

1. 研究課題・実施機関・研究開発期間・研究開発予算

- ◆ 課題名 : 高精度光周波数・位相同期制御の研究開発
- ◆ 個別課題名 : 課題A 高精度周波数・位相同期制御技術
- ◆ 副題 : 周波数利用効率の向上・高速リストラクションを揃って可能とする高コヒーレンシ光源技術
- ◆ 実施機関 : 三菱電機株式会社、国立大学法人大分大学
- ◆ 研究開発期間 : 平成26年度～平成29年度 (4年間)
- ◆ 研究開発予算 : 総額183百万円 (平成27年度47百万円)

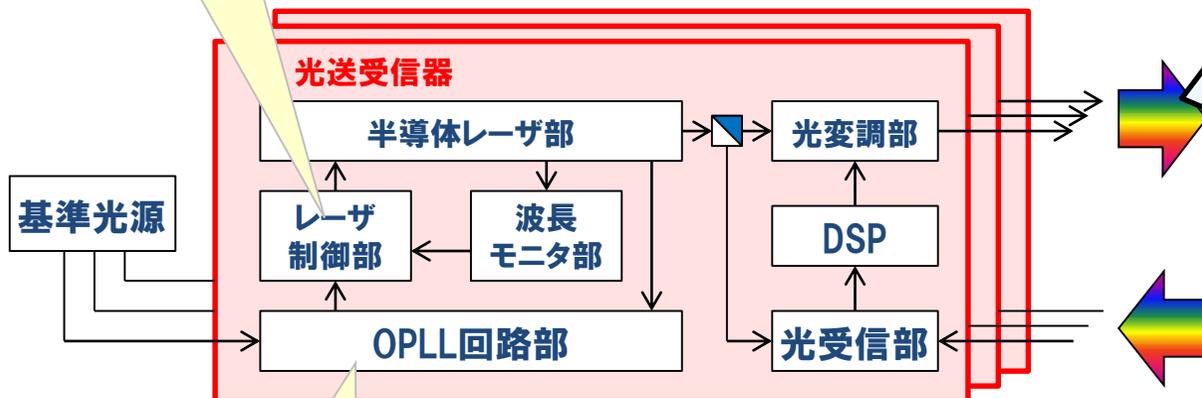
2. 研究開発の目標

・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、高速リストラク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**

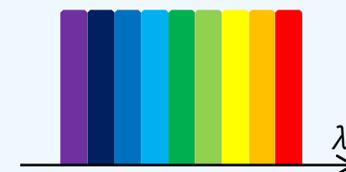
課題A



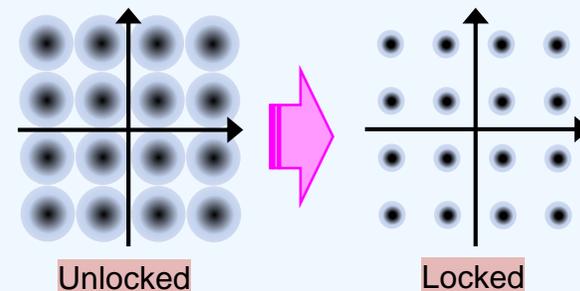
課題A-2 位相同期制御技術の研究開発 (大分大学)

- ◆ 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

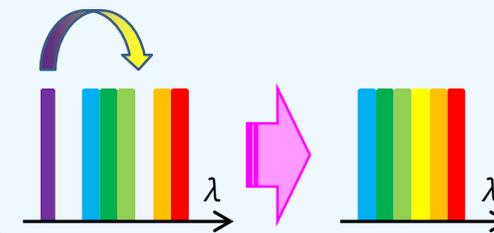
高安定化 ⇒ 稠密配置 (パス容量増大)



狭線幅化 ⇒ SN比向上 (伝送距離延伸)



高速周波数切替 ⇒ 高速リストラクション



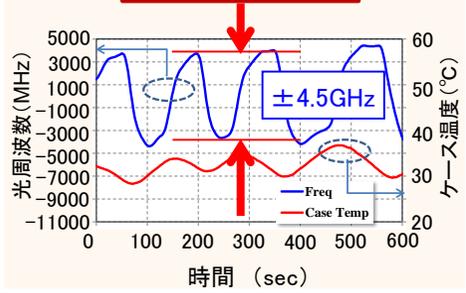
3. 研究開発の成果

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

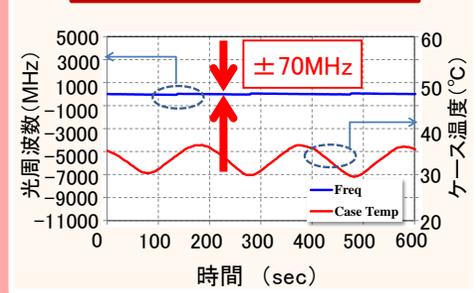
サブキャリアの稠密周波数配置による周波数利用効率の向上の為に各サブキャリアの高安定化が必要であり、高精度光周波数モニタ技術が必須。

- 光周波数のモニタに複数光線を用い、検出精度を従来の約5倍に向上。
- レーザ光源注入電流に光周波数変動量をフィードバックすることで波長を高安定化。
- 光周波数安定性の目標値である $\pm 100\text{MHz}$ 以下を達成可能な見通しを得た。

環境温度補償のみ



環境温度補償+LD電流制御

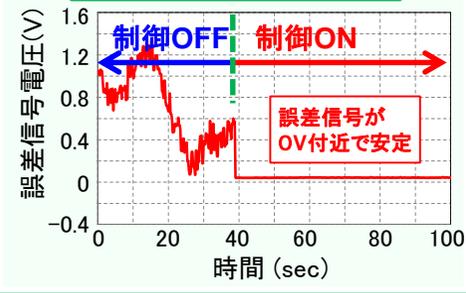


課題A-1 高精度光周波数制御技術の研究開発 スペクトル線幅狭窄方式

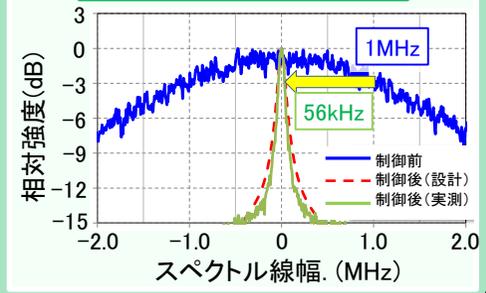
スペクトル線幅の狭窄化は、シンボル間のSN比を改善し伝送距離延伸に繋がる。

- 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。
- シミュレーションと原理実証実験により線幅狭窄効果を確認。
- スペクトルの線幅目標値である 100kHz 以下を達成可能な見通しを得た。

制御OFF/ON時の誤差信号



制御OFF/ON時の光源線幅

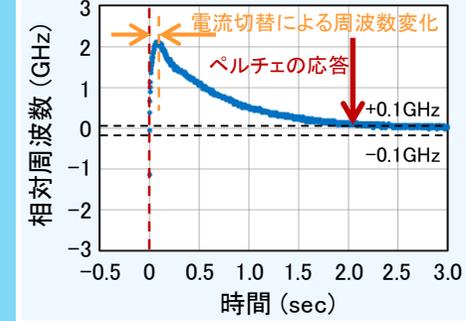


課題A-1 高精度光周波数制御技術の研究開発 高速光周波数スイッチング制御方式

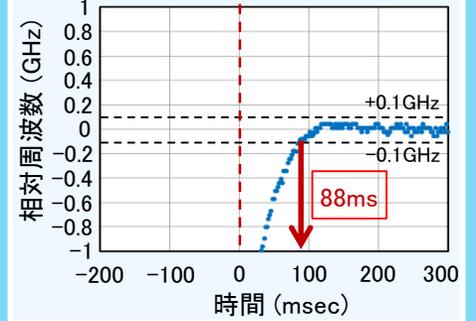
空き光周波数グリッド有効利用のために高速光周波数スイッチング操作が必要。

- LD電流操作と発熱量補償により100msec以下で光周波数スイッチングを確認。
- DFBアレイLDを用い、LDの選択と発熱量補償による制御を併用することで、1.25THzの周波数範囲で100msec以下で周波数スイッチングを達成可能な見通しを得た。

発熱量補償なしの場合



発熱量補償ありの場合

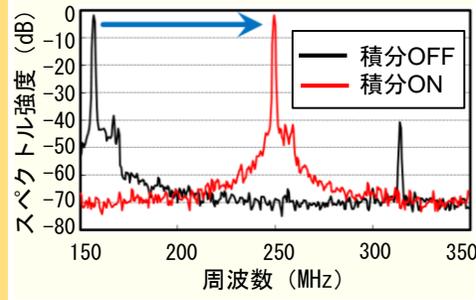


課題A-2 位相同期制御技術の研究開発

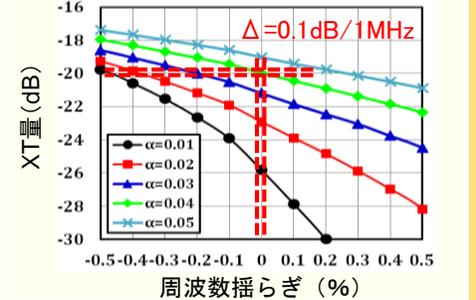
位相同期制御技術の要素技術の設計検証を実施。

- OPLL-FPGAボードを試作し、離調周波数-93MHz~+20MHzの範囲からの光周波数自動引込に成功。
- 稠密配置多波長伝送時のクロストーク(XT)量を検討し、ガードバンド無・ロールオフファクタ係数 $\alpha=0.04$ の条件下で、キャリア周波数揺らぎを100MHz時から1MHzにすることで、XT量増大を+5dBから+0.1dBiに抑圧できることを確認。

周波数自動引込



XT量見積もり



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	3 (0)	1 (0)	0 (0)	26 (21)	0 (0)	3 (2)	0 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

(1) 課題153との連携実験

- ・試作中の高精度光周波数安定化光源を用い、先行するプロジェクト 課題153 光トランスペアレント伝送技術の研究開発(入リーチ)と連携し、伝送能力確認を行い、課題153の最終成果デモンストレーションで動態展示を行った。
- ・高精度光周波数安定化光源から出力したDC光を課題153ア及びイで開発した200Gb/sデジタルコヒーレントトランスポンダに入力して変調し、JGN-Xの光ファイバ216kmとNICT小金井の110棟に設置された300kmの光ファイバを利用して伝送距離を変更しながら伝送実験を行った。
- ・伝送距離に合わせて光変調方式を切り替え、QPSK変調で500km超、16QAMで200km超伝送させ、実用的な信号Q値が得られることを確認した。

(2) 国内外学会発表

- 2015/7/1 “Fast Wavelength Switching with DFB Lasers Utilizing Thermal Compensation” OECC2015
- 2015/7/2 “A Highly Stable Multi-beam Wavelength Monitor for Wavelength-stable Tunable Lasers” OECC2015
- 2015/9/9 “高精度光周波数・位相同期制御技術” 電子情報通信学会ソサイエティ大会
- 2015/9/30 “Wavelength-tunable Dual-output Laser Module with Rear-side Wavelength Monitor for Micro-ITLA” ECOC2015

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を実装した光源装置を試作し、光周波数安定性 $\pm 100\text{MHz}$ 以下、スペクトル線幅 100kHz 以下、 100msec 以下での光周波数スイッチング(1.25THz 範囲)の性能目標を揃って達成することを確認してゆく。

課題A-2と連携して実験を行い、光源装置とOPLLを接続して動作確認するとともに性能評価する。
平成29年度に予定している課題Bと連携した伝送能力実証実験を構想すると共に準備を進めてゆく。

・課題A-2 位相同期制御技術の研究開発

平成27年度に課題A-1にて開発された光源モジュールにOPLL用デジタル制御ループフィルタを適合化完了させる。

課題A-1との連携実験を行い光源スペクトルを外部基準光源に位同期させる動作を確認するとともに性能評価し、光周波数安定度が $\pm 1\text{MHz}$ 以下を達成することを確認してゆく。