

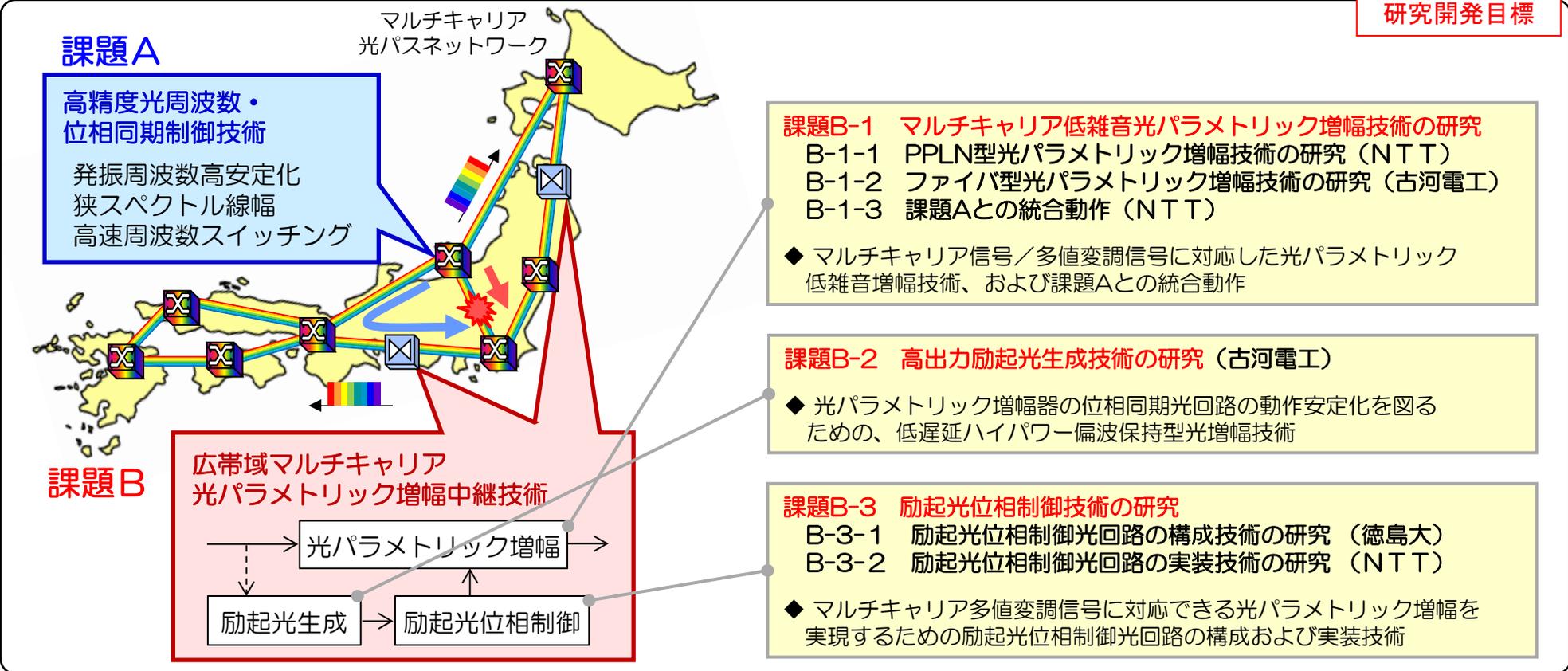
1. 研究課題・実施機関・研究開発期間・研究開発予算

- ◆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
- ◆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28年度 67百万円)

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認するために、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率・伝送距離積の実現を目指す。

研究開発目標



3. 研究開発の成果

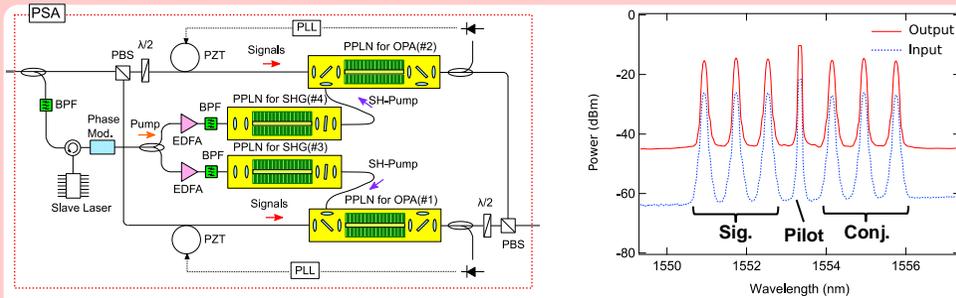
課題B-1 マルチキャリア低雑音光パラメトリック増幅技術の研究

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)

主な研究開発成果

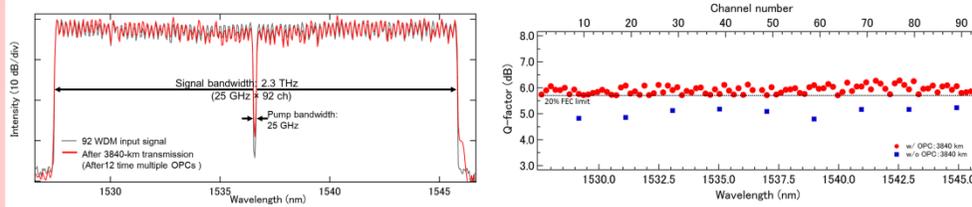
- ① 偏波多重・波長多重した多値変調信号を増幅可能なPPLNを用いた位相感応型光増幅器(PSA)の中継増幅動作に成功
- ② 相補スペクトル反転位相共役変換器(CSI-OPC)を用いた大規模WDM信号に対する一括非線形歪み補償を実証

① 偏波多重・波長多重した多値変調信号の位相感応型光増幅に成功



偏波無依存型 PPLN-PSA の中継増幅器構成(左)と入出力光スペクトル(右)

② CSI-OPC を用いた大規模 WDM 信号の一括非線形歪み補償を実証



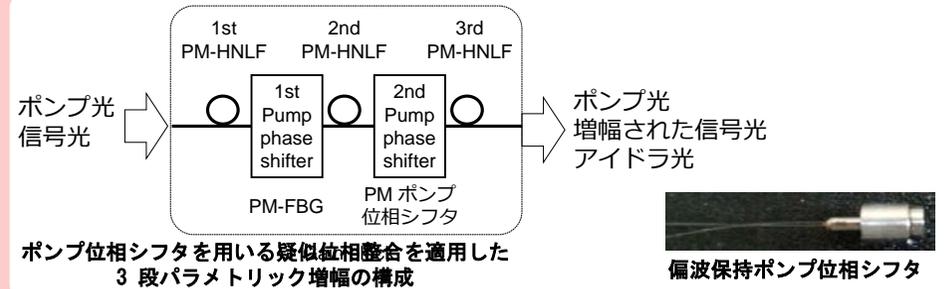
B-to-B と 3,840 km 伝送後の光スペクトル(左)と 92 波全波 3,840 km 伝送後の Q 値の比較(右)

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)

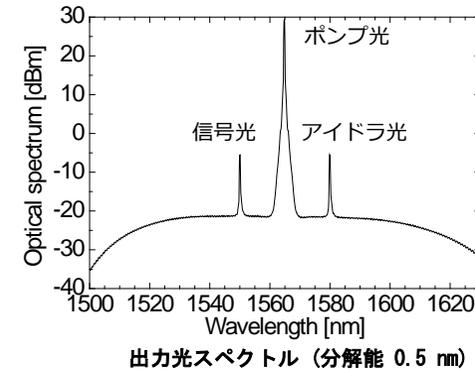
主な研究開発成果

- 3 段以上の増幅段数を可能にする偏波保持型ポンプ位相シフタを開発し、帯域31 nmの広帯域で30 dBの利得を達成

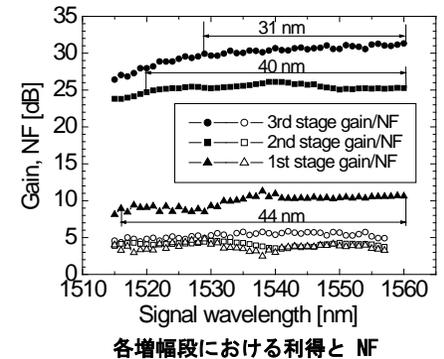
3 段の疑似位相整合増幅を行い 30 dB の利得を達成



ポンプ位相シフタを用いる疑似位相整合を適用した 3 段パラメトリック増幅の構成



出力光スペクトル (分解能 0.5 nm)

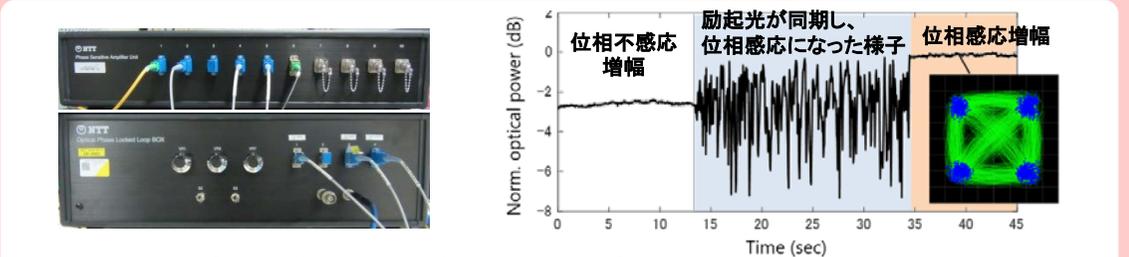


各増幅段における利得と NF

課題B-1-3 課題Aとの統合動作 (日本電信電話株式会社)

主な研究開発成果

- 課題Aとの統合動作に向け、光パラメトリック増幅媒質の絞り込みを行い、課題B-1-1のPPLN型光パラメトリック増幅器と、課題B-3-2にて試作した励起光位相制御光回路を連携させ位相感応増幅動作を確認



PPLNを用いた位相感応型光増幅ユニットと励起光位相制御光回路ユニットの概観図(左)、PSA出力のパワー波形(右)

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)

主な研究開発成果

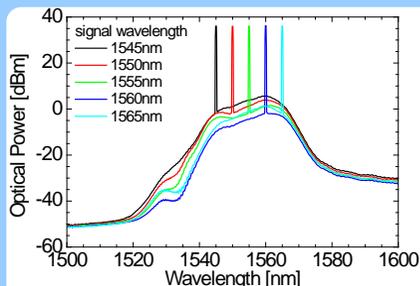
連携実験に適用できる特性を持つ小型偏波保持光増幅器のプロトタイプを試作

低遅延で高出力な偏波保持増幅器のプロトタイプを試作

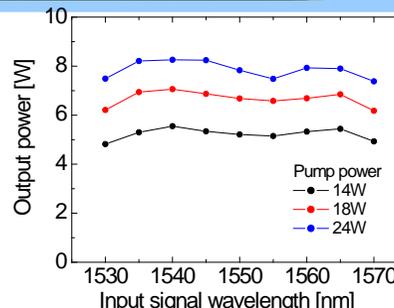
項目	設定	結果
ファイバ長	20 m 未満	16.4 m
入力パワー	-10 dBm 以上	-10 dBmで測定
出力パワー	5 W 以上	7W (1540-1565 nm)
雑音指数	規定なし	5 dB (1540-1565 nm)
偏波消光比	-20 dB 未満	-29 dB
寸法	規定なし	19インチ2UIに2台収納



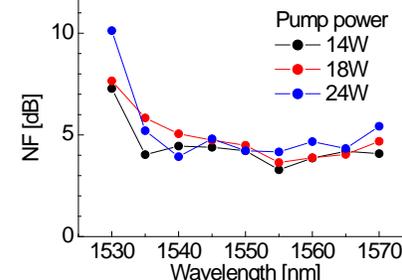
19インチ2UI筐体に2台の増幅器を収納した試作器の外観



ポンプパワー18W時の出力光スペクトル



出力パワーと雑音指数のポンプパワー依存性



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)

主な研究開発成果

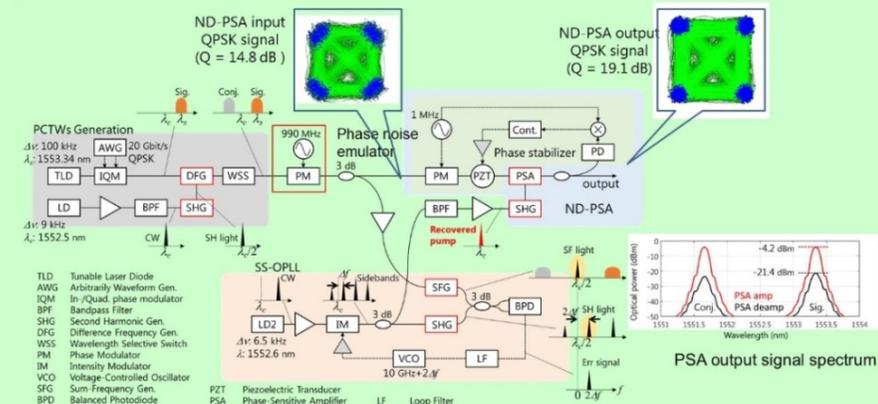
- ①和周波光発生を用いた励起光位同期ループ回路による位相感応光増幅に成功
- ②励起光位相誤差と多段中継後の光信号品質の関係を理論的に明確化

①和周波光発生を用いた励起光位同期ループ回路による位相感応光増幅実験

和周波光を用いた励起光位同期ループ回路を、B-1-1のパラメトリック増幅回路と連結させ、位相感応増幅実験を実施し、安定な位相感応増幅動作と信号光位相雑音の抑圧効果を実証した。また、光ファイバ伝送路を伝搬した信号光に対する励起光位同期ループ回路による位相感応増幅にも成功した。

②励起光位相誤差と多段中継後の光信号品質の関係を理論的に明確化

非縮退位相感応型光増幅中継器による多段中継後の光信号品質の各増幅中継器の励起光位相誤差への依存性を数値シミュレーションにより定量的に明確化した。



和周波光発生を用いた励起光位同期ループ回路による位相感応光増幅実験

課題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)

主な研究開発成果

課題B-3-1で行った原理実証の結果をもとに、励起光位相制御光回路ユニットを試作。

信号光と位相同期した励起光生成を確認し、課題B-1-3にてB-1-1との連携動作に成功



励起光位相制御光回路ユニットの外観

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	8 (4)	1 (1)	4 (3)	55 (21)	8 (0)	5 (2)	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

- ・ECOC2014において、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)
- ・ECOC2015において、相補スペクトル反転位相共役変換での非線形歪み補償の原理実証、報道発表を実施(H27)
- ・OFC2016において、PPLN型位相感応増幅器による波長多重信号の増幅結果を報告(H27)
- ・ECOC2016において、偏波多重・波長多重・QPSK信号に対する位相感応増幅器の中継増幅動作の実証結果を発表(H28)
- ・PPLNを用いた位相感応増幅の先駆的研究により電子情報通信学会第19回エレクトロニクスソサイエティ賞を受賞(H28)
- ・電子情報通信学会ソサイエティ大会において、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)
- ・OFC2016において、光ファイバ型パラメトリック増幅を偏波無依存化する新規構成による増幅結果を報告(H27)
- ・OFC2017において、偏波保持ポンプ位相シフトを用いた3段の疑似位相整合増幅により達成した帯域31nmで30dBの増幅特性を報告(H28)
- ・電子情報通信学会において、偏波保持ポンプ位相シフトを用いた疑似位相整合増幅の増幅特性を報告(H28)
- ・CLEO2015において、コスタス型励起光位相同期回路の高周波数化を提案し、原理実験による実証結果を発表(H27)
- ・OFC2016において、和周波光発生型光位相同期回路を提案し、原理検証実験による実証結果を発表(H27)
- ・IPC2016において、和周波光発生型光位相同期回路を用いた位相感応型光増幅実証実験結果を発表(H28)

(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)
- ・第29回光通信システム(OCS)シンポジウム(2015年12月、静岡県三島市) / フォトニックネットワークシンポジウム2016(2016年2月、東京都小金井市)でパネル展示(H27)
- ・OECC/PS2016(2016年7月、新潟県新潟市) / 第30回光通信システム(OCS)シンポジウム(2016年12月、静岡県三島市)でパネル展示(H28)

(3) 報道発表

- ・時間反転波を用いて、波長多重信号の劣化を高密度で一括補償する原理実証に世界で初めて成功～位相共役変換の新技術により、1/10以下のデジタル信号処理で長距離伝送が可能に～(H27)

5. 今後の研究開発計画

最終目標の達成に向けて、課題内および課題間での連携を進め、最終年度における統合実験を実施する。

- ・【課題B-1-1: PPLN型光パラメトリック増幅技術の研究】
他のサブ課題との連携および課題間連携を進め、マルチキャリア多値変調信号に対応したPPLN型の光パラメトリック増幅技術を確立し、統合実験を実施する。
- ・【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】
偏波無依存化したファイバ型光パラメトリック増幅器のプロトタイプを用いて、課題Aで開発した光源と連携した実験を行い、パラメトリック増幅した信号の過渡応答特性を確認する。また、本プロトタイプが要因である実験上の課題を把握し、解決することを通じ、ファイバ型の光パラメトリック増幅技術を確立する。
- ・【課題B-1-3: 課題Aとの統合動作】
項目課題B-1、項目B-2、項目B-3の統合動作で得られた知見を活かした光パラメトリック増幅器プロトタイプを完成させる。また課題Aで試作した高コヒーレンシ半導体レーザ等を光源として生成したマルチキャリア多値変調信号を用いて中継伝送を行い、最終目標を達成する。
- ・【課題B-2: 高出力励起光生成技術の研究】
課題A/B間連携実験、並びに、課題B内連携実験を並行して進めるために、プロトタイプをもう1台作製し計2台とする。連携実験上の課題を把握し、解決することを通じ、パラメトリック増幅に適した光増幅技術を確立する。
- ・【課題B-3: 励起光位相制御技術の研究】
連携実験により、提案した励起光位相同期回路の安定性を実証するとともに、位相同期回路の性能と多段中継信号品質の関係を明確化する。