

令和 2 年度入学者選抜試験問題
山形大学大学院理工学研究科博士前期課程
(令和元年 8 月実施)

【バイオ化学工学専攻】

専門科目
(生物科学・生化学, 有機化学,
無機化学・分析化学, 物理化学)

注意事項

1. 試験開始の合図があるまで, この問題冊子の中を見てはいけません。
2. この問題冊子の本文は 1 ページから 21 ページまでです。
3. 試験中に問題冊子の印刷不鮮明, ページの乱丁・落丁および解答用紙の汚れ等に気付いた場合は, 手を挙げて監督者に知らせてください。
4. 監督者の指示に従って, すべての解答用紙に受験番号を正しく記入してください。受験番号が正しく記入されていない場合には, 採点できないことがあります。
5. 「生物科学・生化学」, 「有機化学」, 「無機化学・分析化学」, 「物理化学」の 4 科目から 2 科目を選択して解答してください。
6. 解答用紙は全部で 8 枚あります。1 問につき 1 枚の解答用紙を使用してください。「生物科学・生化学」は 3 枚, 「有機化学」は 4 枚, 「無機化学・分析化学」は 4 枚, 「物理化学」は 3 枚使用してください。必要に応じて裏面を使用しても構いません。どの科目に対する解答かがわかるように, それぞれの解答用紙の「受験科目」欄に科目名(「生物科学・生化学: I ~ III」, 「有機化学: I ~ IV」, 「無機化学・分析化学: I ~ IV」, 「物理化学: I ~ III」)を記入してください。
白紙の場合でも 8 枚すべて提出してください。
7. 試験終了後, 問題冊子および草案用紙は持ち帰ってください。

生物科学·生化学

科目名：生物科学・生化学

生物科学・生化学の問題Ⅰ～Ⅲに答えよ。解答用紙の受験科目欄に問題番号も含む形で「生物科学・生化学Ⅰ」,「生物科学・生化学Ⅱ」,「生物科学・生化学Ⅲ」のように記入すること。

Ⅰ. 真核生物の核に関する次の文章を読んで、以下の問題1に答えよ。

真核生物の核は、 によって細胞質と隔離され、核内には①染色質（クロマチン）と核小体が存在する。この は、核ラミンによって安定した構造を保っている。核の最も重要な働きは、遺伝物質である を保存することと、 の情報を基に遺伝を支配することである。② は、染色体という形で核内に存在する。真核生物では、クロマチンが脱凝縮し、 の情報を に転写する。真核生物の には③翻訳される領域と④翻訳されない領域があるが、一旦すべての情報が前駆体 として転写される。その後、⑤下線④の領域が前駆体 から除かれるほか、⑥前駆体 の5'側と3'側はそれぞれ特有の修飾を受け、成熟した が形成される。成熟した は、この段階でようやく核から細胞質に移動可能となり、核に入りする分子の通過ゲートの役目を果たす を通過して細胞質へ移動する。しかし、 には、特殊な分子で構成された が存在し、大型のタンパク質や などは自由に細胞質に移動できない。成熟した が細胞質に移動するためには、 に という分子が結合している必要があり、成熟した は、 によって、核外へ能動的に輸送される。

1. 設問(1)～(5)に答えよ。

(1) 文章中の ～ に入る適当な語句を答えよ。

(2) 下線部①のクロマチンは、凝縮した状態と脱凝縮した状態で存在する。
凝縮および脱凝縮した状態の名称をそれぞれ答えよ。

(3) 下線部②の が染色体に凝縮されるしくみについて、以下の4

つの用語をすべて用いて説明せよ。

用語：ヒストン，ヌクレオソーム，30nm，ループ

(4) 下線部③と下線部④の領域の名称を答えよ。

(5) 前駆体の成熟過程に関する以下の問い(a)～(c)に答えよ。

(a) 下線部⑤は何と呼ばれるかを答えよ。

(b) 下線部⑥の修飾の総称を答えよ。

(c) 下線部⑥の 前駆体の 5'側と 3'側のそれぞれの修飾の名称を答え、さらに、それぞれどのように修飾されるかを具体的に説明せよ。

Ⅱ．以下の問題 1 ～ 3 に答えよ。

1．細胞の膜に関する次の文を読んで、設問 (1) ～ (5) に答えよ。

細胞がもつ膜は脂質とタンパク質からなり、脂質は、リン脂質などがシート状に 2 枚重なって並び脂質二重層をつくっている。二重層のうちの一方の単分子層から反対側への単分子層へと、リン脂質分子が自然に移動することはほとんどない。このような移動は、スクランブラーゼやフリッパーゼが触媒として働くことで可能になっている。

- (1) 細胞の膜において、脂質二重層のおよその厚さとして、次に挙げた値のうち最も適切な値を選び記せ。

0.5 nm 5 nm 50 nm 0.5 μm 5 μm 50 μm

- (2) 真核細胞の膜の合成において、新たなリン脂質をつくる酵素が結合している細胞小器官名を記せ。

- (3) 新たにつくられたリン脂質がまず挿入されるのは、脂質二重層のうち、細胞質側の単分子層と、細胞小器官内腔に面した単分子層のどちらであるのかを記せ。

- (4) スクランブラーゼとフリッパーゼの機能の違いを記せ。

- (5) 細胞膜と輸送小胞が関与するエキソサイトーシスの際に膜の方向性がどのように保たれるかを、次の用語をすべて用いて説明せよ。

用語： 細胞外側 細胞質側 内腔

2. 興奮性膜についての次の設問 (1) ~ (4) に答えよ。

(1) 神経細胞の静止膜電位は、細胞内外の溶液に含まれる陽イオンのうち、どのイオンの平衡電位に近いかをイオン名で記せ。

(2) 全か無かの法則について説明せよ。

(3) 神経には不応期があるが、その不応期は、あるイオンチャネルが不活性化状態にある時間帯と重なる。このイオンチャネルの名称を記せ。

(4) このイオンチャネルが不応期での不活性化状態から脱するための要素を記せ。

3. アドレナリンは、筋細胞でのグリコゲンの分解を促進する。アドレナリンの作用により、アドレナリン受容体が G_s の α サブユニットを活性化する。その後、グリコゲンの分解に直接関与する酵素が活性化される。この一連のシグナル経路を説明せよ。

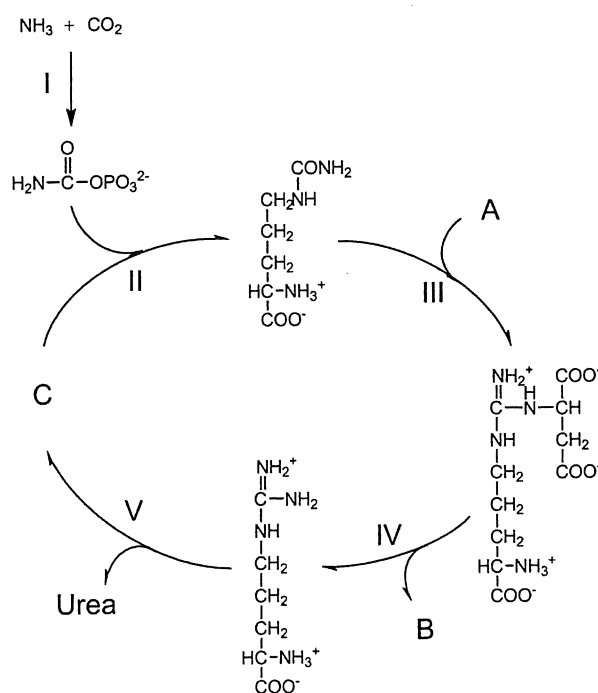
Ⅲ. 生化学に関する問題 1 ～ 5 に答えよ。

1. 解糖系とは何か簡潔に説明せよ。また嫌氣的条件下では解糖により筋肉中では乳酸が，酵母の場合にはエタノールが生成するが，この意義を説明せよ。

2. ある酵素を基質 A と基質 B に対して同じ条件下でそれぞれ反応させたところ，基質 A については， $K_m=1.0 \times 10^{-4} \text{ M}$ ， $k_{cat}=20 \text{ sec}^{-1}$ ，基質 B については $K_m=5.0 \times 10^{-4} \text{ M}$ ， $k_{cat}=150 \text{ sec}^{-1}$ であった。以下の設問(1)～(3)に答えよ。

- (1) この酵素にとって触媒効率の高い基質はどちらか。またそれはなぜか，理由を説明せよ。
- (2) 酵素に対する親和性はどちらの基質が高いと考えられるか。またそれはなぜか，理由を説明せよ。
- (3) これらの反応系に分解を受けない物質 I_A と物質 I_B をそれぞれ加えた。物質 I_A を加えた反応系では K_m の値に変化がなく， k_{cat} が小さくなった。物質 I_B の場合には k_{cat} に変化がなく， K_m の値が大きくなった。 I_A と I_B はそれぞれどのような物質であるか答えよ。

3. 下の図は，尿素回路の概略図を示している。設問(1)～(4)に答えよ。



- (1) A から C に入る化合物の構造式を書け。
- (2) V の反応を触媒する酵素名を書け。
- (3) ATP が消費される反応はどこか。I～Vの中から選べ。
- (4) 尿素分子中には 2 つの窒素原子が存在するが、その窒素はどこから来たものか。尿素回路を用いて簡潔に説明せよ。

4. 次の文章を読み、設問(1)～(3)に答えよ。

光合成反応において、二酸化炭素が固定されるということは、リブローズ 1,5-ビスリン酸と二酸化炭素が反応して 2 分子の a を生成することをさす。生じた a は、その後 ATP を消費して b へ、さらに NADPH を補酵素とした還元反応で c を生じて糖の合成経路に入っていく。d が炭素原子を 3 個もつ分子であるところから、この経路を炭酸同化（固定）の e ともいう。

- (1) 文章の空欄 a ～ e にあてはまることばを入れよ。
- (2) a の合成を触媒する酵素名を答えよ。
- (3) (2)の酵素反応は極端に遅く、e の経路における律速となっている。これを解決するために植物はどのような対策方法をとっているか説明せよ。

5. 次の用語について簡潔に説明せよ。

- (1) 岡崎フラグメント
- (2) ポリメラーゼ連鎖反応 (PCR)
- (3) β 酸化

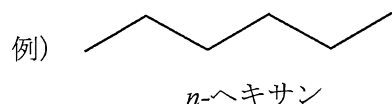
有機化学

科目名：有機化学

有機化学の問題Ⅰ～Ⅳに答えよ。解答用紙の受験科目欄に問題番号も含む形で「有機化学Ⅰ」,「有機化学Ⅱ」,「有機化学Ⅲ」,「有機化学Ⅳ」のように記入すること。

Ⅰ. 分子式 C_4H_8 をもつ有機化合物には, **A**, **B**, **C**, **D**, **E**, **F** の 6 つの異性体が存在する。この内, 化合物 **A**, **B**, **C**, **D** は, Pd 触媒を用いて水素を付加させると, 1 当量の水素が付加することがわかった。以上のことを基に次の問題 1～6 に答えよ。

1. 予想される 6 つの構造式を例にならってすべて書き命名せよ。



2. 化合物 **A** と化合物 **B** は, シス・トランス異性体の関係にあり, これらを酸触媒を用いて相互変換させたところ, 平衡時には化合物 **A** と化合物 **B** が 76 : 24 で存在することがわかった。このことから考えられる化合物 **A** と化合物 **B** の構造式をそれぞれ書け。また, このような存在比となる理由を説明せよ。

3. 化合物 **C** に臭化水素 (HBr) を付加させたところ, 主生成物として不斉炭素原子を有する化合物 **G** が生成した。化合物 **G** は立体配置が *R*-体と *S*-体の等量混合物であった。この *R*-体と *S*-体の立体配置がわかるように構造式をそれぞれ書け。また, このような *R*-体, *S*-体の等量混合物を何と呼ぶか。

4. 化合物 **D** に塩化水素 (HCl) を付加させると, 2 種類の生成物が考えられるにもかかわらず片方だけの生成物だけが得られた。この理由を, 中間体の安定性から説明せよ。

6. 化合物 **F** は、大きな結合角ひずみにより通常のアルカン類に比べ高い反応性をもつ。この結合角ひずみについて説明せよ。

(例 : a, b, c の順に大きい場合, $a > b > c$)

a) $\text{H}_3\text{C}-\underset{\text{H}}{\text{C}}=\underset{\text{H}}{\text{C}}-\text{CH}_3$ b)  c) $\text{H}_3\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$

a) $\begin{array}{c} \text{Cl} \\ | \\ \text{H}-\text{C}-\text{COOH} \\ | \\ \text{H} \end{array}$ b) $\begin{array}{c} \text{Cl} \\ | \\ \text{H}-\text{C}-\text{COOH} \\ | \\ \text{Cl} \end{array}$ c) $\begin{array}{c} \text{Cl} \\ | \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{COOH} \\ | \\ \text{Cl} \end{array}$

a)  Nc1ccccc1 b) $\text{H}_3\text{C}-\text{NH}_2$ c)  CC(=O)N

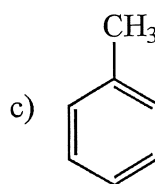
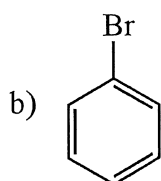
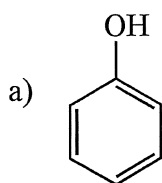
a) 

b) 

c) 

a) $\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\underline{\text{H}}$ b) $\text{H}_2\text{C}=\underset{\text{H}}{\text{C}}-\underline{\text{H}}$ c) $\text{H}_3\text{C}-\text{H}_2\text{C}-\underline{\text{H}}$

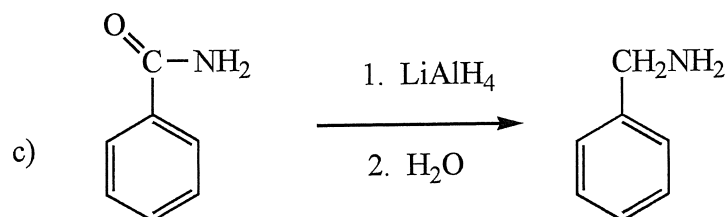
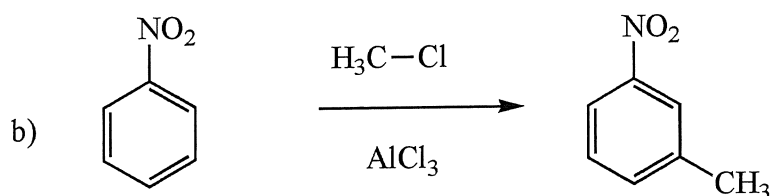
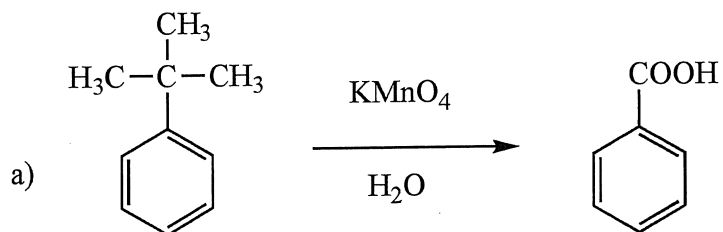
6. 芳香族求電子置換反応の反応性の高い順。

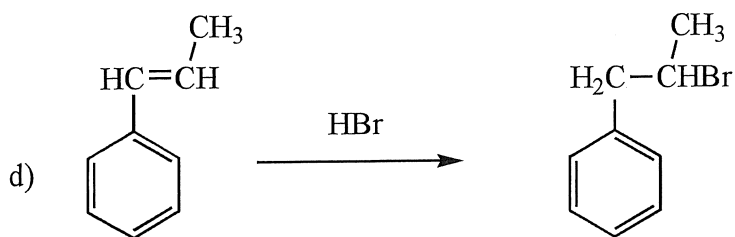


Ⅲ. 次の芳香族化合物に関する問題 1 ～ 4 に答えよ。

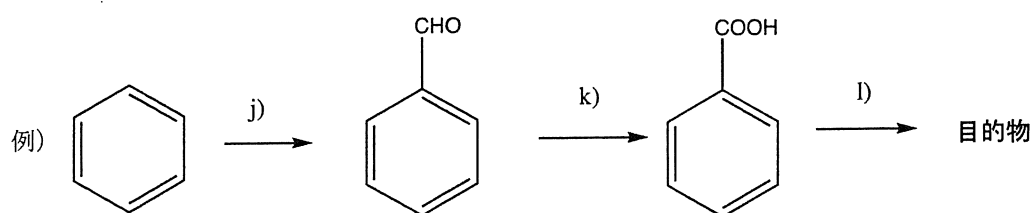
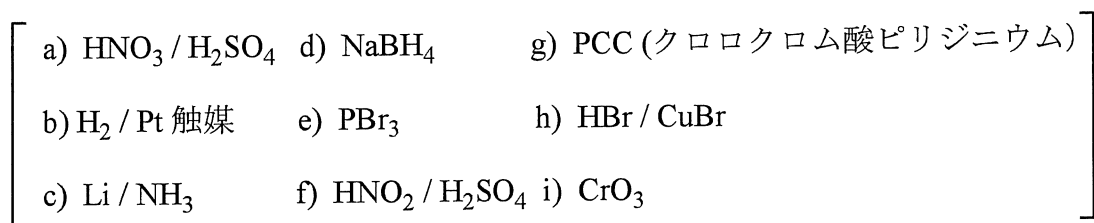
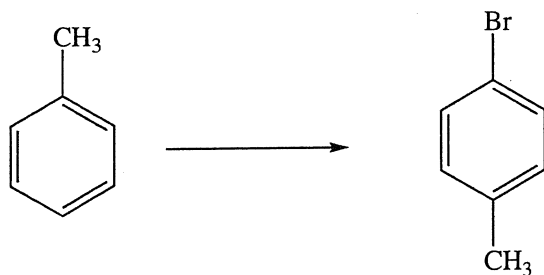
1. ベンゼンの、 Br_2 と FeBr_3 触媒による臭素化の反応において、反応機構を電子対の動きを表す曲がった矢印 (↷) を用いて、段階的に書き表せ。さらにこの反応が、第一段階が吸熱反応、第二段階が発熱反応で進行する 2 段階反応で、系全体が発熱反応になるときの反応エネルギー図を描け。また、中間体と遷移状態の位置、活性化エネルギーと反応熱が分かるように図中に示せ。

2. 次の芳香族化合物の反応 a) ～ d) は正しいか間違っているか。正しい反応には○を、間違っている反応には×を記せ。また、間違っている反応には何が間違っているのかを説明せよ。





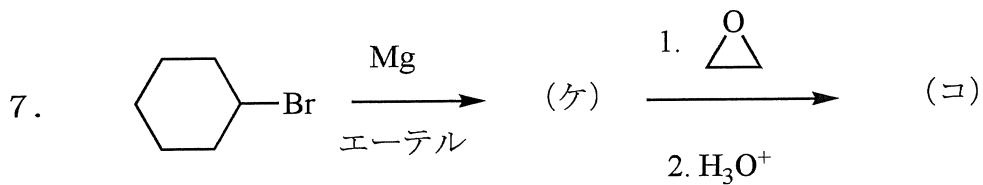
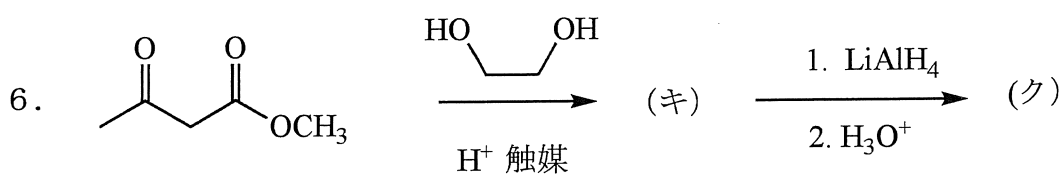
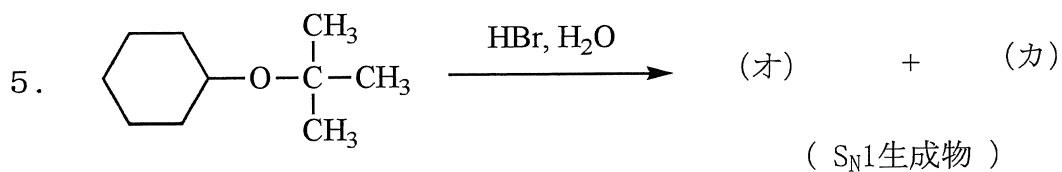
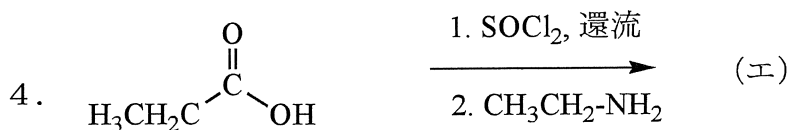
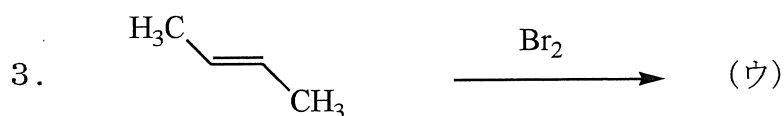
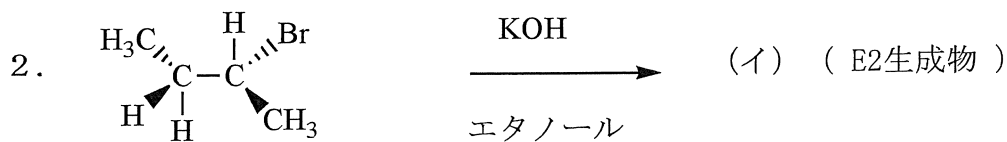
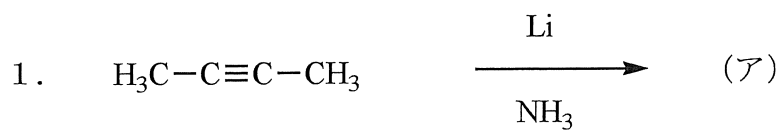
3. トルエンから出発して，[]内に示した試薬 a)～i)の内必要なものを使って，*p*-ブロモトルエンを合成するにはどうしたらよいか。合成ルートを，例にならって中間生成物を示しながら書け。反応は多段階を要する。(o-, *m*-, *p*-異性体は分離できるものと仮定せよ。また，試薬は全てを使う必要はない。)



4. 次の化合物 a), b)を，求電子置換反応でモノニトロ化する際にニトロ化されてできる生成物の構造式を，ニトロ化される位置がはっきりわかるように書け。

a) *p*-クレゾール b) *p*-クロロ安息香酸

IV. 次の有機反応 1 ～ 7 の主生成物 (ア) ～ (コ) の構造式を書け。立体異性体が考えられる場合には立体配置がはっきりわかるように示せ。



無機化学・分析化学

科目名：無機化学・分析化学

無機化学・分析化学の問題Ⅰ～Ⅳに答えよ。解答用紙の受験科目欄に問題番号も含む形で「無機化学・分析化学Ⅰ」, 「無機化学・分析化学Ⅱ」, 「無機化学・分析化学Ⅲ」, 「無機化学・分析化学Ⅳ」のように記入すること。

Ⅰ. 以下の問題 1 ～ 4 に答えよ。

1. 一酸化窒素分子(NO)に関する設問 (1) ～ (4) に答えよ。

(1) 分子内における二原子間の化学結合の結合次数を求めよ。計算過程も記すこと。

(2) NO が一電子還元されて生成するイオンに比べて, NO 二原子間の結合距離は長いか, それとも短いか。理由とともに答えよ。

(3) NO が一電子酸化されて生成するイオンと等電子的な分子をひとつ挙げ, 化学式で記せ。

(4) NO と酸素分子との反応を, 化学反応式で記せ。

2. 以下の文章を読み, ア～ケに当てはまる最もふさわしい語句または数字, 元素記号を【 】内から選び, それぞれ記せ。

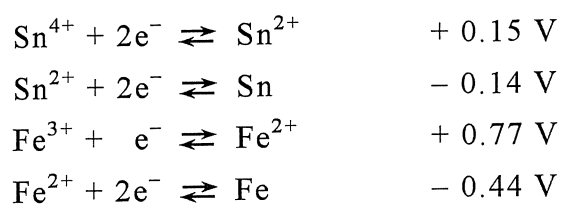
ハロゲン間化合物の形は, アとよばれる経験則を用いることにより予測できる。例えば, 三フッ化塩素分子の形については, 中心原子であるイの最外殻電子数ウ個と周辺原子であるエの総数 (3 個) をすべて足し合わせた数オを 2 で割った値, すなわちカの個数から, 配置様式がキであると推定できる。周辺原子エの配置位置により, 三種類のクが予想されるが, カ同士の静電反発を考慮すると, 中心原子イに対してケの位置に 2 個のエが配置される形が最も安定であると判断される。ただし, 実際には非共有カ同士の反発の影響で, 少しひずんだ形となっている。

【 アピカル，異性体，HSAB 則，エカトリアル，オクテット則，原子核，原子価電子対反発(VSEPR)則，三角柱，三方両錐，四面体，18 電子則，体心立方，電子対，同位体，同素体，八面体，平面三角形，面心立方，1，2，3，4，5，6，7，8，9，10，11，12，Br，Cl，F，I 】

3. 以下の文 (1) ～ (8) のうち誤りを含むものをすべて選び，番号で答えよ。また，どの部分が誤りであるかをそれぞれ簡潔に説明せよ。

- (1) 次亜塩素酸は過塩素酸よりも強い酸化剤である。
- (2) 塩化水素酸はヨウ化水素酸よりも強いブレンステッド酸である。
- (3) リンと硫黄はどちらもカートネーションする傾向にある。
- (4) 不活性電子対効果は，最外殻の満たされた p 軌道の電子が結合に参加しにくくなることにより現れる。
- (5) 亜硝酸イオンは折れ線型の形をとっている。
- (6) 酸化クロム(VI)は酸化クロム(II)よりも塩基性が強い。
- (7) 4 ボラン-10 には，一分子あたりに四箇所の三中心二電子結合が存在する。
- (8) 塩化ベリリウムは蛍石型構造をとる結晶性固体である。

4. 以下に示す酸化還元反応の半反応式における標準酸化還元電位(E°)の値を参考にして，設問 (1)，(2) に答えよ。



- (1) 鉄(III)イオンを十分多量に含む水溶液に，金属スズの板を入れた。この操作により起こる反応がすべて完了した後，水溶液中に残っていると考えられるイオンを化学式ですべて記せ。
- (2) スズ(II)イオンを十分多量に含む水溶液に，金属鉄の板を入れた。この操作により起こる反応がすべて完了した後，水溶液中に残っていると考えられる単体およびイオンを化学式ですべて記せ。

II. 以下の問題 1, 2 に答えよ。

1. 以下の文章を読み、設問 (1) ~ (7) に答えよ。

塩化コバルト(II)六水和物の粉末を水に溶かした。(a)この水溶液を出発原料として、(b)コバルトイオン 1 つにアンモニア分子 5 つと塩化物イオン 1 つが配位結合した酸化数+2 の錯イオンを調製した。その後、この錯イオンを塩化物の沈殿としてすべて回収し、洗浄、乾燥して錯体粉末を得た。この粉末を、水溶液の濃度が 1.5×10^{-2} mol/L となるよう水に溶解した。得られた水溶液を光路幅 1.0 cm のセルに入れて吸光度計で透過率を測定したところ、(c)波長 535 nm における透過率が 25%となり、極小値であった。測定を終えた(d)この水溶液を長時間静置しておいたところ、溶液の色が紫赤色から赤色に変化していた。

- (1) 下線部(a)の水溶液中に含まれるコバルトイオンは、水和して六配位八面体構造の高スピンアクア錯体を形成していると考えられる。この錯イオンの配位子場安定化エネルギーを求めよ。ただし、分裂した 3d 軌道間のエネルギー準位差は Δ_0 とする。
- (2) スピンオンリーの式を用いて、下線部(a)の水溶液中に含まれる錯イオンの磁気モーメントを小数第 2 位まで求めよ。単位も記すこと。
- (3) 下線部(b)の錯イオンの化学式と日本語名称を記せ。
- (4) 下線部(b)の錯イオンは置換活性か、それとも置換不活性か。理由とともに答えよ。
- (5) 下線部(a)の水溶液を用いて下線部(b)の錯イオンを調製する方法を簡潔に説明せよ。
- (6) 下線部(c)に示す 535 nm の透過率を吸光度に換算せよ。さらに、この錯体のモル吸光係数を求めよ。それぞれ計算過程と単位も記すこと。
- (7) 下線部(d)の現象をあらわす反応をイオン反応式で記せ。

2. 以下の文章を読み，設問（1），（2）に答えよ。

- （1）「逆供与」という用語を簡潔に説明せよ。ただし，説明には「中心金属」および「 π^* 軌道」を必ず含めること。
- （2）マンガンが中心金属となる安定なカルボニル錯体 0.20 mol 中に存在する一酸化炭素分子の物質量を求めよ。計算過程も記すこと。

Ⅲ. 以下の2つの文はそれぞれ pH 指示薬とネルンストの式の説明文である。空欄 **ア** ～ **シ** に入る適切な語句や式を答えよ。ただし、温度は 25 °C とする。

pH 指示薬はそれ自身が弱酸，あるいは **ア** である。例えば，HIn と表された指示薬は水溶液中で，

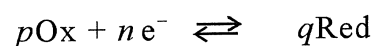


の様な解離平衡状態にある。その平衡定数を K_{In} とし，生成イオンの活量係数を 1 とすると，水溶液の pH は各成分のモル濃度を使って以下の式で表される。

$$\text{pH} = \text{p}K_{\text{In}} + \text{イ}$$

よって，水溶液の pH が $\text{pH} \ll \text{p}K_{\text{In}}$ のとき，**ウ** 成分が過剰となり， $\text{pH} \gg \text{p}K_{\text{In}}$ のときは，**エ** 成分が過剰となる。このとき，HIn と In^- 水溶液の **オ** スペクトルに違いが生じると， $\text{p}K_{\text{In}}$ を中心に水溶液の色調が変わることになる。一般に，色の濃さが他成分の 10 倍濃いと肉眼による識別が可能なので，指示薬の変色域は $\text{pH} = \text{p}K_{\text{In}} \pm \text{カ}$ の幅を持つ。指示薬は滴定による当量点の決定に利用され，その際，指示薬の **キ** が当量点の pH に近い指示薬を選択する。

ネルンストの式は半反応の電位 E と，半反応を構成する物質の **ク** を結びつける式である。半反応式として以下の式が与えられたとき，



(Ox : 酸化体，Red : 還元体， e^- : 電子， n と p と q は化学量論数)

ネルンストの式は，全ての成分の活量係数を 1 として，

$$E = E^\circ + \text{ケ} \log_{10} \text{コ}$$

と定式化される。ここで， E° は標準酸化還元電位である。例えば，溶液中の還元体成分の濃度が増大すると， E は **サ** なる。また，2 つの溶液をつないで電池を構成すると，ネルンストの式により各溶液の E が計算できるので，電池の **シ** が計算できる。

IV. 25 °C において CO_2 濃度が 405 ppm の大気中に純水がさらされ、 CO_2 飽和水溶液が調製された。大気圧は 1.00 atm とする。この水溶液に関する以下の問題 1 ～ 7 に答えよ。計算値は、計算過程が分かるようにして有効数字 3 桁で答えよ。単位付数値は単位まで記すこと。なお、 H_2O と CO_2 の分子量はそれぞれ 18.0 と 44.0、純水の密度は 0.997 g cm^{-3} 、 H_2CO_3 の 1 段目と 2 段目の酸解離定数はそれぞれ $\text{p}K_{\text{a}1} = 6.35$ と $\text{p}K_{\text{a}2} = 10.33$ 、水のイオン積は $\text{p}K_{\text{w}} = 14.0$ 、生成イオンの活量係数は全て 1 とする。

1. ヘンリーの法則に従えば、 CO_2 飽和水溶液の CO_2 成分のモル分率 x と CO_2 の分圧 P (atm) との間に、 $P = 1640 x$ の関係が成立する。問題の条件下における P と x の値をそれぞれ求めよ。
2. 問題 1 の CO_2 モル分率 x を基に、 CO_2 飽和水溶液の CO_2 モル濃度 C を求めよ。なお、 CO_2 の溶解に伴う水溶液の体積変化は無視できるものとする。
3. 純水に溶解した全ての CO_2 が水と反応し、 H_2CO_3 が生成したとする。 $K_{\text{a}1}$ と $K_{\text{a}2}$ を生成物のモル濃度を使ってそれぞれ定式化せよ。
4. $\text{pH} \leq 7$ の水溶液中では、 H_2CO_3 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} の中に、その存在が無視できる成分が 1 つある。それはどれか、理由とともに示せ。
5. 問題 4 の結果を考慮し、 CO_2 飽和水溶液中で成立する電荷均衡（電荷中和の原則）の式と、質量均衡（質量保存の法則）の式をそれぞれ立てよ。
6. この CO_2 飽和水溶液の pH を求めよ。
7. 大気中の CO_2 溶解による水溶液の pH 変動を防ぐためには、どのようにすれば良いか答えよ。

物理化学

科目名：物理化学

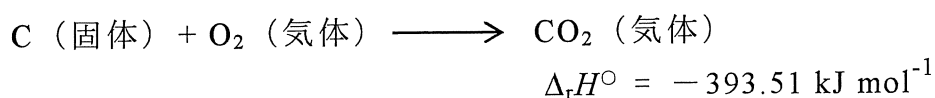
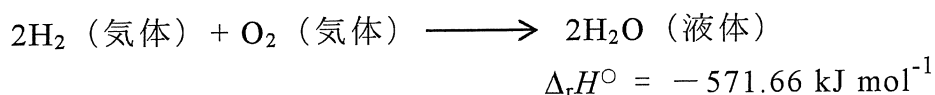
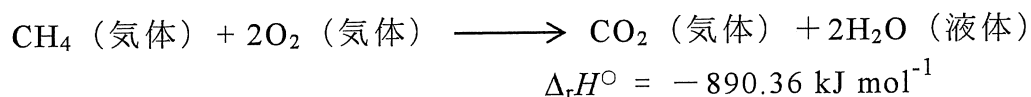
物理化学の問題Ⅰ～Ⅲに答えよ。解答用紙の受験科目欄に問題番号も含む形で「物理化学Ⅰ」,「物理化学Ⅱ」,「物理化学Ⅲ」のように記入すること。

Ⅰ. 以下の問題1～4に答えよ。なお, 計算過程も示し, 答えにはアンダーラインを引くこと。

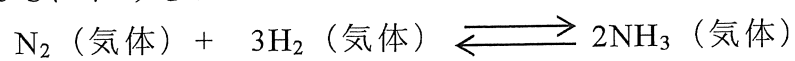
1. $1.00 \times 10^2 \text{ g}$ の銅の塊を 90.0°C に加熱して, 5.0°C の水 $3.00 \times 10^2 \text{ g}$ が入ったビーカーに移した時, 銅と水の温度は最終的に 7.5°C になった。この銅の (a) 熱容量, (b) 比熱容量, (c) モル熱容量はいくらか。ただし, 系の外への熱損失はないものとする。水の比熱容量は $4.18 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$, 銅のモル質量は 63.55 g mol^{-1} とする。

2. 0°C の水 $3.00 \times 10^2 \text{ g}$ を融解し, 温度を 100°C まで上げ, その温度で蒸発してしまうまでに熱として加えるべきエネルギーを求めよ。なお, 液体の水のモル定圧熱容量は $75.29 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ で一定, 水のモル質量は 18.0 g mol^{-1} とする。また, 相転移温度における標準融解エンタルピーおよび標準蒸発エンタルピーはそれぞれ $+6.01 \text{ kJ mol}^{-1}$ および $+40.7 \text{ kJ mol}^{-1}$ とする。

3. 次の標準反応エンタルピー $\Delta_r H^\circ$ のデータからメタン (気体) の標準生成エンタルピー $\Delta_f H^\circ$ を求めよ。



4. 25℃におけるアンモニアの合成反応



の平衡定数は 5.8×10^5 である。標準反応ギブズエネルギーを求めよ。ただし、気体定数は $8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ とする。

Ⅱ．以下の問題 1 ～ 3 に答えよ。なお，問題 2，3 については計算過程も示し，答えにはアンダーラインを引くこと。

1．以下の語句について簡単に説明せよ。

(1) ビリアル状態方程式

(2) 疎水性相互作用

(3) 水素結合

2．次の設問 (1)，(2) に答えよ。ただし，気体定数は $8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ とする。

(1) ファンデルワールスの状態方程式を記せ。また，1.25 g の気体窒素 (N_2 ，分子量 28.0) が 20°C で $2.50 \times 10^2 \text{ cm}^3$ の容器に入っている。この気体をファンデルワールス気体と仮定した場合の圧力を求めよ。ただし，ファンデルワールスのパラメーターは $a = 0.1370 \text{ Pa m}^6 \text{ mol}^{-2}$ ， $b = 3.87 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$ とする。

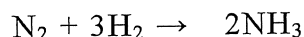
(2) 気体分子の平均自由行程について説明せよ。また，窒素分子の 20°C ，圧力 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ における平均自由行程を求めよ。衝突断面積は 0.43 nm^2 である。

3．塩化カリウム KCl (固体) の格子エンタルピーを求めよ。ただし，以下の現象にともなうエンタルピー変化は下記の通りとする。

K(固体)の昇華	$+89 \text{ kJ mol}^{-1}$
K(気体)のイオン化	$+418 \text{ kJ mol}^{-1}$
Cl_2 (気体)の解離	$+244 \text{ kJ mol}^{-1}$
Cl(気体)への電子付加	-349 kJ mol^{-1}
KCl (固体) の生成	-437 kJ mol^{-1}

Ⅲ 以下の問題 1～4 に答えよ。なお計算過程も示し、答えには必ず単位を付け、アンダーラインを引くこと。

1. ハーバー・ボッシュ法におけるアンモニアの生成反応



において、水素の減少速度が $6.3 \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ であった。アンモニアの生成速度はいくらか。

2. ある生化学過程の反応の活性化エネルギーが 20 kJ mol^{-1} であった。温度が 37°C から 15°C に減少すると反応速度は 37°C の時と比較して何%になるか。アレニウスの式を用いて答えよ。また絶対 0 度は -273°C 、気体定数 R を $8.31 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$ とする。

アレニウスの式は以下で表される。

$$\text{アレニウスの式: } k = Ze^{-\frac{E}{RT}}$$

k : 速度定数, Z : 頻度因子, E : 活性化エネルギー

3. 反応 $\text{A} \rightarrow \text{生成物}$ は一次反応であり、速度式は k を速度定数として、以下のように書けるものとする。A の初濃度を $[\text{A}]_0$ としたとき、任意の時間 t における A の濃度 $[\text{A}]$ を積分形速度式から求めよ。

速度式:

$$-\frac{d[\text{A}]}{dt} = k[\text{A}]$$

ただし

$$\int_{[\text{A}]_0}^{[\text{A}]} \frac{d[\text{A}]}{[\text{A}]} = \ln[\text{A}] - \ln[\text{A}]_0$$

である。

4. ^{14}C は 1 次の反応速度に従って放射性壊変し、その半減期は 5730 年である。ある考古学的木材試料の ^{14}C 含有量は生きている木の 69% であった。その試料は何年前のものと考えられるか。