

1. 氏名	横田 信英
2. 所属機関	東北大学 電気通信研究所
3. 研究題目	デジタルコヒーレント光通信に向けた省電力狭線幅多波長光源の開発

4. 研究の目的:

高度情報化社会の発展に伴い光通信トラフィック量は爆発的に増大している。この問題に対処するため、長距離かつ大容量の光通信を実現するデジタルコヒーレント光通信方式が精力的に研究されている。本方式では位相ノイズの小さい狭線幅多波長光源が必要とされ、消費電力・コスト面や利便性などの観点から単一の狭線幅レーザと光周波数コム発生法の組み合わせによる光源構成が重要視されている。制御の自由度が高く簡便な単側波帯(SSB)変調に基づく光周波数コム発生(SSBコム)は魅力的であるが、図1(上)に示すように、コムスペクトルの広帯域化につれてノイズレベルが増加するため、広帯域化とキャリア対ノイズ比(CNR)の間にトレードオフ関係が存在する。このため、広帯域をカバーするデジタルコヒーレント光通信用の光源として用いることは困難であった。

本研究では図1(下)に示すように、波長多重シード光と半導体レーザの注入同期法を組み合わせた独自のアイデアによって上記のトレードオフ関係を打破し、狭線幅多波長光源を省電力かつ低コストで実現するための基盤技術を開拓することを目的とする。

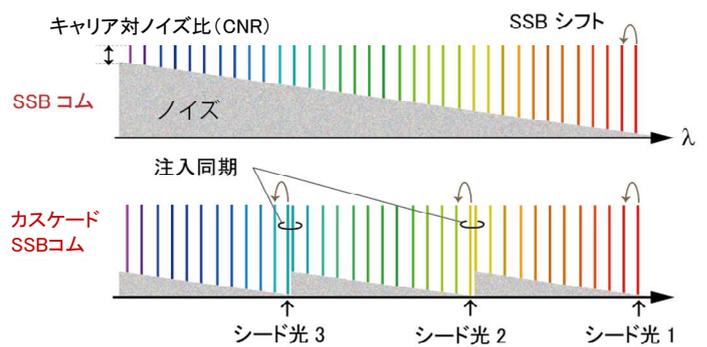


図1 SSBコムスペクトル

5. 研究の内容(手法、経過、評価など。書ききれない場合には、同一様式のページを追加してください。):

提案手法の原理検証を行うため、図2に示す実験系を構築した。シード光1と2に相当する光源として、狭線幅レーザと分布帰還型(DFB)レーザを用いた。ファイバ型のSSB変調帰還ループ内においてSSBコムが生成されるが、ループ内の光損失を補償するために用いる光ファイバ増幅器が自然放出光ノイズを発生し、ループ数が増大するにつれて蓄積されるため、これが図1で示したSSBコムのノイズレベルを増大させる要因となる。そこで本ループ内にノッチ型の反射特性を有するファイバブラッグ回折格子(FBG)を挿入しており、これによって帰還ループ内で蓄積される自然放出光ノイズを抑制すると共に、反射されたSSBコム成分をDFBレーザに注入することで、狭線幅レーザをシード光としたSSBコムにDFBレーザをシード光としたSSBコムを同期させる。同期の有無を評価するため、光スペクトラムアナライザを用いて2つのSSBコムスペクトルがシームレスに接続されることを確認した。また、遅延自己ヘテロダイン法によってDFBレーザと狭線幅レーザのスペクトル線幅を比較した。ここで、分岐したレーザ光の片方を周波数シフタによって100 MHzシフトし、遅延は20 kmの光ファイバを用いた(測定分解能5 kHzに相当)。注入同期状態において、カスケード接続されたSSBコムのCNRを光スペクトルから評価した。

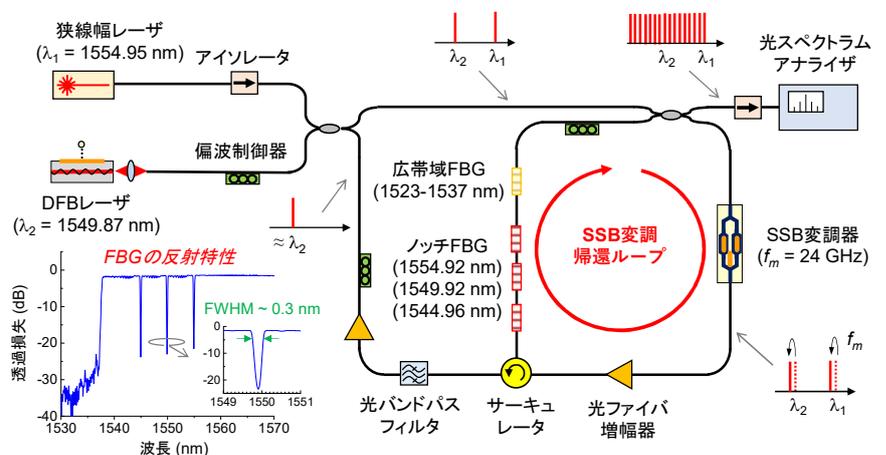


図2 実験系の構成

6. 研究の成果と結論、今後の課題:

本研究で提案した SSB コムの測定結果を図 3(a)に示す。波長 1550nm 付近においてノイズレベルが低下しており、狭線幅レーザに注入同期した DFB レーザの発振波長(1549.87 nm)とノッチ FBG が高反射率となる波長(1549.92 nm)に対応していることがわかる。また、SSB 変調器の変調周波数(24 GHz)に一致する周波数間隔で SSB コムスペクトルが並んでおり、不連続が観測されない。これは注入同期に起因した引込効果によるものであり、期待通りの注入同期が得られていることがわかる。比較のため、単一のシード光(狭線幅レーザ)を用いた従来手法に基づく SSB コムの測定結果を図 3(b)に示す。この場合は、本研究と異なり、長波側から短波側まで連続的にノイズレベルが上昇していることがわかる。SSB コムスペクトルの各コム成分に対する CNR の関係を図 3(c)に示す。カスケード SSB コムは従来の SSB コムと比較して最大で 15.4 dB の CNR 改善が得られていることがわかる。カスケード接続するシード光の数を増大させることで、同様の CNR 改善が得られるコム成分が増大するので、スペクトル全体として更なる CNR の改善が期待できる。

図 3(d)は遅延自己ヘテロダイン法によって測定した DFB レーザ(SSB コムのシード成分)のビートスペクトルであり、周波数シフト(100 MHz)に一致する周波数がピークとなっている。スペクトルの広がりにはレーザの位相ノイズに起因し、DFB レーザの単体動作(フリーラン)の場合は 15 MHz の広い線幅を有している。一方、注入同期時にはスペクトル線幅が 105 kHz まで低減されており、これは位相ノイズの小さい狭線幅レーザに同期したことによるものと考えられる。同様に狭線幅レーザのスペクトルと比較した結果を図 3(e)に示す。両スペクトルの形状が一致していることから、狭線幅レーザをシード光とした SSB コムを通じて DFB レーザを注入同期できていることが確認でき、SSB コムをカスケード接続する基本概念が検証できたと言える。

以上のように、本研究で提案したカスケード SSB コムを用いることによってコムスペクトルの広帯域化と CNR の維持を両立可能であることがわかった。帰還ループ内に蓄積される自然放出光ノイズを抑制するために有効な光バンドパスフィルタを導入することで CNR は更に改善できる見込みである。また、シード光の更なる多重化を簡便に実現するため、今後は半導体レーザアレイなどの集積デバイス構造の導入を検討する予定である。

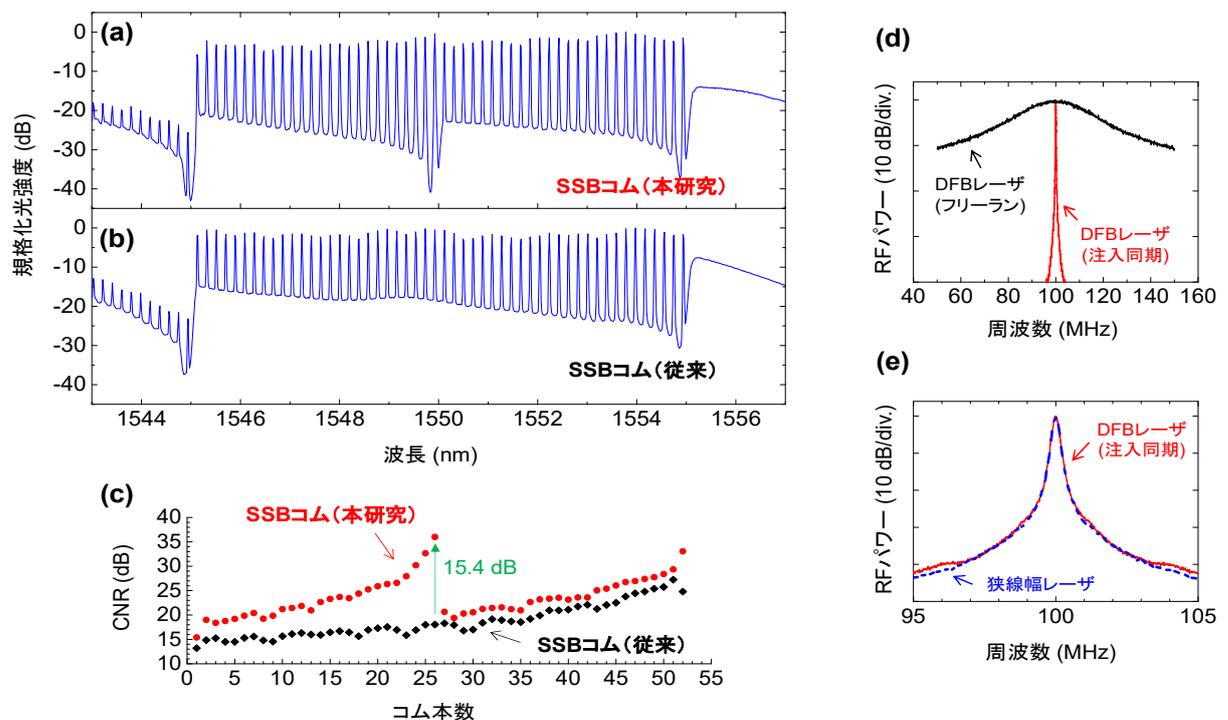


図 3 (a) 提案手法による SSB コム、(b) 従来手法による SSB コム、(c) 各コムの CNR、(d) 注入同期前における DFB レーザのビートスペクトル、(e) 注入同期時の DFB レーザと狭線幅レーザのビートスペクトル

7. 成果の価値

7.1_学術的価値:

一般的に、波長多重した種光源によって波長多重光周波数コムを生成することは容易であるが、それらを相互に同期し、広帯域な光周波数コムに変換することは困難である。本研究では、SSB 変調法が周波数軸上で一方方向に光周波数コム発生する点と半導体レーザの注入同期現象に着目し、光ファイバ素子を駆使することで波長多重光周波数コムの同期を簡便に実現する点で学術的意義を有する。SSB 変調法はスペクトルの平坦性を得るための指針が明確で、コムの周波数間隔を容易に制御でき、汎用的な光学素子のみで構成することが可能であるため、産業的応用に限らず研究室等で用いるための高品質な光周波数コム光源としても普及が期待され、光周波数コム技術をベースとする研究開発の加速が期待される。

7.2_社会的価値:

近年のインターネットトラフィック量は年率 30%で急激に増大しているが、ブロードバンドサービスの契約者数は飽和しているため、通信事業者は通信の大容量化だけでなく、低コスト化や省電力化(維持費の低減)を両立することが不可欠となっている。本研究はこのような挑戦的ニーズに応えるための新しいアイデアに基づく取り組みであり、生活を豊かにする情報サービスをリーズナブルな価格で利用し続けるためのハードウェア技術基盤の創出に貢献するものである。また、光周波数コムの信号対ノイズ比を向上することは光計測応用における検出感度の向上や、高効率なミリ波・テラヘルツ波発生技術にもつながるものであり、社会的価値のある学術研究を促進するためのツールとして貢献することも期待される。

7.3_研究成果:

研究論文を投稿準備中

(N. Yokota and H. Yasaka, "Cascaded SSB comb generation using injection-locked seed lasers")