

関西学院大学大学院理工学研究科

2025 年度入学試験

(一次：2024 年 8 月 2 日実施)

基礎科目

環境応用化学専攻

(11:10-12:50 100 分)

【試験にあたっての注意】

1. 筆記用具以外はカバンに入れ、カバンは床の上に置くこと。
2. 携帯電話、スマートフォン、ウェアラブル端末、音楽プレーヤー等の音の出る機器の電源を切ること。
なお、アラームを設定している人は解除してから電源を切り、カバンにしまうこと。
3. 時計のアラームは解除すること。携帯電話を時計として使用することは認めない。
4. 試験の途中退出は認めない。ただし、やむを得ない場合は挙手し監督者に知らせること。
5. 不審な言動は慎むこと。不正行為が発覚した場合、全科目を 0 点とする。
6. 試験用紙は以下の構成となっている。
 - ① 問題冊子 1 冊
 - ② 解答用紙
7. 指示があるまで問題冊子および解答用紙を開かないこと。
8. 解答用紙のホチキスは、はずさないこと（提出時もホチキス留めのまま提出すること）。
9. 各問題は、所定の解答用紙に解答すること。
10. 解答にあたっては、問題冊子および解答用紙に書かれた注意に従うこと。
11. 解答用紙には、氏名は記入せず、受験番号のみを記入すること。
12. 原則、解答用紙の裏面使用は不可。やむを得ず解答欄が不足する場合は＜裏面に続く＞と記載することで、裏面への記載を認める。
13. 試験終了後、問題冊子は各自持ち帰ること。

以上

[環境応用化学専攻（基礎科目）]

次の3 題【Ⅰ】～【Ⅲ】の全てに解答せよ。

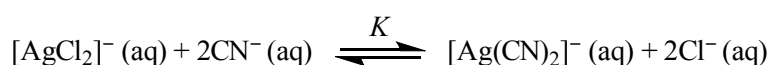
問題1 題につき解答用紙1 枚を使用し、問題番号および受験番号を解答用紙所定欄に必ず記入すること。

【 I 】 （無機・分析化学）

問 1. 次の(a)～(d)のそれぞれの二つの組において、より強いブレンステッド酸はどちらか、理由とともに答えよ.

- (a) HClO_3 と HClO_4 (b) $[\text{Fe}(\text{OH}_2)_6]^{2+}$ と $[\text{Fe}(\text{OH}_2)_6]^{3+}$
 (c) H_2PO_4^- と H_3PO_4 (d) $[\text{Al}(\text{OH}_2)_6]^{3+}$ と $[\text{Ga}(\text{OH}_2)_6]^{3+}$

問 2. 次の化学反応式について、以下の(1)～(3)に答えよ.



- (1) ルイス酸として働いている化学種をすべて挙げよ.
 (2) ルイス塩基として働いている化学種をすべて挙げよ.
 (3) この反応式の平衡定数 K は、標準状態において 1 より大きいか小さいかを示せ. また、その理由を硬い酸・塩基、柔らかい酸・塩基の概念を用いて簡潔に答えよ.

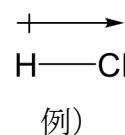
問 3. 次の (a)～(d)の分子やイオンについて、以下の(1), (2)に答えよ.

- (a) OH_3^+ (b) XeF_4 (c) SF_4 (d) I_3^-

- (1) 原子価殻電子対反発 (VSEPR) 法に基づいて、(a)～(d)の分子の立体構造を図示せよ. 非共有電子対がある場合は位置を明示すること. また、分子の形を下記より選んで記入せよ.

直線形, 折れ線形, 平面三角形, T字形, 正四面体形, 三角錐形,
 平面四角形, シーソー形, 四角錐形, 三方両錐形

- (2) (a)～(d)の分子の双極子モーメントの方向を例にならって、上記(1)で描いた図中に、矢印 ($\text{+} \longrightarrow$) で記入せよ. 正味の双極子モーメントがない場合は、「なし」と記入すること.



問 4. 以下の(a)～(d)の酸化物や金属錯体における金属陽イオンを記号で書き、その基底状態の電子配置を例にならって答えよ. ただし、内殻の電子配置も省略せずに記述すること.

例) Li_2O : 陽イオン, Li^+ 基底電子配置, $(1s)^2$

- (a) CaO (b) Al_2O_3 (c) MnO_2 (d) $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$

【Ⅱ】（物理化学）

以下の文章を読み、問いに答えよ。

水素原子のシュレーディンガー方程式は厳密に解くことができ、得られる波動関数は、動径関数と球面調和関数で表される。この波動関数は、原子軌道（または電子軌道）とよばれ、 n, l, m_l の3つの量子数により、原子軌道の形やエネルギーが決まる。 n は（ A ）とよばれ、正の整数をとる。 l は（ B ）とよばれ、1つの n に対して（ C ） $\leq l \leq$ （ D ）の範囲の整数となる。 m_l は（ E ）とよばれ、ある一定の l に対して（ F ） $\leq m_l \leq$ （ G ）の範囲の整数である。量子数 l と m_l は、電子の運動に関して角運動量を決める。よって、原子核のまわりの電子が存在する領域の角度分布を与えることになる。原子軌道には l の値に基づいて名称が付けられており、 $l=0$ を（ H ）軌道、 $l=1$ を（ I ）軌道、 $l=2$ を（ J ）軌道、 $l=3$ を（ K ）軌道などとよぶ。また、電子は（ L ）角運動量とともに（ M ）角運動量をもつ。後者から得られる量子数がもう1つの量子数 m_s であり、 m_s は（ N ）とよばれ、 $m_s =$ （ O ）の値を持つ。

- 問1. (A)~(O)に当てはまる語句、数値、記号等を記せ。
- 問2. $n=2$ の場合について、3つの量子数(n, l, m_l)の組み合わせを全て記し、それぞれに対応する原子軌道の名称を答えよ。
- 問3. 原子軌道の大きさや形は、3つの量子数(n, l, m_l)で決まる。これら3つの量子数と原子軌道の形を関連付けて説明せよ。
- 問4. 原子軌道への電子の配置は、3つの規則に従う。これらの規則をそれぞれ説明せよ。
- 問5. 酸素原子の電子配置を図示せよ。原子軌道名も記すこと。
- 問6. (i)第一イオン化エネルギー、および(ii)電子親和力を説明せよ。
- 問7. 水素原子を構成する電子（原子軌道）のエネルギーは次式で表される。

$$E = -\frac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2 n^2}$$

ここで、 m_e, e, ε_0, h , および n は、それぞれ電子の静止質量、電気素量、真空の誘電率、プランク定数、および量子数である。この式を基にして、水素原子の第一イオン化エネルギーを表す式を導け。

【Ⅲ】（有機化学）

次の問いに答えよ。

問 1. 分子式 C_6H_{14} を持つ化合物すべて（立体異性体は考慮しなくてよい）を線角構造式で記し、それぞれについて化合物名を英語で答えよ。また、それらのうち最も沸点が高いものを丸で囲み、その理由を述べよ。

問 2. 以下の化合物・イオンの結合角はいくらか？まず構造式を記し、そこに「 109.5° より少し大きい」，「 120° ちょうど」などと，存在する結合角すべてについて書き込め（複数の結合角が同じ場合には矢印で指すなどして表記を簡略化してもよい）。

(1) CH_3^+ (2) CH_3^- (3) NH_3 (4) BH_3

問 3. 以下の組成式を持つ非環式化合物・イオンの Lewis 構造式を記せ。なお，いずれも最外殻には電子が充たされていて，酸素-酸素結合を持たないものとする。共有電子対は線で書き，形式電荷や非共有電子対がある場合はそれも書くこと。なお，共鳴構造を持つ場合は，最も寄与の大きなものを記すこと。

(1) CH_2O_2 (2) CH_2N_2 (3) NO_3^-

問 4. 1-ethyl-2-methylcyclohexane は，シス体とトランス体のどちらが安定か？理由とともに述べよ。

問 5. hexane の C3-C4 間の結合に関して，ねじれ形配座（staggered conformation）と重なり形配座（eclipsed conformation）六つのうち，最も安定なものと最も不安定なものをニューマン投影式で記せ。

問 6. 塩化水素の求電子付加を受けて 2-chloro-2-methylbutane に位置選択的に変換されるアルケンを二つ記せ。また，いずれかのアルケンについて，2-chloro-2-methylbutane に変換される反応の機構を記せ。

【解答例】

【 I 】

問 1.

(a) HClO_4

理由：塩素酸 HClO_3 中の Cl は 5 価、過塩素酸 HClO_4 中の Cl は 7 価のため、酸化数高い Cl を含む HClO_4 の方が静電的な効果が大である。酸素がより強くひきつけられる結果、 HClO_4 の OH プロトンはより解離しやすくなり、ブレンステッド酸性が強い。ポーリングの規則からもオキシ基の多い（3 つ） HClO_4 が 2 つのオキシ基を持つ HClO_3 より強いブレンステッド酸といえる。

(b) $[\text{Fe}(\text{OH}_2)_6]^{3+}$

理由：二価の鉄イオンより、三価の鉄イオンのアクア錯体の方が水分子の酸素を強くひきつけ、プロトンはより解離しやすくなる。

(c) H_3PO_4

理由：2 つは、それぞれ、リン酸の 1 段階目と 2 段階目の酸解離に相当し、1 段階目の中性の H_3PO_4 分子からの解離の方が、2 段階目のモノアニオン H_2PO_4^- よりプロトン解離は圧倒的に容易なのでブレンステッド酸性は強い。

(d) $[\text{Al}(\text{OH}_2)_6]^{3+}$

理由：同族の Al^{3+} と Ga^{3+} を比較した場合、同じ三価であってもため周期表の

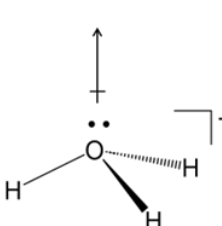
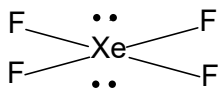
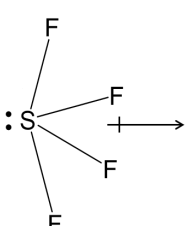
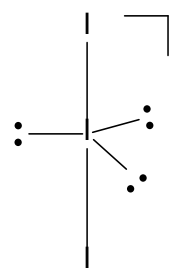
上位に位置する Al^{3+} の方が、イオン半径が小さく静電的な効果は大きい。従って、 Al^{3+} の方が水分子の酸素を強くひきつけ、アクア酸としては、より強い酸となる。

問 2.

- (1) ルイス酸 Ag^+
- (2) ルイス塩基 Cl^- , CN^-
- (3) 平衡定数は 1 より大きい。

理由： Ag^+ は柔らかいルイス酸であり、より柔らかい塩基との親和性が大きい。 Cl^- と CN^- を比べると CN^- がより柔らかい塩基であるので、この反応の平衡は右に偏る。従って、平衡定数は 1 より大きくなる。

問 3.

(a) OH_3^+	(b) XeF_4	(c) SF_4	(d) I_3^-
 三角錐形	 平面四角形 「なし」	 シーソー形	 直線形 「なし」

問 4 .

	陽イオン	基底状態の電子配置
(a)	Ca^{2+}	$(1s)^2(2s)^2(2p)^6(3s)^2(3p)^6$
(b)	Al^{3+}	$(1s)^2(2s)^2(2p)^6$
(c)	Mn^{4+}	$(1s)^2(2s)^2(2p)^6(3s)^2(3p)^6(3d)^3$
(d)	Fe^{3+}	$(1s)^2(2s)^2(2p)^6(3s)^2(3p)^6(3d)^5$

【Ⅱ】

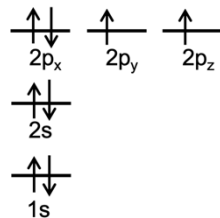
問 1. A: 主量子数 B: 方位量子数 C: 0 D: $n-1$ E: 磁気量子数
 F: $-l$ G: l H: s I: p J: d K: f L: 軌道 M: スピン
 N: スピン磁気量子数 O: $\pm \frac{1}{2}$

問 2. $(2, 0, 0)$ 2s 軌道 $(2, 1, -1)$ $(2, 1, 0)$ $(2, 1, 1)$ 2 軌道

問 3. 主量子数は軌道のサイズとエネルギーを決める。
 方位量子数は軌道の形と全角運動量を決める。
 磁気量子数は磁場をかけた際の磁気モーメントの z 成分に対応しており、軌道の向きを決める。

問 4. 規則 1. 電子はエネルギーの低い軌道から優先的に入り安定化する。
 規則 2. 1 つの原子中に 4 つの量子数 n, l, m, m_s が同じである電子が 2 個以上存在してはならない (パウリの排他原理)
 規則 3. 同じ n, l の量子数をもつ軌道に電子が入る場合、まず同じ向きのスピンをもつ電子が順番に軌道を埋めていく。その後、同じスピンの電子が入る軌道がなくなったら、逆向きのスピンの電子が入り対をつくる (フントの規則)。

問 5.



問 6. (i) 気体中の基底状態にある原子、または分子から、この最外殻の電子 1 個を無限遠に引き離して、陽イオンと自由電子とに解離させるために要するエネルギー
 (ii) 中性原子が電子を受け取った際に放出されるエネルギー

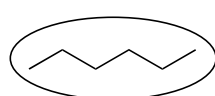
問 7. 水素イオンのイオン化エネルギーは最も安定な状態 ($n=1$) にある電子を無限遠、すなわち $n=\infty$ まで引き離すのに必要なエネルギーである。 $n=\infty$ のとき $E=0$ であるから、イオン化エネルギーは以下のように求まる。

$$\text{イオン化エネルギー} = 0 - \left(-\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \right) = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2}$$

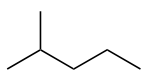
【Ⅲ】

問 1.

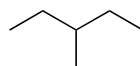
分岐が少ないほど表面積が大きくなり、
沸点を高める分散力が働きやすくなる。



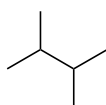
hexane



2-methylpentane



3-methylpentane

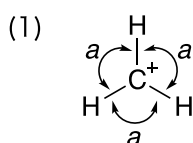


2,3-dimethylbutane

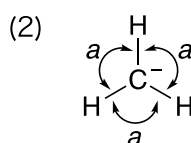


2,2-dimethylbutane

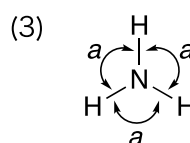
問 2.



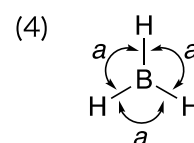
$a = 120^\circ$ ちょうど



$a = 109.5^\circ$ より少し小さい

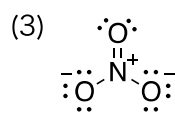
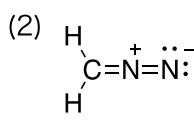
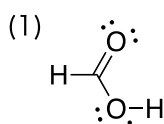


$a = 109.5^\circ$ より少し小さい

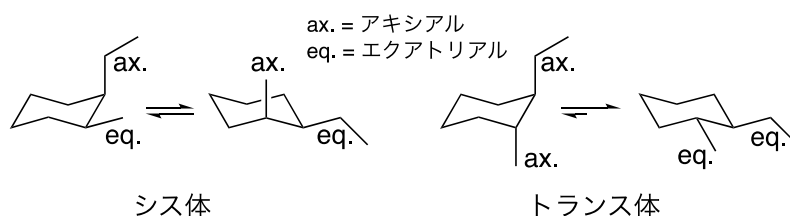


$a = 120^\circ$ ちょうど

問 3

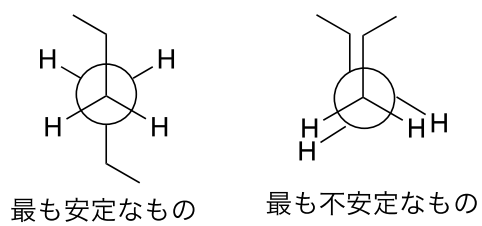


問 4.

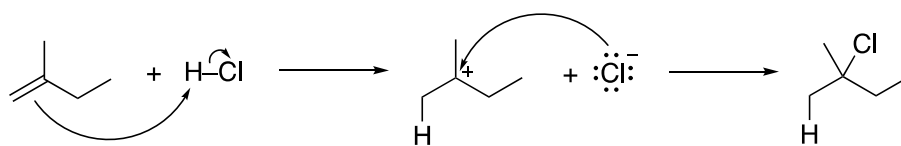
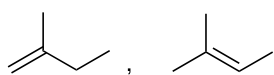


シクロヘキサン誘導体のいす形配座においては、水素以外の置換基がアキシアル位に存在するとジアキシアル相互作用によって不安定になる。シス体では、二つのアルキル基のうちの何れかがアキシアル位に存在し、安定性がほぼ等しい二つの配座異性体の、ほぼ1対1の平衡状態となる。これに対して、トランス体では、二つの置換基が何れもエクアトリアル位に存在する、安定な配座異性体に平衡が偏っている。したがって、トランス体の方が安定となる。

問5.



問6.



【出題の意図】

【Ⅰ】

問 1. 化学の基本概念として重要なブレンステッド酸・塩基の化学的な意味と、酸性度の根源の理解を問う。

問 2. 酸塩基の概念としてブレンステッド酸塩基とともに重要なルイス酸・塩基の化学的な意味と、酸性度の根源および酸塩基のソフト性、ハード性についての理解を問う。

問 3. 簡単な無機化合物の分子やイオンの構造を説明するうえで重要となる原子価殻電子対反発モデルと、分子の双極子モーメントについての理解を問う。

問 4. 無機化合物の性質を考える上で本質的となる金属陽イオンの基底状態の電子配置を問う。

【Ⅱ】

量子化学の考えに基づく原子軌道の種類、原子軌道への電子配置、および電子配置に基づくイオン化エネルギーと電子親和力について問う。

【Ⅲ】

問 1. 分子式から割り出すことができる構造異性体の構造式および化合物名を記述できるかを問う。

- 問 2. 分子式（組成式）から割り出すことができる分子・イオンの電子配置と三次元構造が理解できているかを問う.
- 問 3 分子式（組成式）から割り出すことができる分子・イオンの電子配置と共鳴構造が理解できているかを問う.
- 問 4. シクロヘキサン誘導体の配座異性体の安定性に関する理解度を問う.
- 問 5. 鎖状アルカンの配座異性体の安定性に関する理解度を問う.
- 問 6. アルケンに対する求電子付加反応およびその位置選択性に関する理解度を問う.