

CO₂ レーザ照射によるファイバ融着接続における光ファイバ内部構造変化の SPring-8 放射光光源を用いた X 線マイクロ CT 観察による研究
Three-dimensional observation of microstructure change in optical fiber core formed by the CO₂ laser irradiation using the X-ray micro-tomography system called SP- μ CT

小池 真司^a, 小林 潤也^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^b
Shinji Koike^a, Junya Kobayashi^a, Kentaro Uesugi^b, Akihisa Takeuchi^b, Masato Hoshino^b, Yoshio Suzuki^b,
Yoshio Watanabe^b

^a 日本電信電話株式会社, ^b(財)高輝度光科学研究センター
^aNTT Corp., ^bJASRI.

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 SPring-8 BL47XU 設置のマイクロ Computed Tomography (CT)により、評価した。当期は融着条件の違いによる融着光ファイバ密度変化を CT 画素値ベースで評価した結果を報告する。また、SPring-8 BL47XU により、融着界面での内包が確認されたジルコニウム含有物の光ファイバコアへの影響を検討するため、Ge 吸収端を用い光ファイバコア像を鮮明にし、内包物がコアと光ファイバの外形形状に与える影響を観察した。

キーワード： ボード内光ファイバインタコネクション、レーザ融着、SPring-8 μ CT (SP- μ CT)、

背景と研究目的：

ボード内光インタコネクションへの適用を狙いとして、座屈状態にある光ファイバに遠隔から CO₂ レーザを照射し融着するレーザ融着技術を提案^[1]している (図 1 参照)。 これまでに我々は本手法による接続機械強度信頼性と挿入損失の向上に向けて、レーザ照射による融着部の微細構造変化を SPring-8 BL47XU 設置の micro-Computed Tomography (μ CT)^[2]により立体的な構造観察してきた。その結果、融着治具が起源と考えられるジルコニウム含有物の内包が融着界面に微量存在することが明らかとなり^[3]、その内包物の簡易クリーニングを導入し、挿入損失の改善を図ってきた^[4]。

その一方で、座屈条件 L1 を変えたサンプルについて、融着光ファイバの機械強度向上を示すデータが得られ、これまでの条件で作製したサンプルとの比較のため、顕微ラマン分光分析による評価を行った。内部残留応力と仮想温度の指標となる、D2 ラインならびに ω 1 ピーク変化を融着部位にて測定したところ、新条件では従来条件と異なる D2 ラインピークと ω 1 ピークの波数変化の融着部位依存性が観測された^[5]。しかしながら、本波数ピークシフトがラマン分光分析手法の精度と同等であるため、明瞭な結果は得られていない。そこで今回、シリカ密度の構造変化について CT 画素値をベースとして、その構造変化測定を試みた。さらに、これまでに SPring-8 BL47XU により、融着界面の内包が確認されたジルコニウム含有物の光ファイバコアへの影響を明確にするため、Ge 吸収端近傍の測定 X 線エネルギーを用いて光ファイバコア部の画像を鮮明にした。その結果得られた内包物とコアと光ファイバ外形形状との関連についても報告する^[6]。

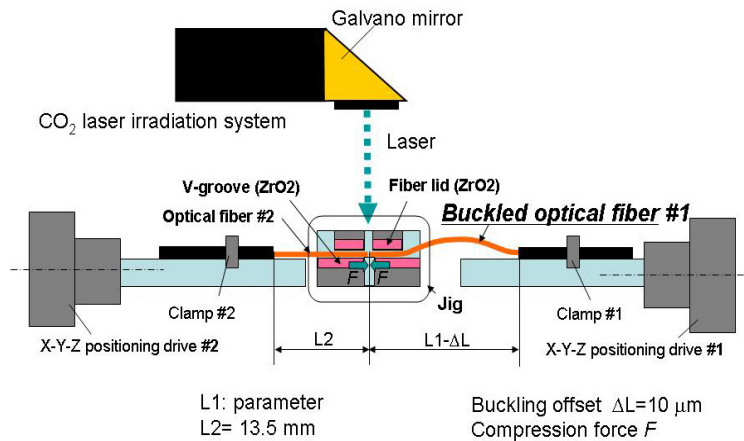


図1. ファイバ座屈を用いる提案するレーザー融着実験系

実験：

1) 融着光ファイバシリカ密度測定実験

融着光ファイバの線吸収係数の融着部密度変化を測定するにあたって、SPring-8 BL47XU 設置のSP- μ CTを用いた。本測定に用いたX線エネルギーは8 keVである。CT測定領域は光ファイバ長手方向(z軸方向)に650 μ mであり、ファイバ断面(x-y軸面内)ならばファイバ長手方向(z軸方向)の分解能は、ともに1 μ mである^[2]。

2) Ge吸収端を用いた融着光ファイバコア部観察実験

測定X線エネルギーとして吸収端下(11.09keV)と吸収端上(11.19keV)での測定を行い、光ファイバクラッド部に対するコア部の画像コントラスト改善を測り、両者コントラストが最大となる画素値でコア識別を行い、光ファイバコア部の画像抽出を行った。

結果および考察：

1) 融着光ファイバシリカ CT画素値分布測定結果

図2に未処理のファイバ、顕微ラマン分光分析測定により、 ω_1 ピークシフトが特徴的な変化を示した座屈条件(L1=L2=13.5mm)のファイバと、内部に微小孔群が発見されたファイバにおけるサンプルの微小孔近傍でのクラッド部のCT画素値分布を示す。

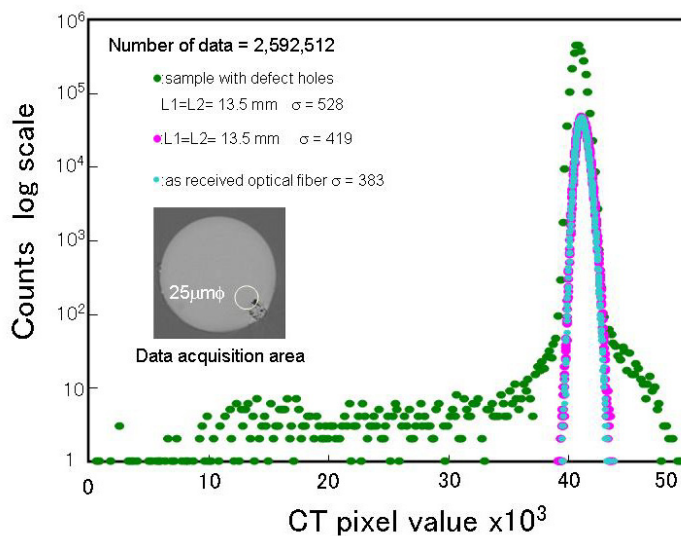


図2. 融着サンプルのCT画素値分布

実験結果はグラフ内の CT 画像中に示す 25 μm を直径とする円内に収められた画素値を測定ファイバ長 650 μm に亘り、累積して得られた CT 画素値の分布測定結果である。

本図に示すように、座屈条件 $L1=L2=13.5\text{mm}$ サンプルと未処理光ファイバサンプルにおいて、顕著な差異が見られなかったものの、CT 画素値の分散値としてわずかに増加する様子が見られた。一方、微小孔が見られた光ファイバサンプルについては、本図に見られるように、CT 画素値が広域に分散する様子を観測することができた。この原因については今後検討予定である。

2) Ge 吸収端を用いた融着光ファイバコア部観察実験結果

図 3 には、Ge 吸収端上下での光ファイバ断面 CT 像を示した。本図に示すように、吸収端上下では光ファイバコア/クラッドの線吸収係数の違いから、吸収端上では鮮明に光ファイバコアが抽出できている様子が明らかとなった。線吸収係数ベースでコア/クラディング間のコントラスト比は、これまでの 1.01 から、1.23 となり、約 22% のコントラスト改善をもたらすことができた。

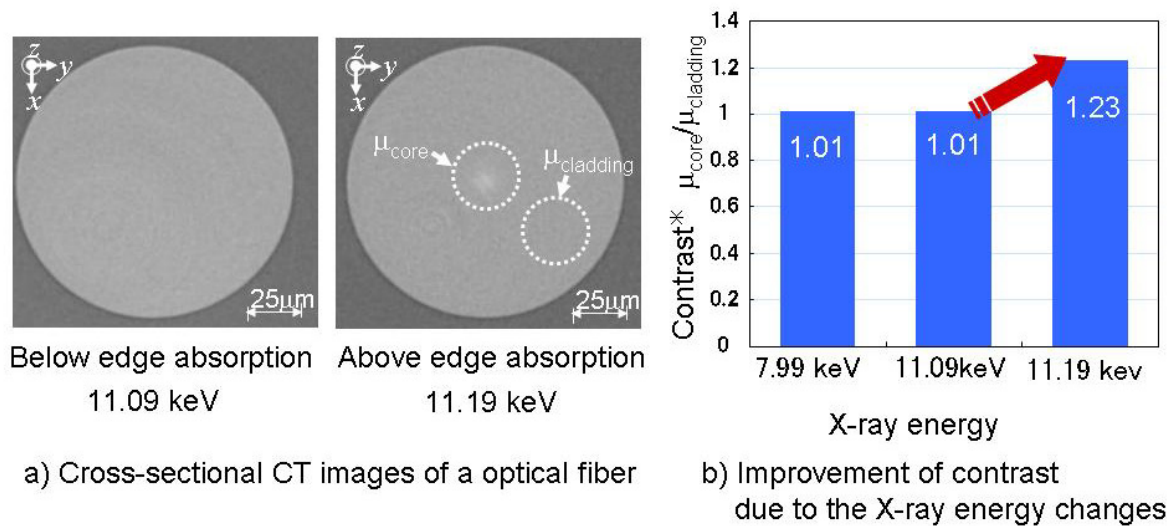


図 3. Ge 吸収端上下での光ファイバ断面 CT 像と測定 X 線エネルギーとコントラスト比 (*ファイバコア/クラッド線吸収ベースでの比較)

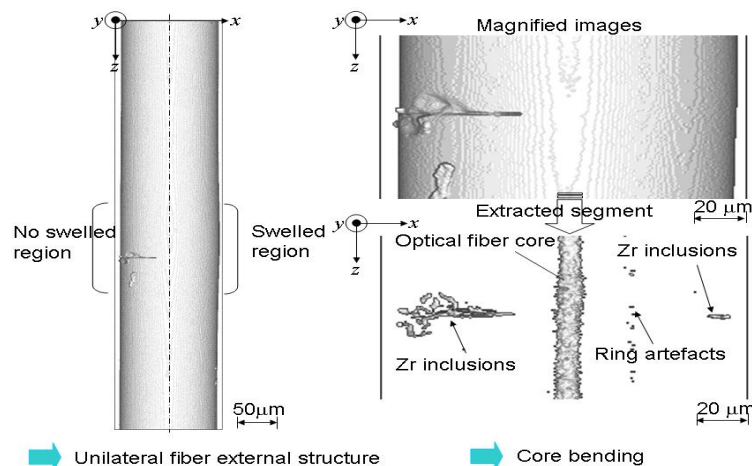


図 4. ジルコニウム含有物を含むサンプルの光ファイバ外形とコア部抽出 CT 画像

図 4 には光ファイバコア部の CT 画素値以上の物質の抽出を試みた結果を示した。本図には、光ファイバの外形形状に加えて、光ファイバコア部の拡大 CT 画像の抽出結果を示している。本図に示すように、光ファイバ外形形状は軸対象になっておらず、ジルコニウム含有物が内包されている領域に光ファイバの膨らみが観察されていない。また、GeO₂ を主構成物質とする光ファイバコア形状はジルコニウム含有物を多く含む側に屈曲している様子が観察された。この屈曲が本サンプルの光ファイバ融着損失 (0.86dB) 増加の一因となっているものと考えられる。

今後の課題：

微小な孔群が存在する光ファイバ融着サンプルを観測することができた。その近接部における CT 画素値分布は、未処理光ファイバ、同一条件で作製した融着サンプルの CT 画素値分散値よりも大きな結果を示すとともに、線吸収係数の高い側への CT 画素値分布も観測された。今後、このような融着品質の低下をもたらす孔群形成過程を明らかにし、融着プロセスの改善を図る予定である。

参考文献：

- [1] S. Koike, S. Asakawa, M. Kobayashi, and R. Nagase, "A Simple Optical Fiber Splicing Technique using CO₂ Laser Irradiation for Board-level Optical Interconnections," *International conference on Electronic Packaging (ICEP)* 12B4-1, pp. 421-426, (2008).
- [2] K. Uesugi, A. Takeuchi, and Y. Suzuki, "High-definition high-throughput micro-tomography at SPring-8," *J. Phys.: Conf. Ser.* 186 012050 (3pp) doi: 10.1088/1742-6596/186/1/012050, (2009).
- [3] 小池真司、浅川修一郎、阿部宜輝、小林勝、長瀬亮、上杉健太郎、梶原堅太郎、竹内晃久、鈴木芳生、廣沢一郎、渡辺義夫
「炭酸ガスレーザーによるファイバ融着接続部の SPring-8 放射光を用いた観測結果」
第 69 回応用物理学会学術講演会 2a-ZG-1 (2008).
- [4] 小池真司、浅川修一郎、阿部宜輝、小林勝、長瀬亮、上杉健太郎、梶原堅太郎、竹内晃久、鈴木芳生、廣沢一郎、渡辺義夫
「クリーニングプロセス導入による炭酸ガスレーザー照射光ファイバ融着部内包 Zr サイズ低減の SP- μ CT 観察」
第 70 回応用物理学会学術講演会 8p-A-9 (2009)
- [5] 小池真司、小林勝、浅川修一郎、長瀬亮
「炭酸ガスレーザーによるファイバ融着接続部のラマンスペクトル D2 ラインの一測定結果」
第 55 回応用物理学関係連合講演会 28a-ZB-1 (2008).
- [6] 小池真司、小林潤也、上杉健太郎、竹内晃久、星野真人、鈴木芳生、渡辺義夫
「Ge K 吸収端を用いた SP- μ CT による炭酸ガスレーザー融着光ファイバ接続部の構造観測結果」
第 57 回応用物理学関係連合講演会 20a-L-8 (2010).