

令和7年10月入学/令和8年4月入学(第1期)

地域創生科学研究科博士前期課程

入学試験問題

工農総合科学専攻物質環境化学プログラム

「無機化学・分析化学・有機化学・化学工学・物理化学 全般」

試験開始前に以下をよく読んでください。

【注意事項】

1. 物質環境化学プログラムでは、「無機化学・分析化学・有機化学・化学工学・物理化学 全般」の1科目を課します。
2. 第1問～第5問の全問に解答してください。
3. 答えは問題番号(第1問～第5問)ごとに指示された解答用紙を使用してください。また、すべての解答用紙と下書き用紙に受験番号を記入してください。
4. 解答用紙の裏面にも解答することができます。下書き用紙についても、裏面も使用して構いません。
5. 外国人留学生特別選抜の受験者は、日本語・母語辞書(電子辞書・翻訳機等は除く)を使用することができます。
6. 電卓(携帯電話・スマートフォン等の電子機器類に付属している電卓を除く)を使用することができます。
7. 試験終了後、解答用紙および下書き用紙をすべて回収します。試験問題は持ち帰ってください。

令和7年10月入学/令和8年4月入学(第1期)

地域創生科学研究科博士前期課程入学試験問題

| | |
|--|--|
| 科目名 無機化学・分析化学・有機化学・ 化学工学・物理化学 全般 | 専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム |
|--|--|

第1問～第5問に答えよ。

第1問 以下の小問(問1～問3)に答えよ。

問1 下記の(1)～(4)の原子について、電子配置を記せ。

例 ${}_{3}\text{Li} : 1s^2 2s^1$

(1) ${}_{8}\text{O}$

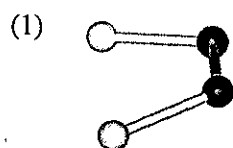
(2) ${}_{14}\text{Si}$

(3) ${}_{28}\text{Ni}$

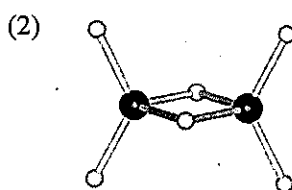
(4) ${}_{34}\text{Se}$

問2 下記の(1)～(3)に示す2種類の元素からなる分子について、対称要素をすべて挙げよ。

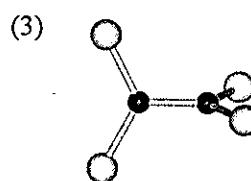
同じ対称要素が複数ある場合には数も記せ。また、それぞれの分子について極性の有無も答えよ。



$\text{cis-N}_2\text{F}_2$



Ga_2H_6



B_2Br_4

問3 RbCl に関して以下の問い(1)～(2)に答えよ。下記の値を使ってよい。

RbCl(s) の生成エンタルピー $\Delta H_f = -435 \text{ kJ/mol}$

Rb(s) の昇華エンタルピー $\Delta H_s = 86 \text{ kJ/mol}$

$\text{Cl}_2(\text{g})$ の解離エンタルピー $\Delta H_d = 243 \text{ kJ/mol}$

Rb の第1イオン化エネルギー $IE_1 = 403 \text{ kJ/mol}$

Cl の電子親和力 $EA = 349 \text{ kJ/mol}$

(1) RbCl(s) の生成反応式を書け。

(2) RbCl(s) の格子エネルギー(エンタルピー) U_L をボルン・ハーバーサイクルから求めよ。

第2問 硝酸アンモニウム (モル質量: 80.0 g/mol) 0.960 g を水に溶かし、濃度が 1.00 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液を加えて pH 9.00 とした。ここに、塩化ナトリウム 0.120 mol を加えた後、最終時に体積が 500.0 mL となるように水を加えアンモニア緩衝液を調製した。このアンモニア緩衝液に濃度不明の硝酸銀水溶液を少しずつ加えていったところ、ちょうど 100.0 mL 加えたところで白色沈殿が現れた。この一連の操作において溶液の pH は 9.00 のままであった。このとき、以下の小問 (問1~問7) に答えよ。

なお、すべての化学種の活量係数は 1.00 とする。また、溶液の混合に伴う体積変化はないものとし、塩化銀は難溶性塩のため、水溶液中には化学種として存在しないものとする。アンモニウムイオンは式(1)のように電離し、銀イオンはアンモニアと式(2)および式(3)のように錯生成する。塩化銀の溶解平衡は式(4)の溶解度積に従う。



問1 このアンモニア緩衝液中に存在するアンモニアとアンモニウムイオンの濃度比 $[\text{NH}_3]/[\text{NH}_4^+]$ を計算せよ。

問2 このアンモニア緩衝液を調製するために使用した 1.00 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液の体積を計算せよ。

問3 アンモニア緩衝液に硝酸銀水溶液を加えた水溶液中に存在する化学種をすべて挙げよ。

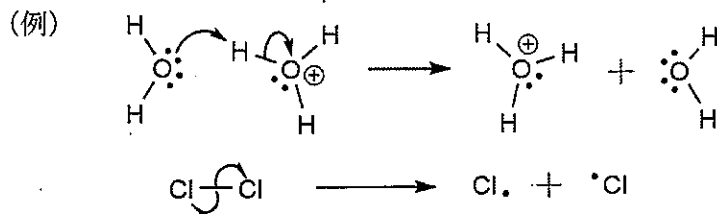
問4 アンモニア緩衝液に硝酸銀水溶液を加えた水溶液において沈殿生成反応を主反応とすると、銀イオンとアンモニアとの反応は副反応とみなせる。pH 9.00 における副反応係数を計算せよ。ただし、銀イオンと反応するアンモニアの物質量はアンモニア全体の物質量に比べて極めて小さく、銀イオンとの反応に際して遊離のアンモニア濃度は変化しないものとする。

問5 沈殿が生成し始めた時点において、この溶液中に存在する遊離の銀イオン濃度を計算せよ。

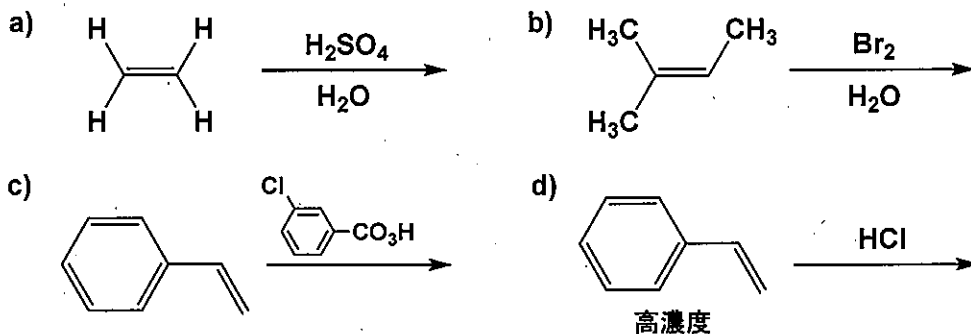
問6 沈殿が生成し始めた時点における溶液中の銀イオンの総濃度を計算せよ。

問7 混合に用いた硝酸銀水溶液の濃度を計算せよ。

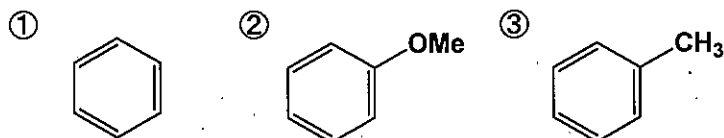
第3問 不飽和結合を持つ有機化合物に関する以下の小問(問1~問5)に答えよ。なお、反応機構は、下の例にならって、電子の移動を示す巻矢印を用いて記せ。



問1 次に示す不飽和結合を持つ有機化合物の反応 a)~d) について、反応機構と主生成物を記せ。ただし、主生成物のみを解答した場合は0点とする。



問2 次の3つの芳香族化合物について、芳香族性の高いものから番号順に並べよ。またその理由を簡潔に説明せよ。



問3 有機溶媒中、アルケンと臭素 (Br_2) を混合すると速やかに反応するが、ベンゼンと臭素を混合しても反応は進行しない。その理由を答えよ。

問4 問3に関連して、ベンゼンと臭素を反応させるにはどうしたらよいか答えよ。

問5 *m*-ニトロフェノールと*p*-ニトロフェノールの $\text{p}K_a$ は、それぞれ8.35, 7.14であり大きな差がある。その理由を、共鳴構造式を用いて簡潔に説明せよ。

第4問 以下の小問（問1～問3）に答えよ。

問1 図4-1はある装置の模式図である。この装置に関する以下の問い(1)～(3)に答えよ。

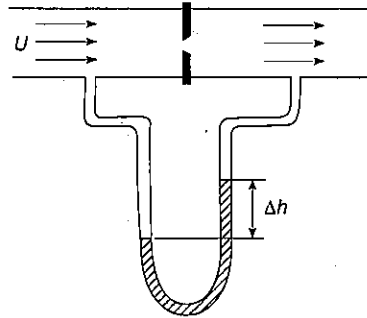


図4-1 装置の模式図

- (1) この装置の名称を記せ。
- (2) この装置は何を測定するためのものであるかを記せ。
- (3) この装置において、空気の平均流速 U [m/s] とマンメーターの液面高さの差 Δh [mm] との間には、以下の実験式で表される関係がある。

$$U = 2.50(\Delta h)^{0.5}$$

この実験式を次の a), b) の単位を用いた実験式に変換せよ。

- a) 差圧を $\Delta h'$ [cm], 平均流速を U [m/s]
- b) 差圧を $\Delta h''$ [in], 平均流速を U' [ft/s], ただし $1 \text{ in} = 25.4 \text{ mm}$, $1 \text{ ft} = 0.305 \text{ m}$

問2 298 K, 大気圧下で, 10.0 cmの内径を有する円管内を4.00 m/sの平均速度で窒素が流れている。このとき, 以下の問い(1)および(2)に答えよ。なお, 窒素は理想気体であるとみなし, その粘度を $1.75 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ とする。また, 窒素の分子量を28.0とする。

- (1) このときの窒素の密度 [kg/m^3] を求めよ。
- (2) レイノルズ数を求め, 円管内流れが層流か乱流かを判定せよ。

問3 れんがA (熱伝導率 $5.70 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$), れんがB (熱伝導率 $0.160 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) および赤れんが (熱伝導率 $0.600 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) の3層からなる平面炉がある。炉の内壁温度が1770 K, 外壁温度が350 Kであったとき, 以下の問い(1)～(4)に答えよ。

- (1) 平面炉の外壁には強度の高い赤れんがを用いる。内壁と外壁に挟まれた中間壁が3層の中でもっとも厚いとき, 中間壁にはれんがAとBのどちらを用いるのが良いか。そう考えた理由も含めて答えよ。

- (2) 内壁, 中間壁および外壁の厚さは 20.0 cm, 30.0 cm および 24.0 cm であった。各層について 1 m^2 あたりの伝熱抵抗 $[\text{K}/\text{W}]$ をそれぞれ求めよ。
- (3) 炉壁 1 m^2 あたりの熱損失 $[\text{W}]$ を求めよ。
- (4) 内壁と中間壁の接触部の温度 $T_1 [\text{K}]$, および中間壁と外壁の接触部の温度 $T_2 [\text{K}]$ をそれぞれ求めよ。

第5問 気体の性質に関する以下の小問（問1～問5）に答えよ

問1 n [mol]の完全気体に関し、圧力 P [Pa]と気体分子の根平均二乗速度 v [m/s]の関係式を分子運動論モデルから導くと次式が得られる。

$$PV = \frac{nMv^2}{3}$$

ただし、 V [m³]は気体の体積、 M は気体分子の分子量である。

酸素ガスが理想的な挙動を示すと仮定したとき、313 Kにおける根平均二乗速度は、298 Kにおける根平均二乗速度に対し何倍となるか計算せよ。ただし、酸素の原子量を16.0とせよ。

問2 完全気体は温度や圧力を変えても相転移しない。このことに関し、完全気体の挙動に実在気体とは異なるどのような仮定をおいているか説明せよ。

問3 実在気体Aを温度 T_1 [K]一定で圧縮し、圧力 P [Pa]と体積 V [m³]を測定したところ、図5-1に示すグラフが得られた。以下の問い(1)～(5)に答えよ。

- (1) 点アで起こった現象について簡潔に説明せよ。
- (2) 点イで起こった現象について簡潔に説明せよ。
- (3) 温度 T_2 [K]一定の条件で実在気体Aを圧縮したところ凝縮が起こった。解答用紙にフリーハンドで図5-1を描き、そこに温度 T_2 [K]における圧力 P [Pa]と体積 V [m³]の関係を重ねて記入せよ。ただし、 $T_2 > T_1$ の関係が成り立つものとする。
- (4) (3)で描いた図に臨界点を黒丸で示せ。
- (5) (3)で描いた図に、液体が存在する領域を斜線で示せ。

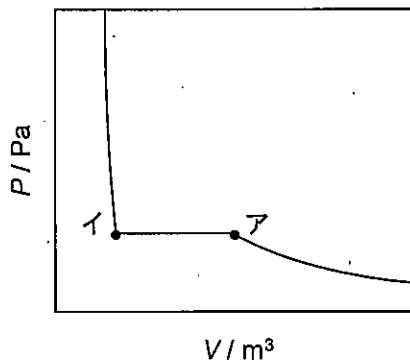


図5-1 実在気体Aの圧力と体積の関係

問4 1 bar 一定条件でCO(g)を15.0 °Cから37.0 °Cまで加熱したときのモルエンタルピー変化を計算せよ。ただし、CO(g)の標準モル定圧熱容量を温度に依存しない定数とし、 $29.1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ とせよ。

問5 1 bar 一定条件でCO₂(g)を15.0 °Cから37.0 °Cまで加熱したときのモルエントロピー変化を計算せよ。ただし、CO₂(g)の標準モル定圧熱容量を温度に依存しない定数とし、 $37.1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ とせよ。

問題訂正

専攻・プログラム名：工農総合科学・物質環境化学

試験科目名：無機化学・分析化学・有機化学・化学工学・物理化学
全般

<問題訂正>

無機化学・分析化学・有機化学・化学工学・物理化学全般 3ページ第3問

【誤】 芳香族化合物に関する以下の小問（問1
～問5）に答えよ。

【正】 芳香族化合物に関する以下の小問（問1
～問4）に答えよ。

令和8年4月入学（第2期）
地域創生科学研究科博士前期課程
入学試験問題

工農総合科学専攻物質環境化学プログラム
〔無機化学・分析化学・有機化学・化学工学・物理化学 全般〕

試験開始前に以下をよく読んでください。

【注意事項】

1. 物質環境化学プログラムでは、「無機化学・分析化学・有機化学・化学工学・物理化学 全般」の1科目を課します。
2. 第1問～第5問の全問に解答してください。
3. 答えは問題番号（第1問～第5問）ごとに指示された解答用紙を使用してください。また、すべての解答用紙と下書き用紙に受験番号を記入してください。
4. 解答用紙の裏面にも解答することができます。下書き用紙についても、裏面も使用して構いません。
5. 外国人留学生特別選抜の受験者は、日本語・母語辞書（電子辞書・翻訳機等は除く）を使用することができます。
6. 電卓（携帯電話・スマートフォン等の電子機器類に付属している電卓を除く）を使用することができます。
7. 試験終了後、解答用紙および下書き用紙をすべて回収します。試験問題は持ち帰ってください。

令和8年4月入学（第2期）

地域創生科学研究科博士前期課程入学試験問題

| | |
|--|--|
| 科目名 無機化学・分析化学・有機化学・ 化学工学・物理化学 全般 | 専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム |
|--|--|

第1問～第5問に答えよ。

第1問 以下の小問（問1～問3）に答えよ。

問1 下記の(1)～(4)の各イオンについて、例を参考に電子配置を記せ。イオンの状態で
不対電子を持つものは不対電子数も答えよ。

例 ${}_3\text{Li}^+ : 1s^2$

(1) ${}_9\text{F}^-$ (2) ${}_{13}\text{Al}^{3+}$ (3) ${}_{22}\text{Ti}^{3+}$ (4) ${}_{52}\text{Te}^{4+}$

問2 分子 ClF_3 （三フッ化塩素）に関して以下の問い(1)～(5)に答えよ。

- (1) 孤立電子対を含んだ中心原子の配位数を答えよ。
- (2) 孤立電子対を含んだ分子の形を描け。
- (3) 分子の対称要素をすべて答えよ。
- (4) 分子の振動モード数を求めよ。
- (5) 分子の極性の有無を答えよ。

問3 ${}^{47}\text{Sc}$ の β^- 壊変に関する以下の問い(1)～(3)に答えよ。

- (1) ${}^{47}\text{Sc}$ の β^- 壊変の核反応式を示せ。
- (2) ${}^{47}\text{Sc}$ の半減期は3.35日である。壊変定数 λ [s^{-1}]を求めよ。
- (3) 1.00×10^{20} 個の ${}^{47}\text{Sc}$ の原子は、33.5日後に何個になっているかを答えよ。

第2問 濃度が0.10 mol/LのFeイオン水溶液 ($\text{Fe}^{2+} : \text{Fe}^{3+} = 1000 : 1$) 50 mLを三角フラスコにとり、濃度が0.10 mol/Lの Ce^{4+} を含む水溶液をビュレットに入れて、298 Kの条件下で滴定した。この滴定に関して、以下の問い(1)~(4)に答えよ。ただし、 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ の酸化還元電位は+0.78 V、 $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$ の酸化還元電位は+1.44 Vとする。

- (1) 横軸を滴下体積、縦軸を水溶液の電位とした滴定曲線を描きたい。そのために、a) 滴定開始前、b) 1/2 当量点、c) 当量点、およびd) 当量点の2倍の Ce^{4+} 水溶液を滴下した時点での電位をそれぞれ計算せよ。
- (2) 横軸を滴下体積、縦軸を水溶液の電位として、(1)で計算したa) ~ d)の条件の点を通るように滴定曲線をフリーハンドで描け。
- (3) キブスの自由エネルギー変化から、酸化還元電位の電位差と平衡定数の関係式を導出し、三角フラスコ内で生じる酸化還元反応の平衡定数を計算せよ。
- (4) この酸化還元滴定に適した酸化還元指示薬を下に示す表1の中から選べ。また、選択した理由も述べよ。

なお、全ての化学種の活量係数を1.00として考えるものとする。また、必要があれば、以下の関係式を用いよ。

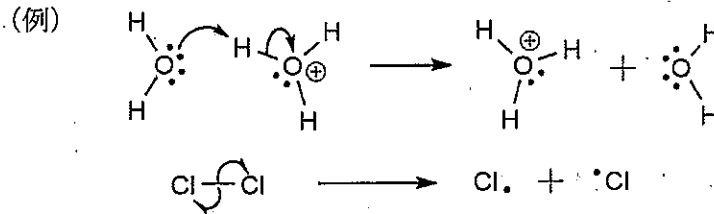
$$\frac{RT}{nF} \ln X = \frac{0.0591}{n} \log X$$

ただし、ここではファラデー定数 $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$ 、温度 $T = 298 \text{ K}$ 、気体定数 $R = 8.31 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ として、係数0.0591を計算している。また、 n および X は任意の変数である。

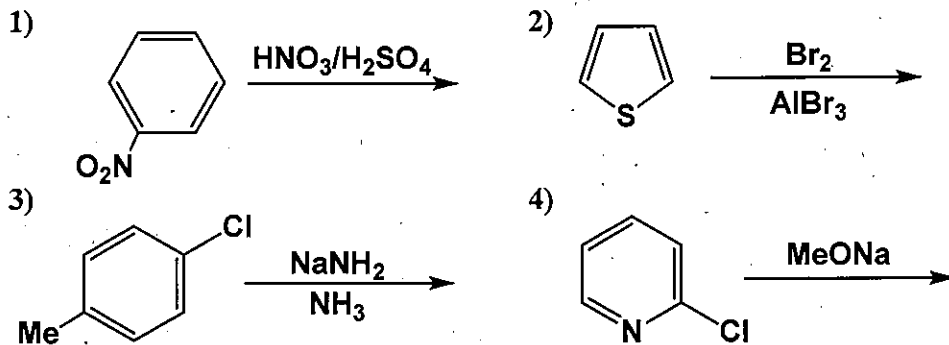
表1 主な酸化還元指示薬

| 指示薬 | 還元型の色 | 酸化型の色 | 標準電極電位(V) |
|------------|-------|-------|-----------|
| フェノサフラニン | 無色 | 赤 | 0.25~0.26 |
| メチレンブルー | 無色 | 青 | 0.532 |
| バリアミンブルーB | 無色 | 赤紫 | 0.68 |
| ジフェニルアミン | 無色 | 紫 | 0.776 |
| ジフェニルベンジジン | 無色 | 紫 | 0.776 |
| ジフェニルアミン- | | | |
| スルホン酸Ba塩 | 無色 | 赤紫 | 0.84 |
| ジメチルフェロイン | 赤 | 黄緑 | 0.97 |
| フェロイン | 赤 | 淡青 | 1.06 |
| メチルフェロイン | 赤 | 淡青 | 1.08 |

第3問 芳香族化合物に関する以下の小問(問1~問5)に答えよ。なお、反応機構は、下の例にならって、電子の移動を示す巻矢印を用いて記せ。



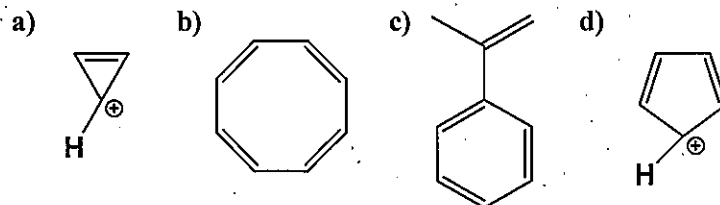
問1 次に示す芳香族化合物の反応 1)~4) について、反応機構と主生成物を記せ。ただし、主生成物のみを解答した場合は0点とする。



問2 ピリジンは、電子不足の芳香族複素環化合物である。その理由を、芳香族求電子置換反応における反応中間体の共鳴構造式を用いて説明せよ。また、その際の配向性を答えよ。ただし、求電子種は E^\oplus と表記すること。

問3 ピリジンの求電子置換反応のうち、混酸を用いたニトロ化は特に進行しにくい。その理由を簡潔に説明せよ。

問4 次の有機化合物 a)~d) について、「芳香族性を持つもの」、「反芳香族性を持つもの」、「非芳香族化合物」に分類せよ。また、それぞれの有機化合物の π 電子数を答えよ。



第4問 以下の小問（問1および問2）に答えよ。

問1 メタノールの完全燃焼における物質収支に関して、以下の問い(1)~(4)に答えよ。

- (1) メタノールの完全燃焼の反応式を記せ。
 (2) メタノール 100 kmol を過剰空気率 30% で完全燃焼させた。このときの物質収支に関して、下の表中の $a \sim l$ の値を求めよ。なお、空気の組成（モル比）は $O_2 : N_2 = 21 : 79$ とする。

| 物質 | 燃料 [kmol] | 空気 [kmol] | 燃焼ガス (湿りガス) [kmol] | 煙道ガス (乾きガス) [kmol] |
|--------|--------------|--------------|--------------------------|--------------------------|
| メタノール | 100 | — | — | — |
| O_2 | — | a | b | c |
| N_2 | — | d | e | f |
| CO_2 | — | — | g | h |
| H_2O | — | — | i | — |
| 合計 | 100 | j | k | l |

- (3) 煙道ガス（乾きガス）中の酸素は何 mol % か。
 (4) 理論空気量は何 kmol か。

問2 伝熱に関する以下の文章を読んで、空欄 (ア) ~ (オ) に当てはまる語句および空欄 (a), (b) に当てはまる文字式をそれぞれ答えよ。

固体や静止した流体内部に熱が x 方向に移動し、定常状態に達したときの伝熱速度を q とする。 q は、熱の流れに垂直な面での断面積 A 、 x に対する温度 T の勾配（温度勾配）および比例定数 k を用いて、式(1)であらわされる。この法則を (ア) と呼ぶ。式(1)の k は (イ) と呼ばれる物質固有の値であり、その単位は SI 単位で表記すると (ウ) となる。

$$q = \text{span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">(a)} \cdots \text{式(1)}$$

一方、対流が発生している高温の流体と低温の固体壁との間の伝熱速度 Q は、熱の流れに垂直な面での断面積 A 、流体本体の温度 T_f 、固体壁の温度 T_w および比例係数 h を用いて、式(2)であらわされる。なお、 h は (エ) と呼ばれ、流体の物性、流速や固体表面の形状などに関する値であり、その単位は SI 単位で表記

すると となる。

$$Q = \text{ } \dots \text{ 式(2)}$$

第5問 2.00 mol の $O_2(g)$ を系として以下の小問 (問1～問3) に答えよ。ただし、 $O_2(g)$ は理想的な挙動を示すものとし、モル定圧熱容量 C_p を $29.4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ 、気体定数 R を $8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ とせよ。

問1 298 K温度一定で、2.00 mol の $O_2(g)$ を 6.00 m^3 から 2.00 m^3 に圧縮した。この過程における系の内部エネルギー変化 ΔU_1 [kJ]、系のエンタルピー変化 ΔH_1 [kJ]、外界のエンタルピー変化 ΔH_2 [kJ]、系のエントロピー変化 ΔS_1 [J K^{-1}] を求めよ。

問2 6.00 m^3 体積一定で、2.00 mol の $O_2(g)$ を 298 K から 498 K まで加熱した。この過程における系の内部エネルギー変化 ΔU_3 [kJ]、系のエンタルピー変化 ΔH_3 [kJ]、外界のエンタルピー変化 ΔH_4 [kJ]、系のエントロピー変化 ΔS_3 [J K^{-1}] を求めよ。

問3 2.00 mol の $O_2(g)$ を 6.00 m^3 から 2.00 m^3 に圧縮しながら、同時に 298 K から 498 K まで加熱した。この過程における系のエンタルピー変化 ΔH_5 [kJ]、系のエントロピー変化 ΔS_5 [J K^{-1}] を求めよ。