

## 高分子の溶融成形

最も単純な系 = 溶融紡糸 (一次元, 定常状態)

溶融成形過程の移動現象論的扱い方

溶融成形過程における高次構造形成挙動



# 高分子材料の特徴

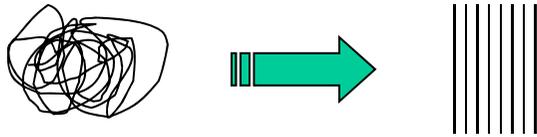
成形加工



高次構造

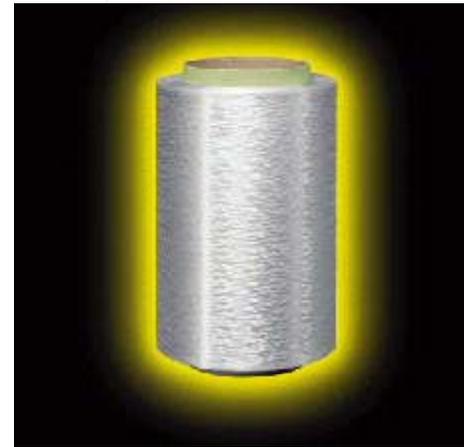


製品特性



高次構造の精密制御

## Dyneema



強度 3 GPa

弾性率 100 GPa

ポリエチレン  $-\text{CH}_2\text{CH}_2-$



スーパーのふくろ

強度 0.2 GPa

弾性率 2 GPa



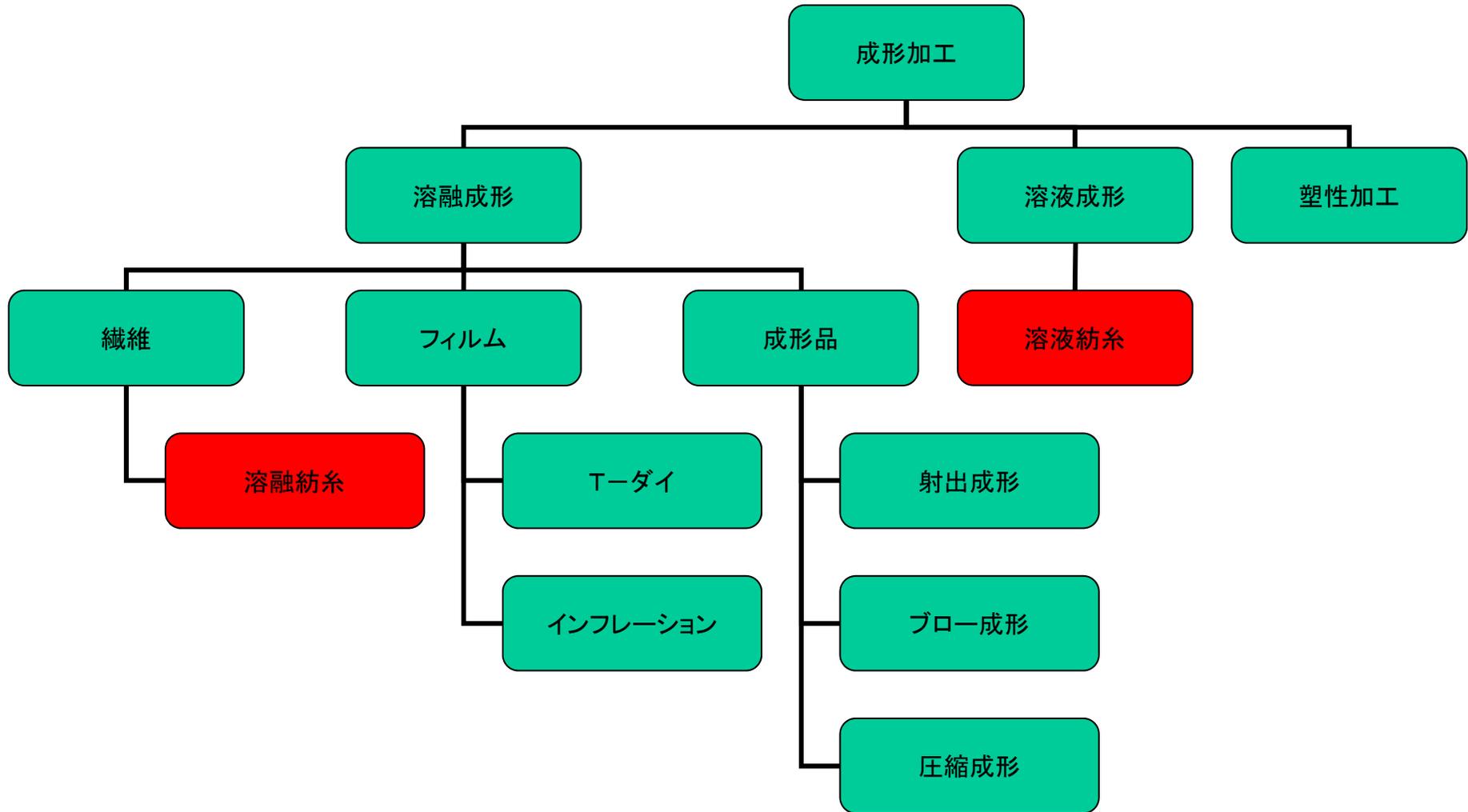
ごみふくろ

同じ材料を用いても高次構造により性質が著しく変化する

nt of C  
stitute c

terials

# 成形加工の手法



紡糸・延伸 = 繊維をつくる操作

### 繊維の形をつくる

巨視的な繊維づくり  
(目に見えるサイズ)

細く, 長く

紡糸  
Spinning

移動現象論

### 繊維の構造をつくる

微視的な繊維づくり  
(原始・分子のサイズ)

高分子鎖を  
並べる(配向させる)  
結晶化させる

延伸・熱処理  
Drawing & Annealing

構造形成論

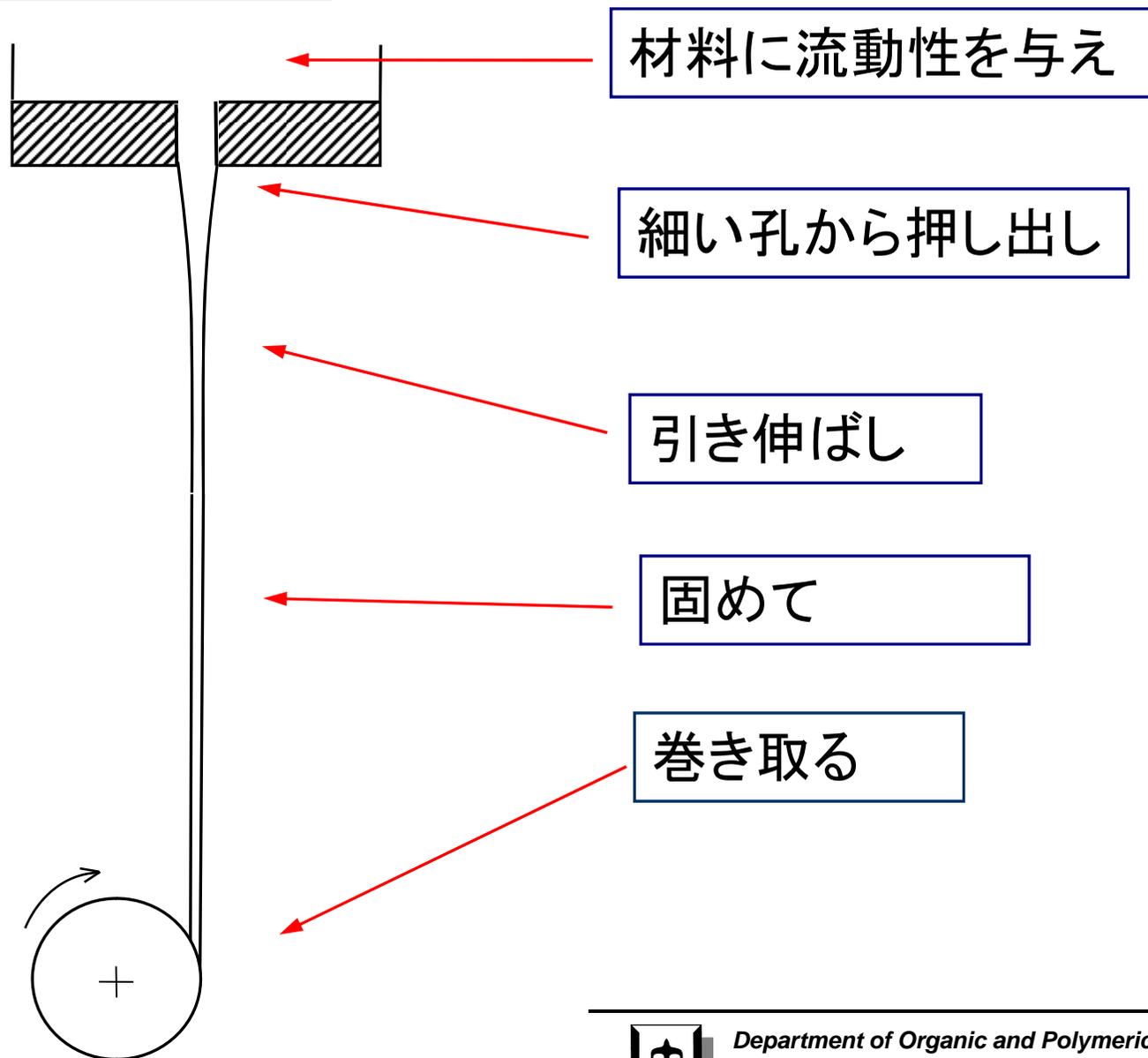


# 繊維の形をつくる



*Department of Organic and Polymeric Materials*  
Tokyo Institute of Technology

# 紡糸の方法



# 紡糸の方法

材料に流動性を与え

## 流動性を与える方法

熱で融かす      熔融紡糸  
(ポリエステル, ナイロン)

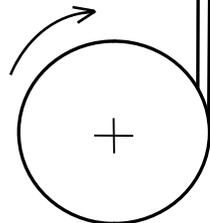
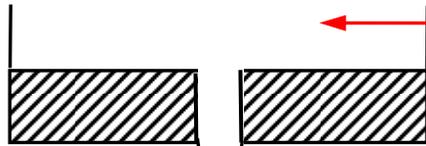
溶媒に溶かす      溶液紡糸  
(アクリル)

熔融紡糸: 単純・安価

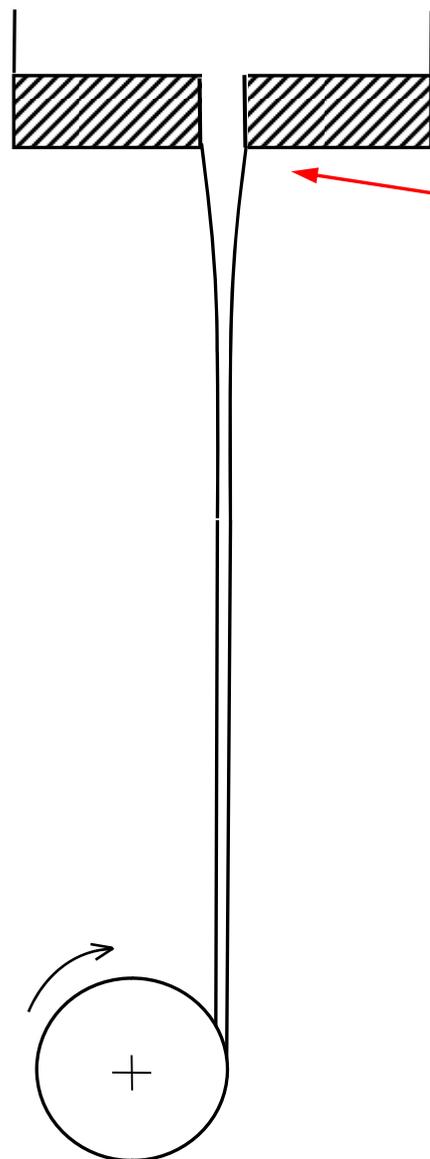
溶液紡糸: 複雑, 溶媒処理, 環境問題

溶液紡糸法の選択は,

熔融温度が熱分解温度より低い場合  
融かしても十分な流動性が得られない場合



## 紡糸の方法



細い孔から押し出し

孔の大きさ

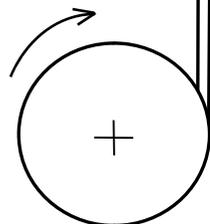
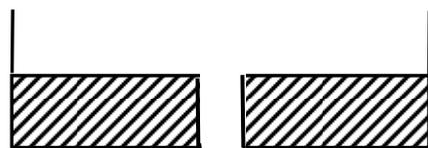
直径 0.1 ~ 1.0 mm

孔の数

1個 ~ 数千個



## 紡糸の方法



引き伸ばして巻き取る

回転体を使う

周速 = 回転速度 × 周長

100 ~ 6,000 m/min (時速360 km)

引き伸ばし

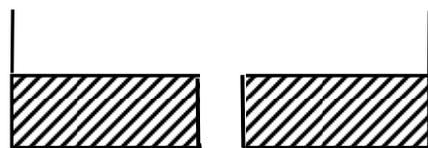


巻き取る

世界最高速度 15,000 m/min



# 紡糸の方法



固める:

熔融紡糸: 冷やす

溶液紡糸: 溶媒を取り除く

← 固めて

冷やして固まるメカニズム

ガラス転移

結晶化



# 熔融紡糸装置

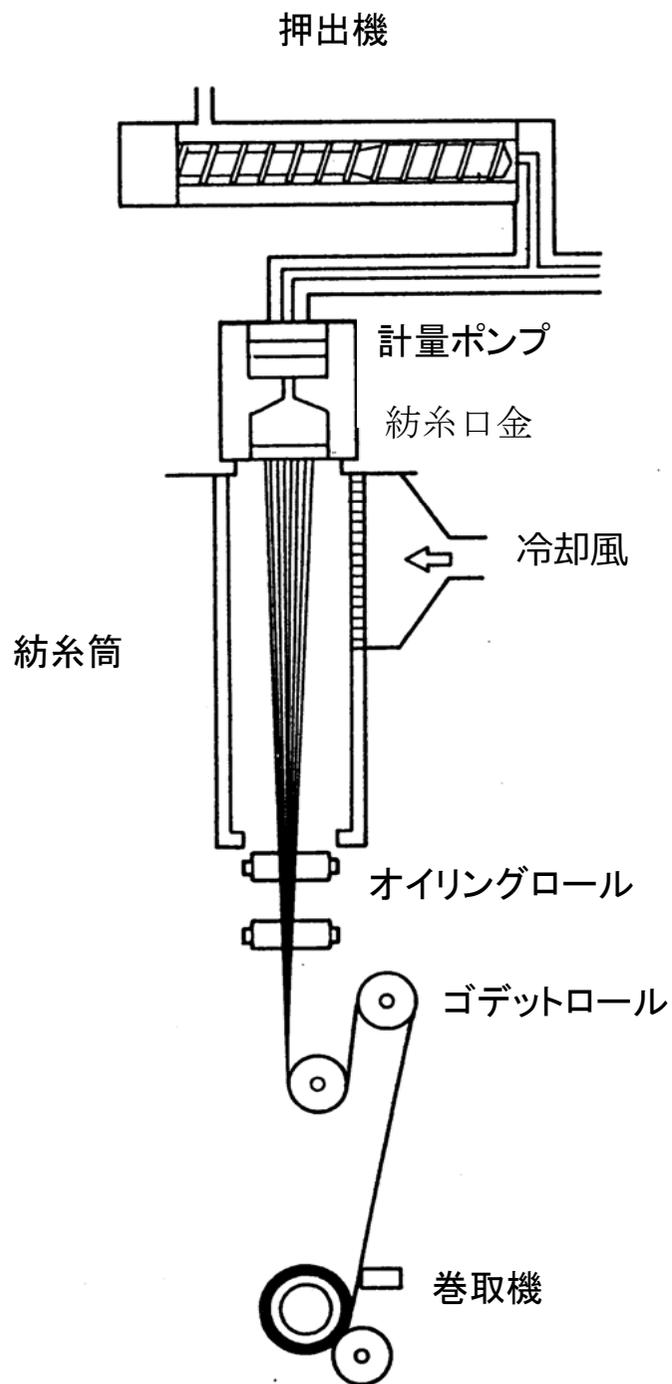


写真: 化繊協会ホームページより

## 溶液紡糸

### 湿式紡糸

溶液を直接液体中に押し出す

### 乾式紡糸

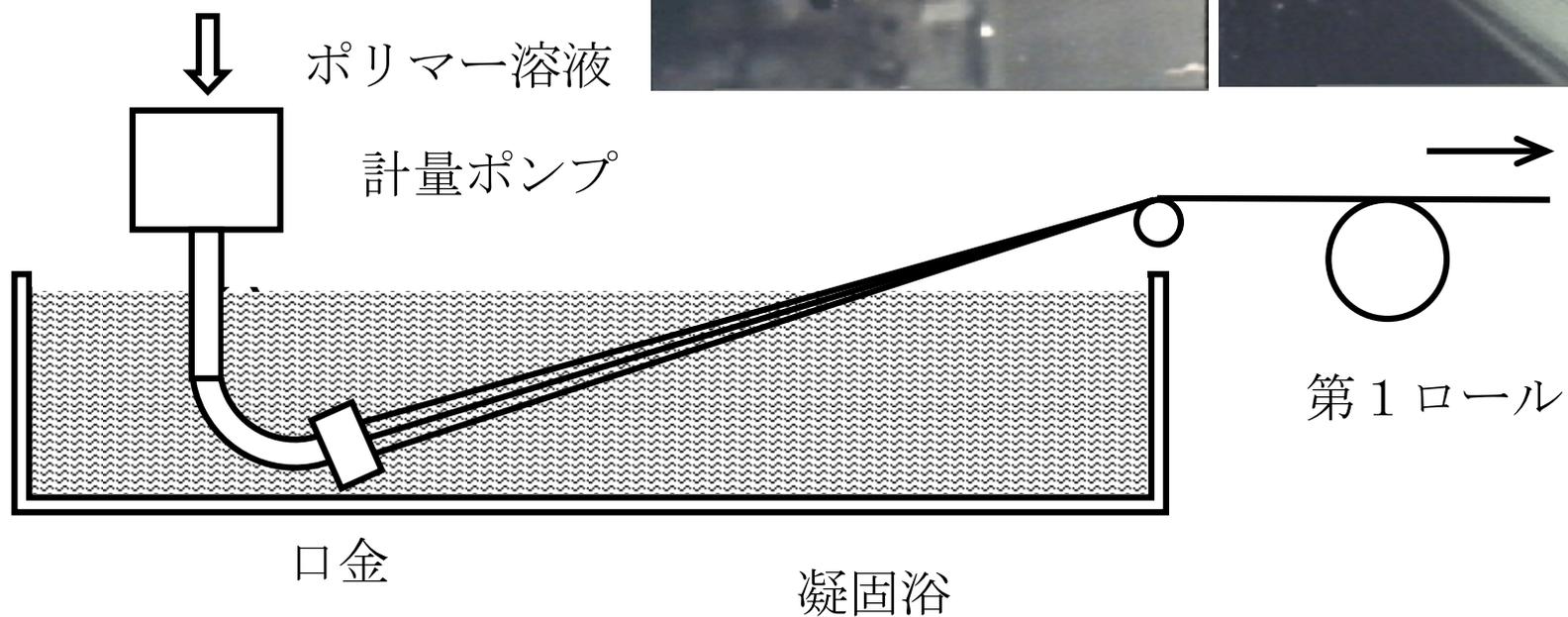
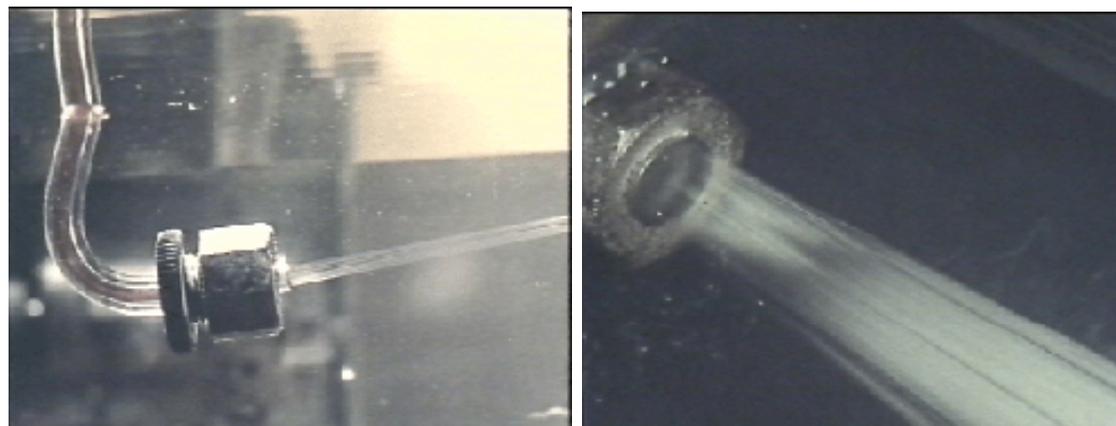
溶液を空气中に押し出す

### 乾湿式紡糸

溶液を空气中に押し出した後、  
すぐに液体中に導く



## 湿式紡糸装置



繊維中の溶媒を貧溶媒(凝固浴)と入れ替えて固める

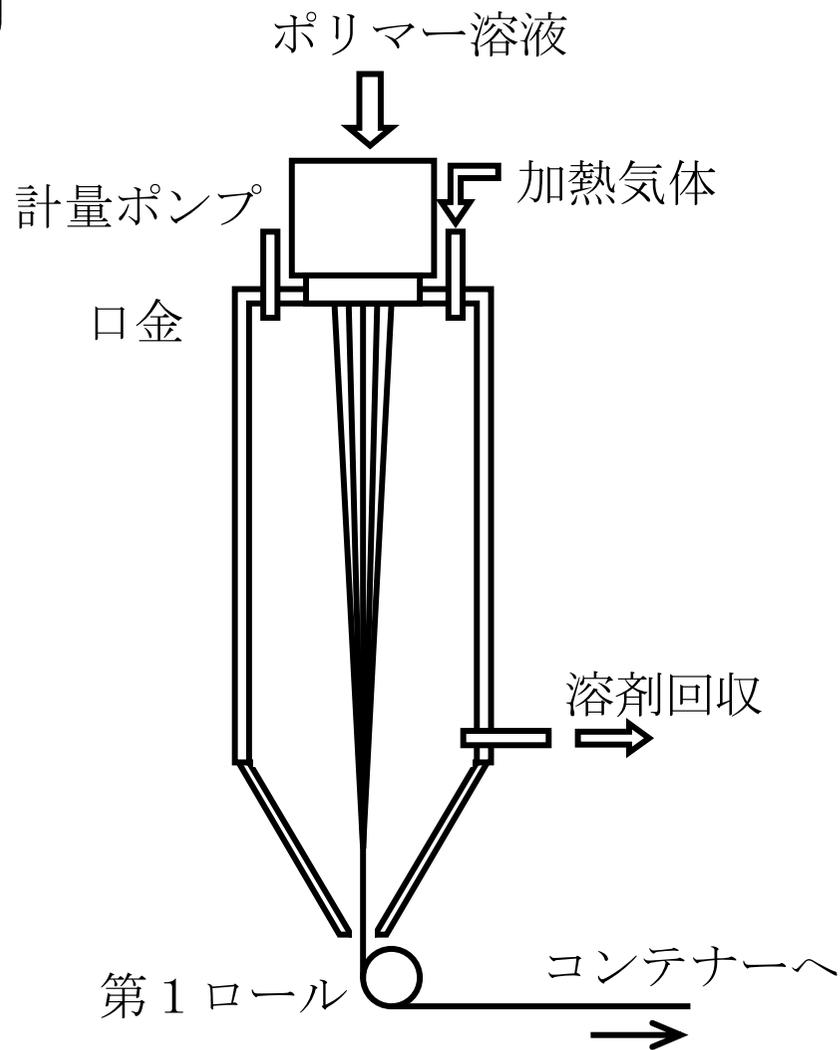
レーヨン, アクリル, ウレタン,  
ポリビニルアルコール

写真: 化繊協会ホームページより



Department of Organic and Polymeric Materials  
Tokyo Institute of Technology

# 乾式紡糸装置

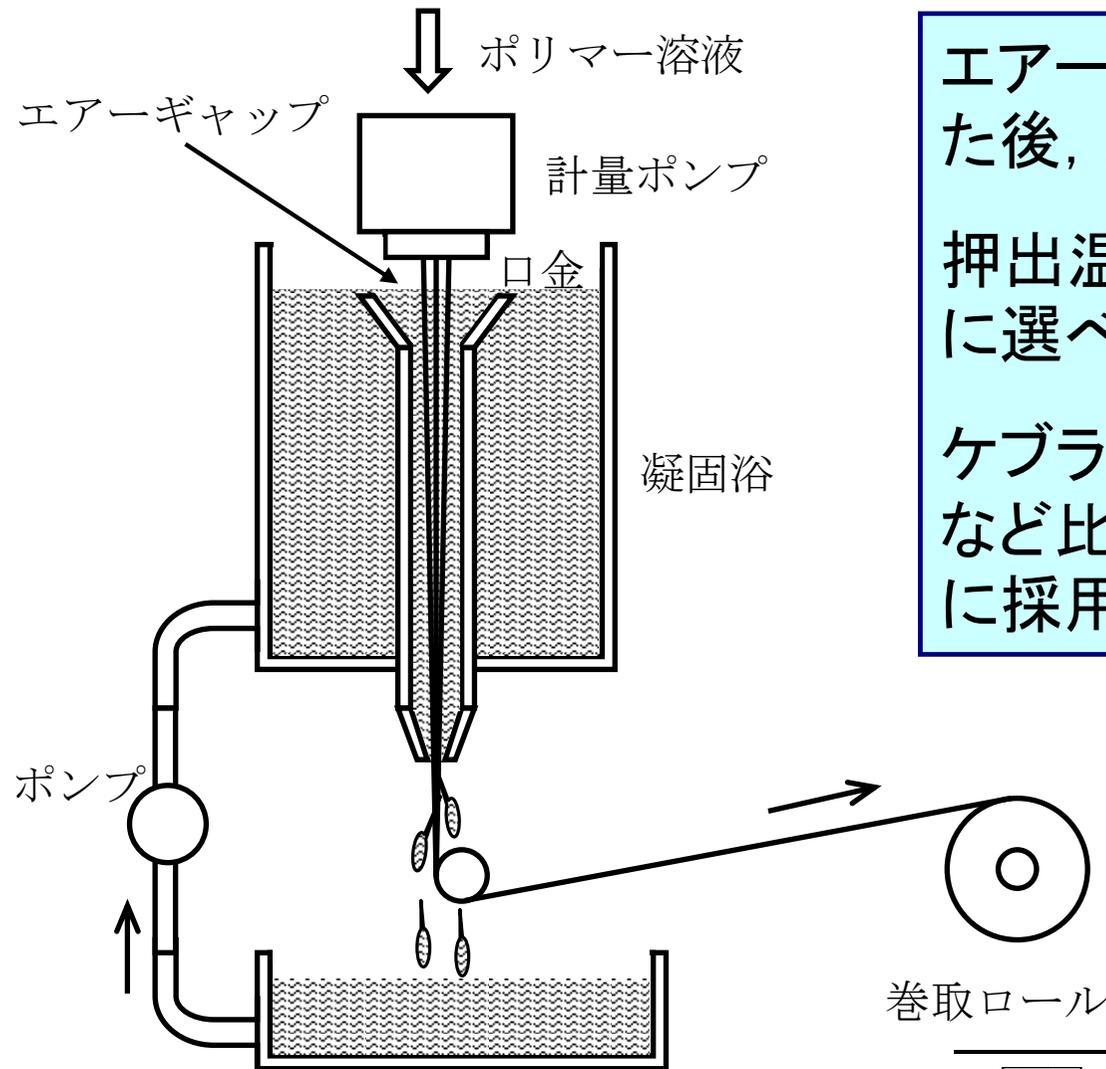


溶媒を蒸発させる

アクリル, 塩ビ, ウレタン



# 乾湿式紡糸装置



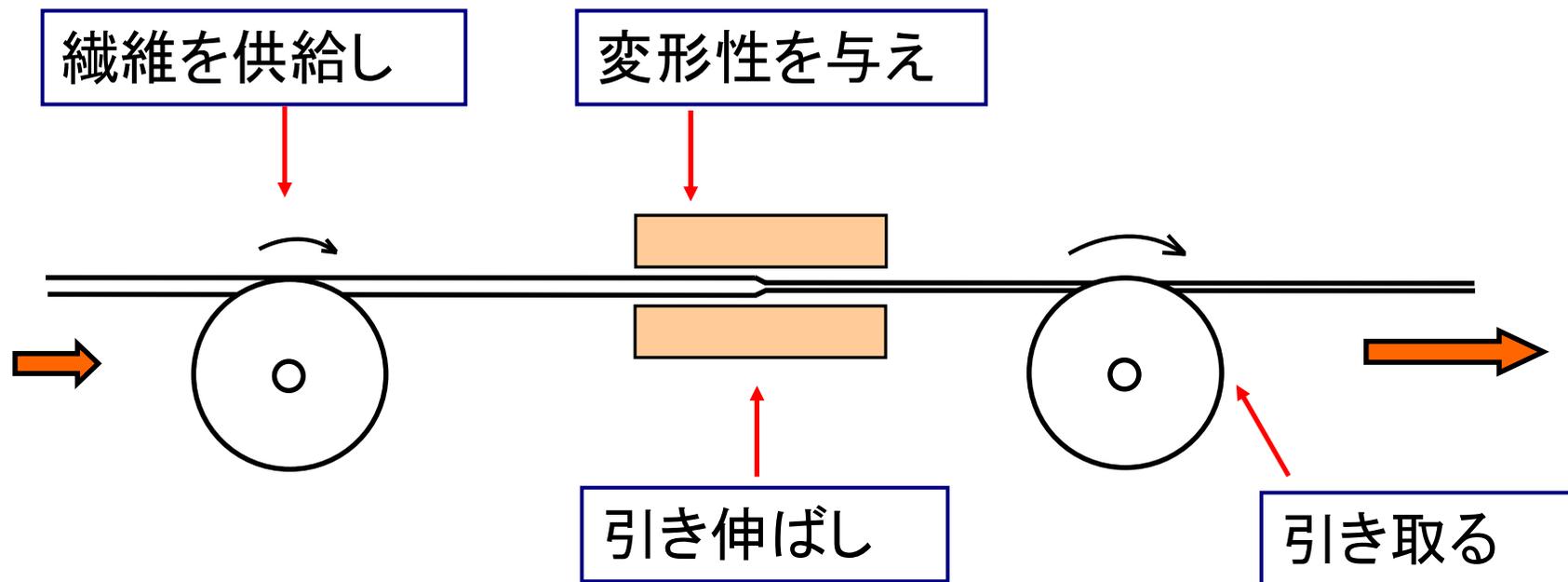
エアギャップ部で引き伸ばした後、凝固浴に導く

押出温度と凝固浴温度を独立に選べる

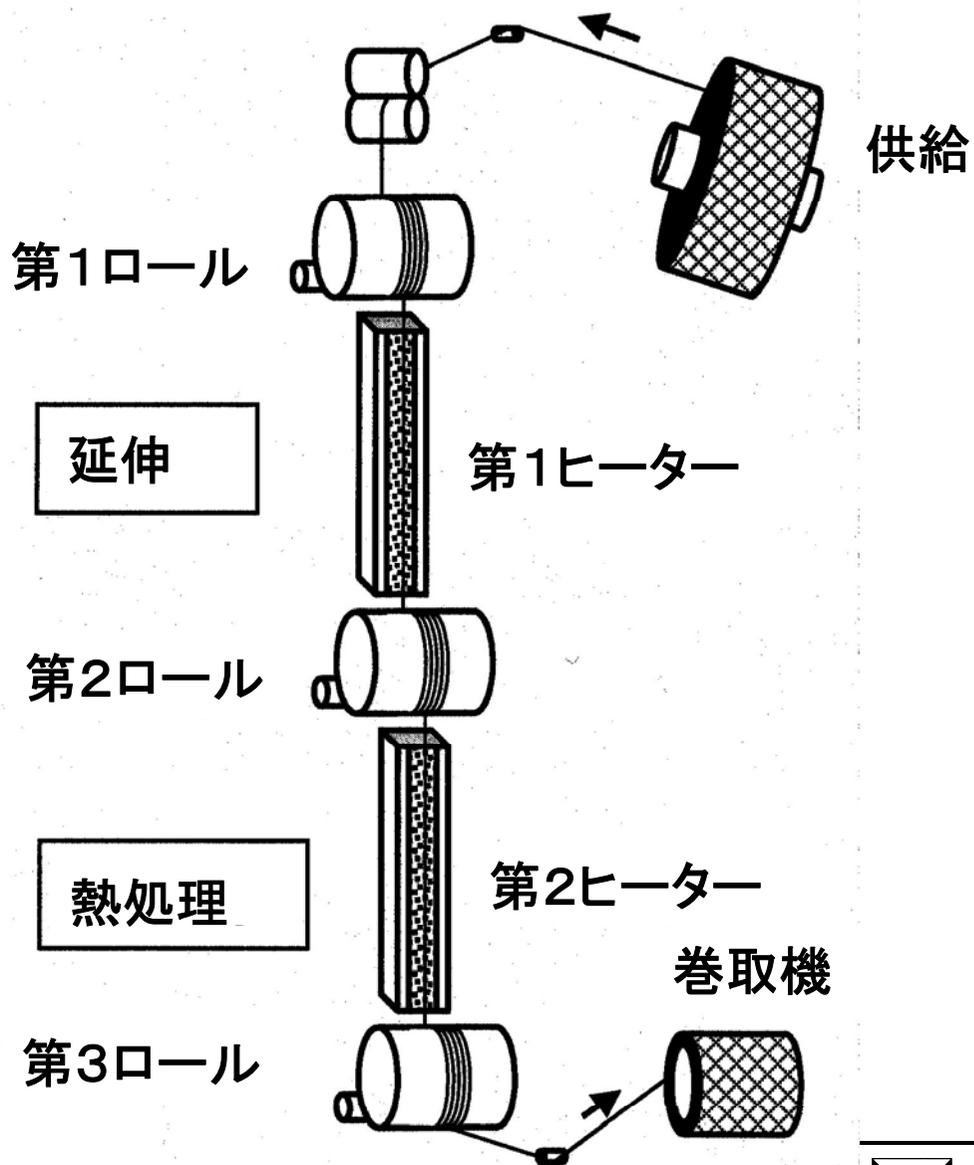
ケブラー, ザイロン, テンセルなど比較的新しい繊維の紡糸に採用されている



# 延伸・熱処理



# 延伸・熱処理装置



## 延伸工程

温度:

非晶性繊維

ガラス転移温度付近

結晶性繊維

結晶分散温度付近

倍率:

高倍率

(自然延伸比以上)

## 熱処理工程

温度: 延伸温度 ~ 融点

倍率: ほぼ一定長さ



# 繊維の構造をつくる



*Department of Organic and Polymeric Materials*  
Tokyo Institute of Technology

## 繊維の構造

繊維をつくる = 繊維の構造を制御する

高分子鎖の配列状態 = 高次構造

**分子配向** 分子鎖の方向を繊維の長さ方向にそろえる  
分子鎖方向 共有結合(強い)  
分子鎖と垂直方向 2次結合力(弱い)

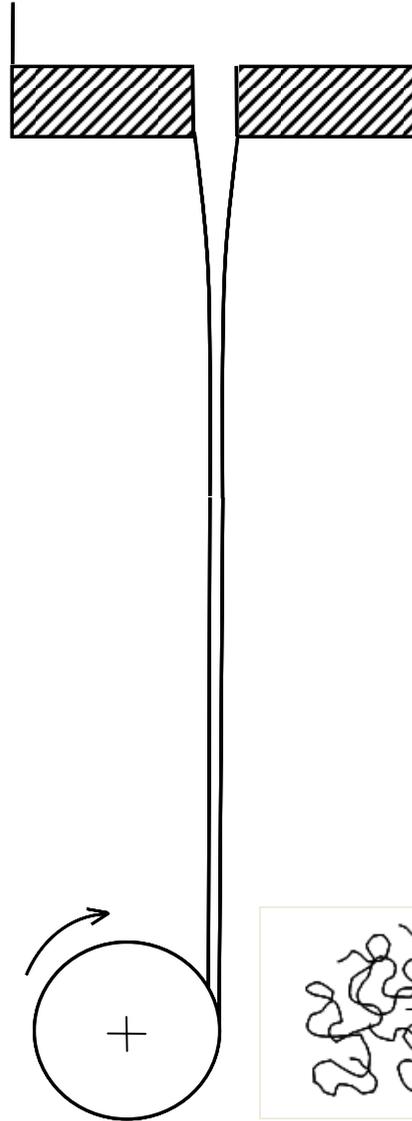
*強い共有結合力を, 繊維の長さ方向の強さに有効に反映させる*

**結晶化** 原子・分子配置に3次元的な周期性  
融点(結晶)とガラス転移点(非晶)

*$T_m > T_g$  耐熱性(高温下での形態安定性)を付与する*

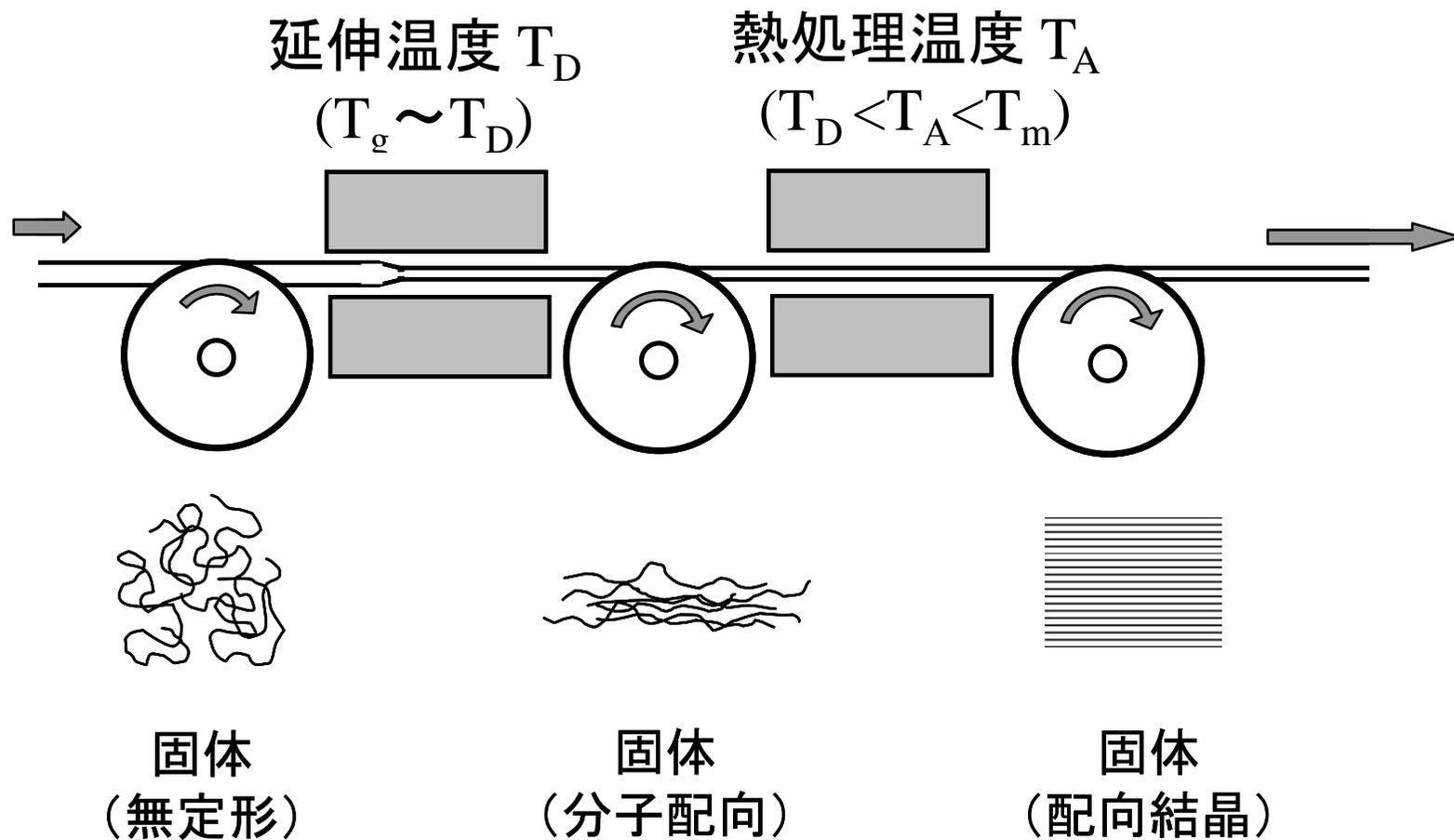


紡糸により  
繊維の形を作る  
(PET, PA)



無配向  
(非晶)

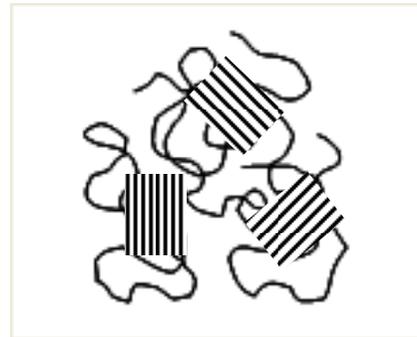
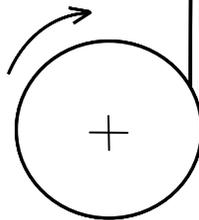
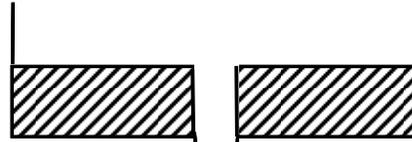




延伸により繊維の構造を作る

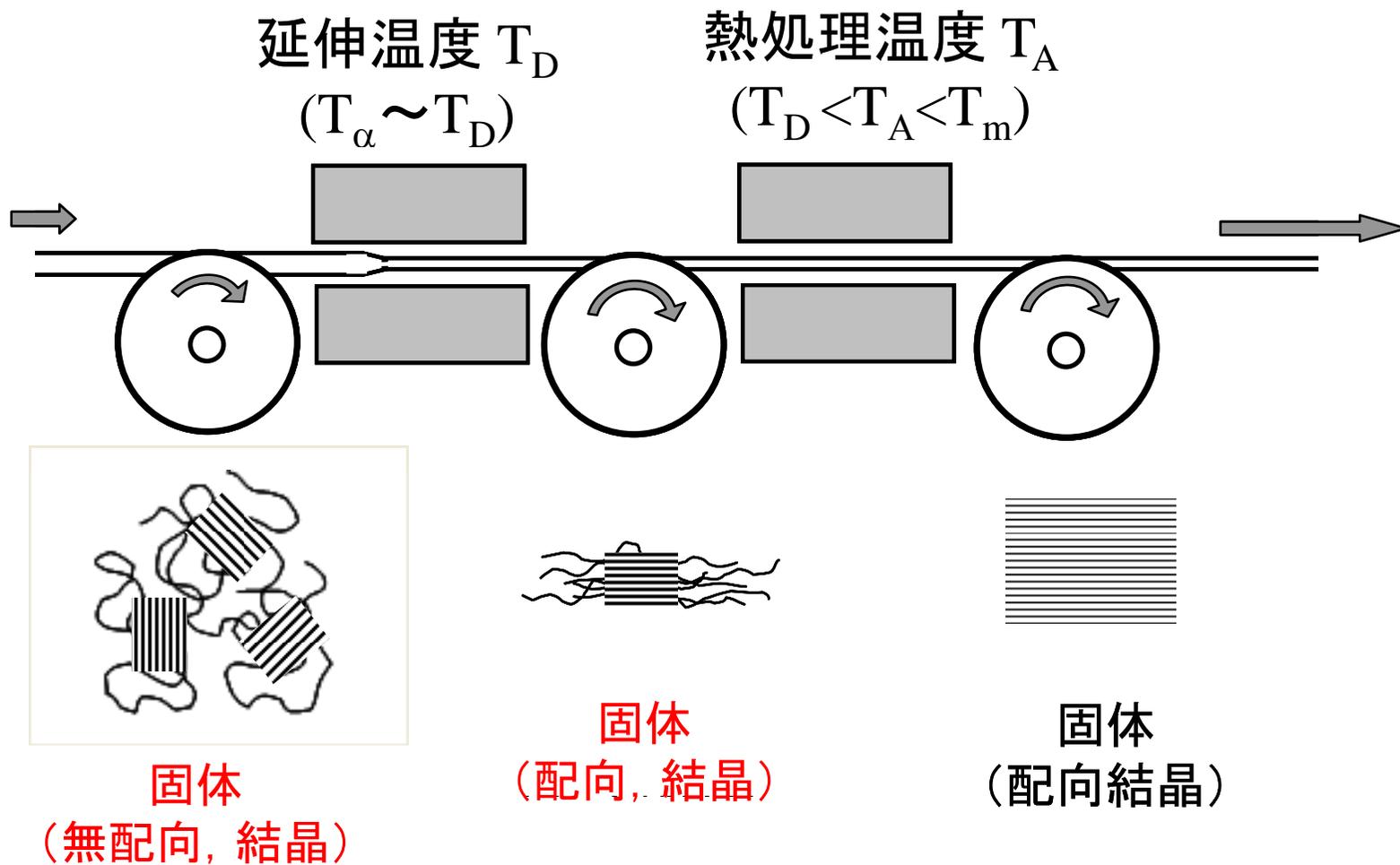


紡糸により  
繊維の形を作る  
(PE, PPの場合)



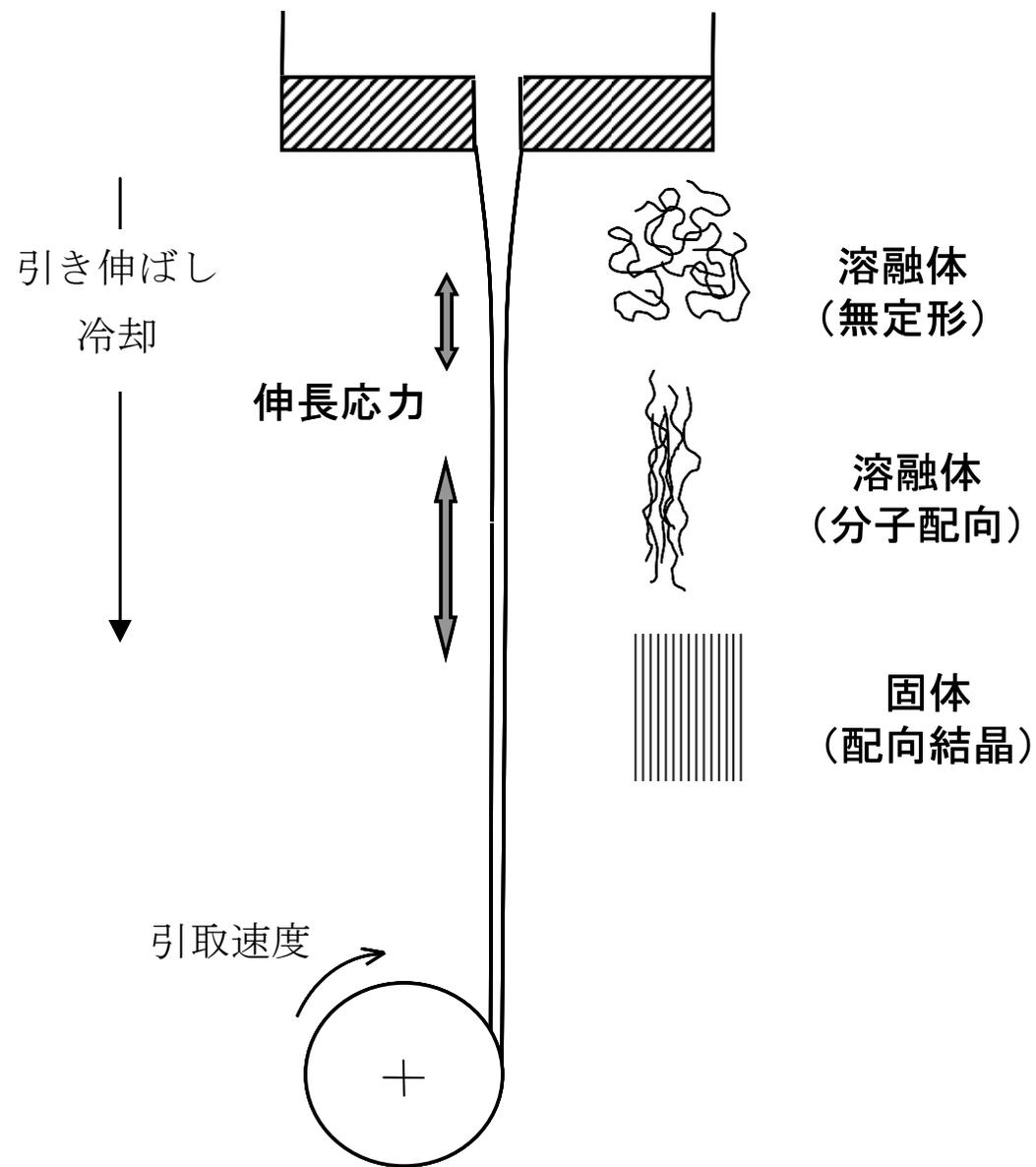
無配向  
(結晶)





延伸により繊維の構造を作る





**高速紡糸:**

紡糸により  
繊維の形と構造を作る



# 紡糸過程と延伸・熱処理過程の融合

