

2026年度 総合化学院修士(博士前期)課程
入学試験問題

専門科目 B 群(工学系)

2025年8月6日(水) 13:30~16:00

注意事項

- (1) 下表の6科目から2科目を選択して解答しなさい。
- (2) 配点は1科目100点である。
- (3) 解答は設問毎に別の答案用紙に記入しなさい。
- (4) 選択科目の答案用紙の所定欄に受験番号を必ず記入しなさい。
- (5) 選択した2科目の答案用紙のみ封筒に入れて提出しなさい。
3科目以上提出した場合には、全て採点しないので注意すること。
- (6) 草案紙は2枚ある。
- (7) 問題紙、選択しなかった科目の答案用紙、および草案紙は提出する必要はない。

科目記号	科目	問題紙の枚数	答案用紙の枚数
B2-1	化学工学	3	3
B2-2	有機合成化学	2	2
B2-3	量子化学	3	3
B2-4	高分子化学	3	6
B2-5	無機材料化学	4	3
B2-6	分子生物工学	7	4

総合化学院 総合化学専攻

科目記号	B 2-1 (1/3)	試験科目	化学工学
------	-------------	------	------

(注) 全設問に解答すること。解答は設問毎に別の答案用紙に記入すること (答案用紙3枚)。

設問1 次の文章を読み、以下の問(1)～(3)に答えなさい。

図1に示す厚さ $2b$ [m]、面積 A [m²]、熱伝導率 k [Wm⁻¹K⁻¹]の平板内で化学反応が一様に進行し、単位体積あたり Q [W m⁻³]の熱が発生している。この平板の上下面($y = \pm b$)は温度 T_0 [K]に保たれている。 Q は温度 T [K]の関数として式(i)により表される。ただし、 Q_0 [Wm⁻³]および β (>0)[Wm⁻³K⁻¹]は定数とし、熱伝導率は温度に依存せず一定とする。

$$Q(T) = Q_0 + \beta(T - T_0) \quad (i)$$

- (1) 平板内の微小領域における熱収支を考慮し、次の微分方程式(ii)を導出しなさい。ただし、温度 T は y のみの関数とし、熱の伝導は y 軸方向に限るものとする。また、温度分布 $\theta(\eta)$ を求めるために必要な境界条件を、 η および θ を用いて2つ示しなさい。

$$\frac{d^2\theta}{d\eta^2} + \zeta\theta = -1 \quad (ii)$$

$$\text{ここで、} \theta = \frac{k(T - T_0)}{Q_0 b^2}; \eta = \frac{y}{b}; \zeta = \frac{\beta b^2}{k}$$

- (2) 式(iii)の微分方程式は、定数 C_1 、 C_2 を用いて式(iv)によって解が表される。式(iii)と(iv)を参考にし、問(1)の境界条件を適用して、温度分布 $\theta(\eta)$ を導出しなさい。

$$\frac{d^2f}{dz^2} + af = -1 \quad (\text{ただし } a > 0) \quad (iii)$$

$$f(z) = C_1 \cos(\sqrt{a}z) + C_2 \sin(\sqrt{a}z) - \frac{1}{a} \quad (iv)$$

- (3) 式(v)の条件が成り立つとき、平板内の温度が無限大に発散する(数学的に温度が発散し、定常解が得られない)ことを示しなさい。

$$\beta = k \left(\frac{\pi}{2b} \right)^2 \quad (v)$$

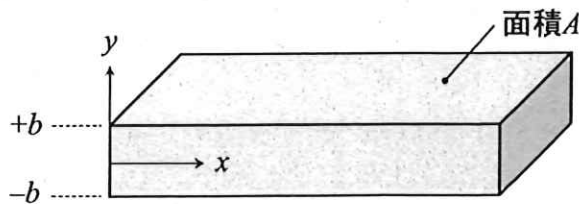


図1 化学反応が進行する平板の模式図

総合化学院 総合化学専攻

科目記号	B 2-1 (2/3)	試験科目	化学工学
------	-------------	------	------

(注) 全設問に解答すること。解答は設問毎に別の答案用紙に記入すること (答案用紙3枚)。

設問2 次の文章を読み、以下の問(1)～(4)に答えなさい。

排水に含まれる有機色素を、活性炭を吸着剤として回分式吸着操作で除去したい。この色素の活性炭への吸着では、平衡吸着量 q_{∞} [kg-色素 (kg-活性炭)⁻¹] は $q_{\infty} = 4C_{\infty}$ で表される。ここで、 C_{∞} は吸着平衡における水溶液中の色素濃度 [kg m⁻³] である。ただし、吸着操作前の活性炭に有機色素は吸着しておらず、温度は一定であり、吸着に伴う液相体積変化はないものとする。

- (1) 活性炭 W [kg] を色素濃度 C_0 [kg m⁻³] の水溶液 V [m³] に投入する。吸着平衡になった後の色素濃度を C_{∞} とすると、物質収支から式(i)が得られる。式の中の ア と イ に入る適切な記号あるいは式を答えなさい。

$$C_0 - \boxed{\text{ア}} = \boxed{\text{イ}} \quad (\text{i})$$

- (2) 濃度 0.100 kg m^{-3} の色素水溶液 10.0 m^3 に活性炭 16.0 kg を投入する。平衡到達時の水中の色素濃度 C_{∞} と浄化率 $(C_0 - C_{\infty})/C_0$ を求めなさい。なお、 C_0 は初期色素濃度である。
- (3) 問(2)と同じ色素水溶液を活性炭 8.00 kg ずつ用いて逐次的に2回の吸着操作を行う。各吸着操作を平衡まで行ったとき、2回目の操作後の水中の色素濃度を求めなさい。
- (4) 水相の色素濃度の時間変化は、物質収支式と吸着速度式から得られる次式で表される。

$$-\frac{dC}{dt} = \left(\frac{W}{V}\right) \frac{dq}{dt} = K_f S \left(\frac{W}{V}\right) (C - C^*) \quad (\text{ii})$$

K_f は総括物質移動係数 [m s^{-1}]、 S は活性炭単位重量当たりの粒子外表面積 [$\text{m}^2 \text{ kg}^{-1}$]、 C^* は吸着量 q と平衡な仮想色素濃度 [kg m^{-3}] である。

濃度 0.100 kg m^{-3} の色素水溶液 10.0 m^3 に活性炭 20.0 kg を投入して、1時間吸着操作を行うと、色素吸着量は平衡吸着量の95.0%に達した。以下の問1)～5)に答えなさい。

- 1) C_{∞} を C_0 を用いて答えなさい。
- 2) 95.0%除去したときの濃度 C_{f95} を C_0 を用いて答えなさい。
- 3) C^* と溶液濃度 C の関係を答えなさい。
- 4) 式(ii)中の $K_f S$ を求めなさい。
- 5) 色素吸着量が平衡吸着量の99.0%になる時間を求めなさい。

総合化学院 総合化学専攻

科目記号	B 2-1 (3/3)	試験科目	化学工学
------	-------------	------	------

(注) 全設問に解答すること。解答は設問毎に別の答案用紙に記入すること (答案用紙3枚)。

設問3 以下の問 (1), (2) に答えなさい。ある成分Xの濃度は $C_X \text{ mol m}^{-3}$ と表し, 原料溶液中の成分Xの濃度は $C_{X0} \text{ mol m}^{-3}$ とする。

(1) 次の文章を読み, 問1) ~ 4) に答えなさい。

次に示す可逆反応を液相で行う。なお, 反応中の温度変化は無視できるものとする。



ここで, r_1, r_2 は反応速度 [$\text{mol m}^{-3} \text{ s}^{-1}$], k_1, k_2 は反応速度定数 [s^{-1}]を表す。

原料溶液中にはAのみが含まれており, Bは含まれない ($C_{B0} = 0 \text{ mol m}^{-3}$) のものとする, Aの反応速度 r_A [$\text{mol m}^{-3} \text{ s}^{-1}$]は式(iii)で表される。

$$r_A = -k_1 C_{A0} [1 - (1 + 1/K_c) x_A] \quad \text{ただし, } K_c = k_1/k_2 \quad (\text{iii})$$

ここで, x_A はAの反応率を表す。

- 1) Aの反応速度 r_A が式(iii)で表せることを示しなさい。
- 2) この反応の平衡転化率 $x_{A\infty}$ を, K_c を用いて表しなさい。
- 3) この反応を回分反応器で行ったところ, 反応時間 t_1 でAの反応率が0.650に達した。反応時間 t_1 を有効数字3桁で答えなさい。 k_1, k_2 はそれぞれ $6.70 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}, 1.68 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ とする。
- 4) この反応を体積 2.00 m^3 の連続槽型反応器を用いて行ったところ, Aの反応率は0.600であった。原料溶液の体積流量 v_0 [$\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$]を有効数字3桁で答えなさい。 k_1, k_2 は問3)と同じとする。

(2) 次の文章を読み, 問1), 2) に答えなさい。



式(iv), 式(v)で表される液相反応を回分反応器で行う。なお, 反応中の温度変化は無視できるものとする。原料溶液中にはD, Eが含まれており, RとSは含まれない ($C_{R0} = C_{S0} = 0 \text{ mol m}^{-3}$) のものとする, 反応開始後のRとSの濃度は式(vi), 式(vii)で表すことができる。

$$C_R = -2(C_E - C_{E0}) \quad (\text{vi})$$

$$C_S = \boxed{\text{ア}} \quad (\text{vii})$$

反応器内に原料溶液 ($C_{D0} = 3.00 \text{ mol m}^{-3}, C_{E0} = 5.00 \text{ mol m}^{-3}$) を入れ反応を開始した。時刻 t_2 でこの反応を停止したところ, 反応器内のDの濃度は 1.02 mol m^{-3} , Eの濃度は 3.54 mol m^{-3} であった。

- 1) $\boxed{\text{ア}}$ に入る式を C_D, C_{D0}, C_E, C_{E0} を用いて答えなさい。
- 2) Dに対するRの収率 Y_R を有効数字3桁で答えなさい。

総合化学院 総合化学専攻

科目記号	B 2-2 (1/2)	試験科目	有機合成化学
------	-------------	------	--------

(注) 全設問に解答すること。解答は設問毎に別の答案用紙に記入すること (答案用紙2枚)。

設問1 以下の問 (1) ~ (3) に答えなさい。

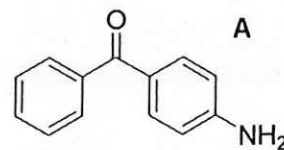
(1) アンモニアや第一級アルキルアミンとハロゲン化アルキルとの S_N2 反応はアルキルアミンの合成法の一つである。しかし、アルキル化は1回だけでは止まらず生成物は混合物として得られるため、効率的な合成法とは言えない。以下の問 1) ~ 3) に答えなさい。

1) 1-ブロモヘキサンを出発物質として①ヘキシルアミンおよび②ヘプチルアミンを効率的に合成する方法を、それぞれ必要な反応剤とともに答えなさい。ただし、反応は一段階とは限らない。

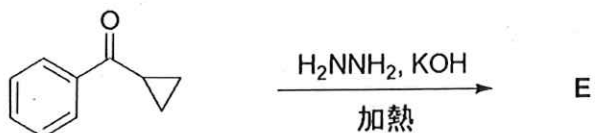
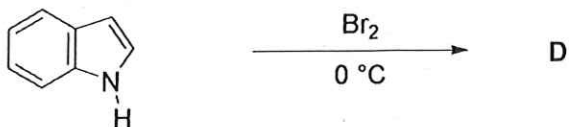
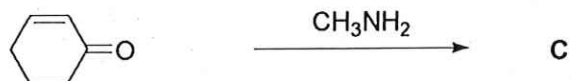
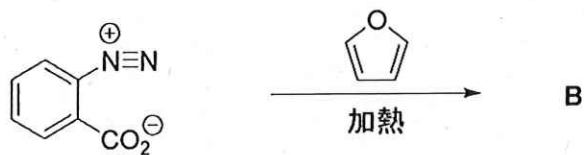
2) 1-メチルペンチルアミンを過剰量のヨウ化メチルで処理した後に水存在下で Ag_2O とともに加熱すると得られる炭素原子を4個以上含む主生成物の構造式を示しなさい。

3) 問2) の反応は人名反応である。反応の名称を答えなさい。

(2) ベンゼンを出発物質とし、塩化ベンゾイルを利用して右の化合物 **A** を合成する適切な方法を、必要な反応剤とともに答えなさい。ただし、反応は一段階とは限らない。また、異性体は分離できるものとする。



(3) 次の反応式の主生成物 **B** ~ **E** の構造式を示しなさい。

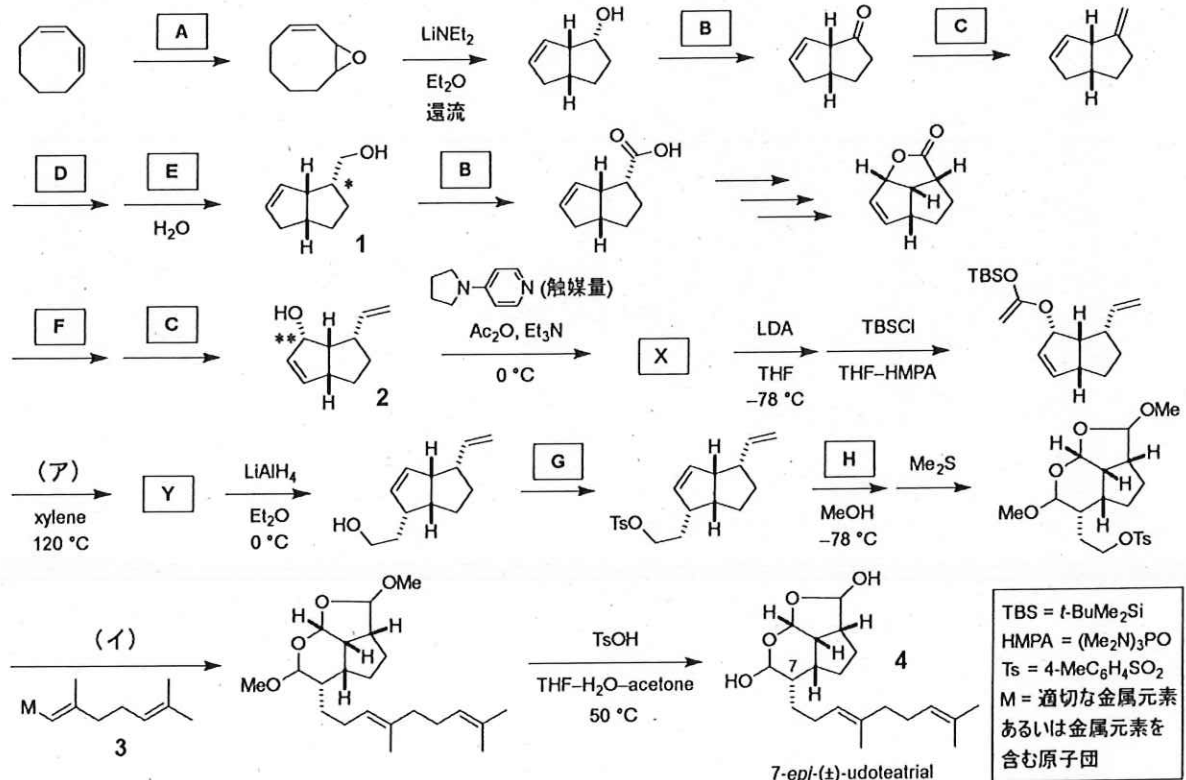


総合化学院 総合化学専攻

科目記号	B 2-2 (2/2)	試験科目	有機合成化学
------	-------------	------	--------

(注) 全設問に解答すること。解答は設問毎に別の答案用紙に記入すること (答案用紙2枚)。

設問2 下図は(±)-Udoteatrial類の全合成の一部である。これについて、問(1)～(6)に答えなさい。



- (1) 空欄 A~H に適した反応剤 (反応剤は一つとは限らない) を、化学式または構造式で示しなさい。溶媒は含めなくてよい。
- (2) 空欄 X、Y に適切な化合物の構造式を必要な立体配置を明らかにして示しなさい。
- (3) 変換 (ア) は、ある構造的特徴をもつエーテル類に特有の人名反応の派生形態である。その人名反応を答えなさい。
- (4) 化合物 1 の * を付した炭素原子の立体配置が図に示したようになる理由について説明しなさい。
- (5) 変換 (イ) に用いる適切な反応剤 3 を(E)-1-ヨード-2,6-ジメチルヘプタ-1,5-ジエンから調製する方法を必要な反応剤とともに具体的に示しなさい。
- (6) 上図のように合成された化合物 4 は、天然物とは7位の立体配置が異なるエピマーであり、後に化合物 2 の ** を付した炭素原子の立体配置を反転させてから同様に合成を進めることにより天然体の(±)-Udoteatrialの全合成が達成された。化合物 2 の ** を付した炭素原子の立体配置を2~3段階で反転させる方法を必要な反応剤とともに具体的に示しなさい。

総合化学院 総合化学専攻

科目記号	B 2-3 (1/3)	試験科目	量子化学
------	-------------	------	------

(注) 全設問に解答すること。解答は設問毎に別の答案用紙に記入すること (答案用紙3枚)。

設問1 以下の問(1)～(3)に答えなさい。なお、プランク定数 $h=6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$ 、光速 $c=2.998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ 、 $1 \text{ eV}=1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$ を用いても良い。

(1) ある金属Mの仕事関数は、 2.20 eV である。この金属Mへ波長 310 nm の光を照射したとき、光電効果により飛び出してくる電子の運動エネルギーを eV 単位で求めなさい。

(2) 次の問1)～3)に答えなさい。

1) 演算子 $(-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2})$ に対する関数 $\Psi = \exp(-ax)$ の固有値を求めなさい。(aは正の数)

2) 演算子 $(-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2})$ に対する関数 $\Psi = \cos(ax)$ の固有値を求めなさい。(aは実数)

3) 運動量演算子 $(\hat{p}_x = -i\hbar \frac{d}{dx})$ に対する $\Psi = \exp(ikx)$ の固有値を求めなさい。

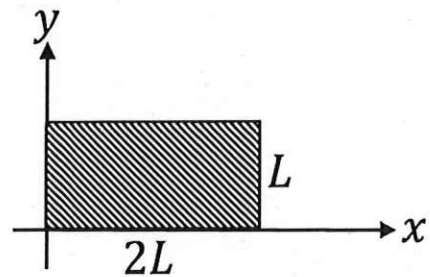
(kは実数, iは虚数単位を示す)

(3) 2次元箱型ポテンシャル中の粒子(質量m)の並進運動エネルギーは、次の一般式で与えられる。

$$E(n_x, n_y) = \frac{h^2}{8m} \left(\frac{n_x^2}{L_x^2} + \frac{n_y^2}{L_y^2} \right)$$

ここで、 L_x, L_y は箱の各辺の長さ、 n_x, n_y は量子数である。箱内のポテンシャルエネルギーはゼロ、それ以外は無限大である。

2次元箱型ポテンシャルが右図のような平面($2L \times L$)であるとき、以下の問1)～4)に答えなさい。



1) エネルギーの最も低い基底状態(1,1)のエネルギー $E(1,1)$ を求めなさい。

2) 励起状態(1,2)のエネルギー $E(1,2)$ を求めなさい。

3) 励起状態(2,1)のエネルギー $E(2,1)$ を求めなさい。

4) 基底状態の次にエネルギーの高い最低励起状態への励起エネルギー(ΔE)を求めなさい。

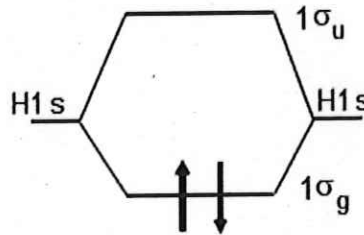
総合化学院 総合化学専攻

科目記号	B 2-3 (2/3)	試験科目	量子化学
------	-------------	------	------

(注) 全設問に解答すること。解答は設問毎に別の答案用紙に記入すること (答案用紙3枚)。

設問2 次の文章を読み、問(1)~(4)に答えなさい。

分子軌道法に基づき、 H_2 の基底状態の電子配置図は下記のように表記される。
(電子配置は $1\sigma_g^2$ と表される)。



ここで $1\sigma_g$ は 性軌道であり、 $1\sigma_u$ は 性軌道である。
また、 $1\sigma_g$ のgは 関数を示し、座標軸の正方向と負方向の入れ替えに対して、軌道が与える波動関数の符号が変化しない。一方、 $1\sigma_u$ のuは 関数を示し、座標軸の正方向と負方向の入れ替えに対して、波動関数の符号が変化する。

(1) 空欄 A~D の中に入る用語を書きなさい。

(2) He_2 の基底状態の電子配置を書きなさい。また、 He_2 が分子として安定に存在しない理由について述べなさい。

(3) N_2 , O_2 , F_2 の基底状態の電子配置、結合次数、結合の種類(単結合、二重結合、三重結合)を求めなさい。

(4) O_2^+ , O_2^- , O_2^{2-} の結合次数を答えなさい。さらに、 O_2^+ , O_2 , O_2^- , O_2^{2-} を結合長が長いものから順に並べなさい。

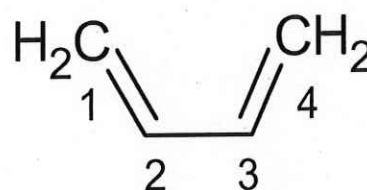
総合化学院 総合化学専攻

科目記号	B 2-3 (3/3)	試験科目	量子化学
------	-------------	------	------

(注) 全設問に解答すること。解答は設問毎に別の答案用紙に記入すること (答案用紙3枚)。

設問3 次の文章を読み、問 (1) ~ (8) に答えなさい。

シス-1,3-ブタジエン(右図)の π 電子についてヒュッケル分子軌道を求めたい。炭素原子に図のように番号付けする。炭素原子1~4を含む平面内に存在し、炭素原子2-3結合に垂直であり、かつその中点を通る軸のまわりに (あ) 対称性がある。また、炭素原子2-3の結合軸に垂直で中点を含む対称面に関して (い) 対称性がある。さらに、炭素原子1~4を含む対称面に関して (う) 対称性がある。このように、分子の対称性を利用すると効率よく分子軌道を求めることができる。各炭素原子の p_z 原子軌道 $\chi_1, \chi_2, \chi_3, \chi_4$ を使って分子軌道 ϕ は



シス-1,3-ブタジエン

$$\phi = C_1\chi_1 + C_2\chi_2 + C_3\chi_3 + C_4\chi_4$$

と書ける。このように原子軌道の (え) 結合で分子軌道を表す方法を (お) 分子軌道法と呼ぶ。分子軌道の係数 C_i^2 は i 番目の炭素原子上の π 電子の (か) を表す。

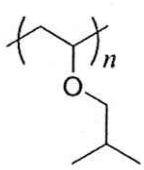
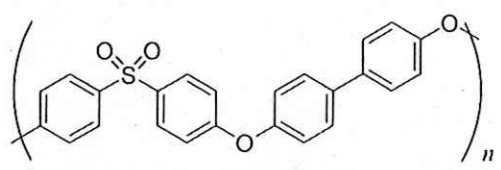
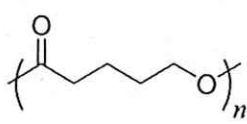
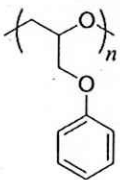
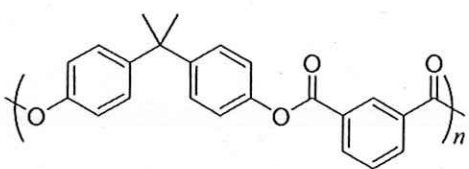
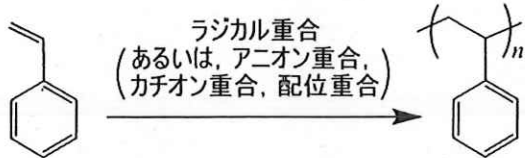
- (1) (あ) ~ (う) にあてはまる対称性の記号を書きなさい。
- (2) (え) にあてはまる最も適切な語を書きなさい。
- (3) (お) にあてはまるアルファベット4文字を書きなさい。
- (4) (か) にあてはまる最も適切な語を書きなさい。
- (5) ヒュッケル近似のもとでの永年方程式を4次の行列形式で書きなさい。エネルギーを E 、クーロン積分を α 、共鳴積分を β とし、重なり積分はゼロとする。
- (6) 対称性の要件から、係数 C_1, C_2, C_3, C_4 が満たすべき条件式を二つ書きなさい。
- (7) 分子全体として対称な軌道 ϕ_{SS} と反対称な軌道 ϕ_{AA} をそれぞれ書きなさい。
- (8) 対称軌道 ϕ_{SS} について2次の永年行列式を書きなさい。その永年行列式を解いて、分子軌道エネルギー E を求め α と β で表しなさい。

総合化学院 総合化学専攻

科目記号	B 2-4 (1/3)	試験科目	高分子化学
------	-------------	------	-------

(注) 全設問に解答すること。解答は設問毎に別の答案用紙に記入すること (答案用紙6枚)。

設問1 以下の高分子 (1) ~ (5) の合成反応を例にならってそれぞれ答えなさい。重合法の名称は1種類のみ示すこと。

(1) 	(2) 
(3) 	(4) 
(5) 	例: 

設問2 以下の文章を読んで、問 (1) ~ (3) に答えなさい。

□ A □ と □ B □ はデンプンを構成する多糖であり、両方ともにグルコースを構成単糖としている。□ A □ は α1,4 結合でグルコース単位が結合しているのに対し、□ B □ は α1,4- に加えて α1,6- 結合による分岐を持つ。動物の貯蔵多糖である □ C □ は、□ B □ よりも高い頻度で α1,6- 結合による分岐を持つ。グルコースを構成単糖とする多糖類として、β1,4 結合で重合したセルロースや α1,6 結合を多く含む □ D □ がある。

グルコースはバイオマスプラスチックを得るための出発原料として重要な役割を持つ。生分解性を示すことで知られる^①ポリ乳酸はグルコースから数段階の過程を経ることで合成される。また、買い物袋などで普及しているバイオポリエチレンはグルコースの微生物発酵によりエタノールを入手し、これをエチレンに変換後、重合することで得られる。

- (1) □ A □ ~ □ D □ にあてはまる多糖の名称を答えなさい。
- (2) 下線 ① について、デンプンを出発原料としてポリ乳酸を得るための手法を簡単に説明しなさい。化学式を使って説明しても良い。
- (3) バイオポリエチレンの生分解性について簡単に説明しなさい。

総合化学院 総合化学専攻

科目記号	B 2-4 (2/3)	試験科目	高分子化学
------	-------------	------	-------

(注) 全設問に解答すること。解答は設問毎に別の答案用紙に記入すること (答案用紙6枚)。

設問3 以下の問 (1) ~ (4) に答えなさい。

- (1) イソプレンの Q 値と e 値は、それぞれ 1.99 と -0.55 である。イソプレンのラジカル付加重合性、アニオン付加重合性、カチオン付加重合性を Q 値あるいは e 値を用いて簡潔に説明しなさい。
- (2) 2種類のビニルモノマー M_1 と M_2 を用いたラジカル共重合のモノマー反応性比は $r_1 = k_{11}/k_{12} = 20$, $r_2 = k_{22}/k_{21} = 0.02$ であった。この共重合で M_1 と M_2 の仕込み組成がほぼ同じ場合、重合初期ではどのような組成の共重合体を得られるかを簡潔に答えなさい。ただし、 $k_{11}, k_{12}, k_{22}, k_{21}$ は M_1 と M_2 の共重合における各成長反応速度定数とする。
- (3) エチレンのラジカル重合では短鎖分岐を持ったポリエチレンが得られる。この短鎖分岐が得られる反応機構を簡潔に説明しなさい。
- (4) リビングラジカル重合法を二つあげ、それぞれの長所を簡潔に説明しなさい。

設問4 以下の問 (1) ~ (4) に答えなさい。

- (1) ジカルボン酸とジアミンの重縮合において、高分子量体を得るための条件を簡潔に二つ説明しなさい。
- (2) ホスゲンを用いないポリカーボネートの製造方法を簡潔に説明しなさい。
- (3) A-B 型モノマーの重縮合と連鎖縮合重合において、生成ポリマーの数平均重合度 (DP) とモノマー反応度 (p) の関係をそれぞれ簡潔に説明しなさい。
- (4) ポリメタクリル酸メチルとポリスチレンからなるブロック共重合体をアニオン重合により得たい。重合手順を簡潔に説明しなさい。

総合化学院 総合化学専攻

科目記号	B 2-4 (3/3)	試験科目	高分子化学
------	-------------	------	-------

(注) 全設問に解答すること。解答は設問毎に別の答案用紙に記入すること (答案用紙6枚)。

設問5 以下の文章を読んで、問 (1) ~ (4) に答えなさい。

白川英樹博士は、□ A □ 触媒を用いて合成した □ B □ が導電性を示すことを発見し、ノーベル化学賞の受賞につながった。ここで、無修飾の □ B □ の □ C □ は $10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ 程度であり □ D □ に分類されるが、ヨウ素等で □ E □ を行うことにより、 10^3 S cm^{-1} 程度まで □ C □ が向上することが見出された。その後、新しい導電性高分子を開発するため □ F □ 系高分子が多数合成されるようになる。さらに、これらの高分子の分子量や分子量分布の制御も可能となっている。

- (1) □ A □ ~ □ F □ にあてはまる最も適切な語句を答えなさい。ただし、□ A □ は人名であり、□ D □ は導電性に基づいた物質の分類名である。
- (2) 下線 (I) について、炭素および水素原子のみから成る □ F □ 系高分子の分子構造を二つ答えなさい。ただし、□ B □ の主鎖構造を持つものを除くものとする。
- (3) 高分子の分子量測定において、NMR 法および光散乱法により求められる絶対平均分子量の名称を答えなさい。また、NMR 法の長所と短所を簡潔に答えなさい。
- (4) サイズ排除クロマトグラフィー (SEC) による分子量の測定原理を簡潔に答えなさい。

設問6 以下の文章を読んで、問 (1), (2) に答えなさい。

酸素の存在下でのポリエチレンの分解は、□ I □ 熱や光照射によって水素が高分子主鎖から引き抜かれ、ポリマーラジカルの生成で開始される。次に、□ II □ このポリマーラジカルへの酸素付加によりペルオキシラジカルが生成する。引き続き、□ III □ 未反応のポリエチレン鎖からの水素引抜きによりヒドロペルオキシドとポリマーラジカルが生成する。これらの反応はポリマーラジカルやペルオキシラジカルの生成が繰り返されるため、□ G □ とよばれる。

- (1) 下線 (I) ~ (III) について、化学反応式を答えなさい。
- (2) □ G □ にあてはまる最も適切な語句を答えなさい。

総合化学院 総合化学専攻

科目記号	B 2-5 (1/4)	試験科目	無機材料化学
------	-------------	------	--------

(注) 全設問に解答すること。解答は設問毎に別の答案用紙に記入すること (答案用紙3枚)。

設問1 以下の問 (1), (2) に答えなさい。

(1) 無機固体の結晶構造についてまとめた下表の空欄 (ア) ~ (ク) に適切な結晶構造名, 充填構造または数値を答えなさい。

化合物	結晶構造名	陰イオンの 充填構造	陽イオンの占有率 (%)	
			八面体位置	四面体位置
NaCl	岩塩型	ccp	100	0
NiAs	ヒ化ニッケル型	hcp	100	0
Li ₂ O	(ア)	ccp	(イ)	(ウ)
ZnS	(エ)	ccp	0	50
TiO ₂	ルチル型	歪んだ hcp	(オ)	(カ)
Fe ₃ O ₄	(キ)	(ク)	50	12.5

(2) 0.1 MPaで立方晶系岩塩型構造のNaClは, 約30 GPaで高压相の立方晶系塩化セシウム型構造に相転移し, Naの配位数は (ケ) から (コ) に増加した。30 GPaにおける, 相転移後のNaClの密度は0.1 MPaの密度と比べて1.64倍に増加した。
以下の問1) ~ 3) に答えなさい。

- 1) 空欄 (ケ), (コ) に適切な数値を入れなさい。
- 2) 0.1 MPaにおけるNaClの格子定数は5.63 Åである。相転移後の30 GPaにおける格子定数を算出なさい。
- 3) 同じアルカリ金属塩化物のKClも同様の相転移を示す。岩塩型KClの相転移圧力を, 岩塩型NaClと比較して高いか低いかを予測なさい。その理由も答えなさい。

総合化学院 総合化学専攻

科目記号	B 2-5 (2/4)	試験科目	無機材料化学
------	-------------	------	--------

(注) 全設問に解答すること。解答は設問毎に別の答案用紙に記入すること (答案用紙3枚)。

設問2 以下の問 (1), (2) に答えなさい。

(1) 図1はLi-Si二成分系平衡状態図である。以下の問1) ~4) に答えなさい。

- 1) 図中の領域アにおいて, 存在する相をすべて答えなさい。
- 2) 図中の点イにおいて, 存在する相とその比を答えなさい。
- 3) Li:Si=70:30(mol比)の均一な融液を1000 °Cで保持し, 室温まで冷却した際に析出する相をすべて答えなさい。
- 4) Li:Si=65:35(mol比)の均一な融液を1000 °Cで保持し, 500 °Cまで冷却する過程で析出する相をすべて答えなさい。

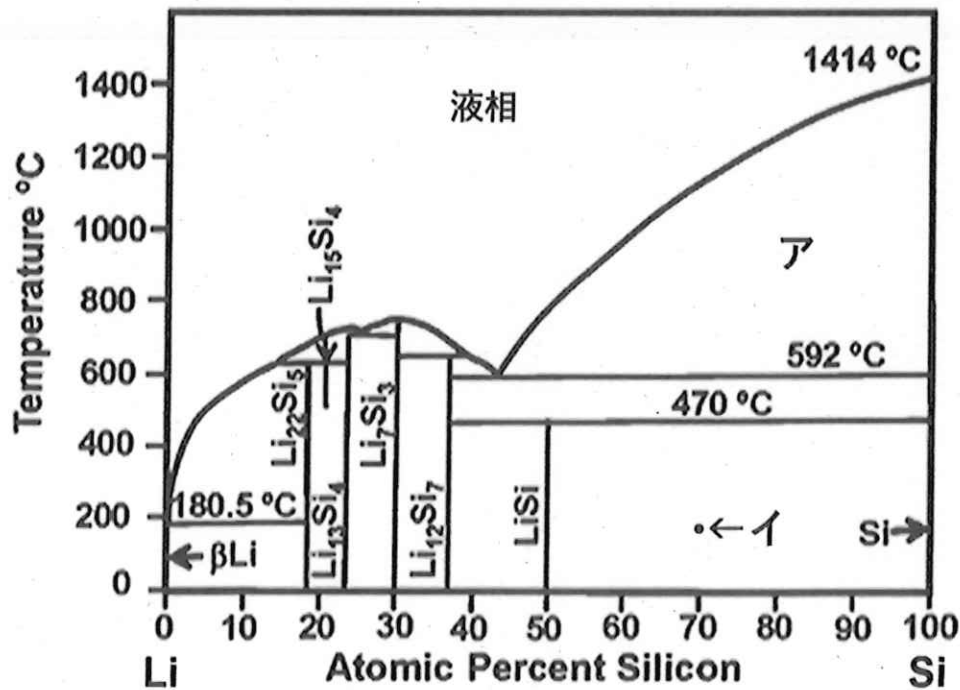


図1 Li-Si二成分系平衡状態図

出典: Journal of Physics: Energy, 2020, 022002.

(つづく)

総合化学院 総合化学専攻

科目記号	B 2-5 (3/4)	試験科目	無機材料化学
------	-------------	------	--------

(注) 全設問に解答すること。解答は設問毎に別の答案用紙に記入すること (答案用紙3枚)。

(2) 図2は炭素一成分系平衡状態図である。以下の問1) ~ 3) に答えなさい。

- 1) 図中の領域ウの相を答えなさい。
- 2) 平衡状態においてダイヤモンドと液相の2相共存する際、温度が与えられると圧力が定まる理由を、ギブズの相律を用いて説明しなさい。
- 3) 液相を介したダイヤモンド合成が固相のみを用いた合成より困難である理由を、炭素一成分系平衡状態図に基づいて説明しなさい。

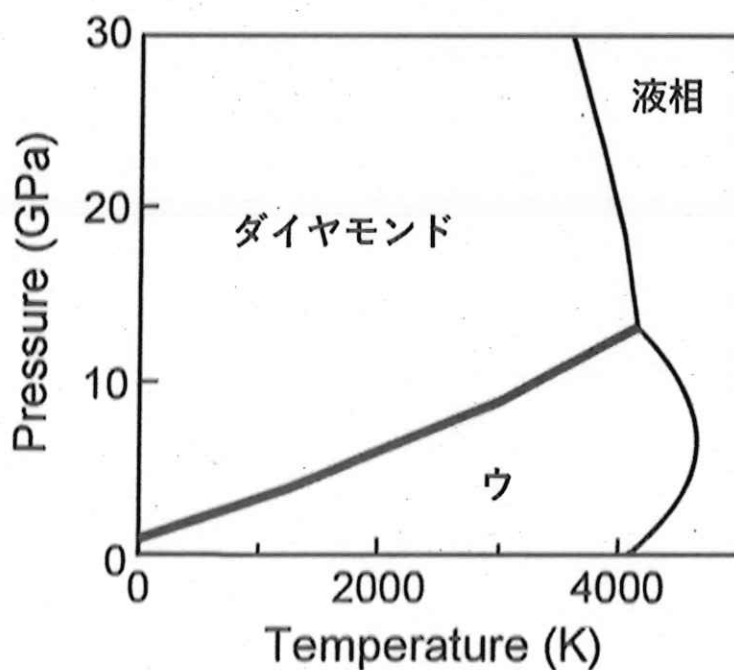


図2 炭素一成分系平衡状態図

出典：Advanced Materials, 2017, 1601979.

総合化学院 総合化学専攻

科目記号	B 2-5 (4/4)	試験科目	無機材料化学
------	-------------	------	--------

(注) 全設問に解答すること。解答は設問毎に別の答案用紙に記入すること (答案用紙3枚)。

設問3 SiO_2 および Al_2O_3 に関する次の文章を読み、以下の問 (1) ~ (8) に答えなさい。

SiO_2 結晶はいくつかの多形が知られている。常温・常圧での安定相は低温型 (ア) である。この相は常圧下では 573°C 付近で高温型 (イ) に転移する。 $867\sim 1470^\circ\text{C}$ での SiO_2 の安定相はトリジマイト相であり、これ以上の温度での安定相は高温型 (ロ) である。いずれの相においても、基本の構造単位は同じであり、Si に対して配位する酸素の数は (ウ) 個である。

Al_2O_3 結晶もいくつかの多形が知られている。しかし、多形の中で熱力学的な安定相は $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ のみである。 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ の結晶構造は (エ) 型構造と呼ばれる。一方、 $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ は Al_2O_3 の多形ではなく、最も典型的には (オ) イオンが構造中に含まれる。その構造は、 Al_2O_3 から構成されるスピネルブロックと呼ばれる層と、その層間に酸化物イオンと (カ) イオンが分布する層から構成される。一方、 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ は、遷移相と呼ばれる Al_2O_3 の多形の一つであり、比較的結晶性は低く、多孔質で比表面積が大きい場合が多い。

- (1) (ア) ~ (オ) に入る適切な語句を答えなさい。
- (2) SiO_2 の常温・常圧での安定相の単結晶の代表的な工業的製法を 100 字程度で説明しなさい。
- (3) SiO_2 の電気的性質を利用した SiO_2 単結晶の応用例を一つ挙げ、どのような電気的性質に基づいているかを 100 字程度で説明しなさい。
- (4) SiO_2 の形態の一つとして、多孔質の SiO_2 ゲルが知られている。 SiO_2 ゲルの用途の例、およびその用途に用いられる機能がなぜ発揮されるのかを 100 字程度で説明しなさい。
- (5) $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 単結晶の製造には、チョクラルスキー法が多く用いられている。この方法の概要について 100 字程度で説明しなさい。
- (6) $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ の緻密な焼結体の用途の例を二つ答えなさい。
- (7) $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ が示す性質について 100 字程度で説明し、その性質を用いた応用例を一つ答えなさい。
- (8) $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ の特徴を活かした使用例を一つ挙げ、その例に用いられる理由を 50 字程度で説明しなさい。

総合化学院 総合化学専攻

科目記号	B 2-6 (1/7)	試験科目	分子生物学
------	-------------	------	-------

(注) 全設問に解答すること。解答は設問毎に別の答案用紙に記入すること (答案用紙4枚)。

設問1 大腸菌のDNA・RNAの機能について、以下の問(1)～(5)に答えなさい。

(1) リボソームによるタンパク質合成において、アミノ酸を重合する観点と遺伝情報を正確に翻訳する観点に分けて、tRNAの機能を答えなさい。

(2) 次の問1)、2)に答えなさい。

1) DNAの複製は、複製起点と呼ばれる領域が起点となる。複製起点の領域に多く含まれる塩基をA・T・G・Cから二つ選び答えなさい。また、それら二つの塩基が多く含まれるDNA領域の物理化学的特徴と、その特徴が生じる理由を簡潔に説明しなさい。

2) 複製起点以外にも、問1)で答えたものと同じ塩基が豊富な領域として考えられるものを、次のa～dから一つ選び、記号で答えなさい。

- a. tRNAのコード領域 b. プロモーターの-10領域
c. オペレーター領域 d. ターミネーターのヘアピン構造領域

(3) RNAは、転写・翻訳過程だけでなく、DNA複製過程において合成されて機能するものがある。DNA複製に関わるRNA分子について、その名称を用いて役割を答えなさい。

(4) 以下の mRNA の 5' 末端について、以下の問1)、2)に答えなさい。

$$5' \text{--} \overset{\text{--}\textcircled{1}\text{--}}{\text{AUG}} \overset{\text{--}\textcircled{2}\text{--}}{\text{UUGUGUGAAAUGUGAGCGGA}} \overset{\text{--}\textcircled{3}\text{--}}{\text{UGACAAUUUCACACAGGAAAC}}$$

$$\overset{\text{--}\textcircled{4}\text{--}}{\text{AGCUAUGACCAUUACGGAUUCGCGAUGGCCGUCGUUUUACAA}} \cdots \text{--}3'$$

1) 下線部の配列をリボソームの30Sサブユニットの構成因子が認識する。配列の名称およびリボソームの構成因子の名称をそれぞれ答えなさい。

2) ①～⑤のAUG配列のうち翻訳の開始コドンとなる箇所を選び、数字で答えなさい。

(つづく)

総合化学院 総合化学専攻

科目記号	B 2-6 (2/7)	試験科目	分子生物工学
------	-------------	------	--------

(注) 全設問に解答すること。解答は設問毎に別の答案用紙に記入すること (答案用紙4枚)。

(5) 以下の遺伝子の開始コドンから始まる 5' 末端部分配列について、以下の問 1)、2) に答えなさい。

5'-ATGACCACCTCGTTCCTCGAACGCCTAGCCACCGAGCCC...-3'

1) 遺伝子配列から翻訳されるポリペプチドについて、開始コドンを含め 6 番目のアミノ酸まで答えなさい。コドン表を参考にして、例に従って示しなさい。例) Ala-His-Lys

2) 遺伝子配列の一方所に点変異が生じたことで、合成されたポリペプチド鎖が短くなった。合成されたポリペプチド鎖が最も短くなる変異について、変異箇所、および変異前と変異後のコドンの 3 塩基を答えなさい。なお、変異箇所は解答欄に示した塩基配列を用いて、変異点を □ で囲んで示しなさい。

コドン表

2 文字目

		U	C	A	G	
1 文字目 (5' 末端)	U	UUU } Phe	UCU } Ser	UAU } Tyr	UGU } Cys	3 文字目 (3' 末端)
		UUC } Phe	UCC } Ser	UAC } Tyr	UGC } Cys	
		UUA } Leu	UCA } Ser	UAA 終止	UGA 終止	
		UUG } Leu	UCG } Ser	UAG 終止	UGG Trp	
C	C	CUU } Leu	CCU } Pro	CAU } His	CGU } Arg	
		CUC } Leu	CCC } Pro	CAC } His	CGC } Arg	
		CUA } Leu	CCA } Pro	CAA } Gln	CGA } Arg	
		CUG } Leu	CCG } Pro	CAG } Gln	CGG } Arg	
A	A	AUU } Ile	ACU } Thr	AAU } Asn	AGU } Ser	
		AUC } Ile	ACC } Thr	AAC } Asn	AGC } Ser	
		AUA } Ile	ACA } Thr	AAA } Lys	AGA } Arg	
		AUG Met	ACG } Thr	AAG } Lys	AGG } Arg	
G	G	GUU } Val	GCU } Ala	GAU } Asp	GGU } Gly	
		GUC } Val	GCC } Ala	GAC } Asp	GGC } Gly	
		GUA } Val	GCA } Ala	GAA } Glu	GGA } Gly	
		GUG } Val	GCG } Ala	GAG } Glu	GGG } Gly	

出典：左右田健次 編著、生化学—基礎と工学—、(株)化学同人 (2001)

総合化学院 総合化学専攻

科目記号	B 2-6 (3/7)	試験科目	分子生物工学
------	-------------	------	--------

(注) 全設問に解答すること。解答は設問毎に別の答案用紙に記入すること (答案用紙4枚)。

設問2 大腸菌における遺伝子の発現調節について、以下の問 (1) ~ (4) に答えなさい。

- (1) タンパク質の発現において、下に示すような遺伝子・遺伝子領域が様々な役割を担う。これらがもつ機能は、それぞれ次に示す①~③のどの分類にあてはまるか答えなさい。

[プロモーター リプレッサー アテニューエーター オペレーター]

- ① 酵素や細胞構造を形成するタンパク質をコードする。
- ② 発現調節を行うタンパク質をコードする。
- ③ 遺伝子配列によって発現調節に関与する。

- (2) リプレッサーとオペレーターによる発現抑制について、図を用いてメカニズムを簡潔に説明しなさい。

- (3) ラクトースオペロンとトリプトファンオペロンにおいて、それぞれ化合物の濃度によるリプレッサー制御機構の違いについて簡潔に説明しなさい。

- (4) 大腸菌において、下図のようにラクトースオペロンとトリプトファンオペロンの発現抑制系を連結した遺伝子配列をゲノム上に構築した。この大腸菌の培養に、a~eに示す化合物を十分量添加したとき、*gene A* が発現する条件をすべて選び、記号で答えなさい。なお、添加しない場合は培地にa~eの化合物は含まれず、添加した場合には細胞に全て取り込まれるものとする。また、リプレッサー-LacI・TrpRによる制御は、遺伝子発現を完全に制御できるものとする。[P]は常に転写を開始させるプロモーター、[T]は転写を完全に停止させるターミネーターを示している。

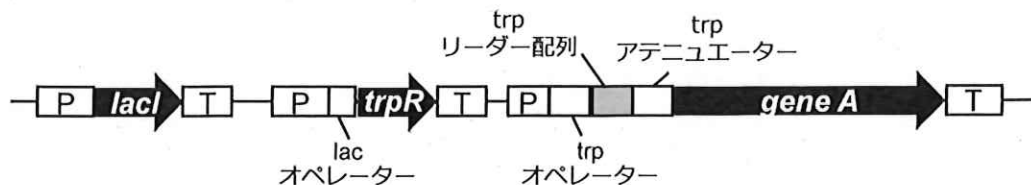


図. 発現制御系を連結したゲノム領域

- a. グルコース
- b. ラクトース
- c. トリプトファン
- d. グルコース・トリプトファン
- e. ラクトース・トリプトファン

総合化学院 総合化学専攻

科目記号	B 2-6 (4/7)	試験科目	分子生物学
------	-------------	------	-------

(注) 全設問に解答すること。解答は設問毎に別の答案用紙に記入すること (答案用紙4枚)。

設問3 次の文章を読み、以下の問(1)～(5)に答えなさい。

図1に示すプラスミド1を元にプラスミド2を構築する実験を考える。(a)プラスミド1を制限酵素により処理した後、アガロースゲル電気泳動を行ったところ、図2に示すバンドパターンが得られた(図のバンドの位置はサイズを読み取りやすいように書かれており、実際の移動度とは異なる)。ここで、(b)図2中のバンドのDNAを単離し、(c)ライゲーション反応を行ったところ、プラスミド2が得られた。構築の過程で、これ以外の酵素処理は行わなかったものとする。表1は、各制限酵素が認識・切断する塩基配列を示し、この中の記号「↓」は切断される箇所を示す。図1に示される制限酵素名は各制限酵素の認識配列の位置を示し、各制限酵素は認識配列のところで表1に示すとおりDNAを切断するものとする。プラスミド2の制限酵素サイトは示していない。

- (1) 下線部(a)で使用するのに最も適した制限酵素を答えなさい。複数の制限酵素を使用する場合は、すべて答えなさい。
- (2) 下線部(b)で、単離すべきDNAのバンドを図2中に示した記号で答えなさい。複数のバンドを単離する場合はすべて答えなさい。
- (3) 下線部(c)について、ライゲーションの反応液には、反応に必要な金属イオンが含まれる。この金属イオンを化学式で答えなさい。
- (4) 下線部(c)について、問(3)で答えたものに加えて、ライゲーションの反応液に含まれる反応に必要な物質として、最も適切なものを以下の(あ)～(く)から1つ選び、記号で答えなさい。

(あ)NADH、(い)ATP、(う)coenzyme A、(え)NH₄Cl、(お)glucose、(か)vitamin C、(き)NADPH、(く)RNA

- (5) プラスミド1に、制限酵素認識配列がない場合を考える。プラスミド2と同様に、遺伝子Aと遺伝子Cを含み、遺伝子Bを含まないプラスミドを構築する方法を図を用いて簡潔に説明しなさい。ただし、この構築にはプラスミド1を利用することとし、目的とするプラスミドの塩基配列を有機合成の手法で全合成する方法は該当しないとする。

(つづく)

総合化学院 総合化学専攻

科目記号	B 2-6 (5 / 7)	試験科目	分子生物工学
------	---------------	------	--------

(注) 全設問に解答すること。解答は設問毎に別の答案用紙に記入すること (答案用紙4枚)。

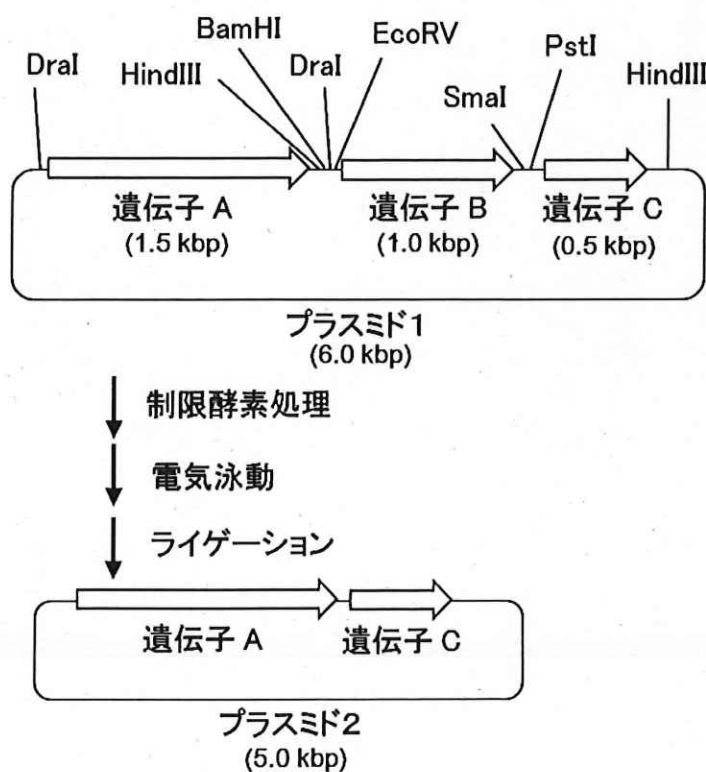


図1 遺伝子構築スキーム

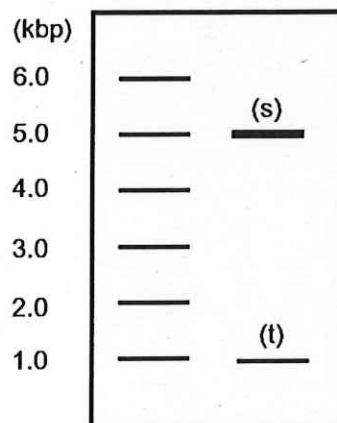


図2 アガロースゲル電気泳動像

表1 制限酵素の認識配列

制限酵素名	切断配列
BamHI	G ↓ GATCC
DraI	TTT ↓ AAA
EcoRV	GAT ↓ ATC
HindIII	A ↓ AGCTT
PstI	CTGCA ↓ G
SmaI	CCC ↓ GGG

総合化学院 総合化学専攻

科目記号	B 2-6 (6/7)	試験科目	分子生物学
------	-------------	------	-------

(注) 全設問に解答すること。解答は設問毎に別の答案用紙に記入すること (答案用紙4枚)。

設問4 次の文章を読み、以下の問(1)～(4)に答えなさい。

菌Aから単離した遺伝子Sはタンパク質Tをコードしている。タンパク質Tが合成されたことを確認するため、タンパク質Tと特異的に結合する抗体を作製することを試みた。タンパク質Tの領域Eに相当する部分配列のポリペプチドを合成し、これを用い、動物の免疫反応を利用して抗E抗体を得た。同様に、領域Fに相当するポリペプチドを合成し、抗F抗体を得た。部分配列EおよびFの位置は図1に示されている。

菌A、および菌Aの遺伝子Sの破壊株である菌A₀を培養し、それぞれの細胞内タンパク質の粗抽出液を得た。遺伝子Sの配列から予想されるタンパク質Tの分子量は40 kDaである。それぞれの粗抽出液をSDS-PAGEで分離し、メンブレンに転写後、抗E抗体、抗F抗体をそれぞれ用いて検出した(図2)。

タンパク質Tを生産するために、菌Bと菌Cを用いて遺伝子Sを異宿主発現する実験を考える。菌Bと菌Cは遺伝子Sおよび遺伝子Sに相同する遺伝子を有していない。プラスミドPは、プラスミドQに遺伝子Sを挿入したプラスミドである。これらのプラスミドを用いて表1に示す組換え菌を作製した。外来遺伝子を発現させる場合、菌Aを用いた場合と同じ一次構造のタンパク質が合成されるとは限らない。確認のため、表1に示す組換え菌、および菌A、菌A₀、菌B、菌Cから調製した粗抽出液と、抗E抗体、抗F抗体を用いて、上記と同様に免疫検出を行った(図2)。図2中の破線はサイズの比較を容易にするために書かれている。

(1) 図2の実験から判断できることとして最も適切なものを以下の(あ)～(く)の中から一つ選び、記号で答えなさい。

- (あ) 抗E抗体と抗F抗体は互いに結合する
- (い) 抗E抗体は遺伝子Sと結合するが、抗F抗体は遺伝子Sと結合しない
- (う) 抗E抗体は遺伝子Sと結合しないが、抗F抗体は遺伝子Sと結合する
- (え) 抗E抗体および抗F抗体はどちらも遺伝子Sと結合する
- (お) 抗E抗体および抗F抗体はどちらもタンパク質Tと結合しない
- (か) 抗E抗体はタンパク質Tと結合するが、抗F抗体はタンパク質Tと結合しない
- (き) 抗E抗体はタンパク質Tと結合しないが、抗F抗体はタンパク質Tと結合する
- (く) 抗E抗体および抗F抗体はどちらもタンパク質Tと結合する

(2) 表1中の菌B2から調製した粗抽出液をアプライしたレーンで検出された主要なタンパク質は、どのような構造を持っていると考えられるか、判断した理由と共に述べなさい。

(つづく)

総合化学院 総合化学専攻

科目記号	B 2-6 (7/7)	試験科目	分子生物学
------	-------------	------	-------

(注) 全設問に解答すること。解答は設問毎に別の答案用紙に記入すること (答案用紙4枚)。

(3) 表1中の菌C2から調製した粗抽出液をアプライしたレーンで検出された主要なタンパク質は、どのような構造を持っていると考えられるか、可能性の一つについて述べなさい。

(4) 合成したいタンパク質の毒性が強くタンパク質をコードする遺伝子を発現できる宿主がない場合、タンパク質を得ることができる可能性のある手法を答えなさい。ただし、アミノ酸を有機合成的手法で重合してポリペプチドを合成する手法は用いないものとする。

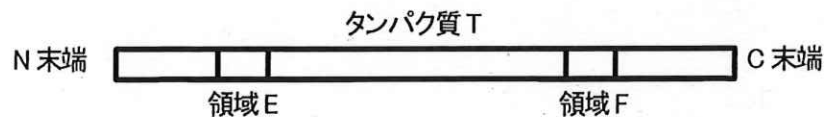


図1 タンパク質Tの一次構造

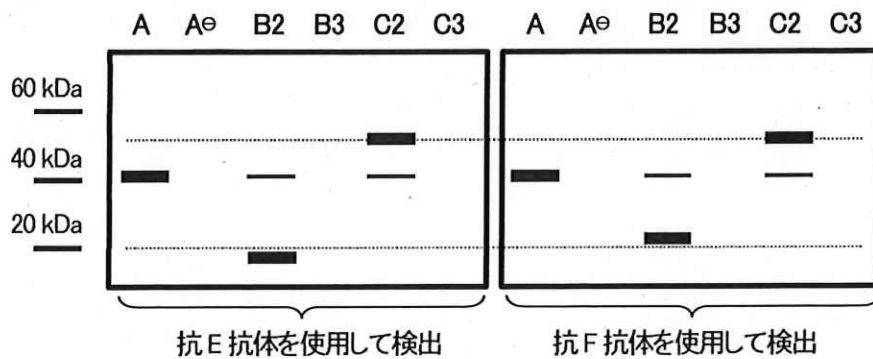


図2 免疫検出の結果

表1 作成した組換え菌

菌の名前	菌の説明
B2	プラスミドPを菌Bに導入した組換え菌
B3	プラスミドQを菌Bに導入した組換え菌
C2	プラスミドPを菌Cに導入した組換え菌
C3	プラスミドQを菌Cに導入した組換え菌