

平成28年度研究開発成果概要書

採択番号：175B01

課題名：光周波数・位相制御光中継伝送技術の研究開発

個別課題名：課題B 広帯域マルチキャリア光パラメトリック増幅中継技術

副題：大容量マルチキャリア信号の高ダイナミックレンジ中継増幅技術

(1) 研究開発の目的

近年、飛躍的な進歩を遂げ、今後の光伝送の柱として期待されているデジタルコヒーレント技術のもつ潜在能力を一層向上させ、通信トラフィック需要の急速な増大に応えるために、電気的なデジタル信号処理 (DSP) 技術のみならず、光のコヒーレンスを駆使した革新技術でブレークスルーを生み出すことが望まれている。本研究では、ネットワークの信号対雑音比 (SNR: Signal-to-noise ratio) の劣化を最小限に抑え、伝送距離の制限緩和を目指すアプローチとして、EDFA (Erbium-Doped Fiber Amplifier) に比べて低雑音増幅ならびに非線形位相雑音低減の可能性を持つ光パラメトリック増幅器の実現を目指す。産学連携により、それぞれの強みを持ち寄ることで、多値変調信号/マルチキャリア信号に対応した光パラメトリック増幅技術、光パラメトリック媒質を励起するための低遅延・高出力励起光生成技術、位相感応型光増幅時の安定動作のための励起光位相制御技術の研究を行う。また、課題A、Bの技術を連携し、1 Tbps相当の光パス容量を有するマルチキャリア多値変調信号の中継伝送において、従来のEDFAを用いた中継増幅方式に比べて伝送距離延伸をはかり、周波数利用効率と伝送距離との積 (SDP: SE-Distance Product) を2倍以上にすることが可能な要素技術を確立する。

(2) 研究開発期間

平成26年度から平成29年度 (4年間)

(3) 実施機関

日本電信電話株式会社<代表研究者>、古河電気工業株式会社、
国立大学法人徳島大学 (実施責任者 教授 高田篤)

(4) 研究開発予算 (契約額)

総額 274 百万円 (平成28年度 67 百万円) ※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発課題と担当

課題B-1: マルチキャリア低雑音光パラメトリック増幅技術の研究

B-1-1. PPLN型光パラメトリック増幅技術の研究 (日本電信電話株式会社)

B-1-2. ファイバ型光パラメトリック増幅技術の研究 (古河電気工業株式会社)

B-1-3. 課題Aとの統合動作 (日本電信電話株式会社)

課題B-2: 高出力励起光生成技術の研究 (古河電気工業株式会社)

課題B-3: 励起光位相制御技術の研究

B-3-1. 励起光位相制御光回路の構成技術の研究 (国立大学法人徳島大学)

B-3-2. 励起光位相制御光回路の実装技術の研究 (日本電信電話株式会社)

(6) これまで得られた成果（特許出願や論文発表等）

		(累計) 件	(当該年度) 件
特許出願	国内出願	8	4
	外国出願	1	1
外部発表	研究論文	4	3
	その他研究発表	55	21
	プレスリリース・報道	8	0
	展示会	5	2
	標準化提案	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

- ・課題 B-1 マルチキャリア低雑音光パラメトリック増幅技術の研究

課題 B-1 では、位相感応光増幅器プロトタイプに適用する光パラメトリック増幅媒体候補として、検討比較し、以下の検討方針を進めることで合意した。

①周波数利用効率性能指数の一つである WDM 光パラメトリック増幅特性の検討を進め、本プロジェクトでは PPLN 型光パラメトリック増幅媒体をベースに位相感応光増幅器プロトタイプ適用検討を進める。

②ファイバ型は、1 チャンネル偏波無依存高効率光パラメトリック増幅応用として有望であり、過渡応答のない位相不感応な光増幅特性の可能性を探索する。

B-1-1. PPLN 型光パラメトリック増幅技術の研究

【目標】

平成 28 年度は、課題 B-2、課題 B-3 で検討する励起光生成技術、位相感応増幅時の励起光位相制御技術等を前提とし、PPLN ベースの光パラメトリック増幅を用いたマルチキャリア多値変調信号に対応可能な光増幅部のプロトタイプ化を実施する。

【実施内容および成果】

PPLN を用いた光パラメトリック増幅を用いた位相感応型光増幅器 (PSA) において、これまで検討を進めてきたマルチキャリア多値変調信号に対応可能な非縮退パラメトリック増幅方式と、偏波多重信号に対応可能な偏波ダイバシティ構成を統合し、PSA プロトタイプの基本構成を構築した。また、相補スペクトル反転による位相共役変換器 (CSI-OPC) においては、偏波無依存かつ 2 THz 以上の帯域を有する CSI-OPC を構築した。92 ch × 22.5 GBaud PDM-16QAM 信号 (容量 13.6 Tb/s、周波数利用効率 5.84 bit/s/Hz) を用いて大容量・高周波数利用効率の WDM 伝送における一括非線形歪み補償による 3,800 km 以上の長距離伝送に成功した。これにより、周波数利用効率と伝送距離との積 (SDP: SE-Distance Product) として 20,000 bit/s/Hz・km 以上を達成した。

B-1-2. ファイバ型光パラメトリック増幅技術の研究

【目標】

ファイバベースの光パラメトリック増幅部のプロトタイプ化を実施する。

【実施内容および成果】

偏波無依存化ファイバ型光パラメトリック増幅器のプロトタイプを試作した。偏波無依存化に際し、開発した偏波ダイバシティ構成を採用することで、増幅特性を著しく劣化させる誘導ブリルアン散乱の発生を抑制しつつ、偏波依存利得差 0.5 dB の偏波無依存増幅特性を得た。また、本プロトタイプは、35 nm の利得帯域と 19 dB

の On-Off 利得を持つことを確認した。

B-1-3. 課題 A との統合動作

【目標】

平成 28 年度に、課題 B-1-1 で開発した PPLN を用いた光パラメトリック増幅技術と、課題 B-1-2 で開発したファイバ型の光パラメトリック増幅技術について、適用領域や性能の比較検証を行い、光パラメトリック増幅器プロトタイプ作製に向けた光パラメトリック増幅媒体の絞り込みを行う。併せて、課題 B-2、課題 B-3 で検討・試作した励起光生成部、励起光位相制御部等との統合動作を行う。

【実施内容および成果】

PPLN を用いた光パラメトリック増幅技術と、ファイバ型の光パラメトリック増幅技術について、適用領域や性能の比較検証を行い、励起光と信号光の分離が容易で励起光用帯域として用いるガードバンドが WDM 信号の 1 チャンネル分 (25 ~ 100 GHz) と狭くできること、光パラメトリック増幅媒質中でのクロストークが発生しにくいことから、PPLN を用いた光パラメトリック増幅技術の採用を決定した。ファイバ型の媒体検討は過渡応答のない光増幅器等の位相不感応な光パラメトリック増幅器としての可能性を探索することとした。また、課題 B-3 で検討・試作した励起光位相制御部との統合動作を行い、位相感応型光パラメトリック増幅動作の実証に成功した。

・課題 B-2 高出力励起光生成技術の研究

【目標】

平成 28 年度は、次年度の統合に向けてプロトタイプを試作し、動作安定性を確立する。

【実施内容および成果】

課題 B-1-1「PPLN 型光パラメトリック増幅技術の研究」と課題 B-1-2「ファイバ型光パラメトリック増幅技術の研究」の要素技術の適用を想定した課題連携実験に向けて、光パラメトリック増幅媒質の励起光生成器として 1 台のプロトタイプを試作した。プロトタイプの特長として、ファイバ長を 16.4 m と短尺に抑えつつ、励起光として活用する波長範囲 1,540 ~ 1,565 nm において、-10 dBm の入力に対して 5 dB と低い雑音指数で 38.4 dBm (7W) と高い出力が得られることを確認した。

・課題 B-3 励起光位相制御技術の研究

B-3-1. 励起光位相制御光回路の構成技術の研究

【目標】

励起光位相制御部の設計論を確立することを目的として、所望の SDP を達成するために、励起光位相制御回路部に要求されるシステム要求条件を明確化し、課題 B-3-2 の検討に反映する。この中で、位相感応型光増幅における雑音指数の定義と評価方法を整理提案する。

【実施内容および成果】

平成 27 年度までに構築した励起光位相制御回路を安定化し、入力信号光に対する励起光位相誤差を評価した。また、励起光位相同期回路と光パラメトリック増幅回路を結合させ位相感応増幅器としての動作検証実験を実施し、光増幅前後の信号光位相雑音を評価した。偏波多重信号光に対する励起光位相同期回路を提案した。また、雑音指数以外の位相感応型光増幅器の雑音性能指標として位相雑音圧縮比を提案し、励

(28-1)

起光位相誤差との関係を求めた。さらに、位相感応増幅多中継伝送系を数値シミュレーションにより検討し、励起光位相同期回路の励起光位相誤差と多段伝送後の光信号品質の関係を求めた。

B-3-2. 励起光位相制御光回路の実装技術の研究

【目標】

平成 28 年度は、課題 B-1、課題 B-2 で検討する光パラメトリック増幅部、位相感応型光パラメトリック増幅部の構成に対応した励起光位相制御部のプロトタイプ化を実施する。

【実施内容および成果】

課題 B-3-1 で検討した、和周波光発生型位相同期ループ回路を用いた励起光位相制御光回路の構成技術を採用し、技術課題 B-1、B-2 で検討する、QPSK 変調信号に対応可能な励起光位相制御光回路のプロトタイプの試作を実施した。作製したプロトタイプを使用し、80 km の光ファイバを伝送後の 10 Gb/s-QPSK 信号に対する励起光位相制御動作、および、それを用いた位相感応型光パラメトリック増幅動作の実証に成功した。