

研究開発課題名： (111510001)
**光周波数同期フォトリックネットワークの概念実証と
当該ネットワークにおける高コヒーレンス光通信技術の研究開発**

研究期間：平成23年度－平成25年度 (3年間)

2014年10月7日 (火)

研究代表者

古賀 正文 大分大学



分担研究者

**高田 篤 徳島大学
水鳥 明 大分大学**



研究背景と研究開発概要

1. 研究の背景

通信トラフィック需要の伸びは留まるところを知らず、伝送容量の拡大に関わる研究開発は持続的挑戦課題と認識されている。2030年にはEXA-bit/s Classの光ネットワークが必要とされている。これには、3桁の容量拡大を可能とする革新性のある光通信技術の創出が必要である。消費電力増加を最小限に抑える技術であることも時代の要請である。

高速デジタル信号処理に基づくデジタルコヒーレント光通信が現在の推進力になっているが、その次の世代を担う技術は未知の状態にある。

本研究は、未知の状態の一翼を担うべく、光源のコヒーレンスを可能な限り高め、その結果可能となる光通信におけるSNR限界を明らかにし、3桁容量拡大の課題と消費電力問題へ貢献することを目的としたものである。

2. 研究開発概要

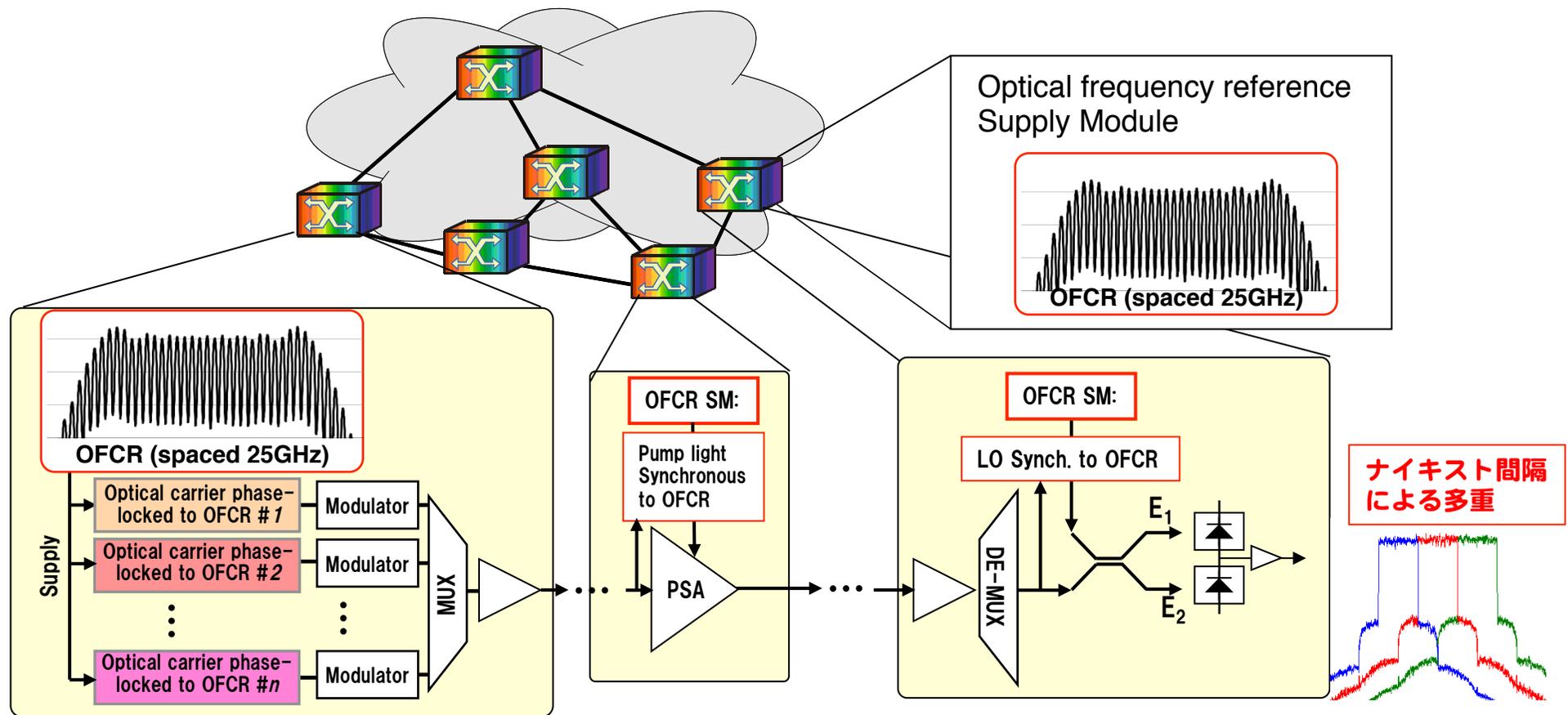
我々はシステム全体の光周波数が同期して動作するフォトニックネットワークを光周波数同期フォトニックネットワークと称して、その概念を提唱している。光周波数同期フォトニックネットワークの概念の下でコヒーレンスの高い光キャリアを用いてSNRの限界を追求し、

- ①受信感度を高めるホモダイン検波の実証、
 - ②位相再生型励起光による位相感応光増幅(PSA)の実証、
 - ③搬送波位相同期伝送系による伝送性能向上の明確化（紙面の都合上割愛）、
- を行った。

光周波数同期網概念構成

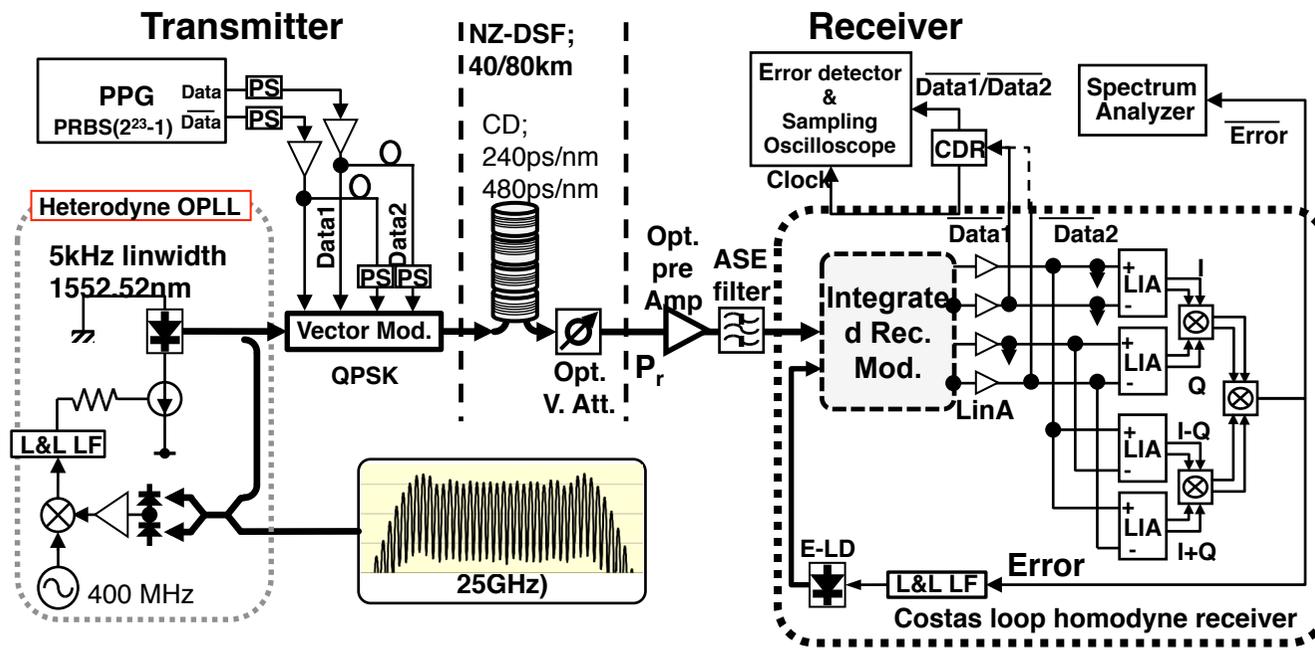
光周波数コム基準(OFCR)に伝送光キャリアが同期することにより、光周波数の絶対確度が高まるだけでなく、その位相揺らぎも抑えられるので、コヒーレンスの高い光キャリアを実現できる。高コヒーレンス光キャリアによる伝送では、矩形ナイキスト帯域間隔で多重できる稠密波長多重が可能となるだけでなく、ホモダイン検波やこれまで実現できなかった位相感応光増幅(PSA)への展開が可能となる。

このようにOFCRをフォトニックノードに備え、フォトニックネットワーク内の光キャリアがOFCRに周波数同期して通信を行う形態を光周波数同期網と呼んで、概念提案を行っている。

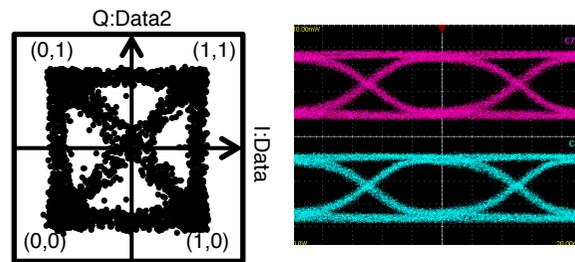


① 20Gbit/s QPSK 信号100kmファイバ伝送に成功

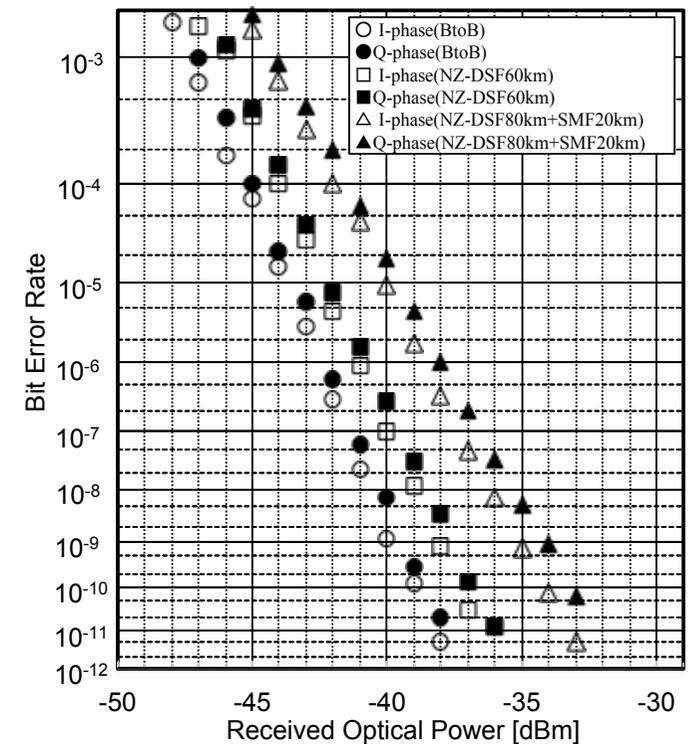
Costas loopに必要な加減算、乗算回路がすべてDigital回路にて構成できる方式を考案し、安定で高感度な20Gbit/s QPSK変調信号ホモダイン受信を達成した。100km光ファイバ伝送実験を行ったところ、誤り率が 10^{-3} までSNRが劣化しても十分安定なホモダイン検波が可能であった(右図)。デジタルコヒーレント処理の負荷軽減の一助となるだけでなく、PSAにおける実用的励起光位相再生へと展開できる。光QPSK信号のホモダイン検波伝送は世界的に見ても初めての実証例となる。



(a)実験系の構成



B-to-B(Pin=17dBm)

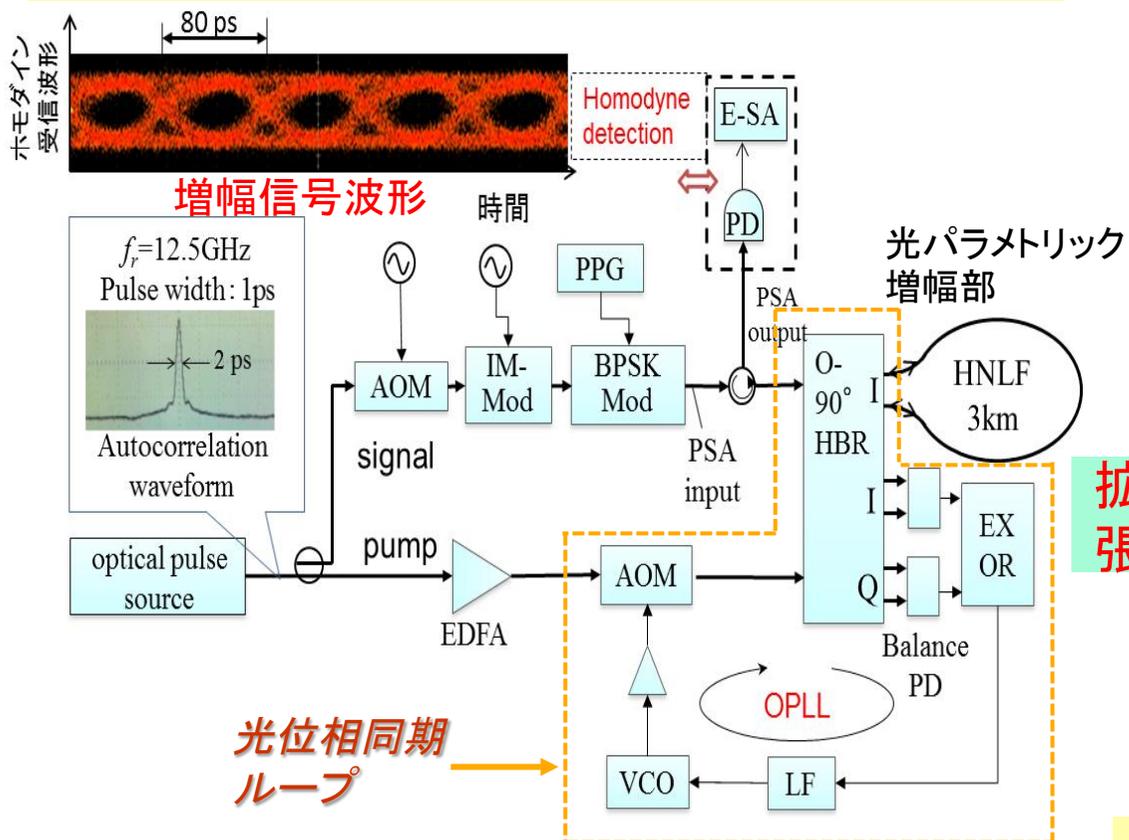


光ファイバ伝送実験結果

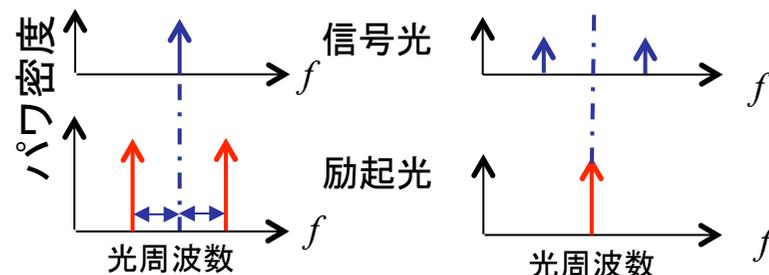
②位相同期ループ回路を用いたPSK信号の位相感応型光増幅に成功

光増幅中継器を位相感応型増幅(PSA)にすると増幅時の波形整形効果により、信号品質が向上する。PSAに必要な励起光の位相同期を、光位相同期ループ回路を用いて初めて成功した。

光位相同期ループ適用縮退光パラメトリック増幅型PSAによるBPSK信号のPSA増幅に成功

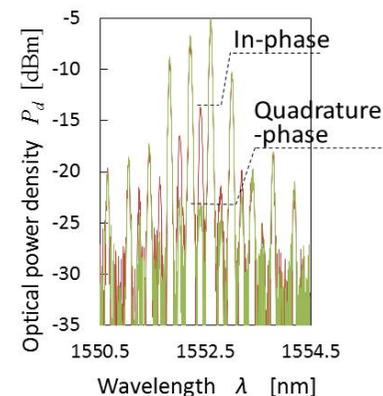
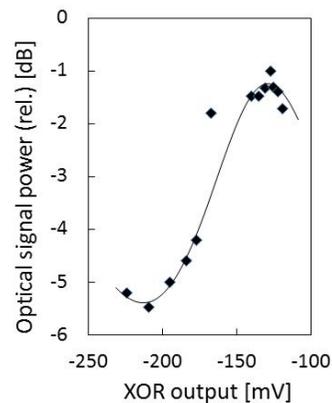


QPSK信号/マルチキャリア信号の増幅も可能な非縮退光パラメトリック増幅型PSAに対する位相同期ループ回路の適用可能性を示した。



2波長励起型波長配置

非縮退型波長配置



ループ回路パラメータによる励起光位相/利得を制御

今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

研究開発成果の展開：

- ① Costas Loop ホモダイン検波技術のM-ary QAMへの一般化展開。
- ② 励起光位相再生型QPSK信号PSA実現。
- ③ 搬送波位相同期伝送系における非線形ひずみに対するDSP補償。

波及効果創出：

- ① 光源の高コヒーレンス化ならびにPSA技術は、その後に公募された課題「光周波数・位相制御光中継伝送技術の研究開発」へと波及した。
- ② 光PLL技術は光周波数確度の高い測定技術へと波及させてゆく予定である。

まとめ

1. 提案した光周波数同期フォトニックネットワークの概念が普及すれば、1MHz以下の高い精度で搬送波を多重できることになる。結果として、ナイキストフィルタの間隔で稠密な波長多重化が可能となり、光ファイバにおける周波数利用効率は真の意味での理論限界を達成できることになる。
2. 実現が困難とされたホモダインコヒーレント検波がこの概念の下では可能であることを実証した。
3. 無雑音増幅が原理的に可能であり、かつ波形整形効果のある位相感応光増幅における位相再生制御の可能性を大きく拡大できたことにより、位相感応増幅の実用性を高めたと言える。
4. 本研究課題の成果は、普及が進むデジタルコヒーレント通信技術が抱える膨大なDSP処理負荷の課題に解を与えることが期待できる。