

## 生物工学 I

次の[I - 1]～[I - 3]の3題を、それぞれ別の解答用紙に答えよ。

## [I - 1] (生物)

(問1) 真核生物の細胞では遺伝子が核膜に覆われている構造をもつ。一方、細菌は核膜をもたない生物であり、( a ) 生物とよばれる。一般に、細菌には、ミトコンドリア、ゴルジ体、小胞体のような細胞内小器官は存在 ( b ) が、リボソームは存在 ( c )。多くの細菌の染色体は、2本鎖の環状のDNA分子である。細菌の細胞膜は、( d ) 二重膜であり、そこには機能をもったタンパク質が存在する。マイコプラズマなどの少数例を除いて、細菌の細胞膜の外側に細胞壁がある。細胞壁の主要構成成分は、ペプチドグリカンとよばれる網状分子である。ペプチドグリカンは、( e ) の鎖が網目状にペプチド結合で連結した高分子化合物である。

ウイルスは、遺伝情報を担う核酸がタンパク質の殻に包まれている。ウイルスの核酸は、DNA、もしくは、RNA である。これらが2本鎖、もしくは、1本鎖であるウイルスが存在する。最も単純なウイルスの複製でも多くの酵素やタンパク質が必要であり、タンパク質の殻に入るDNAやRNAの量には限りがあるため、ウイルス全体を合成する情報を運ぶには少なすぎる。したがって、ウイルスは生きた細胞内でしか自己再生産ができない寄生体であり、他の細胞の生化学装置を乗っ取って利用している。ウイルスの核酸を包むタンパク質の殻をキャプシドとよび、核酸とキャプシドを合わせてヌクレオキャプシドとよぶ。ウイルスによっては、キャプシドの外に、エンベロープとよばれる( d ) 二重層の膜を被るものがある。エンベロープには、ウイルス固有の( e ) タンパク質が埋め込まれている。

レトロウイルスは、自己のRNAを鋳型として、DNAを合成する。この過程を触媒する酵素が逆転写酵素である。ウイルス粒子には、RNAゲノムとともに、逆転写酵素分子が数個包みこまれている。エイズの原因となるヒト免疫不全ウイルス(HIV)もレトロウイルスである。HIVは感染細胞の染色体に組み込まれて、潜伏状態をとることができる。ウイルスが宿主細胞内に隠れた状態になり、抗ウイルス薬による治療が難しい。

以下の設問に答えよ。

(ア) 空欄の(a)～(e)に適切な語句を入れよ。

(イ) ペニシリンは細菌に対する増殖を阻害する薬として用いられる。これが哺乳類の細胞には悪影響を及ぼさない理由を述べよ。

(ウ) エイズ治療で標的となる分子を1つあげよ。また、その理由を述べよ。

(次のページに続く)

(問 2) 微量の DNA 試料から目的とする部分を大量に増幅する方法に、ポリメラーゼ連鎖反応 (PCR)法がある. 目的とする遺伝子 X を PCR 法で増幅した. 図 1 に示す温度変化を 1 サイクルとした PCR を 15 サイクル行った結果, 試料 DNA を 165 ng 得た. 次に, PCR 法で増幅した目的の遺伝子 X を制限酵素 A で切断し, 両端に制限酵素 A の切断点をもつ 2.0 kbp の DNA 断片を分離した.

上の DNA 断片とは別の 6.0 kbp のある環状プラスミドは, 2 本鎖 DNA をもち, テトラサイクリン耐性遺伝子とアンピシリン耐性遺伝子の双方を含む. テトラサイクリンとアンピシリンは抗生物質である. 環状プラスミドのテトラサイクリン耐性遺伝子のコード領域にある, 制限酵素 A の認識部位を上と同じ制限酵素 A で切断した.

上の 2 つの DNA を適当な条件で連結して, 大腸菌に導入する実験を行った. その後, アンピシリンを含む寒天培地で培養して, コロニーを形成させた. さらに, それぞれのコロニーを採取して, テトラサイクリンを含む寒天培地上で培養して, コロニーを形成させた.

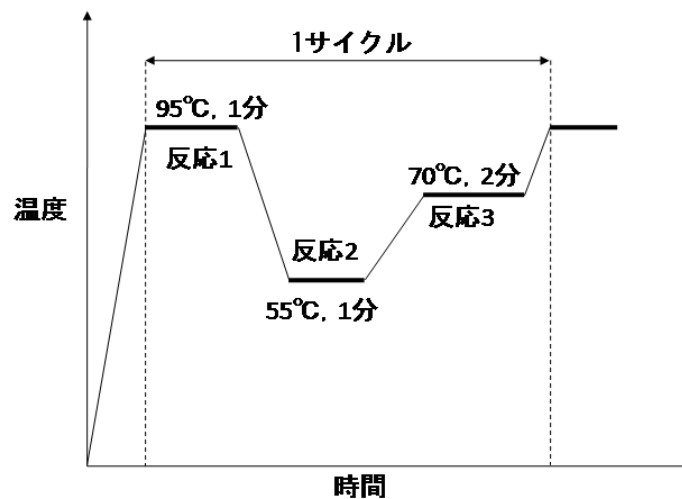


図 1

大腸菌から, 目的とする 2.0 kbp の DNA 断片を有する環状プラスミド Y を回収し, アガロース電気泳動法で解析した. この環状プラスミド Y を制限酵素 A で切断したところ, 図 2 のレーン 1 に示す DNA 断片が生じた. また, 同じ環状プラスミド Y を制限酵素 A と制限酵素 B で切断したところ, 図 2 のレーン 2 に示す DNA 断片が生じた. さらに, 同じ環状プラスミド Y を制限酵素 A と制限酵素 C で切断したところ, 図 2 のレーン 3 に示す DNA 断片が生じた.

(次のページに続く)

以下の設問に答えよ。

- (ア) 図 1 の PCR サイクルの反応 1, 2, 3 で起きている反応はどのようなものを述べよ。
- (イ) PCR 法に用いる DNA ポリメラーゼの温度に関する特徴を述べよ。(ウ) はじめに用意した目的遺伝子 X を含む DNA 試料の質量は何 pg かを有効数字 2 桁で求めよ。ただし、プライマーは十分な量あるものとする。(エ) 図 2 の P 極は正負のどちらの極かを述べよ。
- (オ) 環状プラスミド Y を制限酵素 B と制限酵素 C で切断すると、何 kbp の DNA 断片が生じるか。全ての場合を答えよ。

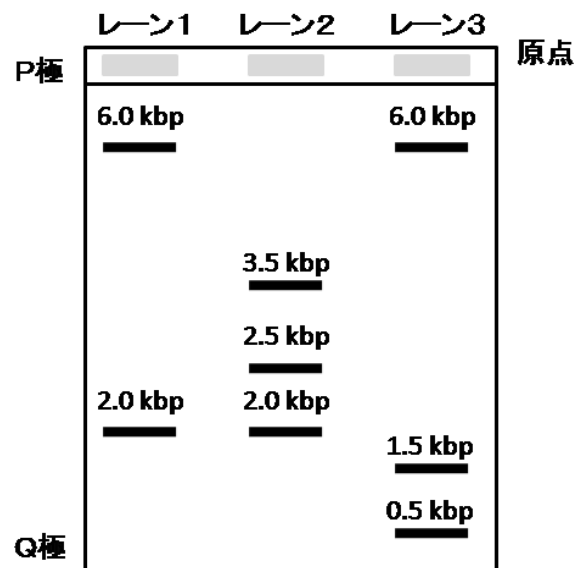


図 2

## [ I - 2 ] (物理)

理想気体に関する熱力学は Carnot によって拓かれた。しかし、実際の気体の挙動は理想気体のものとは異なるところがあり、新たな理解が必要となった。そこで Joule と Thomson は幾つかの気体について、膨張・圧縮と温度変化について研究を進めた。理想気体では断熱膨張は常に温度低下を伴うが、実際の気体では温度上昇を起こすこともある。この現象を説明するために、気体の体積変化と温度変化を表す Joule-Thomson 係数  $\mu_{JT}$  が考えだされた。これは

$$\mu_{JT} = \frac{\partial T}{\partial p} = \left\{ T \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_p - v \right\} / C_p \quad (1)$$

で表わされる。この式の導出と、実際の気体への適用について考察する。以下の問いに答えよ。

(問 1) 細孔栓によって隔てられた容器 A, B がありその系全体は断熱されている。容器 A および B 内の気体の温度、圧力、体積をそれぞれ  $T_A, p_A, V_A$  および  $T_B, p_B, V_B$  とする。今、初期状態として  $V_A = V_1, V_B = 0$  とし、細孔栓を通して容器 A 内の気体を、圧力を保ったまま徐々に容器 B に押し出す。このとき  $p_A$  および  $p_B$  はそれぞれ一定値  $p_1$  および  $p_2$  とする。押し出した後の体積は  $V_A = 0, V_B = V_2$  とする。次の文章の [ア] から [ケ] の空欄に入れるのに適切な数式を回答せよ。

系全体の熱量変化は断熱状態より

$$\Delta Q = \text{[ア]} \quad (2)$$

である。まず、容器 A 内の気体が受け取った仕事  $\Delta W_A$  を考える。一定の圧力  $p_1$  で体積が  $V_1$  から 0 に変化するので

$$\Delta W_A = \text{[イ]} \quad (3)$$

となる。同様に容器 B 内の気体が受け取った仕事  $\Delta W_B$  は

$$\Delta W_B = -\text{[ウ]} \quad (4)$$

となる。よってこの系に外部からされた全体の仕事は

$$\Delta W_{Total} = \Delta W_A + \Delta W_B = \text{[エ]} \quad (5)$$

となる。このとき系全体の内部エネルギー変化は

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W_{Total} = \text{[ア]} + \text{[エ]} \quad (6)$$

となる。今、A は体積が  $V_1$  から 0 に変化するため、その内部エネルギーは  $U_1$  から 0 と変化し、一方 B は体積 0 から  $V_2$  に変化するため、内部エネルギーは 0 から  $U_2$  へと変化する。系全体の内部エネルギー変化  $\Delta U$  を  $U_1$  と  $U_2$  で表すと以下ようになる。

$$U_2 + \text{[ウ]} = U_1 + \text{[イ]} \quad (7)$$

(次のページに続く)

一方、エンタルピーの定義は

$$H = U + \boxed{\text{力}} \quad (8)$$

であるから、容器AおよびBのエンタルピーをそれぞれ $H_A, H_B$ とすると

$$H_A = H_B \quad (9)$$

が成り立つ。これよりこの系は全体でエンタルピーが保存されていることが分かる。

次に Joule-Thomson 係数を求める。

内部エネルギーの定義より、

$$dU = dQ + dW = dQ - pdV \quad (10)$$

系の温度を $T$ とすれば、エントロピーと熱量の関係より、

$$dS = \boxed{\text{キ}} \quad (11)$$

これを内部エネルギーの定義式に代入して

$$dU = \boxed{\text{ク}} \quad (12)$$

一方、エンタルピーの定義式を微分して

$$dH = dU + pdV + Vdp \quad (13)$$

これに内部エネルギーの変化を代入して

$$dH = \boxed{\text{ク}} + pdV + Vdp \quad (14)$$

よって

$$dH = TdS + Vdp \quad (15)$$

となる。この実験系において、エンタルピーは変化しないため

$$dH = 0 \quad (16)$$

となり、これより

$$0 = TdS + Vdp \quad (17)$$

一方、エントロピーを温度と圧力について定義より全微分を行い、 $dp, dT$ で表わすと

$$dS = \left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T dp + \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_p dT \quad (18)$$

式(17)に式(18)を代入して

$$0 = T \left\{ \left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T dp + \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_p dT \right\} + Vdp \quad (19)$$

また、Maxwell の関係式より

$$\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p \quad (20)$$

(次のページに続く)

である。一方、定圧比熱を  $C_p$  とし、再びエントロピーの定義を用いると

$$dS = \boxed{\text{キ}} = \boxed{\text{ケ}} dT \quad (\because \text{定圧変化より}) \quad (21)$$

となる。

よって

$$\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_p = \boxed{\text{ケ}} \quad (22)$$

となる。これらを式(19)代入し、変形して

$$\frac{\partial T}{\partial p} = \left\{ T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p - V \right\} / C_p \quad (23)$$

即ち、Joule-Thomson 係数は下記のように与えられる。

$$\mu_{JT} = \frac{\partial T}{\partial p} = \left\{ T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p - V \right\} / C_p \quad (24)$$

(問 2) 実際の気体は圧力と体積の関係についても理想気体とは若干異なった挙動を示す。van der Waals は理想気体の状態方程式に物質固有の定数を付け加えることで、それぞれの気体の挙動を近似できることを示した。van der Waals の状態方程式は

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT \quad (25)$$

で示される。式(25)に従う気体を van der Waals 気体とも呼ぶ。

Joule-Thomson 係数を van der Waals 気体に適用した場合、式(24)について下記のように近似されることを示したい。

$$\mu_{JT} = - \left\{ b - \frac{2a}{RT} \right\} / C_p \quad (26)$$

式(26)の導出に関する以下の文章の  $\boxed{\text{コ}}$  から  $\boxed{\text{セ}}$  の空欄に入れるのに適切な数式を回答せよ。

van der Waals の状態方程式から

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2} \quad (27)$$

(次のページに続く)

となる。 $p$ が一定の下で式(27)の両辺を $V$ で偏微分し、次式を得る。

$$0 = \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_p \square - \square + \square \quad (28)$$

$$\Leftrightarrow \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_p = \frac{\square - \square}{\square} \quad (29)$$

一方、式(24)より

$$-\mu_{JT}C_p = -\frac{\partial T}{\partial p}C_p = V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p \quad (30)$$

$$\Leftrightarrow -\mu_{JT}C_p = V - \frac{T}{\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p} \quad (31)$$

式(29)を式(31)に代入して

$$\Leftrightarrow -\mu_{JT}C_p = V - \frac{T}{\square} \quad (32)$$

$$\Leftrightarrow -\mu_{JT}C_p = V - \frac{V-b}{\square} \quad (33)$$

$$\Leftrightarrow -\mu_{JT}C_p = \frac{b - \frac{2a}{RTV^2}(V-b)^2}{1 - \frac{2a}{RTV^3}(V-b)^2} \quad (34)$$

$V$ が十分に大きいと仮定すると、

$$-\mu_{JT}C_p = b - \frac{2a}{RT} \quad (35)$$

となり、題意の近似は示された。

(問 3) 冷凍機における Joule-Thomson 膨張の効果を考えるため、van der Waals 気体についての Joule-Thomson 係数について考察したい。以下の問に答えよ。

(a) 式(35)において、温度  $T$  を変化させて行くと  $\mu_{JT}$  が正になる領域と負になる領域がある。この境の温度を逆転温度という。気体水素を例として逆転温度の概算値を求めよ。ただし、有効数字を二桁とする。

気体水素の van der Waals の状態方程式の係数および気体定数：

$$a = 2.45 \times 10^{-2} \text{ Pa m}^6 \text{ mol}^{-2}$$

$$b = 2.64 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$$

$$R = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

必要であれば右の関係式を用いよ： $1 \text{ m}^3 \text{ Pa} = 1 \text{ J}$

(次のページに続く)

(b) Joule-Thomson 膨張に際して、容器内の温度がどのように変化するか、 $\mu_{JT}$  が正負の場合について考察せよ。

ただし、Joule-Thomson 係数の定義より

$$\mu_{JT} = \frac{\partial T}{\partial p} \quad (36)$$

$$\mu_{JT} \Delta p = \Delta T \quad (37)$$

である。



[ I - 3 ] (情報・システム)

入力インピーダンスが無限大である差動増幅器を電源電圧  $\pm V_p$  で動作させる。以下の問いに答えよ。

(問 1) 図 1(a) のように、差動増幅器の+入力の電位を 0 として、抵抗  $R_i$ 、抵抗  $R_f$  で回路を構成した。入力電圧  $V_{ai}$  と出力電圧  $V_{ao}$  の関係を求めよ。

(問 2) 図 1(b) のように、差動増幅器、抵抗  $R_i$ 、コンデンサ  $C$  で回路を構成した。式(1)のような電圧、

$$V_{bi}(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ V_o \sin \omega t & t \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

を入力した場合の定常出力電圧  $V_{bo}(t)$  を求めよ。なお、 $V_o$  は入力電圧振幅、 $\omega$  は角周波数、 $t$  は時間であり、 $t=0$  においてコンデンサ両端の電圧  $V_C(0)$  は 0 とし、 $V_o < \omega CR_i V_p$  とする。

(問 3) 図 1(b) の回路の機能を述べよ。

(問 4) 図 1(c) のように、差動増幅器、抵抗  $R_i$  と、図 2 に示すような電流 ( $I_D$ ) - 電圧 ( $V_D$ ) 特性を有する素子  $D$  で回路を構成した。入力電圧  $V_{ci}$  と出力電圧  $V_{co}$  の関係を求めよ。なお、 $I_0$ 、 $V_0$  は正の定数であり、 $V_{ci} < R_i I_0 \exp(V_p / V_0)$  とする。

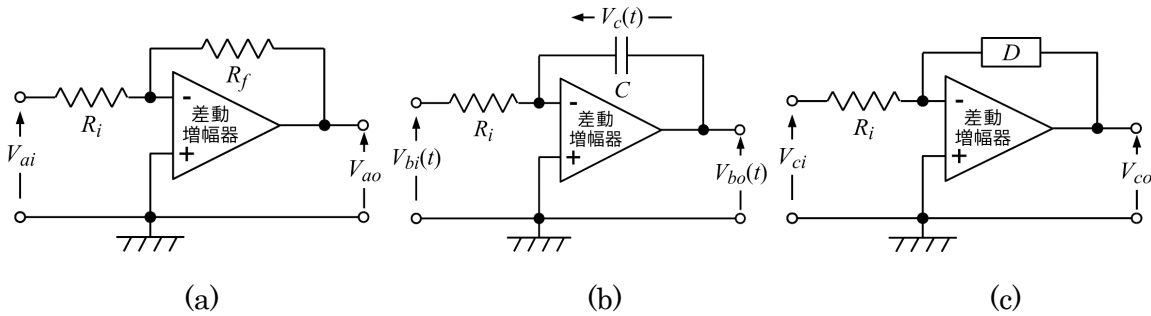


図 1 回路

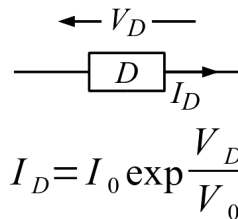


図 2 電流-電圧特性