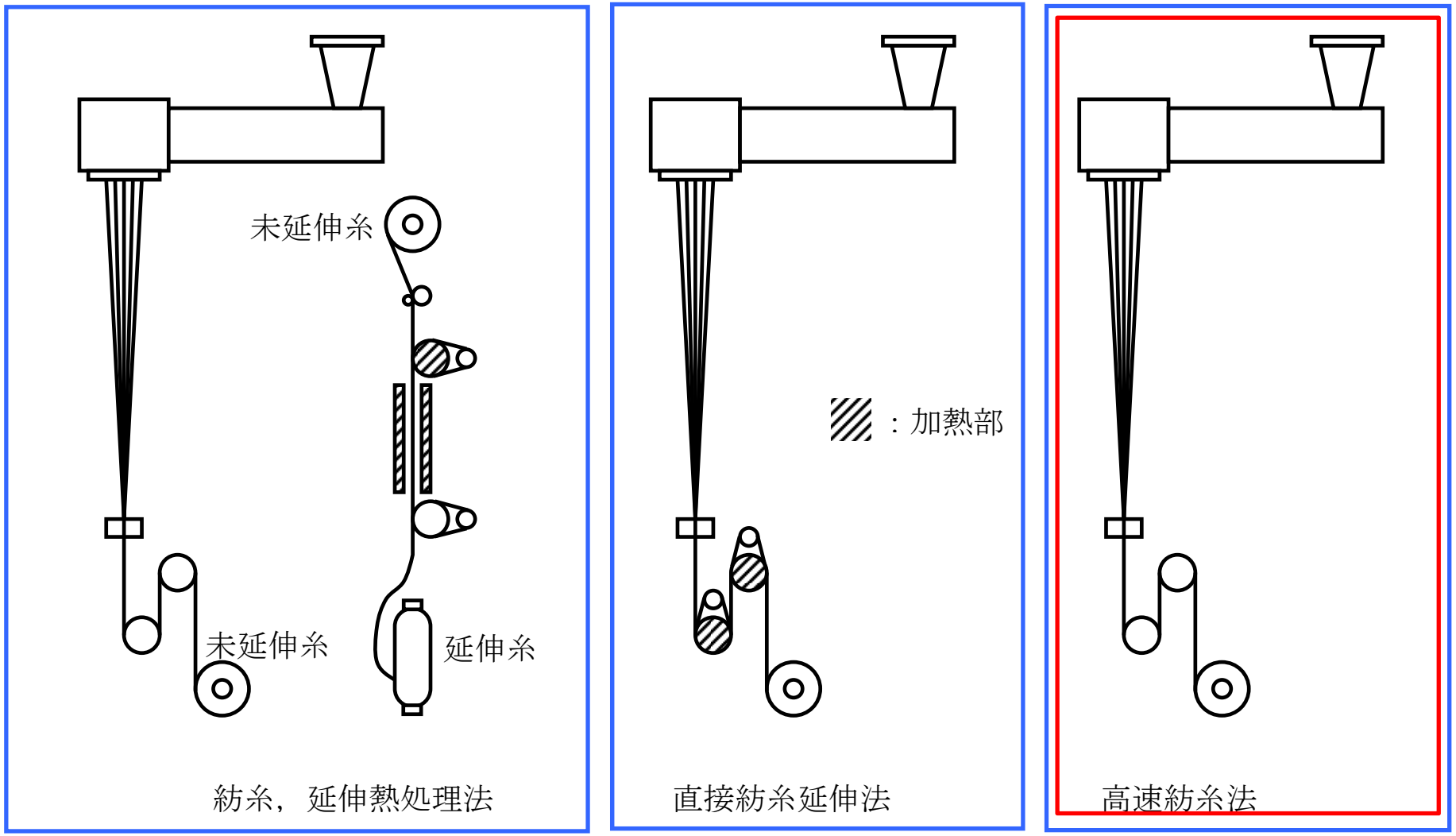
高次構造形成

流動場の結晶化挙動

配向誘起結晶化
応力誘起結晶化

構造形成とプロセスの関係

紡糸過程と延伸・熱処理過程の融合



高速紡糸

紡糸速度増加

伸長応力増加

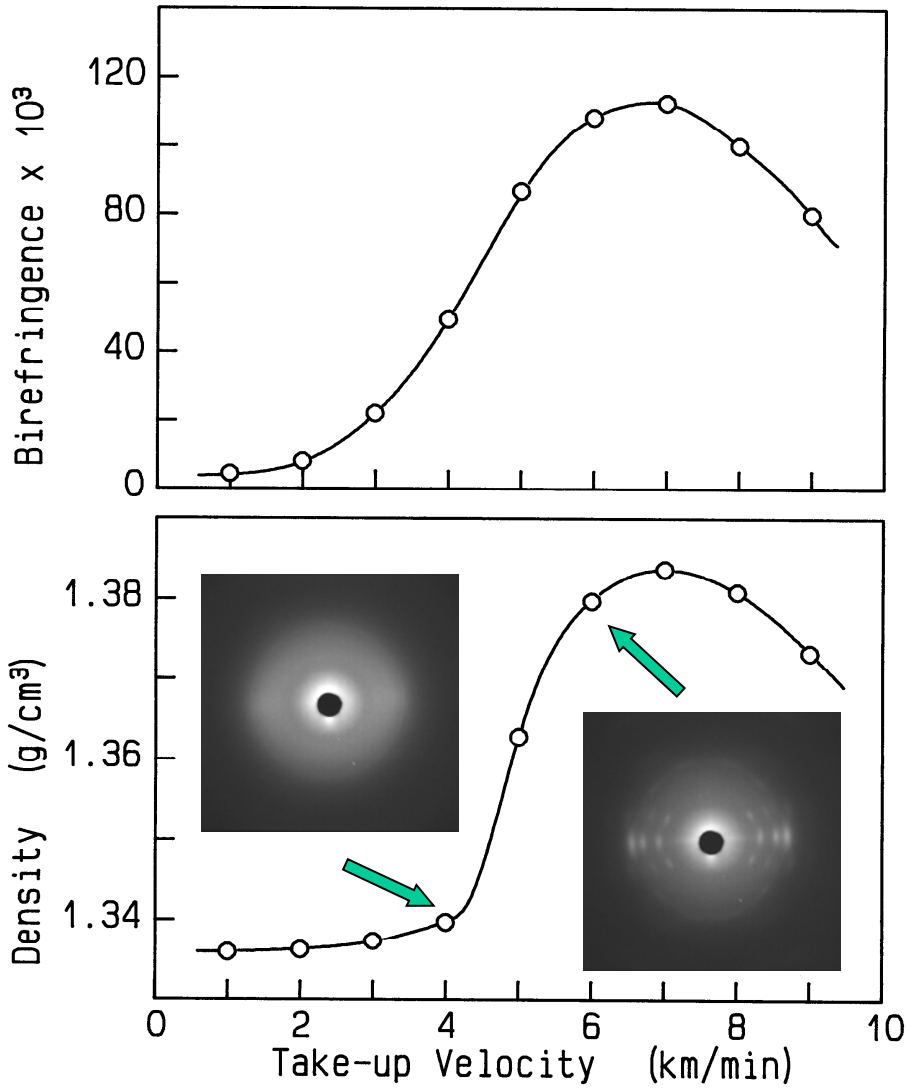
分子配向増加

結晶化速度増大

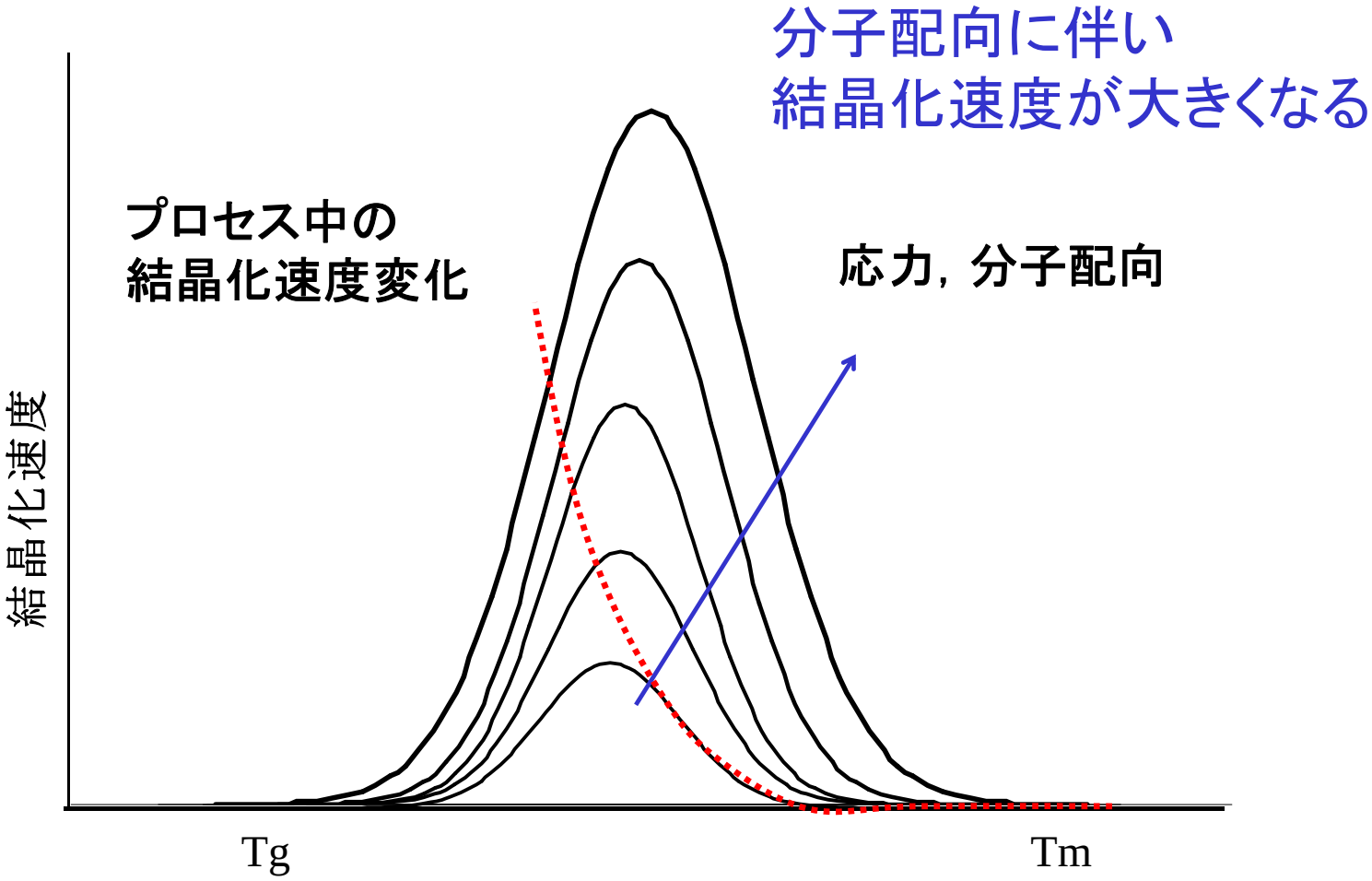
配向結晶化

↓

高配向・高結晶性繊維

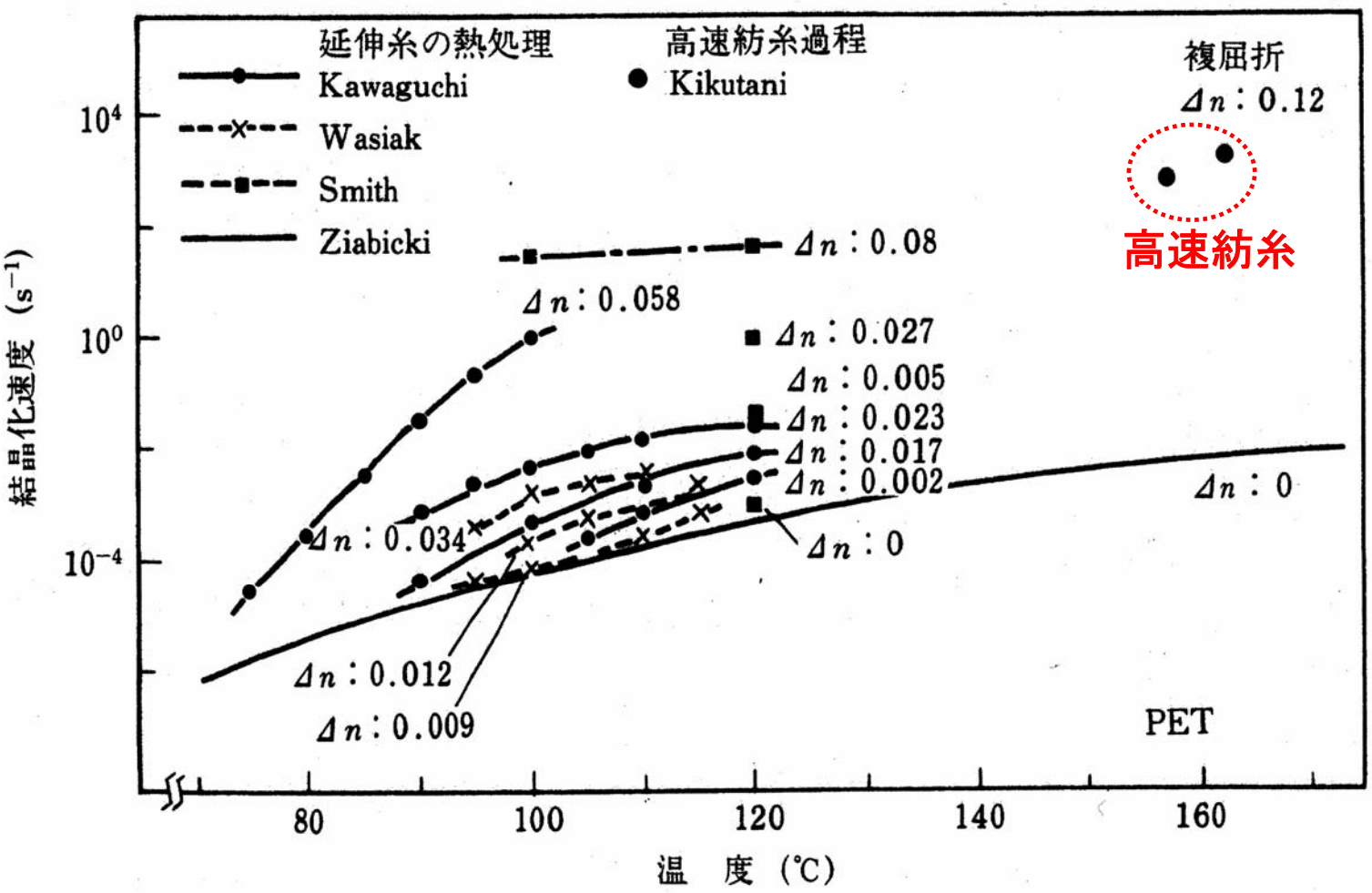


成形加工プロセス中の結晶化（配向結晶化）



結晶化の発熱がさらに結晶化を促進する温度域で結晶化が起こり得る

結晶化速度の複屈折依存性



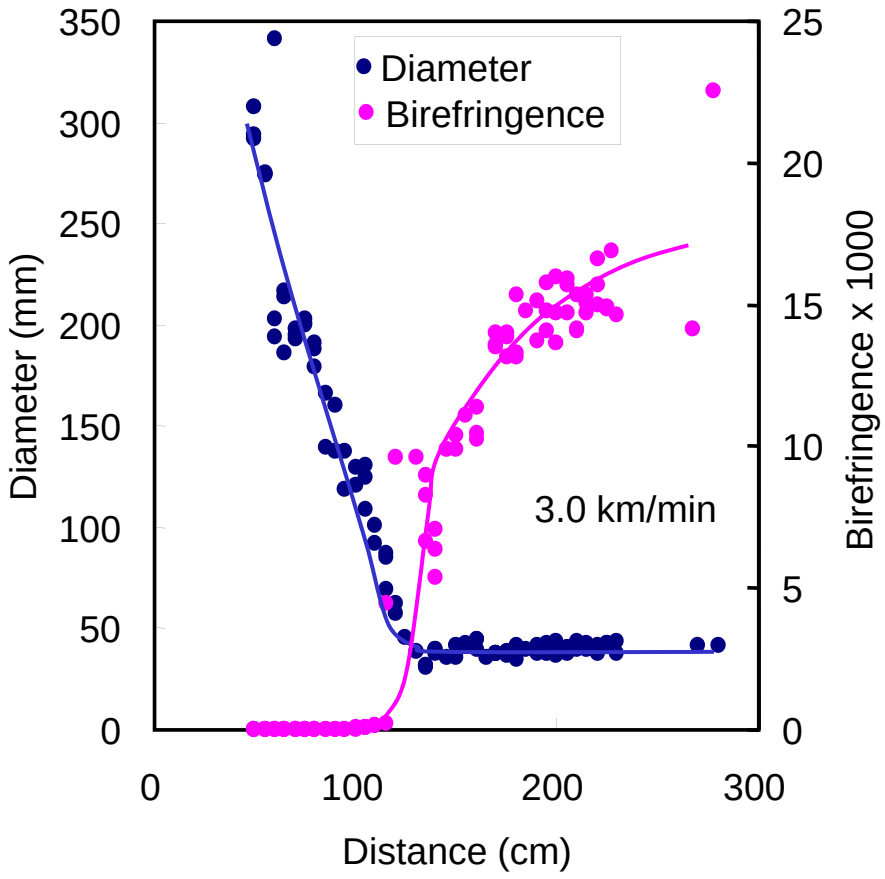
- 分子配向誘起結晶化

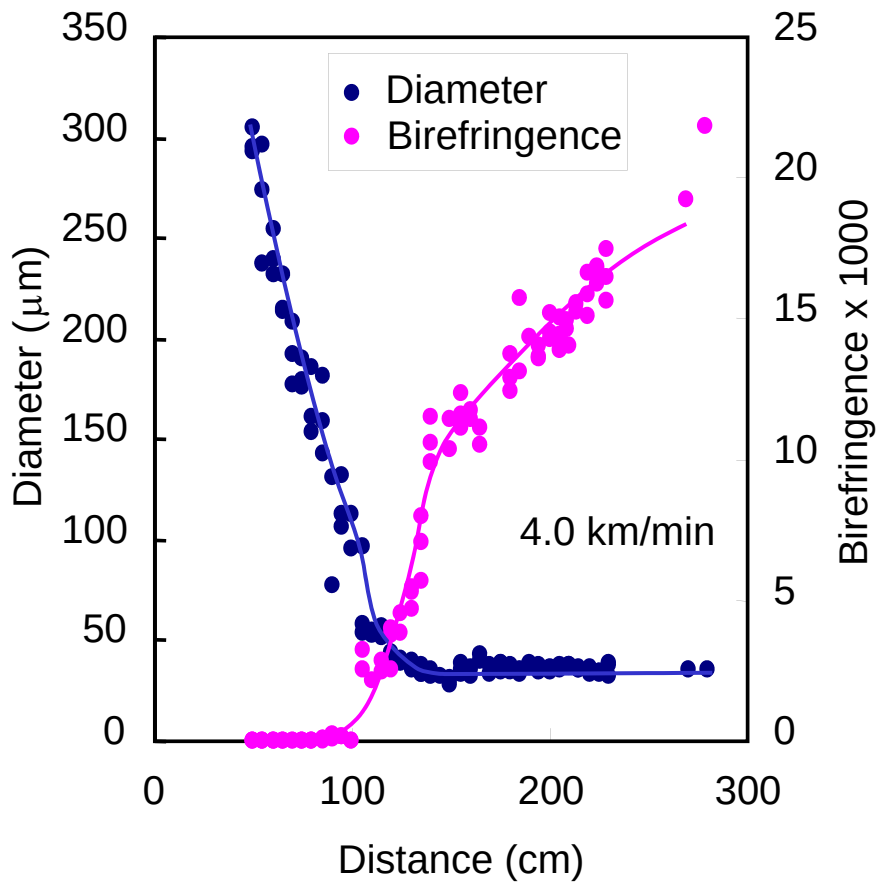
  伸長応力下で分子が配向することにより
  結晶化が促進される

- 結晶化誘起分子配向

  結晶化に伴って自発的に分子が配向する

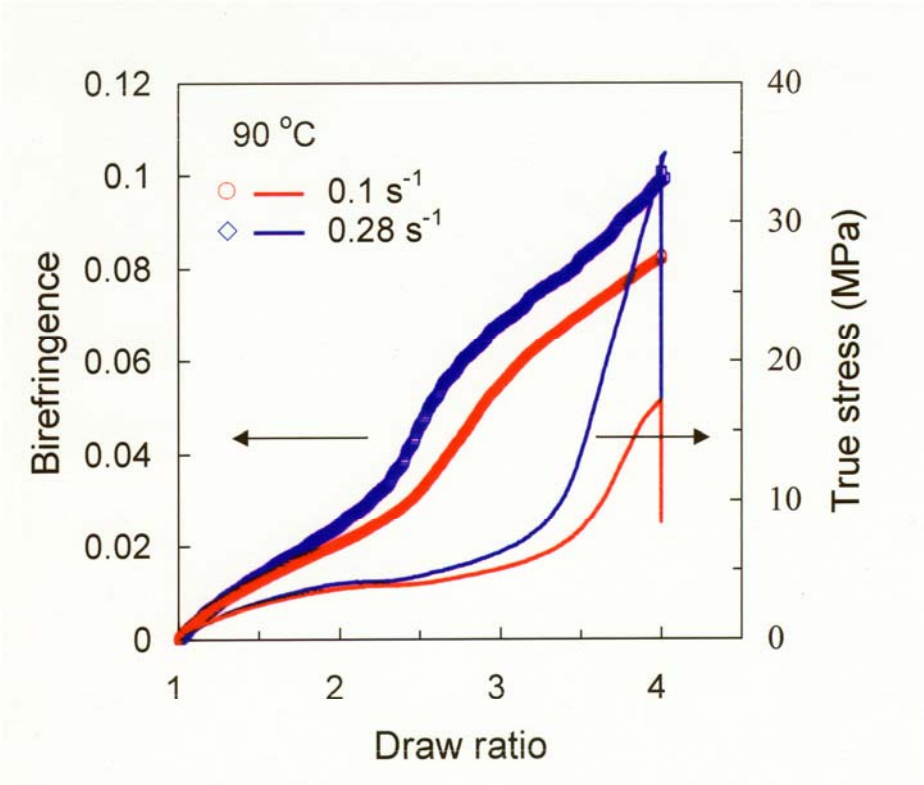
PP溶融紡糸過程の直径と複屈折プロフィール

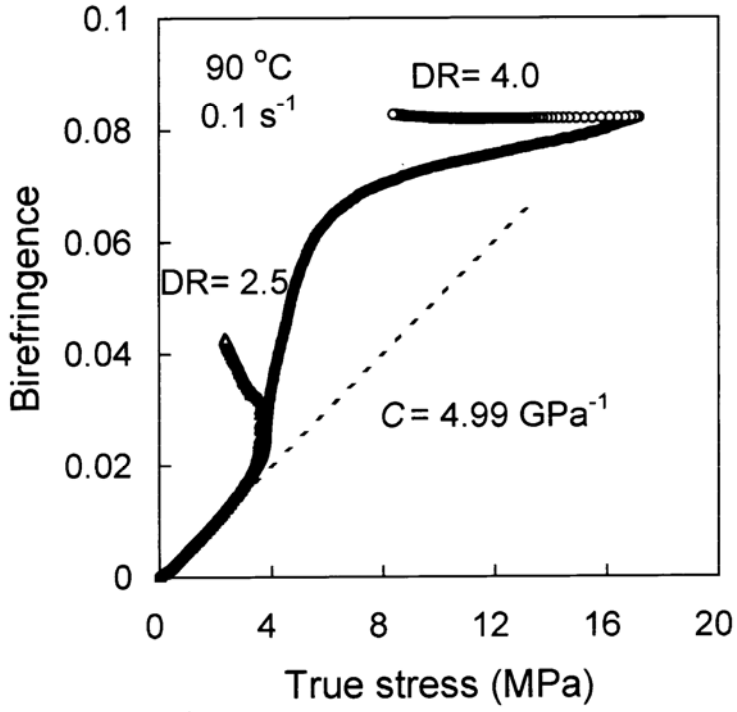




変形終了後の複屈折増加
＝結晶化誘起分子配向

PET一軸延伸停止後の応力緩和と複屈折増加





PETの場合，複屈折が0．02以上になると
延伸停止後の応力緩和の過程で複屈折は自発的に増大する

溶融紡糸過程の支配方程式

物質収支式

$$W = \frac{\pi D^2}{4} \rho V$$

エネルギー収支式

$$\frac{dT}{dx} = -\frac{\pi D h}{W C_p}\left(T - T_a\right)$$

運動量収支式

$$\frac{dF}{dx} = W\left(\frac{dV}{dx} - \frac{g}{V}\right) + \pi D \tau_f$$

レオロジー方程式（構成方程式）

$$\frac{dV}{dx} = \frac{F}{A\eta}$$

$\rho = 1.356 - 5.0 \times 10^{-4} T$

$C_p = 1.26 + 2.5 \times 10^{-3} T$

$h = (k_a/D)\,(0.28\ \mathrm{Re}^{0.334})$

$\tau_f = 0.5 \rho_a V^2\,(0.66\ \mathrm{Re}^{-0.61})$

高次構造形成を考慮するには

1. 分子配向の式
2. 結晶化の式
3. エネルギー収支式へ
   結晶化潜熱の影響導入
4. 結晶化に伴う流動特性変化

溶融紡糸過程の支配方程式

物質収支式

$$W = \frac{\pi D^2}{4}\rho V$$

エネルギー収支式

$$\frac{dT}{dx} = -\frac{\pi Dh}{WC_p}(T - T_a) + \frac{dX_c}{dx}$$

運動量収支式

$$\frac{dF}{dx} = W\left(\frac{dV}{dx} - \frac{g}{V}\right) + \pi D\tau_f$$

複屈折形成

$$\Delta n = C\sigma$$

結晶化

$$\frac{X_c}{X_\infty} = 1 - \exp\left[-\left\{\int_0^t d\tau K(T(\tau), \Delta n)\right\}^n\right]$$

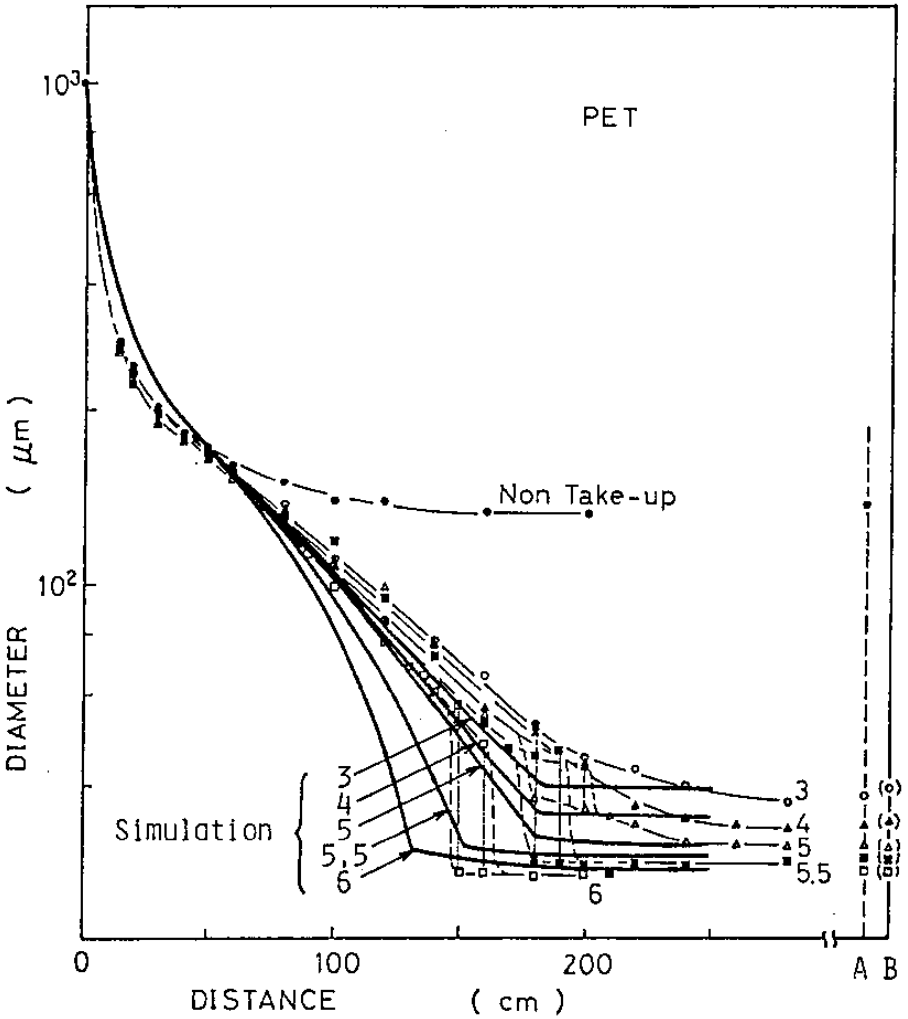
結晶化速度の分子配向依存性

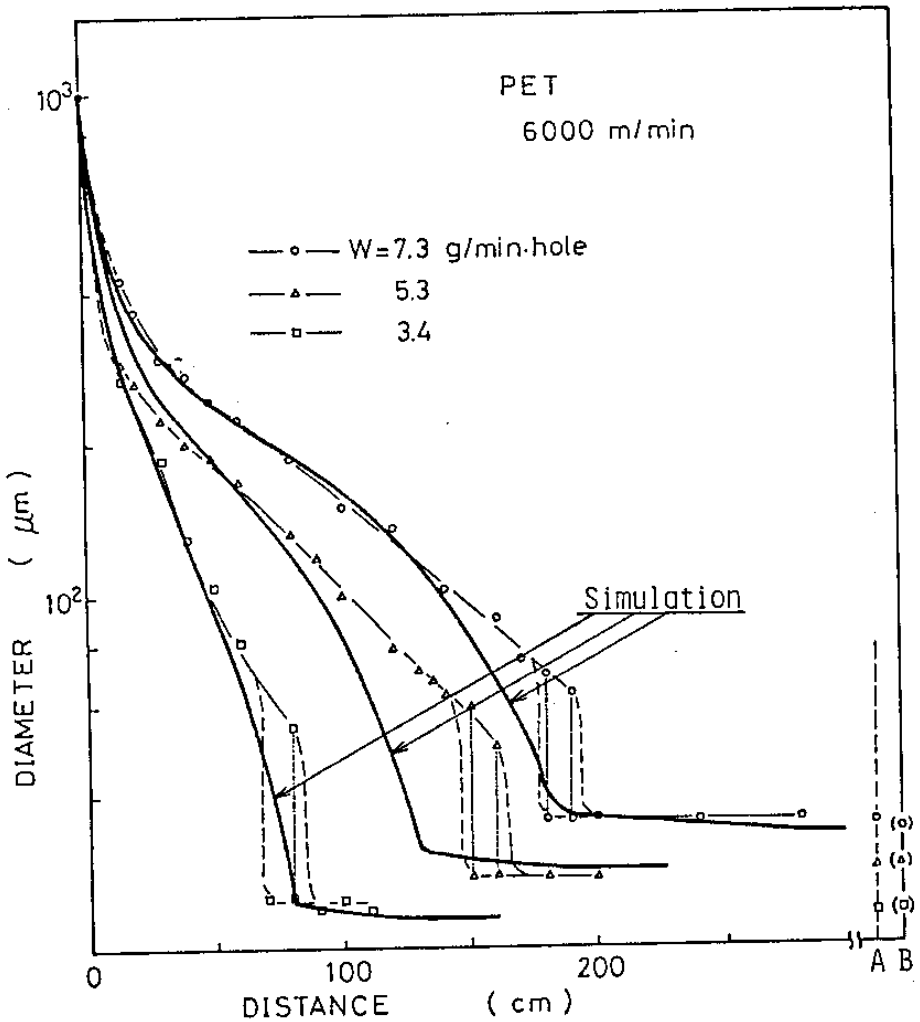
$$\frac{1}{t_{1/2}} = \frac{1}{t_{1/2}^*}\exp\left\{\frac{-4\ln 2(T - T_a)^2}{\beta^2} + A\Delta n^2\right\}$$

伸長粘度の結晶化度依存性

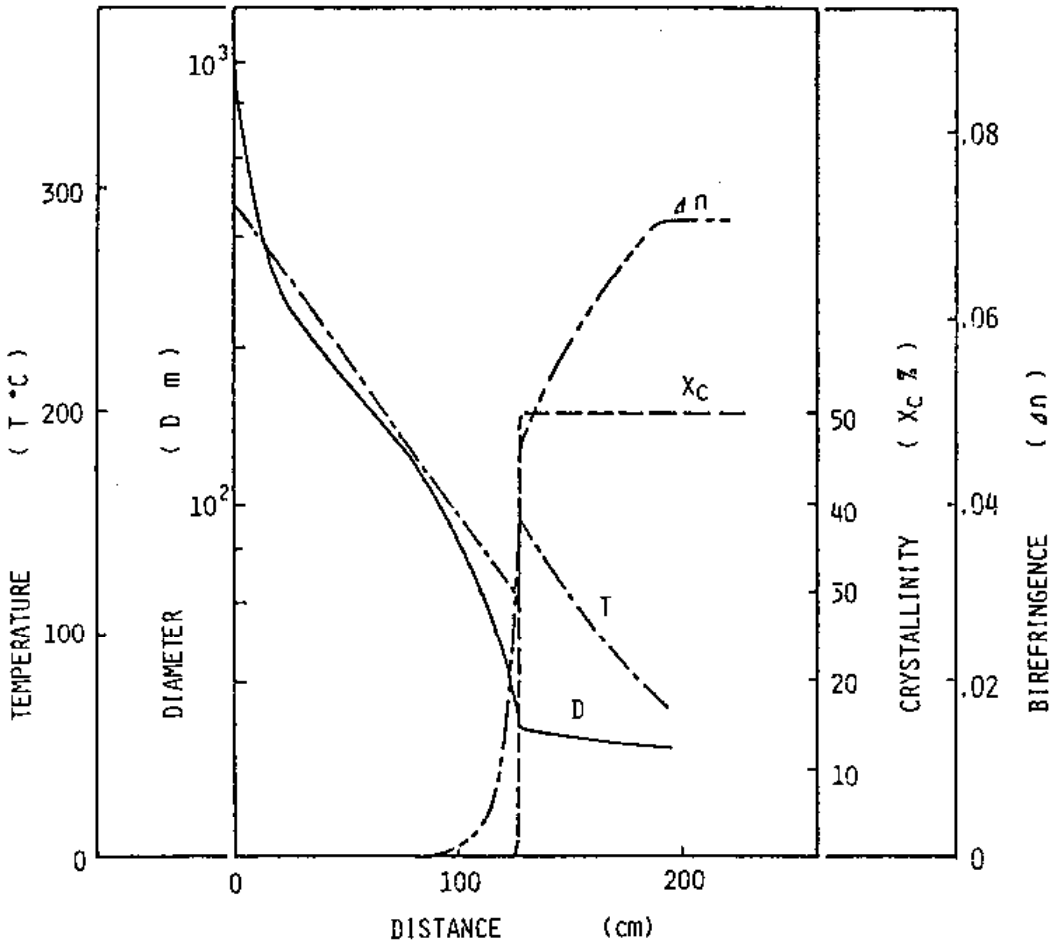
$$\eta = \eta_0 \exp\left(\frac{\Delta E}{T + 273} + \alpha X_c^\beta\right)$$

細化曲線ー実験結果と数値解析結果の比較

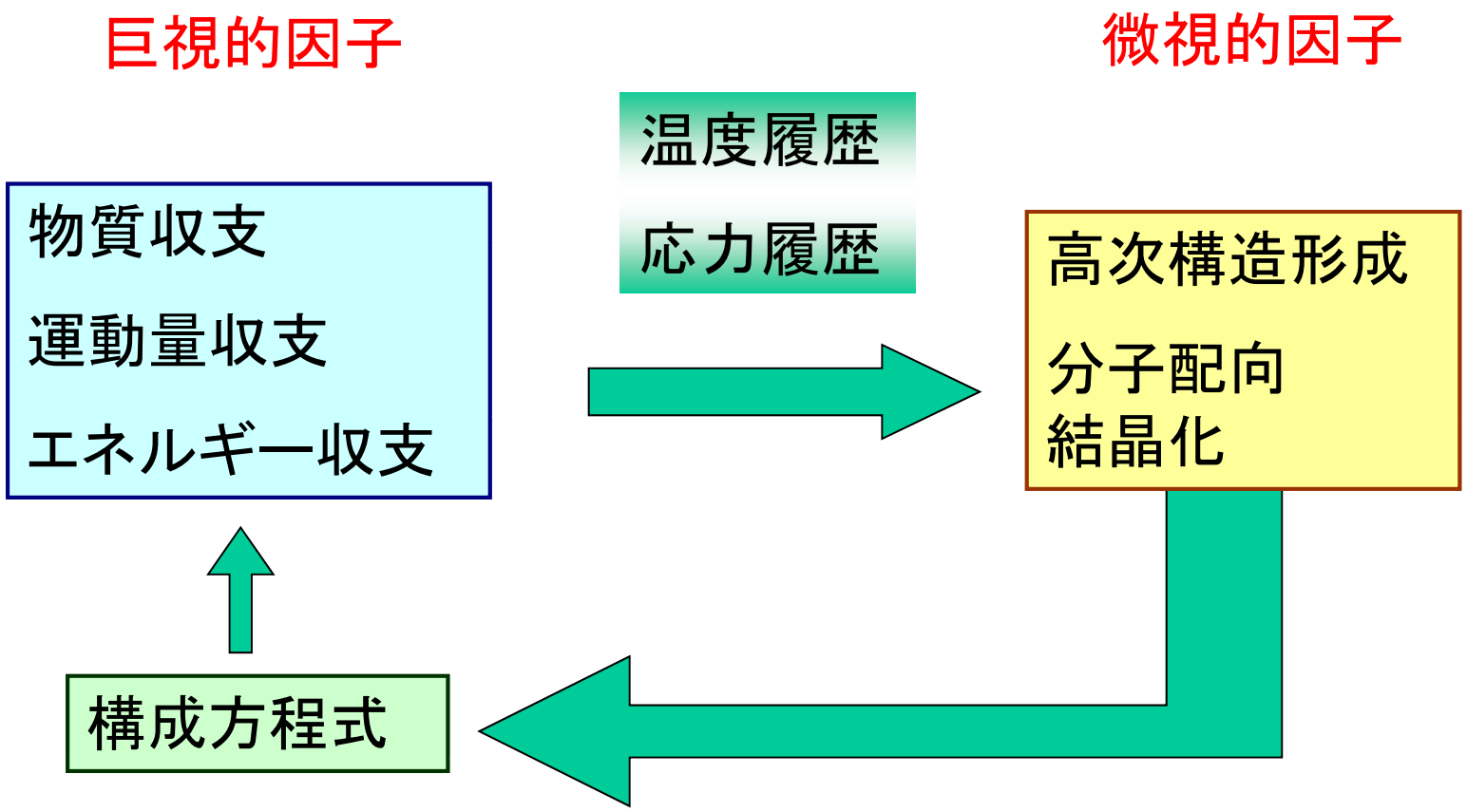




直径，温度，結晶化度，複屈折変化の計算結果



成形加工における高次構造形成



結晶化による流動性変化
レオロジカルな流動性変化