

# 端面動画像処理による 偏波保持光ファイバの偏波軸調整法

## Alignment of Polarization Maintaining Fibers By Real Time Image Processing of End Surfaces

棚森 鶴†, 成木 俊介‡, 森 正和‡  
Tazuru TANAMORI, Shunsuke NARUKI, Masakazu MORI

**Abstract :** A method to align PANDA fibers by real time image processing of fiber end surfaces is investigated. By adopting color filtering technique and inter-frame average technique, stable edge detection is realized. The method is applied to the connectorization process of PANDA fibers. The advantage of the method over eye measurement is confirmed by the yield of high polarization extinction ratio.

### 1. はじめに

光通信におけるファイバの調心方法は重要な課題の一つである。ファイバにはマルチモードファイバ(MMF)やシングルモードファイバ(SMF)、偏波保持光ファイバ(PMF)のように実用化されているものから、マルチコアファイバ(MCF)のように実用化に向けて盛んに研究が行われているものまで多種多様であり、様々な方面での活用が期待されている。その反面、ファイバ構造の複雑化に伴い、外形合わせだけによる光ファイバの接続が難しくなっている。

ファイバ軸合わせの方法としては、ファイバ端面<sup>1)</sup>もしくはファイバ側面<sup>2)</sup>から光を照射して、側面から内部の状態を観察する手法(側面観察法)が広く用いられている。偏波非保持のSMFのように簡単な構造であれば側面観察法でも十分な効果を期待できる。しかし、MCFのように複雑な構造を持つファイバになると、ファイバ内にマーカを入れるなどの特別な工夫が必要となってくる<sup>3)</sup>。

このような理由から、多様化するファイバ形状に応じるために、側面観察法に代わる調整手法の開発が重要となってくる。

我々はこれまでに、側面観察法に代わる手法として、端面観察法をもとにした、端面動画像処理によるPMFの偏波軸調整法の検討を行ってきた<sup>4-8)</sup>。

本研究では、PANDA型偏波保持光ファイバ<sup>9)</sup>を観察対象とすることを前提に、端面動画像処理による偏波軸調整手法の開発を目指した。

### 2. 動画像への適用

我々は、これまでに静止画像に対して検討してきた<sup>4-8)</sup>。その結果、円検出および角度ずれ検出の手法に問題ないことを確認できた。しかし、静止画を用いた手法ではリアルタイム性の問題がある。そこで、動画像による処理手法の検討を行った。

#### 2.1 動画像処理

動画像による処理の方法として、カメラから得られたデータを一定時間ごとにフレーム単位で取得し、連続的に処理・描画する手法を検討した。

動画像処理の手順を図2.1に示す。まず始めに、カメラから取得した画像データを一定間隔でバッファに取り込む。バッファ内の画像データは静止画像であるため、これまでに検討してきた円検出手法<sup>4-8)</sup>を適用することができる。最後に処理後の画像を表示する。この手順を繰り返し、動画像として処理とする。

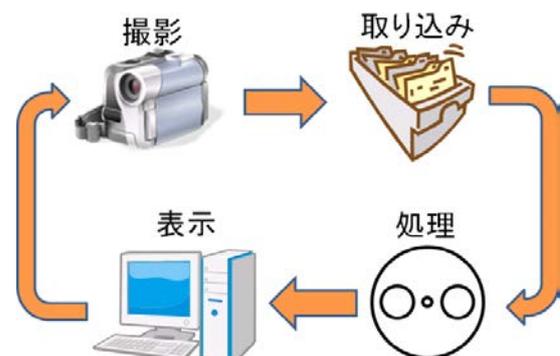


図 2.1:動画像処理手順

† 愛知工業大学大学院 工学研究科(豊田市)

‡ 愛知工業大学 工学部 電気学科(豊田市)

動画画像処理が有効かどうかを確認するために、得られた画像にエッジ検出処理を適用し、表示の確認を行った。

動画画像処理の結果を図2.2に示す。フレーム単位での取得・描画処理については問題なく行えることが分かった。しかし、図2.2(b)を見ても分かるように、エッジ検出処理において不完全なエッジ画像となっている。このままでは円検出処理が行えないため、ファイバ端面画像の最適化を行う必要がある。



(a)元画像 (b)エッジ検出画像

図 2.2:動画画像処理結果

## 2・2 端面画像の最適化

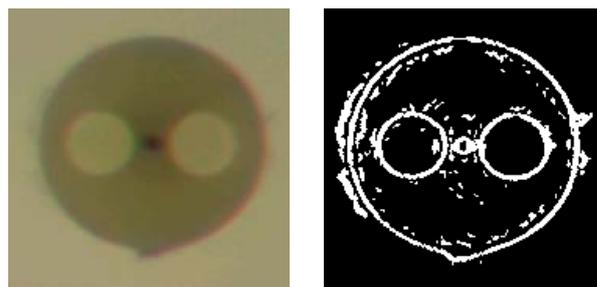
前節において、端面動画画像による処理が可能であることが確認できた。しかし、エッジ検出処理が不完全であるため、このままではエッジ検出以降の処理で十分な結果が得られない。そこで、端面画像の最適化手法を検討した。

従来検討してきた静止画像処理<sup>4・8)</sup>では、エッジ検出で3個、平滑化で2個のパラメータを用いた。今回、さらに輝度に関するパラメータを2個追加した。これらのパラメータはソフトウェア処理であるため、プログラム実行中に任意に変更できるようにした。

また、顕微鏡とファイバの焦点距離、ファイバ端面観察用の照明、およびファイバ端面の傾きを調整できるようにした。

最適化後の結果を図2.3に示す。図2.2と比べても、元画像およびエッジ検出画像共に明瞭な像が得られているのが分かる。焦点距離とファイバ端面の傾きを調整するだけでも十分な結果を得られるが、エッジ検出や平滑化パラメータを調整することにより、画像全体の雑音を低減することが可能である。

しかし、動画画像処理を行う際、最適化を行ったとしても、エッジ検出画像に雑音が多く含まれていることが分かった。このままではファイバ画像から円検出を行っても、雑音による誤動作・誤検出が起きやすい。そこで、次に雑音除去の手法を検討した。



(a)元画像 (b)エッジ検出画像

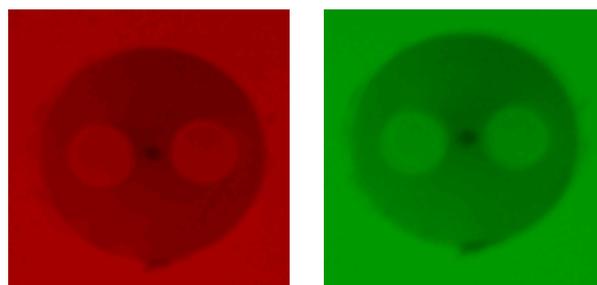
図 2.3:端面画像の最適化

## 2・3 雑音除去

本研究では外部照明を用いてファイバ端面の観察を行っていることから、外部照明がファイバ画像に与える影響は大きい。そこで、元画像からエッジ検出画像を生成する間の処理に雑音の原因があると考えた。

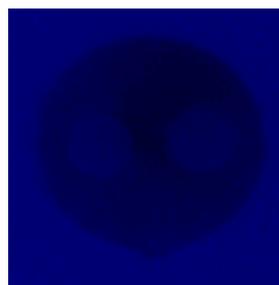
元画像からエッジ検出画像を生成する際、一端、元画像をグレースケール画像に変換し、エッジ検出処理を行っている。元画像をグレースケール画像に変換するとき、RGB情報を輝度情報に変換していることから、色情報が雑音に寄与していると考えた。

まず始めに、元画像をRGBの三種類に分割し、比較検討を行った。図2.4に分割した元画像の各色成分を示す。図2.4(a)および図2.4(b)から分かるように、赤および緑色成分では、クラッドと応力付与部の境界円がはっきりと現れているのが分かる。これに対し、図2.4(c)では全体的に輝度変化が少なく、クラッドと応力付与部の境界円が分かりづらい。そこで、エッジ検出の際に発生する雑音が青色成分を主としているものと考え、青色成分の除去を行った。



(a)赤色成分

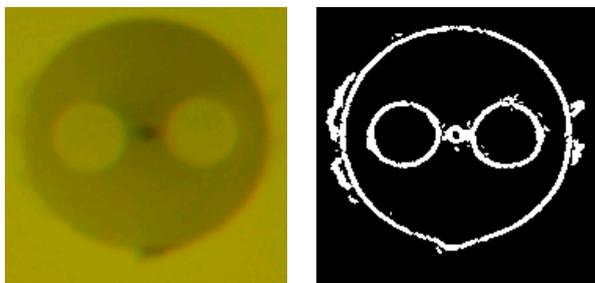
(b)緑色成分



(c)青色成分

図 2.4:色成分ごとの輝度

色成分の除去により得られた結果を図2.5に示す。このように、雑音に寄与する色成分を除去することにより、雑音を低減できることが分かった。



(a)色成分除去画像 (b)エッジ検出画像

図 2.5:色成分除去

## 2・4 プログラムの改良

前節までの処理を適用して得られたエッジ動画像に、クラッド及び応力付与部の境界円検出処理を適用した。しかし、フレームごとのエッジ検出画像において、細かなぶれ(図2.6)が発生し、安定した円検出を行えないことが分かった。ぶれが発生する原因は、照明強度の変動や外部振動によって、画像内のエッジ検出位置が変化するためである。

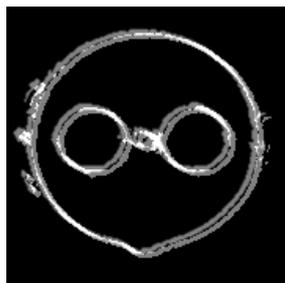
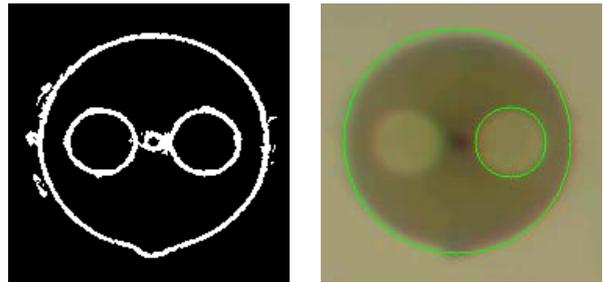


図 2.6:動画像のぶれイメージ

そこで、画像データをバッファに蓄積し、複数フレームの重ね合わせを行うことにより、フレームごとの細かなぶれを吸収し、円検出を安定させる手法を検討した。バッファはFIFO形とし、新しい画像データが入ったら、古い画像データを破棄するようにした。一定の長さを持ったバッファの中に、エッジ検出処理後の画像を随時格納していく。次に、格納された画像データをピクセルごとに積算する。積算画像をピクセルごとに閾値を用いて区切り、一定の値を持ったピクセルは境界円を構成するもの判定し、それ以外のピクセルを雑音と判定し除去する。これにより、一定時間内に発生するぶれを吸収し、効率良く円検出を行うことができる。

バッファを用いた複数画像の重ね合わせ処理を適用した結果を図2.7に示す。複数画像の積算と閾値による雑音除去を用いることにより、ほぼ安定した円検出を行うことが可能であることが分かった。



(a)エッジ検出画像 (b)円検出画像

図 2.7:動画像円検出

## 2・5 検出精度と処理時間

前節までの処理を適用し、検出精度と処理時間の評価を行った。

検査対象には、回転テーブルを用いて基準画像を回転させた物を用いた。ファイバ軸合わせで最も重要なことは、基準に対する検査対象の角度差が $0^\circ$ に近い場合における検出精度である。始めに基準対象を設定し、回転テーブルを使って検査対象を $0^\circ \sim 3^\circ$ の範囲で変化させ、検出精度の確認を行った。この時、回転テーブルの変化量と測定値の差の最大値を、動画像処理における検出精度とした。この結果、動画像処理における検出精度は $0.34^\circ$ となった。これから、偏波消光比35dB以上を得られることになる。

次に処理時間の計測を行った。測定に用いたPCの仕様は、OS:Windows7 64bit、CPU:Intel Core i5-2320@3.0GHz、Memory:4GByteである。測定は画像の取り込みから開始し、エッジ検出、円検出、角度測定、表示までを一区間とした。この結果、1フレームあたり約60msで処理できることを確認した。これより、本手法では一秒間当たり16フレームを処理できることとなる。実際にファイバ端面を動かしてみると、若干のタイムラグが発生したが、実用上問題ないことを確認できた。

## 3. コネクタ付けへの適用

本研究で開発した端面画像処理法をコネクタ付け工程に適用し、偏波消光比の測定を行うことにより本手法の有効性を評価した。

測定結果の比較のために、PANDA型光ファイバへのコネクタ付けを目視法と端面画像処理法で行い、偏波消光比の測定を行った。また、偏波消光比の低下が角度調整によるものか、その他の要因によって生じるものかを区別するために、ナローキー型コネクタアダプタを用いた場合と、割りスリーブを用いた場合の二つについて偏波消光比の測定を行った。

図3.1にファイバ接続に用いたナローキー型コネクタアダプタと割りスリーブを示す。コネクタアダプタは、図3.2に示すようにコネクタキーが付いているため、コネ

クタ付け工程での偏波軸の角度ずれがそのまま現れる。

一方、割りスリーブを用いた場合(図3.4)では、コネクタ付け工程で発生する角度ずれを接続時に調整できるため、偏波軸のずれをほぼ無くすることができる。これより、偏波軸調整以外で発生した要因のみが、偏波消光比の低下として現れる。

以上のような手法で、偏波消光比の測定と比較検証を行った。



図 3.1:コネクタアダプタと  
割りスリーブ



図 3.2:コネクタキー



図 3.3:コネクタアダプタ接続例



図 3.4:割りスリーブ接続例

### 3・1 目視法

目視法とは、基準となるファイバの偏波軸と合うように、目視にて検査対象の角度を調整する手法である。本研究では、顕微鏡にデジタルカメラを接続し、基準となるファイバを観察した後、基準におおよそ合う角度で調整対象となるファイバのコネクタ付けを行った。

目視法による偏波軸調整結果を図3.5、図3.6に示す。目視法による調整では偏波消光比はほぼ均一に分布しているのが分かる。図3.5の結果から、計算により角度ずれの範囲を求めると、 $1^{\circ} \sim 11^{\circ}$  の広範囲で角度調整にばらつきが出ていることが分かった。

図3.6は割りスリーブを用いて測定を行った結果である。この結果より、角度ずれの計算を行うと、 $1^{\circ} \sim 8^{\circ}$  の範囲で角度調整にばらつきが出ていることとなる。以上のことから、目視法によるファイバ軸の調整では、確実に高偏波消光比を得られるファイバを作ることは難しいと言える。

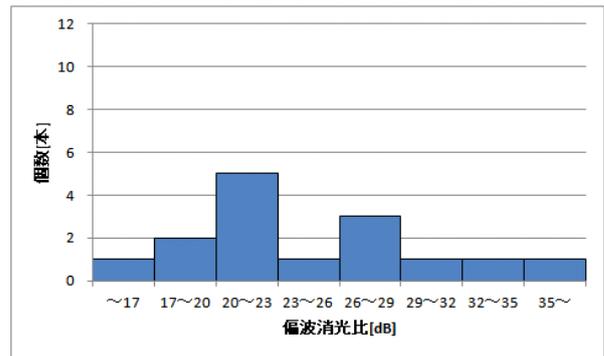


図 3.5:目視法(ナローキー型コネクタアダプタ)

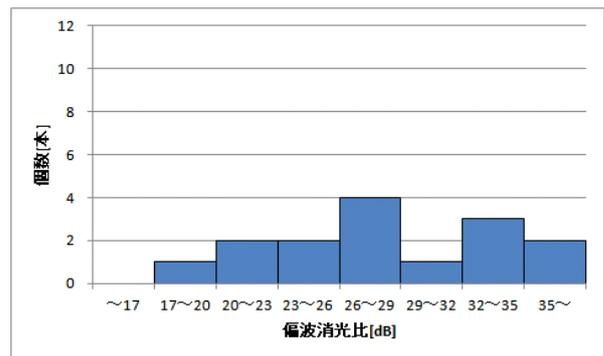


図 3.6:目視法(割りスリーブ)

### 3・2 端面画像処理法

端面画像処理法による偏波軸調整結果を図3.7、図3.8に示す。目視法によるファイバ調整と比べ、全体的に偏波消光比が上がり、30dBを中心とした小さな分散の分布となっているのが分かる。

図3.7に示すように、コネクタアダプタを使った場合には、約半数が偏波消光比30dBを満たすという結果になった。この結果から、計算により角度ずれの範囲を求めると $1^{\circ} \sim 6^{\circ}$  となった。

図3.8の割りスリーブを用いた結果では、約7割が偏波消光比30dBを満たしているのが分かる。ナローキーを使った場合と同様に、偏波消光比から角度ずれの範囲を求めると $1^{\circ} \sim 6^{\circ}$  程度となった。

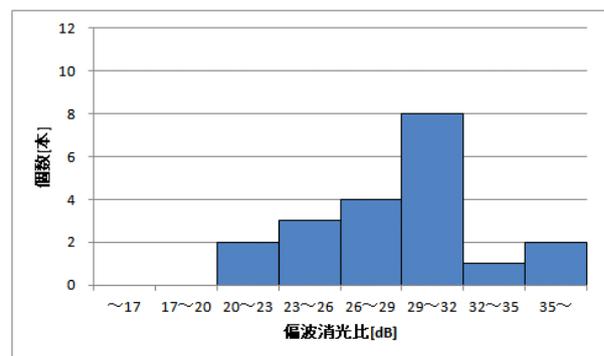


図 3.7:端面観察法(ナローキー型コネクタアダプタ)

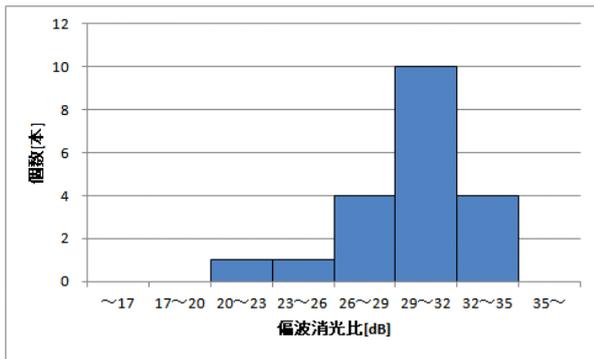


図 3.8:端面観察法(割りスリーブ)

### 3.3. 結果の比較

3.1、3.2節の結果を比較すると、目視法に比べ、端面画像処理法では良好な結果が得られることが分かった。

目視法では、ナローキー型コネクタアダプタと割りスリーブを使った測定のどちらの場合でも、偏波消光比の分布が全体的に平坦なものとなった。

これに対し、端面画像処理法では、ナローキー型コネクタアダプタ、割りスリーブの両方共に30dB付近を中心に小さな分散値となっているのが分かる。

以上のことから、端面画像処理法は目視法と比べても有利な結果が得られることが分かった。

## 4. まとめ

端面動画画像処理による偏波保持光ファイバの偏波軸調整手法を検討した。静止画処理から動画画像処理への変更がリアルタイム処理を行う上で重要な課題の一つであった。今回検討した手法では、比較的簡単なアルゴリズムにより、動画画像処理から雑音除去、円検出の安定化を行うことが可能である。また、実際にコネクタ付け工程へ適用することにより、目視法と比べて十分に有利な結果を得られることが確認できた。

今後の課題は、偏波消光比 30dB を確実に満たすため、検出精度を改善することである。また、偏波消光比がばらつく要因の一つとして、偏波消光比測定法の曖昧性がある。このことから、再現性の高い偏波消光比測定法の開発も課題の一つである。

## 5. 参考文献

- 1) 松本三千人,灰原正,宮内充,「光ファイバ融着補強部信頼性の検討」,電子通信学会論文誌,Vol.66-B,No.5, pp.615-622(1983)
- 2) 河田修,星野光一,宮島義昭,大西正敏,石原浩志,「コア直視法を用いた単一モードファイバ接続の軸調心誤差要因と接続損失推定」,電子通信学会論文誌,Vol.67-B,No.3, pp.281-288(1984)
- 3) 杉崎隆一,今村勝徳,齋藤恒聡,「高密度伝送用マルチコアファイバ」,レーザー研究,第 40 巻第 6 号,pp.416-421(1984)
- 4) 棚森鶴,成木俊介,森正和,「端面画像処理による偏波保持光ファイバの偏波軸調整法の検討」,電気関係学会東海支部連合大会,E4-6(2011).
- 5) 棚森鶴,成木俊介,森正和,「端面画像処理による偏波保持光ファイバの偏波軸調整法の改良」,第 11 回レーザー学会中部支部若手研究発表会,LC11-5(2011)
- 6) 棚森鶴,成木俊介,森正和,「端面画像処理による偏波保持光ファイバの偏波軸調整法」,愛知工業大学研究報告, No. 47, pp. 247-250(2012)
- 7) 棚森鶴,成木俊介,森正和,「端面画像処理による偏波保持光ファイバの偏波軸調整法の改良(II)」,電気関係学会東海支部連合大会, N3-8(2012)
- 8) 棚森鶴,成木俊介,森正和,「端面動画画像処理による偏波保持光ファイバの偏波軸調整法の検討」,第 12 回レーザー学会中部支部若手研究発表会, LC12-10(2012)
- 9) 保坂敏人,佐々木豊,岡本勝就,野田寿一,「応力付与形偏波保持光ファイバ構造設計および作成」,電子通信学会論文誌,Vol.J67-C,No.10,pp.741-748(1984)

(受理 平成 25 年 3 月 19 日)