

令和6年10月入学/令和7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 6 年 10 月入学／令和 7 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)のイオンの電子配置を例にならい記せ。

例 ${}_3\text{Li}^+ : 1s^2$

(1) ${}_{12}\text{Mg}^{2+}$

(2) ${}_{17}\text{Cl}^-$

(3) ${}_{24}\text{Cr}^{3+}$

(4) ${}_{33}\text{As}^{3+}$

問2 下記の(1)～(3)の核反応式を示せ。

(1) ${}^{14}_6\text{C}$ の β^- 壊変

(2) ${}^{63}_{30}\text{Zn}$ の β^+ 壊変

(3) ${}^{26}_{13}\text{Al}$ の電子捕獲

問3 最密充填構造に関する以下の問い(1)～(6)に答えよ。

(1) 図 1-1 は金の立方最密充填構造の単位格子を表している。この単位格子中に含まれる金原子の総数を答えよ。

(2) 立方最密充填構造における原子の最近接原子数（配位数）を答えよ。

(3) 立方最密充填構造は最密充填層 A, B, C が ABCABC…の順番で積み重なっている。

図 1-1 の矢印で示した原点の位置にある原子が A 層であるとした場合、A 層の原子を○で、B 層の原子を△で、C 層の原子を×で表した単位格子を図示せよ。

(4) 亜鉛は六方最密充填構造を有する。亜鉛の単位格子を図示せよ。

(5) (4) のとき、単位格子中に存在する亜鉛原子の総数を答えよ。

(6) 六方最密充填構造における原子の最近接原子数（配位数）を答えよ。

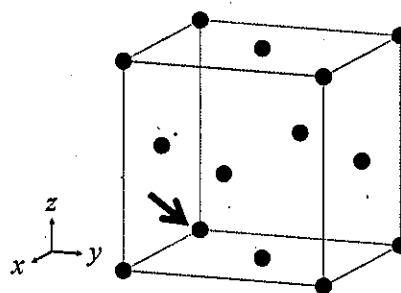


図 1-1 金の立方最密充填構造の単位格子。●は金原子。

第2問 濃度が1.0 mol/Lである水酸化ナトリウム水溶液75 mLと濃度が1.0 mol/Lであるシュウ酸水溶液50 mLを混合した。その後、水を加えて体積を1000 mLにした。この水溶液について以下の小問(問1～問5)に答えよ。なお、シュウ酸は次のように電離する。



問1 この水溶液中に存在するすべての化学種を記述せよ。

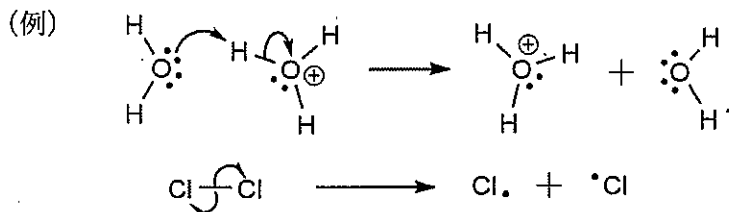
問2 この水溶液について、①電荷収支式、②ナトリウムに対する物質収支式、③シュウ酸に対する物質収支式、および④プロトンに対する物質収支式を記述せよ。ここでは、混合後の水溶液中のナトリウムの総濃度を C_{Na} 、シュウ酸の総濃度を $C_{(\text{COOH})_2}$ とし、解答せよ。

問3 この水溶液中に存在するシュウ酸に関する化学種のうち、主に存在する2種類について、それらの化学式をそれぞれ記せ。また、それらを選んだ理由について簡潔に述べよ。

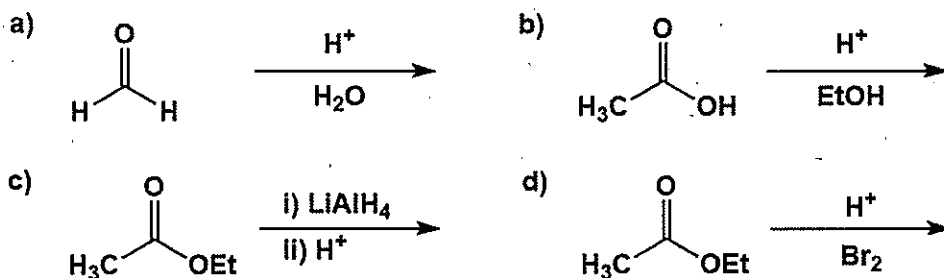
問4 この水溶液のpHを計算せよ。

問5 この水溶液に1.0 mol/L水酸化ナトリウム水溶液あるいは1.0 mol/L塩酸のどちらかを添加して、水溶液のpHをpH 4.00とした。添加した水溶液とその体積を答えよ。

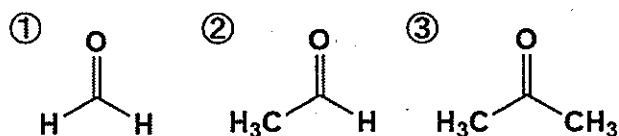
第3問 カルボニル化合物に関する以下の小問(問1～問5)に答えよ。なお、反応機構は、下の例にならって、電子の移動を示す巻矢印を用いて記せ。



問1 次を示すカルボニル化合物の反応 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。



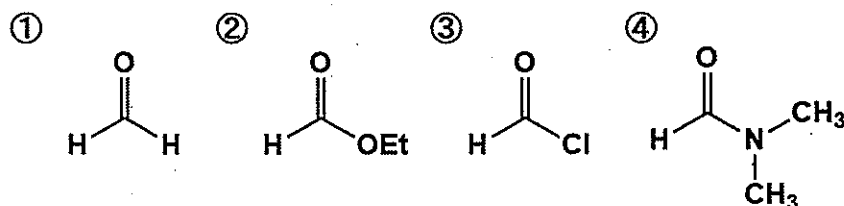
問2 次のカルボニル化合物 ①～③ について、水和反応が進行しやすいものから順に不等号を用いて並べよ(例: ①と②で①の方が反応しやすい場合, ①>②)。またその理由を2つ挙げよ。



問3 塩基性条件下でのエステル化反応は一般的ではない。その理由について簡潔に説明せよ(構造式を用いて説明しても良い)。

問4 問1の反応c)は、 LiAlH_4 と同様のヒドリド還元剤である NaBH_4 を用いた場合、進行しない。 LiAlH_4 と NaBH_4 の反応性の違いが生じる理由を2つ挙げよ。

問5 次のカルボニル化合物 ①～④ のうち、 NaBH_4 で還元されるものをすべて選び、番号で答えよ。



第4問 以下の小問（問1および問2）に答えよ。

問1 ハーゲン-ポアズイユの式は次の式(4-1)で与えられる。

$$\Delta P = \frac{32\mu Lu}{D^2} \quad \dots \text{式(4-1)}$$

ここで、それぞれの単位は、 ΔP [Pa], μ [kg/(m·s)], L [m], u [m/s], D [m]である。
いま、 ΔP および u のみをそれぞれ $\Delta P'$ [mmHg] および u' [cm/min] に置き換えると、
式の換算により、係数32はどうか。有効数字2桁で示せ。導出過程も記すこと。
ただし、 $1 \text{ Pa} = 7.5 \times 10^{-3} \text{ mmHg}$ とする。

問2 375 K のオイルを流速 0.500 kg/s で内管に、280 K の冷却水を流速 0.201 kg/s で外管に向流または並流に流し、オイルを350 Kまで冷却する図4-1のような水平に設置した二重管式の熱交換器に関して、以下の問い(1)～(4)に答えよ。

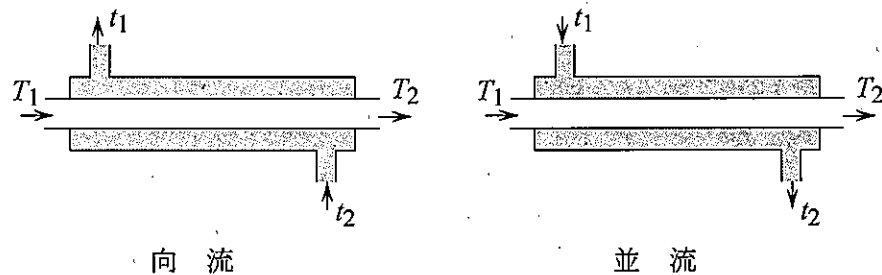


図4-1 二重管式熱交換器

- (1) 高温（オイル）側の熱流束（伝熱速度） Q [W]を求めよ。ただし、オイルの比熱容量は 2090 J/(kg·K) とする。
- (2) (1)で求めた Q と冷却水側の熱流束（伝熱速度）が等しいことを利用して、冷却水の出口温度 [K]を求めよ。ただし、水の比熱容量は 4177 J/(kg·K) とする。
- (3) 図4-1のような二重管式熱交換器の伝熱面積 A [m²], 総括伝熱係数 U [W/(m²·K)] とオイル-冷却水間の温度差 $\Delta T_1 (= T_1 - t_1)$ [K], $\Delta T_2 (= T_2 - t_2)$ [K]の間には次の式(4-2)が成り立つ。

$$Q = UA \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad \dots \text{式(4-2)}$$

このとき、向流熱交換器と並流熱交換器の伝熱面積 A をそれぞれ求めよ。ただし、 $U = 250 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ とする。

- (4) (3)の結果から、小さい敷地面積に二重管式熱交換器を設置する場合は、向流熱交換器と並流熱交換器のどちらが望ましいか。理由とともに述べよ。

第5問 1 bar 圧力一定条件における H_2O の状態変化について以下の小問 (問1～問6) に答えよ。ただし、 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ および $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ の 298 K における標準モルエントロピーを、それぞれ $69.9 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, $188.8 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ とせよ。 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ および $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ のモル定圧熱容量を温度に依存しない定数として、それぞれ $75.3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, $33.6 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ とせよ。

問1 2.00 mol の $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ を 373 K から 298 K まで冷却した。このときの H_2O のエントロピー変化 ΔS_1 を求めよ。

問2 298 K 温度一定条件で、2.00 mol の $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ のすべてを $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ とした。このときの H_2O のエントロピー変化 ΔS_2 を求めよ。

問3 2.00 mol の $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ を 298 K から 373 K まで加熱した。このときの H_2O のエントロピー変化 ΔS_3 を求めよ。

問4 373 K における H_2O の標準蒸発エントロピー $\Delta_{\text{vap}} S^\circ$ を求めよ。

問5 標準蒸発エンタルピーとは何か説明せよ。

問6 373 K における H_2O の標準蒸発エンタルピー $\Delta_{\text{vap}} H^\circ$ を求めよ。

令和7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. 答案は問題番号（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. 試験終了後に、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2）に答えよ。

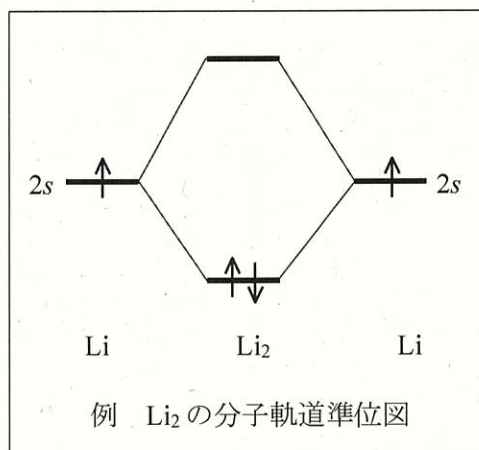
問1 下記の(1)～(3)の分子について、対称要素をすべて挙げよ。同じ対称要素が複数ある場合には数も記せ。また、それぞれの分子について極性の有無も答えよ。

(1) クロロメタン CH_3Cl (2) エチレン C_2H_4 (3) 硫化水素 H_2S

問2 フッ素分子(F_2)の分子軌道について、以下の(1)～(3)に答えよ。

(1) フッ素分子(F_2)の分子軌道準位図を、以下の仮定・指示に従い、 Li_2 の分子軌道準位図の例にならって図示せよ。

- ・ 2つのフッ素原子は z 軸上に並んでいる。
- ・ 外殻電子(価電子)の原子軌道を図示せよ。
- ・ 例に示すとおり、分子軌道準位図の中央に分子軌道の準位を描き、その両側に原子軌道の準位を描け。
- ・ 原子軌道については、各準位に原子軌道の記号($2s$ や $2p$ などの記号)を記せ。
- ・ 分子軌道とその成分となる原子軌道を直線で結べ。
- ・ 原子軌道、分子軌道とも、各準位を占有する電子を矢印で記せ。

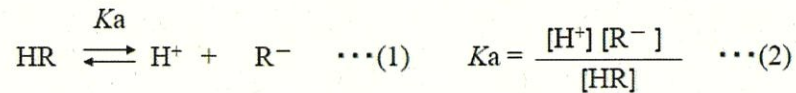


(2) $2p_z$ 軌道同士の結合性の軌道を正負がわかるように描け。また、この軌道は σ 結合と π 結合のいずれから構成されているかを答えよ。

(3) $2p_y$ 軌道同士の反結合性の軌道を正負がわかるように描け。また、この軌道は σ 結合と π 結合のいずれから構成されているかを答えよ。

第2問 pH指示薬は水素イオンの解離平衡により色調が変化する特徴から、酸塩基滴定に用いられる。また、この特徴により溶液のpHを知ることができる。

ここで、pH指示薬としてHRを考える。HRの酸解離平衡は式(1)で表され、式(2)で表される酸解離定数 K_a は 1.00×10^{-5} である。



HRの酸型化学種HRは波長520 nmにおいて $1.20 \times 10^4 \text{ (mol/L)}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ のモル吸光係数を持つ。一方、塩基型化学種 R^- は同じ波長において $3.80 \times 10^4 \text{ (mol/L)}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ のモル吸光係数を持つ。

いま、光路長1.00 cmの光学セルを用いて、総濃度 $2.50 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ のHRを含む水溶液の吸光度 A を520 nmにおいて測定したところ、0.58であった。これに関する以下の小問(問1～問5)に答えよ。

問1 HRの総濃度を C_{HR} として、HRに関する物質収支式を書け。

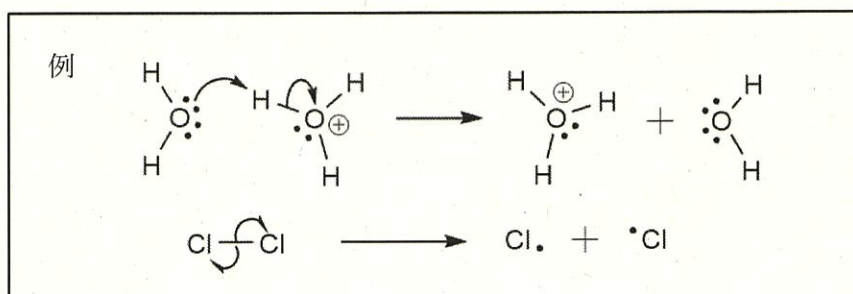
問2 波長520 nmにおけるHRのモル吸光係数を ϵ_{HR} 、 R^- のモル吸光係数を ϵ_{R^-} として、水溶液の吸光度 A を $[\text{HR}]$ 、 $[\text{R}^-]$ 、 ϵ_{HR} および ϵ_{R^-} を用いて表せ。

問3 $[\text{HR}]$ および $[\text{R}^-]$ をそれぞれ、 A 、 C_{HR} 、 ϵ_{HR} および ϵ_{R^-} を用いて表せ。

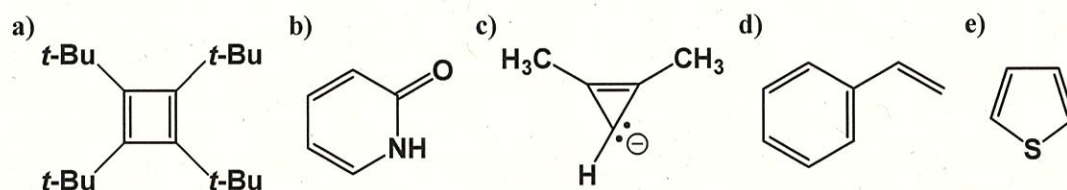
問4 式(2)を変形し、pHを $\text{p}K_a$ 、 A 、 C_{HR} 、 ϵ_{HR} および ϵ_{R^-} を用いて表せ。

問5 この水溶液のpHを計算せよ。

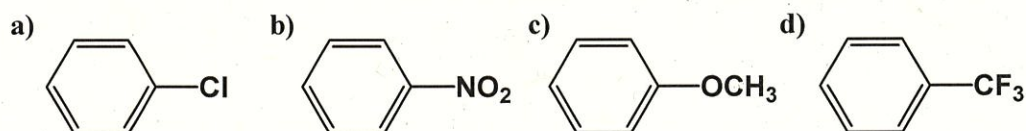
第3問 芳香族化合物に関する以下の小問（問1～問5）に答えよ。なお、反応機構は、下の例にならって、電子の移動を示す巻矢印を用いて記せ。



問1 次に示す化合物 a) ～ e) について、「芳香族性を示すもの」と「反芳香族性を示すもの」に分類せよ。また、それぞれの化合物について芳香族性／反芳香族性に関与する電子の数を答えよ。

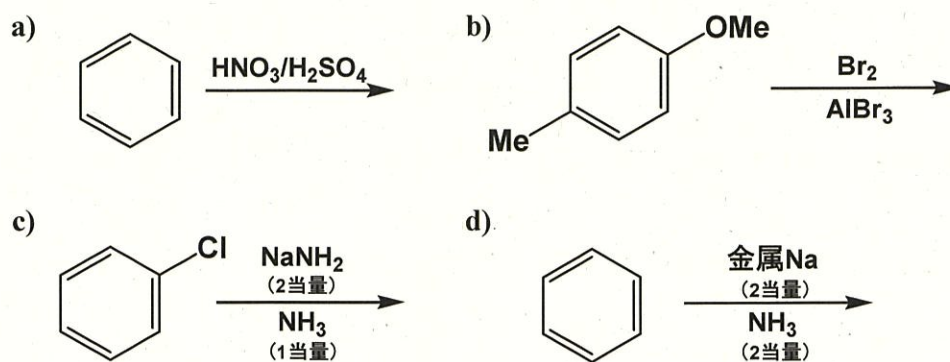


問2 次に示す芳香族化合物 a) ～ d) について、求電子置換反応における配向性（オルト-パラ配向／メタ配向）を答えよ。また、それぞれの化合物が持つ置換基は、活性基／不活性基のいずれであるかも答えよ



問3 4-ニトロフェノールはフェノールよりも酸性度が高い。その理由を、4-ニトロフェノールの共鳴構造式を用いて簡潔に説明せよ。

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



問 5 Friedel-Crafts アルキル化は実用的な反応ではない。その理由を簡潔に説明せよ。

第4問 以下の小問（問1～問3）に答えよ。

問1 10 wt%のNaCl水溶液を $100 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ で蒸発缶に連続的に供給し、水を蒸発させて20 wt%に濃縮されたNaCl水溶液を連続的に得たい。このとき、水の蒸発量 $[\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}]$ と得られる20 wt% NaCl水溶液の流量 $[\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}]$ を求めよ。

問2 次の文章中の空欄(ア)～(エ)にあてはまる適切な語句または式を記せ。

内径 d [m]の円管に密度 ρ $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$ 、粘度 μ $[\text{Pa} \cdot \text{s}]$ の流体を平均流速 u $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ で流している。このとき、以下の式で示される無次元数を (ア) といい、その値 Re が $Re < 2100$ のとき管内流れは (イ) であり、 $Re > 4000$ のとき管内流れは (ウ) である。

$$Re = \text{ (エ) }$$

問3 以下の(1)～(3)に答えよ。

- (1) 両面がそれぞれ一様で一定の壁面温度 t_1 [K] および壁面温度 t_2 [K] ($t_1 > t_2$) に保たれた、面積 A $[\text{m}^2]$ 、厚さ x [m]、熱伝導率 k $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$ の平板固体壁において、定常状態での単位時間あたりの伝熱量 q [W] を t_1 , t_2 , A , x および k を用いて表せ。
- (2) (1)の平板固体壁において、高温壁面側の流体温度が T_1 [K] 一定で高温流体側境界膜伝熱係数が h_1 $[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$ のときの定常状態での単位時間あたりの伝熱量 q [W] を h_1 , T_1 , t_1 および A を用いて表せ。
- (3) (2)において、 h_1 を大きくして伝熱量を増加させる方法を挙げよ。

第5問 下記の反応について以下の小問（問1～問5）に答えよ。



ただし、298 Kにおける標準生成エンタルピー $\Delta_f H_{298}^\circ$ 、298 Kにおける標準モルエントロピー S_{298}° 、標準定圧モル熱容量 C_p° の値は、下表の数値あるいは文字を用いよ。なお、 C_p° は温度に依存しない定数として扱ってよいものとする。

	$\Delta_f H_{298}^\circ / \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	$S_{298}^\circ / \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$	$C_p^\circ / \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
$\text{NO}_2(\text{g})$	33.2	x	a
$\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$	9.2	y	b

問1 298 Kにおける標準反応エンタルピー $\Delta_r H_{298}^\circ$ を求めよ。

問2 298 Kにおける標準反応ギブスエネルギー $\Delta_r G_{298}^\circ$ を x , y を用いた式で示せ。

問3 596 Kにおける標準反応エンタルピー $\Delta_r H_{596}^\circ$ を a , b を用いた式で示せ。

問4 596 Kにおける標準反応エントロピー $\Delta_r S_{596}^\circ$ を a , b , x , y を用いた式で示せ。

問5 1 bar, 596 Kにおいて反応が進行する方向を $\Delta_r H_{596}^\circ$ および $\Delta_r S_{596}^\circ$ の値からどのように判定すればよいかを説明せよ。