

戦略的国際連携型研究開発推進事業

課題名: クロストーク分析に基づき最適化されたマルチキャリアを収容可能な柔軟性のある全光**OFDM**技術の研究開発

研究期間 平成24年度～平成26年度（3年間）

参画機関：大阪大学[†]，NTTエレクトロニクス(株)[‡] 東京工業大学*
(日本側)

研究代表者 小西 毅[†]

研究分担者 服部邦典[‡]，奥野将之[‡]，美野真司[‡]
姫野明[‡]，植之原裕行*

背景と研究開発の概要

本研究では、**欧州のFP7** ASTRONプロジェクトと協調して、クロストーク分析に基づく伝送路に最適な**マルチキャリアの創出**を試みた。特に、創出したマルチキャリアについて、非線形シャノンリミットと呼ばれる通信容量限界につながるピーク対平均電力比(PAPR)の低減効果を確認し、**JGN-X**の環境での伝送基礎実験に成功した。

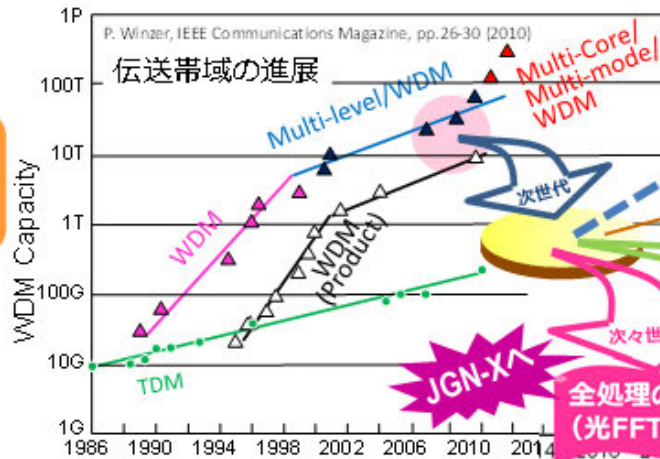
研究開発内容

欧州FP7

ASTRONプロジェクト

Adaptive Software Defined Terabit Transceiver for Flexible Optical Networks

国際共同研究



別の研究の流れ

電気的なアプローチの高速化高性能化

エラスティックNW (例: OFDM)

本研究成果

全処理の光化 (光FFT回路)

比較検討

ボトルネック部分の光化 (光AD変換)

選択

最適化マルチキャリアの創出によるブレークスルー

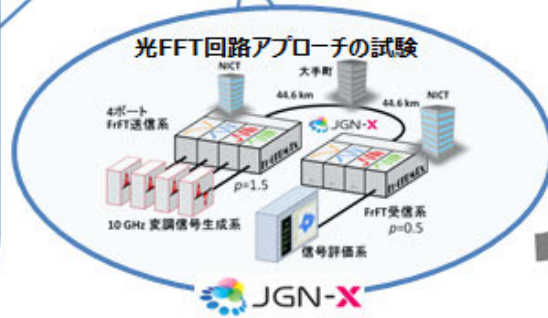
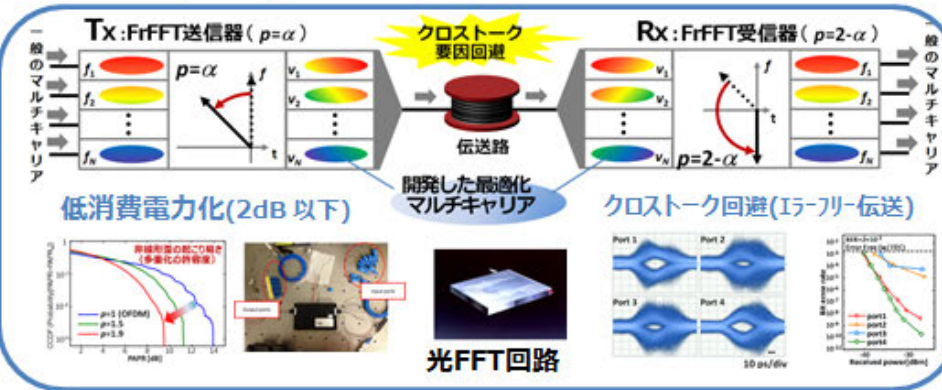
柔軟なネットワーク実現の物理基盤の創出

低消費電力化への新しいブレークスルー

展開・波及効果

- ・国際的な議論の枠組み
- ・周辺技術の活性化
- ・パイロダクトの実用化

成果と結果



研究開発の成果

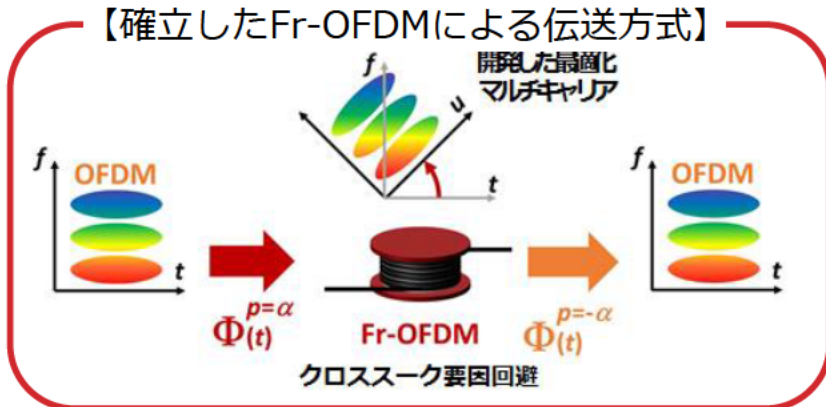
1) Fr-FTに基づくマルチキャリアの創出と新しい光OFDM技術の開発

光OFDMにおける非線形光学効果の影響による多重化数の制限を緩和するため、FTを拡張したフラクショナルフーリエ変換(FrFT: Fractional Fourier Transform)により実現される光フラクショナルOFDM(光 Fr-OFDM)技術を開発し、時間軸上で歪んだ波形成分を直交基底として用いてパルス形成の問題を避け、非線形光学効果による多重化数の制限の緩和に成功した。

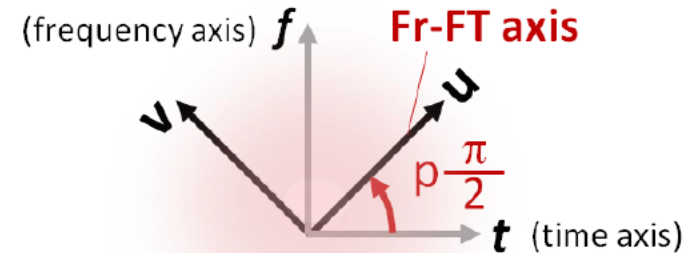
【従来のOFDMによる伝送方式】



【確立したFr-OFDMによる伝送方式】



【Fr-FTの原理】



【国際連携 (10件以上共著発表)】



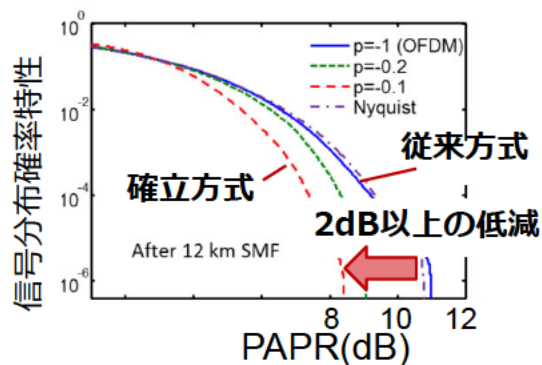
研究開発の成果

1) Fr-FTに基づくマルチキャリアの創出と新しい光OFDM技術の開発

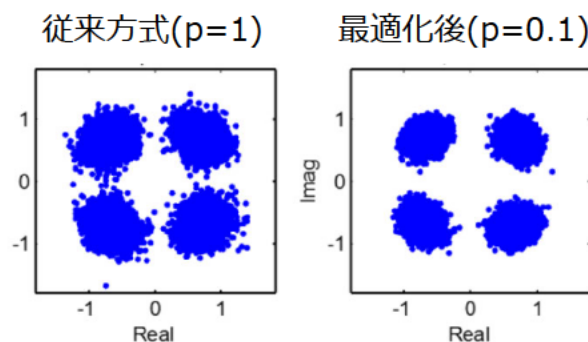
信号の直交性評価による分析に加え**クロストーク評価（Q値とコンスタレーション）**による分析を導入することにより、伝送路の状態と信号の劣化特性に応じてフラクショナルパラメータ p の値を最適化することにより**最適な信号軸の創出とその機能の確立に成功した**。同時に、**約2dB以上のPAPR低減効果**を確認した。

確立した伝送方式の原理と達成されるクロストーク低減効果

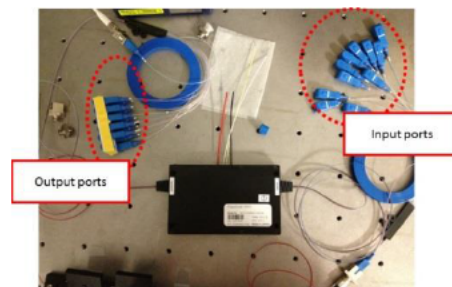
(a) 低消費電力化の効果



(b) 信号品質の比較



(c) 試作サブシステム



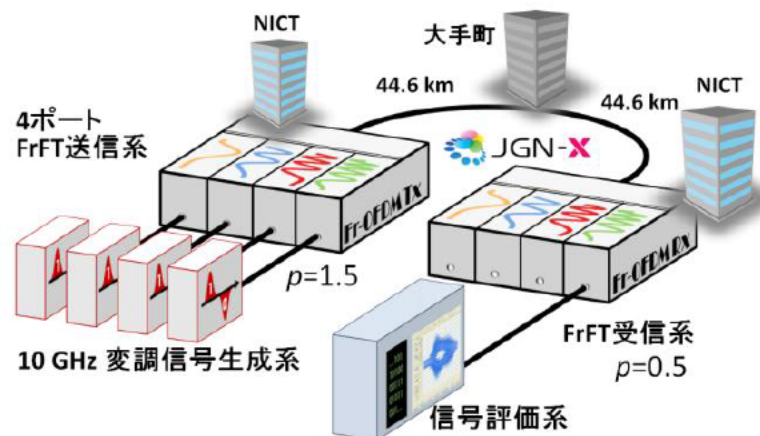
研究開発の成果

2) テストベッド試験：光Fr-OFDM方式による伝送実験

- ・ JGN-Xの仕様を念頭に日欧の検討結果の検証も含めた光PLC回路を用いた光Fr-OFDMサブシステムの試作を完了し、**ナイキストOTDM方式に対応する受信方式 ($p_{tx}=0.0592, p_{rx}=0$ の条件) によるテストベッドを用いた実験に成功。**
- ・ 欧州側との協調強化推進およびテストベッド環境での複数回の試験の成果として、光Fr-OFDM伝送方式の理論構築が格段に進展・確立。様々な条件での実験が可能なエミュレータ器開発にも成功し、**テストベッド環境での89.2 kmのエラーフリー伝送実験に結実 ($p_{tx}=1.5, p_{rx}=0.5$ の条件) 。**

JGN-X テストベッドによる伝送実験

(a)試験の概要 (89.2km伝送)



(b)実際の試験の様子



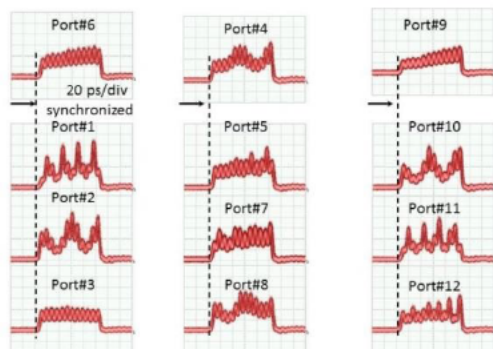
研究開発の成果

2) テストベッド試験：光Fr-OFDM方式による伝送実験

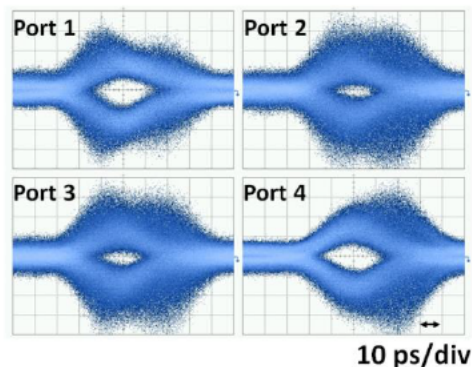
- ・ JGN-Xの仕様を念頭に日欧の検討結果の検証も含めた光PLC回路を用いた光Fr-OFDMサブシステムの試作を完了し、**ナイキストOTDM方式に対応する受信方式 ($p_{tx}=0.0592, p_{rx}=0$ の条件)** によるテストベッドを用いた実験に成功。
- ・ 欧州側との協調強化推進およびテストベッド環境での複数回の試験の成果として、光Fr-OFDM伝送方式の理論構築が格段に進展・確立。様々な条件での実験が可能なエミュレータ器開発にも成功し、**テストベッド環境での89.2 kmのエラーフリー伝送実験に結実 ($p_{tx}=1.5, p_{rx}=0.5$ の条件)**。

JGN-X テストベッドによる伝送実験

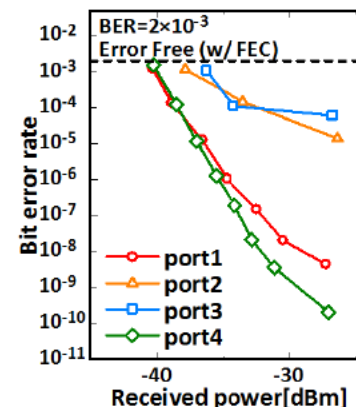
(d)サブキャリアのなまり特性



(e) DPSK受信信号



(f)エラーフリー伝送実験



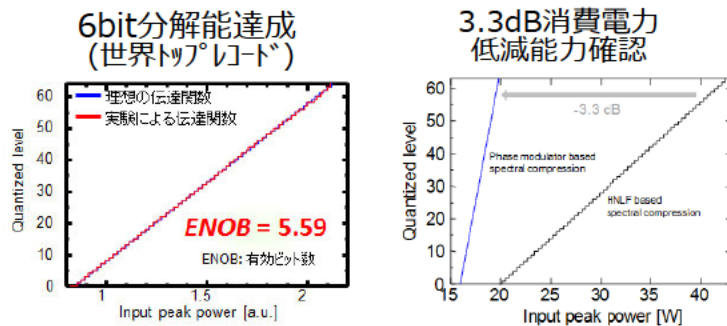
研究開発の成果

3) その他

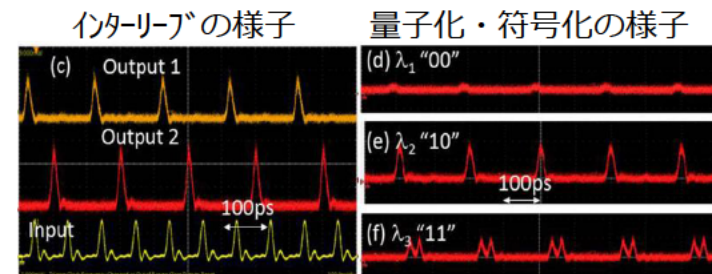
- ・新しい光OFDM伝送技術を具現化する技術として光A/D変換サブシステムの研究開発も並行して進め、参画機関間の連携実験として、**光量子化、符号化サブシステムをインターリーブサブシステムと接続して10GSps動作を実証。**
- ・参画機関間の連携実験として、集積化光A/D変換用PLC回路を試作し、目標の3ビットを超える4ビット相当の動作確認に成功。
- ・光FFT回路をベースとしたFR-FFTサブシステムの分散補償マネージメントにおいて、独自開発の波形モニタリングツールを導入することを念頭に、実際のJGN-Xを用いた**分散モニタリングツールがライセンス契約締結**。
 - ◆掲載・事業化：記者会見開催2015.4.23, 日経産業新聞2015.4.23, 日刊工業新聞2015.4.27, 大阪大学HP, ライセンス契約締結

光A/D変換サブシステムの成果例

(a) 光量子化部分の性能向上



(b) インターリーブ実験例 (10G→5Gx2)



今後の展開・波及効果創出

【展開事例】

① 国際的な議論の枠組みの形成と展開

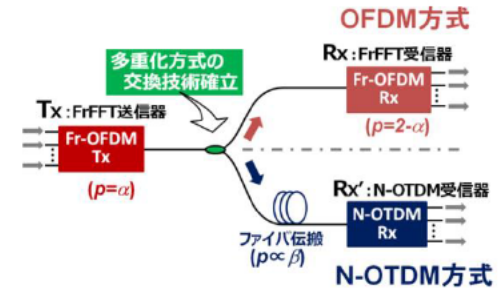
多重化技術の柔軟性に関する国際的な議論の枠組み形成が現在活発化。本研究開発の成果は、この中核を担う技術の一つと評価。今後、得られた成果と国際的な連携の更なる展開を計画。

② 研究開発成果の周辺技術からの実用化

本研究開発の成果を応用展開のフラッグシップとしてその活用意義を積極的に広報。国際特許化からライセンス契約へ周辺派生技術からの展開。今後、白書（ITU-D）などを通じた計測器における標準化の推進も検討。

③ 実応用への展開・貢献（光A/D変換技術）

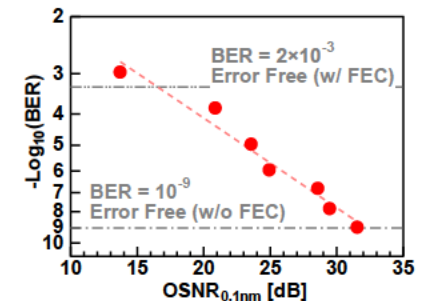
光A/D変換技術は、通信の振幅位相変調信号をはじめとした信号検波の基本的な機能であり、通信用途以外にも電波望遠鏡やレーダーをはじめラダー(LADAR: LAsER Detection And Ringing)により距離計測信号分解能の向上への貢献などリモートセンシングなどの計測技術への応用が期待。



例：多重化方式間の交換技術の展開



例：光信号モニタリング技術の商品化



例：振幅位相変調信号への適用展開

まとめ 研究開発の成果の全体イメージ

本研究では、クロストーク分析に基づく伝送路に最適なマルチキャリアの創出を欧州の研究者と協調して試み、Fractional FFTに基づく光FFT回路による展開とA/D変換の光化の二つの有望な具現化アプローチの比較研究の結果、最終的により安定して高い性能が得られた前者を選択し、**JGN-Xの環境での実証・検証を行った。その結果、硬判定の誤り訂正技術を前提としたエラーフリー伝送に成功し、主たる実施目標を達成した。**これらの成果は、現在活発化している多重化技術の柔軟性に関する国際的な議論の枠組み形成の一躍を担った。今後、得られた成果と国際的な連携の更なる効果的な展開を図っていく。また、特許戦略とそのビジネス展開について、本研究開発の成果を契機に**周辺派生技術からの展開を積極的に図り、一部技術について実用化に成功した。**

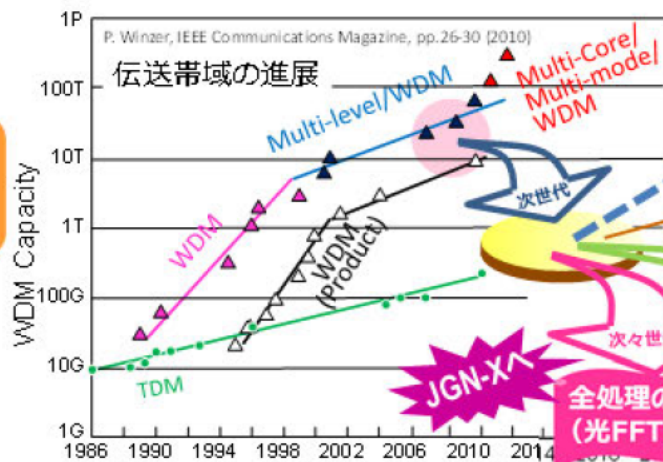
研究開発内容

欧州FP7

ASTRONプロジェクト

Adaptive Software Defined Terabit Transceiver for Flexible Optical Networks

国際共同研究



別の研究の流れ

電気的なアプローチの高速化高性能化

エラスティックNW (例: OFDM)

本研究成果

全処理の光化 (光FFT回路) 比較検討 ホットルック部分の光化 (光AD変換)

最適化マルチキャリアの創出によるブレイクスルー

光FFT回路アプローチの試験



柔軟なネットワーク実現の物理基盤の創出

低消費電力化への新しいブレイクスルー

展開・波及効果

- 国際的な議論の枠組み
- 周辺技術の活性化
- パイロダクトの実用化

成果と結果

