

令和7年度専攻科入学者選抜（学力選抜）検査問題

物質工学専攻

専 門 科 目

（注意）

- 1 問題用紙は、指示があるまで開かないこと。
- 2 問題用紙は、1 ページ～13 ページまでである。
検査開始の合図の後で確かめること。
- 3 解答は、すべて解答用紙に記入すること。
- 4 貸与される電卓に限り使用できる。

物質工学専攻専門科目（問題用紙）

(1/13ページ)

[1] Bohr の原子モデルについて、以下の問題に答えよ。

- (1) Rutherford の原子モデルによれば、下図に示すように、正の電荷を持つ原子核の周囲を負の電荷を持つ電子が絶えず円運動し、電子は原子核との間にはたらく静電引力によって電子軌道上に引き留められている。

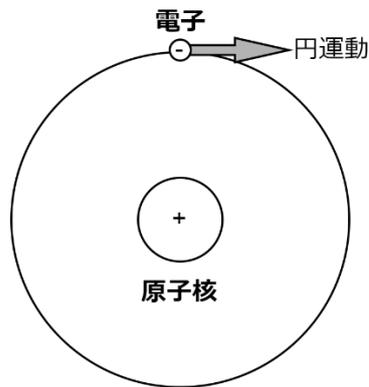


図. Rutherford モデルの模式図

しかし、このモデルでは原子が安定して存在することができない。この理由について述べた以下の(ア)～(エ)の文章として、適切なものを1つだけ選び答えよ。

- (ア) 電子に働く力として、クーロン力しか考慮されていないため。
 - (イ) 電子について粒子性と波動性の両方の性質を考慮しているため。
 - (ウ) 電子の取り得るエネルギーが離散的であることを考慮しているため。
 - (エ) 円運動をする電子が電磁波を放出してエネルギーを失い、電子が原子核に落ち込んでしまうため。
- (2) Rutherford モデルによれば、水素原子中の電子は陽子の周りを絶えず速さ v_e で等速円運動している。このため、安定的に原子が存在していれば、クーロン力と電子の遠心力が釣り合っていないなければならない。すなわち、原子半径 r 、電気素量 e 、真空の誘電率 ϵ_0 、電子の質量 m_e とすれば、

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} = \frac{m_e v_e^2}{r}$$

が成立するはずである。Rutherford モデルにより予測される原子の半径 r を、電子の円運動の速さ v_e を含む式で示せ。

- (3) Bohr は、Rutherford モデルの問題点を克服した原子モデルを構築するために、Plank の量子仮説といくつかの実験事実から、「電子の円運動における角運動量は、離散的な値しか許されない」という仮説を導入した。すなわち、Bohr モデルによ

物質工学専攻専門科目（問題用紙）

(2/13ページ)

[1]

れば、電子の角運動量は正の整数 n として以下の式で表すことができる。

$$m_e v_e r = n \hbar$$

ただし、 n は主量子数、 \hbar は換算 Planck 定数である。このとき、Rutherford モデルと Bohr モデルから得られる式から v_e を消去し、軌道半径 r を、 n を含む式で示せ。

(4) Bohr モデルにおいて、 $n = 1$ における半径を Bohr 半径 a_0 という。 a_0 を計算し、有効数字3桁で答えよ。ただし、計算には以下の値を用いよ。

換算 Planck 定数	$\hbar = 1.055 \times 10^{-34} \text{ J s}^{-1}$
真空の誘電率	$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$
電気素量	$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
電子の質量	$m_e = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$

[2] アルカリ金属イオン A^+ とハロゲン化物イオン B^- がつくる結晶について、以下の問いに答えよ。

(1) A^+ と B^- がつくる常温常圧の結晶について述べた以下の(ア)～(オ)について適切なものを1つだけ選び答えよ。

- (ア) 結晶中に存在する A^+ と B^- の割合は、元素の組み合わせと結晶構造により変化し、常に1:1になるとは限らない。
- (イ) A^+ と B^- がつくる結晶は、どの結晶であっても岩塩型構造をとる。
- (ウ) 岩塩型構造をとる NaCl は代表的な結晶であり、単位格子中の陰イオンの数は2つである。
- (エ) 塩化カリウム KCl の結晶構造は、NaCl と同様に岩塩型構造であり、単位格子中の陰イオンの数は4つである。
- (オ) 塩化セシウム CsCl の結晶構造は、NaCl と同様に岩塩型構造であり、単位格子中の陰イオンの数は4つである。

(2) NaCl 結晶において、イオン半径が大きい Cl^- 同士が隣接して結晶構造をつくり、その隙間に Na^+ イオンが隣接・存在していると考え、 Cl^- のイオン半径 r_{Cl} を計算し、有効数字3桁で答えよ。ただし、NaCl の格子定数 a は 0.5642 nm である。

(3) NaCl 結晶の粉末サンプルを粉末 X 線回折 (XRD) 測定で分析したところ、(200)面の回折角 $2\theta = 31.7^\circ$ でピークが観察された。このとき、(200)面の面間隔 d_{200} を Bragg の回折条件

$$2d_{200} \sin \theta = n\lambda$$

から計算し、有効数字3桁で答えよ。ただし、X線の波長 $\lambda = 0.1542 \text{ nm}$ (CuK α 線)、 n は正の整数とし、また、 $n = 1$ として計算せよ。

物質工学専攻専門科目（問題用紙）

(3/13ページ)

- [3] ある考古学資料の絶対年代を明らかにするために、 ^{14}C の放射性崩壊（ β 崩壊）を利用した ^{14}C 放射性年代測定法を採用した。この測定法に関して述べた以下の文章について、空欄 ～ に適する語句を埋めよ。

考古学資料中の放射性炭素 ^{14}C の濃度 C とすると、反応速度 $r = -dC/dt$ である。また、この反応の反応次数は 次であるから、反応速度定数 k として、

$$r = -dC/dt = \text{ }$$

が成立する。この微分方程式を解くと、

$$C = C_0 \exp(-kt)$$

である。ただし、 C_0 は天然に存在する ^{14}C の濃度である。この式から ^{14}C の半減期 τ とすれば、

$$\tau = \text{ }$$

であり、 τ は初期濃度 C_0 に依らず、速度定数 k のみで決まる値であることが分かる。 ^{14}C の半減期 τ を5568年（以下、年をyrと表記する）とすれば、速度定数 k は有効数字3桁で

$$k = \text{ } \text{ yr}^{-1}$$

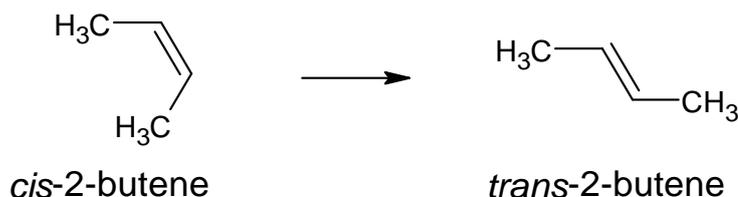
として計算できる。

いま、ある考古学資料中の ^{14}C 濃度を質量分析装置で測定したところ、天然存在比の0.3180倍の ^{14}C が含まれていることが分かった。この分析結果から化石年代を有効数字3桁で推定すると、この考古学資料は今から 年前のものと推定できる。

物質工学専攻専門科目（問題用紙）

(4/13ページ)

[4] 2-butene には、*cis*-2-butene と *trans*-2-butene の立体異性体が存在する。いま、*cis*-2-butene が *trans*-2-butene に変化する次の異性化反応を考える。



この反応について、以下の問いに答えよ。ただし、必要であれば、以下の熱力学データ表を参照し、系内には気相の 2-butene のみが存在すると仮定せよ。また、気体定数 $R = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ として、有効数字 3 桁で答えよ。

表 *cis*-2-butene と *trans*-2-butene の熱力学データ

	標準生成エンタルピー $\Delta_f H_i^\circ$ [kJ/mol]	標準生成 Gibbs 自由エネルギー $\Delta_f G_i^\circ$ [kJ/mol]
<i>cis</i> -2-butene(g)	-6.990	65.95
<i>trans</i> -2-butene(g)	-11.17	63.06

- 異性化反応における標準反応熱 $\Delta_r H^\circ$ を計算せよ。ただし、単位を明記すること。
- 異性化反応における標準 Gibbs 自由エネルギー変化 $\Delta_r G^\circ$ を計算せよ。ただし、単位を明記すること。
- 標準 Gibbs 自由エネルギー変化から標準状態 (298.15 K) における平衡定数 K_{298} を計算せよ。
- 標準状態 (0.1 MPa、298.15 K) における平衡状態での *cis*-2-butene の割合を x とすると、

$$K_{298} = \frac{1-x}{x}$$

として計算できる。ただし K_{298} は標準状態における平衡定数であり、

$$K_{298} = \exp\left(-\frac{\Delta_r G^\circ}{RT_0}\right), \quad T_0 = 298.15 \text{ K}$$

として計算できる。このとき、平衡状態における *cis*-2-butene のモル分率を答えよ。

- 標準状態において異性化反応が平衡に到達したときに起きる現象を説明した以下の (ア) ~ (エ) の文章について、正しいものを1つだけ選び答えよ。

物質工学専攻専門科目（問題用紙）

(5/13ページ)

[4]

- (ア) 平衡状態における *cis* 型異性体と *trans* 型異性体の存在割合は、初期の *cis* 型異性体の存在割合や、系内に存在する触媒の有無に依存するため、熱力学的に一義的には定まらない。
- (イ) *cis* 型異性体の存在割合の方が平衡論的に高く、これは *trans* 型異性体の立体障害のためである。
- (ウ) *trans* 型異性体の存在割合の方が平衡論的に高く、これは *cis* 型異性体の立体障害のためである。
- (エ) 発熱反応であるため、平衡状態から温度を上げていくと *trans* 型異性体の割合が増大する。

[5] 分子の立体構造を予測する手法として、原子価殻電子対反発理論（VSEPR 理論）が比較的簡潔で有用であることが知られている。A を中心原子、X を置換基、E を非共有電子対とすると、 AX_nE_m 分子の A の周囲には、 $n + m$ 個の電子対が存在し、VSEPR 理論では、 $n + m$ 個の電子対の反発を考慮して分子の形を予測する。この理論に関して、次の問いに答えよ。

(1) VSEPR 理論について述べた以下の(ア)～(エ)の文章について、不適切なものを1つだけ選び答えよ。

- (ア) VSEPR 理論の理論的根拠は、量子力学的な分子軌道計算手法に基づいており、一般に古典的理論よりも予測精度が高い。
- (イ) VSEPR 理論では、原子を取り巻く共有電子対と非共有電子対の反発の総和が最小となるように分子の立体構造が決まると考える。
- (ウ) 電子対間の反発の強さにおいて、「非共有電子対－非共有電子対」の方が「共有電子対－共有電子対」よりも反発が強いと考える。
- (エ) 電子対間の反発の強さにおいて、「非共有電子対－結合電子対」の方が「共有電子対－共有電子対」よりも反発が強いと考える。

(2) 分子 AX_nE_m について述べた(ア)～(オ)の文章について、不適切なものを1つだけ選び答えよ。

- (ア) 中心原子 A の周囲に存在する電子対の数 $n + m$ が 2 のとき、直線型の分子の形をとるときに最も反発が弱くなる。
- (イ) CO_2 は $n + m$ が 2 であるため、直線型の分子構造をとる。
- (ウ) NH_3 、 CH_4 は $n + m$ の数が 4 であり、電子対を含めた分子の構造はいずれも四面体構造となる。

物質工学専攻専門科目（問題用紙）

(6/13ページ)

[5]

(エ) ICl_2^- は $n+m$ の数が 5 であるため、電子対を含めた分子の構造は三方両錐、分子の形は直線型である。

(オ) ICl_4^- は $n+m$ の数が 6 であるため、電子対を含めた分子の構造は三方両錐、分子の形は平面四角形型である。

(3) VSEPR 理論は簡単に分子の構造を予測できるが、予測できない場合もある。このことについて述べた以下の(ア)～(エ)の文章について、不適切なものを1つだけ選び答えよ。

(ア) VSEPR 理論は古典的な理論であり、主要族元素がつくる分子において、電子対の数 $n+m$ が 7 以上のときでは予測が難しくなる。

(イ) 遷移金属錯体は d 軌道に電子が部分的に充填されており、d 電子の影響のため VSEPR 理論による予測は難しい。

(ウ) 遷移金属錯体の構造を正確に予測するためには、VSEPR 理論よりも結晶場理論や配位子場理論などを用いた方がよい。

(エ) 遷移金属錯体であっても、電子対の数 $n+m$ が 7 未満であれば、VSEPR 理論により分子構造を予測することは可能である。

[6] 以下に構造を示すペンタジエニルラジカルの共鳴構造を書け。



[7] 以下の化合物から芳香族化合物を番号で全て答えよ。

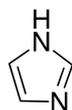
①



②



③



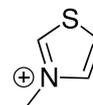
④



⑤



⑥

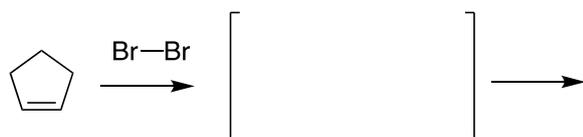


物質工学専攻専門科目（問題用紙）

(7/13ページ)

[8] 次に示す(1)～(5)の出発物の炭素骨格を含む主生成物は何か。立体に関しても明記し、構造式で書け。(主生成物が1つとは限らない。) (1)、(2)に関しては、以下に示した反応機構にまき矢印と中間体を記述し、完成させよ。(3)、(4)、(5)に関しては生成物のみ答えよ。

(1)



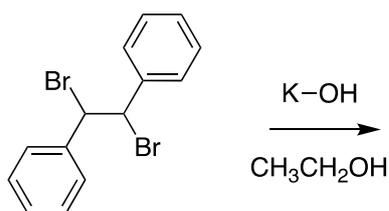
主生成物

(2)



主生成物

(3)



(1*S*,2*S*)-1,2-ジブロモ-1,2-ジフェニルエタン

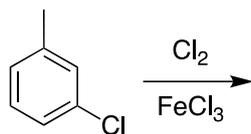
主生成物

物質工学専攻専門科目（問題用紙）

(8/13ページ)

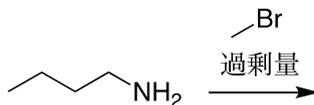
[8]

(4)



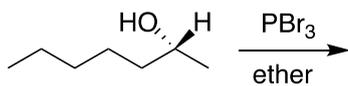
主生成物

(5)

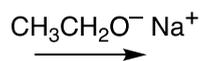


主生成物

[9] 次の反応の主生成物 1 及び主生成物 2 の構造式を書け。また、キラル炭素の R,S の配置を帰属せよ。



主生成物1



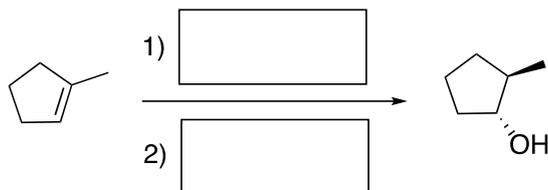
主生成物2

物質工学専攻専門科目（問題用紙）

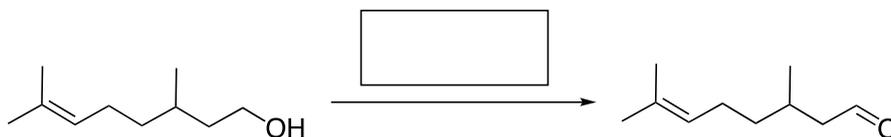
(9/13ページ)

[10] 次の反応の反応条件を以下の選択肢から選び、記号(アルファベット)を書け。

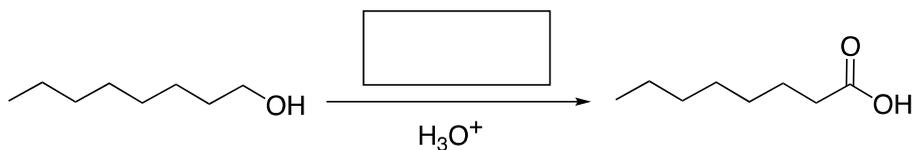
(1)



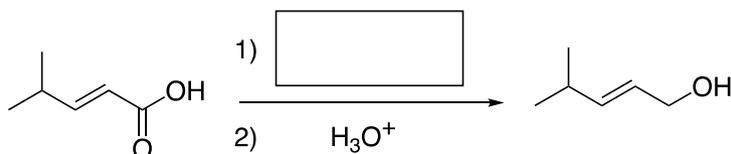
(2)



(3)



(4)

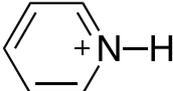


選択肢

A. CrO_3

B. $\text{H}_2\text{O}_2, \text{OH}^-$

C. NaBH_4

D.  CrO_3Cl^-

E. BH_3

F. LiAlH_4

物質工学専攻専門科目（問題用紙）

(10/13ページ)

[1 1] 以下の設問に答えなさい。

- (1) 細胞質中に遊離して存在するか、小胞体と結合して存在していて、タンパク質の合成が行われる細胞小器官を何と呼ぶか答えなさい。
- (2) 二糖類や多糖類は、単糖が結合して形成される。その結合の名称を答えなさい。
- (3) デンプンの主要な構成成分であり、グルコースが結合してつながった多糖類で枝分かれ構造をもっている物質を答えなさい。
- (4) 炭素数 18 の脂肪酸であるオレイン酸 ($C_{17}H_{33}COOH$)、リノール酸 ($C_{17}H_{31}COOH$)、 α -リノレン酸 ($C_{17}H_{29}COOH$) の中で、最も融点が低いものを選びなさい。
- (5) リン脂質とともに生体膜の主要な構成成分となり、胆汁酸、ステロイドホルモンの材料としても重要な物質を答えなさい。
- (6) アミノ酸のアミノ基とカルボキシ基がもつ正負の電荷が釣り合って、アミノ酸が電氣的に中性を保つ pH を何と呼ぶか、答えなさい。
- (7) タンパク質の二次構造において、 β シート構造とともにあげられる代表的な構造を答えなさい。
- (8) 酸化還元反応を触媒するアルコールデヒドロゲナーゼは、その触媒にタンパク質以外の補因子を必要とする。補因子の中で、アルコールデヒドロゲナーゼの NAD^+ のように酵素に非共有結合でゆるく結合して、酵素の働きの中心的な役割を担う低分子の有機化合物を何と呼ぶか答えなさい。
- (9) 水溶性ビタミンの一つで、抗酸化作用、コラーゲン合成に関わる機能をもち、欠乏症として壊血病が有名なビタミンは何か答えなさい。
- (10) 赤血球のヘモグロビンや筋肉のミオグロビンにおいて、酸素の運搬と保持に関わるミネラルは何か、答えなさい。

物質工学専攻専門科目（問題用紙）

(11/13ページ)

[1 2] 以下の設問に答えなさい。

(1) 糖質の代謝において、解糖系では、好氣的条件下で1分子のグルコースは、2分子のある物質まで代謝される。ある物質とは何か答えなさい。

(2) 解糖系の最初の反応では、グルコースがヘキソキナーゼによりリン酸化されグルコース 6-リン酸が生成される。このヘキソキナーゼは、酵素の触媒する反応の種類により分類される以下の6群のどれに属するか答えなさい。

- ①酸化還元酵素 ②転移酵素 ③加水分解酵素 ④脱離酵素 ⑤異性化酵素
⑥合成酵素

(3) 解糖系では、グルコース1分子の代謝で、消費しているATPと生成しているATPが何分子あるか、答えなさい。

(4) 好氣的条件下では、解糖系で生じた(1)の物質からアセチル CoA が生成された後、(ア)回路に導入される。空欄(ア)に適する用語を入れよ。

(5) 血糖値の調節に関わるホルモンで、細胞内へのグルコースの取り込みを促進し、血糖値を低下させる生理活性ペプチドは何か答えなさい。

(6) 中性脂肪(トリグリセリド)の分解により生じた脂肪酸は、その鎖の端から炭素2個ずつ切断され、アセチル CoA が生成される。その後、アセチル CoA は、(4)の(ア)回路で水と二酸化炭素に分解される。ここでの脂肪酸の分解を何と呼ぶか答えなさい。

(7) ヒトの体内で、アミノ酸が酸化されて生じた有毒な物質(イ)は、物質(ウ)に転換して解毒されている。この物質(イ)を処理する経路をオルニチン回路と呼び、この回路は、臓器(エ)で働いている。空欄(イ)～(エ)に適する用語の組み合わせとして、適するものを①～⑤より選びなさい。

- ①(イ)尿素、(ウ)アンモニア、(エ)腎臓
②(イ)アンモニア、(ウ)尿酸、(エ)肝臓
③(イ)アンモニア、(ウ)尿素、(エ)肝臓
④(イ)尿素、(ウ)アンモニア、(エ)膵臓
⑤(イ)尿酸、(ウ)アンモニア、(エ)腎臓

物質工学専攻専門科目（問題用紙）

(12/13ページ)

[13] 分子生物学のセントラルドグマ（下図）に関する以下の設問に答えなさい。

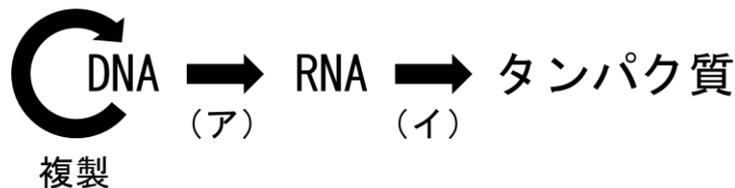


図. 分子生物学のセントラルドグマ

(1) 図の遺伝子情報を維持する過程である DNA 複製における二本鎖 DNA の複製様式を何と呼ぶか答えなさい。

(2) 以下の二本鎖 DNA 合成に必要な材料において、下線のある用語で誤っているものを一つ選びなさい。

- ①4種類のデオキシリボヌクレオシド - 一リン酸 (dNTP)
②DNA ポリメラーゼ ③Mg²⁺ (DNA ポリメラーゼの補因子) ④鋳型 DNA
⑤プライマー

(3) 二本鎖 DNA 合成の際のラギング鎖で、不連続的に合成されるオリゴ（ポリ）ヌクレオチドのことを何と呼ぶか答えなさい。

(4) 図における遺伝子が発現する過程（ア）を何と呼ぶか答えなさい。

(5) 過程（ア）において、下の DNA 鎖（鋳型鎖）を基に合成された RNA 鎖を選びなさい。

5'-GAGATCGTACAA-3'（鋳型鎖）

- ①5'-GAGATCGTACAA-3'
②5'-GAGAUCGUACAA-3'
③5'-TTGTACGATCTC-3'
④5'-UUGUACGAUCUC-3'
⑤5'-CTCTAGCATGTT-3'
⑥5'-CUCUAGCAUGUU-3'

物質工学専攻専門科目（問題用紙）

(13/13ページ)

[13]

(6) 過程（ア）において、RNAポリメラーゼが反応を開始するために認識し、特異的に結合するDNA領域を何と呼ぶか答えなさい。

(7) 図における遺伝子が発現する過程（イ）を何と呼ぶか答えなさい。

(8) 過程（イ）において、20種類のアミノ酸に対応する遺伝暗号（コドン）はいくつあるか、答えなさい。