

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)  
実施状況報告書(平成 23 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

シンボルレート 80~160 Gsymbol/s、多値度 32~64 の RZ/QAM 光パルスを高精度に受信するための光位相同期技術ならびにコヒーレント検波技術の開発に取り組む。まず Back-to-back（送信部と受信部を直結した状態）での性能評価を行い、符号間干渉抑制と周波数利用効率向上のトレードオフの関係から、パルス幅ならびに形状の最適化を図る。これらの基礎検討をもとに、テラビット級の伝送実験を実施する。非線形シュレディンガー方程式を用いたパルス伝搬の理論解析を並行して行い、伝送に伴う問題点を抽出する。距離は 500 km を目標とし、伝送結果に基づき各要素技術の改良・最適化を重ねる。

2. 研究の実施状況

シンボルレート 10 Gsymbol/s で 32 QAM 変調した RZ 光パルスを光時分割多重(10→80 Gsymbol/s)ならびに偏波多重により 800 Gbit/s へ高速化し、その 225 km 伝送に成功した。このような超高速 RZ/QAM 信号の復調においては、多重分離をした後 1 チャンネルあたりの RZ 信号のパワーが減少するため、検波後の電気信号の S/N が劣化してしまう。そこで、多重分離後の RZ パルス信号を CW キャリヤのデータ信号に変換する「RZ-CW 変換法」を新たに提案し、スペクトル幅の狭窄化により高い S/N での復調を実現した。RZ-CW 変換法による S/N 改善効果を図 1 に示す。スペクトル幅が狭窄化され、中心波長における光 S/N が 4.5 dB 改善していることがわかる。今後はデジタル信号処理を用いた高精度な波形歪み補償により、伝送距離のさらなる拡大が期待される。225 km 伝送後、すべてのトリビュータリで FEC 閾値( $2 \times 10^{-3}$ )以下の符号誤り率特性を達成した。なお RZ-CW 変換を行わない場合は S/N が不十分なため、このような長距離伝送は困難である。

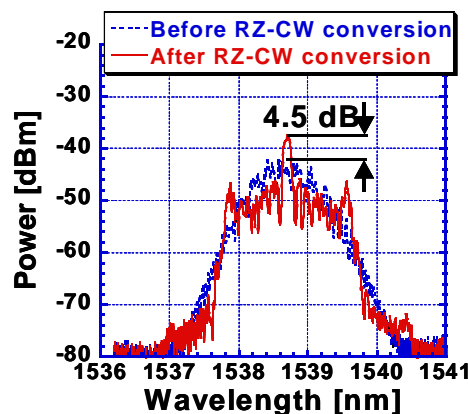


図1 RZ-CW 変換による S/N 改善

さらに本年度は、光ナイキストパルスと呼ばれる新たな光パルスを用いた時分割多重伝送を提案した。これは高速化と周波数利用効率の拡大を同時に実現可能な伝送方式であり、波長分

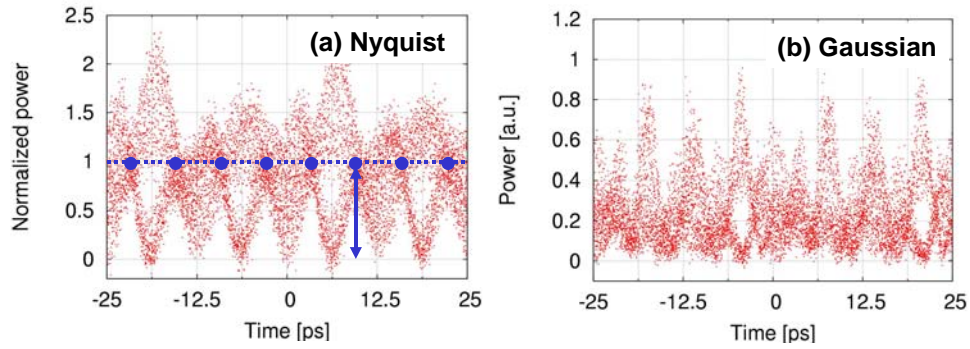


図2 ナイキスト(a)およびガウス型パルス(b)に対する分散スロープによる歪み

散や偏波分散による伝送歪みの抑制に極めて有効であると期待されている。本伝送方式の有効性を明らかにするために、160 Gsymbol/s の時分割多重伝送においてファイバ中の分散スロープに対する耐性を従来のガウス型パルスと比較した。その結果を図2に示す。ナイキストパルスの場合には分散スロープによる歪みを受けても青で示すように各シンボル点が識別できているのに対し、通常のガウス型パルスの場合には識別が困難である。このようにナイキストパルスにより分散スロープに対する耐性が大幅に向上していることが判る。

### 3. 研究発表等

雑誌論文  計 8 件	(掲載済み一査読有り) 計 7 件 [1] T. Hirooka, T. Hirano, P. Guan, and M. Nakazawa, "PMD-induced crosstalk in ultrahigh-speed polarization-multiplexed optical transmission in the presence of PDL," <i>J. Lightwave Technol.</i> , vol. 29, no. 19, pp. 2963-2970, October 2011. [2] 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," <i>Opt. Fiber Technol.</i> , invited paper, vol. 17, no. 5, pp. 439-444, October 2011. [3] 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," <i>Opt. Express</i> , vol. 19, no. 26, pp. B567-B573, December 2011. [4] M. Nakazawa, K. Kasai, M. Yoshida, and T. Hirooka, "Novel RZ-CW conversion scheme for ultra multi-level, high-speed coherent OTDM transmission," <i>Opt. Express</i> , vol. 19, no. 26, pp. B574-B580, December 2011. [5] M. Nakazawa, T. Hirooka, P. Ruan, and P. Guan, "Ultrahigh-speed "orthogonal" TDM transmission with an optical Nyquist pulse train," <i>Opt. Express</i> vol. 20, no. 2. pp. 1129-1140, January 2012. [6] M. Nakazawa, T. Hirooka, M. Yoshida, and K. Kasai, "Ultrafast coherent optical communication," <i>IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.</i> , vol. 18, no. 1, pp. 363-376, January 2012. [7] 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," <i>IEEE Photon. Technol. Lett.</i> , vol. 24, no. 5, pp. 416-418, March 2012.  (掲載済み一査読無し) 計 0 件  (未掲載) 計 1 件 [1] T. Hirooka, P. Ruan, P. Guan, and M. Nakazawa, "Highly dispersion-tolerant 160 Gbaud optical Nyquist pulse TDM transmission over 525 km," accepted for publication in <i>Optics Express</i> .
-------------------	---

様式19 別紙1

<p>会議発表 計 10 件</p>	<p>専門家向け 計 9 件</p> <p>[1] 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]</p> <p>[2] 富山祐太郎, 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).</p> <p>[3] 富山祐太郎・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).</p> <p>[4] 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).</p> <p>[5] 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," European Conference on Optical Communication (ECOC2011), We.10.P1,80, Geneva, Switzerland, September 18-22 (2011).</p> <p>[6] 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).</p> <p>[7] 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).</p> <p>[8] 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).</p> <p>[9] 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).</p> <p>一般向け 計 1 件</p> <p>[1] 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).</p>
<p>図書 計 0 件</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><a href="http://www.nakazawa.riec.tohoku.ac.jp">http://www.nakazawa.riec.tohoku.ac.jp</a></p>
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<p>「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」 2011 年 8 月 10~12 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: 45 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い、手作りの実験を通して科学のおもしろさを体験する。</p>
<p>新聞・一般雑誌等掲載 計 0 件</p>	

様式19 別紙1

その他	
-----	--

4. その他特記事項

該当なし

## 実施状況報告書(平成23年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されます

## 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	45,300,000	0	89,700,000	0
間接経費	40,500,000	13,590,000	0	26,910,000	0
合計	175,500,000	58,890,000	0	116,610,000	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	45,130,635	0	0	45,130,635	38,243,293	6,887,342	0
間接経費	13,530,000	0	0	13,530,000	13,530,000	0	0
合計	58,660,635	0	0	58,660,635	51,773,293	6,887,342	0

## 3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	36,302,700	デジタルオシロスコープ、光スペクトル整形器など
旅費	1,686,764	研究成果発表旅費(国際会議OFC, ECOCなど)
謝金・人件費等	0	
その他	253,829	学会参加費(OFC, ECOC, 電子情報通信学会など)
直接経費計	38,243,293	
間接経費計	13,530,000	
合計	51,773,293	

## 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
デジタルオシロス コープ	アジレント・ DSOX91604A	1	12,728,100	12,728,100	2011/6/10	東北大学
クロスコリレータ	サンインストルメ ント・FR- 103XL/IR/FA/F A(CC)	1	1,481,550	1,481,550	2011/8/26	東北大学
光スペクトル整形 器	アイウェーブ・ 1000S	1	4,672,500	4,672,500	2011/10/26	東北大学
リニア増幅器	SHF Japan・ 40GHz	1	1,837,500	1,837,500	2011/11/30	東北大学
光スペクトル整形 器	アイウェーブ・ 4000S	1	6,982,500	6,982,500	2011/12/22	東北大学
狭線幅レーザ	光貿易・ OE4010-1538	1	2,155,650	2,155,650	2012/1/10	東北大学
狭線幅レーザ	光貿易・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	アルネアラボラト リ・YFA-200-20- SM-SA	4	712,950	2,851,800	2012/2/29	東北大学