

2012B1224

BL47XU

ファイバ整列基板の CO₂ レーザ照射耐性強化による融着光ファイバ 内部欠陥低減に向けた CT 観測に基づく研究

The Study on the Reduction Effect of the Defects in CO₂ Laser Fusion Spliced Fiber Based on the Improvement of Laser Damage Durability of the Fiber Alignment Substrate Using Micro-Computed Tomography

小池 真司^a, 柳 秀一^a, 高橋 哲夫^a, 上杉 健太郎^b,竹内 晃久^b, 星野 真人^b, 鈴木 芳生^b, 渡辺 義夫^cShinji Koike^a, Shuichi Yanagi^a, Tetsuo Takahashi^a, Kentaro Uesugi^b,
Akihisa Takeuchi^b, Masato Hoshino^b, Yoshio Suzuki^b, Yoshio Watanabe^c^a 日本電信電話株式会社 フォトニクス研究所, ^b(公財)高輝度光科学研究センター
^c(独)科学技術振興機構^aNippon Telegraph and Telephone Corporation Photonics Labs., ^bJASRI, ^cJST

CO₂ レーザ照射による光ファイバ融着部の微細構造変化を BL47XU 設置のマイクロ Computed Tomography(CT)装置により評価している。これまでファイバ整列基板材料のジルコニア含有物の内包が融着界面に観測されてきた。本課題ではファイバ整列 V 溝基板を CO₂ レーザの吸収率が小さいシリコン製に置き換えて融着治具を試作し、融着ファイバを観測した。その結果、従来問題であった融着ファイバ界面における内包物による侵食状態が観測されない良好な結果を得た。

キーワード： SPRing-8 micro-Computed Tomography (SP- μ CT)、レーザ融着ファイバ、
基板耐性強化、吸収型 μ CT

背景と研究目的：

益々の低消費電力・高速信号処理の通信装置への要求の高まりとともに、O/E/O 変換を必要としない高速・広帯域信号処理用光モジュールの搭載集積が要求された結果^[1]、狭い空間での光部品間のファイバ接続が望まれている^[2]。Fig.1 に提案している光ファイバ融着手法を示す。

2本の光ファイバ同士を突合し、一方の光ファイバを押し込むことでファイバを座屈させた状態で、CO₂ レーザを両ファイバ界面付近に照射し融着させる。本融着構成によって、従来のアーク放電型融着装置に必要なファイバアライメント制御機構装置が不要となり、ファイバインタフェースの光モジュールが回路基板上に集積搭載時の課題である高密度ファイバ配線下における融着への適用性が考えられる。

光ファイバの融着部に光ファイバを整列収容するためのジルコニア製 V 溝基板物質の融着界面への内包を SP- μ CT^[3,4]によって明らかとした。その内包に伴いその融着部微細構造に変化が起こり、融着品質の劣化を招いていた。本課題では、ジルコニア製基板損傷をディフォーカスレーザ光の基板照射への影響と考え、CO₂ レーザ光波長($\lambda=10.6 \mu\text{m}$)で吸収率が小さいシリコン製ファイバ整列 V 溝基板での融着治具を試作して実現したレーザ融着サンプルの観測を試みた。本提案融着治具を用いたファイバ座屈条件として、ファイバ収容・整列後、座屈を起こすファイバ長さ L1 を 8.5 mm、座屈を発生させるファイバ押し込み量 ΔL は 10 μm と設定して、ファイバ突合部に CO₂ レーザ光を 3 W 照射し融着した。

Fig.2 に従来型ジルコニア製ファイバ整列 V 溝基板で作製した被試験試料の断面 CT 観測結果^[5]の一例を示す(課題番号 2010A1699)。ファイバコア構造も同時測定可能なように Ge 吸収端上の 11.19 keV の入射 X 線エネルギーで、SP- μ CT における投影枚数を 3,600 枚に増加させ(通常時 900 枚)、画像の S/N 比を向上させた。融着光ファイバの断面 CT 像とともに、直径 5 μm の円内でジルコニウム含有物位置ならびにファイバコア領域で観測された線吸収係数(LAC: Linear absorption coefficient)分布ヒストグラムを Fig.2 に示している。融着界面の断面 CT 像が示すようにジルコニウム含有物質は融着界面に内包され、ファイバクラッド部を侵食している様子が分かる。また、その領域の LAC 分布はファイバを構成する LAC 分布(35~43 cm^{-1})と大きく離れ 55 cm^{-1} ~70 cm^{-1}

の高い LAC 分布を示している。本課題では上述のようにジルコニア製ファイバ整列 V 溝基板を変えて CO₂ レーザ波長 ($\lambda=10.6 \mu\text{m}$) において吸収が少ないシリコン製 V 溝基板に融着治具を設計変更・試作し、その効果を SP- μCT により評価した。

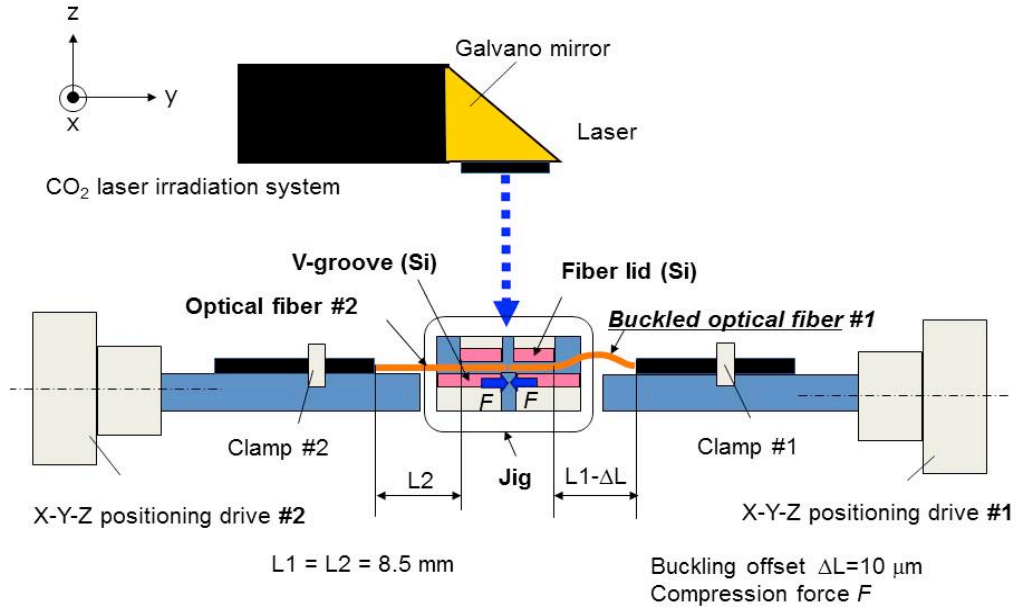


Fig.1. ファイバ座屈応用 CO₂ レーザ照射融着実験系

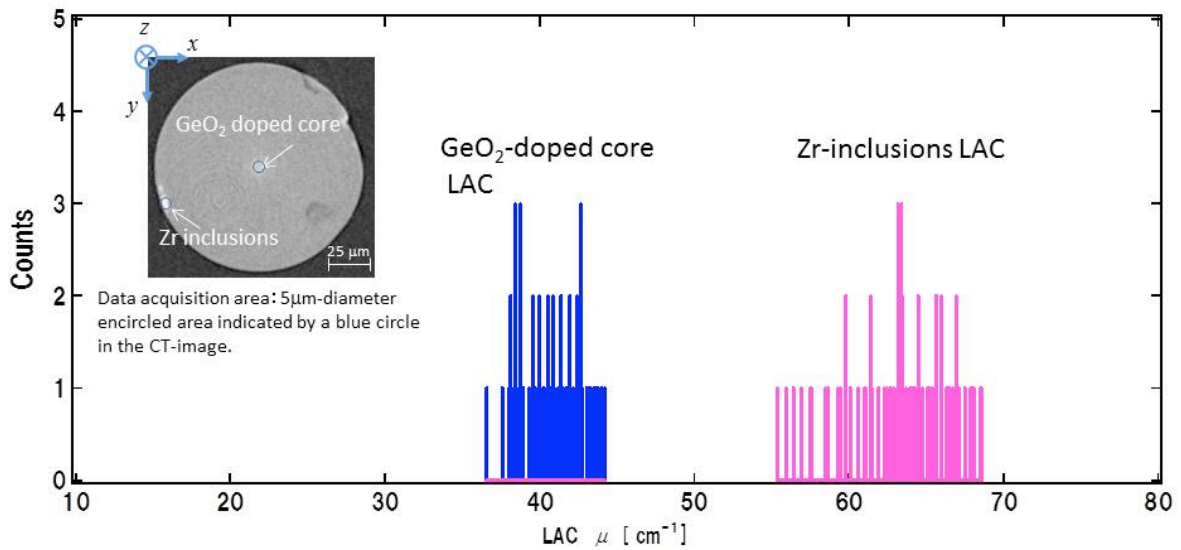


Fig.2. ジルコニア製 V 溝基板使用時の融着界面 LAC (Linear Absorption Coefficient) ヒストグラム分布

実験：

今期はサブミクロンオーダーに迫る融着光ファイバ間要求位置決め精度ならびにデータ取得数の向上を図るため、Fig.2 内の CT 画像取得時 (課題番号 2010A1699) に使用していた CMOS 検出系を変更し、scientificCMOS センサ検出系 (浜松ホトニクス社製 ORCA FLASH 2.8) ならびに同社製レンズ系 AA50 (x10) をカメラモニタ^[6,7]とし、画素ピクセルサイズをこれまでの 0.5 μm から 0.313 μm に改善して測定を行った。投影枚数は 3,600 枚である。また、入射 X 線エネルギーとして課題番号 2010A1699^[5]と同様に Ge 吸収端入射 X 線エネルギーである 11.19 keV 付近で、CO₂ レーザ照射して融着したファイバサンプルのコアと内包物の有無の観測・評価を行った。測定にあたり、未処理光ファイバを標準試料として同様に測定を行い、コア領域の LAC 分布測定を行った。

結果および考察：

Fig.3 にはシリコン製ファイバ整列V溝基板に変えた融着治具で作製した典型的な融着光ファイバの融着領域(ファイバ長手(z軸)方向：約 62 μm)の3次元ポリゴン画像とその断面 CT 像を3例示した。本図に示すように Fig.2 において見られたような高い LAC を示す物質の内包と、それによる侵食を融着界面内部において観測されなかった。

しかしながら、融着界面内ではなく、ファイバ周縁部に LAC が比較的高い微粒子が固着する様子が観測される結果が得られた。本結果はシリコン製ファイバ整列 V 溝基板での融着光ファイバの作製における特徴的な結果と考えられる。以後、本報告では、この固着微粒子を被融着材料ならびに融着治具からの破損物質の一部と考え、デブリと呼ぶ。

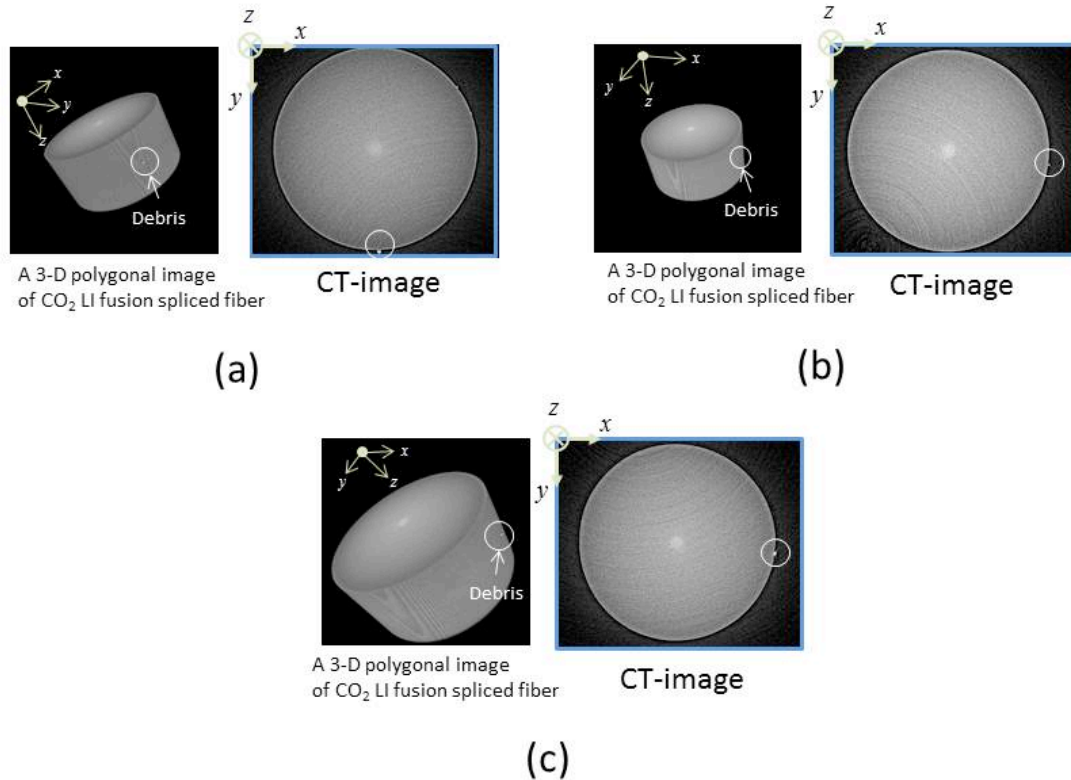


Fig.3. シリコン製 V 溝基板を用いて製作したレーザ融着ファイバ SP-μCT 観測例

Fig.4 には未処理の標準光ファイバのコア領域と融着光ファイバの周縁に固着した微粒子(デブリ)の LAC 分布ヒストグラムを合せて示した。なお、同図中には、デブリの LAC 分布データを取得した融着ファイバ断面 CT 全体画像(Fig.4(a))と、デブリの LAC 分布データ取得位置の拡大図(Fig.4(b) : Fig.4(a)矩形部に対応)をあわせて示した。データ取得にあたっては約 1.5 μm を直径とする円で囲った領域において、それぞれの断面 CT 画像にてデータ取得を行った。デブリサイズよりも小さな領域設定とすることによって、デブリ自体の LAC 分布取得に努めた。一方、標準ファイバの LAC ヒストグラムは 25 μm を直径とする円でコアを中心に囲んだ領域を 1,440 枚の画像集積によって得られたものである。それぞれの LAC 分布のカウント値の合計が 100%となるように規格化しており、特にコア領域の LAC 分布ヒストグラムはデブリヒストグラムとの比較をしやすいように、100%に規格化後に 10 倍乗じて表示を行っている。

本図中のファイバ断面 CT 画像は Fig.3 で示したように今回のシリコン製 V 溝基板で融着されたサンプルの典型的な結果を示している。すなわち、シリコン製 V 溝基板で作製した観測融着サンプル中では Fig.2 で見られた高い LAC 分布を有する含有物によってファイバ融着界面が内包・侵食される様子が見られず、図示のようにデブリがファイバ表面に固着する結果が多数を占め、グラフ内の Fig.4(a)の断面 CT 像はその典型的な結果を示すものである。

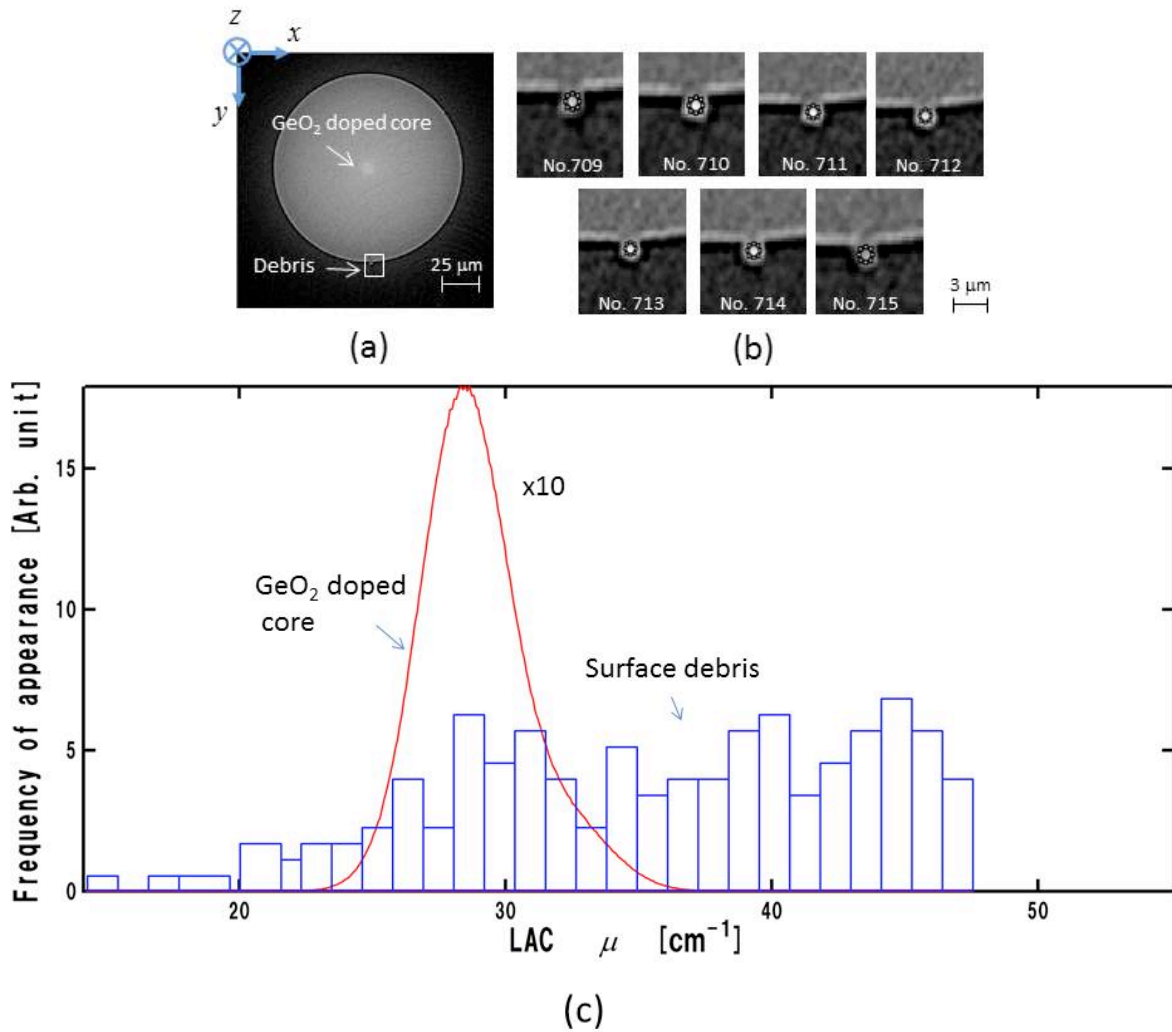


Fig. 4. シリコン製 V 溝基板を用いて製作したレーザ融着ファイバ周辺部固着微粒子 (□) と未照射シングルモード光ファイバコア部 (—) の LAC ヒストグラム分布
 (a)融着ファイバ断面 CT 画像 (図中矩形部中にデブリ微粒子の存在を示す。)
 (b)(a) 図中矩形部の拡大図の断面 z 方向連続スライス画像 画像間隔は 0.313 μm
 各画像中円形部がヒストグラムデータ採取部であり、図中 No. はスライス番号を示す。
 (c)LAC ヒストグラム分布

一方、デブリと未処理光ファイバの LAC ヒストグラム分布を比較すると、デブリを構成する LAC 分布は双峰であることに加えて、低 LAC 側のピークは光ファイバの LAC ヒストグラム分布にほぼ一致する様子が分かる。光ファイバ周辺に固着したデブリは融着時にファイバクラッド材に巻き込まれている様子の観測結果と一致している。一方、高い LAC 値を示すピーク側のデブリのヒストグラム分布はファイバの LAC 分布領域を超えてはいるものの、50 cm⁻¹ までに収束している様子が見られる。本融着治具の構成から、シリコン V 溝基板端面から加工不良により剥離したシリコン微粒子が、レーザ照射によってファイバの基板上に付着したデブリに囲まれたものが、ファイバ整列時にファイバ端に付着し、融着時にファイバに固着したものと推察される。

今後の課題：

これまで観測されてきたジルコニウム含有物に相等する LAC 分布はジルコニアからシリコンに整列基板材料を変えて作製したレーザ融着ファイバ観測サンプルで、内包物として検出されることはなかった。従って、ジルコニウムに相等する高い LAC 分布を示す融着界面に内包される物質の起源は、ファイバ整列 V 溝基板であるという推測を補強する結果となった。シリコン製ファイバ整列 V 溝基板治具により作製した融着ファイバ界面を SP-μCT により観測を行った結果、融着

界面内部への基板材含有物質の内包による構造劣化が低減できることが明らかとなった。

しかしながら、シリコン含有物と想定される微細粒子がファイバ表面に固着する結果を示し、表面傷の一因となりファイバ破断強度低下が懸念される。今後は、本含有微細粒子の起源^[8]を明らかにし、その低減が課題である。

参考文献：

- [1] M. Jinno et al., *NTT Tech. Rev.*, **7**(5), 1 (2009).
- [2] S. Asakawa et al., *NTT R&D*, **51**(3), 211 (2002).
- [3] K. Uesugi et al., *J. Phys.: Conf. Ser.* **186** 012050 (3pp) doi: 10.1088/1742-6596/186/1/012050 (2009).
- [4] S. Koike et al., *IEEE Transactions on CPMT*, **1**, 100-110 (2011).
- [5] 小池真司 他、平成 22 年度 重点産業利用課題成果報告書(2010A), 21-24, 2010A1699.
- [6] K. Uesugi et al., *SPIE Developments in X-ray tomography VIII*, **8506**, 850601-1 (2012).
- [7] 上杉健太郎 他、SPRING-8 年報 2011 年度 pp.63-64.
- [8] V. M. Marchenko et al., *Laser Physics*, **10**, 576 (2000).

©JASRI

(Received: April 12, 2013; Early edition: March 25, 2014; Accepted: July 3, 2014;
Published: July 10, 2014)