

## M-26

## PCF を用いた超高帯域スーパーコンティニューム光のコヒーレンス劣化の検討

Study on Coherence Degradation of Widely Broadened Supercontinuum Generation for WDM System Using PCF

藤野学<sup>1</sup>, 大谷昭仁<sup>2</sup>Manabu Fujino<sup>1</sup>, Akihito Otani<sup>2</sup>

**Abstract:** In recent years, video and communication services via the Internet have become widespread, and communication networks are indispensable for everyday life. So, WDM traffic volume has increased. But, as the number of channels increases, it becomes difficult to control the wavelength interval of each laser. Therefore, research papers on the WDM method using Super Continuum Generation have been reported. However, this technology is not widespread. The reasons are various. We propose a process to overcome coherence degradation of SC light which is one of them. In this paper, we first describe the cause of the drawback. After that, We will present improvement method. Finally, we explain the measurement principle. And we are trying to simulate it.

## 1. 背景

近年、波長分割多重方式(以下 WDM)における通信量の増大により利用可能なチャンネル数を増やす必要が高まってきている。しかしチャンネルの増大に伴い各レーザの波長間隔の制御が困難となっている。そこで Super continuum 光(以下 SC 光)を用いた WDM 方式の調査、報告がされてきている。SC 光とは高強度の光を非線形光学媒質に注入すると、媒質中の非線形光学効果によって、波長数が爆発的に増える現象を用いることによって得られる光源である。この光源は一定の波長間隔が精密に制御され、かつ 1000 波長以上の光を出力することができる。この光源を利用することによって 1 つの光源で従来の 10 倍のチャンネルを生み出すことができ、これにより WDM 方式において使用可能なチャンネルを増やすことができると考えられている。

しかしながらまだこの技術が広く普及していない理由として SC 光のスペクトル平坦性の欠如、雑音の増加、コヒーレンスの劣化などが挙げられている。本研究では SC 光のコヒーレンスの劣化に着目し、改善案を検討していく。

## 2. SC 光のコヒーレンスの劣化

現在進められている研究として、高非線形分散シフトファイバ(以下 DSF)を用いた SC 光のコヒーレンス解析を行ったものがある。SC 光のスペクトルは入射強度に強く依存することが知られている。入射するパルス光源は高い繰り返し率でパルス列を出射するが、温

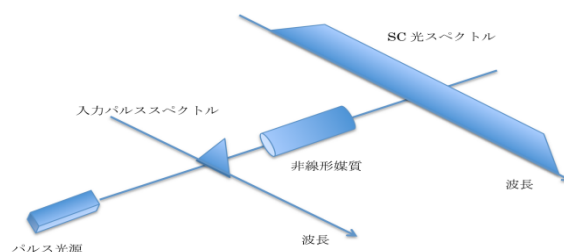


Fig.1 SC 光の発生原理

度の影響を受けパルス列は完全に均一ではなくなり強度揺らぎを持ち、そこで生成される SC 光はスペクトルに揺らぎが生じ、その SC 光を重ね合わせる場合にコヒーレンスが劣化すると考えられている。ファイバ長が短い場合には、入射強度によらず高いコヒーレンスが得られるが、ファイバ長が長い場合には入射強度が大きくなる場合にコヒーレンスの劣化が大きくなっている。この原因として、SC 光の生成過程で生じるスペクトルの微細構造が、光源の強度揺らぎに非常に敏感であることが挙げられている。

コヒーレンスの劣化する理由は明確ではない。しかし DSF ではファイバ長が長くなってしまいうため、パルス光源の温度変化による強度揺らぎが、コヒーレンスの劣化として現れていると考えている。そのため非線形媒質にフォトニック結晶ファイバ(以下 PCF)を用いる。PCF は DSF に比べ非線形変換効率がいため、ファイバ長を長くしてもコヒーレンスの劣化が現れにくいと考えている。そのために PCF と DSF で同じファイバ長でのコヒーレンス値の比較を行っていく。

1 : 日大理工, 学部, 電子 2 : 日大理工, 教員, 電子

### 3. シミュレーション

比較をするために数値演算をしてコヒーレンス値を解析していく.数値解析方法は既存の文献を参考にす.まず光ファイバ内を伝播するパルス状態を解析するために式(1)の非線形シュレディンガー方程式を解く.

$$\frac{\partial E}{\partial z} - i \sum_{k=2}^{\infty} \frac{i^k \beta_k}{k!} + \frac{\alpha}{2} E = i\gamma \left(1 + \frac{i}{\omega_0} \frac{\partial}{\partial t}\right) \times \left[ E(z,t) \int_{-\infty}^{\infty} R(t') E(z,t-t')^2 dt' \right] \quad (1)$$

ここで左辺の第二項は波長分散の効果を,第三項はファイバ内での損失を表す.また右辺は自己位相変調や四光混合,誘導ラマン散乱,自己急峻化などの非線形効果を表し, $\gamma$ は非線形係数である.非線形係数は以下のように表す.

$$\gamma = \frac{n_2 \omega_0}{c A_{eff}} \quad (2)$$

ここで  $n_2$  は非線形屈折率定数, $c$  は光速, $A_{eff}$  は実効断面積である.そして,電子遷移とラマン遷移を考慮した,非線形応答関数  $R(t)$  を式(3)に示す.

$$R(t) = (1 - f_R) \delta(t) + f_R h_R(t) \quad (3)$$

ここで電子遷移は,瞬間的な応答であり, $\delta(t)$ 関数で近似し,ラマン遷移はラマン応答関数  $h_R(t)$ を用いる. $f_R$ はラマン遷移の寄与の割合を示す値であり,今回は文献を参考に  $f_R=0.18$  を用いる.高次の分散と非線形の効果を含めることで実際のパルスの伝播をより正確に表現することができる。と知られている。

これらを踏まえ式(1)を解くことにより,光電場  $E$  を求めることができる.入射するパルス光の強度揺らぎを±1%と仮定し,±1%以内の強度揺らぎを与えた  $n$  個の光電場について式(1)を解く.与えられた解の中で2つの光電場  $E_1, E_2$  を選び,全ての組み合わせ  $n C_2$  個のパターンについて式(4)を演算することで,数値的にコヒーレンス度を算出できる.

$$|\Gamma| = \frac{|\langle E_1^* E_2 \rangle|}{\left( \langle |E_1|^2 \rangle \langle |E_2|^2 \rangle \right)^{1/2}} \quad (4)$$

この演算式によって導かれるコヒーレンスを DSF と PCF と比較を行う。

### 4. まとめと今後の展望

今回は WDM 方式用の SC 光のコヒーレンス度の改善の検討をするにあたって,SC 光の発生原理の調査,コヒーレンス度をシミュレーションするための演算式を

決定し,DSF と PCF を比較することでコヒーレンスが改善できることを提案した.今回はシミュレーションを行い検討するところまで行えなかった.今後シミュレーションを行うにあたり比較する DSF と PCF を選択しなければならない.DSF は参考文献より選択する.PCF は現在研究が行われているもので,より WDM 方式に適応するものを選択したいと考えている.現在,長距離通信で主に使われている波長帯の 1550nm に波長分散を持ったファイバでシミュレーションを行いたい.選択した各ファイバを同じファイバ長でシミュレーションを行う.現在予定しているファイバ長は3mで,ファイバごとに入射強度を 5mW,15mW,25mW でシミュレーションを行いたい.その測定結果をもってコヒーレンスを比較し,結果をもとに考察を行っていく。

### 5. 参考文献

- [1]遠山修 他:「フォトリック結晶ファイバ(3)-超広帯域光源への応用-」,三菱電線工業時報,第102号,pp.33-36,(2005)
- [2]岡本絢子 他:「高非線形分散シフトファイバを用いた超広帯域スーパーコンティニューム光のコヒーレンスの解析」,電気論 C, Vol.124, No.12, pp.2395-2400,(2004).
- [3] G.P.アグラワール著 小田垣孝 山田興一 共訳:「非線形ファイバー光学」,吉原書店
- [4]G.P. Agrawal: 「Nonlinear Fiber Optics, Third Edition」, Academic Press, San Diego(2001)
- [5]R.H.Stolen, J.P.Gordon, W.J.Tomlinson, and H.A.Haus: 「Raman response function of silica-core fibers」, J. Opt. Soc. Am B, Vol.6, No.6, p.1159(1989)
- [6]J. M. Dudley and S. Coen: 「Numerical Simulations and Coherence Properties of Supercontinuum Generation in Photonic Crystal and Tapered Optical Fibers」, IEEE J. Sel. Topics in Quantum Electron, Vol.8, No.3, p.651(2002)