2)で述べた伝送限界の要因である PMD は光ファイバ固有の歪みであることから、超高速光伝送において PMD の影響を低減するためには、信号帯域の狭窄化が不可欠である。しかし、従来用いられてきた Gauss 型や Sech 型の超短光パルスは、隣のビットと重なり合うと干渉により情報が識別できなくなるため、出来るだけ幅を狭くする必要があり、周波数帯域の広がりが不可避であった。一方、パルスの包絡線が振動する「光ナイキストパルス」は、隣り合うパルスどうしを重ねて送っても情報を完全に識別できる特徴を有し、幅の広いパルスでも超高速通信が実現可能である。その原理を図 4(a), (b)に示す。

このようにナイキストパルスを用いることで狭い帯域で高速伝送が実現できることから、超高速化に伴う PMD による伝送限界が大幅に緩和されると期待される。そこで、ナイキストパルスを用いた単一チャネル 1.28 Tbit/s 偏波多重伝送を行った。その結果を図 4(c)に示す。500 km 伝送において PMD によるクロストークを 4 dB 以上改善でき、従来方式を大きく上回る伝送性能を達成した。

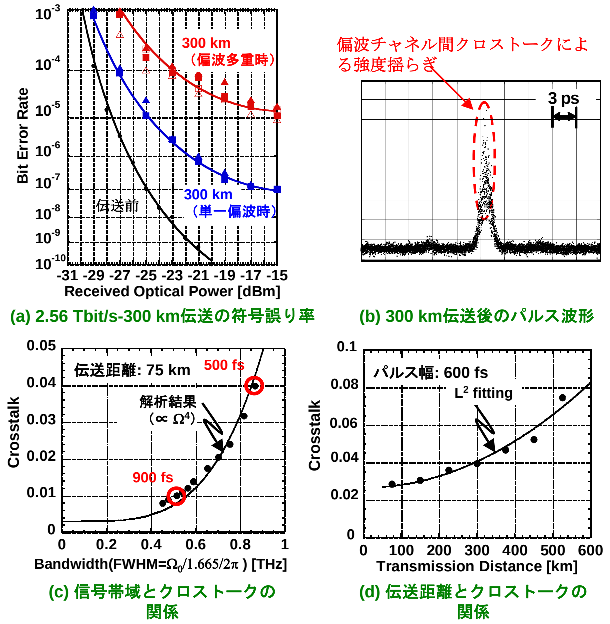

図 3 超高速テラビット伝送における 2 次 PMD の影響

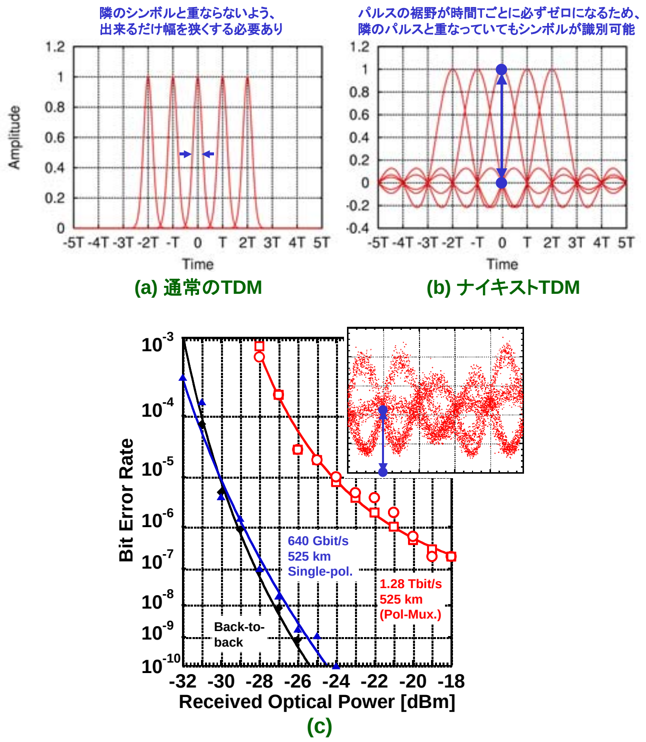

図 4 通常の TDM とナイキストパルスの TDM との比較(a), (b)、ならびに 1.28 Tbit/s–525 km 伝送結果(c)

様式21

6．研究発表等

雑誌論文 計 14 件	（掲載済み－査読有り） 計 13 件 [1] P. Guan, H. C. Hansen Mulvad, Y. Tomiyama, T. Hirano, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Single-channel 1.28 Tbit/s-525 km DQPSK transmission using ultrafast time-domain optical Fourier transformation and nonlinear optical loop mirror,” IEICE Trans. Comm., vol. E94-B, no. 2, pp. 430-436, February (2011). [2] T. Hirooka, T. Hirano, P. Guan, and M. Nakazawa, “PMD-induced crosstalk in ultrahigh-speed polarization-multiplexed optical transmission in the presence of PDL,” J. Lightwave Technol., vol. 29, no. 19, pp. 2963-2970, October 2011. [3] Y. Tomiyama, K. Harako, P. Guan, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Comparison between polarization-multiplexed DPSK and single-polarization DQPSK in 640 Gbaud, 1.28 Tbit/s–500 km single-channel transmission,” Opt. Fiber Technol., invited paper, vol. 17, no. 5, pp. 439-444, October 2011. [4] P. Guan, T. Hirano, K. Harako, Y. Tomiyama, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “2.56 Tbit/s/ch Polarization-Multiplexed DQPSK Transmission over 300 km Using Time-Domain Optical Fourier Transformation,” Opt. Express, vol. 19, no. 26, pp. B567-B573, December 2011. [5] M. Nakazawa, K. Kasai, M. Yoshida, and T. Hirooka, “Novel RZ-CW conversion scheme for ultra multi-level, high-speed coherent OTDM transmission,” Opt. Express, vol. 19, no. 26, pp. B574-B580, December 2011. [6] M. Nakazawa, T. Hirooka, P. Ruan, and P. Guan, "Ultrahigh-speed “orthogonal” TDM transmission with an optical Nyquist pulse train," Opt. Express vol. 20, no. 2. pp. 1129-1140, January 2012. [7] M. Nakazawa, T. Hirooka, M. Yoshida, and K. Kasai, “Ultrafast coherent optical communication,” IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., vol. 18, no. 1, pp. 363-376, January 2012. [8] K. Kasai, D. O. Otuya, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Single-Carrier 800-Gb/s 32 RZ/QAM Coherent Transmission Over 225 km Employing a Novel RZ-CW Conversion Technique,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 24, no. 5, pp. 416-418, March 2012. [9] T. Hirooka, P. Ruan, P. Guan, and M. Nakazawa, “Highly dispersion-tolerant 160 Gbaud optical Nyquist pulse TDM transmission over 525 km,” Opt. Express, vol. 20, no. 14, pp. 15001-15008, July (2012). [10] T. Hirooka and M. Nakazawa, “Linear and nonlinear propagation of optical Nyquist pulses in fibers,” Opt. Express, vol. 20, no. 18, pp. 19836-19849, August (2012). [11] T. Hirooka, K. Harako, P. Guan, and M. Nakazawa, “Second-order PMD-induced crosstalk between polarization-multiplexed signals and its impact on ultrashort optical pulse transmission,” J. Lightwave Technol. vol. 31, no. 5, pp. 809-814, March (2013). [12] K. Harako, D. Seya, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “640 Gbaud (1.28 Tbit/s/ch) optical Nyquist pulse transmission over 525 km with substantial PMD tolerance,” Opt. Express, vol. 21, no. 18, pp.21063-21076, September (2013). [13] D. O. Otuya, K. Kasai, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “A single-channel 1.92 Tbit/s, 64 QAM coherent optical pulse transmission over 150 km using frequency-domain equalization,” Opt. Express, vol. 21, no. 19, pp. 22808-22816, September (2013). （掲載済み－査読無し） 計 1 件 [1] 中沢正隆，廣岡俊彦，吉田真人，葛西恵介，“光多値化技術と更なる周波数利用効率向上に向けて,” O plus E, vol. 35, no. 8, pp. 836-841, August (2013). （未掲載） 計 0 件

様式２１

会議発表 計 30 件	専門家向け 計 28 件 [1] T. Hirooka, T. Hirano, P. Guan, M. Nakazawa, "New PMD-induced crosstalk in the presence of PDL in a polarization-multiplexed ultrahigh-speed transmission," Optical Fiber Communication Conference (OFC 2011), JThA44, March (2011). [2] 廣岡俊彦・平野敏行・関鵬宇・中沢正隆「超高速偏波多重伝送における PMD および PDL によるクロストークの影響」電子情報通信学会 2011 年総合大会, B-10-29, March (2011). [3] 関鵬宇・Hans Christian Hansen Mulvad・葛西恵介・廣岡俊彦・中沢正隆「時間領域光フーリエ変換および狭帯域光フィルタを用いた 640 Gbit/s クロック抽出回路」電子情報通信学会 2011 年総合大会, B-10-82, March (2011). [4] T. Hirooka, K. Kasai, and M. Nakazawa, "Recent Progress on Ultra-high Speed and Multi Level Coherent Transmission," Korea-Japan Workshop on Beyond 100G, Invited Talk, Jeju, Korea, June 1-3 (2011). [KAIST（韓国）・ETRI（韓国）・東北大学・電子情報通信学会 EXAT 研究会の共催] [5] 冨山祐太朗，原子広大，関　鵬宇，廣岡俊彦，中沢正隆，"Comparison between Polarization-Multiplexed DPSK and Single-Polarization DQPSK in 1.28 Tbit/s/ch-525 km Transmission," 平成 23 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2A11, 多賀城, August 25-26 (2011). [6] 冨山祐太朗・原子広大・関　鵬宇・廣岡俊彦・中沢正隆, "1.28 Tbit/s/ch-525 km 伝送における偏波多重 DPSK と単一偏波 DQPSK との比較," 電子情報通信学会 2011 年ソサイエティ大会, B-10-49, 札幌, September 13-16 (2011). [7] M. Nakazawa, K. Kasai, M. Yoshida, and T. Hirooka, "Novel RZ-CW Conversion Scheme for Ultra Multi-level, High-speed Coherent OTDM Transmission," European Conference on Optical Communication (ECOC2011), We.10.P1,75, Geneva, Switzerland, September 18-22 (2011). [8] P. Guan, T. Hirano, K. Harako, Y. Tomiyama, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "2.56 Tbit/s/ch Polarization-mutliplexed DQPSK Transmission over 300 km Using Time-domain optical Fourier Transformation," European Conference on Optical Communication (ECOC2011), We.10.P1,80, Geneva, Switzerland, September 18-22 (2011). [9] T. Hirooka, K. Harako, P. Guan, and M. Nakazawa, "Bandwidth and distance dependences of depolarization-induced crosstalk in polarization-multiplexed transmission," Optical Fiber Communication Conference (OFC2012), JW2A.44, Los Angeles, USA, March 4-9 (2012). [10] 中沢正隆・廣岡俊彦・阮　蓬・関　鵬宇, "光ナイキストパルスによる超高速直交時分割多重伝送," 電子情報通信学会 2012 年総合大会, B-10-34, 岡山, March 20-23 (2012). [11] 原子広大・関　鵬宇・廣岡俊彦・中沢正隆, "2 次 PMD による超高速偏波多重信号のクロストークとその帯域および距離依存性," 電子情報通信学会 2012 年総合大会, B-10-43, 岡山, March 20-23 (2012). [12] 葛西恵介・David Otuya・吉田真人・廣岡俊彦・中沢正隆, "RZ-CW 変換法を用いた単一チャネル 800 Gbit/s コヒーレント 32 RZ/QAM 伝送," 電子情報通信学会 2012 年総合大会, B-10-55, 岡山, March 20-23 (2012). [13] 廣岡俊彦・原子広大・関　鵬宇・中沢正隆, "2 次 PMD による偏波多重信号のクロストークとその超高速光伝送への影響,"電子情報通信学会光通信システム研究会，東京, OCS2012-1 (2012.5.18). [14] 葛西恵介・David Odeke Otuya・吉田真人・廣岡俊彦・中沢正隆, "RZ-CW 変換法を用いたコヒーレント 32RZ/QAM 伝送," 電子情報通信学会光通信システム研究会，静岡, OCS2012-23 (2012.7.26). [15] David Odeke Otuya，葛西恵介，廣岡俊彦，中沢正隆，"1.6 Tbit/s, Single-carrier 32 RZ/QAM Coherent Transmission Over 150 km Utilizing an RZ-CW Conversion Scheme," 平成 24 年度電気関係学会東北支部連合大会，本荘，2A05 (2012.8.30~31). [16] 廣岡俊彦・阮　蓬・関　鵬宇・中沢正隆, "光ナイキストパルスを用いた高分散耐力 160 Gbaud-525 km 伝送," 電子情報通信学会 2012 年ソサイエティ大会，富山，B-10-66 (2012.9.11~14). [17] T. Hirooka and M. Nakazawa, "Challenge of ultrafast transmissions for future," Post-ECOC

	Workshop 2012, Eindhoven, the Netherlands (2012.9.21). [18] 廣岡俊彦・原子広大・関鵬宇・中沢正隆, “光ナイキストパルスによる高速・高効率光伝送,” 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会「超高速コヒーレント光制御による極限通信・計測システムに関する研究」, 仙台 (2012.11.16). [19] 廣岡俊彦, “光ナイキストパルスによる超高速・高効率光伝送,” 電子情報通信学会第26回光通信システムシンポジウム（招待講演）, 三島 (2012.12.13~14). [20] D. Otuya, K. Kasai, T. Hirooka, M. Yoshida, M. Nakazawa, T. Hara, and S. Oikawa, “A Single-Channel, 1.6 Tbit/s 32 QAM Coherent Pulse Transmission Over 150 km With RZ-CW Conversion and FDE Techniques,” Optical Fiber Communication Conference (OFC2013), OTh4E.4, Anaheim, USA (2013.3.17~21). [21] K. Harako, P. Ruan, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Large PMD Tolerant 1.28 Tbit/s/ch Transmission over 525 km with 640 Gbaud Optical Nyquist Pulses,” Optical Fiber Communication Conference (OFC2013), JW2A.38, Anaheim, USA (2013.3.17~21). [22] D. O. Otuya, K. Kasai, T. Hirooka, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “A Single-Channel 1.92 Tbit/s, 64 QAM Coherent Pulse OTDM Transmission over 150 km,” OptoElectronics and Communications Conference (OECC2013), WR2-2, Kyoto (2013.7.3). [23] K. Harako, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Marked Reduction of Depolarization-Induced Crosstalk in Ultrahigh-Speed Pol-MUX Transmission with an Optical Nyquist Pulse,” OptoElectronics and Communications Conference (OECC2013), WR4-5, Kyoto (2013.7.3). [24] T. Hirooka and M. Nakazawa, “"Orthogonal TDM Using Optical Nyquist Pulses,” Signal Processing in Photonic Communications (SPPCom 2013), Invited talk, SPM1D.3, Puerto Rico (2013.7.15). [25] 原子広大・瀬谷大輝・廣岡俊彦・中沢正隆, “光ナイキストパルスを用いた高 PMD 耐力 1.28 Tbit/s/ch-525 km 伝送,” 電子情報通信学会 2013 年ソサイエティ大会, 福岡, B-10-27 (2013.9.17). [26] David O. Otuya・葛西恵介・廣岡俊彦・吉田真人・中沢正隆, “単一チャネル 1.92 Tbit/s, 64 QAM-150 km コヒーレントパルス伝送,” 電子情報通信学会 2013 年ソサイエティ大会, 福岡, B-10-28 (2013.9.17). [27] D. Seya, K. Harako, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “All-optical high-performance demultiplexing using optical Nyquist pulse sampling,” Optical Fiber Communication Conference (OFC 2014), W4F.2, San Francisco, USA, March (2014.3.12). [28] 瀬谷大輝・原子広大・廣岡俊彦・中沢正隆, “光ナイキスト制御パルスを用いた NOLM による超高速低ペナルティ光多重分離,” 電子情報通信学会 2014 年総合大会, 新潟, B-10-29 (2014.3.18). 一般向け 計 2 件 [1] 廣岡俊彦,「超高速光通信の動向と将来展望」第 4 回 NASG2 レクチャーシリーズ講演 (2011.10). [2] 廣岡俊彦, “災害に強い光ネットワークの実現に向けて,” 東北大学電気・情報 東京フォーラム 2011「情報通信による創造的復興に向けて」, 東京, Nov. 18 (2011).
図 書 計 1 件	[1] M. Nakazawa, T. Hirooka, M. Yoshida, and K. Kasai, “Extremely higher-order modulation formats,” in Optical Fiber Telecommunications VIB, I. Kaminow, T. Li, and A. E. Willner, Eds., Chap. 7, pp. 297-336, Academic Press (2013). 総ページ数 1148
産業財産権 出願・取得状況 計 1 件	（取得済み）計 0 件 （出願中） 計 1 件 [1]「光ナイキストパルス伝送」特開 2012-175417 発明者：中沢正隆、廣岡俊彦、吉田真人、葛西恵介、出願日 2011 年 2 月 22 日

Webページ（URL）	東北大学電気通信研究所超高速光通信研究室ホームページ http://www.nakazawa.riec.tohoku.ac.jp
国民との科学・技術対話の実施状況	[1] 「たのしいサイエンス・サマースクールー光とエレクトロニクスー」 場所：東北大学創造工学センター，対象者：中学生 2011 年 8 月 10～12 日,参加者数：45 名 2012 年 8 月 8～10 日,参加者数：43 名 2013 年 8 月 6～8 日,参加者数：54 名 内容：宮城県内の中学生と共に 3 日間の光とエレクトロニクスに関する実験と発表会を行うイベントを企画し、「光で音楽を送ろう」というテーマで、LED を使って光通信に関する手作りの実験を行った。 [2] 「通研公開」 場所：東北大学電気通信研究所，対象者：一般 2011 年 10 月 8～9 日，参加者数：2,000 名 2012 年 10 月 6～7 日，参加者数：800 名 2013 年 10 月 12～13 日，参加者数：2,000 名 内容：所属する電気通信研究所の施設一般公開にあわせて、ハイビジョン信号の 100 km 伝送を行い高速光通信を体験することができる公開実験を行った。 [3] 栃木県立宇都宮東高等学校 出前授業「世界を結ぶ光ファイバ通信ー超高速・長距離光通信への挑戦ー」 2012 年 12 月 7 日、対象者：高校生、参加者数：30 名
新聞・一般雑誌等掲載 計 5 件	[1] 「光通信、情報量 100 倍 東北大、既存の回線使用」 日本経済新聞 2012.8.11 夕刊 1 面 [2] 「高速光通信 容量 16 倍 東北大、パルス信号重ねる技術開発」 河北新報 2012.8.15 3 面 [3] 「高速光通信 通信量 100 倍 毎秒 1 テラビット実現」 日刊工業新聞 2012.8.24 18 面 [4] 「1 波長 1Tbps！光ナイキストパルス通信」 キーマンズネット（リクルート）「５分でわかる最新キーワード解説」 2012.10.3 [5] 廣岡俊彦, “最先端・次世代研究開発支援プログラム「グリーン ICT 社会インフラを支える超高速・高効率コヒーレント光伝送技術の研究開発」,” RIEC News （東北大学電気通信研究所ニュースレター） 第 10 号, March (2014).
その他	（受賞）廣岡俊彦，第２回 RIEC Award

7. その他特記事項

特になし