

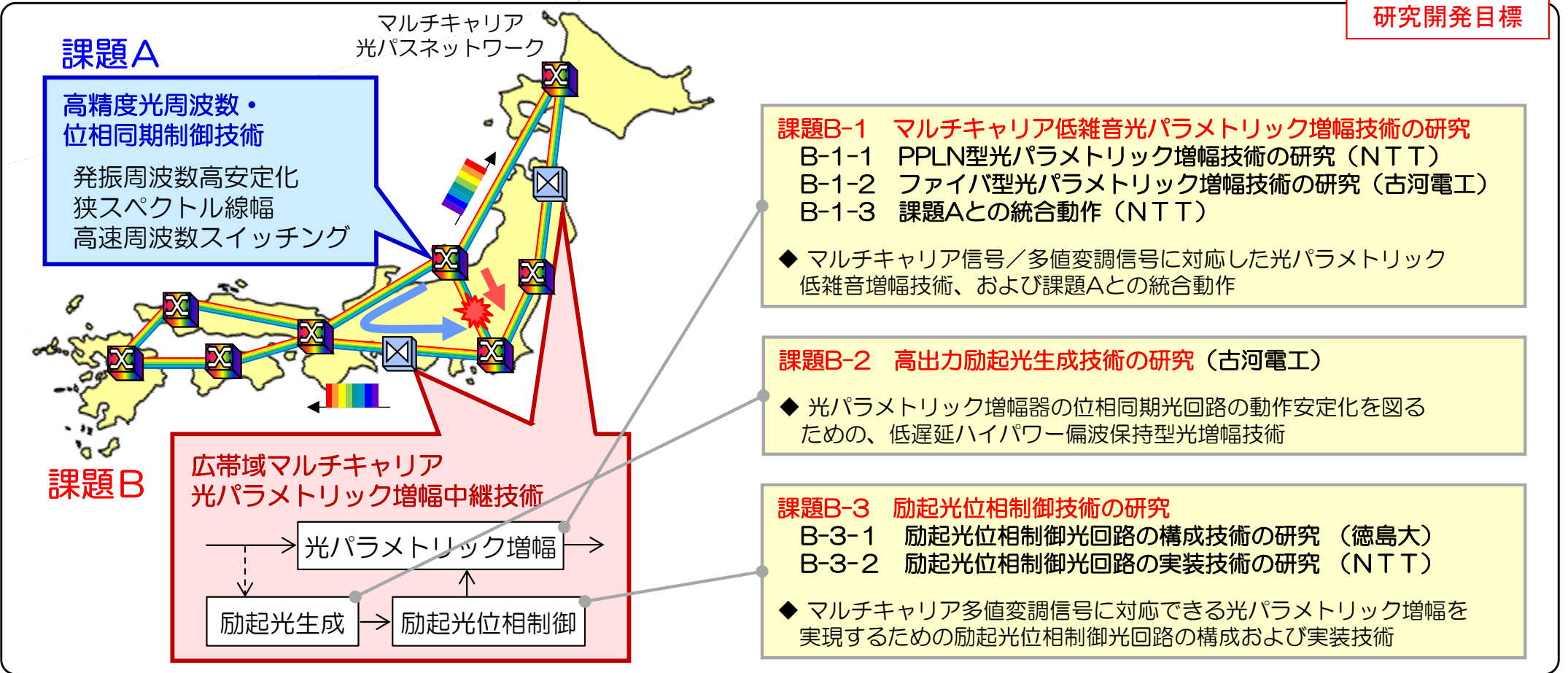
1. 研究課題・実施機関・研究開発期間・研究開発予算

- ◆ 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、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

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



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

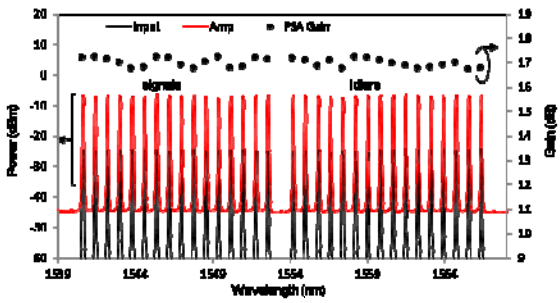
課題B-1-1 PPLN型光パラメトリック増幅技術の研究

(日本電信電話株式会社)

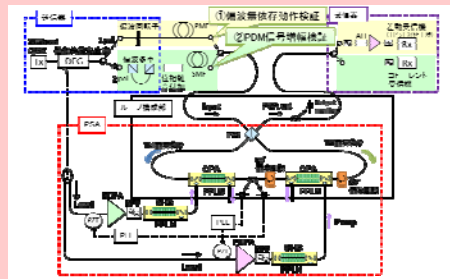
主な研究開発成果

- ①広帯域な波長/偏波多重・多値信号対応OPAの実証
- ②OPAの高利得化・低NF化の実証とプロトタイプ化
- ③CSI-OPCによる一括歪み補償・SDP改善の実証

① $\geq 12\text{nm}$ の波長帯域で利得17dBを達成、偏波無依存化・偏波多重信号増幅を実証

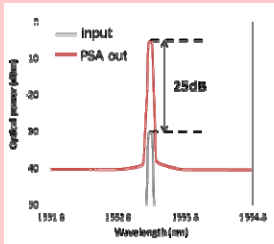


非縮退OPAでのWDM信号増幅

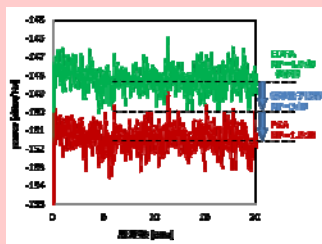


偏波無依存PSAの構成

② PPLNモジュール改良で利得+25dBと標準量子限界以下のNF=1.5dBを実証、偏波無依存OPAのプロトタイプを実現

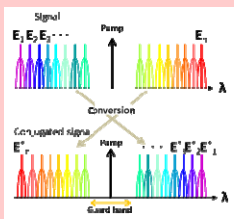


PPLNモジュール利得+25dBと低NF(NF=1.5dB)の実証

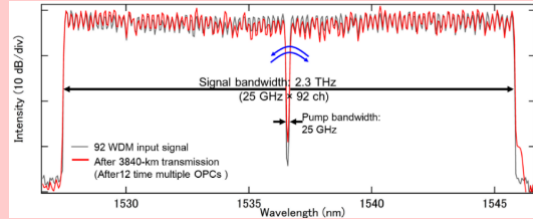


偏波無依存OPAのプロトタイプ

③ CSI-OPCの提案と大規模WDM信号に対する高周波数利用効率な一括位相共役変換の実証



CSI-OPCの提案



92波WDM信号の高周波数利用効率な一括位相共役変換

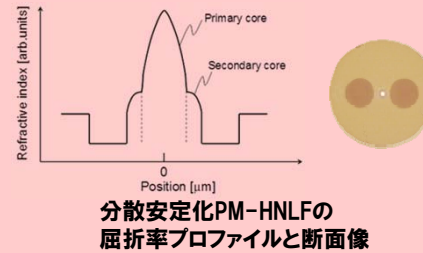
課題B-1-2 ファイバ型光パラメトリック増幅技術の研究

(古河電気工業株式会社)

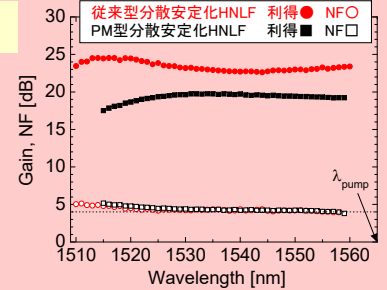
主な研究開発成果

- ①分散安定型のPM-HNLFの開発
(PM: Polarization Maintaining, 偏波保持、HNLF: Highly NonLinear Fiber, 高非線形ファイバ)
- ②上記ファイバを用いてファイバ型パラメトリック増幅の偏波無依存動作を実現

① 従来型の利得と帯域を維持したPM化に成功

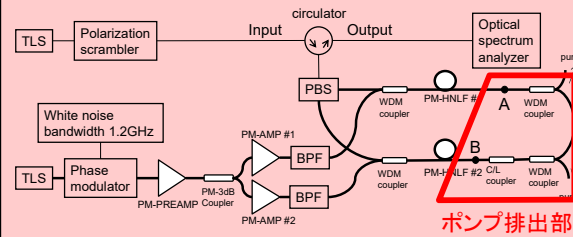


分散安定化PM-HNLFの屈折率プロファイルと断面像



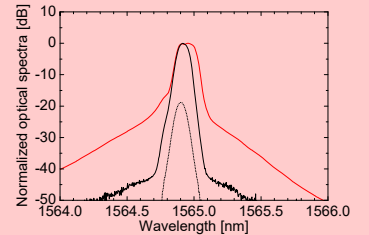
従来型とPM型の分散安定化HNLFの増幅特性。どちらもCバンドの幅を超える帯域を持つ

② 増幅信号の劣化なく増幅可能な構成を実証



ポンプ排出部

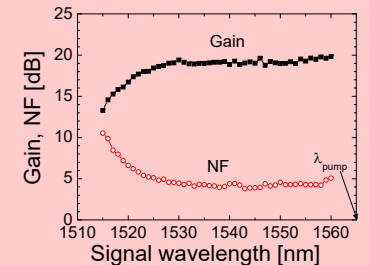
偏波無依存パラメトリック増幅の構成。ポンプ排出部の追加によりPM-HNLF内でのSBS発生を抑制した



ポンプ光のスペクトル。従来構成(赤線)とポンプ排出によるSBS抑圧後(黒線)



試作したプロトタイプ外観



偏波無依存増幅特性

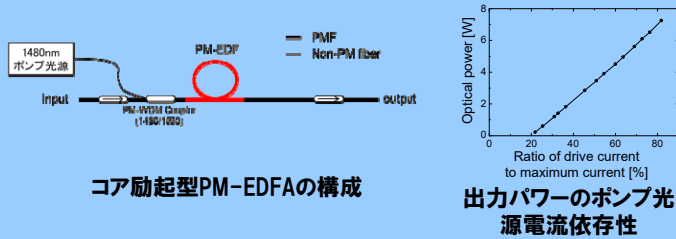
課題B-2 高出力励起光生成技術の研究

(古河電気工業株式会社)

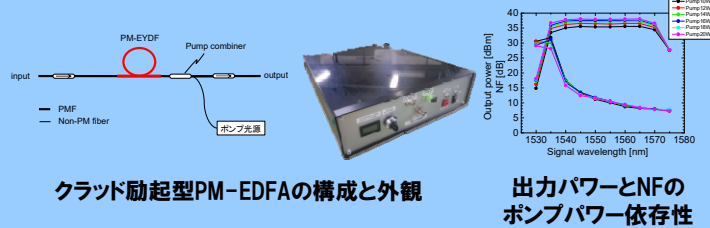
主な研究開発成果

- ①コア励起で短尺な7ワット級偏波保持増幅を確認
- ②クラッド励起で短尺な7ワット級偏波保持増幅を確認
- ③連携実験に適用できる特性を持つ小型短尺偏波保持増幅器を作製

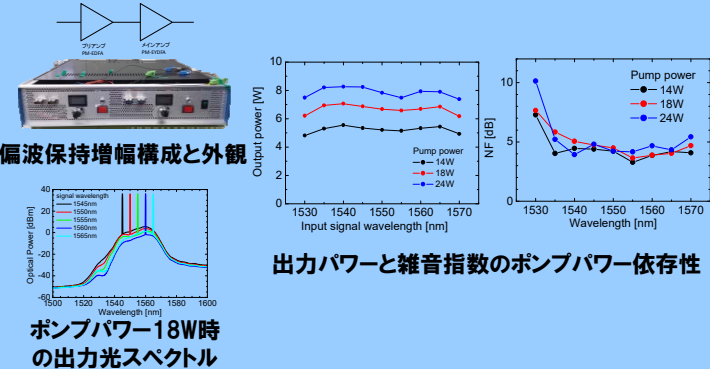
① ファイバ長7 mのPM-EDFを用いた7 Wの出力



② ファイバ長7 mのPM-EYDFを用いた7 Wの出力



③ 総ファイバ長16.4 mと短尺で-10dBmの入力信号光を最大7Wに増幅する偏波保持増幅器の特性



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

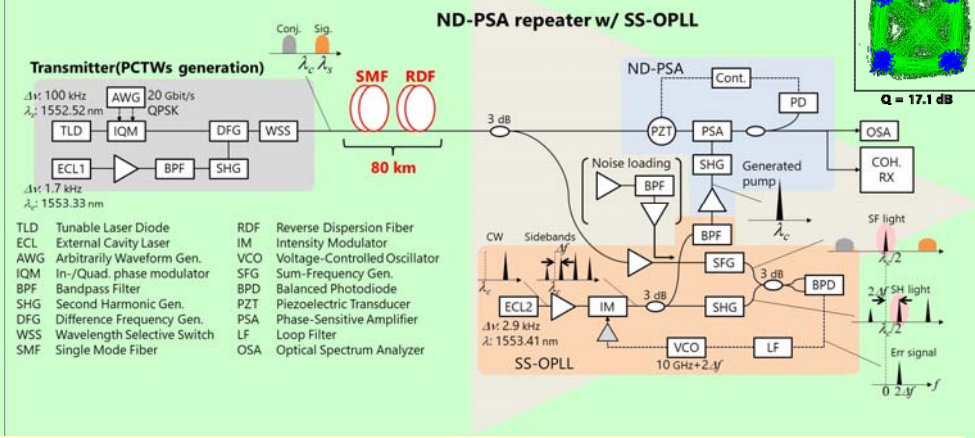
(国立大学法人徳島大学)

主な研究開発成果

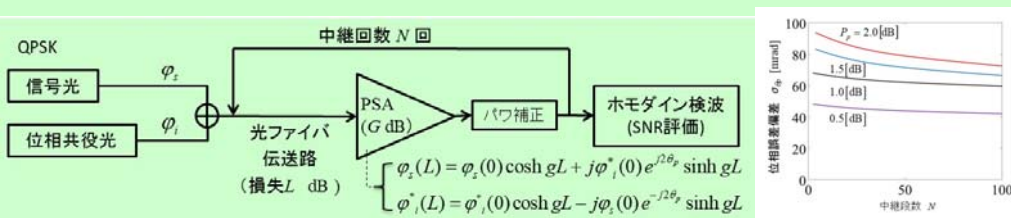
- ①励起光位相制御光回路構成の明確化
- ②数値シミュレーションによる励起光位相誤差に対する要求条件の明確化
- ③位相感応型光増幅器の新たな雑音評価指標、およびその測定方法の提案

①励起光位相制御光回路構成の明確化

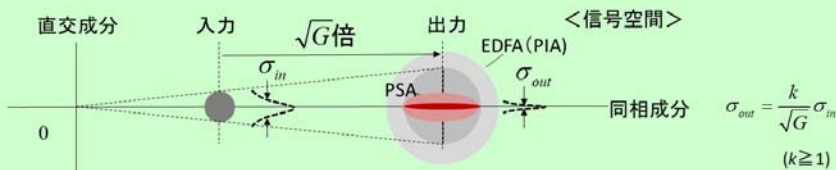
和周波光発生(SFG)による位相抽出を提案。B-3-2試作器により原理実証。



②数値シミュレーションによる励起光位相誤差に対する要求条件の明確化



③位相感応型光増幅器の新たな雑音評価指標、およびその測定方法の提案



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

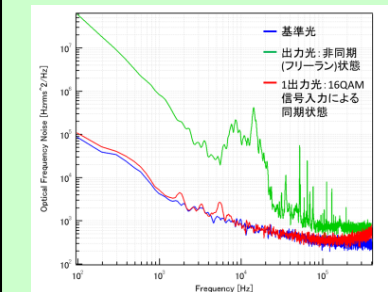
- ①和周波・2倍波光位相同期回路のユニット実装
- ②多値変調信号光に対する動作を実証

①光位相同期回路を19インチラック内に収容可能なユニットに実装



光位相同期回路のユニットの外観写真

②多値変調信号光に対する動作検証



光位相同期回路ユニット出力光の光周波数雑音スペクトル
フリーラン状態と16QAM変調された信号光・位相共役光対を入力とした場合との比較

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

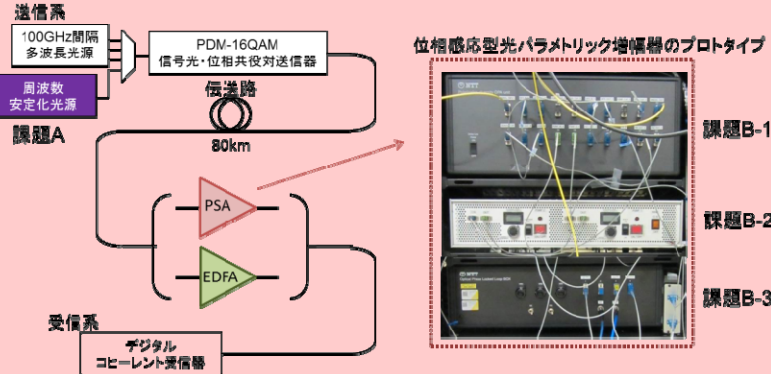
課題B-1-3 課題Aとの統合動作

(日本電信電話株式会社)

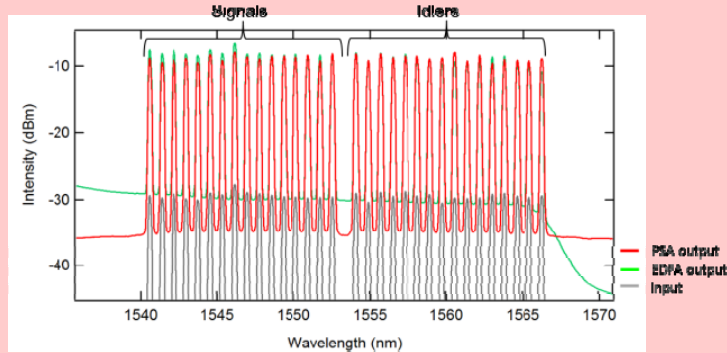
主な研究開発成果

- ①位相感応型光パラメトリック増幅器のプロトタイプ化
- ②周波数利用効率×距離積(SDP)拡大の実証
- ③大規模WDM一括信号歪み補償の実証と信号処理負荷軽減の検証

①課題B-1、課題B-2、課題B-3の成果の一体動作により、位相感応型光パラメトリック増幅器のプロトタイプを構築。波長多重(WDM)・偏波多重(PDM)・多値(16QAM)信号に対する中継増幅が可能で、正味利得として20dB以上、帯域12nm以上の増幅動作を実証。80km伝送後の中継増幅において通常のEDFAに比べ5dB以上のOSNRの差を確認。課題Aの光周波数安定化光源を送信器の信号光光源として用い、課題A・Bの統合動作のデモンストレーションを実施。

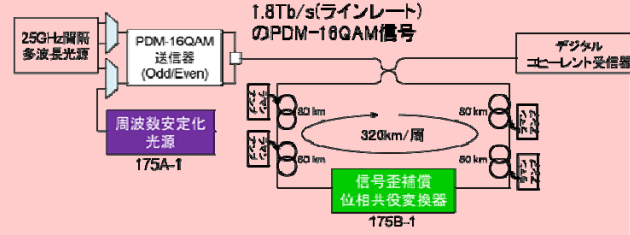


位相感応型光パラメトリック増幅器プロトタイプ概観図および課題A・B統合動作実験構成



16波PDM-16QAM信号のWDM一括増幅の入出力の光スペクトルおよびEDFAとの比較

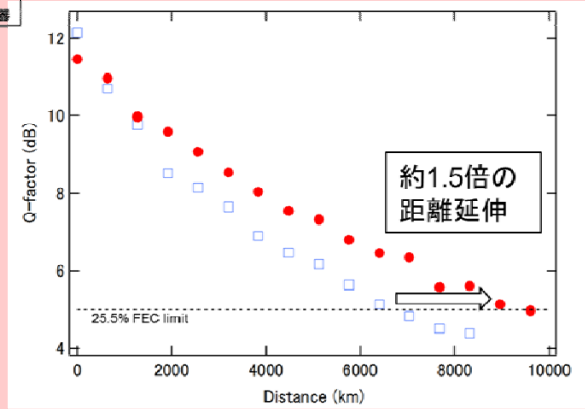
②課題Aの光周波数安定化光源を送信器光源に適用した伝送実験評価により、課題Bの相補スペクトル反転位相共役変換器を適用することで約1.5倍の距離延伸に成功。課題AおよびBの技術を用いることで1.3倍以上の高密度化(先行課題153入リーチとの連携実験により実証)と1.5倍の距離延伸によりSDPを2倍に拡大できることを実証。



課題A:周波数安定化光源をを適用

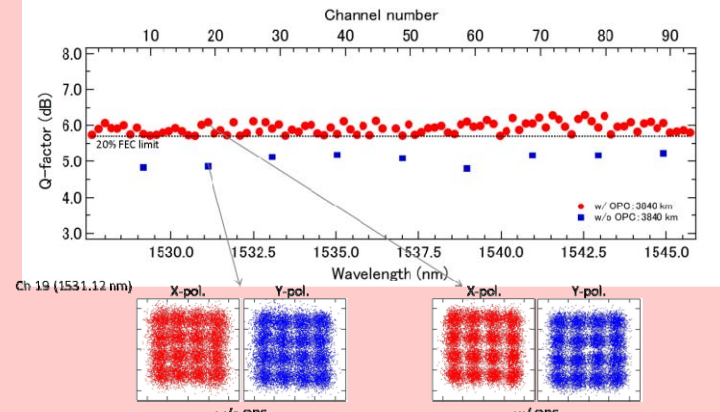
周波数間隔を50⇒37.5 GHz間隔まで狭め、WDMシステムの周波数利用効率を1.3倍以上高密度化することが可能であることを実証。
【先行課題153(入リーチ)との連携実験】

課題B:非線形歪み補償による伝送距離延伸



課題A・B連携実験の構成図と相補スペクトル反転位相共役変換器を用いたファイバ伝送距離の延伸

③課題Bの相補スペクトル反転位相共役変換器を用いて大容量・高周波数利用効率(容量13.6 Tbps、周波数利用効率5.84 bit/s/Hz)の長距離WDM伝送における一括非線形歪み補償に成功。さらに、デジタル信号処理回路の負荷軽減効果を検証し、波長分散補償および非線形補償の両方の観点においてデジタル信号処理負荷を50分の1以下に低減し、それらの低減量が波長多重数分だけスケールできる可能性を示した。



92波WDM信号の一括非線形歪み補償の実証 (PDM-16QAM信号の3,840km伝送後のQ値)

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	11 (3)	1 (0)	5 (1)	72 (17)	8 (0)	6 (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

- ・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て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、コスト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)
- ・CLEO-PR 2017, OECC2017, PGC 2017 合同学会において、偏波無依存パラメトリック増幅に関する招待講演を実施(H29)
- ・電子情報通信学会OCS研究会10月研において、ファイバ型パラメトリック増幅に関する招待講演を実施(H29)
- ・CLEO-PR 2017, OECC2017, PGC 2017 合同学会において、PPLNを用いた位相感応光増幅、位相共役変換、デバイス技術に関して複数件の招待講演を実施(H29)
- ・OFC2018において、位相感応型光中継増幅器に関する講演(TOPスコアで採択)、および招待講演を実施(H29)

(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)
- ・第31回光通信システム(OCS)シンポジウム(2017年12月、静岡県三島市)でパネル展示(H29)

(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. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

本成果は、大容量情報通信サービスを支える光通信インフラの持続的発展に貢献しうる技術であると考えており、継続して研究開発を進めていく。その中で、国内外の学術会議や学術誌等において対外発表を行い技術優位性をアピールするとともに、その経済性や市場を見極めながら成果の実用化の検討を進める。また、実用化とこれらを適用した光伝送システムの普及を目指して、標準化が妥当な技術については、先導的役割を担うべく、標準化団体等への提案を検討する。関連する研究への貢献としては、光信号歪み補償技術とデジタル信号処理技術の融合や光伝送システムの消費電力化の観点で連携が進んでいくことが想定される。さらに、量子情報処理技術分野や、光センシングや各種光信号処理の分野における貢献が期待できる。これらの技術分野の発展と拡大による人材育成、さらには国際競争力強化が図られ、社会に変革をもたらす飛躍的技術の高度化に貢献できることを期待する。