

理 科

理科は 物 理 化 学 生 物 のうち 2 科目を選択受験のこと。

物 理 …… 1 頁 化 学 ……17 頁 生 物 ……31 頁

問題 Ⅰ はマークシート方式、Ⅱ は記述式である。

Ⅰ の解答はマークシートに、Ⅱ の解答は解答用紙に記入すること。

〔注 意 事 項〕

1. 監督者の指示があるまでは、この問題冊子を開かないこと。
2. マークシートは、コンピュータで処理するので、折り曲げたり汚したりしないこと。
3. マークシートに、氏名・受験番号を記入し、科目選択・受験番号をマークする。
マークがない場合や誤って記入した場合の答えは無効となる。

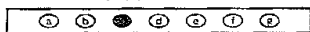
受験番号のマーク例(13015の場合)

| 受 験 番 号 | | | | |
|---------|----|----|----|----|
| 1 | 3 | 0 | 1 | 5 |
| 万位 | 千位 | 百位 | 十位 | 一位 |
| | ○ | ● | ○ | ○ |
| ● | ○ | ○ | ● | ○ |
| ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ○ | ● | ○ | ○ | ○ |
| ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ○ | ○ | ○ | ○ | ● |
| ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

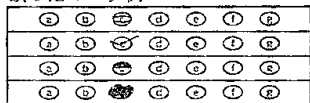
4. マークシートにマークするときは、HB または B の黒鉛筆を用いること。誤ってマークした場合には、消しゴムで丁寧^{ていねい}に消し、消し^{ていねい}くずを完全に^{ていねい}取り除いたうえで、新たにマークし直すこと。
5. 下記の例に従い、正しくマークすること。

(例えば c と答えたいとき)

正しいマーク例



誤ったマーク例



- をする
- ✓をする
- 完全にマークしない
- 枠からはみ出す

6. 各科目とも基本的に正解は一つであるが、科目によっては二つ以上解答を求めている場合があるので設問をよく読み解答すること。
7. 解答は所定の位置に記入すること。

化 学

必要なら次の値を用いなさい。

原子量：H = 1.0, C = 12, O = 16, Na = 23, S = 32, Cu = 64,

アボガドロ定数： $6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$, ファラデー定数： $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ 。

すべての気体は理想気体として扱うものとする。

ただし、気体定数 R は $8.0 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$ として計算しなさい。

I 以下の問題(第1問～第4問)の答えをマークシートに記しなさい。

第1問 エタノール, メタン, 酸素, および二酸化炭素に関して, 次の各問いに答えなさい。〔解答番号 ~ 〕

問 1 次の問い(a)~(d)に答えなさい。

(a) 液体のエタノールを温度 370 K ですべて蒸発させて気体にしたところ, 圧力は $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ であった。この気体の体積は, もとの液体の体積の何倍になるか。最も近い値を①~⑥の中から一つ選びなさい。ただし, もとの液体のエタノールの密度を 0.8 g/cm^3 として計算しなさい。

倍

- ① 460 ② 515 ③ 540
④ 640 ⑤ 670 ⑥ 805

(b) メタンの結晶において主として寄与している分子間力は何か。正しいものを①~⑥の中から一つ選びなさい。

- ① 共有結合 ② イオン結合
③ 水素結合 ④ 疎水結合
⑤ 金属結合 ⑥ ファンデルワールス力

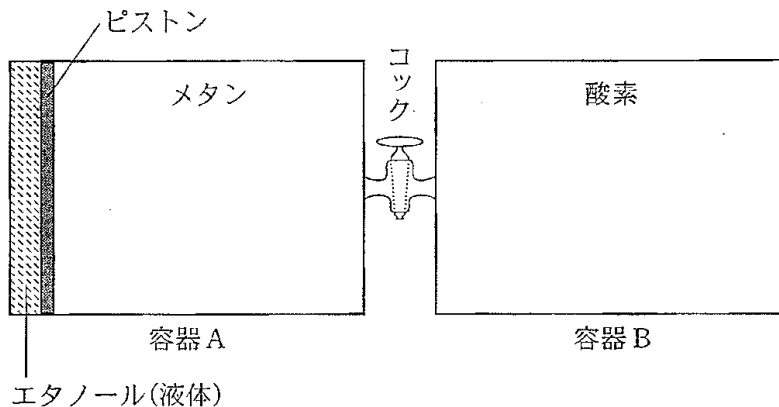
(c) 酸素が発生するのはどれか。正しいものを①～⑥の中から一つ選びなさい。
 い。

- ① 亜鉛に希硫酸を加えると発生する。
- ② 炭酸ナトリウムに塩酸を加えると発生する。
- ③ ギ酸に濃硫酸を加えて加熱すると発生する。
- ④ 水の電気分解の際、陽極に発生する。
- ⑤ 塩化アンモニウムに水酸化カルシウムを加えて加熱すると発生する。
- ⑥ 銅に濃硝酸を加えると発生する。

(d) 二酸化炭素は非共有電子対を何組持っているか。正しいものを①～⑥の中から一つ選びなさい。 組

- ① 0 ② 1 ③ 2 ④ 3 ⑤ 4 ⑥ 5

問 2 図に示すように容器 A と容器 B は閉じたコックで連結しており、容器 A には抵抗なく移動するピストンが備えられている。ピストンの左側にはエタノール(液体)を隙間なく充填してピストンを固定し、ピストンの右側にはメタンを封入した。容器 A の温度は 300 K で、メタンの圧力は 3.2×10^4 Pa であった。ピストン、コックおよび容器の材質は他へ熱を伝えないものとし、ピストン、コックおよび液体の体積は無視してよい。次の問い(a)～(d)に答えなさい。



(a) ピストンの右側の温度を 300 K に保ち、ピストンの左側の温度を 330 K まで上昇させ、ピストンの固定を解除して平衡状態にすると、エタノールは一部気化し、ピストンは右に移動した。この時、気体となったエタノールの物質量は 0.25 mol で、エタノール(気体)の占める体積とメタンが占める体積の比は 1 : 2 であった。次の問い(i), (ii)に答えなさい。

(i) 容器 A に含まれているメタンの物質量はいくつか。最も近い値を①~⑥の中から一つ選びなさい。 mol

- ① 0.35 ② 0.55 ③ 0.67
 ④ 1.0 ⑤ 1.3 ⑥ 1.5

(ii) 330 K におけるエタノールの蒸気圧はいくつか。最も近い値を①~⑥の中から一つ選びなさい。 Pa

- ① 4.0×10^4 ② 4.4×10^4 ③ 4.8×10^4
 ④ 5.3×10^4 ⑤ 6.0×10^4 ⑥ 6.6×10^4

(b) ピストンの右側の温度を 300 K に保ったまま、ピストンの左側の温度を 350 K まで上昇させると、ピストンは(a)の時よりさらに右に移動して止まった。この状態でコックを開いたところ、ピストンは動かず、容器 A のピストンより右側の体積と容器 B の体積の合計が 39.6 L であった。容器 B は温度が 300 K で、コックを開く前にはメタンの物質量の 2 倍の酸素が入っていた。気体として存在するエタノールの物質量はいくつか。最も近い値を①~⑥の中から一つ選びなさい。 mol

- ① 0.35 ② 0.55 ③ 0.67
 ④ 1.0 ⑤ 1.3 ⑥ 1.5

(c) メタンを完全に燃焼させた後、容器 A と容器 B の温度を 350 K に保ったところ、エタノール(液体)が、ちょうどすべて気化して平衡状態となった。350 K における水の蒸気圧を 5.0×10^4 Pa とし、気体の水への溶解を無視できるとする。次の問い(i), (ii)に答えなさい。

(i) 容器に存在する水蒸気の物質量はいくつか。最も近い値を①~⑥の中から一つ選びなさい。 mol

- ① 0.35 ② 0.55 ③ 0.67
④ 1.0 ⑤ 1.3 ⑥ 1.5

(ii) 最初に入っていたエタノールの物質量はいくつか。最も近い値を①~⑥の中から一つ選びなさい。 mol

- ① 0.35 ② 0.55 ③ 0.67
④ 1.0 ⑤ 1.3 ⑥ 1.5

(d) ピストンより左側を 350 K に保ったまま、容器 B を含むピストンの右側を 370 K にして平衡状態にした時、気体として存在するエタノールの物質量はいくつか。最も近い値を①~⑥の中から一つ選びなさい。370 K における水の蒸気圧を 1.0×10^5 Pa とする。 mol

- ① 0.35 ② 0.55 ③ 0.67
④ 1.0 ⑤ 1.3 ⑥ 1.5

第2問 一定体積の容器Aに水素1.26 molとヨウ素1.24 molを加えて温度を650 Kに保ったところヨウ化水素が生成した。反応が平衡に達したところでは容器内のヨウ素が0.24 molになっており、容器の圧力は 1.3×10^6 Paであった。水素、ヨウ素、ヨウ化水素は反応のすべての段階で気体である。次の各問いに答えなさい。〔解答番号 ~ 〕

問1 平衡状態で、ヨウ化水素の分圧は水素の分圧の何倍か。最も近い値を①~⑥の中から一つ選びなさい。 倍

- ① 3.3 ② 3.9 ③ 7.7
④ 8.3 ⑤ 9.6 ⑥ 10

問2 容器Aの体積は何Lか。最も近い値を①~⑥の中から一つ選びなさい。

L

- ① 2.0 ② 4.8 ③ 6.0
④ 8.0 ⑤ 10 ⑥ 12

問3 この温度での平衡定数として最も近い値を①~⑥の中から一つ選びなさい。

- ① 36 ② 49 ③ 54 ④ 61 ⑤ 64 ⑥ 67

問4 真空にした容器Aに2.00 molのヨウ化水素を加え、平衡状態に達するまで650 Kに保った。平衡に達した時のヨウ化水素の物質質量として最も近い値を①~⑥の中から一つ選びなさい。 mol

- ① 0.1 ② 0.2 ③ 0.8
④ 1.2 ⑤ 1.4 ⑥ 1.6

問 5 正反応(ヨウ化水素を生じる反応)の活性化エネルギーは Q_1 [kJ/mol], 逆反応の活性化エネルギーは Q_2 [kJ/mol] であり, $Q_1 < Q_2$ である。また, 正反応の反応速度定数 k_1 [L/(mol·s)], 逆反応の反応速度定数 k_2 [L/(mol·s)] とする。次の問い(a), (b)に答えなさい。

(a) 平衡に達した後に, (I)反応温度を上げる, あるいは, (II)容器 A にアルゴンを加える, の変化を与えた。この時, 平衡定数は(i)~(v)のいずれとなるか。正しい組み合わせを①~⑨の中から一つ選びなさい。 5

- (i) 小さくなる (ii) 大きくなる (iii) 変化はない

| | (I) | (II) | | (I) | (II) | | (I) | (II) |
|---|-----|-------|---|------|-------|---|-------|-------|
| ① | (i) | (i) | ④ | (ii) | (i) | ⑦ | (iii) | (i) |
| ② | (i) | (ii) | ⑤ | (ii) | (ii) | ⑧ | (iii) | (ii) |
| ③ | (i) | (iii) | ⑥ | (ii) | (iii) | ⑨ | (iii) | (iii) |

(b) 触媒を加え水素とヨウ素の反応を行った時, (I)平衡に達するまでに生じた反応熱の値, (II)平衡に達した時の k_1/k_2 の値, はそれぞれ(i)~(iii)のいずれとなるか。正しい組み合わせを①~⑨の中から一つ選びなさい。ただし, 触媒を加えたこと以外の条件変化は無いものとする。 6

- (i) 触媒を加えない時より増加する
(ii) 触媒を加えない時より減少する
(iii) 触媒を加えない時と変化は無い

| | (I) | (II) | | (I) | (II) | | (I) | (II) |
|---|-----|-------|---|------|-------|---|-------|-------|
| ① | (i) | (i) | ④ | (ii) | (i) | ⑦ | (iii) | (i) |
| ② | (i) | (ii) | ⑤ | (ii) | (ii) | ⑧ | (iii) | (ii) |
| ③ | (i) | (iii) | ⑥ | (ii) | (iii) | ⑨ | (iii) | (iii) |

第3問 銅に関する次の各問いに答えなさい。〔解答番号 ~ 〕

問1 次の(イ)~(ホ)に示す反応で、銅(II)イオンの反応に当てはまるものの組み合わせとして正しいものを①~⑧の中から一つ選びなさい。

反応：

- (イ) 水酸化物の沈殿を含む水溶液を加熱すると黒色の酸化物が生じる。
- (ロ) 水酸化物の沈殿を含む水溶液を加熱すると赤色の酸化物が生じる。
- (ハ) 硫酸イオンとの化合物のうち五水和物の結晶を加熱すると白色の無水物になる。
- (ニ) 硫化水素を通じると沈殿ができるが、酸性にすると溶ける。
- (ホ) 少量のアンモニア水を加えると沈殿が生じ、過剰のアンモニア水を加えても沈殿は消えない。

- | | | | |
|------------|------------|------------|------------|
| ① (イ), (ハ) | ② (イ), (ニ) | ③ (イ), (ホ) | ④ (ロ), (ハ) |
| ⑤ (ロ), (ニ) | ⑥ (ロ), (ホ) | ⑦ (ハ), (ニ) | ⑧ (ハ), (ホ) |

問 2 高純度の金属を得るために工業的に電気分解がよく用いられる。硫酸銅(Ⅱ)の希硫酸溶液中で、不純物として Ag, Au, Fe, Ni, Pb を含む粗銅を陽極に、薄い純銅板を陰極にして 0.3~0.4 V 程度の低電圧をかけ電気分解を行った。次の問い(a), (b)に答えなさい。

(a) ある程度電気分解が進んだ後に片方の電極の下に沈殿が見られた。この沈殿の中にはどの不純物に由来する単体あるいは化合物が存在するか。不純物の組み合わせとして正しいものを①~⑧の中から一つ選びなさい。

2

- ① Au, Pb ② Ag, Au ③ Ag, Pb
④ Fe, Ni ⑤ Ag, Au, Pb ⑥ Ag, Au, Ni
⑦ Fe, Ni, Pb ⑧ Ag, Fe, Ni

(b) 硫酸銅(Ⅱ)の希硫酸溶液 1 L を電解槽に入れ、25 A の電流で 1 時間 4 分 20 秒間電気分解を行った。その結果、陽極は 34 g 減少し、溶液中の銅(Ⅱ)イオン濃度が 0.025 mol/L だけ減少した。陽極で減少した不純物の質量は何 g か。最も近い値を①~⑥の中から一つ選びなさい。ただし、電気分解による溶液の体積変化は無いものとする。

3 g

- ① 1.6 ② 2.0 ③ 2.8
④ 3.6 ⑤ 5.2 ⑥ 30

問 3 硫酸銅(Ⅱ)の水に対する溶解度(g/100 g 水)は 60 °C において 40 であり、10 °C において 17 である。60 °C で硫酸銅(Ⅱ)の飽和水溶液を調製し、その一部を取って徐々に 10 °C まで冷却したところ、28.4 g の硫酸銅(Ⅱ)五水和物が析出した。冷却に用いた硫酸銅(Ⅱ)の飽和水溶液は何 g であったか。最も近い値を①~⑥の中から一つ選びなさい。

4 g

- ① 55 ② 100 ③ 115
④ 120 ⑤ 130 ⑥ 173

第4問 炭素、水素のみからなり、互いに異性体の関係にある分子量150以下の化合物A、Bはベンゼン環以外に環状構造を持たない。

化合物Aに触媒存在下で水素を作用させると付加反応が起こり、化合物Cが得られた。化合物Cはベンゼン環に置換基が一つ結合しており、ベンゼンとプロペンから触媒を用いて得ることもできる。この化合物Cを酸素で酸化した後、硫酸で分解したところ、化合物Dおよびベンゼン環を有する化合物Eが得られた。

一方、化合物Bを硫酸酸性の過マンガン酸カリウム水溶液で酸化すると化合物Hが得られた。化合物Hをエチレングリコール(1,2-エタンジオール)と縮合重合させると、直線状の高分子が得られた。化合物Hの異性体の一つを加熱すると脱水反応が起こり、化合物Iが得られた。

次の各問いに答えなさい。〔解答番号 ~ 〕

問1 118 mgの化合物Aを完全燃焼させたところ、二酸化炭素396 mgと水90 mgが得られた。化合物Aの分子式として正しいものを①~⑥の中から一つ選びなさい。

- ① C_9H_{12} ② C_9H_{10} ③ C_9H_8
④ C_7H_{12} ⑤ C_7H_{10} ⑥ C_7H_8

問2 化合物Aにはベンゼン環以外に環状構造を持たない異性体が化合物Aを含めていくつあるか。正しいものを①~⑥の中から一つ選びなさい。

- ① 5 ② 6 ③ 7 ④ 8 ⑤ 9 ⑥ 10

問3 問2の異性体に対して、水素を付加させた時に生じる化合物は何種類あるか。正しいものを①~⑥の中から一つ選びなさい。ただし、ベンゼン環への付加反応は考えないものとする。

- ① 5 ② 6 ③ 7 ④ 8 ⑤ 9 ⑥ 10

問 4 化合物 D の上記以外の合成方法として最も適当なものを①～⑥の中から一つ選びなさい。

- ① 炭酸カルシウムの乾留
- ② 炭酸カルシウム水溶液の加熱
- ③ 1-プロパノールを濃硫酸と加熱
- ④ 1-プロパノールの酸化
- ⑤ 酢酸カルシウムの乾留
- ⑥ 酢酸カルシウム水溶液の加熱

問 5 化合物 E の性質として誤りを含むものを①～⑥の中から一つ選びなさい。

- ① 水酸化ナトリウム水溶液に溶けやすい。
- ② 臭素水を十分に加えると、白色沈殿を生じる。
- ③ 水溶液中でわずかに電離して、炭酸より強い酸性を示す。
- ④ 塩化鉄(III)水溶液を加えると、紫色の呈色反応を示す。
- ⑤ 炭酸水素ナトリウム水溶液に溶けにくい。
- ⑥ 濃硝酸と濃硫酸の混合物(混酸)を加えて加熱すると、ピクリン酸を生成する。

問 6 化合物 E を水酸化ナトリウム水溶液で中和した後、高温・高圧のもとで二酸化炭素と反応させ、これに希硫酸を加えることによって合成される化合物は何か。正しいものを①～⑥の中から一つ選びなさい。

- ① 安息香酸
- ② ベンゼンスルホン酸
- ③ サリチル酸ナトリウム
- ④ サリチル酸
- ⑤ サリチル酸メチル
- ⑥ アセチルサリチル酸

問 7 化合物 E を生じる別の反応には、さらし粉水溶液と反応すると赤紫色を呈する化合物 Z を出発物質とする反応がある。化合物 Z と亜硝酸ナトリウムが低温で反応すると、中間体である化合物 F が生じる。化合物 F は温度を上げると加水分解を起こし、化合物 E、物質 G、および塩化水素が同時に生じる。次の問い(a)、(b)に答えなさい。

(a) 化合物 F が生じる反応を何というか。正しいものを①～⑥の中から一つ選びなさい。

- ① エステル化 ② アセチル化 ③ ジアゾ化
④ スルホン化 ⑤ ニトロ化 ⑥ けん化

(b) 物質 G の製法として正しいものを①～⑥の中から一つ選びなさい。

- ① 酢酸ナトリウムに水酸化ナトリウムを加えて加熱する。
② 亜硫酸ナトリウムに希硫酸を加える。
③ 亜硝酸アンモニウム水溶液を加熱する。
④ 銅に希硝酸を加える。
⑤ 炭化カルシウムに水を加える。
⑥ 塩素酸カリウムに酸化マンガン(IV)を加えて加熱する。

問 8 化合物 H は何か。正しいものを①～⑥の中から一つ選びなさい。

- ① アジピン酸 ② サリチル酸
③ スチレン ④ ベンジルアルコール
⑤ テレフタル酸 ⑥ 酢酸ビニル

問 9 次の化合物のうち、触媒に酸化バナジウム(V)を用いて酸化すると化合物Iを生じるものはどれか。正しいものを①~⑥の中から一つ選びなさい。

10

- ① *o*-クレゾール ② 安息香酸 ③ トルエン
④ *p*-キシレン ⑤ サリチル酸 ⑥ ナフタレン

II 次の各問いの答えを解答用紙に記しなさい。

アルミニウムは13族に属する元素である。単体は軽くて柔らかい金属で、酸素中で高温にすると激しく燃焼する_(A)。アルミニウム粉末と酸化鉄(III)の混合物に点火しても多量の熱を発生して反応する_(B)。

雨水は、人為的に放出された酸性物質が空気中に全くない場合でも二酸化炭素が溶け込んでいて、 $\text{pH} = 5.6 \sim 5.7$ となっている。近年、酸性雨による森林や湖水での被害が世界的に問題となっているが、酸性雨は自動車の排気ガス中の窒素酸化物や化石燃料に含まれる硫黄の燃焼で生じた二酸化硫黄が雨水に溶け込む_(C)ことにより起こる。酸性雨により土壌が酸性化すると植物などの生育に影響を与える。その一つの要因として、酸性化により有毒なアルミニウムイオン濃度が高くなることが考えられる。

水酸化アルミニウムは水に難溶性の水酸化物である。 Al^{3+} として溶ける時の溶解度積は、

$$K_{\text{sp}1} = [\text{Al}^{3+}][\text{OH}^-]^3$$

となる。一方、 $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ として溶ける時の溶解度積は、

$$K_{\text{sp}2} = [\text{H}^+][[\text{Al}(\text{OH})_4]^-]$$

となる。

温度はすべて 25°C で、溶解度積を

$$K_{\text{sp}1} = 5.0 \times 10^{-33} \text{ mol}^4/\text{L}^4$$

$$K_{\text{sp}2} = 4.0 \times 10^{-13} \text{ mol}^2/\text{L}^2$$

とし、水のイオン積を

$$K_{\text{w}} = 1.0 \times 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{L}^2$$

として次の各問いに答えなさい。

必要なら $\log_{10} 2 = 0.30$, $\log_{10} 3 = 0.48$, $\log_{10} 5 = 0.70$ を用いなさい。また、問5～問8で、水酸化アルミニウムの沈殿は水溶液中に残っているものとする。

問 1 下線部(A)で生成した化合物に水酸化ナトリウム水溶液を加えた時の反応式を書きなさい。反応が起きない場合には右辺に×印を書きなさい。

問 2 下線部(B)の反応式を書きなさい。

問 3 空気中の二酸化炭素の組成は体積比で 0.035 % である。二酸化炭素は 1.013×10^5 Pa (大気圧) で 1.0 L の水に 1.5 g 溶ける。大気圧で空気に接している水の二酸化炭素のモル濃度 [mol/L] はいくらか。有効数字 2 桁で答えなさい。ただし、二酸化炭素の水への溶解はヘンリーの法則に従うものとする。

問 4 雨水を純水とみなして、下線部(C)の反応式を書きなさい。

問 5 水に水酸化アルミニウムを加え、pH を変化させた。水溶液中の Al^{3+} の濃度 ($[\text{Al}^{3+}]$) は pH によってどのように変化するか。答えは $\log_{10} [\text{Al}^{3+}]$ を pH の関数として表しなさい。

問 6 水酸化アルミニウム水溶液において、pH = 4.0 の時の Al^{3+} 濃度は、pH = 5.7 の時の Al^{3+} 濃度の何倍か。答えは 1.0×10^X 倍と表した時の指数部分 X を記しなさい。

問 7 水に水酸化アルミニウムを加え、pH を変化させた。水溶液中の $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ の濃度 ($[[\text{Al}(\text{OH})_4]^-]$) は pH によってどのように変化するか。答えは $\log_{10} [[\text{Al}(\text{OH})_4]^-]$ を pH の関数として表しなさい。

問 8 水酸化アルミニウムに 0.10 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液を加えた時の $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ 濃度は、0.20 mol/L のアンモニア水を加えた時の $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ 濃度の何倍か。答えは 1.0×10^Y 倍と表した時の指数部分 Y を記しなさい。ただし、水酸化ナトリウムは水溶液中では完全に電離しているものとし、アンモニアの電離定数は $K_b = 2.0 \times 10^{-5}$ mol/L とする。