



赤外レーザー光伝送用中空ファイバの研究について

岩井 克全†

Research on Hollow Optical Fiber for Infrared Laser Light Transmission

Katsumasa IWAI†

レーザー関連の研究として、赤外レーザー光伝送用中空ファイバの研究に従事してきたことについて執筆させて頂こうと思う。中空ファイバとは、通常の石英系ガラスファイバでは伝送することが困難な赤外光、紫外光を伝送することを目的として開発されたもので、空気をコアとする伝送路である。空気がコアであるため、端面での反射がなく、またコアでの吸収もない。そのため、高エネルギー伝送に適している。主な用途は医療用赤外レーザー光伝送(発振波長 2.94 μm の Er:YAG レーザー光、発振波長 10.6 μm の CO₂ レーザー光)、工業用レーザー光伝送である。光学ポリマー薄膜と金属膜をファイバ内面に内装することで、光の干渉効果により、目的のレーザー光に対して高反射率にすることができ、低損失な伝送が可能となる。赤外波長帯では、反射率の高い銀膜と誘電体高反射膜を組み合わせる。最近では環状オレフィンポリマーがよく用いられている。赤外レーザー光を用いる治療装置は、生体に対する適合性に優れ、需要は増加している。1995年頃、東北大学の宮城教授(赤外中空ファイバの発明者)をプロジェクト統括者として、レーザー歯科治療器の開発が行われ、その成果は民間企業の協力により実用化され、歯科装置として販売されている。更に、耳鼻科治療装置として販路を拡大している。2005年頃には、赤外レーザー内視鏡についての提案並びに基礎研究が行われた。2015~2017年度に、国立研究開発法人日本医療研究開発機構事業に研究分担機関の一つとして仙台高等専門学校が参加し、そのとき、中空ファイバの高強度化と低損失化の課題を担当させて頂いた。胃や腸にできた小さなポリープの切除治療に、CO₂ レーザー光が有用ではないかと医療機器メーカーで検討された。CO₂ レーザー光は、軟組織を切除でき、熱で焦がして止血もできることから、体内でのレーザー治療に適しているとされた。内径 0.7 mm の誘電体内装銀中空ファイバで、CO₂ レーザー光伝送に適したものは、医療機器メーカーで製作可能である。内視鏡治療器具に、内径 0.7 mm の中空ファイバを挿入して有効性が検討され、内視鏡の動きに中空ファイバを対応させることが必要となった。解決方法として、細い中空ファイバを用いることで、内視鏡の動作に対応できる。そこで、内径 0.53 mm のガラスキャピラリを母材とした中空ファイバの製作に取り組んだ。CO₂ レーザー光伝送に適した誘電体膜厚の成膜方法の改善として、従来のチューブポンプを用いた送液系から、シリンジポンプにすることで、送液速度の変動を抑制することに成功した。結果として、内径 0.53 mm の CO₂ レーザー光伝送に適した誘電体内装銀中空ファイバを製作することができ、内視鏡に挿入して用いる中空ファイバとしては、内径 0.53 mm の中空ファイバが有効という流れになった。

2003年頃から、数十年にわたって中空ファイバの製作の研究を行わせて頂いた。現在も、中空ファイバを構成する材料(母材、誘電体膜材料)の改良と、中空ファイバの製作方法の改善について、研究を継続させて頂いている。最近の研究では、内径 0.53 mm の CO₂ レーザー光伝送に適した中空ファイバを製作できたのだから、更なる細径化を図り、内径 0.32 mm のガラスキャピラリを母材として CO₂ レーザー光伝送に適した誘電体内装銀中空ファイバの製作ができないか研究をしている。2001年頃に、内径 0.32 mm のガラスキャピラリを母材とした誘電体内装銀中空ファイバの製作について、既に研究は行われており、細径に適した誘電体材料も明らかにされていた。CO₂ レーザー光伝送に有効な誘電体層の膜厚も明らかにされていたが、細径の中空ファイバに厚くて均一な誘電体層を成膜するのは、困難であることが論文に述べられていた。ファイバ長 30 cm では、誘電体膜厚 0.65 μm に成功し、ファイバ長 1 m にすると、厚い膜の成膜は難しく、膜厚 0.5 μm の成膜に成功したと報告されていた。CO₂ レーザー光伝送に適した膜厚としては、約 0.8~1 μm あるとよいと思う。数十年分の蓄積されたノウハウを用いたら、厚い膜厚も成膜できるのではないかと、専攻科の学生に専攻研究として、取り組んでもらったところ、2023年11月になって、ファイバ長 1.2 m で、誘電体膜厚約 0.9 μm の成膜に成功した。今は製作が困難なものも、将来的には製作できる日が来るようである。宮城名誉教授の「できないということは難しい」という言葉を思い出す。今後も可能性を信じて、中空ファイバの研究を続けて行きたい。

† 仙台高等専門学校 総合工学科(〒989-3128 宮城県仙台市青葉区愛子中央四丁目16番1号)

† National Institute of Technology, Sendai College, Department of General Engineering, 4-16-1 Ayashi-chuo, Aobaku, Sendai, Miyagi 989-3128