福井大学

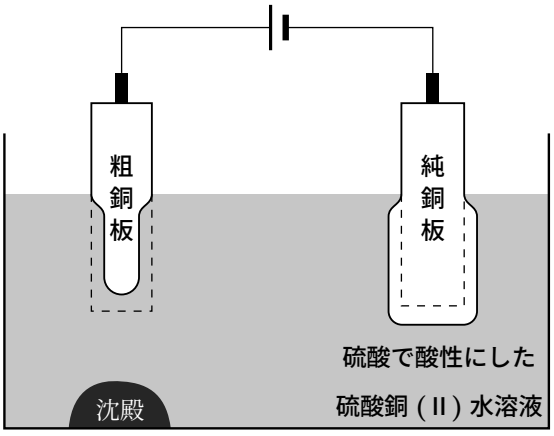
2026 年度　前期日程　化学

（理科 2 科目　120 分）

Ⅰ 次の文章を読み，以下の問 1〜4 に答えなさい。必要ならば，次の数値を用いなさい。

原子量：Cu = 63.5，$F = 9.65 \times 10^4\,\mathrm{C/mol}$

黄銅鉱から製錬によって得られた粗銅には，まだ少量の不純物が含まれている。そのため，粗銅を(a)陽極，純銅を陰極とし，硫酸銅 (Ⅱ) 水溶液の電気分解を 0.2〜0.5 V の低い電圧で行い，純度 99.99 % 以上の銅を得ている (図Ⅰ − 1)。このように電気分解を利用して，金属の純度を高める操作を［（ア）］という。この際，粗銅中の不純物の中には，陽イオンとなって溶け出し，水溶液中にとどまるものがある。不純物の種類(b)によっては，陽極の下に沈殿するものもある。この沈殿を［（イ）］という。



図Ⅰ − 1　電気分解を利用した銅の製造

問 1　［（ア）］と［（イ）］に入る適切な語句を答えなさい。

問 2　下線部 (a) について，陽極と陰極での銅の反応を電子 e^- を用いた反応式でそれぞれ答えなさい。

問 3　陽極と陰極それぞれに純銅を用い，硫酸銅 (Ⅱ) 水溶液を 9.65×10^{-1} A で 2 時間 46 分 40 秒間電気分解を行った。陰極の質量は何 g 変化したか求めなさい。答えを導く過程とともに有効数字 3 桁で答えなさい。

問 4　下線部 (b) について，不純物が異なる以下の二つのケースに関する次の (1)〜(5) に答えなさい。

ケース 1　不純物として，粗銅中に金と鉛の 2 種類が含まれる。

ケース 2　不純物として，粗銅中に銀，ニッケル，鉄の 3 種類が含まれる。ただし，陽極におけるこれらの不純物は，単体として沈殿するか，陽イオンとなるかのいずれかであるとし，両者は完全に分離されるものとする。また，図Ⅰ－ 1 の沈殿の構成成分は，上記 3 種類の不純物のいずれかとする。

(1) ケース 1 では，鉛は化合物 A となって，金とともに図Ⅰ－ 1 の沈殿の成分となる。化合物 A の化学式を答えなさい。

(2) ケース 1 の図Ⅰ－ 1 の沈殿に含まれる金は，濃硝酸と濃塩酸を 1：3(体積比) の混合液に溶解する。この混合液の名称を答えなさい。

(3) ケース 2 の 3 種類の不純物のうち，陽イオンとして水溶液中にとどまるものをすべて答えなさい。

(4) ケース 2 の図Ⅰ－ 1 の沈殿を分離回収し，希硝酸に溶解した後，得られた水溶液に臭化カリウム水溶液を加えると沈殿 B が生じた。沈殿 B に光を当てると，分解して微粒子が遊離した。沈殿 B の分解反応の化学反応式を答えなさい。

(5) 沈殿 B はチオ硫酸ナトリウム水溶液に溶解する。この溶解反応の反応式を答えなさい。

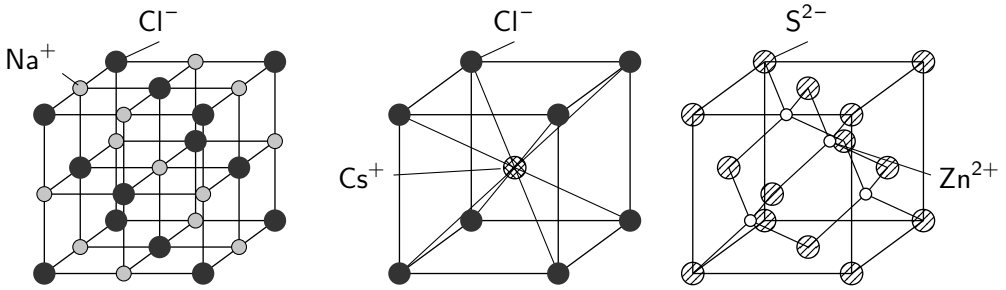
II 次の文章を読み，問 1〜4 に答えなさい。必要ならば，次の数値を用いなさい。

原子量：Na = 23.0，Cl = 35.5，$\sqrt{2} = 1.414$，$\sqrt{3} = 1.732$

一般的に，物質は気体，液体，固体のいずれかの状態で存在する。固体のうち，構成原子や分子，イオンなどの粒子が不規則に配列したものを［ (ア) ］と呼び，規則正しく配列したものを結晶と呼ぶ。さらに，結晶は構成する粒子がどのような結合によって結びついているかによって大別され，特に，ナトリウムイオン Na^+ や塩化物イオン Cl^- といった，多数の陽イオンや陰イオンが，［ (イ) ］力によって結合を形成して規則正しく配列したものをイオン結晶という。イオン結晶の特徴として，水に溶けやすく (a)，かたくてもろい (b) という性質がある。

陽イオンと陰イオンの数の比が 1：1 であるイオン結晶の構造には，図Ⅱ－ 1 に示すように，塩化ナトリウム NaCl 型，塩化セシウム CsCl 型，硫化亜鉛 ZnS 型などがある。これら単位格子中に含まれるイオンの総数は，NaCl 型が［ (ウ) ］個，CsCl 型が［ (エ) ］個，ZnS 型が［ (オ) ］個である。ある

陽イオンと陰イオンの組み合わせがどの単位格子をもつかは，陽イオンと陰イオンの半径比(c)によって左右され，そのイオン結晶が安定かどうかの目安として格子エネルギーが用いられる。イオン結晶の格子エネルギーとは，結晶を構成するイオンをばらばらの気体にするのに必要なエネルギーである。



NaCl 型の単位格子　　**CsCl 型の単位格子**　　**ZnS 型の単位格子**

図Ⅱ－１　イオン結晶の単位格子

問 1　［（ア）］と［（イ）］に入る適切な語句を，［（ウ）］～［（オ）］に入る適切な数値を答えなさい。

問 2　下線部 (a) に関して，次の (1) と (2) に答えなさい。

イオン結晶の溶解に伴うエンタルピー変化は，一定の圧力のもとで，反応に伴って生じる熱量を測定することで求めることができる。そこで，図Ⅱ－２に示す装置を用いて，固体の NaCl の溶解に伴う温度変化を測定したところ，表Ⅱ－１の結果が得られた。ただし，反応熱は全て水溶液の温度変化に使われたものとする。

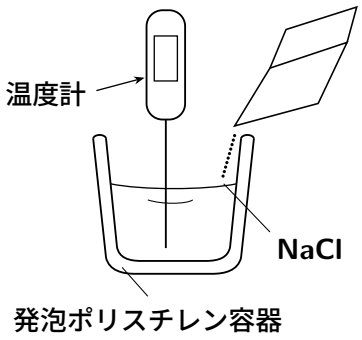


図 II － 2　熱量の測定

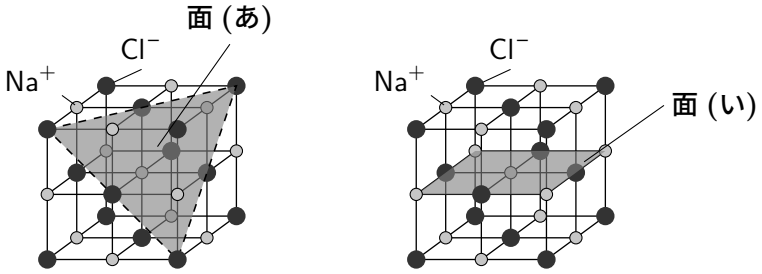
表 II － 1　実験結果

水の質量	NaCl の質量	溶解前の温度	溶解後の温度
60.00 g	10.00 g	18.14 ℃	15.88 ℃

(1) この実験から求められる NaCl の溶解エンタルピーは何 kJ/mol か，答えを導く過程とともに有効数字 3 桁で答えなさい。ただし，水溶液の比熱は 4.18 J/(g·K) とする。

(2) NaCl の水への溶解は吸熱反応であり，反応が自発的に進まないように思われる。しかし，NaCl は水に自発的に溶解する。この理由を溶解のエンタルピーとエントロピーという言葉を用いて説明しなさい。

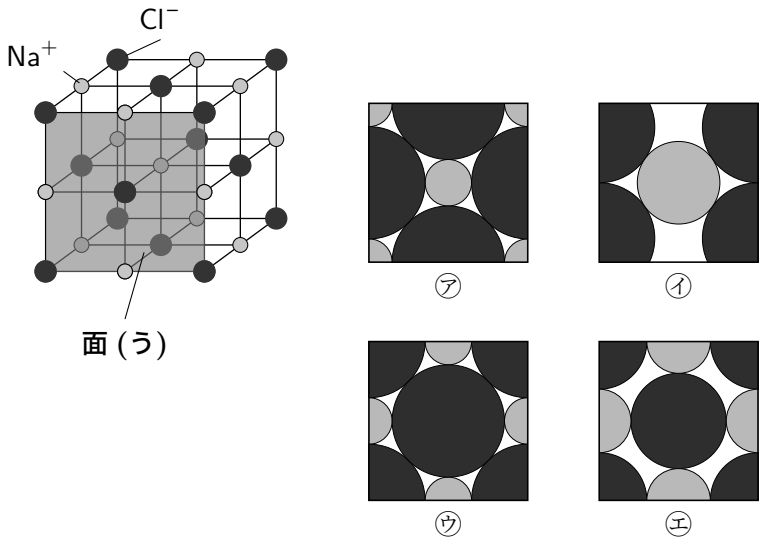
問 3　下線部 (b) に関して，イオン結晶のもろさは，外力により結晶の格子面がずれることに関係している。図Ⅱ－ 1 に示す NaCl 型の単位格子において，NaCl のイオン結晶は，下の図の面 (あ) に沿ってよりも面 (い) に沿って割れやすい。この理由を説明しなさい。



問 4　下線部 (c) に関して，次の文章を読み，次の (1)〜(3) に答えなさい。

図Ⅱ－ 1 に示す NaCl 型単位格子において，イオン結晶が不安定となる陽イオン半径 r_+ と陰イオン半径 r_- の比 $\dfrac{r_+}{r_-}$ について考える。特に，陽イオンを小さくしていき，陰イオンどうしがちょうど接触した時の結晶格子から求まる半径比を限界半径比と呼ぶ。

(1) 陽イオンを小さくし，陰イオンどうしがちょうど接触した時の，下の図の面 (う) の断面として正しいものを次の㋐〜㋓の中から選びなさい。



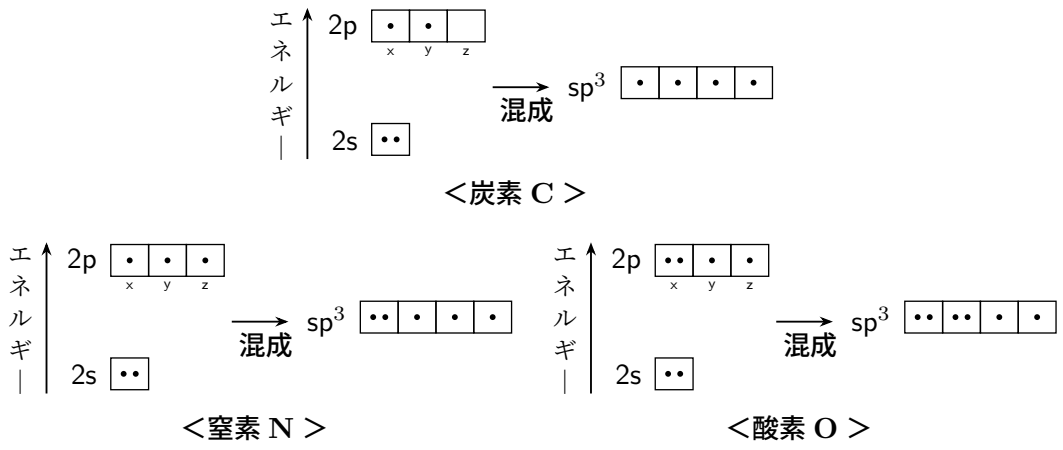
(2) NaCl 型単位格子の限界半径比を求めなさい。答えを導く過程とともに有効数字 3 桁で答えなさい。

(3) CsCl 型単位格子の限界半径比を求めなさい。答えを導く過程とともに有効数字 3 桁で答えなさい。

III 次の混成軌道に関する文章を読み，以下の問 1〜4 に答えなさい。

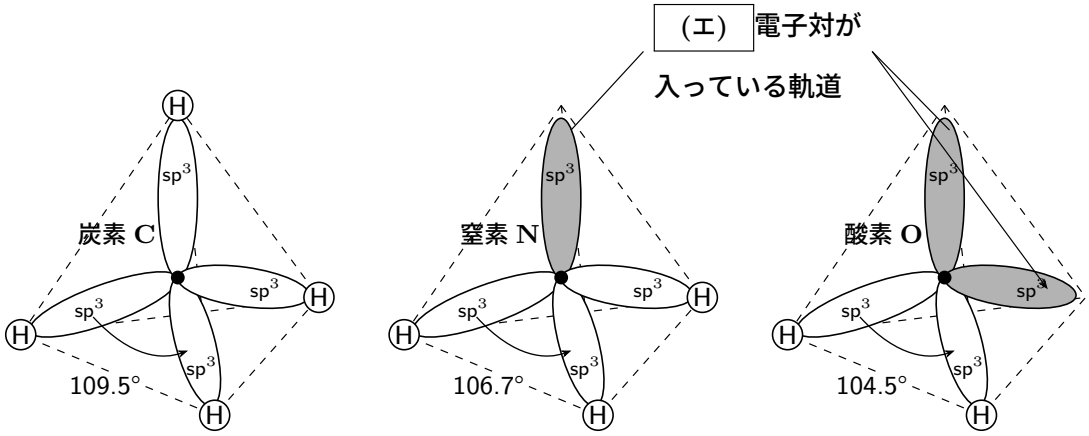
原子における電子の軌道には［ (ア) ］状の s 軌道や亜鈴形状の p 軌道がある。s 軌道と p 軌道が互いに影響を与えて新しい軌道に生まれ変わるという現象が起こる。これを混成とよび，それによってできた軌道を混成軌道という。

炭素 C の電子配置は，$1s$[↑↓]，$2s$[↑↓]，$2p_x$[↑] $2p_y$[↑] $2p_z$[ ]である。2s 軌道と 2p 軌道の間にはエネルギー差があるが，2s 軌道 1 つと 2p 軌道 3 つの間で，エネルギーの等しい 4 つの sp^3 混成軌道ができると，炭素 C の電子配置は，$1s$[↑↓]，sp^3[↑][↑][↑][↑]となる (図III－1)。



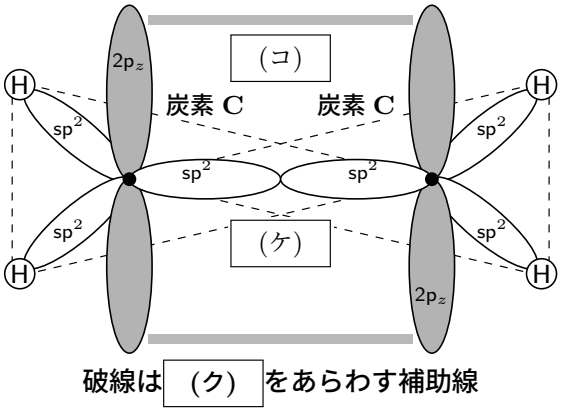
図Ⅲ－ 1　炭素 C，窒素 N，酸素 O の sp^3 混成軌道の電子配置図 (1s 軌道は省略)

この状態で，4 つの水素 H の 1s 軌道にある［（イ）］電子が，それぞれ 4 つの sp^3 混成軌道の［（イ）］電子と共有結合を形成するとメタン CH_4 となる。メタンの構造は，［（ウ）］の重心に C があり，各 4 つの頂点に sp^3 混成軌道が配向して H が結合している型をとる (図Ⅲ－ 2)。すべての H–C–H の結合角は 109.5° となる。窒素 N と酸素 O も同様に sp^3 混成軌道をとり (図Ⅲ－ 1)，それぞれ，アンモニア NH_3 と水 H_2O を形成している (図Ⅲ－ 2)。NH_3 には 1 つの［（エ）］電子対があり，これを含めると［（ウ）］に近い構造となるが，［（エ）］電子対による［（オ）］が 3 つの H–N–H 結合角を圧迫し，その角度が 106.7° に狭められている。しかし，プロトン H^+ と結合するとアンモニウムイオン NH_4^+ となり，この構造はメタンと同様になる。また，H_2O には 2 つの［（エ）］電子対があり，NH_3 に比べ H–O–H 結合角はさらに強く圧迫されて 104.5° になる。H_2O は，プロトン H^+ と結合すると［（カ）］となり NH_3 と同様の構造をとる。さらに，氷では，水分子間に働く［（キ）］結合により結晶構造をとるが，この時の H–O–H の結合角のひずみは，メタンのように解消されているという。



図Ⅲ－ 2　メタン，アンモニア，水の分子の形

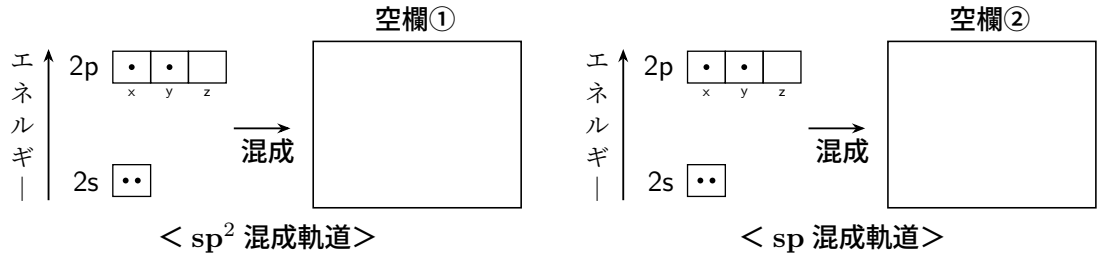
sp^3 混成軌道以外にも s 軌道 1 つと p 軌道 2 つから成る sp^2 混成軌道や，s 軌道 1 つと p 軌道 1 つから成る sp 混成軌道も可能である。エチレン C_2H_4 の C は，(ク) の中心から 3 つの頂点に伸びた sp^2 混成軌道をとっている。この場合，混成軌道に加わらなかった $2p_z$ 軌道は，3 つの sp^2 混成軌道と直交する方向に伸びている。まず，エチレンの C どうしの 1 つ目の結合はそれぞれ 1 つずつの sp^2 混成軌道から形成される。このようにしてできる結合を (ケ) という。次に，互いの $2p_z$ 軌道でもう 1 つの結合ができる。こうしてできる結合を (コ) という (図Ⅲ－ 3)。残った 4 つの sp^2 混成軌道と 4 つの H が結合するとエチレンの分子が出来上がる。



図Ⅲ－ 3　エチレン (C_2H_4) の分子の形

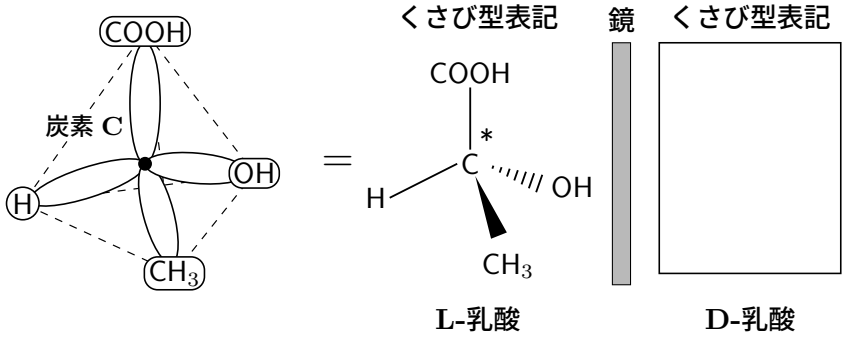
問 1　(ア) ～ (コ) にあてはまる語句を答えなさい。

問 2　下線部で，炭素 C の sp^2 混成軌道および sp 混成軌道の電子配置図を，図Ⅲ－ 1 にならって解答欄の図Ⅲ－ 4 の空欄①と空欄②に，それぞれ記しなさい。



図Ⅲ－ 4　炭素 C の sp^2 混成軌道と sp 混成軌道の電子配置図 (1s 軌道は省略)

問 3　メタンの 3 つの H が，それぞれメチル基 (CH_3)，水酸基 (OH) およびカルボキシ基 (COOH) に置換された化合物は，乳酸である (図Ⅲ－ 5)。4 つのそれぞれ異なる官能基と結合している炭素原子を不斉炭素原子という。また，不斉原子がある場合には，不斉原子 1 つに対し 1 対の鏡像異性体が存在する。図Ⅲ－ 5 には L-乳酸の立体構造をくさび型表記で示した。鏡の右側にその異性体である D-乳酸の構造をくさび型表記で解答欄に記しなさい。

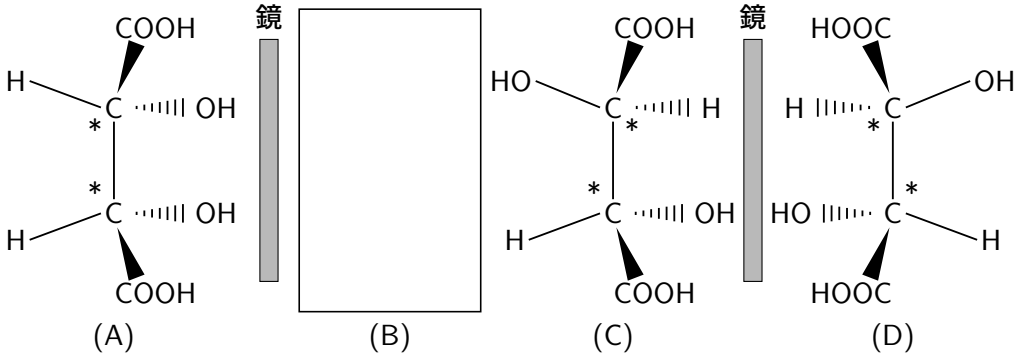


くさび型表記では，実線 (————) で記した結合は紙面上にあり，くさび型で記した太実線 (◣) は紙面から手前側に，破線 (┈┈┈) は紙面の向こう側に向かう結合を示す。また，不斉炭素原子は＊で示す。

図Ⅲ－ 5　乳酸の鏡像異性体の立体構造

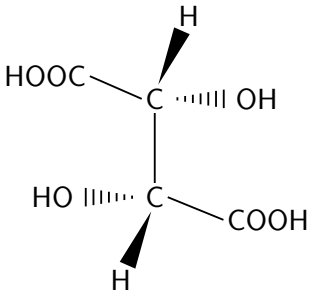
問 4　酒石酸の異性体について，次の (1)〜(3) に答えなさい。

(1) 酒石酸 (HOOCCH(OH)CH(OH)COOH) には 2 つの不斉炭素原子があるため，2 対の鏡像異性体が考えられる。図Ⅲ－ 6 にその 2 対の例を示すため，空欄となっている (B) に該当する構造を図Ⅲ－ 5 のくさび型表記にならって解答欄に記しなさい。



図Ⅲ－ 6　酒石酸の立体構造 (くさび型表記)

(2) 酒石酸の不斉炭素原子どうしの結合は単結合であるため，その結合を軸に回転の自由度がある。この単結合を軸に回転していくと，下記のくさび型表記で示した構造は，図Ⅲ－ 6 のどの構造と重なりあうか，A〜D の記号で答えなさい。



(3) 実際には，酒石酸の立体異性体は 3 種類である。これは，図Ⅲ－ 6 に示した 4 種類のうち 2 種類は鏡像異性体の関係にあるが，残る 2 種類にはその関係が成立しないためである。なぜ鏡像異性体の関係が成立しないのか，その理由を 50〜100 字程度で説明しなさい。

（注）解答欄は 120 字。