

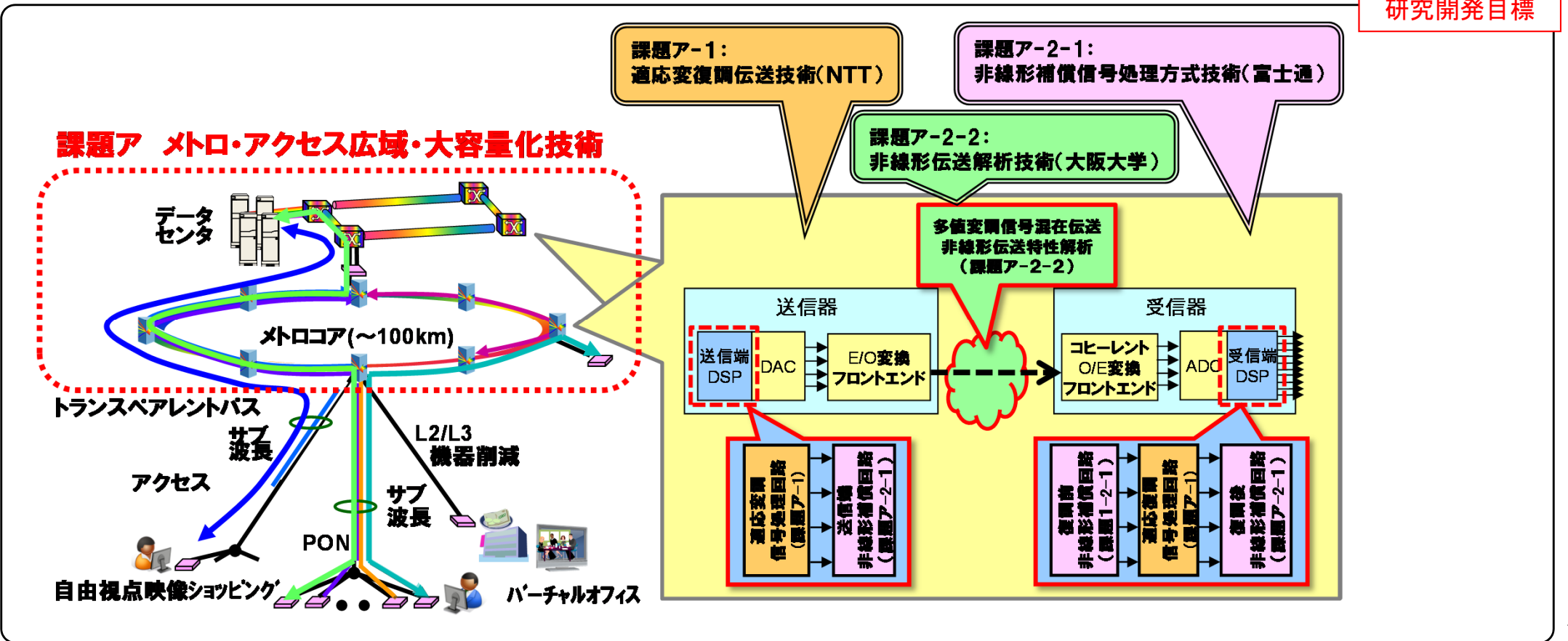
1. 研究課題・実施機関・研究開発期間・研究開発予算

- ◆課題名 : 光トランスペアレント伝送技術の研究開発(入リーチ)
- ◆個別課題名 : 課題ア メトロ・アクセス広域・大容量化技術に関する研究
- ◆副題 : 適応変調と非線形補償による周波数利用効率とトランスペアレント領域の拡大
- ◆実施機関 : 日本電信電話株式会社(代表研究者)、富士通株式会社、国立大学法人大阪大学
- ◆研究開発期間 : 平成23年度から平成27年度(5年間)
- ◆研究開発予算 : 総額882百万円(平成27年度:155百万円)

2. 研究開発の目標

・光ネットワークや伝送路の状況に応じてビットレートや変調方式を適応的に変化させ、周波数利用効率を高めることによって光ファイバあたり伝送容量を拡大することができる適応変復調技術を開発するとともに、光ネットワークの広域化・大容量化を制限する主たる要因の1つである光ファイバの非線形性による伝送特性劣化を克服するための非線形補償信号処理回路技術を開発し、10～100G超ビット／秒のデータ伝送におけるトランスペアレント領域(ファイバあたりの伝送容量×リンク長)において、伝送容量とリンク長をそれぞれ2倍以上拡大し、4Pビット／秒×km以上を実現することができる伝送基盤技術を確立する。

研究開発目標



3. 研究開発の成果

研究開発成果: 課題ア-1 適応変復調伝送技術

課題ア-1 適応変復調伝送技術

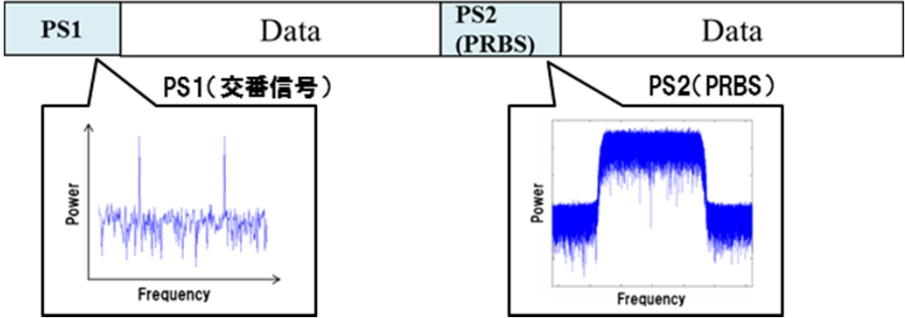
(日本電信電話株式会社)

主な研究開発成果

- ①伝送路の状態に応じて最適な変復調方式を判定するための推定方式を提案し、OSNR推定/帯域狭化推定ができることを実証。
- ②適応変復調方式に対応可能な自動バイアス制御方式を提案し、複数の変調方式に対して安定に動作することを実証。
- ③ OSNR推定を用いた適応変復調伝送実験を双方向フィールド伝送路で実施し、QPSKの2倍の周波数利用効率の16QAMが選択できることを実証。

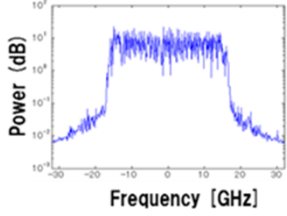
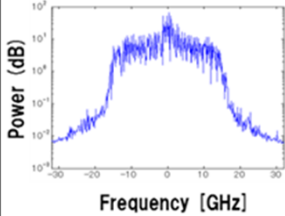
①適応変復調のためのOSNRおよび帯域狭化推定方式の提案・実証

提案する送信フレーム構成

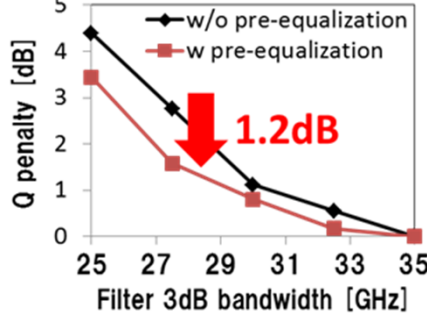


受信信号スペクトル (予等化前)

受信信号スペクトル (予等化後)

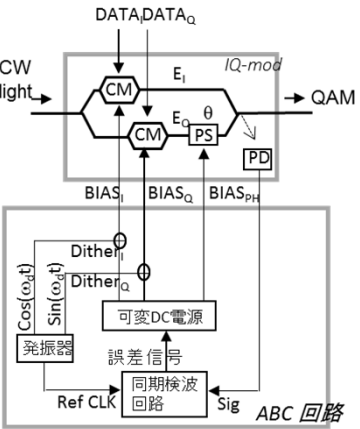


予等化によるフィルタリングペナルティ改善

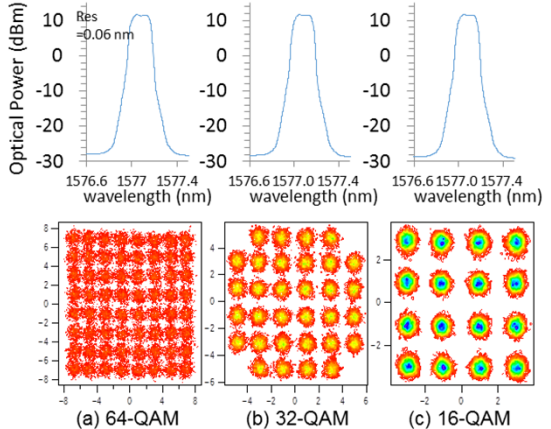


②適応変復調のための光送信器安定化方式の提案・実証

提案する安定化回路構成

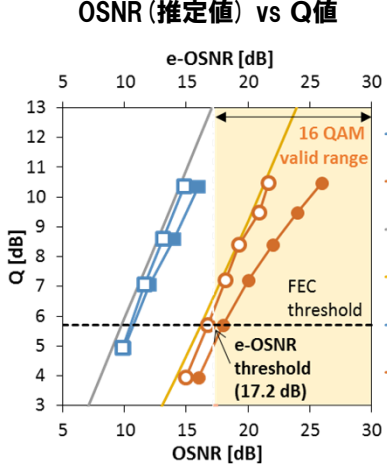


生成された多値QAM信号

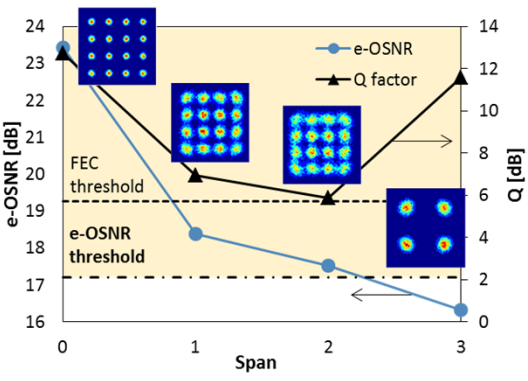


③OSNR推定を用いた適応変復調フィールド伝送実験

OSNR推定値に基づく適応変復調伝送実験結果



スパン数の変化に伴う変復調方式の切替



研究開発成果：課題ア-2 非線形補償信号処理技術

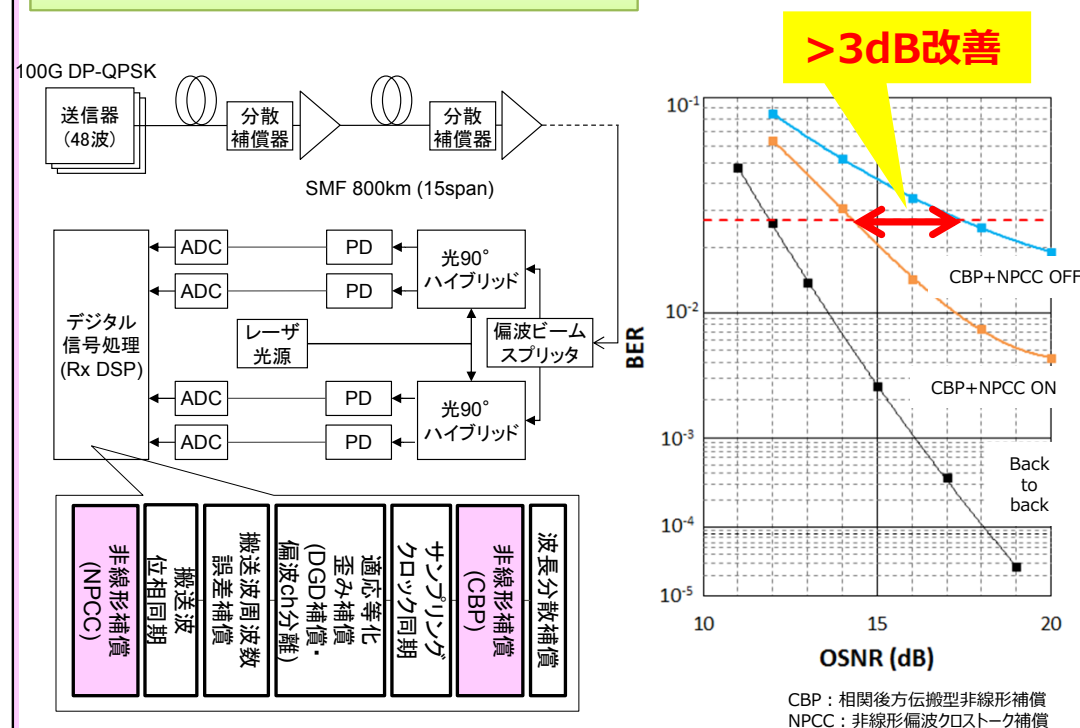
課題ア-2-1 非線形補償信号処理方式構成技術

(富士通株式会社)

主な研究開発成果

- ①非線形補償処理方式と要素アルゴリズムについて、改善性能・回路としての実現性・適応変復調方式との親和性などの観点からの比較検討を実施。
- ②非線形補償処理方式の数値シミュレーションモデルを構築し性能評価を行い、3dBに迫る改善量が得られることを確認。性能改善効果と回路実現性の両面から検討を行い、要素アルゴリズム仕様を決定。
- ③非線形補償処理方式について伝送実験による特性評価を実施した。実機により、目標である3dBを上回る改善を確認し、最終目標を達成。

信号処理回路の伝送実験による性能評価



伝送実験系および
デジタルコヒーレント信号処理受信部

実機による伝送実験評価結果
DP-QPSK変調 1200km伝送時

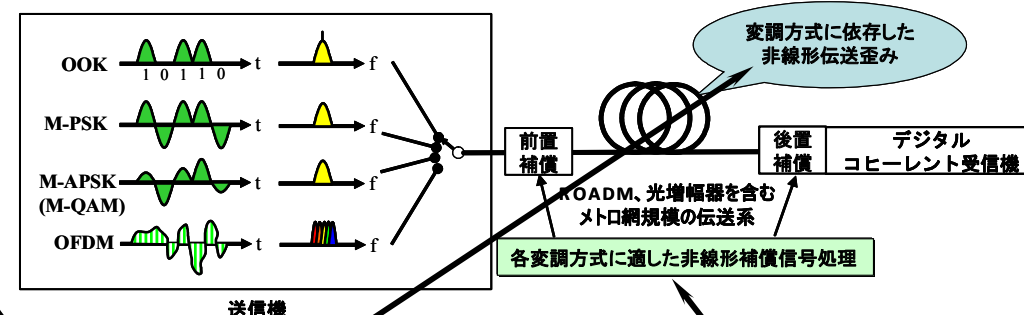
課題ア-2-2 非線形伝送解析技術

(国立大学法人大阪大学)

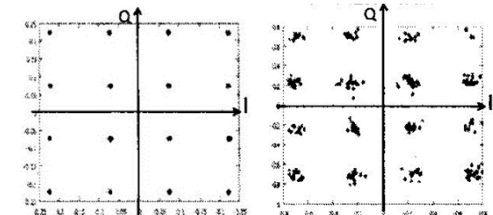
主な研究開発成果

- ①多値光信号がファイバの非線形性から受ける影響を調べるプログラムを開発し、種々の変調フォーマットに対する非線形性の影響を調査した。
- ②多値光信号をファイバの非線形性を用いて生成する方法を開発し、原理確認実験を行って、その実現可能性を示した。
- ③非線形性の影響を受けない新たな光変調方式として、光固有値変調方式を開発し、シミュレーションおよび実験によりその有効性を示した。

研究開発イメージ

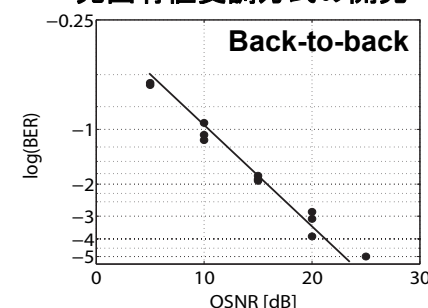


16QAM信号が光ファイバの非線形性から受ける影響を調べるためのプログラムを開発



入射電力増加

デジタルコヒーレント方式を用いた
光固有値変調方式の開発



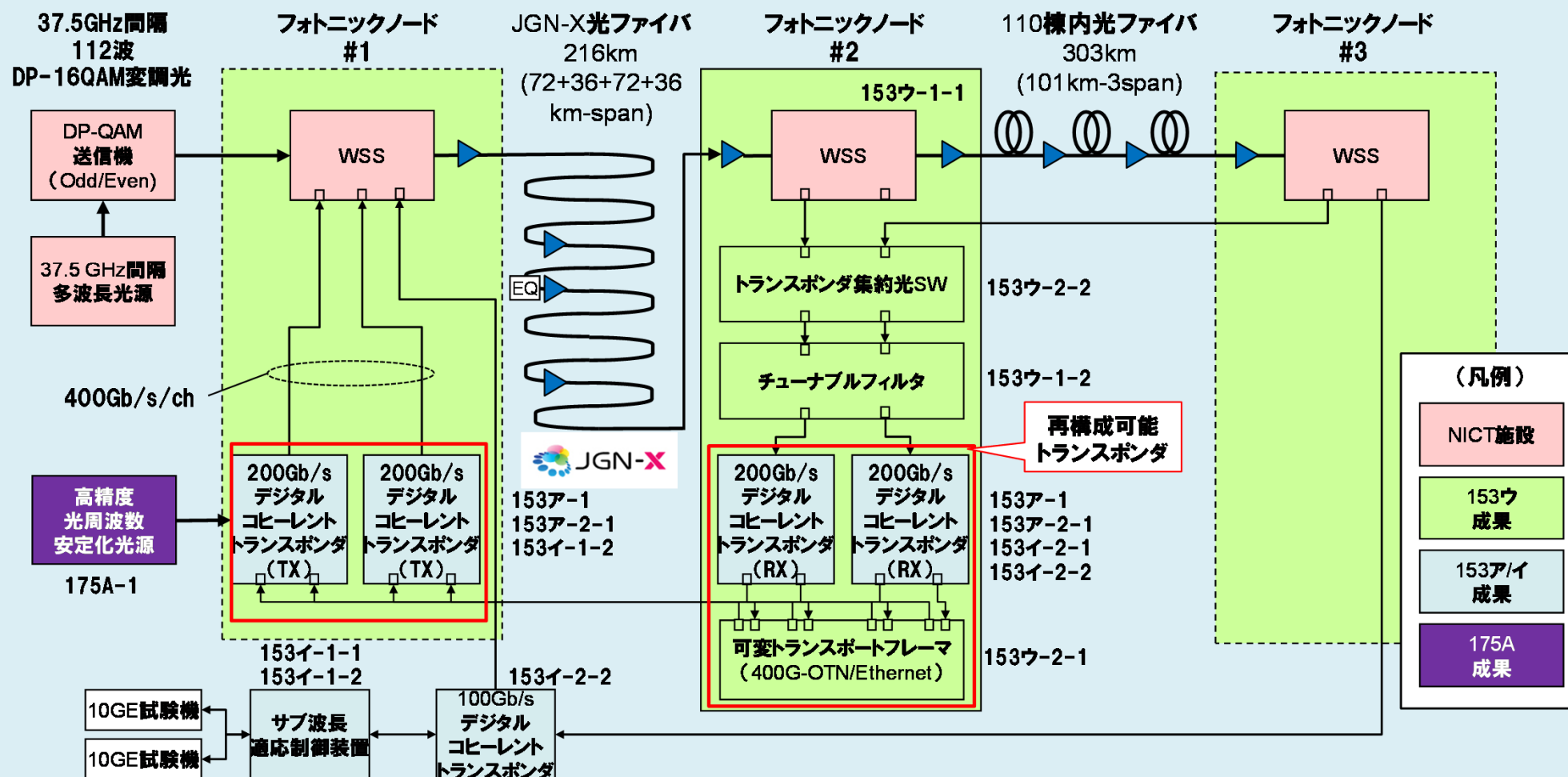
固有値変調のBER特性
(課題ア-2-1との課題内連携実験)

λリーチ課題間統合実験による要素技術の JGN-X フィールド環境実験検証

主な研究開発成果

「λリーチ」(課題153)のア、イ、ウ各課題の試作装置を持ち寄り、JGN-XフィールドファイバならびにNICT110棟光伝送テストベッドを用いて、400Gb/s/ch再構成可能トランスポンダ技術のデモンストレーションを実施。加えて、「コヒーレントλ」(課題175)の高精度光周波数安定化光源技術との連携動作も確認。

- ◆「λリーチ」課題ア、イ: 光伝送要素技術を確立。
- ◆「λリーチ」課題ウ: 大規模フォトニックノード要素技術を確立。



課題間統合実験の実験系と各課題の担当箇所

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
光トランスパレント伝送技術の研究開発(入リーチ)課題A	17 (1)	25 (8)	5 (1)	128 (24)	6 (0)	8 (2)	1 (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

- ・光通信研究会(2012年1月)にて「光トランスパレント伝送技術の研究開発(入リーチ)」の研究計画概要を発表(H23)
- ・ECOC2012にて、パイロットトーンを用いたSC-FDM 400Gbit/s/ch変復調技術とそれを用いた100Tbit/s級伝送技術を発表(H24)
- ・ECOC2012にて、送信端非線形補償による偏波多重QPSK変調信号の距離延伸と偏波変動環境下での性能評価実験結果を発表(H24)
- ・Photonics West2013にて、高速DACを用いた16QAM信号によるナイクストWDM伝送実験結果を発表(H24)
- ・Photonics West2013にて、送信端・受信端の各非線形補償アルゴリズムの処理簡略化方式について発表(H24)
- ・OFC2013にて、送信端・受信端非線形補償を組み合わせた場合の改善効果について発表(H24)
- ・Photonics Global Conference 2012にて、招待講演を行い、QPSK光信号の生成時の分散耐性について発表(H24)
- ・Photonics in Switching 2012にて、複数波長チャネルのBPSK信号の同時生成法について発表(H24)
- ・CLEO-PR&OECC/PS2013にて、デジタルコヒーレント方式を用いた固有値の復調法について発表(H25)
- ・ECOC2013にて、16QAM対応の送信端非線形補償の回路規模削減する手法について発表(H25)
- ・ECOC2013にて、一例として前置分散補償RZ-64QAM信号を用いて適応変復調対応の光送信機構成について発表(H25)
- ・OFC2014にて、非線形補償の改良方式について2件発表(H25)
- ・PIF-OIF workshopにて、400G変調方式とそこに適用する適応変復調技術について発表(H26)
- ・OFC2015にて、伝送路の波長分散と帯域狭窄化を同時推定して送信側で予等化する手法について発表(H26)
- ・ECOC2014にて、非線形補償技術に関する招待講演ほか2件発表(H26)
- ・Photonics West2015にて、非線形補償技術に関して招待講演として発表(H26)
- ・OFC2015にて、振動非線形補償アルゴリズムの演算量を低減させる手法について発表(H26)
- ・光通信システム研究会サマースクールにて光固有値伝送についてのチュートリアル講演、ならびにEXAT研究会にて光固有値伝送についての招待講演(H26)
- ・ECOC2015にて、サブキャリア間隔を変えた際の非線形耐力について発表(H27)
- ・OECC2015, IWOQ2015, Photonics West 2016にて、光固有値伝送についての招待講演を行い、光固有値伝送の研究で電子情報通信学会光通信システム研究会奨励賞を受賞(H27)

(2)展示会

- ・第26回 光通信システム(OCS)シンポジウム(2012年12月、静岡県三島市)でパネル展示(H24)
- ・CLEO-PR & OECC/PS 2013 (2013年7月、京都府京都市)でパネル展示(H25)
- ・第27回 光通信システム(OCS)シンポジウム(2013年12月、静岡県三島市)でパネル展示 / フォトニックネットワークシンポジウム(2014年3月、東京都小金井市)でパネル展示(H25)
- ・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 / フォトニックネットワークシンポジウム(2015年3月、東京都小金井市)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)でパネル展示 / フォトニックネットワークシンポジウム(2016年2月、東京都小金井市)でパネル展示(H27)

(3)報道発表

- ・超高速光ファイバー伝送システム向け補償回路の消費電力を約1/3に削減する革新的な歪み対策技術を開発(H23)
- ・世界最高水準400ギガビット伝送のフィールドトライアルに成功～既設100G光伝送網で現行の4倍の高速通信を低コストで実現可能～(H26)

5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

- ・【課題A-1、課題A-2-1】平成24年度～26年度に実施された総務省からの委託研究「超高速・低消費電力光ネットワーク技術の研究開発」に対して、本委託研究の途中成果を積極的に切り出して活用することで、実用化に向けた取り組みを加速していく。また、ITU-T SG15 Q6やOIFにおいて継続的な標準化活動を行っていく。
- ・【課題A-2-2】本研究で実施した光固有値伝送の基礎的検討を発展させて、非線形シャノン限界が根本的に克服できることのデモンストレーションを行う。