

CO₂レーザーを用いたテーパードファイバー作製の研究

電子工学科 植田研究室 渡辺崇仁

1 序論

テーパードファイバーは、ファイバーを熱して引っ張り部分的に細く引き伸ばしたものであり、カップラー製造・分散制御・シングルモード/マルチモード変換などを行うために必要な素子である。

これまで、テーパードファイバーは熱源にマイクロバーナーやマイクロヒーターを用いて作製されてきたが、これらの方法では形状の制御が困難で炎の不純物混入により特性も悪化してしまうので、この欠点を改善すべく我々の研究室ではCO₂レーザーを用いたテーパードファイバー作製の研究を立ち上げることにした。

今回はその基礎段階として、CO₂レーザーとモーター駆動ステージを手動制御することによってテーパードファイバーを作製し、ファイバーの加工技術の検討とより細く長いテーパードファイバーを作成するための研究を行った。

2 原理

ファイバーは温度の上昇とともに徐々に軟らかくなっていき、およそ 1600 ~ 1900 の温度で加工に適した軟らかさとなる。

そこで熱伝導方程式を解き、この加工温度を実現するレーザー出力 P とファイバー径 w の関係を求めた。この図 2.1 において、二つの曲線の間がファイバーを加工温度に保てる領域である。この結果より、小さなファイバー径を得るためには大きなレーザー出力が必要であるということがわかった。

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{4H}{dK}(T - T_{air}) + \frac{4\epsilon\sigma}{dK}(T^4 - T_{air}^4) - \frac{q(x)}{K}$$

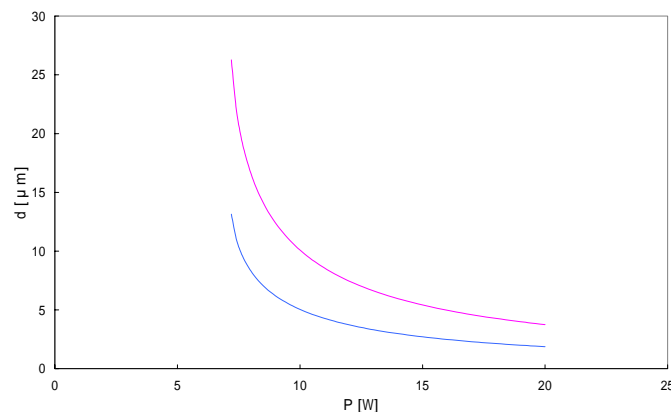


図 2.1 熱伝導方程式

3 実験内容

3.1 凸レンズを用いた実験

3.1.1 実験方法

実験装置を、図 3.1.1 に示す。まず、P-x グラフで加工領域がどのように表れるのかを知るため、 $w = 0.56\text{mm}$ としてファイバーの加工領域を求めた。つぎに、ビーム径の違いによってその加工領域がどのように変化するかを調べるため、 $w = 0.36\text{mm}$ としてファイバーの加工領域を求めた。

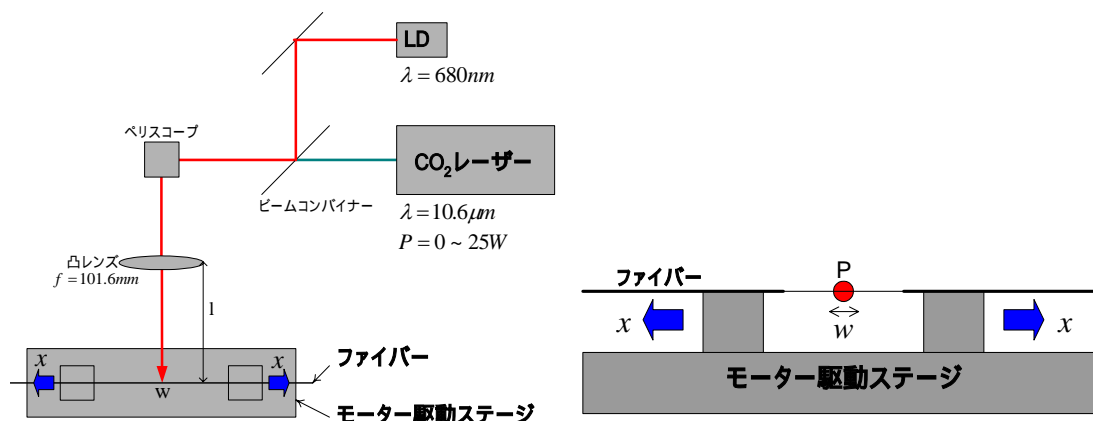


図 3.1.1 実験装置図

3.1.2 結果と考察

実験結果を、図 3.1.2 に示す。左の図が $w = 0.56\text{mm}$ のときの P-x グラフ、右の図が $w = 0.36\text{mm}$ のときの P-x グラフである。グラフにおいて、上下の点の間がファイバーの加工領域であり、この領域内で操作を行えばファイバーを切らずに確実に引き伸ばせるということである。凸レンズを用いた場合、ビーム径を小さくするほど加工領域は下方方向に移動してその範囲も狭くなってしまい、テーパードファイバーは（到達径は小さくなるが）短く傾斜も急でさらに作成が困難になってしまう傾向にあるということがわかった。

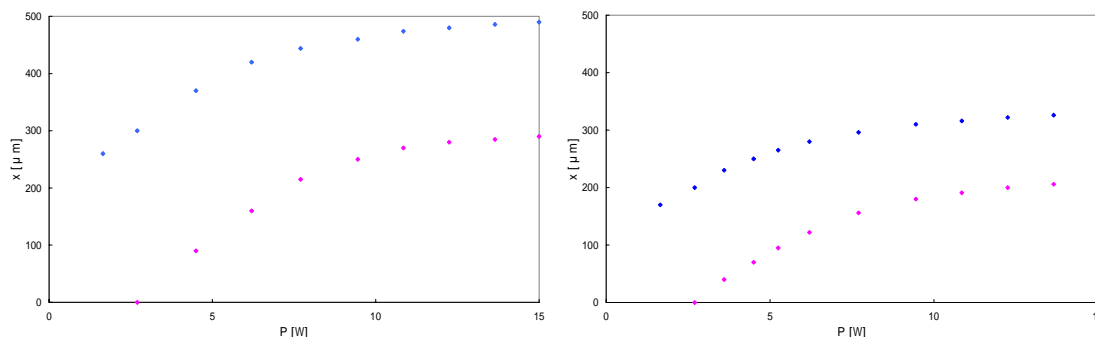


図 3.1.2 加工領域

3.2 シリンドリカルレンズを用いた実験

3.2.1 実験方法

実験装置を、図 3.2.1 に示す。まず、凸レンズのときと加工領域を比較するため、レーザーを片面から照射して実験を行った。つぎに、よりレーザーの照射強度を大きくするため、はじめ吸収されなかった部分のレーザーを凹面鏡で折り返しレーザーを両面から照射して実験を行った。

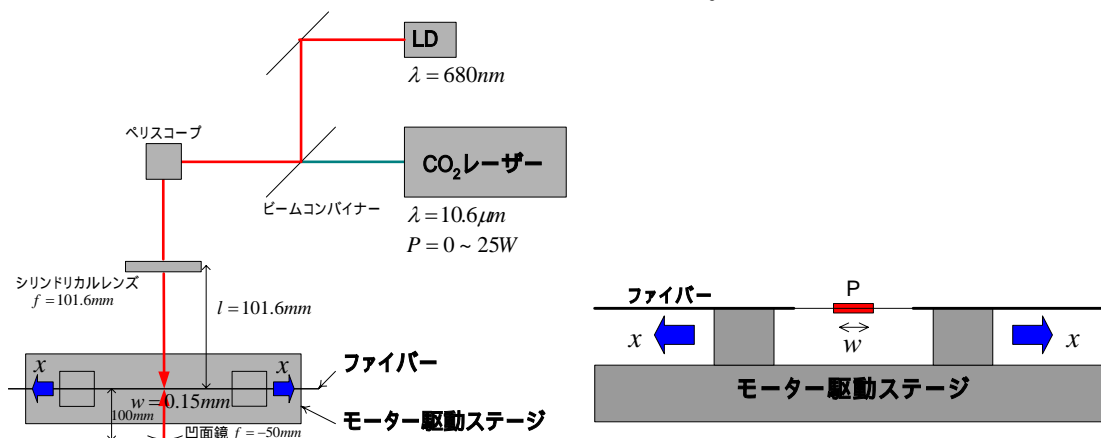


図 3.2.1 実験装置図

3.2.2 結果と考察

実験結果を、図 3.2.2 に示す。左の図が片面照射のときの P-x グラフ、右の図が両面照射のときの P-x グラフである。まず、シリンドリカルレンズを用いた場合、凸レンズを用いた時に比べて加工領域は右上方向に移動しその範囲も広がり、テーパードファイバーは（到達径は大きくなってしまいが）より長く傾斜も緩やかでさらに作成が容易になるということがわかった。そして、レーザーを両面照射した場合、片面照射のときに比べて加工領域は左上方向に移動しその範囲も広がり、テーパードファイバーは（到達径は小さくなり）より長く傾斜も緩やかでさらに作成が容易になるということがわかった。また同時に、両面照射をするとファイバーの形状が対称になるということがわかった。

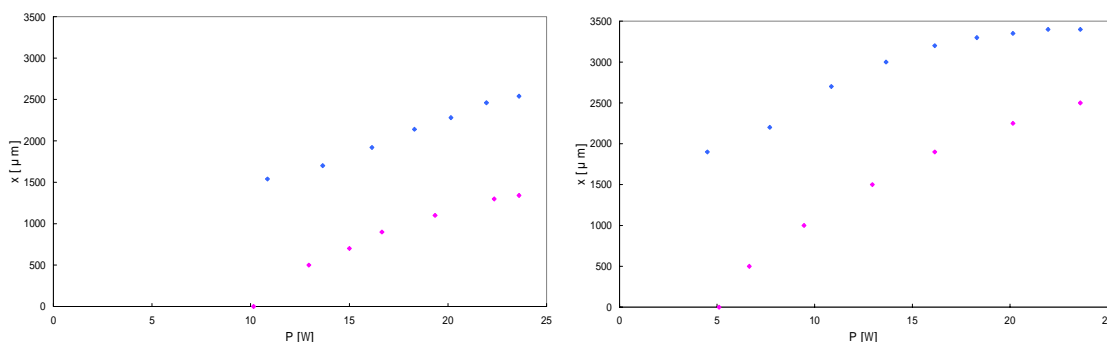


図 3.2.2 加工領域

3.3 透過率の測定

3.3.1 実験方法

実験装置を、図 3.3.1 に示す。ファイバーを長さ 6.5mm 到達径 4.5 μm となるまで引き伸ばし、そのときの透過率の変化を調べた。

3.3.2 結果と考察

実験結果を、図 3.3.2 に示す。最終的に透過率は 93% となった。テーパードファイバーの作成過程における透過率の変化は、ファイバー径の減少によってモードがコアのモードからクラッドのモードに移行したためだと考えられる。

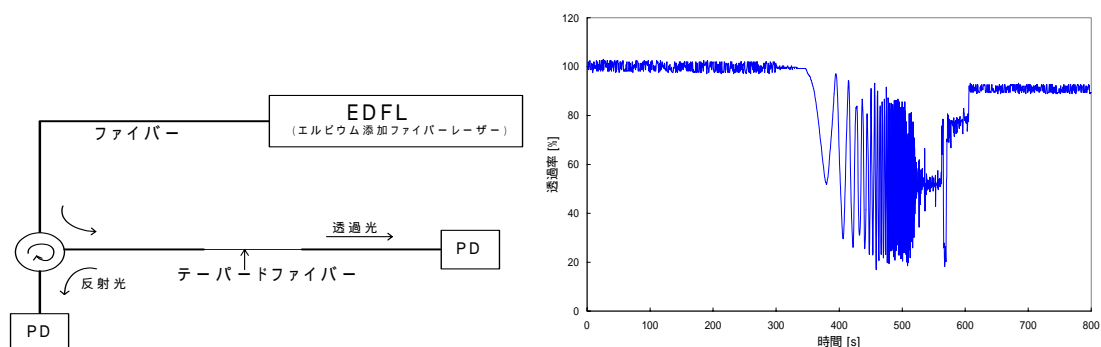


図 3.3.1 実験装置図

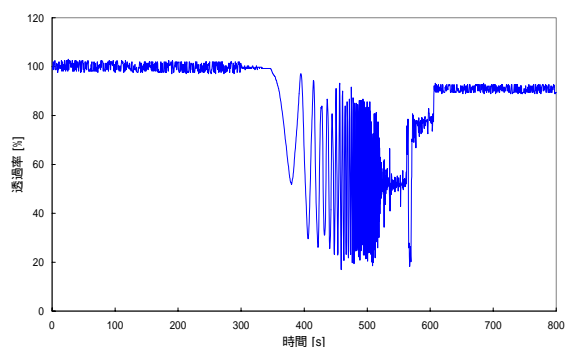


図 3.3.2 透過率

4 結論

この研究では、最終的に長さ 6mm で最小直径 4.5 μm 透過率 93% のテーパードファイバーを作ることができた。

また、基礎技術はテーパードファイバーの形状の特徴や加工領域の変化の特徴を押さえることができた。テーパードファイバーの形状の特徴としては、到達径はビーム強度に、全体の長さや最小径部分の長さはビーム照射部分の長さ、勾配はビーム強度の勾配に、それぞれ対応するということがわかった。加工領域の変化の特徴としては、ビームの照射強度を大きくすると、加工領域は左方向に移動して到達径が小さくなり、ビームの照射面積を大きくすると、加工領域は上方方向に移動して形状が長くて緩やかになると同時に加工領域は広くなってファイバーの加工が容易になるということがわかった。

将来の展望としては、より細く長いテーパードファイバーを作成することや、CO₂ レーザーとモーター駆動装置を自動制御することにより、誰でも必要に応じて任意形状のテーパードファイバーを作成できるシステムを構築することなどがあげられる。前者を達成するためには照射強度や外部温度を上げることが有効であり、後者を達成するためには今回の研究で得られた形状の特徴や加工領域の特徴をはじめとする基礎技術が基本的な指針を与えるであろう。