

平成26年度「光周波数・位相制御光中継伝送技術に関する研究開発」

課題A 高精度光周波数・位相同期制御技術 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 三菱電機株式会社(代表研究者)、国立大学法人大分大学
- ◆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183百万円(編成26年度50百万円)

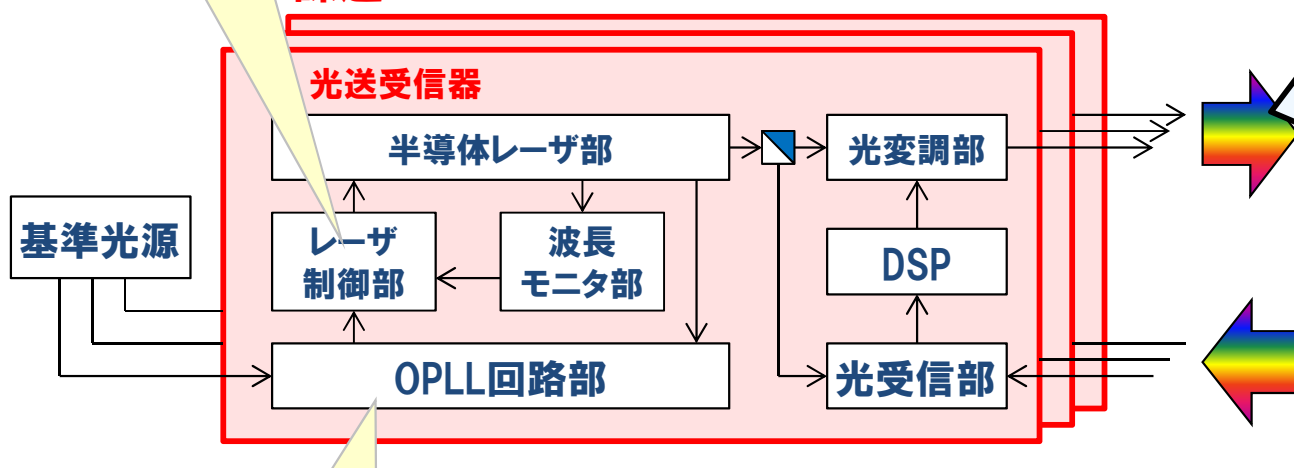
2. 研究開発の目標

・Nyquist Filteringを用いたマルチキャリア光パスネットワークにおいてネットワーク機能性を高めつつスケーラビリティ(パス容量、伝達距離)を向上させるために、周波数利用効率の向上、高速リストレーションを揃って可能とする高精度光周波数・位相同期制御技術の研究開発を行う。

課題A-1 高精度光周波数制御技術の研究開発 (三菱電機)

- ◆ 高精度光周波数安定化制御方式 → **高安定化**
- ◆ スペクトル線幅狭窄方式 → **狭線幅化**
- ◆ 高速光周波数スイッチング制御方式 → **高速周波数切替**

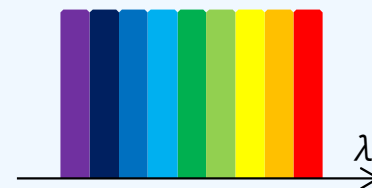
課題A



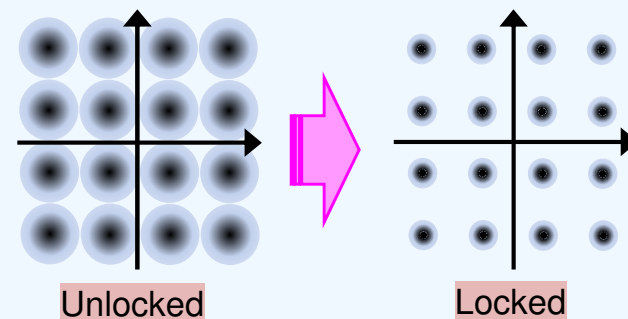
課題A-2 位相同期制御技術の研究開発 (大分大学)

- ◆ Digital Optical Phase Locked Loop 回路方式
 - ◆ 外部基準光源を用いたスペクトル線幅狭窄・高精度安定化
- **高安定化**
狭線幅化

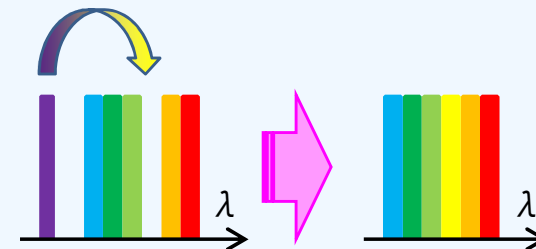
高安定化 ⇒ 稠密配置(パス容量増大)



狭線幅化 ⇒ SN比向上(伝送距離延伸)



高速周波数切替 ⇒ 高速リストレーション



平成26年度「光周波数・位相制御光中継伝送技術に関する研究開発」

課題A 高精度光周波数・位相同期制御技術 の研究開発目標・成果と今後の研究計画

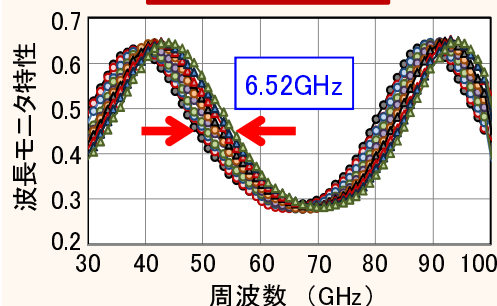
3. 研究開発の成果

課題A-1 高精度光周波数制御技術の研究開発 高精度光周波数安定化制御方式

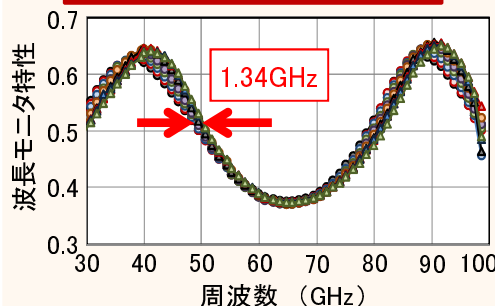
サブキャリアの稠密周波数配置による周波数利用効率の向上の為には各サブキャリアの高安定化が必要であり、高精度光周波数モニタ技術が必須。

- 光周波数のモニタに複数光線を用い、周囲環境の影響を低減する方式を検討。
- 光周波数検出精度を従来の約5倍に向上できることを原理検証実験で確認。

従来の波長モニタ



複数光線を用いた波長モニタ

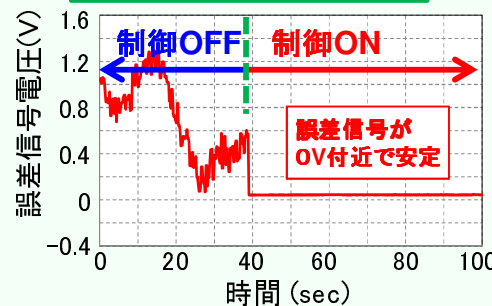


課題A-1 高精度光周波数制御技術の研究開発 スペクトル線幅狭窄方式

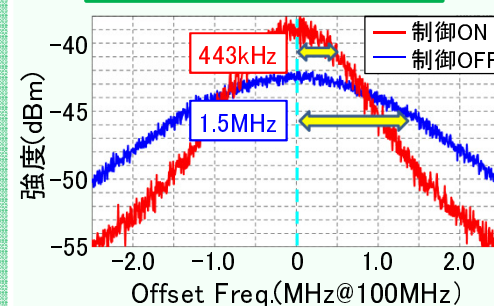
スペクトル線幅の狭窄化は、シンボル間のSN比を改善し伝送距離延伸に繋がる。

- 強度変動に変換した周波数変動と光源強度変動の差を一定とするフィードバック制御によるスペクトル線幅の狭窄方式を検討。
- 原理実証実験により線幅狭窄効果を確認。

制御OFF/ON時の誤差信号



制御OFF/ON時の光源線幅

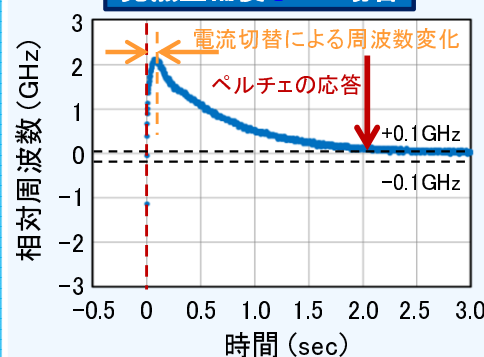


課題A-1 高精度光周波数制御技術の研究開発 高速光周波数スイッチング制御方式

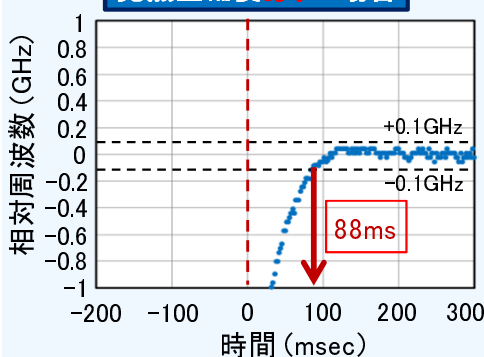
空き光周波数グリッド有効利用のために高速光周波数スイッチング操作が必要。

- LD電流操作と発熱量補償により光周波数をスイッチングする方式を検討。
- 原理検証実験にて特定の波長まで100msec以下の時間で周波数収束を確認。

発熱量補償なしの場合



発熱量補償ありの場合

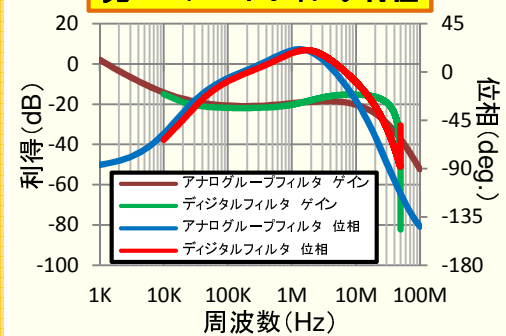


課題A-2 位相同期制御技術の研究開発

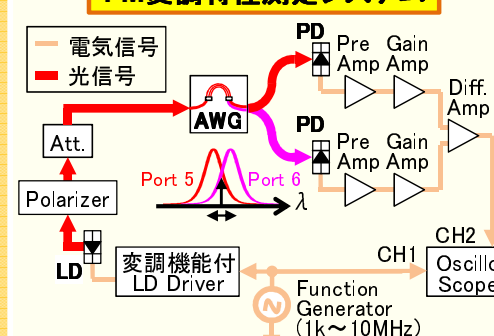
位相同期制御技術の要素技術の設計検証を実施

- デジタル光PLL積分特性をIIRフィルタ、ローパス特性をFIRフィルタのそれぞれを低次数で構成するデジタルループフィルタを設計し、これまでに光PLLを実現しているアナログループフィルタと同等な周波数特性を得た。
- AWGを用いたFM変調特性の測定システムを構築。

光PLLループフィルタ特性



FM変調特性測定システム



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 中継伝送技術に関する 研究開発 課題A	4 (4)	1 (1)	0 (0)	4 (4)	0 (0)	2 (2)	0 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

(1) OCS研究会パネル展示

- ・静岡県三島市で開催されたOCS研究会(2014/12/11～2014/12/12)で研究の背景および目標と取り組みについてパネル展示を行った。
- ・デジタルコヒーレント通信を可能とした信号処理技術に加えて、光の通信技術向上から“**周波数利用効率・伝送距離の積(SDP)が2倍以上になる伝送能力の実現**”を目標に掲げ、光源と中継アンプの高性能化に寄与する技術開発を行っていくことを説明。
- ・課題Aの目標は、高精度光周波数安定化制御方式、スペクトル線幅狭窄方式、高速光周波数スイッチング制御方式を開発し、**高精度光周波数制御技術**の確立と、外部基準光または外部観測手段との連携動作によるデジタル光位相同期回路方式を開発し、**位相同期制御技術**を確立と説明。

(2) 国内外学会発表

- 2014/2/11 “DSP-based Optical Modulation Technique for Long-haul Transmission” Photonics West 2015
- 2014/3/11 “複数光線を用いたチューナブルLD用波長モニタの実装トレランス拡大” 電子情報通信学会総合大会
“波長チューナブル光源における高速波長切替技術の検討” 電子情報通信学会総合大会
- 2014/3/13 “波長可変LDの線幅狭窄化に向けた検討” 応用物理学会春季学術講演会

5. 今後の研究開発計画

・課題A-1 高精度光周波数制御技術の研究開発

高精度光周波数制御技術を実現する高精度光周波数安定化制御方式、スペクトル線幅狭窄方式、高速光周波数スイッチング制御方式のそれぞれの要素技術に関して試作・検証行い、光周波数安定性 $\pm 100\text{MHz}$ 以下、スペクトル線幅 100kHz 以下、 100msec 以下の光周波数スイッチング(1.25THz 範囲)のそれぞれの目標達成の見通しを確認する。

平成28年度に予定している課題A-2との連携実験で用いる高コヒーレンシ光源のプロトタイプ製作に向け、光源制御とDigital OPLLのインターフェースの確認も要素技術試作の中で行っていく。

・課題A-2 位相同期制御技術の研究開発

平成26年度に構築したFM変調特性測定システムを用いて、課題A-1にて試作する光源モジュールのFM変調特性を測定する。一次試作したFPGAによるデジタル化ループフィルタを適用し、周波数引き込み範囲の検証と位相同期による線幅狭窄性能を評価すると共に、波長スイッチングによる影響を調査する。局発光を信号光に位相同期させるホモダイン検波方式を実現するためのアルゴリズムを組みその性能評価と、QPSK信号の位相検出に必要なCOSTAS回路の性能改善を行い、デジタル化ループフィルタの性能向上を進めていく。