

**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)
実施状況報告書(平成 25 年度)**

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. 当該年度の研究目的

本年度は、コヒーレント RZ (Return-to-Zero) 光パルスの変調多値度を 32 QAM から 64 QAM へ増大し、単一チャネル 2 Tbit/s の伝送速度を 160 Gbaud のシンボルレートで実現する。これにより、単一チャネルで 1 Tbit/s を上回る伝送容量において最も高い周波数利用効率を実現し、本研究の目標である高速性と高い周波数利用効率を同時に満足するコヒーレント光伝送を実証する。

2. 研究の実施状況

1. 周波数利用効率 3.2 bit/s/Hz を有する 1.92 Tbit/s/ch (160 Gbaud), 64 QAM コヒーレントパルス伝送

平成 24 年度に実現した 1.6 Tbit/s, 32 QAM コヒーレントパルス伝送を発展させ、変調多値度を 64 へ拡大することにより、単一チャネル 1.92 Tbit/s、周波数利用効率 3.2 bit/s/Hz の超高速・高密度伝送を実現した。その伝送実験系を図1に示す。多値度の拡大に伴い所要 S/N 比が増大するため、受信部においては RZ-64QAM 信号を RZ-CW 変換回路へ入力し CW キャリヤのデータ信号に変換している。変換後のデータ信号を、位相同期された CW-LO 信号と共に 90° ハイブリッド回路に入力し、ホモダイン検波ならびにデジタル信号処理による復調(オフライン)を行った。また、周波数領域等化(FDE: Frequency Domain Equalization)と呼ばれるデジタル信号処理を新たに適用することにより、2.44 MHz という高い分解能で波形歪みを補償している。

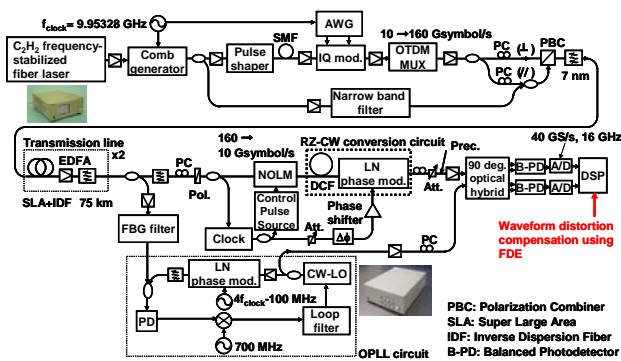


図1 1.92 Tbit/s, 64 QAM コヒーレント RZ パルス伝送実験系

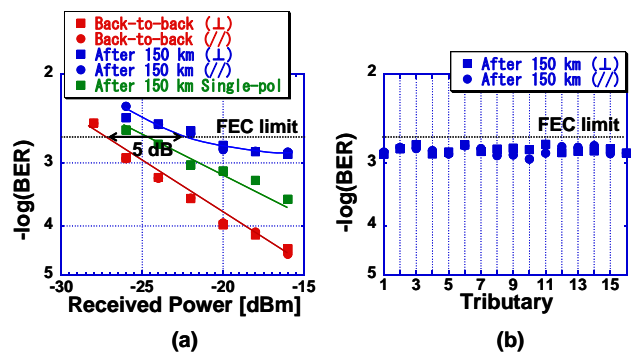


図2 1.92 Tbit/s, 64 QAM 信号の符号誤り率特性
(a)1 トリビュータリ特性, (b)全トリビュータリ特性

150 km 伝送後の符号誤り率測定結果を図 2 に示す。図 2(a)に示すように、150 km 伝送後では誤り率 2×10^{-3} において 5 dB のパワーペナルティが生じているもの、図 2(b)に示すように誤り訂正(FEC: Forward Error Correction)の閾値以下の誤り率特性を達成している。本実験では 1.92 Tbit/s, 64 QAM 信号を 560 GHz の帯域で伝送しており、単一チャネルで 1 Tbit/s を超える超高速伝送としては初めて 3.2 bit/s/Hz という高い周波数利用効率を実現した。

2. 計算機解析によるナイキストパルス伝送の線形・非線形歪み耐性の向上効果の実証

本研究で新たに提案した光ナイキストパルスの有用性をさらに明確にするために、平成 25 年度は非線形シュレディンガー方程式を用いた計算機解析により、ファイバ中の分散・非線形光学効果に対する超高速ナイキストパルスの歪み耐性を評価した。性能評価には Q 値と呼ばれる指標を用い、波長分散と伝送パワーを変えながら Q 値の等高線(Q マップ)をプロットし、従来の RZ パルスとの比較を行った。160 Gbaud-450 km DPSK (Differential Phase Shift Keying)伝送における Q マップの解析結果を図 3 に示す。同図(a)に示すように、ナイキストパルスは Q 値が高い領域が RZ パルス(同図(b))に比べ大きく、分散および非線形光学効果に対するマージンが大幅に拡大されていることがわかる。なお、ナイキストパルスにおいては最適な伝送パワーが RZ パルスに比べて低くなっているが、理論解析の結果、これは隣接パルス間のオーバーラップがもたらす相互位相変調および四光波混合が原因であることを明らかにした。このナイキストパルスを用いればシンボルレート 160 Gbaud の超高速信号を僅か 240 GHz の帯域で伝送できることから、今後ナイキストパルスをコヒーレント化して多値 QAM 変調を施すことにより、周波数利用効率を RZ パルスに比べて 2 倍以上拡大することが可能となる。

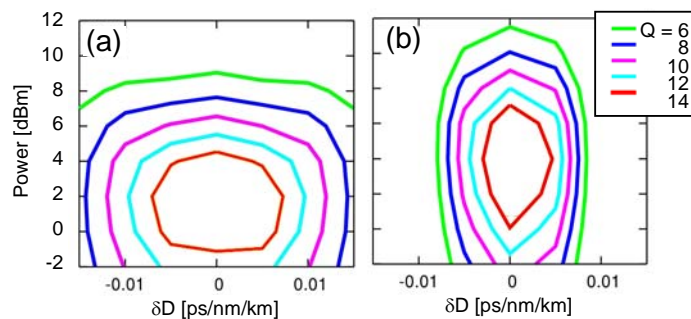


図 3 160 Gbaud-450 km 伝送における Q マップの比較。(a)ナイキストパルス、(b) ガウス型 RZ パルス

3. 研究発表等

雑誌論文	(掲載済み一査読有り) 計 2 件
計 3 件	[1] 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).
	[2] 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).
	(掲載済み一査読無し) 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19 別紙1

<p>会議発表 計 7 件</p>	<p>専門家向け 計 7 件</p> <p>[1] 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).</p> <p>[2] 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).</p> <p>[3] 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).</p> <p>[4] 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).</p> <p>[5] 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).</p> <p>[6] 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).</p> <p>[7] 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).</p> <p>一般向け 計 0 件</p>
<p>図 書 計 1 件</p>	<p>[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</p>
<p>産業財産権 出願・取得状 況 計 0 件</p>	<p>(取得済み) 計 0 件</p> <p>(出願中) 計 0 件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>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</p>
<p>国民との科 学・技術対話 の実施状況</p>	<p>[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」 2013 年 8 月 6～8 日, 場所: 東北大学創造工学センター, 対象者: 中学生, 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。</p> <p>[2] 「通研公開 2013」 2013 年 10 月 12～13 日, 場所: 東北大学電気通信研究所, 対象者: 一般, 参加者数: 2,000 名 内容: 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。</p>
<p>新聞・一般雑 誌等掲載 計 1 件</p>	<p>[1] 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).</p>
<p>その他</p>	

4. その他特記事項

該当なし。

実施状況報告書(平成25年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されず

1. 助成金の受領状況(累計) (単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	135,000,000	91,000,000	44,000,000	0	0
間接経費	40,500,000	27,300,000	13,200,000	0	0
合計	175,500,000	118,300,000	57,200,000	0	0

2. 当該年度の収支状況 (単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を 除く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	14,575,043	44,000,000	0	58,575,043	58,575,043	0	0
間接経費	900,000	13,200,000	0	14,100,000	14,100,000	0	0
合計	15,475,043	57,200,000	0	72,675,043	72,675,043	0	0

3. 当該年度の執行額内訳 (単位:円)

	金額	備考
物品費	45,419,331	波長可変レーザ光源、MUX/DEMUX回路など
旅費	5,156,486	研究成果発表旅費(国際会議OFC、ECOCなど)
謝金・人件費等	4,632,381	教育研究支援者雇用費
その他	3,366,845	学会参加費(OFC、ECOC、電子情報通信学会など)
直接経費計	58,575,043	
間接経費計	14,100,000	
合計	72,675,043	

4. 当該年度の主な購入物品(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
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	コイルタイプモジュール	1	2,625,000	2,625,000	2013/11/22	東北大学
フィルタモジュール	角度チューニング型、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 x 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_10_0_FTF_IN	1	9,765,000	9,765,000	2014/2/21	東北大学