(2020 前)

理　　科

・ページ番号のついていない白紙は下書き用紙である。

注意　解答はすべて答案用紙の指定のところに記入しなさい。

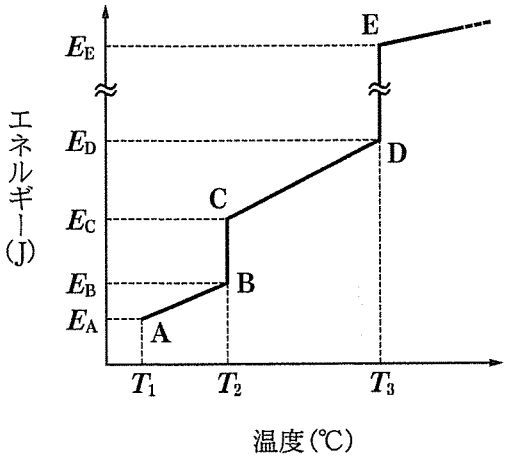
物　理	75 点
化　学	75 点
生　物	75 点
地　学	75 点

化　　学

計算のために必要であれば，次の値を用いなさい。
原子量：H 1.00　C 12.0　N 14.0　O 16.0　Cu 63.5
ファラデー定数：9.65×10^4 C/mol

Ⅰ　物質の三態に関する次の文章を読んで問 1 ～ 6 に答えなさい。(配点 19 点)

容器内に物質量 n mol の分子結晶が入っている。圧力を一定に保った容器に温度 T_1 の状態から一定の速度で熱量を加えていくと，物質に加えたエネルギーと温度の相関に関する下図の結果が得られた。



問 1　AB 間，BC 間，CD 間，DE 間の各領域はそれぞれどのような状態か。以下の①～⑦の中から適切な状態を 1 つずつ選び，番号で答えなさい。

① 固体　② 液体　③ 気体　④ 固体と液体
⑤ 固体と気体　⑥ 液体と気体　⑦ 固体と液体と気体

問 2　図の結果からこの物質の融解熱と蒸発熱はそれぞれ何 J/mol と表されるか。表す式を答えなさい。

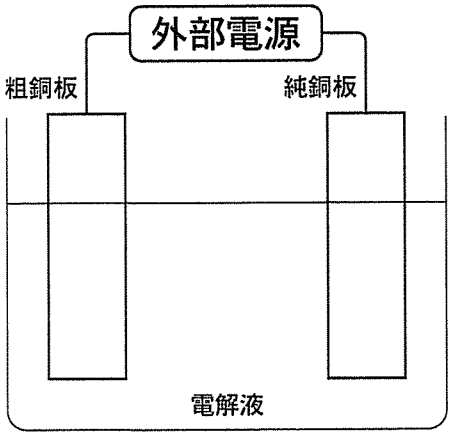
問 3　分子量 M で表されるこの分子結晶 W g の温度を T ℃上昇させるのに必要なエネルギーは何 J と表されるか。その式を答えなさい。ただし，状態変化は起こらないとする。

問 4　BC 間，DE 間ともに，温度が一定に保たれているのはなぜか。その理由を説明しなさい。

問 5　圧力を制御できる容器内に氷またはドライアイスを入れて加熱し，それぞれの融点を調べた。氷およびドライアイスの融点は，容器内の圧力を高くしていくと，それぞれどのようになるか答えなさい。

問 6　魔法瓶のような熱を通さない容器内に 50 ℃の水 100 g が入っている。この水に 0 ℃の氷 36 g を入れた場合，物質の温度は何 ℃になるか。計算の過程とともに有効数字 2 桁で答えなさい。ここで，水の比熱を 4.2 J/(g･K)，氷の融解熱を 6.0 kJ/mol とする。

Ⅱ　銅の電解精錬に関する次の文章を読んで問１～５に答えなさい。(配点 18 点)



銅の電解精錬は，銅以外の金属不純物を含む粗銅板を [(1)] 極に，薄い純銅板を [(2)] 極として使用し，硫酸酸性硫酸銅(Ⅱ)水溶液を電解液として，0.3 V 程度の低電圧で電気分解を行うことにより [(2)] 極に純度 99.99% 以上の純銅が析出する。また，電気分解中に粗銅板の下には沈殿が生成する。この電気分解において，電極表面からの気体の発生はないものとする。

問 1　(1)，(2) に入る適切な用語を記述しなさい。

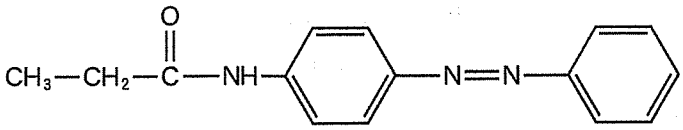
問 2　電気分解の際に粗銅板で起こる銅の化学変化を表す反応式を書きなさい。

問 3　粗銅板には不純物として Ag，Fe，Ni，Pb，Zn が含まれていた。電解精錬後に粗銅板の下に生成した沈殿の元素分析を行ったところ，上記の不純物のうち 2 種類の元素が検出された。これら 2 種類の元素として適切なものを上記の不純物から選択し解答欄に記入しなさい。またそれぞれの元素を含む物質が沈殿する理由について簡潔に説明しなさい。

問 4　電流値 150 A で 2 時間 40 分 50 秒の電気分解を行った場合，質量何 g の純銅が析出するか，計算過程を明記し，有効数字 3 桁で求めなさい。

問 5　電解精錬による電解液中の Cu^{2+} の総量の変化について｛増加する・減少する・変化しない｝のいずれかから選択し丸で囲みなさい。また，その理由を説明しなさい。

Ⅲ　次の文章を読んで問１～７に答えなさい。なお，構造式は以下の例にならって書きなさい。（配点 19 点）



$C_{11}H_{14}O_3$ で表される芳香族化合物 A，B，C，D，E がある。それらすべての化合物は塩化鉄（Ⅲ）水溶液で呈色した。A，B，C，D を加水分解して中和すると，化合物 F，G，H，I が生成した。また同時に，それら全ての溶液に化合物 J も含まれていた。J はナトリウムフェノキシドと二酸化炭素を加熱・加圧して反応させた後，希硫酸で処理して生じた化合物と同じであった。化合物 F，I を硫酸酸性の二クロム酸カリウムと反応させたところ，F からはケトンが生じたが，I は酸化されなかった。F，G，H，I を濃硫酸と加熱すると，分子内反応により G からはアルケン K が，H，I からは同一のアルケン L が，F からは化合物 K を含む複数のアルケンが生じた。化合物 E を加水分解後，中和すると二つの置換基を有する芳香族化合物 M が生じた。化合物 M のベンゼン環上の水素原子の一つを塩素原子に置換した化合物には 3 種類の異性体が存在した。

問 1　化合物 J の構造式を書きなさい。

問 2　化合物 F，G，H，I のうち，金属ナトリウムと反応する化合物をすべて記号で答えなさい。該当する化合物がない場合は「なし」と書きなさい。

問 3　化合物 F，G，H，I のうち，不斉炭素を有する化合物をすべて記号で答えなさい。該当する化合物がない場合は「なし」と書きなさい。

問 4　化合物F，G，H，Iのうち，それを酸化する過程で生じる物質が銀鏡反応を示しうる化合物をすべて記号で答えなさい。該当する化合物がない場合は「なし」と書きなさい。

問 5　化合物F，G，H，Iのうち，ヨードホルム反応を示す化合物をすべて記号で答えなさい。該当する化合物がない場合は「なし」と書きなさい。

問 6　下線部において生じた，化合物Kを含むすべてのアルケンの構造式を書きなさい。ただし，幾何異性体がある場合は区別しなさい。

問 7　化合物Mの構造式を書きなさい。

Ⅳ　次の文章を読んで問1～7に答えなさい。(配点19点)

天然のアミノ酸は，一般式 $RCH(NH_2)COOH$ で表される。ここでRは側鎖とよばれ，アラニン($R = CH_3$-)のようにアルキル基を含むもの，グルタミン酸($R = HOOC(CH_2)_2$-)のようにカルボキシ基を含むもの，リシン($R = H_2N(CH_2)_4$-)のようにアミノ基を含むものなど，約20種類がある。カルボキシ基は［　ア　］性，アミノ基は［　イ　］性を示す官能基である。そのため，アミノ酸は中性水溶液中では電離し，分子内に正と負の両電荷をもつ［　ウ　］イオンとなる。分子のもつ正電荷と負電荷を足した値を，分子の正味の電荷という。中性水溶液中での正味の電荷を価数で表すと，その値はアラニンでは［　a　］，グルタミン酸では［　b　］，リシンでは［　c　］である。

タンパク質は多数のアミノ酸がアミド結合によって縮合した鎖状高分子であり，この時のアミド結合を特に［　エ　］結合という。タンパク質中のアミノ基は無水酢酸と反応し，タンパク質の一つであるシトクロム *c* はこの反応に伴って，分子量が12360から13160へと変化する。

タンパク質には酵素(E)として働くものがあり，生体内で様々な反応の触媒として機能する。酵素には触媒としての作用を示す活性部位があり，ここに基質(S)を取り込んで酵素-基質複合体(ES)を形成する。ここから反応が進行して生成物(P)を与えて，酵素(E)が再生する。また酵素-基質複合体から酵素と基質に戻る反応も起こる。これらの反応をまとめて式(1)のように表すことができる。

$$\mathrm{E} + \mathrm{S} \underset{k_2}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} \mathrm{ES} \xrightarrow{k_3} \mathrm{E} + \mathrm{P} \qquad (1)$$

ここで，k_1[L/(mol・s)]，k_2[/s]，k_3[/s]は式(1)に示した矢印に対応する各反応の反応速度定数である。酵素反応が式(1)に示したような経路で進行し，ES の生成と分解の速度がつり合いの状態にあった。このとき，反応速度 V[mol/(L・s)]は式(2)で表すことができる。

$$V = \frac{k_3[\mathrm{E}]_\mathrm{T}[\mathrm{S}]}{K_\mathrm{M} + [\mathrm{S}]} \qquad (2)$$

$$\text{ただし，}\quad K_\mathrm{M} = \frac{k_2 + k_3}{k_1}$$

ここで，$[\mathrm{E}]_\mathrm{T}$ は反応に用いた酵素の全濃度であり，[S]は基質の濃度である。

キモトリプシンはアミド結合の加水分解の触媒として作用する加水分解酵素の一種であり，式(1)に従って酵素反応を起こす代表的なものである。

問 1　文中の［ア］～［エ］に入る適切な語句を答えなさい。

問 2　文中の［a］～［c］に入る適切な数値を符号をつけて答えなさい。

問 3　文中下線部のアミノ基をもつタンパク質を R′-NH_2 とし，このタンパク質と無水酢酸との反応を反応式で示しなさい。ここで R′- 以外は化合物を構造式で表すこと。

問 4　アミノ基と無水酢酸の反応に伴う分子量の変化から，シトクロム c が含むアミノ基の数を計算し，最も近い整数で答えなさい。計算過程も示すこと。

問 5　k_1，k_2，k_3，および $[\mathrm{E}]_\mathrm{T}$ が変化せず一定の値をとるとき，酵素反応の最大速度 V_{max} を表す式を式(2)より導き答えなさい。

問 6　アミド結合を持つある化合物(基質 S_1)を，キモトリプシンと反応させた場合，反応速度定数は，$k_1 = 5.05 \times 10^8$ L/(mol・s)，$k_2 = 1000$/s，$k_3 = 10$/s である。このとき，K_M の値を単位も含めて答えなさい。

問 7　キモトリプシンの全濃度($[E]_T$)を 1.0×10^{-6} mol/L で一定にし，基質 S_1 との反応を測定した。この時の酵素反応の最大速度 V_{max} を計算し，解答欄のグラフ中，基質濃度 0 ～ 20×10^{-6} mol/L の範囲に対し破線(－－－)による直線で示しなさい。

また，基質濃度($[S_1]$)を 0 ～ 20×10^{-6} mol/L の範囲で変化させた場合，この酵素反応の反応速度 V が $[S_1]$ に対してどのように変化するかを，解答欄のグラフ中に実線(———)で示しなさい。