

## 光ファイバ通信 (2) 大容量伝送システム用分散補償ファイバ

株式会社フジクラ 光電子技術研究所

堀越 雅博

### Optical fiber communications [II] Dispersion compensation optical fiber used for high capacity transmission system

Masahiro Horikoshi

Fujikura Ltd. Optics and Electronics Laboratory

#### 1. はじめに

前報において、大容量 WDM 伝送システムでは局所的な波長分散が零でなく伝送路全体としては波長帯域全体にわたって波長分散をほぼ零とするために、伝送用光ファイバと分散補償ファイバ (DCF: Dispersion Compensation optical Fiber) を組み合わせた複合線路を構成することによって可能にしていることを述べた。最近ではさらなる大容量化を目指して伝送波長帯域を従来の C バンド (1530~1565 nm) に加えて、L バンド (1565~1625 nm), S バンド (1460~1530 nm) へと拡大させる検討がおこなわれており、この様な広帯域で波長分散を制御するために、分散補償ファイバの重要性がますます高まっている。そこで今回は、分散補償ファイバについて述べたいと思う。

#### 2. DCF による光伝送路の分散マネジメント

DCF は、既に述べたように伝送用光ファイバの波長分散を補償して伝送路全体としての分散値をほぼ零にしようとするものであり、当初は、既設の 1.3 mm 帯シングルモードファイバ (SMF: Single-Mode Fiber) 伝送システムにおいて 1.55 mm 帯で高速伝送システムを実現するために開発された。この DCF としては、SMF の 1.55 mm 帯における約 17 ps/km/nm の波長分散を補償することを目的として分散補償量が大きく、生産性に関して有利な図 1 A) の様な単峰型の屈折率分布が用いられていた<sup>1)</sup>。

DCF を伝送路に組み込んだ際の伝送路全体の分散値  $D_T$  と損失  $a_T$  は以下の様に表すことができる。

$$D_T = D_{line}L_{line} + D_{DCF}L_{DCF}$$
$$a_T = a_{line}L_{line} + a_{DCF}L_{DCF} \quad (1)$$

ここで  $D_{line}$ ,  $D_{DCF}$  は伝送用ファイバ及び DCF の波長分散,  $a_{line}$ ,  $a_{DCF}$  は伝送用ファイバ及び DCF の伝送損失,  $L_{line}$  及び  $L_{DCF}$  は伝

---

〒285-8550 千葉県佐倉市六崎 1440  
堀フジクラ  
TEL 043-484-3944  
FAX 043-481-1210  
E-mail: hori@lab.fujikura.co.jp

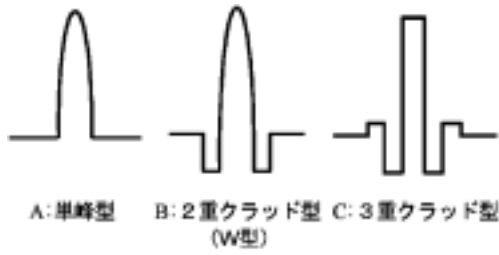


図1 分散補償ファイバの屈折率分布例

送用ファイバ及び DCF の長さである。通常 DCF は、伝送用光ファイバと比べて比屈折率差が大きく伝送損失が大きいため、DCF の過剰損失分を光ファイバアンプの利得で補償することになる。従って DCF としては、大きな負の分散値をもつとともに低伝送損失であることが望ましく、この性能指標として単位損失当たりの分散補償量として次式で定義される FOM (Figure of Merit) というパラメータが用いられている。

$$FOM = \frac{D_{DCF}}{a_{DCF}} \quad (\text{ps/nm/dB}) \quad (2)$$

この際、伝送線路全体の分散を完全に補償する、すなわち  $D_T = 0$  と仮定すると DCF の分散値とファイバ長の関係が求められる。またそのときの伝送路全体の損失  $a_T$  は、FOM を用いて以下の様に示すことができ、DCF に関しては FOM のみで伝送路の損失が決定される。

$$a_T = \left( a_{lim} + \frac{D_{lim}}{FOM} \right) L_{lim} \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

WDM 伝送システムにおいても同様に伝送路の分散を補償するために DCF が用いられるが、伝送速度の高速化およびチャンネル数の増加にともない、従来用いられてきた C バンドから L バンドにわたる波長範囲で分散の補償を行うために分散スロープまで補償する必要が生じ、分散スロープ補償型分散補償ファイバ (SCDCF: Slope Compensating and Dispersion Compensation Fiber) が開発されている。SCDCF では分散スロープも制御するために、

表1 分散補償ファイバの特性例

	A <sup>1)</sup>	B <sup>2)</sup>	C <sup>3)</sup>
屈折率分布形状	単峰型	2重クラッド型	3重クラッド型
分散 (ps/nm/nm)	-98	-15.6	-64.5
分散スロープ (ps/nm/nm <sup>2</sup> )	0.1	-0.046	-0.553
MFD (μm)	4.7	5.8	5.2
損失 (dB/km)	0.35	0.25	0.30
FOM (ps/nm/dB)	280	62.4	215
RDS (1/nm)	-0.00102	0.00295	0.0086

@1550nm

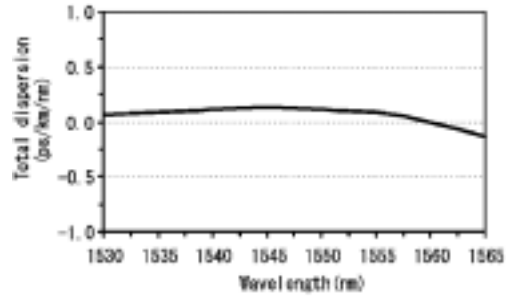


図2 分散補償ファイバを用いた光ファイバ伝送路の波長分散特性<sup>3)</sup>

図1 B), C) に示した 2 重もしくは 3 重クラッド型等の複雑な屈折率分布になっている。

この様な DCF の性能指数として、光ファイバの波長分散値に対する分散スロープの比として次式で定義されるパラメータ RDS (Relative Dispersion Slope) が用いられる。

$$RDS = \frac{S}{D} \quad (1/\text{nm}) \quad (4)$$

ここで S は DCF の分散スロープ、D は分散値である。表 1 に各 DCF の特性例<sup>2),3)</sup>を、また図 2 に  $A_{eff}$  拡大ファイバ (EPPDF) と表 1 C) の DCF を組み合わせた際の波長分散特性例を示す。WDM システム用伝送路において分散スロープまで補償するためには、伝送用光ファイバの RDS にあった DCF を設計する必要があるが、一般的な DCF の設計において分散スロープの絶対値のみを大きくすることは困

難で、分散値の絶対値もある程度大きくなる様に設計せざるを得ない。このため分散補償をする側の観点からは、RDS値が小さい伝送路の方がより平坦な波長分散特性を得やすくなる。

### 3. 超広帯域 WDM 伝送システム用 DCF

伝送波長域をさらに拡大した大容量 WDM システムを考えた場合、チャンネル数の増加とともに前述した DCF の過剰損失分を補償するため入力信号光パワーがさらに増大することになり、 $A_{\text{eff}}$  が小さい（約  $20 \text{ mm}^2$  程度）DCF では光学非線形効果による信号光波形劣化が問題になってくる。これに対して非線形光学効果の一つである誘導ラマン散乱を積極的に利用して、 $A_{\text{eff}}$  の小さい DCF に励起光を入射してラマン増幅を生じさせて DCF の損失補償に利用する検討も行われている<sup>4)</sup>。図 3 にラマン増幅を用いた DCF の損失補償概略図を示す。これまでは、DCF における光学非線形効果による信号光波形劣化を抑制するためには  $A_{\text{eff}}$  を拡大させる必要があったが、ラマン増幅を用いる場合は必ずしも  $A_{\text{eff}}$  を拡大することが正しいとは限らなくなる。このため、DCF の構造パラメータの最適化があらためて検討されている。

また、従来の DCF では、補償可能な帯域幅と光ファイバアンプの増幅可能帯域との制約から、Cバンド用、Lバンド用等、WDM 信号帯域に応じて個別に使用することが想定されてきたが、S～Lバンドまでを一括補償することを

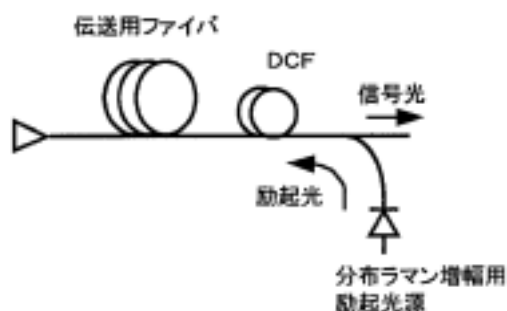


図3 ラマン増幅による DCF の損失補償概略

目的とした超広帯域 DCF の試作<sup>5)</sup>も行われている。

### 4. ま と め

大容量光通信システムに用いられる伝送路の波長分散に着目して、伝送用ファイバと分散制御のために用いられる分散補償ファイバについて概説した。アクセス系のブロードバンド化の進展にともなう情報通信ネットワークの大容量化の要求に対応するため、光ファイバを含めた光通信システムの開発は、引き続き行われていくと思われる。

### 参考文献

- 1) M. Ohnishi et al., OFC 96, ThA2 (1996).
- 2) K. Mukasa et al., Proc. ECOC '97, vol. 1, 127-130 (1997).
- 3) K. Aikawa et al., OFC2001, TuH6-1 (2001).
- 4) T. Okuno et al., OAA2001, OtuB5-1 (2001).
- 5) Hirano et al., ECOC 2001. Th. M. 1. 4 (2001).