機械的単位操作

【問１】高分子材料の弾性に関する以下の文章を読み，設問１）～５）に答えよ。ただし，対象とする高分子材料の体積を V，エントロピーを S で表すものとする。

分子量が十分に大きい非晶質の高分子材料を加熱していくと、高分子材料は $\boxed{\text{ア}}$ 温度付近で $\boxed{\text{イ}}$ 状態からゴム状態に変化する。加硫ゴムは架橋された高分子材料であり，$\boxed{\text{ア}}$ 温度より十分に高い温度でゴム状態となり，大きく伸び縮みする特性が現れる。

ある温度 T，圧力 p においてゴム状態にある加硫ゴムの試料に対して張力 f を与えて，試料を変形させた。そのときの体積変化は $\mathrm{d}V$ で長さの変化は $\mathrm{d}L$ であった。この変化が準静的に行われた場合，内部エネルギー E の微小変化 $\mathrm{d}E$ は

$$\mathrm{d}E = \boxed{\text{ウ}} + f\mathrm{d}L \tag{1}$$

で表される。変形による試料の体積変化 $\mathrm{d}V$ が無視できるとすると，試料が微小変形したときに生じるエネルギー $f\mathrm{d}L$ は

$$f\mathrm{d}L = \boxed{\text{エ}} \tag{2}$$

で表される。式(2)から張力は

$$f = \left(\frac{\partial E}{\partial L}\right)_T - \boxed{\text{オ}} \tag{3}$$

と表すことができる。式(3)に基づくと，加硫ゴムが有する弾性力の支配因子を考えることができる。$\boxed{\text{ア}}$ 温度以上で理想ゴム状態にある加硫ゴム（$\mathrm{d}V = 0$）では，第１項 $\left(\frac{\partial E}{\partial L}\right)_T \approx 0$ の関係にあり，$\boxed{\text{カ}}$ 弾性が支配的になる。

一方，$\boxed{\text{ア}}$ 温度より十分に低い温度では，加硫ゴムは $\boxed{\text{イ}}$ 状態にあり，$\boxed{\text{オ}}$ の項の符号は，$\boxed{\text{キ}}$ を示し，弾性力を $\boxed{\text{ク}}$ させる方向に寄与する。しかし，その寄与は小さいため，弾性力に及ぼす影響は小さい。このような弾性を $\boxed{\text{ケ}}$ 弾性という。

1）空欄 $\boxed{\text{ア}}$ ～ $\boxed{\text{オ}}$ に当てはまる適切な語句または文字式を答えよ。

2）空欄 $\boxed{\text{カ}}$ ～ $\boxed{\text{ケ}}$ 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】正，負，増大，低下，並列，直列，エクセルギー，エネルギー，
エンタルピー，エントロピー，コンフォメーション，
コンフィギュレーション，フォークト，マクスウェル

3）$\boxed{\text{カ}}$ 弾性が支配的な場合，加硫ゴムが伸長したときに生じる（高分子鎖の）構造変化を説明せよ。また，そのことを踏まえてゴム状態にある加硫ゴムが伸縮する主たる要因を説明せよ。

4）$\boxed{\text{カ}}$ 弾性が支配的な場合の弾性力は絶対温度とともにどのように変化するかを，問題文中の熱力学関係式を用いて説明せよ。

5）等圧断熱下で加硫ゴムを急に伸長させると，加硫ゴムの温度はどのように変化するか。式(4)の熱力学関係式を用いて説明せよ。ただし，C_p は加硫ゴムの定圧熱容量を表す。

$$\left(\frac{\partial T}{\partial L}\right)_S = \frac{T}{C_p}\left(\frac{\partial f}{\partial T}\right)_L \tag{4}$$

【問２】以下の文章を読み，空欄 $\boxed{\text{ア}}$ ～ $\boxed{\text{セ}}$ に当てはまる適切な語句や**文字式を答え**よ。

固気や固液の分離操作は，燃焼飛灰の除去，地下資源の選鉱や上水・下水の清澄などで広く実施されている。

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π，粒子速度をu，粒子直径をD_{p}，粒子の密度をρ_{p}，流体の密度をρ_{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。

$$\boxed{\text{ア}} \cdot \frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t} = \frac{\pi}{6} D_{\mathrm{p}}^{3} \cdot \boxed{\text{イ}} - R \qquad (1)$$

式(1)中の流体抵抗力 R は式(2)で定義される。

$$R = C_{\mathrm{D}} \cdot \boxed{\text{ウ}} \cdot \rho_{\mathrm{f}} \left(\frac{u^2}{2}\right) \qquad (2)$$

式(2)中のC_{D}は $\boxed{\text{エ}}$ であり， μ_{f} を流体の粘性係数とすると，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。

$$Re_{\mathrm{p}} = \boxed{\text{オ}} \qquad (3)$$

ストークス領域 $$C_{\mathrm{D}} = \frac{24}{Re_{\mathrm{p}}} \quad \left(Re_{\mathrm{p}} \le 2\right) \qquad (4)$$

アレン領域 $$C_{\mathrm{D}} = \frac{10}{\sqrt{Re_{\mathrm{p}}}} \quad \left(2 < Re_{\mathrm{p}} \le 500\right) \qquad (5)$$

ニュートン領域 $$C_{\mathrm{D}} = 0.44 \quad \left(500 < Re_{\mathrm{p}} \le 10^5\right) \qquad (6)$$

以上の関係式より， $\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t} = 0$ となる終末速度 u_{t} を求めることができる。$Re_{\mathrm{p}} \le 2$ の場合， u_{t} は次式で表される。

$$u_{\mathrm{t}} = \boxed{\text{カ}} \qquad (7)$$

次に理想的な沈降槽について考える。図１に示す長さ（沈降区間）L [m]，深さ H [m]，幅（紙面奥行き方向）W [m]の水平流型沈降槽に，流体が高さ方向に一様な水平方向速度 V [m/s]で流れている。流入水中に含まれる粒子は沈降槽流入断面に均一に分布し，垂直方向に終末速度で沈降し，水平方向には流体と等しい速度で移動するものとする。粒子は沈降槽底部

に達した時点で除去され，粒子の再飛散はないものとする。終末速度 u_t [m/s]の粒子を完全に沈降分離するためには，沈降槽の水面に流入した粒子が，距離 L に移動するまでに沈降槽底部に到達すればよい。この粒子の完全分離の条件式は，

$$\frac{H}{u_t} \leq \boxed{\text{キ}} \tag{8}$$

このときの着目する粒子の分離効率 η は 1 である。処理水量 Q [m^3/s]，沈降床面積 $A = WL$ [m^2]とすると，

$$u_t \geq \frac{H}{\boxed{\text{キ}}} = \boxed{\text{ク}} = v \tag{9}$$

ここで v [m/s]は，処理水量を分離するための面積で除した値であり，溢流速度（overflow rate）とよばれる。

沈降する速度が u_t よりも小さい粒子（$u \leq u_t$）について考える。式(8)より粒子の流入位置 $h\,(= u \cdot \boxed{\text{キ}}\,)$よりも下の高さに流入した粒子は完全に沈降分離するので，このときの分離効率 η は，

$$\eta = \frac{h}{H} = \boxed{\text{ケ}} \tag{10}$$

すなわち粒子の分離効率は溢流速度 v と粒子の沈降速度 u のみで決定されることがわかる。

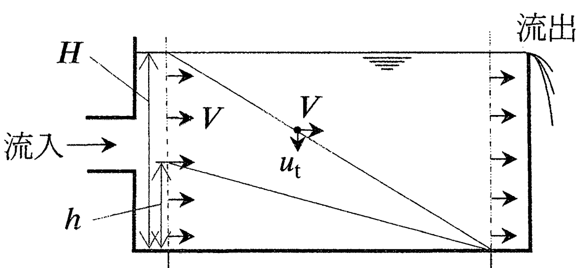

図１　水平流型沈降槽

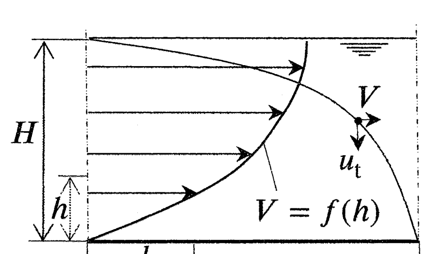

図２　偏流のある水平流型沈降槽の沈降区間

次に，短絡流の分離効率に及ぼす影響について考える。沈降槽内の流体が図２に示すように沈降区間内で高さ方向に偏流があるものとする（$V = f(h)$）。粒子は垂直方向に終末速度で沈

降し，水平方向には流体と等しい速度で移動するものとして，終末速度 u_t の粒子の沈降経路を2方向について記述すると，

$$\mathrm{d}l = \boxed{\quad コ \quad} \tag{11}$$

$$\mathrm{d}h = \boxed{\quad サ \quad} \tag{12}$$

式(11)と式(12)より，粒子が沈降槽底部に到達する条件は，

$$u_t \geq \boxed{\quad シ \quad} \cdot \left(\frac{1}{H} \int_0^H \boxed{\quad ス \quad} \mathrm{d}h \right) \tag{13}$$

ここで式(13)中のカッコの部分は，高さ方向に偏流があっても流量は一定なので，流体の断面平均流速を $\bar{V}$ とすると，結局，

$$u_t \geq \boxed{\quad セ \quad} \tag{14}$$

となる。 $u < u_t$ の粒子の分離効率 η は，高さ h よりも低い位置から流入した粒子が分離されるものとして，式(13)の関係を用いると，

$$\eta = \boxed{\quad ケ \quad} \tag{15}$$

となり，水平沈降槽の高さ方向に偏流が生じていても，分離効率は一様に流入する場合と同様となる。