

## 平成 27 年度研究開発成果概要書

課題名 : 光周波数・位相制御光中継伝送技術の研究開発  
採択番号 : 175B01  
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因應するために、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イ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 27 年度 71 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	4	3
	外国出願	0	0
外部発表	研究論文	1	1
	その他研究発表	34	22
	プレスリリース・報道	8	8
	展示会	3	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

## B-1-1. PPLN 型光パラメトリック増幅技術の研究

## 【目標】

平成 27 年度には、PPLN ベースの光パラメトリック増幅器構成の検討結果を踏まえ、PPLN を用いた光増幅器を構成し、原理確認を行い、利得帯域等の基本特性を確認するとともに、2 dB 未満の雑音指数実現や偏波無依存化の見通しを得る。

## 【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において偏波無依存化構成を提案し、偏波無依存および偏波多重信号に対する位相感応増幅の原理動作に成功した。また、非縮退パラメトリック増幅により 10 nm の帯域を超える 16 波 WDM 光の一括増幅が可能であることを確認するとともに、NF に関しては最終目標である 2 dB をほぼ達成する 2.1 dB の低 NF を確認した。さらに、周波数利用効率の劣化なしに用いることのできる相補スペクトル反転による位相共役変換器を提案し、DSP による波形歪み補償の負荷を低減可能な光パラメトリック増幅を用いた非線形歪み補償技術の原理実証に成功した。

## 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】

HNLFF を用いた光パラメトリック増幅器を構成、偏波無依存化への見通しを得るとともに、10 nm の帯域を超える増幅が可能であることを確認する。NF は位相感応型光増幅動作させた場合に 2 dB 未満を満たすために必要な特性として、原理的 NF である 3 dB より 2 dB 大きい NF 5 dB 未満を目標とする。

## 【実施内容および成果】

光パラメトリック増幅特有の偏波ダイバシティループ内で発生する SBS によるスペクトル幅増大を抑制する手法を見出し、偏波無依存化の目途を立てた。

偏波無依存化において必須な偏波保持 (PM) HNLFF の分散安定化を達成し、このファイバを用いた偏波無依存パラメトリック増幅を行った結果、増幅特性が、帯域 35 nm、利得 11 dB、NF 5.0 dB であることを確認した。

## B-1-3. 課題 A との統合動作

平成 28 年度から実施する。

• 課題 B-2 高出力励起光生成技術の研究

【目標】

平成 26 年度のインタフェース仕様で決まる条長の EDF を用いて EDFA を構成し、位相感応型光増幅で十分機能するワット級のパワーを出力することを確認する。

【実施内容および成果】

課題内連携により最大 1 MHz 程度のループ帯域に適用できるファイバ長を 10 m と設定し、この条長で実現できる高出力光増幅器の実現を目標に開発を行った。その結果、6.8 m のダブルクラッド PM-EYDF を 1 つの 20 W マルチモード LD で後方励起し 1,550 nm の信号光を消光比 15 dB で 6.8 W の増幅に成功するとともに、配線ファイバの条長を抑え、PM-AMP 内の全ファイバ長を 9.8 m まで短尺化できた。この PM-AMP の 19 インチ 2U サイズへの収納を完了させた。

• 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】

位相感応型光パラメトリック増幅中継部に適用する励起光位相制御回路の基本構成を明確化し、当該回路検証系を構築して提案した位相制御方式の原理実証を行う。励起光位相誤差などの励起光位相制御回路に求められる要求条件を計算するための計算手法と基本計算モデルを明確化する。また、パラメトリック位相感応型光増幅回路の雑音指数についての検討に着手する。

【実施内容および成果】

励起光位相制御回路として有望な和周波光発生型位相同期ループ回路を考案した。本回路と光パラメトリック増幅部と組み合わせた位相感応型光増幅の実験を実施し、提案回路の原理実証に成功した。また、PSK 位相感応型光増幅中継系の計算モデルおよび、利得飽和がある位相感応型光パラメトリック増幅部の雑音指数に関する計算モデルを構築し基礎的な計算データを得た。

B-3-2. 励起光位相制御光回路の実装技術の研究

平成 28 年度から実施する。