

# 溶融紡糸・延伸条件による繊維構造・物性の定量的制御法

大越豊, 後藤康夫, 奈倉正宣

信州大学 繊維学部 繊維システム工学科

## 1. 緒言

溶融紡糸, 延伸による合成繊維製造は, 合成繊維全体の生産量の 90% 近くを占めるポリエステル, ナイロンをはじめとした多くの合成繊維の製造法である。したがって溶融紡糸・延伸プロセスによる繊維製造過程に関する研究・特許はたいへん多い。このプロセスのうち, 特に 2 次延伸過程は, 繊維構造が形成され, 繊維物性がほぼ決定される, 最も重要な工程であるが, 構造形成を伴う非線形・非平衡・非等方性の高速大変形であり, 定量的なモデル化はなされているものの, 定量的な構造形成過程の推定には程遠い。

2 次延伸に関するこれまでの研究は, 主に研究室レベルでのバッチ式・低速・均一延伸と, 工業化レベルでの連続・高速延伸とに分けられ, 両者で得られたデータは必ずしも一致しなかった。そこで我々は, 連続・高速 2 次延伸過程の高精度 On-line 測定による解析を考えた。この方法は, 実際に生産される繊維の構造形成過程を直接的に評価する方法であるため, 定量的な構造・物性制御という観点から最も精度の高い解析が可能になるはずである。

しかし, 本方法を実現するためには, 延伸過程での定常性を飛躍的に高める必要があった。すなわち, 通常繊維延伸過程において; 主に繊維が延伸される”延伸点”の位置は比較的広範囲(数 mm~数百 mm)に変動し, 高精度の On-line 測定は実質上不可能であった。このような変動は, 根本的には延伸現象がカタストロフィックであることに由来するが, 主に繊維内の温度分布によって繊維が均一に延伸できないという技術的な問題が実質的なボトルネックになっていることに思い至った。そこで本研究では, 繊維表面での熱伝達と繊維内部への熱伝導に頼っていた従来の繊維加熱方法を根本的に見

直し, 繊維を熱放射によって加熱した。この結果, 延伸点位置をほぼ完全に固定することができるようになり, 高精度 On-line 測定の可能性が開けた。

また, 本加熱方法によって, 高強度・高弾性率のポリエステル繊維が得られた。延伸点位置の変動は力学物性や染色性といった繊維物性のむらの主要な原因であることを考えると, この延伸法で得られる延伸点の精密な固定は, 高精度な繊維物性制御のためにも大きな意味を持つ。

## 2. 実験方法

帝人社製ポリエチレンテレフタレート Super Bright を吐出温度 280°C で押し出し, 250 m/min で巻き取った繊維を延伸実験に使用した。未延伸繊維は, 強度 90 MPa, 初期弾性率 2.0 GPa, 複屈折度 0.0006 である。加熱には鬼塚硝子製の公称出力 20W の炭酸ガスレーザを用いた。光源の波長は 10.6  $\mu\text{m}$ , ビーム径 5.0 mm, ビーム広がり角は 1.0 mrad である。また, 比較のために, シリコンオイル中 115°C で 1 段延伸, もしくは 82.7°C と 162.7°C で 2 段延伸した試料も作成した。

各試料について, 理学電機工業社製 CN-2028 型 X 線発生装置を用いて広角 X 線回折写真を撮影した。またオリエンティック社製 UTM-II-20 を用いて引張試験を行い, 強度, 伸度, 初期弾性率を求めた。また Carl-Zeiss 社製干渉顕微鏡を用いて屈折率を測定し, 平均屈折率と複屈折度を算出した。

### 3.結果と考察

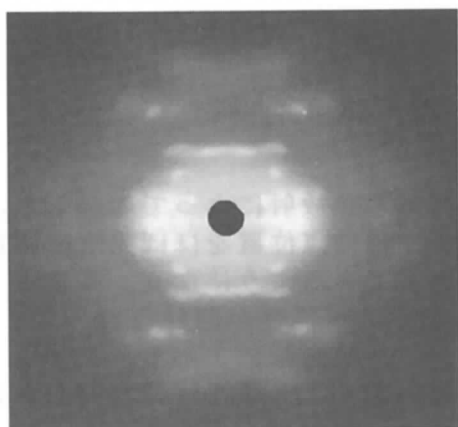


Fig. 1 WAXD Image of the Laser Heating Zone Drawn Fiber

図1はレーザー照射加熱延伸で6倍延伸した試料の広角X線回折写真である。高度に配向した結晶ができていることがわかる。また繊維の延伸条件と力学的性質および屈折率測定の結果を表1にまとめた。レーザー加熱ゾーン延伸により通常のゾーン延伸<sup>1)</sup>と同等の初期弾性率が得られており、条件によっては2段のゾーン延伸で得られる初期弾性率を1段延伸で得られている。また、一般に多段延伸や熱処理によって強度を高くするほど伸度は減少する傾向があるが、レーザーゾーン延伸で得られた繊維の強度はシリコンオイル中での延伸で得られる値よりも同じ伸度に対して明瞭に大きくなっている。このことより、通常の延伸工程の代わりにレーザーゾーン延伸を採用することによ

って、強伸度の大きなPET繊維を製造できる可能性がある。

レーザー延伸した繊維の平均屈折率はシリコンオイル中で延伸したものとほぼ等しく、複屈折度は若干小さい。複屈折度が小さいにもかかわらず優れた力学物性を示す原因は明らかではないが、伸度の大きさを考えると、非晶部の均質性が高く、マイクロボイド等の欠陥量が少ないことが考えられる。

現在、装置の精度を高めた結果、より高強度(約0.9GPa)高弾性率(約19GPa)のポリエステル繊維が安定に生産できるようになってきている。

### 参考文献

1. T. Kunugi, *Kobunshi Ronbunshu* **48**, 703 (1991).

Table1 Tensile properties and structure of fibers.

		Feed Speed /m·min <sup>-1</sup>	Take-up Speed /m·min <sup>-1</sup>	Draw Ratio	Laser Power /W	Diameter of Laser Beam /mm	Tensile Strength /GPa	Elongation x100	Young's Modulus /GPa	Average Refractive Index	Birefringence
zone drawing with laser heating	sample1	14.7	103	7	22.5	1.7	0.71	10	15	1.60	0.164
	sample2	10.6	74	7	22.5	3.6	0.77	13	17	1.60	0.173
	sample3	10.6	63.6	6	22.5	3.6	0.6	16	14	1.60	0.174
	sample4	9.0	9.9	6.6	13.8	3.6	0.73	16	15	—	—
as-spun	sample5	—	—	1	—	—	0.09	1080	2	1.58	0.001
Drawing with silicone oil heating	sample6	0.6	4.2	7	—	—	0.22	106	3.3	1.58	0.059
	sample7	0.6	2.4 & 1.05	7	—	—	0.66	8	14	1.60	0.175
	sample8	0.6	4 & 1.5	6	—	—	0.67	13	14	1.60	0.179