

# 平成26年度「光周波数・位相制御光中継伝送技術の研究開発 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」の研究開発目標・成果と今後の研究計画

## 1. 実施機関・研究開発期間・研究開発予算

- ◆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
- ◆研究開発期間 平成26年度から平成29年度(4年間)
- ◆研究開発予算 総額274百万円(平成26年度:75百万円)

## 2. 研究開発の目標

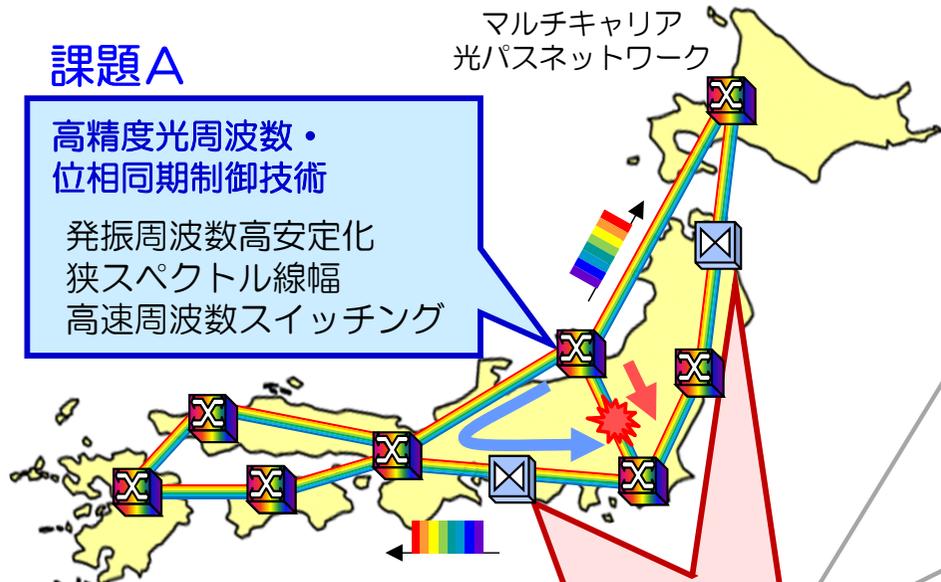
光パラメトリック増幅による低雑音中継増幅の要素技術を確立するために、本課題では大容量マルチキャリア多値変調信号に対応した低雑音光パラメトリック増幅技術、信号の増幅を行うための低遅延・高出力励起光生成技術、励起光位相制御技術の研究を行い、課題Aで開発する高コヒーレンシ光源等から生成した1Tbps相当の光パス容量のマルチキャリア多値変調信号の中継伝送を行い、従来のEDFAによる中継システムに比べて2倍以上の周波数利用効率・伝送距離積の実現を目指す。

研究開発目標

### 課題A

**高精度光周波数・位相同期制御技術**  
 発振周波数高安定化  
 狭スペクトル線幅  
 高速周波数スイッチング

マルチキャリア光パスネットワーク



**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 (NTT)  
 B-1-2 ファイバ型光パラメトリック増幅技術の研究 (古河電工)  
 B-1-3 課題Aとの統合動作 (NTT)

◆ マルチキャリア信号/多値変調信号に対応した光パラメトリック低雑音増幅技術、および課題Aとの統合動作

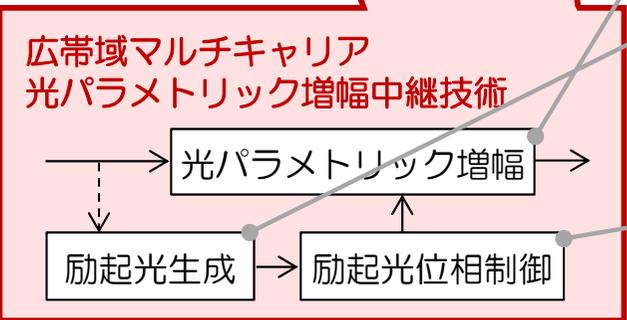
**課題B-2 高出力励起光生成技術の研究 (古河電工)**

◆ 光パラメトリック増幅器の位相同期光回路の動作安定化を図るための、低遅延ハイパワー偏波保持型光増幅技術

**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 (徳島大)  
 B-3-2 励起光位相制御光回路の実装技術の研究 (NTT)

◆ マルチキャリア多値変調信号に対応できる光パラメトリック増幅を実現するための励起光位相制御光回路の構成および実装技術

### 課題B



3. 研究開発の成果

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-1-1 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)

(1) PPLNベースの光パラメトリック増幅器構成の検討

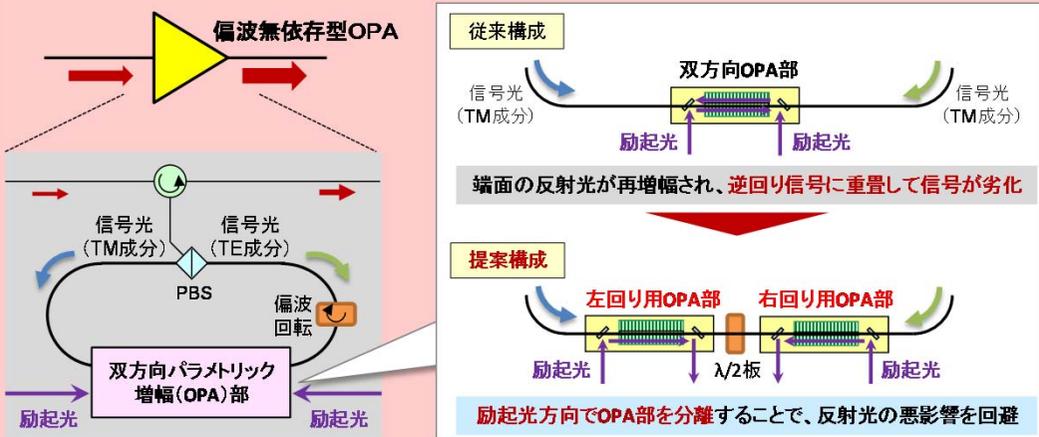
本課題の目標であるマルチキャリア多値変調信号を中継増幅でき、EDFAに比べて伝送距離延伸が可能な光増幅器実現のため、PPLNベースの光パラメトリック増幅器の構成を検討、各機能ブロック間の要求条件を明確化し、インタフェース仕様を策定した。またPPLNベースの位相感応型光パラメトリック増幅器において、安定に偏波無依存増幅動作が可能な構成を考案、世界で初めて位相感応型光パラメトリック増幅器による偏波多重QPSK信号の増幅に成功した。

(2) PPLN導波路素子・モジュールの作製

低雑音光パラメトリック増幅器の実現に向けて、偏波無依存動作を目指した高効率PPLNモジュールの構成を検討した。また偏波無依存型に向けた課題を抽出するため、偏波依存型のPPLNモジュールを試作した。

(3) 低雑音増幅技術検証環境の構築

中間目標であるPPLN型光パラメトリック増幅器の目標特性の実証に必要な低雑音増幅技術検証系の一部構築、およびH28年度に計画している課題B-2、課題B-3との統合動作検証のための増幅器を搭載する可搬型ラックを導入するなど、次年度以降の研究推進のための基盤を築いた。

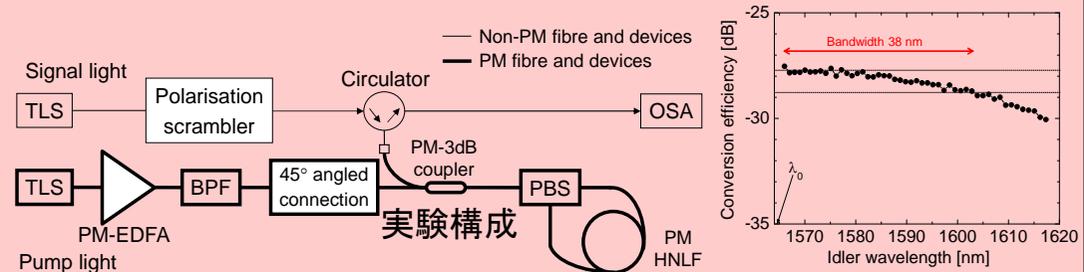


今回提案したPPLNベースの偏波無依存型光パラメトリック増幅器

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 (古河電気工業株式会社)

(1) ファイバベースの光パラメトリック増幅器構成の検討

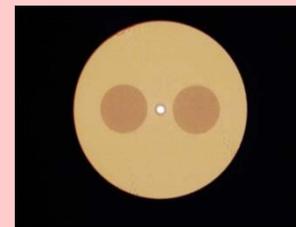
偏波無依存FOPAの実現性を波長変換実験にて確認。偏波無依存化には偏波ダイバーシティ技術を適用し、高非線形ファイバにも偏波保持ファイバを使用した。偏波保持化による特性劣化は見られず、得られた波長変換帯域は38nmであり、増幅器構成時の目標帯域15nmを上回る見通しが得られた。



偏波無依存波長変換効率

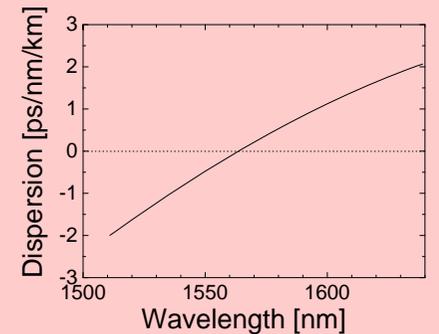
(2) 分散安定化高非線形ファイバの特性向上

増幅効率と変換帯域の拡大を目指して4次分散制御型分散安定化PM-HNLFを作製した。コア径変化による分散変化を抑制する屈折率プロファイルを適用しつつ4次分散をゼロに近づける設計を確立した。偏波保持化による屈折率構造の変化も認められず設計通りのPM-HNLFを実現した。4次分散の最適化と分散の長手安定化により、広帯域な利得が期待されるとともに、十分な偏波消光比により偏波無依存化が担保可能となる。



ファイバ端面像

- 損失 1.2dB/km
- ゼロ分散波長 1564.6nm
- 分散スロープ 0.036 ps/nm<sup>2</sup>/km
- 4次の分散(β<sub>4</sub>) 6.4x10<sup>-5</sup> ps<sup>4</sup>/km
- 非線形性 18 1/W/km
- 偏波消光比 -25dB/100m

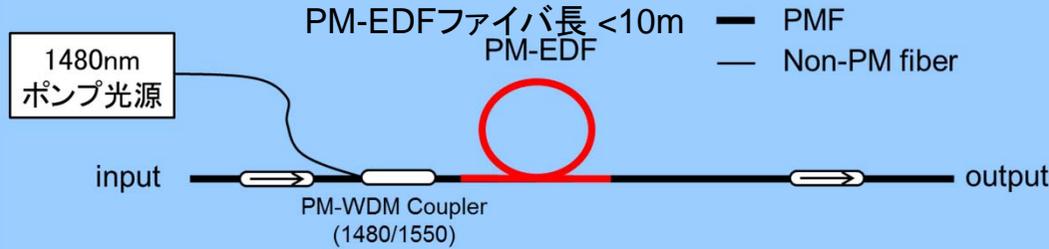


課題B-2 高出力励起光生成技術の研究

(古河電気工業株式会社)

コア励起型ワット級出力PM-EDFAを実現(>7W)

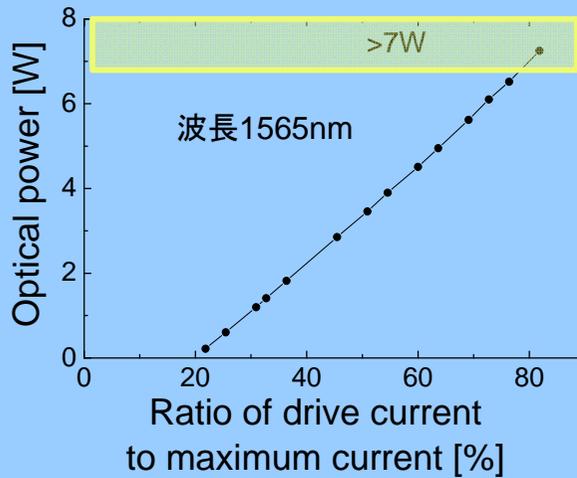
PSAのフィードバックループに適用できるファイバ長の短尺さと、ワット級の出力を持つ偏波保持光増幅器の実現を目指した。短尺化の目安としてPM-EDF長を10mに設定。確実に特性を実現するため、コア励起型構造を採用、高効率PM-EDFを選定するとともに適正な励起光パワーを検討した。



コア励起型PM-EDFAの構成

すべて偏波保持部品にてPM-EDFAを実現。構成はコア励起型。

10mのEDF長にて出力向上を検討。入手可能な励起光源で実現可能なレベルおよび部品の信頼性劣化のない範囲で目標である7W以上の出力を得る。



10mのEDF長で構成したコア励起型PM-EDFAの出力パワー特性

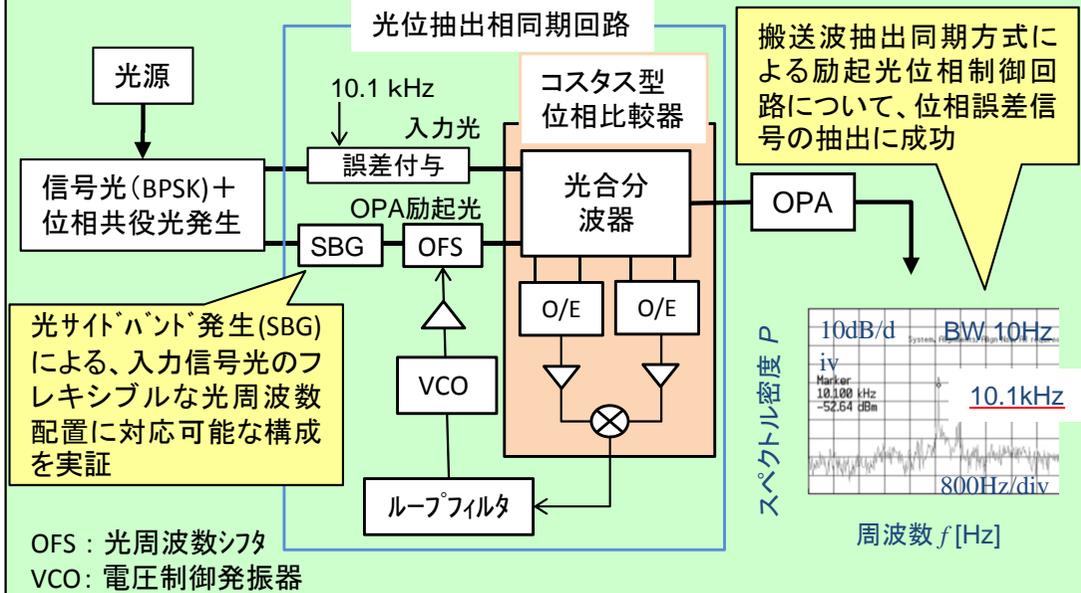
課題B-3 励起光位相制御技術の研究

課題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)

① コスタス型光PLLによる励起光位相抽出原理の実証

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基本回路構成を提案。

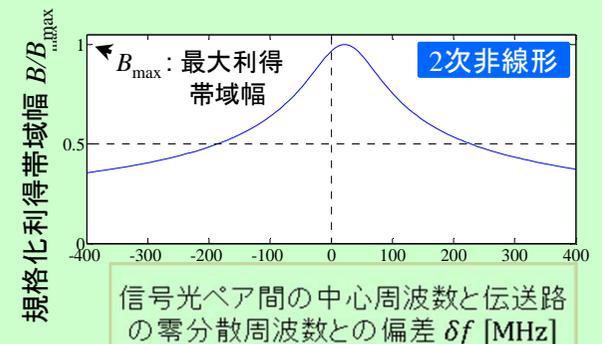


光サイドバンド発生(SBG)による、入力信号光のフレキシブルな光周波数配置に対応可能な構成を実証

OFS : 光周波数シフト  
VCO : 電圧制御発振器

② 所望利得帯域幅から要求される入力信号光キャリア間位相差の明確化

マルチキャリア光信号が伝送路伝搬により被る位相と非縮退一括パラメトリック位相感応型光増幅の利得スペクトルの関係を検討。伝送路区間の等価平均零分散周波数と信号光-位相共役光ペアの中心周波数の差により利得帯域幅の減少を理論計算により明確化。



信号光ペア間の中心周波数と伝送路の零分散周波数との偏差  $\delta f$  [MHz]

#### 4. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等)

	国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	プレスリリース 報道	展示会	標準化提案
光周波数・位相制御光中継伝送技術の研究開発 課題B	1 (1)	0 (0)	1 (1)	12 (12)	0 (0)	1 (1)	0 (0)

※成果数は累計件数、( )内は当該年度の件数です。

##### (1) 学会発表・表彰

- ・学振179委員会、ならびにレーザー学会年次大会にて「光周波数・位相制御光中継伝送技術の研究開発」の研究計画概要を発表(H26)
- ・ECOC2014にて偏波多重QPSK信号の位相感応増幅の実証結果を発表、トップレートで採択(H26)
- ・電子情報通信学会ソサイエティ大会にて偏波保持高非線形ファイバと偏波無依存OPAについて報告(H26)
- ・電子情報通信学会において、搬送波抽出同期方式による励起光位相制御回路の基本構成を提示し、原理実験による実証結果を発表(H26)

##### (2) 展示会

- ・第28回光通信システム(OCS)シンポジウム(2014年12月、静岡県三島市)でパネル展示(H26)

#### 5. 今後の研究開発計画

最終目標に向けて、平成27年度末目標を達成するとともに課題内での連携を進め、最終年度に於ける統合実験に向けたマイルストーンを順次達成する。

- ・【課題B-1-1: PPLN型光パラメトリック増幅技術の研究】  
PPLNベースの光パラメトリック増幅器の偏波無依存動作の検討を進めるとともに、位相不感応動作時に5dB未満の雑音指数を実証する。  
増幅媒体である高効率なPPLN導波路素子の検討を進めるとともに、偏波無依存型ファイバピグテイルモジュールを試作する。
- ・【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】  
10nmを超える帯域でNF5dB以下の偏波無依存FOPAを実現する。
- ・【課題B-2: 高出力励起光生成技術の研究】  
偏波保持型高出力増幅器のプロトタイプ作製後、OPAとのインタフェース条件を満たす増幅器を完成させる。
- ・【課題B-3: 励起光位相制御技術の研究】  
励起光位相同期回路基本設計法を明確化し、励起光源として自走半導体レーザを用いた実験実証を行う。