

# 融着接続における損失推定の改善

光システム事業部 大澤 孝治\*1・伊藤 和広\*1・中道 孝\*1・齊藤 茂\*1  
情報通信国際事業部 窪 敏喜\*2

## Study for Splice Loss Estimation in Fusion Splicer

K. Ohzawa, K. Itoh, T. Nakamichi,  
S. Saito & T. Kubo

光増幅器等の光モジュールやDWDM伝送には、様々な特性を持つファイバが多く使用されており、これらを融着接続する機会が近年飛躍的に増加している。従来の融着接続機に搭載されている損失推定方式はこれら特殊ファイバには充分に対応できないことが多かった。そこで、特に特殊ファイバを接続することを目的とした工場用融着接続機を対象として、新しい損失推定方式の検討を行った。コア歪みやMFD mismatchesなどの新しい損失パラメータを考慮することにより、損失推定機能の大幅な改善をはかった。

As the variety of new optical fiber modules and components for DWDM systems keep on appearing in the market, the demand for specialty fibers splicing capability has been increasing. Splice loss estimation for these specialty fibers is becoming one of the key technologies for a function of fusion splicers, as current method is sometimes not sufficient enough. Our study is for a new method to have more accurate splice loss estimation taking new factors, such as "core deformation" and "MFD mismatch" into consideration. The detail of the new method and its improvement are discussed in this paper.

### 1. ま え が き

光ファイバの融着接続機には、融着した接続部を観察しその画像から損失を計算する接続損失推定機能が搭載されているものが多い。この機能は接続後即その場で接続の良否が判定できるので、接続不良があっても直ちに接続をやり直すことができるメリットがある。最近飛躍的に発展している光増幅器等の光モジュール、光デバイス、DWDM伝送システムには、様々な特性を持つ特殊ファイバが多く使用されており、これにともないこれらの製造工程において様々なファイバを融着接続する機会が大幅に増加している。当然このような場合も接続損失推定機能を使用するが、従来の推定方式は複雑な構造を持つ特殊ファイバには充分に対応できないことが多く、損失推定機能の改善を望む声が年々高まってきている。そこで当社では、特に特殊ファイバを接続することを目的とした工場用融着接続機を対象として、新しい推定方式の検討を行ってきた。本報ではこの新しい推定方式について紹介し、いかに損失推定機能が改善されたかについて述べる。

### 2. 融着接続における損失要因

光ファイバの接続損失は接続点でのコアの不連続によって発生するが、この不連続を発生させる要因は、接続技術上の要因とファイバ自身もつ要因との2つに大別することができる<sup>1)</sup>。融着接続における損失の要因を図1に示す。接続損失を推定する際には、これらの中でどの要因に着目するかについて深く検討する必要がある。

### 3. 従来の損失推定方式

融着接続における接続損失の最大の要因はコア軸ずれである。そこで、従来接続損失推定は以下の式(1)<sup>2)</sup>を用い、コア軸ずれ量のみから計算を行っていた。

$$\text{Loss} = 10 \times \log \left\{ \exp \left( d^2 / w^2 \right) \right\} \text{ dB} \dots \dots \dots (1)$$
  
ここでdはコア軸ずれ量(μm)、wはMFD/2(μm)である。標準的なシングルモードファイバ(SMF)相互の接続では、この式のみからの損失推定で良好な結果が得られていた。

しかし、近年頻繁に使われるようになった特殊ファイバや非零分散シフトファイバ(NZ-DSF)の接続においては、コア軸ずれ量のみによる接続損失推定では十分な精度を得ることができないことが多くなった。図2はそれを

\*1 精密機器開発部  
\*2 機器部品技術部

接続技術上の要因	コア軸ずれ	
	コア歪み	
	コア軸の傾斜	
	気泡	
	太り細り	
接続するファイバの要因	MFD*ミスマッチ	
	プロフィールの違い	

\* MFD : モードフィールド径

図1 融着接続における損失の要因  
Splice loss factors for fusion splice

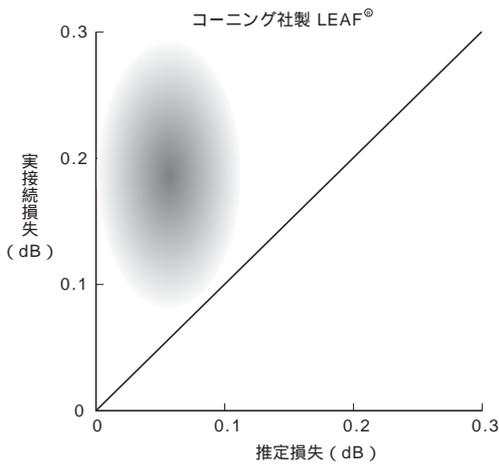


図2 従来方式による損失推定結果  
Estimated splice loss result with old estimation method

示す一例で、コーニング社のNZ-DSFであるLEAF®の同種接続における従来のコア軸ずれ量のみによる損失推定結果である。実接続損失が高くても推定損失は低いものがあり、コア軸ずれ量のみによる損失推定では不十分であることがわかる。

#### 4. 新しい損失推定方式

あらゆる種類のファイバの接続においても十分な損失推定精度を得るために、図1に示す損失要因の中でどの要因に着目すべきか検討したところ、接続損失への影響の大きい

- ・ 接続点におけるコア歪み (Micro Bending)
- ・ 接続点におけるMFDミスマッチ

をコア軸ずれとともに推定損失計算に反映させる必要があるという結論に達した。最近の特殊ファイバはMFDの

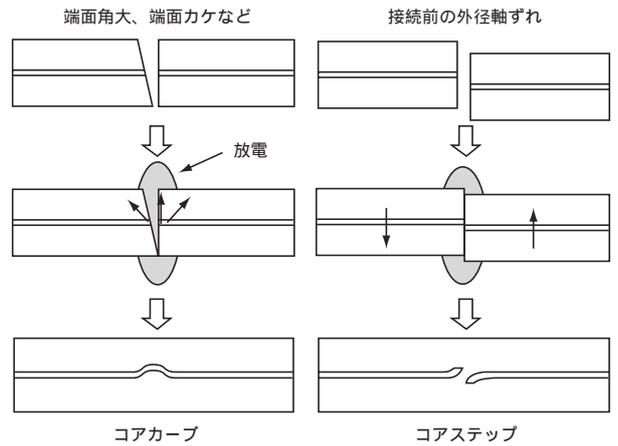


図3 コア歪みの種類  
Types of core deformation

小さなものが多く、このようなファイバの接続においてはコア歪みによる損失を無視することができない。また光モジュールなどの製作時には異種ファイバを接続する機会が多くあり、そのときはMFDミスマッチによる損失が大きく、これを充分考慮する必要がある。しかし、その他の要因は損失への影響が小さかったり、目視で容易に接続不良を認識できるものであるため、損失推定に反映する必要はない。

以下、この2つの要因による損失推定について説明する。

#### 4.1 コア歪みによる損失推定

##### 4.1.1 コア歪みの種類

コア歪みとは接続点近傍でのコアの微小な湾曲や変形のことを言い、その形状から大きく2つに分類することができる。本報ではこれらをコアカーブとコアステップと呼ぶ。通常これら歪み量は非常に微細なもので認識が困難だが、接続後に接続点近傍をより細かく観察することにより識別することが可能となった。この2つのコア歪みが発生する過程を図3に示す。コアカーブは接続するファイバの端面の角度大やカケなどといった端面不良がある状態で接続した際に発生しやすく、接続放電中にファイバ端面で溶けたガラスが図の矢印の方向に流れるために生じる。一方コアステップは微小なファイバ外径の軸ずれがある状態で接続した際に発生し、接続放電中に溶けたファイバの表面張力により、左右のファイバに図の矢印の方向に力がはたらくために生じる。

##### 4.1.2 コアカーブによる損失推定

融着接続機では毎接続後、接続点近傍を観察し、その画像を処理してコア歪みの形状、量を認識している。図4(a)はコアカーブのある接続点を融着接続機で観察した画像と、その画像を処理して得られたコア中心位置のプロット図である。この図のように融着接続機はコアカーブの形状をきちんととらえていることがわかる。このような処理により接続点にコアカーブがあると認識された場合、そのコアカーブの形状と変形量からコアカーブによる損失を計算している。計算は光伝送理論を参考に当社独自の形状係数を用いておこない、より信頼性の高い

損失推定を可能とした。

4. 1. 3 コアステップによる損失推定

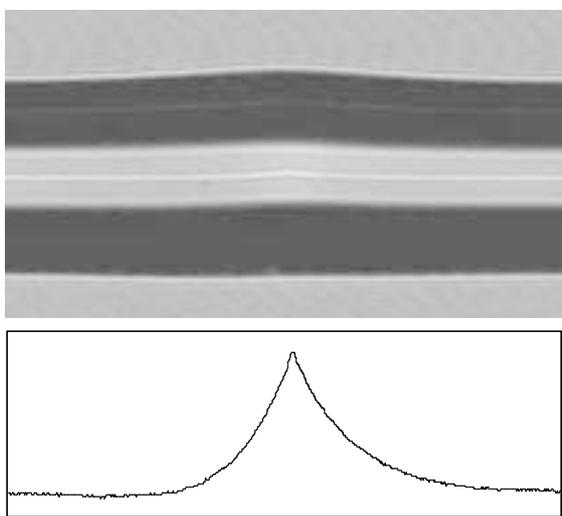
図4 (b) はコアステップのある接続点を融着接続機で観察した画像と、その画像を処理して得られたコア中心位置のプロット図である。コアカーブの場合と同様に、融着接続機はコアステップの形状もきちんとしており、このコアステップの形状と変形量からコアステップによる損失を計算している。

4. 2 MFDミスマッチによる損失推定

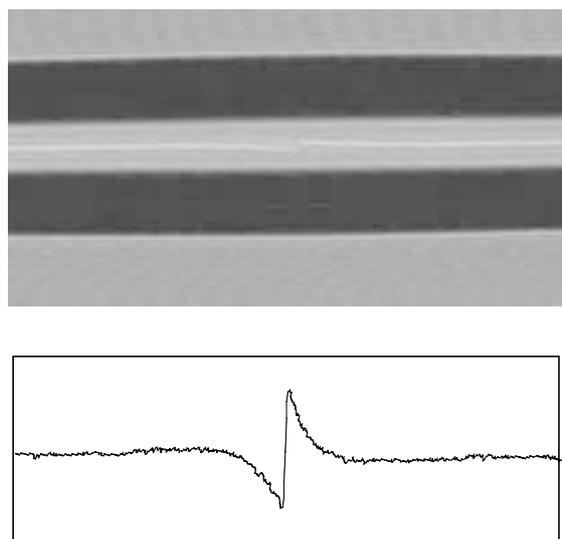
異種ファイバ接続の場合、接続点での左右ファイバのMFDミスマッチが最も損失への影響が高い。このMFDミスマッチによる損失は以下の式(2)で表すことができる<sup>2)</sup>。

$$\text{Loss} = -10 \times \log\left\{ \frac{2w_1w_2}{w_1^2 + w_2^2} \right\} \text{ [dB]} \dots\dots\dots (2)$$

ここで  $w_1, w_2$  は接続点における左右ファイバそれぞれの  $MFD/\lambda$  ( $\mu\text{m}$ ) である。このようにMFDミスマッチによる損失を計算するには、接続点での左右ファイバのMFDを



(a) コアカーブ



(b) コアステップ

図4 コア歪みの画像とコア中心位置のプロット図  
Picture of core deformation and plot of core center position

測定する必要がある。

各々のファイバのMFDの違いは融着接続機で観察した画像のコア部分に現れる。図5は波長1.55  $\mu\text{m}$ にてMFDが5.8  $\mu\text{m}$ であるエルビウムドープファイバ (EDF) と、10.5  $\mu\text{m}$ であるSMFを融着接続機で観察した画像である。

EDFのようなMFDの小さなファイバのコアは細く、逆にMFDの大きなSMFは太く見えることがわかる。また、コア部分の屈折率分布の相違によって異なった特徴が観察される。しかしながらファイバのコア径は大きくても10  $\mu\text{m}$ 程度しかなく、各ファイバのコア部分の特徴の相違は微細なものであるため、これらを正しく見分けるのは大いに困難である。しかし今回ファイバ観察方法や画像処理方法を工夫し、観察したファイバ画像からそのファイバのMFDを計算することに成功した。図6は融着接続機にて観察したファイバ画像から計算した推定MFDと実際のMFDの関係を示したもので、融着接続機で精度良くファイバのMFDを推定することが可能であることがわかる。

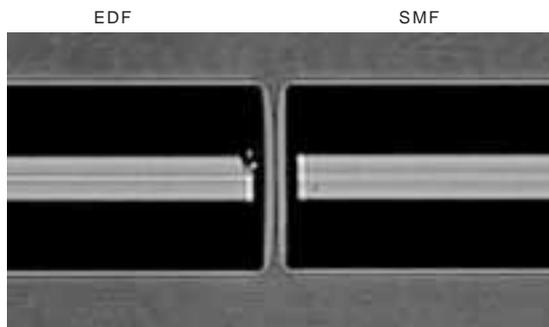


図5 融着接続機上でのEDFとSMFの観察画像  
Picture of EDF and SMF on fusion splicer

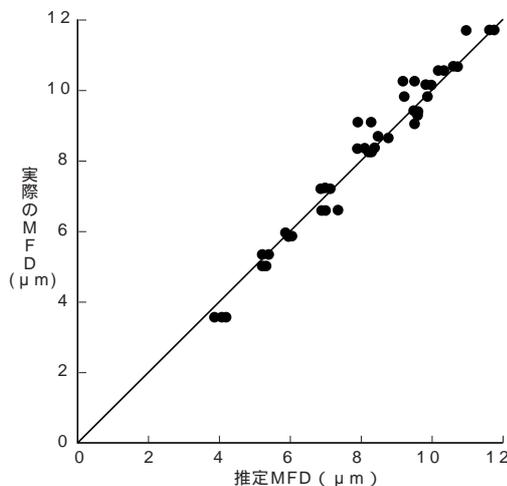
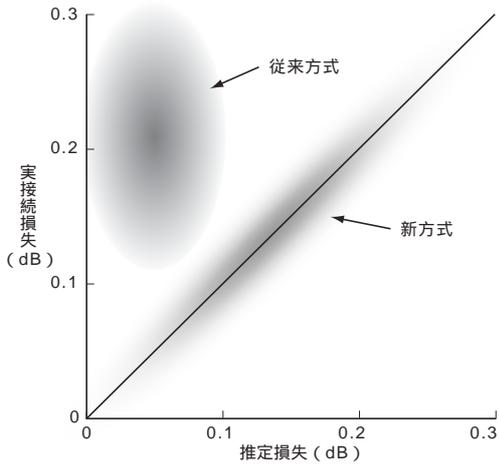
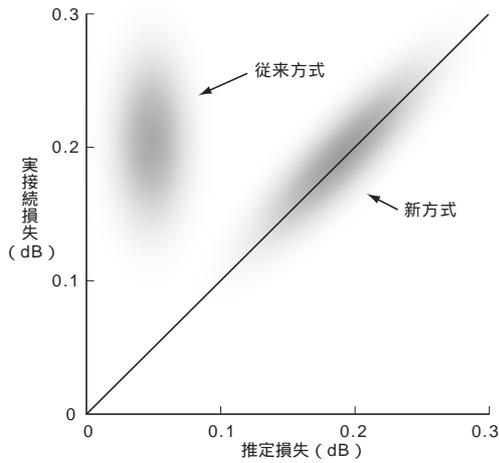


図6 推定MFDと実際のMFDとの関係  
Relationship between estimated MFD and real MFD



(a) コーニング社製 LEAF<sup>®</sup>



(b) コーニング社製 CS980 - Flexcor1060

**図7** 従来方式と新方式の損失推定結果比較  
Estimated splice loss result with old and new estimation methods

以上のように融着接続機でファイバのMFDを測定できるので、融着接続後に接続点での左右ファイバのMFDを測

定し、式(2)からMFDミスマッチによる損失を計算することができる。融着接続の場合、放電の熱によりコアにドーブされたゲルマニウム等がグラッドに拡散し、その結果接続点でのMFDが拡大することがある。その場合MFDの拡大によって左右のMFDミスマッチ量が変化するために接続損失も変化するが、本手法ではそのようなMFDの変動も認識できるため、様々なMFDの変動に応じた損失推定を行うことができる。

### 5. 損失推定の改善結果

前章で示した新しい損失推定方式を融着接続機に組み込み、従来方式の結果と比較した。図7の(a)は図2でも示したLEAF<sup>®</sup>の同種接続、(b)はコーニング社製の光デバイス用ファイバであるCS980とFlexcor1060の異種接続結果である。従来方式はコア軸ずれ量のみから、新方式は本報で述べたコア歪みやMFDミスマッチも考慮した損失推定結果である。図から明らかなように、コア歪みやMFDミスマッチを考慮することにより、飛躍的に損失推定精度が改善していることがわかる。

### 6. むすび

特殊ファイバを含む様々なファイバの接続損失推定に対応できるように、接続点でのコア歪みやMFDミスマッチを損失計算に加えた新しい推定方式について検討を行い良好な結果を得た。これから登場するであろう多種多様なファイバにも対応できるように、また既存ファイバについても接続損失推定値の精度をより向上させるために、さらなる検討を今後も続けていく予定である。

### 参考文献

- 1) 稲田監修：光ファイバ通信導入実戦ガイド，電気書院，p.56，1989
- 2) D. Marcuse：Loss Analysis of Single-Mode Fiber Splices, B.S.T.J., Vol.56, No.5, pp.703-718, May-June 1977