

平成26年度「光トランスパレント伝送技術の研究開発(λリーチ) 課題ア メトロ・アクセス 広域・大容量化技術に関する研究」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

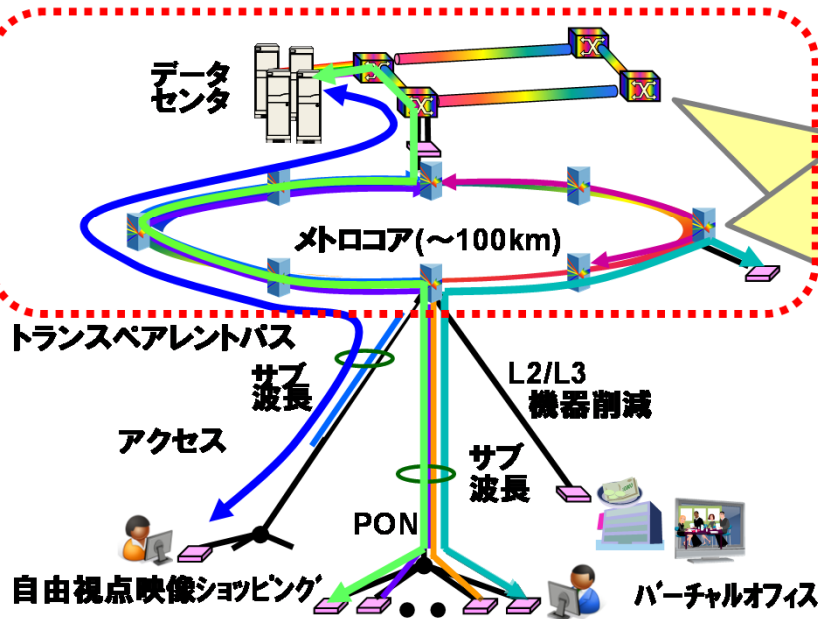
- ◆実施機関 日本電信電話株式会社(代表研究者)、富士通株式会社、国立大学法人大阪大学
- ◆研究開発期間 平成23年度から平成27年度(5年間)
- ◆研究開発予算 総額882百万円(平成26年度:165百万円)

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パレント領域(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

課題ア メトロ・アクセス広域・大容量化技術

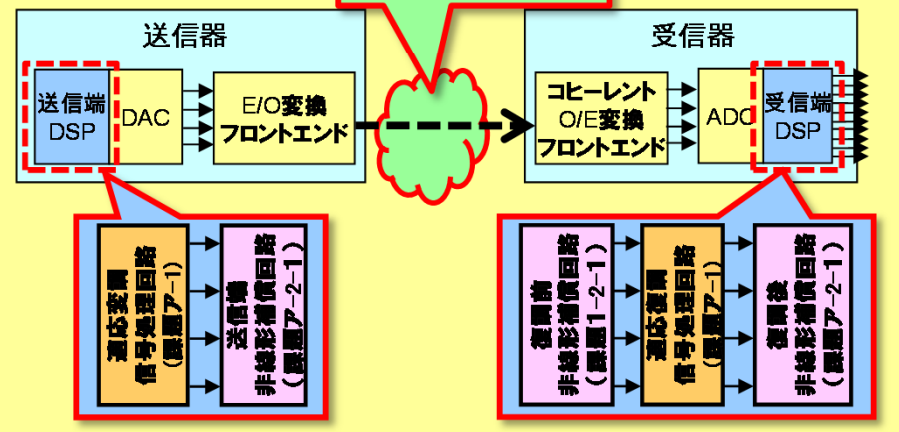


課題ア-1:
適応変復調伝送技術(NTT)

課題ア-2-1:
非線形補償信号処理方式技術(富士通)

課題ア-2-2:
非線形伝送解析技術(大阪大学)

多値変調信号混在伝送
非線形伝送特性解析
(課題ア-2-2)



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

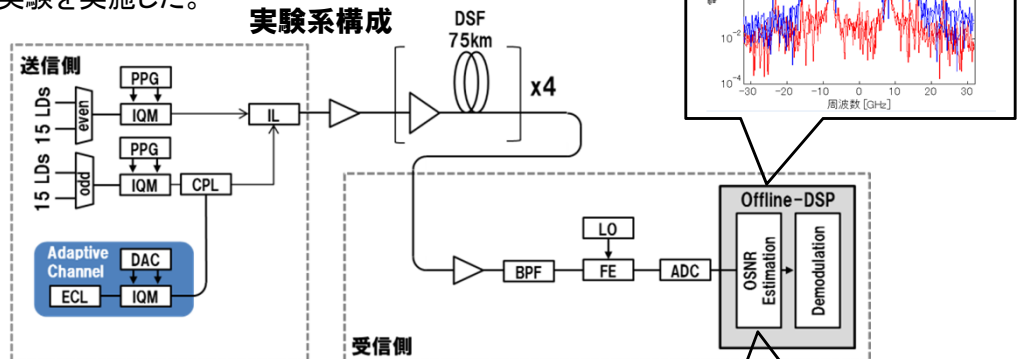
(日本電信電話株式会社)

- ・パイロット信号によるOSNR推定回路の回路設計・設計検証を完了するとともに、DP-QPSK/DP-16QAM/DP-32QAMでの適応復調伝送実験を実施し、変調方式によらずOSNRが推定できること、推定したOSNRが変復調方式の選択に使用できることを確認した。
- ・2種類のパイロット信号を用いて、波長分散/OSNRと帯域狭窄化を同時に推定することが可能な方式を提案し実験を実施した。推定した情報を用いて送信側で予等化することによりQ値を1.2dB改善できることを確認した。

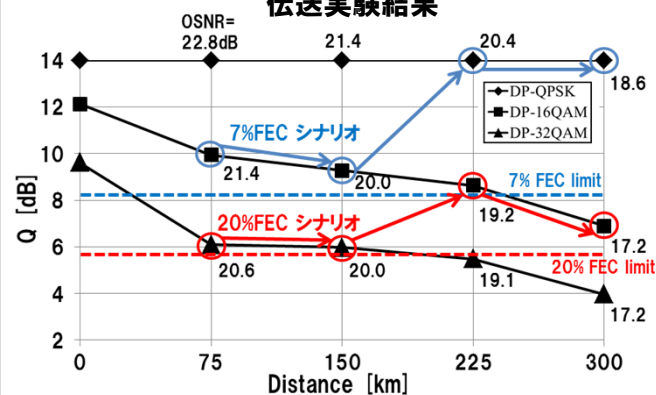
OSNR推定による適応変復調伝送実験

パイロット信号(PS)によるOSNR推定値を用いた適応変復調(DP-QPSK/DP-16QAM/DP-32QAM)伝送実験を実施した。

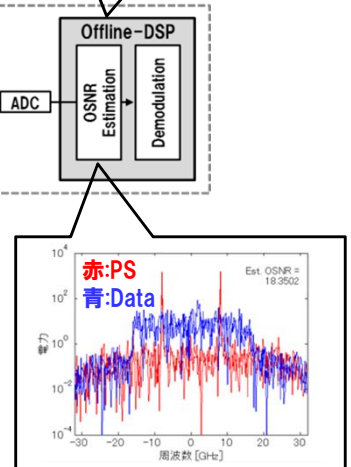
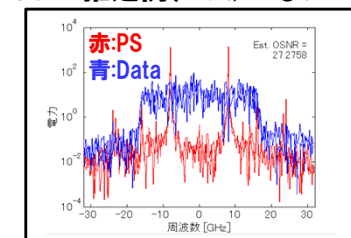
実験系構成



伝送実験結果



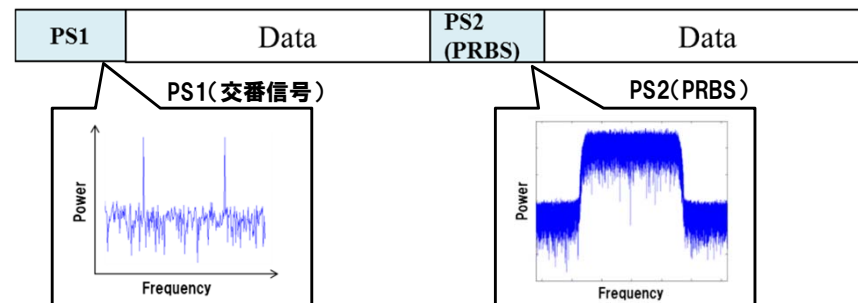
OSNR推定例(16QAM@0km)

OSNR推定例
(16QAM@300km)

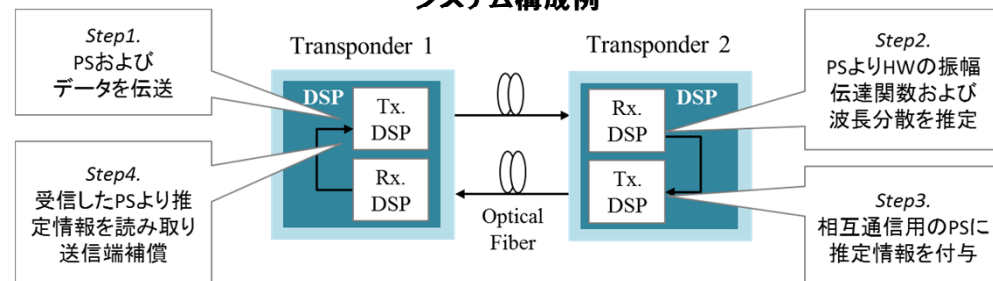
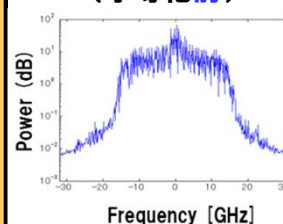
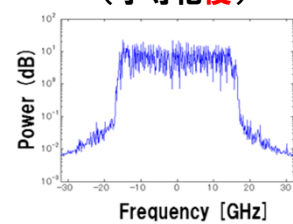
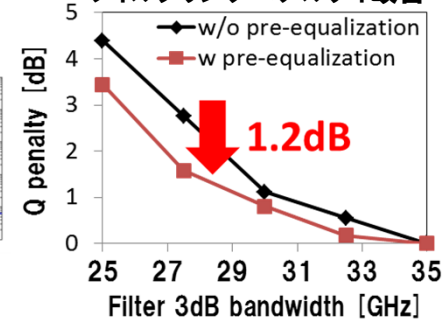
2種類のパイロット信号を用いた伝送路特性推定方式の提案と実証実験

2種類のパイロット信号(PS1: 交番信号、PS2: PRBS)を用いた波長分散/OSNRとフィルタリングによる帯域狭窄化の同時推定方式を提案した。推定した伝送路特性を送信側で予等化することにより、帯域狭窄化によるQ値ペナルティを1.2dB改善できることを実験で確認した。

提案する送信フレーム構成



システム構成例

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

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

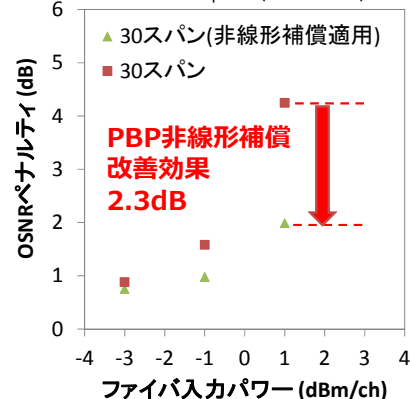
(富士通株式会社)

- ・複数の変調方式を用いた光伝送実験および数値シミュレーション検証により、本年度の目標としていた光送受信信号処理回路の機能評価を完了し、DP-8QAM変調では改善量2.3dBと、3dBに迫る改善効果を確認した。
- ・高密度変調向けに演算規模を削減するアルゴリズム方式としてコンスタレーションの縮退近似による演算簡略化技術を提案した。

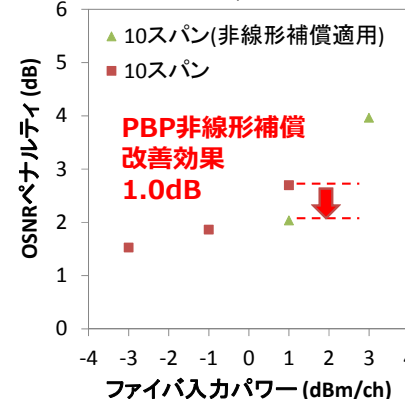
光送受信信号処理回路の機能評価

受信端非線形補償方式である摂動バックプロパゲーション(PBP)の適用による伝送性能改善を光伝送実験で評価

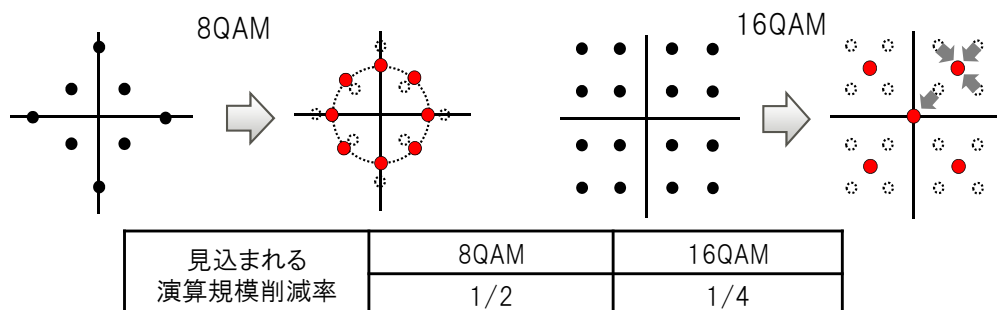
偏波多重8値直交振幅変調 (DP-8QAM)
40kmx30span (1200km)



偏波多重16値直交振幅変調 (DP-16QAM)
40kmx10span (400km)



高密度変調向けの演算規模削減手法としてコンスタレーションの縮退近似による演算簡略化を提案



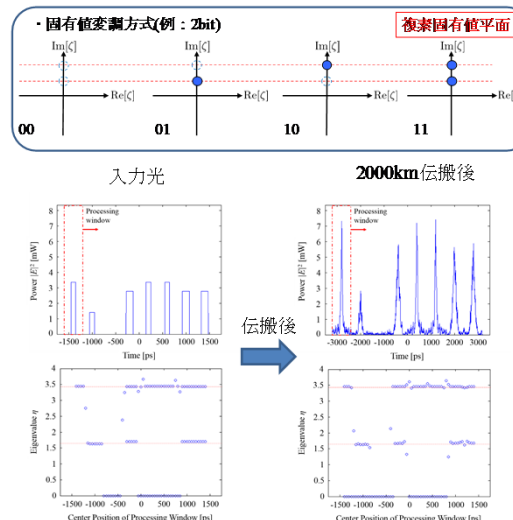
課題ア-2-2 非線形伝送解析技術

(国立大学法人大阪大学)

- ・高効率な変復調方式および非線形補償方式の探求を実施。
- (1) 光ローグウェーブ現象の固有値に着目した解析については、三次分散を含んだ可積分な方程式に基づいて発生機構の解明。
- (2) 固有値変調方式については、大容量化を目指した各種多重化技術の検討を実施し、その実現可能性を明示。また、課題ア-2-1と連携した接続性検証として、固有値通信方式についての連携実験を実施。

光固有値変調方式の多重化技術

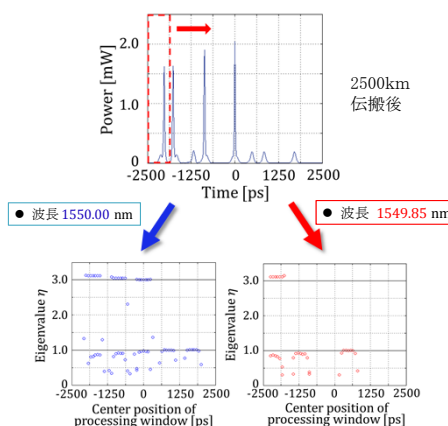
(1)固有値多重による多値伝送



2bit/symbolの固有値多重伝送例

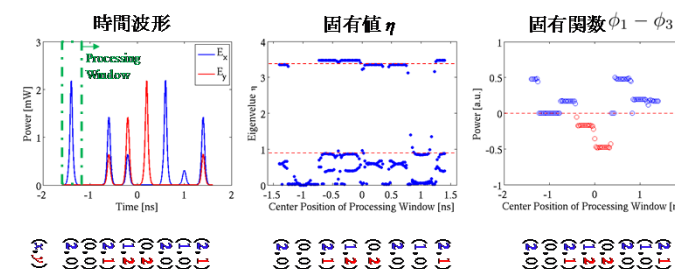
(2)波長分割多重伝送

- 周波数が異なる信号
- 固有値の実部がシフト
- 波長多重信号の同時受信可能
- 周波数オフセットの補償不要



(3)偏波多重伝送

- 伝搬後もマナコフ方程式の固有値は不変
- 固有関数から偏波成分を識別可能



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	16 (5)	17 (4)	4 (2)	101 (30)	6 (3)	6 (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信号によるナイキスト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、摂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)
- ・OECC2014にて、光固有値伝送方式の雑音耐性と固有値多重による多値伝送方式について発表(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)

(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)

(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. 今後の研究開発計画

- ・【課題A-1 適応変復調伝送技術】試作回路を用いた実験により評価により、適応変復調伝送方式の実現性を実証するとともに、課題イ・ウとも連携して統合実験を実施して「入リーチ」全体としての統合動作をデモンストレーションする。
- ・【課題A-2-1 非線形補償信号処理方式構成技術】開発したアルゴリズムを伝送実験にて検証し、最終目標としている非線形光学効果に起因する数十 μ 秒以下の高速波形歪み変動に対して3dBに迫る補償能力を実証する。
- ・【課題A-2-2 非線形伝送解析技術】多値変調された広帯域光信号がファイバ非線形性によって被る影響についての新規視点である、光ローグウェーブ現象の固有値に着目した解析と、ファイバ非線形性の影響下におけるより高効率な変復調方式である、光固有値変調方式の研究開発を推進する。