

診断と治療が同時に可能な複合型光ファイバー内視鏡システム

岡 潔・関 健史・赤津 朋宏

A Composite-Type Optical Fiberscope System with Hybrid Functions of Diagnosis and Treatment

Kiyoshi OKA, Takeshi SEKI and Tomohiro AKATSU

A composite-type optical fiberscope was developed for maintenance research and development of nuclear facilities by Japan Atomic Energy Agency. It can coaxially deliver both a high-energy laser beam for micro processing and an image from processing targets. The development of minimally invasive laser treatment devices were introduced by using the composite-type optical fiberscope.

Key words: composite-type optical fiber, laser surgery, minimally invasive treatment, Yb fiber laser, fetoscopic surgery, minimally invasive laser treatment device

高エネルギーなレーザー光と映像情報の両方を扱うことができる“複合型光ファイバー”は、核融合炉および大型原子力施設における保守保全技術開発に役立つ特殊ツールとして誕生した¹⁾。原子炉内部の燃料集合体や熱交換器の伝熱配管など、本ファイバーが役立つ狭隘箇所は数多くある。本技術は汎用性が高いため、現在では、種々の計測機器と統合された診断治療機器として医療分野への応用を積極的に推進中である。

本報では、複合型光ファイバーの基本構造および医療分野への応用例について紹介する。

1. 複合型光ファイバースコープ

先端部にレンズを取り付けた複合型光ファイバースコープの基本構造とカップリング装置の概要を図1に示す。高エネルギーのレーザー照射を行うための大口径ファイバーを中心とし、その周囲の同軸上にレーザー照射対象を目視確認するための映像伝送用光ファイバーを一体化させた構造となっている。さらに映像伝送用光ファイバーの外周部分には、照明光および別の波長の光を伝送するファイバーをバンドルしている。

複合型光ファイバースコープからの画像を入射させるレーザー光と分離する役割をもつのがカップリング装置

で、赤外レーザー光を反射する誘電体多層膜を蒸着させたダイクロイックミラーを内蔵している。光ファイバー端面から出射される可視光による像は、誘電体多層膜を透過し、CCDカメラのセンサー面上に結像させる。これにより、対象物を観察しつつ、映像の中心へのレーザー照射を可能とする。

2. 医療応用

2.1 胎児外科治療

胎児外科治療のうち、双胎間輸血症候群 (twin-to-twin transfusion syndrome; TTTS) は、子宮内の双胎が発症する先天性疾患のひとつである。本疾患は、1つの胎盤に対して2つの羊膜から成る一絨毛膜二羊膜性双胎にのみ発症する。通常の一絨毛膜二羊膜性双胎の場合、それぞれの血管が胎盤で繋がり、バランスよく血液の循環を行っているが、なんらかの理由により双胎間で行き来している血流が不均衡となり、片方の胎児のみに血液が流れ続けてしまうとTTTSを発症してしまう。近年では、TTTSの根本的治療法として、先進医療にも指定されている内視鏡的胎盤吻合血管レーザー焼灼術 (fetoscopic laser photocoagulation of chorionic plate anastomosing vessels; FLP) が注目されている²⁾。

この治療方法は、胎児内視鏡で子宮内を観察しながら、

(独)日本原子力研究開発機構 (〒619-0215 木津川市梅美台 8-1-7) E-mail: oka.kiyoshi@jaea.go.jp

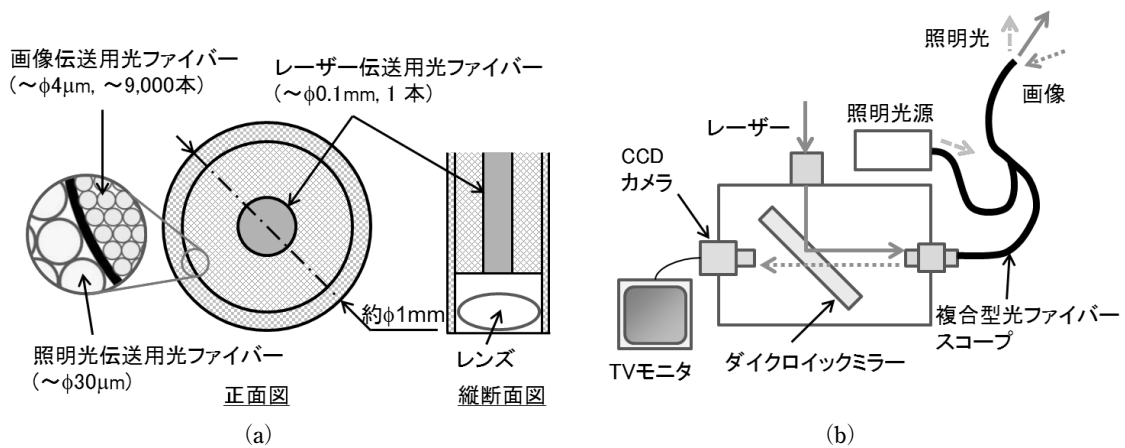


図1 (a) 複合型光ファイバースコープ, および (b) カップリング装置の基本構造 (図内の数値は一例).



図2 胎児外科治療器 (試作機).

TTTSの原因となる胎盤上の吻合血管をレーザー照射により凝固・閉塞し, 双胎間の血流異常を遮断・軽減させることが可能である. しかしながら, この治療が狭い空間である子宮内 (羊水中) を対象とすることから, 高度な手術機器が必要とされ, さらに, 医師の高い技術が求められている.

そこで, 複合型光ファイバースコープシステムの技術を適用し, 先天性疾患を有する胎児および胎盤に使用可能な「胎児外科治療用レーザー鉗子型内視鏡」(通称: Tainai-LaMiel) の試作機を開発した^{3,4)}. 図2に装置全容を示す. 本開発では, 複合型光ファイバの周囲に照明光をバンドルし, 光ファイバ先端部のレンズの極小化を図り, 全体外径を2.2 mmとした. 本装置を用いた基礎試験を実施し, 約40 Wのレーザー出力においてもレンズが損傷なく使用可能であることを確認した^{5,6)}. 図3にスコープ先端部と撮影画像を示す. 加えて, スコープ先端から対象物までの距離計測および対象物の血流計測を可能とするように

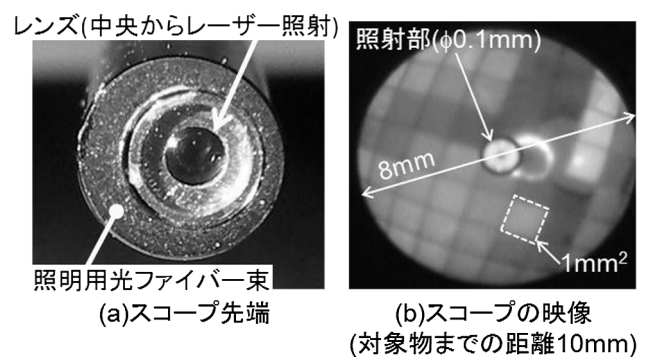


図3 外径2.2 mmのスコープ先端部と撮影画像

システムを構築した^{7,8)}.

本システムは, 比較的容易かつ安全に正確なレーザー照射が可能と考えられ, 上記の先天性疾患の胎内外科治療に威力を発揮する器具として期待されている.

2.2 産婦人科への適用

胎児外科治療器の開発の後, 多領域へ適用可能なレーザー治療器を世の中に普及させるため, 汎用型レーザー治療器を開発した^{9,10)}. 複合型光ファイバースコープは, 前節で示した光学的仕様を維持しつつ全体外径を2.2 mmから1.1 mmまで細径化し, 可撓性を約50%向上させ, 装置全体をコンパクトにまとめた.

ファイバースコープの細径化は, 患者の侵襲低減だけでなく, これまでの器具では挿入が困難であった狭隘部の診断治療にも有効であると考え, 本装置の適用先として産婦人科領域を検討した.

子宮の奥 (体部) にできる子宮体がんは, 初期症状であっても子宮全摘手術が基本であり, 術後の妊娠は不可能である. 子宮体がんの罹患数は増加の一途を辿っており, 2005年には8,000人を超えている¹¹⁾. 少子高齢化や晩婚化が進む昨今では, 子宮全摘手術を行わない術式が求め

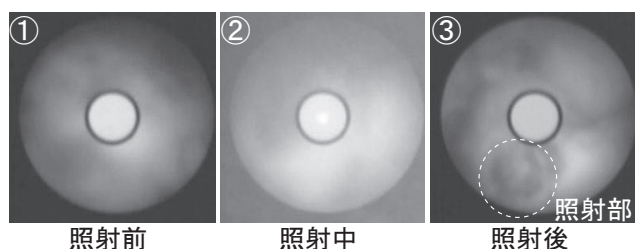


図4 外径 1.1 mm のスコープにて摘出した子宮を焼灼している様子。③はスコープをずらして観察。

られる。通常、子宮体部の診察・処置の際には、器具の挿入経路を確保するために頸部入口の拡張が必要であるが、外径 1.1 mm の複合型光ファイバースコープは拡張することなく挿入可能であることから、患者への負担を大幅に低減できる。また、複数の波長のレーザー光を導光できる特徴を生かし、焼灼治療、光線力学的診断 (photodynamic diagnosis; PDD), 光線力学的治療 (photodynamic therapy; PDT) を 1 本のファイバースコープで実施するハイブリッド診断治療を行うことを構想している¹²⁾。現在、摘出子宮へのレーザー焼灼試験を実施し、体部へのアクセス性、スコープ映像の解像度や鮮明度、焼灼範囲などの基礎データの取得および評価を行っているところである¹³⁾。一例として、図 4 は、人体から摘出した子宮にレーザー照射している様子である。焼灼後、病理検査にて、子宮内膜の焼灼により血流を遮断していることを確認した。

本研究開発は、原子力および核融合炉の研究開発から生まれた複合型光ファイバー技術を、それとは大いに異なる医療分野へ応用しようとするものである。人体の狭隘部分を検査治療する本技術開発は、必ず原子力機器の保守保全技術向上にも還元される。

われわれは複合型光ファイバーの①細径化、②屈曲化、③高解像度化を中心とした研究開発を行いつつ、各領域に特有であり、かつコアとなる共通技術の研究開発を進め、本報でご紹介した産婦人科以外にも、脳外科、呼吸器外科、消化器内科、泌尿器科などに並行して低侵襲レーザー治療器の適用を検討している。今後も引き続き医療分野への応用を推進し、医療と原子力技術の高度化に貢献したい。

文 献

- 1) 岡 潔：“リアルタイム遠隔観測機能を有する YAG レーザー溶接用複合型光ファイバシステム”，レーザー研究，**31** (2003) 612-617.
- 2) 千葉敏雄：胎児外科 (日本評論社，2007)。
- 3) 岡 潔，鳥谷智晶，妻沼孝司，中楯健一，石井崇之：特許第 4521528 号。
- 4) K. Oka, T. Nakamura, K. Harada, Y. Ohkawa, T. Hidaka and T. Chiba: “Development of laser forceps for fetal surgical treatment,” *The World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering* (IFMBE proceeding, Seoul, 2006) pp. 2976-2979.
- 5) K. Oka, A. Naganawa, H. Yamashita, T. Nakamura and T. Chiba: “Composite-type optical fiberscope for laser surgery for twin-to-twin transfusion syndrome,” *Lecture Notes in Computer Science*, **5128** (2008) 251-259.
- 6) K. Oka, T. Seki, A. Naganawa, H. Yamashita, K. Kim and T. Chiba: “The development of a composite-type optical fiberscope system for fetoscopic laser photocoagulation of chorionic plate anastomosing vessels (FLPC),” *Minim. Invasive Ther. Allied Technol.*, **19** (2010) 94-99.
- 7) T. Seki, K. Oka, A. Naganawa, H. Yamashita, K. Kim and T. Chiba: “Laser distance measurement using a newly developed composite-type optical fiberscope for fetoscopic laser surgery,” *Opt. Laser Eng.*, **48** (2010) 974-977.
- 8) T. Seki, K. Oka, A. Naganawa, H. Yamashita, K. Kim and T. Chiba: “Blood flow measurement system for fetoscopic laser photocoagulation of chorionic plate anastomosing vessels (FLPC),” *Minim. Invasive Ther. Allied Technol.*, **18** (2009) 350-355.
- 9) T. Seki, K. Oka, A. Naganawa and T. Chiba: “Development of minimally invasive laser device using composite-type optical fiberscope of 1.1 mm in diameter,” *The World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering* (IFMBE proceeding, Munich, 2009) pp. 79-82.
- 10) K. Oka, T. Seki, A. Naganawa, K. Kim and T. Chiba: “A novel ultrasmall composite optical fiberscope,” *Surg. Endosc.*, **25** (2011) 2368-2371.
- 11) 日本婦人科腫瘍学会 (編)：患者さんご家族のための子宮頸がん・子宮体がん・卵巣がん治療ガイドラインの解説 (金原出版，2010)。
- 12) K. Oka, T. Seki and Y. Komori: “Application for PDT laser therapy based on composite-type optical fiberscope,” *PACIFICHEM 2010, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies*, 541 (Honolulu, 2010)。
- 13) 重富洋志，岡 潔，大井豪一，古川直人，吉田昭三，川口龍二，永井 景，春田祥治，棚瀬康仁，赤坂珠理晃，関 健史，赤津朋宏，小林 浩：“子宮体部病変に対するレーザー治療の開発について”，日本レーザー医学会誌，**33** (2012) 131-135.

(2012 年 7 月 2 日受理)