
溶融紡糸技術の基礎と高性能・高機能化および生産管理の実践

SAMPLE

目次

第1章 溶融紡糸技術の基礎知識	13
	(鞠谷雄士)
1 はじめに	13
2 装置構成	14
3 特殊断面形状繊維の溶融紡糸	16
3.1 直接溶融紡糸による極細繊維	16
3.2 異形断面繊維	18
3.3 複合紡糸による極細繊維及び異形断面繊維	19
4 空気流を利用した溶融紡糸	23
5 おわりに	27
第2章 溶融紡糸の工業生産技術および生産管理の実践	29
	(中田賢一)
1 工業生産の背景	29
1.1 溶融紡糸工程の位置付け	29
1.1.1 溶融紡糸工程の特記	29
1.1.2 日本の長繊維メーカーについて	30
1.2 生産設備の変遷	30
1.2.1 合理化の歴史	30
1.2.2 直紡化	31
1.2.3 多エンド化	32
2 設備の要素技術	33
2.1 紡糸機の基本形	33
2.2 核となる部品について	34
2.2.1 乾燥機の必要性	34
2.2.2 溶融装置	34
2.2.3 吐出装置	35
2.2.4 冷却装置	36
2.2.5 引き取り装置	36
2.3 補助装置や部品について	37
2.3.1 主機に組み込まれる部品	37

2.3.2	糸道にセットする補助部品	37
3	生産管理について	38
3.1	基本の紡糸条件の設定	38
3.1.1	ローラー速度設定の考え方	38
3.1.2	ローラー温度の設定	39
3.1.3	基本条件表の例	39
3.2	工程管理について	41
3.2.1	主たる工程管理	41
3.2.2	工程改善の実施	41
4	品質管理について	41
4.1	主要な品質測定項目	41
4.2	測定器と測定法について	42
4.3	毛羽ループとは	43
4.4	染色異常と管理	44
4.4.1	染斑と染着差	44
4.4.2	PET糸の染色判定について	45
4.5	U%管理について	46
4.5.1	U%とは何か	46
4.5.2	U%の測定の仕方	46
4.6	品質や工程異常の原因究明について	46
5	これからの紡糸工場	47
5.1	今後の長繊維生産工場次世代設備	47
5.1.1	POY設備の革新化	48
5.1.2	FOY設備の革新化	48
5.2	長繊維生産工場の自動化	49

第3章 熔融紡糸技術の高性能・高機能化

第1節 衣料用繊維の高機能・高感性繊維技術

(永安直人)

1	はじめに	50
2	ポリマ素材	50
3	熔融紡糸	51
4	異形断面紡糸	53
5	複合紡糸	54
6	複合捲縮糸	55

7	異収縮混織糸	57
8	マイクロファイバ複合糸	58
9	ナノファイバ	60
10	高発色繊維	61
10.1	常圧可染糸	62
10.2	カチオン可染糸	62
10.3	マイクロクレータ繊維	63
10.4	低屈折率ポリマー被覆繊維	64
11	空調繊維（多色）	64
12	シルキー光沢糸	64
13	軽量・保温繊維	66
14	吸水・速乾繊維	68
15	吸放湿繊維	68
16	制電性・導電性繊維	69
17	撥水素材（ロータス効果）	71
18	防透け・紫外線遮蔽素材	73
19	抗菌・防臭素材	75
20	プラスチック光ファイバ	75

第2節 産業資材用繊維の高性能化

（齋藤磯雄）

1	産業資材用繊維の歴史	78
2	産業資材用繊維の特徴と主な用途	80
2.1	産業資材用繊維の特徴	80
2.2	産業資材用繊維の主な用途	81
2.3	産業資材用繊維とSDGsとの関係	83
2.4	産業資材用ポリエステル繊維	84
2.4.1	製造方法	85
2.4.2	産業資材用ポリエステル繊維の物性と主な用途	90
2.5	産業資材用ポリアミド（ナイロン）繊維	91
2.5.1	産業資材用ナイロン66（N66）繊維	92
2.5.2	産業資材用ナイロン6（N6）繊維	94
2.6	産業資材用繊維の高性能化技術	96
2.6.1	産業資材用繊維の高性能化とその達成手段	96
2.6.2	繊維微細構造の制御	98

2.6.3	高強度化のための繊維構造制御	101
2.6.4	汎用産業資材用繊維の高強度化	103
2.6.5	汎用産業資材用繊維の高性能化（新技術・新製品）開発例	109
	第3節 高性能・高機能繊維	111
		(齋藤磯雄)
1	はじめに	111
2	高性能・高機能繊維の事業環境	112
3	高性能・高機能繊維の紡糸方式	113
4	高性能（高強度・高弾性率）繊維の物性	114
5	高性能（高強度・高弾性率）繊維各論	115
5.1	分子鎖の柔軟なポリマからなる高強度・高弾性率繊維	115
5.2	分子鎖の剛直なポリマからの高強度・高弾性率繊維	119
6	高機能繊維	125
6.1	難燃性繊維	125
6.2	高機能（耐熱性・難燃性・耐薬品性）繊維	126
6.3	高機能（耐熱性・難燃性・耐薬品性）繊維各論	127
	第4節 溶融紡糸技術によるPLAの繊維化	134
		(橋本隆司)
1	はじめに	134
2	PLAの溶融紡糸	135
2.1	紡糸方式について	135
2.2	溶融紡糸の概略	135
2.3	PLA樹脂	135
2.3.1	光学純度	137
2.4	溶融紡糸	138
2.4.1	長繊維	138
2.4.2	紡糸温度	139
2.4.3	延伸	140
2.4.4	短繊維	141
3	おわりに	142

第5節 複合紡糸技術による高機能繊維素材の開発…………… 144

(増田正人)

1	はじめに……………	144
2	複合紡糸技術……………	145
3	複合紡糸技術の高度化……………	146
3.1	繊維断面形態の極限追求……………	147
3.2	世界初となる繊維径150 nmの超極細ナノファイバー……………	151
3.3	繊維断面に凹凸を有した異形断面ナノファイバー……………	152
4	3成分複合紡糸による高機能繊維素材……………	153
4.1	艶やかな光沢感と膨らみを併せ持つ新素材「Kinari (キナリ)」……………	153
4.2	和紙のような風合いと機能性を両立した「Camifu (カミフ)」……………	156
4.3	ポリエステル超極細捲縮テキスタイル「uts-fit」……………	158
5	最後に……………	161

第6節 熔融紡糸法によるナノファイバーの製造と性能…………… 164

(八木健吉)

1	ナノファイバーの出現……………	164
2	ナノファイバーの定義……………	164
3	ナノファイバーの特有の性能……………	165
4	ナノファイバーの製造方法……………	166
5	海島型熔融紡糸法ナノファイバー……………	166
5.1	高分子相互配列体方式の海島型複合紡糸法ナノファイバー……………	168
5.2	海外の海島型複合紡糸法によるナノファイバー……………	169
5.3	ポリマーブレンド方式の海島型熔融紡糸法によるナノファイバー……………	169
5.4	高度な海島型複合紡糸法によるナノファイバー……………	170
5.4.1	新海島割織技術ナノファイバー「ナノフロント [®] 」……………	170
5.4.2	革新ナノファイバー技術「ナノデザイン [®] 」……………	171
6	メルトブロー法ナノファイバー……………	173
6.1	メルトブロー不織布の基本技術……………	173
6.2	ナノメルトブロー不織布……………	174
7	今後の展望……………	176

第7節 超高分子量ポリエチレン溶融紡糸繊維の作製…………… 178
 (攪上将規)

1	はじめに……………	178
2	UHMW-PE 溶融紡糸繊維の作製……………	178
3	UHMW-PE 溶融紡糸繊維の溶融延伸による高強度繊維の作製……………	180
3.1	UHMW-PE 溶融紡糸繊維の溶融延伸……………	180
3.2	溶融延伸繊維の構造形成における溶融延伸条件の影響……………	182
4	UHMW-PE 含有溶融紡糸繊維の作製と二次延伸による高強度化……………	186
5	おわりに……………	188

第8節 バクテリアセルロースナノファイバーで強化した
 酢酸セルロース繊維の溶融紡糸…………… 192
 (和田直樹、藤江哲夫、板谷寛之、松島得雄、高橋憲司)

1	背景……………	192
2	NFBCで強化した酢酸セルロース (CA) の溶融紡糸と高強度化……………	193
2.1	NFBCゾルとCAの複合化……………	193
2.2	NFBC/CA 複合材の溶融紡糸における温度条件……………	194
2.3	NFBC/CA 複合糸の高強度化……………	197
2.3.1	延伸効果……………	197
2.3.2	アルカリ処理の効果……………	198
3	まとめ……………	198
4	謝辞……………	198

第9節 天然ガスから作る高機能・低コストの繊維、
 不織布の開発…………… 200
 (梅村俊和)

1	ポリアセタール (POM) 繊維の基礎物性・結晶構造の解析……………	200
1.1	POM 繊維化の試み……………	200
1.2	POM 紡糸法の検討と繊維の基礎的物性……………	204
1.2.1	POM 繊維溶融紡糸法の検討……………	204
1.2.2	POM 単繊維およびコアシェル繊維の紡糸法……………	206
1.2.3	POM 繊維の引張強度……………	207

1.2.4	紡糸メーカーにおける POM 繊維の量産試作	213
1.2.5	POM 繊維のクリープ特性	214
1.2.6	POM 繊維の延伸法	216
1.2.7	POM アロイ繊維の結晶観察	218
1.2.8	POM 不織布の製造	218
1.2.9	POM 繊維の安全性	223
2	POM 繊維の応用・用途開発	226
2.1	衣料用途としての利用	226
2.1.1	POM 織布・不織布の抗菌性と抗ウイルス性	226
2.1.2	POM 繊維の染色性	227
2.1.3	POM 繊維の熱伝導性	229
2.2	POM 繊維と天然繊維ハイブリッド織物の開発	231
2.3	POM アロイ繊維の生分解性	233
3	結言	236

SAMPLE

熔融紡糸技術の基礎と高性能・高機能化および生産管理の実践

SAMPLE

第1章 熔融紡糸技術の基礎知識

東京工業大学
鞠谷雄士

1 はじめに

熔融紡糸法は、温度を上げたときに十分な流動性と曳糸性の得られる材料に適用される。ガラス繊維、金属繊維なども熔融紡糸法により製造されるが、本稿では、幅広く繊維材料として用いられている高分子系の材料の熔融紡糸について述べる。なお、温度を上げたときに十分な流動性が得られない材料については、溶媒で流動性を与える溶液紡糸法が適用される。溶液紡糸法には、湿式紡糸法、乾式紡糸法、乾湿式紡糸法などがある。十分な流動性が得られないものとしては、融点が熱分解温度より高い材料、あるいは高分子量であるために融点以上でも十分な流動性が得られない材料などがある。

高分子繊維の製造においては、細くて長いという形状を作ると同時に、高分子鎖を繊維軸方向に配向させることによって、強い共有結合力を繊維の物性に反映させるとともに、結晶性高分子の場合は、結晶化させることによって耐熱性を高める必要がある。すなわち、細くて長い繊維の形態と、分子配向・結晶化したいわゆる繊維構造を形成させることが、繊維の製造におけるふたつの重要な要素となる。

工業的には、繊維構造を形成させる操作として、熔融紡糸過程の後の延伸・熱処理過程により行なう古典的な繊維製造法、紡糸過程と延伸・熱処理過程を直結した直接紡糸延伸法（直延法）、あるいは紡糸速度を高め、熔融紡糸過程のみで高配向・高結晶化度の繊維を得る高速紡糸法などが行なわれている（図1）。

一方、繊維の形状の観点では、一般的な繊維の形態として単成分の円形断面繊維が広く用いられているが、断面形状を異形化した繊維、表面を粗面化した繊維、複数の材料を1本の繊維断面内に仕込んだ複合繊維など、さまざまな繊維があり、その製造法に関する知見も必要である。繊維の太さを例にとると、極細繊維をあるいは極太繊維を作るための技術にも、「極」であるがゆえの独特な工夫が必要となる。本章では、以上のような熔融紡糸の多様性を考慮しながら、繊維の形状を創ることを中心に、熔融紡糸過程の基本概念について述べる。繊維の構造を創ることに 대해서는、既報¹⁾を参照されたい。

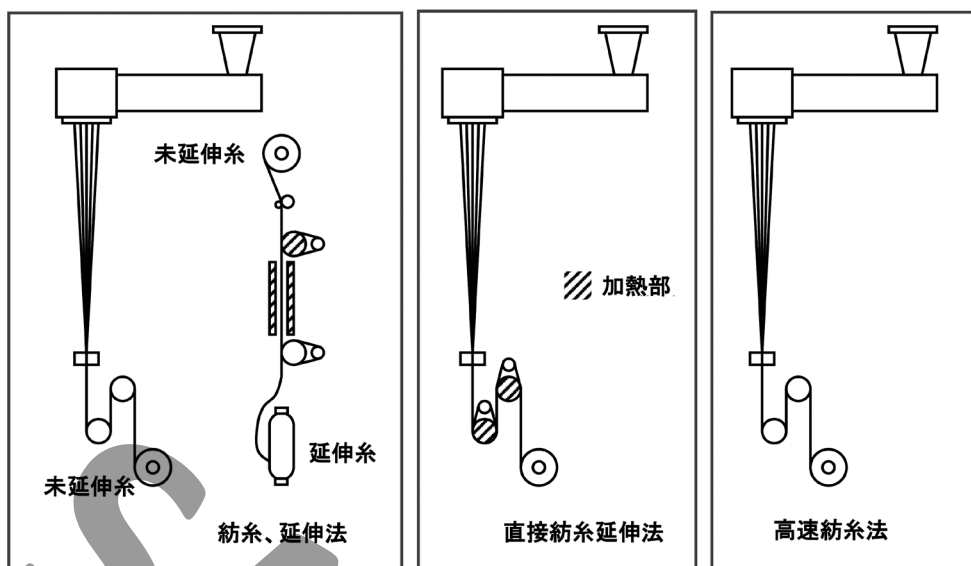


図1 熔融紡糸法による3種類の代表的な繊維製造方法

2 装置構成

一般的な熔融紡糸装置および延伸・熱処理装置の概略を図2に示す。熔融紡糸装置は、樹脂を熔融して前方に送るスクリュウ型の押出機に紡糸ヘッドが取り付けられている。紡糸ヘッドには、樹脂の押出量を精密に制御する計量ポンプ（多くの場合、歯車形状を利用したギアポンプ）と、フィルター、紡糸口金などから構成される紡糸パックが仕込まれている。ポリエステル、ナイロンなどの水分の影響を受けやすいポリマーの熔融紡糸においては、あらかじめ樹脂を十分に乾燥させるとともに、特に樹脂の投入口周りから水分や酸素が入り込まないように工夫が必要となる。また、1台の押出機に複数の紡糸ヘッドを取り付ける場合、熔融ポリマーの滞留時間の差により樹脂特性の差異が生じないようにするため、押出機から各紡糸ヘッドへの流路の長さは同一とすることが好ましい。

紡糸口金（spinneret）には、1つあるいは複数の紡糸孔（紡糸ノズル）が設けられている。紡糸孔の直径は0.25 mm～0.5 mm程度が標準的であるが、孔径と長さの比、紡糸孔の数や口金面での配置などには、さまざまなバリエーションがある。ここでは、全ての紡糸孔から同一条件で熔融ポリマーを吐出させることが重要であり、口金温度や紡糸孔径の均一性、紡糸孔に至る紡糸パック内樹脂流動の均一性に対し細心の注意を払う必要がある。

紡糸口金から吐出された熔融ポリマー（紡糸線）は、冷却筒を通過する間に冷却され固化して繊維になる。紡糸口金周り、冷却筒周りにはさまざまな工夫がなされており、

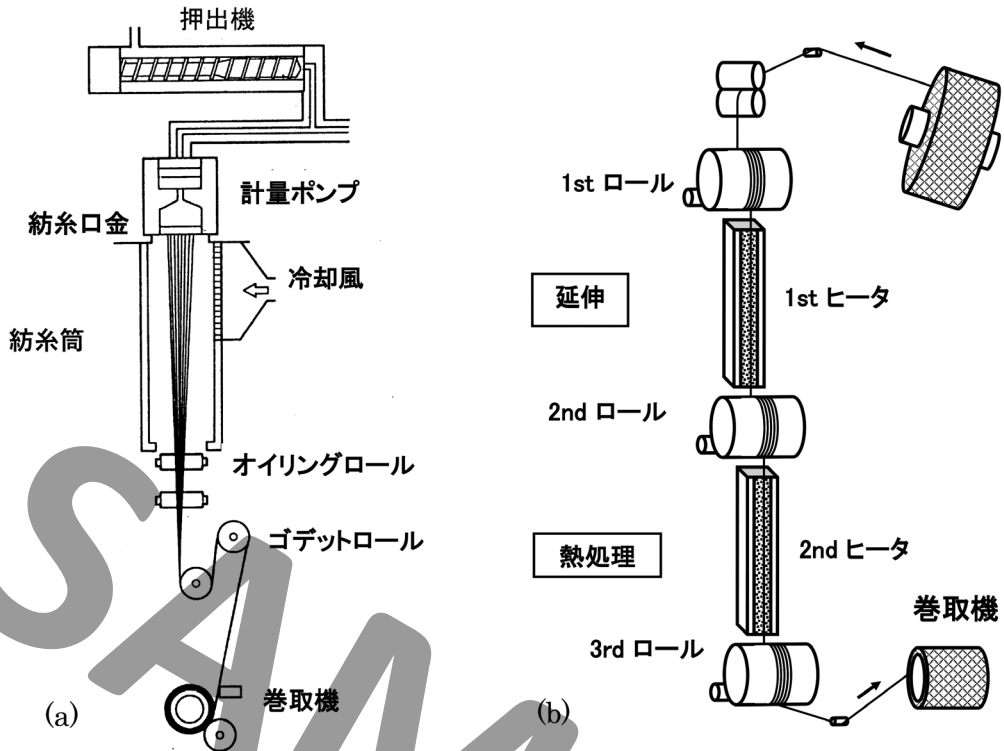


図2 (a) 溶融紡糸および (b) 延伸・熱処理の代表的な装置構成

各企業の独自技術が集約されている部分である。ここで重要なことは、冷却は「冷やす」ためというよりは、「冷却条件を一定に保つことを通じ、紡糸した繊維の品質を一定に保つ」ことを目的とした操作といえることである。冷却風でなく温風を当てる場合もあり得る。

一方、紡糸条件と紡糸線の冷却挙動との関係は紡糸装置の高さを決めるうえで重要である。ここで大事なことは、紡糸口金を出た溶融樹脂の冷却挙動の支配的な因子は、各紡糸孔からの単位時間当たりのポリマーの吐出量であるという点である。単純化していえば、吐出量を倍にすれば、紡糸口金から固化点（ポリマーが冷却し固まる位置）までの距離はほぼ倍になる。冷却風の温度、風速、複数の紡糸線の空間的配置なども冷却挙動に影響を及ぼすが、吐出量変化ほどの大きな影響はない。さらに重要なことは、紡糸速度が変化しても吐出量が一定であれば固化点の位置の変化は比較的小さい点である。例えば、紡糸速度を速くした場合、ポリマーの冷却速度は速くなるが、ポリマーの移動速度が速くなることの影響と相殺されるために固化点の位置はあまり変化しない。吐出量を一定として紡糸速度を速くすれば得られる繊維は細くなる。すなわち、紡糸速度を高速化させつつ同じ太さの繊維を得るには吐出量を増やす必要があり、その分、装置も大きくする（紡糸道を長くする）必要が生じることになる。

第1章 溶融紡糸技術の基礎知識

冷却媒体に関しては、紡糸線は気体中よりも液浴中を走るほうが当然、冷却効率は高い。単位時間、単位表面積、単位温度差あたりに物質表面から周りの媒体に熱が流出する速度を表すパラメータとして熱伝達係数があり、物質と液体との界面の熱伝達係数は、物質と気体との界面に比べ2桁以上高いと考えられている²⁾。また、気体中の走行においては、気圧が低いと冷却効率は低下し、軽い元素の気体のほうが冷却効率は高まる。例えば、真空中の紡糸では冷却はほとんど進まず、冷却媒体を空気からヘリウムガスに変えると、冷却は促進される。

冷却の影響で紡糸線の断面内には温度分布が生じる。一般に表層と中心の温度差は紡糸孔を出た直後に最大となり、その後、減少していく。液浴中を通過させる場合、太い繊維を製造する場合、紡糸速度が高い場合などに、紡糸線断面内に生じる温度分布の影響が顕在化しやすい。

冷却し固化した繊維は油剤の塗布などを経てゴデットローラで速度を決め、巻き取られる。巻き取られた繊維のパッケージの外径は巻取量の増大に伴い大きくなるため、一定の引取速度で紡糸を行なうには巻取ポビンの回転速度は徐々に低下することになる。

先に述べた通り、古典的なプロセスでは、溶融紡糸で得られた繊維は、引き続き延伸・熱処理工程を通過させ、発達した繊維構造を形成させる。溶融紡糸工程と延伸・熱処理工程を直結させた直延工程も幅広く採用されている。延伸・熱処理装置のローラのサイズ、配置、温度、表面状態（鏡面、梨地）、糸掛けの仕方、各ローラ間の延伸倍率などにより、延伸のしやすさ、得られる繊維の性能などは影響を受ける。

3 特殊断面形状繊維の溶融紡糸

3.1 直接溶融紡糸による極細繊維³⁾

曳糸性が十分に高いポリマーから溶融紡糸法により極細繊維を直接製造するためには、物質収支式に基づけば、吐出量を低下させるとともに紡糸速度を増大させる必要がある。このとき、極細化の限界を支配するのは表面張力と空気抵抗力である。

表面張力 (N/m) は、表面自由エネルギー (J/m^2) のことであり、比表面積が大きいと糸は過剰なエネルギーを持つことになり不安定化する。この不安定化を解消するために紡糸線の形状を線状から球状に変えて表面積を減少させる作用が生じ、その結果、糸切れが発生する。これは、水道の蛇口から出る水量を絞っていくとまず線状の層流になり、その後、さらに水量が減ると水は自発的に分割して水滴となるのと同じ原理に基づいている。ここで、紡糸線の形状を線状から球状に変えるためには溶融ポリマーの粘性流動が必要である。すなわち、溶融ポリマーの粘度は糸切れを妨げる作用を持つ。実際には、ポリマーの粘度に対し相対的に表面張力が高いと糸切れが生じやすくなる。表面張力と粘度は、ともに温度の上昇に伴って低下するが、粘度の温度依存性は表面張力の温度依存性より高い。従って温度が高いほうが相対的に表面張力の影響が強く