

## 機械的単位操作

【問1】物質の動的粘弾性測定に関する以下の文を読み、設問1)～4)に答えよ。

身の回りにある物質の多くは粘弾性体である。動的粘弾性測定では、構造破壊が生じない正弦的な歪み(ひずみ)を粘弾性体に与え、その応力応答を計測することで、物質の弾性および粘性に関する性質を評価することができる。

図1は、化学的な架橋構造を持たない非晶質ポリマーの動的剛性率  $G$  の、角周波数  $\omega$  に対する変化を模式的に示したものである。なお、ポリマーの平均分子量は十分に大きく、分子量分布は十分に狭いものとする。動的剛性率  $G$  は一般に複素数で表され、その実部 ( $G'$ ) と虚部 ( $G''$ ) で構成される。ポリマーのガラス転移温度付近において  $G$  は、図1の実線(A)で示される **ア** と、破線(B)で示される **イ** に分けて示すことができる。さらに、**ア** の角周波数依存性は、図中の領域①～④に分けて考えることができる。領域①は角周波数の変化に対して **ア** が大きく変化しない領域であり、**ウ** 領域と呼ばれる。**ウ** 領域においてポリマーは **エ** 振る舞いを示す。同様に角周波数に対する **ア** の変化が小さい領域③は **オ** 領域と呼ばれ、**カ** 振る舞いを示す。領域②は **キ** 領域と呼ばれ、角周波数に対して **ア** が大きく変化する。領域④は **ク** 領域と呼ばれ、この領域においてポリマーは、強い角周波数依存性を示し、**ケ** 振る舞いを示す。

一般に、外的な刺激に対するポリマーの構造変化は時間的な遅れ(緩和現象)をともなう。図1中の①領域②と領域④で生じる緩和様式(緩和モード)は異なっており、高分子鎖に生じる分子運動にも大きな違いがある。

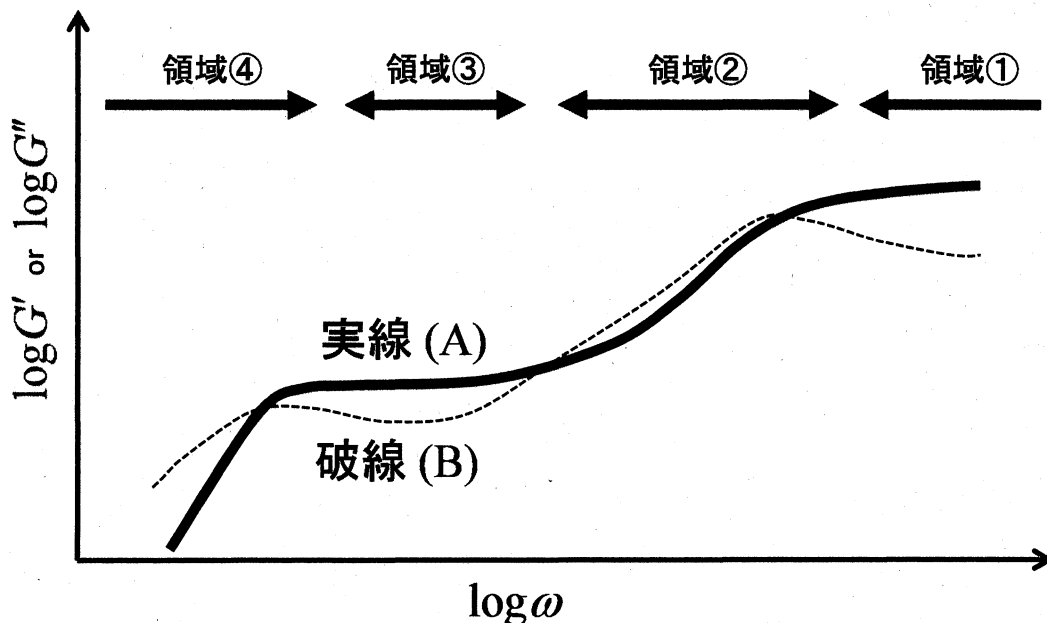


図1 ガラス転移温度付近における非晶質ポリマーの動的剛性率

- 1) 空欄  ,  に当てはまる適切な語句をそれぞれ記せ。
- 2) 空欄  ~  に当てはまる適切な語句を、次の解答群の中からそれぞれ選び答えよ。

【解答群】

エネルギー, エントロピー, ガラス, ゴム, コロイド, コンフィグレーション,  
 コンフォメーション, ゼリー, ダッシュポット, 定常, 転移, バネ, 流動  
 液体のような, 気体のような, 固体のような, ゴムのような,  
 チキソトロピック性の, フォークト型の, プラズマのような, マクスウェル型の,  
 レオペクチック性の

- 3) 下線(1)に関して、領域②と領域④の高分子に生じる分子運動の違いについて説明せよ。
- 4) 化学的な架橋構造を有するポリマーの動的剛性率を測定すると、化学的な架橋構造を持たないポリマーの動的剛性率 (実線(A)) と異なる角周波数依存性が得られる。①~④のいずれの領域でどのような違いが観測されるかを説明せよ。

【問2】固気分離や固液分離操作においては、粒子の終末速度が重要な意味をもつ。このことに関連して設問1)～3)に答えよ。

1) 以下の文章において  ～  に入れるべき式や語句を答えよ。

粒子が静止流体中を自由沈降する場合、粒子には重力、浮力および流体抵抗力が作用する。流体抵抗力を $R$ として、円周率を $\pi$ 、粒子速度を $u$ 、粒子直径を $D_p$ 、粒子の密度を $\rho_p$ 、流体の密度を $\rho_f$ 、時間を $t$ 、重力加速度の大きさを $g$ とすれば、粒子の運動方程式は次式で表される。

$$\frac{\pi}{6} D_p^3 \rho_p \frac{du}{dt} = \text{ア} \quad (1)$$

式(1)中の流体抵抗力 $R$ は式(2)で定義される。

$$R = C_D \left( \frac{\pi D_p^2}{4} \right) \rho_f \left( \frac{u^2}{2} \right) \quad (2)$$

式(2)中の $C_D$ は抵抗係数であり、式(3)に示す粒子レイノルズ数 $Re_p$ の関数として式(4)～式(6)で与えられる。

$$Re_p = \frac{\text{イ}}{\mu_f} \quad (3)$$

ストークス領域  $C_D = 24/Re_p \quad (Re_p \leq 2) \quad (4)$

アレン領域  $C_D = 10/\sqrt{Re_p} \quad (2 \leq Re_p \leq 500) \quad (5)$

領域  $C_D = 0.44 \quad (500 \leq Re_p \leq 10^5) \quad (6)$

ただし、式(3)中の $\mu_f$ は流体の粘性係数である。以上の関係式より、終末速度が求められる。例えば $Re_p \leq 2$  の場合においては、終末速度 $u_t$ は次式で表される。

$$u_t = \text{エ} \quad (7)$$

粒子の終末速度の差を利用して固液分離操作を行うものに、清澄槽がある。清澄槽には水平流型や垂直流型があり、沈降分離装置あるいは分級装置として用いられる。まず、理想的な水平流型沈降槽を考える。図2(a)に模式的に示す高さ $H$ 、長さ $L$ 、幅 $B$ 、沈降床面積 $A$ の沈降槽に体積流量 $Q$ の原液が断面内一様な水平方向速度 $u_f$ で乱れなく流入しているものとする。また、沈降槽に流入する流体中に浮遊する粒子は、濃度が均一で流体との水平方向の速度差はなく、粒子は終末速度に達しているものとする。このような条件下では、図2(b)に示す通り清澄槽に入ると、 $u_f$ と $u_t$ で定まる角度で流体中を沈降するため、本槽で完全に分離される最小粒子(限界粒子)は、入口に高さ $H$ で入り、下流の出口 $L$ の位置でちょうど床面に沈降する粒子である。この粒子の沈降速度を $u_{tc}$ とすると、所要沈降時間および滞留時間は、それぞれ式(8)および式(9)で表され、それらの時間は等しい。

所要沈降時間 =  (8)

滞留時間 =  (9)

ここで  $u_f = Q / \boxed{\text{キ}}$  であるため、式(8)および式(9)の関係は、

$$\boxed{\text{ク}} \times A/Q = 1 \quad (10)$$

となる。限界粒子より小さな  $u_t$  を持つ粒子では、図2(b)中の高さ  $H$  よりも低い位置  $z$  から流入したものは分離されるため、その分離効率  $\eta$  は、

$$\eta = \boxed{\text{ケ}} \times A/Q \quad (\eta \leq 1) \quad (11)$$

となる。

- 2) 1) の水平流型沈降槽において、縦軸に  $\eta$  ( $0 \leq \eta \leq 1$ )、横軸に  $\boxed{\text{ケ}} \times A/Q$  ( $0 \leq \boxed{\text{ケ}} \times A/Q \leq 2$ ) をとった図を解答用紙に描き、水平流型沈降槽の分離効率を表す線を図中に実線で記せ。
- 3) 垂直流型沈降槽の模式図を図3に示す。もし、沈降速度  $u_t$  の粒子を含む流体を、流路断面積  $A$  の沈降槽に体積流量  $Q$  で、乱れがなく断面内一様な上昇流となるように流したとする。この場合の分離効率を表す線を、2) で解答した図中に点線で併記せよ。

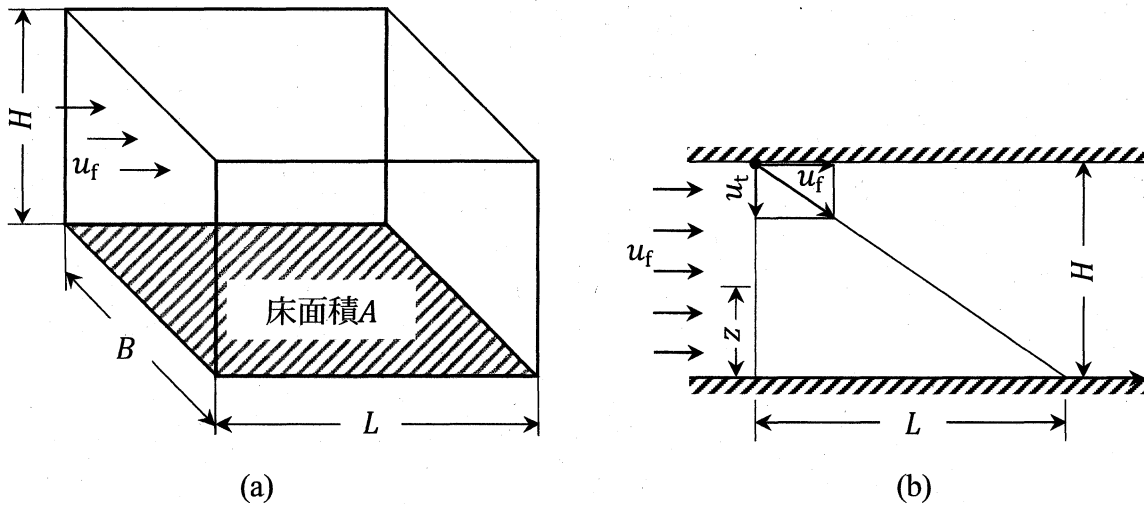


図2 水平流型清澄槽における沈降分離

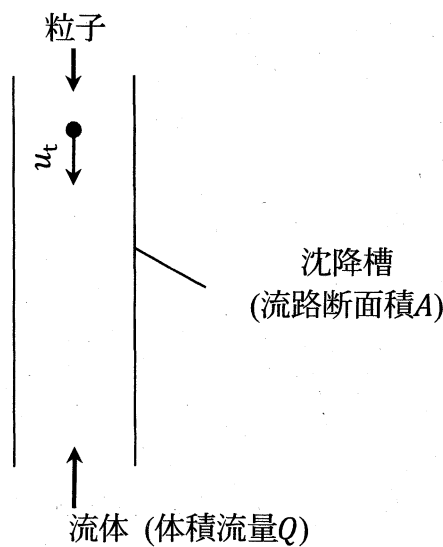


図3 垂直流型沈降槽における沈降分離