断面が三角形の繊維 1 本による透過光の方向制御および偏光の分離機能

戸谷健朗^{*1}・林 秀樹^{*1,2}・渡辺敏行^{*1}

^{*1} 東京農工大学 大学院工学府 応用化学科専攻

^{*2} 次世代モバイル用表示材料技術研究組合

Directional Controlling of Transmitted Light and Polarized Light Separation from a Monofilament Drawing Fiber Whose Cross-section is Triangle

Kenro Totani^{*1}, Hideki Hayashi^{*1*2}, and Toshiyuki Watanabe^{*1}

^{*1} Graduate School of Engineering, Division of Applied Chemistry,
Tokyo University of Agriculture & Technology, 2-24-16, Naka-cho, Koganei City, Tokyo 184-8588, Japan

^{*2} Technology Research Association for Advanced Display Materials,
2-24-16, Nakacho, Koganei-shi, Tokyo 184-0012, Japan

Abstract: Control of light diffusion or direction of transmitted light were generated from polymer composites, consisting of single fiber and surrounded polymer matrix, using a fiber whose cross-section is triangle shape. Light diffusion property was drastically changed by following two ways, slight rotation of samples with respect to the direction of incident light, or little adjustment of refractive index of polymer matrix. If triangle fiber was used, spatial pattern of light diffusion was strongly dependent on incident light direction or refractive index ratio between fiber and polymer matrix, whereas, if circular fiber was used, they were relatively insensitive to incident light direction or refractive index ratio.

In this research we also succeeded in polarization separation, by use of a monofilament birefringent fiber. The fabrication procedure was same except that fiber was birefringent. Since the light diffusion property was drastically influenced by the shift of refractive index, spatial patterns of light diffusion were quite different between two polarized light (axis of electric field are vertical each other) in birefringent fiber, thus polarized light was separated to different directions. In our samples, we could separate more than 95% of polarized light into two different directions.

(Received 15 October, 2007 ; Accepted 3 March, 2008)

1. 緒 言

透明な高分子を原料とする繊維は、光ファイバーとして広く用いられ、光デジタル信号の伝達媒体となっている。光ファイバーの断面形状は円であるが、光線方向の制御や偏光分離などの光学特性を持たせる場合、円のような曲率を持った構造ではなく、平滑な面を有する形状の方がその機能を発現しやすい。特に三角形の幾何学構造を利用した場合、光線方向が制御された、いくつかの光学特性が発現している。光学素子として現在、実用化されているプリズムシートなどは三角形の突起を光学部材に付けることで、光線の進行方向を制御し、光を有効に取り出したものである。

面を有した幾何構造が円と大きく異なる点は、入射光に対して特定な角度で配置することで、面全体で光線を制御することが可能な点である。また、構造による光の

方向制御に加え、材料の複屈折を利用することで、各偏光ごとに光の方向を制御することが可能となる^[1,2]。偏光によって進行方向が異なるので、偏光を分離し、偏光板としての機能を持たせることができる。このような偏光の分離は、複屈折に依存した屈折角、反射率の変化だけでなく、偏光に依存したブリュスター角を利用することでも行っている^[3-6]。これらの構造は、その大きさが幾何光学の適用できる μ サイズのオーダー以上であることが必要となる。この大きさは加工技術の精度から考えても妥当であるが、特に幾何光学の理論により光学特性が容易に予測できる点が利点となる。

本研究は、押し出し加工によって整形した 1 本の繊維状樹脂から発現する、光線方向の制御機能について検証する。断面が三角形の単繊維を作製し、樹脂で包埋した素子において伝播光が制御できる点を、理論、実験の両面から考察する。

また、同様の素子を複屈折繊維を用いて作製し、偏光の分離を行う。これは、繊維の複屈折に合わせて、包埋する樹脂の屈折率を選択することで行い、1本の繊維を用いた系で偏光の分離が可能であることを示す。

理論計算の方法は、幾何光学理論を適用した光線追跡法を基本とし、すべての光線を最後まで追跡できるように計算を行う。

2. 試料の作製および屈折率、光線特性の評価方法

2.1 試料の作製

繊維としてPEN (polyethylene naphthalate) と PET (polyethylene terephthalate) 共重合体 (重量比 9:1) を用い、押し出し機を用いた熔融紡糸法により繊維を作製した。繊維の断面形状である三角形および、サイズは、紡糸の口金であるスピナットを用いて調整した。繊維のサイズは、絞り込んだ入射光線が十分に繊維内部におさまるように、外接半径 0.45mm の三角形とした (Fig. 1(a)). 300℃ 以上の紡糸工程により得られた繊維は等方的媒体であり、この繊維を用いて光線の方法を制御する試料を作製した。

続いて繊維に複屈折を持たせるために、紡糸工程の後に延伸を行った。延伸工程はガラス転移温度以上である 130℃ で行い、延伸倍率は 5 倍とした。できあがった複屈折を有した繊維を用いて、偏光分離を行うための素子を作製した。

繊維を高分子で包み込んだ 2 相の系から成る試料に光学機能を持たせるため、作製した等方性、異方性それぞれの繊維を光硬化樹脂で包み、素子を作製した。包埋する硬化樹脂の形状は、三角繊維を透過した光が硬化樹脂界面で全反射するのを防ぐために、半円状であるシリンドリカル状とし、繊維を通った光が入射角 0° で樹脂界面と交わり、光線方向を変えないまま外部に放出できるような十分な大きさとした (Fig. 1(b)). また、シリンドリカル状の硬化樹脂底面は平滑にし、入射する光が樹脂によって拡散しないようにした。繊維は硬化樹脂中の底面近傍に設置し、三角繊維の一边が底面と平行になるように配置した (Fig. 1(b)).

Fig. 1 (a) Cross-sectional view of triangle fiber by optical microscope. (b) Cylindrical sample for light-trace measurement. Dot line in the sample is triangle fiber which was embedded at the center of basal plain.

2.2 屈折率測定

紡糸後の繊維の屈折率 n_f および、延伸後の複屈折は、液浸法により測定。複屈折の場合は、偏光を照射し、屈折率を繊維軸方向 (屈折率 n_o)、および、繊維幅方向 (屈折率 n_e) に分けてそれぞれ測定した。硬化樹脂は、繊維の屈折率が分かった後で、屈折率 n_M を調整しアッペ屈折率計でその値を確認した。屈折率測定には、すべて Na-D 線 (589.3 nm) の光を用いた。

2.3 透過、反射、および偏光分離特性評価

入射光線に対する透過および、反射特性を調べるために、ゴニオフォトメーターを用いて試料を抜けた後の光強度を、それぞれの角度に対して測定した (Fig. 2)。入射光源は白色光を使用し、断面を絞った光線を、中央部に配置した試料に照射した。試料を抜けた光強度は、光電子増倍管 (PMT) で測定し、固定した試料を中心として、PMT を回転させることで、光強度の角度分布を得た。三角繊維に対し入射角を変えた時の伝播特性を見る場合には、入射光の変わりに設置する試料の向きを変えて光を照射し、試料の回りで、PMT を回転させ伝播特性を測定した。複屈折を有した試料に対する偏光分離の測定は、光源と試料の間に偏光子を置き、s,p 偏光を照射した時の光強度 - 角度依存性をそれぞれ測定し、比較することで行った。

Fig. 2 Schematic diagram of light-trace measurement.

2.4 光線追跡法

作製した試料は mm オーダーであるため、試料から発現する光学特性は幾何光学に従うと考えられる。よって、実験による測定結果と比較するために、幾何光学に基づいた光線追跡法により理論計算を行った。

光線追跡法では、入射光に対して、屈折率の異なる界面での、屈折および、透過、反射を取り扱う。屈折率が異なる界面に、到達した光の反射率および、透過率は、フレネル則に従って s,p 偏光それぞれ、(1) ~ (4) 式のように決まる^[7]。

$$R^{(p)} = \left(\frac{\sin 2\theta_1 - \sin 2\theta_2}{\sin 2\theta_1 + \sin 2\theta_2} \right)^2 \quad (1)$$

$$T^{(p)} = 1 - R^{(p)} \quad (2)$$

$$R^{(s)} = \left(\frac{\sin (\theta_1 - \theta_2)}{\sin (\theta_1 + \theta_2)} \right)^2 \quad (3)$$

$$T^{(s)} = 1 - R^{(s)} \quad (4)$$

ここで、 θ_1 、 θ_2 は屈折率の異なる界面への入射角および、屈折角であり、 $R^{(s,p)}$ 、 $T^{(s,p)}$ は入射光に対する反射率および透過率である。自然光の場合はs、p偏光が同じ割合で含まれているものとして、各偏光に対する反射率、透過率の平均、すなわち(1)、(3)式および、(2)、(4)式の平均値を用いた。透過光の光線方向は、スネルの法則(式(5))により決定し、屈折角 θ_2 の方向に取った。

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (5)$$

n_1 は入射光側の媒体の屈折率、 n_2 は透過光側の媒体の屈折率である。また、反射光の光線方向は、反射の法則を満たすものとし、入射角と反射角が等しくなる方向に取った。

理論計算では、繊維と硬化樹脂から成る系と同じ幾何図形を想定し、界面で異なる屈折率を持たせた。界面に到達した光は、フレネルの式(1)-(4)式に従い透過光成分と反射光成分に分かれるため、それぞれ光の強度と、式(5)により決定する光の経路を追跡した。試料を抜けた光は、その強度を出射角と共に記録し積算した。光線は、入射光強度 I_0 に対して、10万分の1以下の強度に減少するまで追跡した。

試料に入射する光線が、試料全体に均一に当たるように、10万本の光線を試料全域に等間隔で入射させ、それらすべての光線の出射角および、その強度を積算し、計算結果とした。

2.5 異方性を有した三角繊維による偏光分離の原理

等方性試料では繊維と周囲の屈折率比 n_r の関係は1つに決まってしまうが、異方性を伴った繊維を用いると固定された周囲の屈折率に対し、繊維の方向によって異なる屈折率比を持つようになる。繊維を軸方向に一軸延伸した繊維では異方性が発現し、繊維軸方向(屈折率 n_e)と繊維幅方向(屈折率 n_o)の複屈折を持つ。このため、偏光の方向に依存した屈折率比を持つ。

三角繊維を用いた試料では、繊維と周囲の屈折率比が変化すると光線特性が大きく変化することが期待される。複屈折を有した試料(Fig. 3)では、入射光の偏光の向きによって屈折率比が異なるため(式(6))、偏光に依存して光伝播特性が大きく変化するならば、偏光を分離することが可能となる。

$$\frac{n_o}{n_M} \neq \frac{n_e}{n_M} \quad (6)$$

3. 結果及び考察

3.1 円繊維と三角繊維の光学特性の比較

三角繊維の特異性を示すために、円繊維の光学特性との違いを光線追跡法により計算し比較した。以下、等方性繊維の屈折率 n_f と、周りの樹脂の屈折率 n_M との比 n_r を

Fig. 3 Configuration of sample with a monofilament birefringent triangle fiber and polarized incident light. n_M is refractive index of matrix resin. n_e and n_o are extraordinary and ordinary refractive index of birefringent triangle fiber.

式(7)のように定義し使用した。

$$n_r = \frac{n_f}{n_M} \quad (7)$$

Fig. 4に三角繊維、Fig. 5に円繊維に対して光を入射した場合の計算結果を示す。屈折率の比は共に $n_r=1.1$ とした。図中の(a)は、出射光の強度-角度依存性の極座標表示であり、 $\theta=0^\circ$ 方向を前方、 $\theta=180^\circ$ 方向を後方とした。また動径 r は出射した光の強度を表す。なお、光線は $\theta=0^\circ$ の方向に向かって入射させた。それぞれの図中(b)に、繊維の形状と、追跡した光線の概略図を表示した。

円繊維の光線特性は、正面での光強度を最大として、角度に対して広がった伝播特性を示すのに対し(Fig. 5(a))、三角繊維では正面には光が行かず、屈折光と反射光の計4つの光路から成る伝播特性が得られた(Fig. 4(a))。円繊維の場合、繊維界面での入射角は繊維と光線の交わる位置によって連続的に変化する。このため、光線の透過方向も角度に対して連続的に変化する、広がった伝播特性を持つ。一方、断面が三角形の繊維では、繊維に対する入射角が三角形の各辺に対して一通りしかなく、光線の入射角は不連続となる。このため、光の伝播特性は、特定の方向に光が強く進行する、指向性を持った特

Fig. 4 (a) Calculation result of light diffusion from a monofilament triangle fiber. Angle of incident light was 0 degree. Refractive index ratio of isotropic fiber and resin is $n_r=1.1$. (b) Schematic diagram of ray tracing illustration from triangle fiber.

Fig. 5 (a) Calculation result of light diffusion from a monofilament circular fiber. Direction of incident light was 0 degree. Refractive index ratio of fiber and resin is $n_r=1.1$. (b) Schematic diagram of ray tracing illustration from circular fiber.

性となる。

円繊維と三角繊維には、もう一つ大きな特性の違いがある。点群 C_∞ に属する円繊維では、完全な対称性により光線の入射方向、もしくは繊維の回転に対して光線の伝播特性は変化しない。一方、完全な対称性を示さない三角繊維では、繊維に対して入射方向を変えることで、光線の伝播特性は著しく変化する。Fig. 6 に三角繊維を 10° 傾けた場合の、光の伝播特性の変化を計算によって示した。計算における屈折率比は同じく $n_r=1.1$ とした。

得られた伝播特性 (Fig. 6) を、正面から光を入射した場合 (Fig. 4) と比較すると、光の伝播方向が 20° 以上変化し、分岐する光も 2 方向に減っていることが分かる。この特性の変化は、繊維に対する光線の入射角が変化したことにより、屈折角が変化しことと、また、入射角の変化にともない、透過率および反射率が変化したためである。繊維の右部分に到達する光では反射率が増加し、逆に、繊維の左側に到達する光では透過率が増加したため、分岐された光の経路は 2 つに減少した。

試料の回転に対する伝播特性の変化は、繊維が正三角形の場合、対称性 (点群 C_3) から 60° の回転周期となる。

3.2 入射方向に依存した三角繊維の伝播特性と屈折率依存性

入射光の方向に対して変化する伝播特性を調べるために、三角繊維を入射光に対して (A) 0° , (B) 30° , (C) 60° 回転させた場合について伝播特性の測定を行い、同時に、光線追跡法による計算結果と比較した。

また、繊維界面における屈折差に対する伝播特性を調べるために、低い屈折率比率 $n_r=1.05$ (式 (7)) および、高屈折率比 $n_r=1.60$ (式 (7)) の試料を作製し、それぞれの伝播特性を調べた。

(A) 入射光に対して三角繊維を 0° (正面) 回転させた場合の伝播特性

Fig. 7 に、作製した試料の伝播特性を示す。光の入射方

Fig. 6 (a) Calculation result of light diffusion from a monofilament triangle fiber. Direction of incident light was 0 degree and fiber was rotated 10 degrees. Refractive index ratio of fiber and resin is $n_r=1.1$. (b) Schematic diagram of ray tracing illustration from triangle fiber.

向を 0° とし、三角繊維の底辺に垂直に入射 (繊維の回転角 0°) とした。また、Fig. 8 に、同じ系での光線追跡による計算結果と、追跡した光線の概略図をグラフ中に示す。

まず、実験結果 (Fig. 7) と計算結果 (Fig. 8) の比較であるが、両者の伝播方向は一致し、繊維 1 本の素子において、ほぼ、理想系と同様な伝播特性を実現することができた。実験では、伝播特性に角度分布を持った広がりが生じている、これは作製した繊維内部における屈折率分布の不均一性と、それに伴う繊維内部での散乱による影響と考えられる。また、高屈折率比の実験 (Fig. 7(b)) では、計算値 (Fig. 8(b)) に見られる後方 (180° 方向) への反射が観測されていないが、これは観測機である PMT が光源の影となり、装置の特性上、反射光が観測されないためである。

低屈折率比 $n_r=1.05$ (Fig. 7(a)) と高屈折率比 $n_r=1.60$ (Fig. 7(b)) の測定値を比較すると、光の伝播方向が大きく異なっているのが分かる。低屈折率比 $n_r=1.05$ の試料では、伝播光線は繊維界面で透過し、屈折により進路を変えるのに対して、高屈折率比 $n_r=1.6$ の試料では、光線は、繊維界面で全反射し、進路を大きく曲げる。このため、両者には、光線の特性に大きな変化が現れる。

(B) 入射光に対して三角繊維を 30° 回転させた場合の伝播特性

Fig. 9 に、作製した試料の伝播特性を示す。光の入射方向を 0° とし、三角繊維を時計回りに 30° 回転させた。また、Fig. 10 に、同じ系での光線追跡による計算結果と、追跡した光線の概略図をグラフ中に示す。

まず、実験結果 (Fig. 9) と計算結果 (Fig. 10) の比較であるが、低屈折率比 $n_r=1.05$ の場合は、測定値と計算値はほぼ一致したが、高屈折率比 $n_r=1.60$ (Fig. 9(b)) では両者は一致せず。測定結果では、計算値では見られなかった 53° 方向の伝播光が現れた。理論計算では、屈折率比 $n_r=1.52$ で、 53° 方向の伝播光が現れ (Fig. 10(b))、屈折率比が増加すると共に伝播強度は減少し、 $n_r=1.60$ で完全に消滅した (Fig. 10(c))。また、高屈折率比の場合でも、三角繊維の

Fig. 7 Experimental result of light diffusion from a monofilament triangle fiber. (a) Refractive index ratio is $n_r = 1.05$ (b) Refractive index ratio is $n_r = 1.60$. Direction of incident light was 0 degree, and sample was fixed as incident light was irradiated normal to the base of triangle.

Fig. 9 Experimental result of light diffusion from a monofilament triangle fiber. (a) Refractive index ratio is $n_r = 1.05$ (b) Refractive index ratio is $n_r = 1.60$. Direction of incident light was 0 degree, and sample was rotated at 30 degrees.

Fig. 8 Calculation result of light diffusion from a monofilament triangle fiber. (a) Refractive index ratio is $n_r = 1.05$ (b) Refractive index ratio is $n_r = 1.60$. Direction of incident light was 0 degree, and sample was fixed as incident light crossed the base of triangle perpendicularly. Schematic diagrams of ray tracing from triangle fiber were illustrated inside the each of graphs.

Fig. 10 Calculation result of light diffusion from a monofilament triangle fiber. (a) Refractive index ratio is $n_r = 1.05$. (b) Refractive index ratio is $n_r = 1.52$. (c) Refractive index ratio is $n_r = 1.60$. Direction of incident light was 0 degree, and sample was rotated at 30 degrees. Schematic diagrams of ray tracing from triangle fiber were illustrated inside the each of graphs.

回転角が 30° より増加すると、 50° 付近に伝播光が現れることから、作製した繊維には屈折率分布が存在することに加え、繊維の形が完全な正三角形になっていないと考えられる。

低屈折率比 $n_r = 1.05$ (Fig. 9(a)) と高屈折率比 $n_r = 1.60$ (Fig. 9(b)) の測定値を比較すると、光の伝播方向は大きく異なっているのが分かる。低屈折率比 $n_r = 1.05$ の試料ではほとんどの光が正面に透過しているのに対し、高屈折率比 $n_r = 1.60$ の試料では、正面以外の3方向にも光線が伝播している。 250° 付近に見られる伝播光は繊維表面での反射光である。 50° 付近に見られる伝播光は繊維を透過する際に、2段階の屈折を経た結果、光線方向が反らされた透過光である。 120° 付近に見られる伝播光は、繊維内部に侵入した光が、繊維内部の界面で、反射したものである。

(C) 入射光に対して三角繊維を 60° 回転させた場合の伝播特性

Fig. 11 に、作製した試料の伝播特性を示す。光の入射方向を 0° とし、三角繊維を時計回りに 60° 回転させた。また、Fig. 12 に、同じ系での光線追跡による計算結果と、追跡した光線の概略図をグラフ中に示す。

まず、実験結果 (Fig. 11) と計算結果 (Fig. 12) の比較であるが、両者の伝播方向は一致し、繊維1本の素子において、ほぼ、理想系と同様な伝播特性を、実現することができた。

低屈折率比 $n_r = 1.05$ (Fig. 11(a)) と高屈折率比 $n_r = 1.60$ (Fig. 11(b)) の測定値を比較すると、光の伝播方向は大きく異なっているのが分かる。低屈折率比 $n_r = 1.05$ の試料では、繊維を透過した伝播光の屈折角は小さく、光線の方向は $\pm 5^\circ$ 程度の広がりを見せるのに対し、高屈折率比

$n_r=1.60$ の試料では、繊維を透過した伝播光の屈折角は大きく、光線の広がりには $\pm 45^\circ$ 以上に達する。また、 $\pm 60^\circ$ の方向には繊維界面で反射した伝播光が現れ、計4方向に光が分かれているのがわかる。

以上より、作製した三角繊維を含む試料により、理論値とほぼ一致した伝播特性を実現することができた。また、伝播光の方向や強度は、三角繊維と周囲の相対屈折率や、試料の向きを変えることで著しく変化することが確認された。

3.3 複屈折試料における偏光分離機能の発現

複屈折繊維を用いて作製した試料の屈折率比は、繊維軸方向で $n_r=1.15$ 、繊維幅方向で $n_r=1.02$ であった。入射光に対し繊維の回転角を 0° に設置し、入射光の偏光面が繊維幅方向、および繊維軸方向を向いた偏光を入射させたときの伝播特性を Fig. 13 に示す。

繊維幅方向に偏光面を持つ偏光(S 偏光)を照射した場合

Fig. 11 Experimental result of light diffusion from a monofilament triangle fiber. (a) Refractive index ratio is $n_r = 1.05$ (b) Refractive index ratio is $n_r = 1.60$. Direction of incident light was 0 degree, and sample was rotated at 60 degrees.

Fig. 12 Calculation result of light diffusion from a monofilament triangle fiber. (a) Refractive index ratio is $n_r = 1.05$. (b) Refractive index ratio is $n_r = 1.60$. Direction of incident light was 0 degree, and sample was rotated at 30 degrees. Schematic diagrams of ray tracing and triangle fiber were illustrated inside the each of graphs.

(Fig. 13 (a))と、繊維幅方向に偏光面を持つ偏光(P 偏光)を照射した場合 (Fig. 13 (b))とでは光伝播特性は大きく変化した。屈折率比が $n_r=1.02$ であるS 偏光は、前方にのみ透過するのに対し、屈折率比が $n_r=1.15$ であるP 偏光は、主に 60° 方向に伝播し、一部 20° 方向に伝播した。 20° 方向への伝播偏光は繊維を通った際に屈折したものであるが、屈折率比の小さいS 偏光の透過光に比べ屈折角は大きくなっている。 60° 方向への伝播偏光は繊維表面で反射した成分であり、S 偏光では見られない。

このように、繊維が持つ複屈折に由来した屈折率比の違いにより、偏光によって伝播特性は大きく変化したため偏光の分離が可能となった。実際、正面方向の伝播光にはS 偏光成分が98%以上含まれ、 60° 方向に至っては99.8%以上がP 偏光成分となっている。結果として95%の偏光を異なる方向へ分離することができた。

高分子が持つ比較的小さな複屈折に対して、偏光分離が可能となったのは、屈折率比の変化に対する反射率の変化が大きいためである。Fig. 14 に入射角 $\theta=60^\circ$ において、屈折率比 n_r に対する反射率の関係を示す。入射角 $\theta=60^\circ$ は、複屈折繊維を Fig. 13 の配置で設置した場合に、入射光が三角繊維の一边と交わる時の角度である。Fig. 14 のグラフ中にそれぞれの反射率における、伝播特性の概略図も示した。

屈折率比が $n_r=1.0$ 付近では反射率は小さく、屈折率比の増加に対してほとんど変化しない。このため、伝播光を構成するのはほとんど透過光となる。屈折率比が $n_r=1.1$ を超えるあたりで、屈折率比の増加に対して反射率が大きく増加し、それに伴い伝播特性も大きく変化する。屈折率比が $n_r=1.155$ を超えると界面では全反射が起こるため、透過光が完全に消失する。よって、三角繊維の複屈折 n_o 、 n_e と回りの樹脂の屈折率 n_m の比が、屈折率比の臨界値 $n_r=1.155$ に達する付近で試料を作製した場合、十分

Fig. 13 Experimental result of light diffusion from a monofilament birefringent triangle fiber. (a) Horizontal polarized light (direction of electric field is parallel to the fiber's axis) was incident. (b) Perpendicular polarized light (direction of electric field is perpendicular to the fiber's axis) was incident.

な偏光分離特性が期待できる。このような特性は円には見られず、三角形のみの特性となる。

以上に示した効果は、実際の試料で確かめられたように、汎用高分子の複屈折の範囲内で発現し、1本の繊維のみで構成される素子にもかかわらず、その機能は偏光分離素子として、十分な特性を備えているといえる。

6. 結 言

三角繊維では、周りの媒質との間の屈折率比や、光線の入射方向を変えることで、光線特性が大きく変化し、円状繊維には見られない特異な性質を示すことが分かった。特に、周りの媒質との間の屈折率比を変化させた場合、小さな屈折率比の変化に対し光線の進路が大きく変わり、全く異なる伝播特性を得ることができた。

このような特徴を利用して、延伸し、複屈折を持たせた異方性三角繊維を試料として用いた場合、樹脂との屈折率比が $n_r=1.15$ 程度の汎用高分子で実現可能な範囲の複屈折を持たせることにより、偏光によって全く異なる光

線特性を持たせる事ができた。これにより1本から成る単体試料による偏光分離素子の作製が可能となり、95%以上の偏光を分離することが可能となった。このような三角繊維が持つ特性は、光学素子に利用できる可能性を秘めている。また、単体の素子では、光線に対して特定の入射角を持つ配置において大きな機能を発現したが、複数の繊維を用いた複合体としての素子を作製することで、新たな光線特性を発現する可能性を持っている。

7. 謝 辞

本研究を行うにあたって、研究施設や測定装置を利用させていただいた次世代モバイル用表示材料技術研究組合のスタッフ一同に感謝いたします。また試料を作製する際に、助言や手助けをしていただいた千根俊明さんに感謝いたします。

文 献

1. H. Cornelissen, H. Huck, D. Broer, S. Picked, C. Bastiaansen, E. Erdhuisen and N. Maaskant *SID 04 DIGEST* (2004) 1178
2. H. Tanase, J. Mamiya, M. Suzuki, H. Nakatani, T. Hatazawa, and T. Watanabe, *SID Intl Symp. Digest Tech Papers*, 365-368 (1997).
3. S. Blom, H. Huck, H. Cornelissen and H. Greiner *J. SID* **10(3)** 209 (2002).
4. H. Jagt, H. Cornelissen, D. Broer and C. Bastiaansen *SID Intl Symp. Digest Tech. Papers* 1236 (2002).
5. H. Jagt, Y. Dirix, R. Hikmet and C. Bastiaansen *Adv. Mater.* **10** 934(1998).
6. Y. Dirix, H. Jagt, R. Hikmet and C. Bastiaansen *J. Appl. Phys.*, **83(6)** 2927(1998).
7. Born, M. & Wolf, E. *Principles of Optics* 6th edn (Pergamon, Oxford, 1980).

Fig. 10 Dependence of reflectivity on refractive index ratio n_r (in theoretical figure). Incident angles is 60 degrees at the front plane of triangle fiber. Three types of schematic diagram of ray tracing, triangle fiber, n_r was 1.02, n_r was 1.10, and n_r was 1.15 from the left, were illustrated inside the graph.