

# 高出力レーザ光伝送用テーパ光ファイバ製品化技術の研究開発

小林 壮一 [フォトリソグラフィ工学研究所／代表取締役]

藤井 雄介 [フォトリソグラフィ工学研究所／技術主任]

須田 俊央 [フォトリソグラフィ工学研究所／技術主任]

三ツ野 仁 [株式会社日立製作所／代表取締役]

新関 健士 [株式会社日立製作所／部長]

三ツ野 豪 [株式会社日立製作所／係長]

## 背景・目的

レーザ技術の高度化に伴い、レーザ光の高出力化が進んでいるがレーザ光を照射目的物まで導くための高出力用光ファイバの開発が進んでいないため、レーザから出射した光ビームの口径(スポットサイズ)をユーザが希望するサイズに変換できる高出力用光ファイバ(テーパファイバ)の開発が求められている。しかし、国内における光ファイバの生産は通信分野に特化しているため、非通信分野の生産量は極めて少なく、ニーズが多く存在するにも拘らずこれに対応できない状況にある。研究者らは、これまでにコア径 $600\mu\text{m}\rightarrow 100\mu\text{m}$ の高出力用テーパ光ファイバを試作し、入射光強度 $10\text{W}$ で伝送損失 $1\text{dB}$ 以下を実現しているが、 $40\text{W}$ 入射光ではテーパ部の高熱化による損失増及びコーティング材の炭素化などの問題が発生し、この解決のためには、耐ハイパワー用低損失化技術及びコーティング化技術の確立が課題となっている。

上記課題を解決するため、本研究開発では、入射光強度 $40\text{W}$ に対応可能なテーパファイバの製品化技術確立し、国内外での光ファイバ市場を席卷し得る新産業創出を実現させることを目的とする。

## 内容・方法

平成20年度ノーステック財団「イノベーション創出研究開発事業」の発展・橋渡し補助金ものづくり分野で、入射光強度 $10\text{W}$ 対応のテーパファイバ(コア径 $600\rightarrow 100\mu\text{m}$ )の開発を行い低NA入射で $1.0\text{dB}$ 以下を達成したが、高NAでの入射条件による低損失化は実現されなかった。その損失要因は、形状の歪み等の外的要因による過剰損失であった。この問題点が作製法に依存して発生していることから、本研究では従来の作製方法であったトーチ(バーナー)を用いたテーパ形状の形成技術から電気炉(セラミックヒータ)を用いた作製方法に変更し、外的過剰損失要因の低減化を行った。

また、製品化には耐熱材料を用いた光ファイバコーティングが必須であり、従来のアクリル系では $20\text{W}$ 程度までしか耐性がないことが明らかにされている。

本研究では、従来のアクリルコート材からシリコン系、ポリイミド系コーティング材料及び金属系コーティングにおける可能性の検討を行った。その他、最終商品化に向けたコード化技術及び実装技術も合わせて検討を行った。

## 結果・成果

### 1. 形状歪み低減化の検討

従来まで、テーパ光ファイバはトーチ(バーナー)を用い、光ファイバのテーパ形状の形成を行っていたが、形状の歪み等により過剰損失が発生することが明らかになっている。歪みの発生原因は、外部雰囲気(風圧)の変化により炎が揺らぐことが大きな問題であった。また、トーチはLPガスと $\text{O}_2$ の混合により高温燃焼させ、炎を形成するが、LPガスを用いた本方式では少量のスス(炭素)が発生する。発生したススにより加工光ファイバ形状の歪み及び強度劣化が発生する問題点も存在している。この問題点を解決する手法として本研究では、電気炉(セラミックヒータ)を用いた作製検討を行った結果、形状は従来のトーチに比べ歪み量 $1/5$ 以下に低減することが可能となり、損失低減においては、最大NA入射条件において約 $1/7$ を達成した。

### 2. テーパ角度による損失依存性

従来までテーパ角度により、損失値が変化することが報告されていたが、本研究の作製方法におけるGI型テーパ光ファイバは、 $100\text{mm}$ 以上のテーパ長において損失値が飽和する傾向にあることが解った。この要因は、テーパ光ファイバの線引き方法にあり、本研究では線引き時の巻き取り速度が線形に推移するのに対し、光ファイバ外径変化は、非線形に変化したテーパ部が形成される。従って、テーパ長を長くしても非線形曲線の傾きの変化が小さいことから、テーパ長の変化によっても損失変動値が小さいと考察する。従来までのテーパ角度に対する損失差はトーチを用いた作製による外的要因の損失値もあり真値を得ることが出来なかった。よって、本研究により、現状作製方法におけるテーパ長と損失値の関係を明らかにできた。また、長尺光ファイバガイドとしての他、短尺テーパ光ファイバによる新たな光デバイスにおける可能性を得ることが出来た。

### 3. 耐熱コーティング技術検討

コーティングの無い光ファイバ表面は、大気中に触れると窒素によりマイクロクラック発生し強度が劣化することが報告されている。ハイパワー導波中における光ファイバの強度を補償することは、製品化に向け大きな課題となる。本研究では、コーティング技術検討として下記4種類のコーティングの検討を行った。評価方法は、テーパファイバに各種のコーティングを行い $40\text{W}$ 入射時の変化(炭化、発熱等の現象)を確認した。

- ①アクリルコーティング(従来通信用コーティング材料)
- ②シリコンコーティング
- ③ポリイミドコーティング
- ④メッキコート(無電解メッキ)

#### 検討①アクリル系コーティング材料結果について

約10～20Wの入射で発熱が観察され、20W以上になると炭化する現象を確認した。プライマリーコート材料、バッファコート材料どちらが原因なのか個別のコーティングを行い検証を行ったところ、プライマリーコートは40Wまでの耐性があるのに対し、バッファコート材料は20W以上で炭化する結果となった。

#### 検討②シリコン系コーティング材料結果について

40Wまでの出力を入射したが、炭化等の現象は確認されなかった。しかし、30～40W時に発熱は確認された。アクリルコート材料と同様、発熱の原因となっている材料の確認として個別コーティングを行い検証を行ったところ、プライマリーコートは40Wまでの耐性があるのに対し、バッファコート材料は30W以上から発熱する傾向が見られた。

#### 検討③ポリイミド系コーティング材料結果について

従来ポリイミド系は、熱により硬化する形態が多く光ファイバコーティングには難しいといった課題を抱えていた。今回、我々のコーティング形態がUV硬化方法を用いていることもあり、新たにUV硬化ポリイミドの開発を行った。本研究で開発した、UV硬化ポリイミド材料を使用しコーティング検討を行ったがUV硬化量を足りず膜厚の不均一性が生じた。これは、通常UV系コーティング材料の硬化露光量が400～800mJに対し、今回使用したUV硬化ポリイミドは4000mJと5倍以上のUVが必要であったことが問題点として挙げられる。

#### 検討④メッキコート結果について

更なるハイパワー化に向け、無電解メッキによるコーティング検討を行った。本研究ではメッキ材料に、Ag(銀)を使用した。メッキ槽のサイズより、今回短尺タイプ(L=800mm)のテーパーファイバを試作し検討を行った結果、入射ストレート部、テーパー部、細径部によってメッキ膜厚が異なる結果を得た。これは、メッキの前処理時に実施する触媒がガラス径によって吸着現象が異なることが原因と予測される。また、テーパー細径部は強度が通常ファイバより弱いこともあり、メッキ浴槽の循環による液の流れにより断線するといった問題点も発生した。今後は、最適触媒の選定の他、メッキ用治具の改良が必要だと考えられる。

#### 4. 数値目標達成度を下記に示す。

検討項目	検討内容	数値目標	目標達成度
形状歪み低減化	電気炉温度と線引き速度の依存性	—	100% (低損失線引き技術を確立)
挿入損失依存性	テーパー角度と伝送損失の依存性及び高熱化の相関関係	挿入損失<1.0dB	100% 挿入損失<1.0dB
コーティング技法	耐熱コーティング材開発及びコーティング法の確立	—	100% 基本コーティング技術及び実装技術を確立
偏肉の最小化	光ファイバを中心にコーティングの肉厚が均等にする技法	編肉許容±5%以下	100% (<±5%を達成)

#### 今後の展望

本研究の低損失テーパー加工技術及びコーティング技術により、製品化の目処を得ることに成功した。現在、数社のレーザメーカより引合いがあるためサンプルを出荷する予定である。また、テーパー光ファイバの短尺化への可能性を得ることが出来たことから、新たな光部品としての可能性も得ることに成功した。しかし、テーパー形状には様々なユーザーニーズがあることから、今後は、テーパー形状を線形、曲線制御を行うことが可能な新たなテーパー加工度制御機構の開発が必要であると考えられる。