

平成29年度  
東京大学大学院総合文化研究科  
広域科学専攻修士課程入学試験問題  
相関基礎科学系 総合科目

(平成28年7月16日 13:00~16:30)

試験開始の合図があるまで問題冊子を開いてはいけません。開始の合図があるまで、下記の注意事項をよく読んでください。

1. 本冊子は、相関基礎科学系を志望する受験者のためのものである。
2. 本冊子の本文は31ページである。落丁、乱丁又は印刷不鮮明の箇所があった場合には、手を挙げて申し出ること。
3. 第1問~第15問から3問を選択して解答すること。
4. 配付された3枚の解答用紙(両面使用可)は、問題ごとに1枚を使用すること。
5. 解答用紙の上の欄に、解答した問題の番号、科目名、氏名及び受験番号を、次の記入例のように記入すること。なお、氏名、受験番号を記入していない答案は無効である。

記入例

問題番号	科目名	氏名	受験番号
第5問	物理学(4)	○ ○ ○ ○	No.○○○○

6. 特に指定がない限り日本語または英語で解答すること。
7. 本冊子の最後の3枚は草稿用紙である。切り離して使用してもよい。
8. 試験の開始後は、中途退場を認めない。
9. 本冊子、解答用紙及び草稿用紙は持ち帰ってはならない。
10. 次の欄に受験番号と氏名を記入せよ。

受験番号	
氏名	

## 相關基礎科学系 総合科目

### 目次

第1問	数学	1
第2問	物理学 (1)	2～3
第3問	物理学 (2)	4～5
第4問	物理学 (3)	6～7
第5問	物理学 (4)	8～9
第6問	化学 (1)	10～12
第7問	化学 (2)	13～16
第8問	化学 (3)	17～20
第9問	化学 (4)	21～23
第10問	生物学 (1)	24～25
第11問	生物学 (2)	26～27
第12問	科学史・科学哲学 (1)	28
第13問	科学史・科学哲学 (2)	29
第14問	科学史・科学哲学 (3)	30
第15問	科学史・科学哲学 (4)	31

平成 29 年度 修士課程入学試験問題  
 関連基礎科学系 総合科目

第 1 問 数学

以下の問 I~ V に答えよ。

I. 次の連立微分方程式を解いて、 $y(x)$ ,  $z(x)$  の一般解を求めよ。

$$\frac{dy}{dx} + \frac{dz}{dx} + 3y = \sin x,$$

$$\frac{dy}{dx} - y + z = \cos x.$$

II. 次の定積分  $I$  を求めよ。

$$I = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\cos x}{x^2 + a^2} dx$$

ただし、 $a$  は正の定数とする。

III.  $n$  を正の整数として、 $n$  次複素正方行列  $A$  を考える。  $A$  のエルミート共役を  $A^*$  として、  $A$  が  $AA^* = A^*A$  を満たすとき、 次の問に答えよ。 ただし、  $A$  の作用する  $n$  次元複素ベクトル空間の内積は二つの複素ベクトル  $\phi, \psi$  に対して、

$$\langle \phi, \psi \rangle = \sum_{i=1}^n \phi_i \bar{\psi}_i$$

と定義する。 ここで、 任意の複素数  $c$  に対して、  $\bar{c}$  は  $c$  の複素共役である。

- (1) 任意の  $n$  次元複素ベクトル  $\phi$  に対して、  $\langle A\phi, A\phi \rangle = \langle A^*\phi, A^*\phi \rangle$  が成り立つことを示せ。
- (2)  $\Psi_\lambda$  を  $A$  の固有値  $\lambda$  に属する固有ベクトルとし、  $A\Psi_\lambda = \lambda\Psi_\lambda$  が成り立つとする。 このとき、  $\Psi_\lambda$  は  $A^*$  の固有値  $\bar{\lambda}$  に属する固有ベクトルであり、  $A^*\Psi_\lambda = \bar{\lambda}\Psi_\lambda$  となることを示せ。
- (3)  $A$  の異なる固有値に属する固有ベクトルは互いに直交することを示せ。

IV. 以下の偏微分方程式を考える。

$$\frac{\partial u(x, t)}{\partial t} = a \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} + bu(x, t),$$

$$u(0, t) = u(1, t) = 0, \quad u(x, 0) = f(x).$$

ここで、  $x \in [0, 1]$  であり、  $a, b$  は正の定数である。 また、  $f(x)$  は区間  $[0, 1]$  で与えられた連続微分可能な関数で、  $f(0) = f(1) = 0$  である。 このとき、  $t \geq 0$  における解  $u(x, t)$  を求めよ。

V. 区間  $[-1, 1]$  で定義される実数  $x$  の実数係数多項式全体からなる線形空間において、 内積を  $(f, g) = \int_{-1}^1 dx f(x)g(x)$  によって定義する。 このとき、 単項式の列  $\{1, x, x^2, x^3, \dots\}$  からグラム・シュミットの直交化法によって得られる正規直交多項式を  $\{\phi_n(x) \mid n = 0, 1, 2, 3, \dots\}$  とする。 ただし、  $\phi_n(x)$  は  $x$  の  $n$  次多項式である。  $\phi_0(x)$ ,  $\phi_1(x)$ ,  $\phi_2(x)$ ,  $\phi_3(x)$  を求めよ。

平成 29 年度修士課程入学試験問題

相関基礎科学系 総合科目

第 2 問 物理学 (1) (その 1)

以下の問 I, II, III に答えよ。ただし、 $\hbar$  はプランク定数を  $2\pi$  で割った定数である。また、問 I, II については、計算を要する問題は、結果だけでなく導出過程も簡単に記すこと。

I. ある物理量  $A$  を表す演算子を  $\hat{A}$ 、その固有値を  $a_n$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ )、規格化された固有ベクトルを  $|a_n\rangle$  とする。 $a_n$  は離散固有値で、縮退はないとする。

(1) 時刻  $t$  における系の規格化された状態ベクトルを  $|\psi(t)\rangle$  とする。この状態について  $A$  を (誤差なく) 測ったときに、ひとつの固有値  $a_n$  が測定値として得られる確率  $P(a_n, t)$  はいくらか。

(2) この系のハミルトニアンを  $\hat{H}$  とすると、状態ベクトル  $|\psi(t)\rangle$  はシュレディンガー方程式

$$i\hbar \frac{d}{dt} |\psi(t)\rangle = \hat{H} |\psi(t)\rangle$$

に従って時間発展する。このとき、 $\langle \psi(t) | \psi(t) \rangle$  が時間変化しないことを示せ。

(3) もし問 (2) の結果が成り立たないとすると、問 (1) の結果は確率とは解釈できなくなる。その理由を述べよ。

II. 質量  $m$  ( $> 0$ ) の粒子の位置  $x$ 、運動量  $p$  を表す演算子を、それぞれ  $\hat{x}, \hat{p}$  とする。また、規格化された状態  $|\psi\rangle$  についての期待値を  $\langle x \rangle \equiv \langle \psi | \hat{x} | \psi \rangle$ 、 $\langle x^2 \rangle \equiv \langle \psi | \hat{x}^2 | \psi \rangle$  などと略記する。このとき、粒子の位置  $x$  のゆらぎ  $\delta x \equiv \sqrt{\langle \psi | (\hat{x} - \langle x \rangle)^2 | \psi \rangle}$  と、運動量  $p$  のゆらぎ  $\delta p \equiv \sqrt{\langle \psi | (\hat{p} - \langle p \rangle)^2 | \psi \rangle}$  の間には、

$$\delta x \delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

という不確定性関係がある。

(4)  $\langle x \rangle$  と  $\delta x$  は、実験的にはどのように求められる量か。すなわち、どういう実験をしたときに、その測定値から どのような式で 求められる量か。

(5) 運動エネルギーの期待値  $\left\langle \frac{p^2}{2m} \right\rangle$  のとりうる最小値を、 $m, \delta x, \hbar$  で表せ。

(6) この粒子のハミルトニアンが、 $J, K$  を正定数として、

$$\hat{H} = \frac{1}{2m} \hat{p}^2 + \frac{J}{2} \hat{x}^2 + \frac{K}{6} \hat{x}^6$$

で与えられるとする。基底状態のエネルギーは許される状態のうちで最小であることと、上記の不確定性関係を用いて、基底状態の波動関数の空間的広がりの大きさ  $\delta x$  を見積もれ。

第 2 問 物理学 (1) (その 2)

III. 以下の文章の あ ~ き の枠内に当てはまる数式や記号を答えよ。

$\hbar = 1$  として、スピン角運動量  $1/2$  をもつ三つのスピンの、互いに相互作用している系を考える。スピン演算子を  $\hat{S}_1, \hat{S}_2, \hat{S}_3$  とすると、系のハミルトニアンは次のように与えられる。

$$\hat{H} = -J(\hat{S}_1 \cdot \hat{S}_2 + \hat{S}_2 \cdot \hat{S}_3 + \hat{S}_3 \cdot \hat{S}_1), \quad J > 0.$$

ここで  $i$  番目 ( $i = 1, 2, 3$ ) のスピンの  $x, y, z$  方向成分をそれぞれ  $\hat{S}_i^x, \hat{S}_i^y, \hat{S}_i^z$  とする。スピン演算子の間には  $[\hat{S}_1^x, \hat{S}_1^y] = i\hat{S}_1^z$ ,  $[\hat{S}_1^x, \hat{S}_2^y] = 0$  などの交換関係が成り立つ。  $\hat{H}|\phi\rangle = E|\phi\rangle$  を満たす、固有エネルギー  $E$  とエネルギー固有状態  $|\phi\rangle$  を求めたい。

全スピン角運動量  $\hat{S}_{\text{tot}} = \hat{S}_1 + \hat{S}_2 + \hat{S}_3$  を使うとハミルトニアンは次のように書き直すことができる。

$$\hat{H} = -\frac{J}{2}\hat{S}_{\text{tot}}^2 + JC, \quad \text{定数 } C = \text{ あ }.$$

このことから基底状態のエネルギー固有値は い である。

$\hat{S}_i^z$  の固有値は  $S_i^z = +1/2, -1/2$  の二つであり、これらに相当する 1 スピン状態をそれぞれ  $\uparrow, \downarrow$  と記すと、3 スピン状態は、 $|S_1^z S_2^z S_3^z\rangle = |\uparrow\uparrow\uparrow\rangle, |\uparrow\uparrow\downarrow\rangle$  などのように表すことができる。独立な 3 スピン状態は全部で う 種類あり、規格直交基底をなす。これらの線形結合の形で具体的にエネルギー固有状態をあらわしてみよう。

まず基底状態のうちで  $S_{\text{tot}}^z = S_1^z + S_2^z + S_3^z$  が最大の状態は  $|S_1^z S_2^z S_3^z\rangle = \text{ え }$  のように直ちに書き下すことができる。

つぎにエネルギー固有状態のうちで  $S_{\text{tot}}^z = 1/2$  のものを求めたい。ハミルトニアンと交換可能な演算子はハミルトニアンと同時固有状態をもつことを利用する。このような演算子の一つにスピンを  $\hat{R}|S_1^z S_2^z S_3^z\rangle = |S_2^z S_3^z S_1^z\rangle$  のように巡回置換する演算子  $\hat{R}$  がある。  $\hat{R}^3 = \hat{1}$  となることと、周期系におけるブロッホの定理やフーリエ変換を思い出すと、  $\hat{R}$  と  $\hat{S}_{\text{tot}}^z$  と  $\hat{H}$  の同時固有状態は適切な定数  $\Lambda$  (複素数も含む) を用いて

$$\frac{1}{\sqrt{3}} \left( |\uparrow\uparrow\downarrow\rangle + \Lambda |\uparrow\downarrow\uparrow\rangle + \Lambda^2 |\downarrow\uparrow\uparrow\rangle \right)$$

と表せることが分かる。  $\Lambda$  の取り得る値をすべて列挙すると お となる。このうちで、基底状態となるのは  $\Lambda = \text{ か }$  の場合である。

以上の結果からすでに二つ基底状態が得られた。残りの基底状態を列挙すると、 き となる。

平成 29 年度修士課程入学試験問題  
相関基礎科学系 総合科目

第 3 問 物理学 (2) (その 1)

以下の問 I, II に答えよ。ボルツマン定数を  $k_B$  とする。  
計算を要する問題は、結果だけでなく、導出過程も簡単に記すこと。

I. シリンダーに密封された気体の熱力学に関する以下の問いに答えよ。ただし気体は熱平衡状態にあるとする。

- (1) シリンダーに微小な操作を行うとき、気体の内部エネルギー  $U$  の微小変化  $dU$  は、エントロピー  $S$  の微小変化  $dS$  と体積  $V$  の微小変化  $dV$  を用いて、

$$dU = \boxed{\text{あ}} dS + \boxed{\text{い}} dV$$

と書ける。  $\boxed{\text{あ}}$  と  $\boxed{\text{い}}$  を、気体の圧力  $P$  と絶対温度  $T$  を用いて答えよ。

- (2) 封入された気体は、剛体球気体（熱運動する剛体球からなる気体）とする。剛体球気体は、

$$P(V - Nb) = Nk_B T$$

によく従う。ここで  $N$  は球の個数、 $b$  は球の体積、体積は  $V > Nb$  を満たすとする。以下の問いでは、剛体球気体がこの状態方程式に正確に従うものとする。まず、この状態方程式を用いて、剛体球気体の内部エネルギー  $U(T, V)$  が体積  $V$  に依存しないことを示せ。

- (3) 統計力学に基づいて考察すると、剛体球気体の内部エネルギーは、

$$U = \frac{3}{2} Nk_B T$$

となる。剛体球気体の断熱準静的過程において、圧力  $P$  と体積  $V$  が従う関係式を導け。

- (4) ある人が、圧力が  $P(> 0)$  に固定された小さなシリンダーに粒子数  $N$  の剛体球気体を封入し、その体積  $V$  を測定できるようにした。そしてこのシリンダーで測定した

$$\Theta = \frac{PV}{Nk_B}$$

を「剛体球気体温度」と称した。さてこの剛体球気体温度  $\Theta$  を、熱力学的絶対温度とみなすことは可能だろうか。まず熱力学的絶対温度の定義を述べよ。そしてその定義には任意性が残されていることに留意して、 $\Theta$  を熱力学的絶対温度とみなすことが可能か議論せよ。

- (5) 前問において、体積を  $V(> Nb)$  に固定しつつ圧力  $P$  を測定した場合は、この剛体球気体温度  $\Theta$  を熱力学的絶対温度とみなすことは可能か。前問と同様に議論せよ。

第 3 問 物理学 (2) (その 2)

II. 互いに独立な多数の古典的スピンからなる系が、温度  $T$  の熱浴と熱平衡状態にある。各スピンの大きさ  $S$  は一定であり、各スピンには大きさ  $H$  の一様外場が掛かっている。その外場の向きを  $z$  軸の向きとするデカルト座標系でスピンの向きが

$$\mathbf{S} = S(e_x \sin \theta \cos \phi + e_y \sin \theta \sin \phi + e_z \cos \theta), \quad 0 \leq \theta \leq \pi, \quad 0 \leq \phi < 2\pi$$

( $e_\nu$  ( $\nu = x, y, z$ ) は  $\nu$  方向の単位ベクトル) と表されるとき、そのエネルギーは  $-SH \cos \theta$  である。以下の問いに答えよ。

(6) スピンの向きが微小立体角  $d\Omega(\theta, \phi) = \sin \theta d\theta d\phi$  の中にある確率を

$$P(\theta, \phi; T, H) \frac{d\Omega(\theta, \phi)}{4\pi}$$

と表すとき、確率密度  $P(\theta, \phi; T, H)$  は

$$P(\theta, \phi; T, H) = \frac{f(\theta, \phi; T, H)}{Z(T, H)}$$

と表される。  $f(\theta, \phi; T, H)$  と  $Z(T, H)$  の関数形を書け。  $f(\theta, \phi; T, H)$  と  $Z(T, H)$  の選び方は一意ではないので、各自便利なように選んでよい。

- (7) 一つのスピンあたりの自由エネルギー  $F(T, H)$  を求めよ。前問の  $Z(T, H)$  を用いて表しても良い。
- (8) 各スピンの熱平衡値  $\langle \mathbf{S} \rangle$  を求めよ。
- (9) 前問の  $\langle \mathbf{S} \rangle$  の大きさは温度の減少関数であることを示せ。
- (10)  $T$  を一定に保ったまま準静的に外場を強くしていくとき、系が熱浴から受け取る熱は正か負か。理由とともに答えよ。

平成 29 年度修士課程入学試験問題

相関基礎科学系 総合科目

第 4 問 物理学 (3) (その 1)

以下の問 I, II, III に答えよ. 真空の誘電率を  $\epsilon_0$ , 真空の透磁率を  $\mu_0$  とする. 座標  $(x, y, z)$  はデカルト座標である.

I. 質量  $m$  の質点の  $x$  方向への 1 次元的な運動を考える. 質点の時刻  $t$  での位置を  $x(t)$  とし,  $\omega$  と  $A$  を正の定数として力  $F$  が以下の (a) から (e) のように与えられる場合を考えよう.

$$F = -m\omega^2 x(t), \quad (\text{a})$$

$$F = -m\omega^2 x(t) - m\omega \frac{dx(t)}{dt}, \quad (\text{b})$$

$$F = -m\omega^2 x(t) - 2m\omega \frac{dx(t)}{dt}, \quad (\text{c})$$

$$F = -m\omega^2 x(t) - \frac{m\omega^2}{A^2} x(t)^3, \quad (\text{d})$$

$$F = -m\omega^2 x(t) + Am\omega^2 \cos 2\omega t. \quad (\text{e})$$

(1) 力学的エネルギーが保存する場合を (a) から (e) の中からすべて選び, それぞれの力  $F$  のポテンシャル  $U$  を求めよ. ただしポテンシャル  $U$  の原点は  $x = 0$  のときに  $U = 0$  となるように選ぶこと.

(2) 時刻  $t = 0$  での初期条件が

$$x(0) = 0, \quad \left. \frac{dx(t)}{dt} \right|_{t=0} = A\omega$$

のように与えられているとき, (a) から (c) の力  $F$  の各々に対して  $t \geq 0$  の  $x(t)$  を求めよ. 導出過程を書かずに最終結果を答えるだけでも良い.

II. 電流分布が作る磁束密度を特徴づける磁気双極子モーメントについて考える.

(3) まず, 電荷分布が作る電場を特徴づける電気双極子モーメントについて復習しよう.  $q$  と  $d$  を正の定数として,  $(0, 0, d/2)$  に電荷  $q$ ,  $(0, 0, -d/2)$  に電荷  $-q$  を置いたとき, この電荷分布の電気双極子モーメントは  $(0, 0, qd)$  である. このとき,  $(0, 0, z)$  での電場の  $z$  成分  $E_z(0, 0, z)$  は  $z \gg d$  のときに  $qd$  を含む適当な定数  $\alpha$  を用いて  $E_z(0, 0, z) \simeq \alpha/z^3$  と近似できる.

一方,  $m$  を正の定数として磁気双極子モーメント  $(0, 0, m)$  をもつ原点付近の電流分布が作る磁束密度の  $z$  成分  $B_z(0, 0, z)$  は,  $z (> 0)$  が十分大きいとき  $B_z(0, 0, z) \simeq \gamma/z^3$  と表せる.  $\gamma$  は  $\alpha$  で  $qd \rightarrow m, 1/\epsilon_0 \rightarrow \mu_0$  という置き換えをすることで得られる.  $\gamma$  を求めよ.



平成 29 年度修士課程入学試験問題  
 相関基礎科学系 総合科目

第 4 問 物理学 (3) (その 2)

- (4)  $xy$  平面上の原点を中心とする半径  $a$  の円周上を流れる大きさ  $j$  の円電流が  $(0, 0, z)$  に作る磁束密度の  $z$  成分は

$$B_z(0, 0, z) = \frac{\mu_0 j}{2\pi} \frac{\pi a^2}{(z^2 + a^2)^{3/2}}$$

で与えられる。ここで電流は、右ネジを  $z$  軸の正の向きに進むように回す向きに流れている。  $z \gg a$  での  $B_z(0, 0, z)$  の振る舞いからこの磁束密度を特徴づける磁気双極子モーメントの大きさ  $m$  を、  $j$  を用いて表せ。

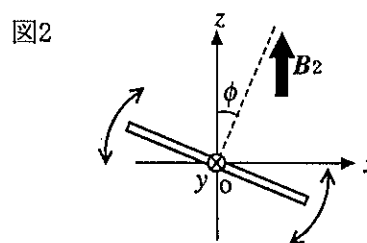
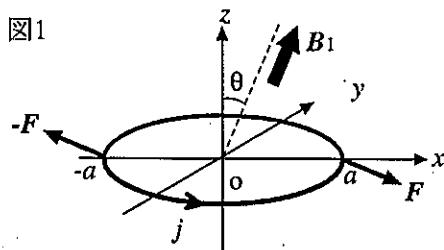
III.  $xy$  平面上で原点を中心とする半径  $a$  の薄い円盤状の磁石が、磁気双極子モーメント  $\mathbf{m} = (0, 0, m)$  をもっている。この円盤に一樣な弱い磁束密度をかけたときに受けるトルク (力のモーメント) を測定することによって  $m$  を求めたい。このトルクは、円盤の縁に沿って流れる大きさ  $j$  の円電流が受けるトルクと等価であるとする。ただし  $m$  と  $j$  の関係は問 II(4) の  $m$  と  $j$  の関係と同じである。

- (5) 円電流に、  $B$  を正の定数、  $\theta$  を  $0 < \theta < \pi$  の定数として図 1 のような一樣な磁束密度  $\mathbf{B}_1 = (B \sin \theta, 0, B \cos \theta)$  を加えた。このとき円電流の  $(a, 0, 0)$  の位置にある微小線要素  $\Delta s$  と  $(-a, 0, 0)$  にある微小線要素  $\Delta s$  は、大きさが等しく逆向きの力 (図 1 の  $\mathbf{F}$  と  $-\mathbf{F}$ ) を受ける。これらの力によって円電流が受けるトルクの大きさ  $\Delta n$  を  $\Delta s, j, B, a, \theta$  を用いて表せ。またトルクの向きを答えよ。

- (6) 円電流のすべての部分からの力の寄与を合わせたトルクの大きさ  $n$  を  $j, B, a, \theta$  を用いて表せ。

図 2 のように円盤が  $y$  軸まわりでのみ自由に回転できるように固定し、  $B$  を正の定数として一樣な磁束密度  $\mathbf{B}_2 = (0, 0, B)$  を加えた。磁束密度  $\mathbf{B}_2$  によって円盤の磁気双極子モーメントは変化しないとする。

- (7) 円盤の  $y$  軸まわりの慣性モーメントを  $I$  とする。ある時刻  $t$  で、円盤の中心軸が  $z$  軸となす角度  $\phi(t)$  を微小角度にして円盤を静止させ、静かに手をはなすと円盤は周期  $T$  の振動をした。この  $T$  を測定することによって  $m$  を求めることができる。  $T$  を  $I, m, B$  を用いて表せ。



平成 29 年度修士課程入学試験問題  
 相関基礎科学系 総合科目

第 5 問 物理学 (4) (その 1)

以下の問 I, II, III に答えよ。計算を要する問題は、結果だけでなく導出過程も簡単に記すこと。

I.  $z$  軸の負の方向から  $z$  軸に沿って単色光平面波が進行し、 $z = -a$  ( $a > 0$ ) の位置に置かれた試料  $S$  へ入射しているとする。図 1 のように、焦点距離  $f$  ( $a > f$ ) の理想的な薄い凸レンズを  $z = 0$  の位置に置く。このとき  $z$  軸はレンズ面に対し直交し、レンズ面の中心を通っているとする。

- (1)  $z = b$  ( $b > 0$ ) のスクリーン面上に倒立した  $S$  の像が形成された。試料上の一点から広がる波の一部の進行方向を示した図 2 を参考にして、 $b$  を  $a, f$  を用いて表せ。またこのとき、スクリーン上での像の大きさは、元の試料の何倍か。
- (2) 試料面を通過した直後の位置  $(x_s, y_s, -a)$  における波の振幅を  $A_s(x_s, y_s)$  とする。 $z = f$  の焦点面での位置  $(x_f, y_f, f)$  での波の強度  $I_f(x_f, y_f)$  は、試料面からの波が  $z$  軸からあまり離れて広がらず、レンズが試料に比べて十分に大きいという条件のもとでは、 $A_s(x_s, y_s)$  のフーリエ変換の絶対値の 2 乗に比例し、

$$I_f(x_f, y_f) = C \left| \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} dx_s dy_s A_s(x_s, y_s) \exp \left[ -i \frac{k}{f} (x_f x_s + y_f y_s) \right] \right|^2$$

となる (ただし、 $C$  は正定数、 $k$  は波数)。今、試料面に長方形開口部を有するつい立てを置き、

$$A_s(x_s, y_s) = \begin{cases} 1 & (-\alpha/2 \leq x_s \leq \alpha/2 \text{ かつ } -\beta/2 \leq y_s \leq \beta/2 \text{ のとき} \\ 0 & \text{(それ以外)} \end{cases}$$

とするとき (ただし、 $\alpha, \beta$  は正定数)、 $I_f(x_f, y_f)$  を求めよ。

- (3) 問 (2) の結果から、 $z = f$  の焦点面において  $x_f$  軸上で観察される波の強度変化の概形をグラフに図示せよ。
- (4) レンズの半径を大きくすると像の分解能は上がるか下がるか、問 (3) の結果を参考にして、簡潔な理由とともに答えよ。

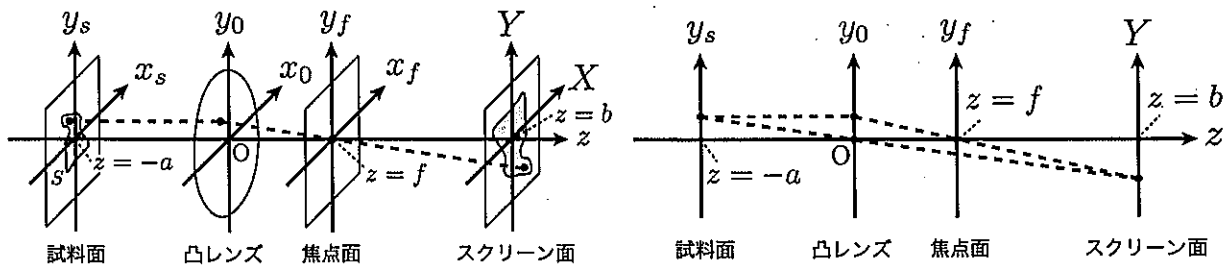


図 1

図 2

平成 29 年度修士課程入学試験問題  
 関連基礎科学系 総合科目

第 5 問 物理学 (4) (その 2)

II.  $z$  軸に沿って正の方向に進行する単色光平面波を考える. このとき位置  $z$  における波は複素数表示で  $A_0(z, t) = A \exp [i\omega(t - z/c)]$  と表されたとする (ただし  $A$  は振幅,  $\omega$  は角速度,  $t$  は時間,  $c$  は真空中の光速). 今,  $z = l (> 0)$  の位置に厚さ  $d (<< l)$ , 屈折率  $n (> 1)$  の光の吸収のない透明薄板を,  $z$  軸に垂直に置く.

(5)  $z > l + d$  の位置で観察される波が  $A_1(z, t) = A \exp \left[ i\omega \left( t - \frac{z}{c} - \frac{d(n-1)}{c} \right) \right]$  となることを示せ. ただし, 透明薄板の表面による光の反射は無視できるものとする.

(6)  $n \approx 1$  のとき,  $A_1(z, t) \approx A_0(z, t) + \frac{\omega d(n-1)}{c} A_0(z, t) \exp \left[ -i\frac{\pi}{2} \right]$  と表せることを示せ.

III. 光学顕微鏡を用いて微小試料を観察するとき, 試料が特定波長の光を吸収する場合は, その波長の光の強度が大きく変化するため, 高いコントラストをもつ試料像を得ることができる. これに対し, 光を吸収しない無色透明な試料に対しても高コントラスト像を与える顕微観察法として「位相差観察 (phase contrast) 法」がよく用いられる. 図 3 で示した光学系では, 単色光の平行光束が試料面に照射される. 試料面からの光は対物レンズにより集光され, 後方の像面位置に像を作る. 試料面の光軸位置  $O$  に細胞などの微小な透明試料を置くと, 試料に入射した光は, 位相が変化せずに透過する直接光と, 試料との相互作用の結果, 位相が約  $\pi/2$  遅れ, 様々な方向に散乱する回折光に分かれる. これら 2 種類の光は像面上の位置  $P$  において干渉し, 結像する.

(7) 図 3 のように, 対物レンズの焦点面の位置に位相板を置くと, 直接光のみの位相を変化させることができる. 位相板を用いて, 直接光の位相を  $\pi/2$  だけ遅らせた場合, および  $\pi/2$  だけ進めた場合のそれぞれについて, 試料の像が得られる  $P$  の位置での結像光の強度は, 位相板がないときと比べてどう変化するか, 理由とともに答えよ.

(8) 実際には細胞などの薄い透明試料を観察する場合には, 直接光の位相をずらすだけでは高コントラストの試料像を得ることはできない. コントラストを上げるためには, さらにどのような工夫が必要か簡潔に述べよ.

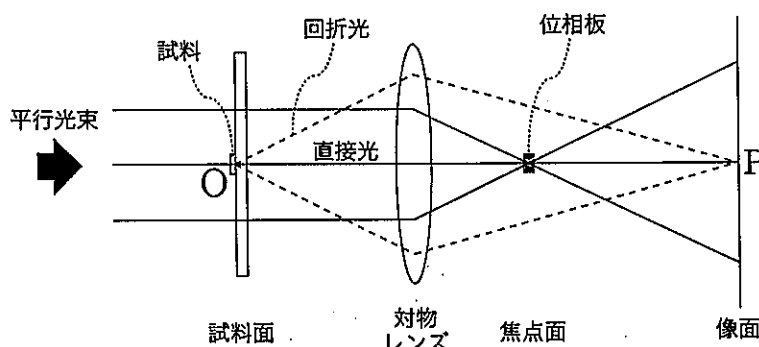


図 3

平成 29 年度修士課程入学試験問題  
 相関基礎科学系 総合科目

第 6 問 化学 (1) その 1

次の問 I ~ IV に答えよ。

I. 水素原子の線スペクトルの波長  $\lambda$  はリュードベリ公式により

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right)$$

で与えられる。ただし、 $n$  および  $n'$  は主量子数、 $R$  はリュードベリ定数である。下の問に答えよ。ただし、リュードベリ定数  $R = 1.10 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ 、プランク定数  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$ 、光速  $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ 、エネルギーの単位換算  $1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$  とせよ。

- (1) 基底状態の水素原子の吸収スペクトルで最も長波長側に現れる線スペクトルはどのような主量子数間の遷移によるものか答えよ。
- (2) 問(1)の線スペクトルの波長を有効数字2桁で答えよ。
- (3) 水素原子のイオン化エネルギーの値は何 eV か。定数  $R$ ,  $h$ ,  $c$  を用いて計算し、有効数字2桁で答えよ。計算の過程も記せ。

II. 1,3-ブタジエン ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ ) の  $\pi$  電子系を単純ヒュッケル法にもとづいて考える。分子面を  $xy$  面とし、4個の炭素原子の  $2p_z$  軌道を、炭素鎖の端から順に、 $\chi_1$ ,  $\chi_2$ ,  $\chi_3$ ,  $\chi_4$  とする。

$\pi$  軌道  $\phi_1$ ,  $\phi_2$ ,  $\phi_3$ ,  $\phi_4$  は

$$\begin{aligned}\phi_1 &= 0.37\chi_1 + 0.60\chi_2 + 0.60\chi_3 + 0.37\chi_4 \\ \phi_2 &= 0.60\chi_1 + 0.37\chi_2 - 0.37\chi_3 - 0.60\chi_4 \\ \phi_3 &= 0.60\chi_1 - 0.37\chi_2 - 0.37\chi_3 + 0.60\chi_4 \\ \phi_4 &= 0.37\chi_1 - 0.60\chi_2 + 0.60\chi_3 - 0.37\chi_4\end{aligned}$$

で与えられる。それぞれの  $\pi$  軌道の軌道エネルギーは順に

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \alpha + 1.62\beta \\ \varepsilon_2 &= \alpha + 0.62\beta \\ \varepsilon_3 &= \alpha - 0.62\beta \\ \varepsilon_4 &= \alpha - 1.62\beta\end{aligned}$$

である。ただし、 $\alpha$  はクーロン積分、 $\beta$  は共鳴積分である。また、 $r$  番目と  $s$  番目の炭素原子の間の  $\pi$  結合の結合次数  $b_{rs}$  は

$$b_{rs} = \sum_i n_i C_{ir} C_{is}$$

で与えられる。ただし、 $n_i$  は  $i$  番目の  $\pi$  軌道を占有する電子の数、 $C_{ir}$  は分子軌道係数であり、線形結合の一般式

$$\phi_i = \sum_r C_{ir} \chi_r$$

平成 29 年度修士課程入学試験問題  
相関基礎科学系 総合科目

第 6 問 化学 (1) その 2

により定義される。次の問に答えよ。

- (1)  $\pi$  電子数を答えよ。
- (2) 最もエネルギーの低い  $\pi$  軌道はどれか答えよ。
- (3)  $\pi$  電子系の全エネルギーを、 $\alpha$  および  $\beta$  を用いて表せ。
- (4) 炭素鎖の端から 2 番目と 3 番目の炭素原子の間の  $\pi$  結合の結合次数を求め、有効数字 2 桁で答えよ。計算の過程も記せ。

III. 温度  $T$  の熱平衡における分子の  $n$  番目のエネルギー準位の占有率  $P_n$  は

$$P_n = \frac{1}{Z(T)} g_n \exp\left[-\frac{E_n}{kT}\right]$$

で与えられる。ただし、 $g_n$  および  $E_n$  はそれぞれ  $n$  番目のエネルギー準位の縮重度およびエネルギー、 $k$  はボルツマン定数、 $Z(T)$  は分子分配関数

$$Z(T) = \sum_n g_n \exp\left[-\frac{E_n}{kT}\right]$$

である。下の問に答えよ。ただし、ボルツマン定数  $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$ 、プランク定数  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$ 、気体定数  $R = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  とせよ。

- (1) 二原子分子の分子振動を振動数  $\nu$  の調和振動とみなし、振動分配関数を求めよ。
- (2) 温度  $T$  の熱平衡における二原子分子の振動の第 1 励起状態 (振動量子数  $\nu = 1$  の状態) の占有率  $P_{\nu=1}$  を表す式を求めよ。
- (3)  $\text{N}_2$  の振動の第 1 励起状態の占有率  $P_{\nu=1}$  が 0.001 になる温度を有効数字 2 桁で求めよ。ただし、 $\text{N}_2$  の振動数を  $7.07 \times 10^{13} \text{ s}^{-1}$  とせよ。また、 $\exp(-6.91) \approx 0.001$  である。
- (4) 理想気体でエネルギー等分配則が成り立つとき、モル定容熱容量  $C_v$  への 3 次元並進運動からの寄与として正しいものを次の (ア) ~ (オ) の中から一つ選べ。ただし、 $R$  は気体定数である。

(ア)  $\frac{1}{2}R$       (イ)  $\frac{2}{3}R$       (ウ)  $R$       (エ)  $\frac{3}{2}R$       (オ)  $3R$

- (5) 並進・回転・振動自由度についてエネルギー等分配則が成り立つとき、二原子分子の理想気体のモル定容熱容量  $C_v$  は  $C_v = 7R/2$  となる。温度 300 K における気体  $\text{N}_2$  のモル定容熱容量は  $20.8 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  であり、 $7R/2$  より小さい。この理由を説明せよ。ただし、気体  $\text{N}_2$  を理想気体とみなしてよい。

平成 29 年度修士課程入学試験問題  
 相関基礎科学系 総合科目

第 6 問 化学 ( 1 ) その 3

IV. 二原子分子の振動について考える。以下の間に答えよ。

- (1)  $^1\text{H}^{35}\text{Cl}$ の赤外吸収スペクトルを測定したところ、 $3000\text{ cm}^{-1}$ にピークが現れた。この遷移波長を求めよ。
- (2) 核間距離を $R$ とするとき、平衡核間距離  $R = R_e$  および  $R = \infty$ における分子振動のポテンシャルエネルギーの差、 $D_e = V(\infty) - V(R_e)$ は、振動基底状態における分子の結合解離エネルギーよりも大きな値を持つ。この理由を説明せよ。
- (3)  $^1\text{H}^{35}\text{Cl}$ の換算質量をkg単位で求めよ。ただし、 $^1\text{H}$ 原子および  $^{35}\text{Cl}$ 原子の質量をそれぞれ  $1.7 \times 10^{-27}\text{ kg}$ ,  $5.8 \times 10^{-26}\text{ kg}$ とせよ。
- (4)  $^1\text{H}^{35}\text{Cl}$ と $^2\text{D}^{35}\text{Cl}$ の基準振動数を比較したとき、どちらが大きいか理由とともに答えよ。 $^1\text{H}^{35}\text{Cl}$ と $^2\text{D}^{35}\text{Cl}$ の結合の力の定数は同じであるとしてよい。
- (5)  $\text{H}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ のような等核二原子分子は赤外不活性である。その理由を答えよ。また、このような分子の振動数を得るための方法を一つ答えよ。
- (6) 調和振動子近似を用いると規格化された振動固有関数は、

$$\psi_v(x) = N_v H_v(ax) e^{-\frac{a^2 x^2}{2}}$$

で与えられる。ここで、 $v$ は振動量子数、 $x$ は平衡核間距離からの変位を表し、 $N_v$ は $v$ に依存する規格化定数、 $a$ は力の定数と換算質量から決まる定数、 $H_v(x)$ はエルミート多項式で、 $H_0(x) = 1$ ,  $H_1(x) = 2x$ ,  $H_2(x) = 4x^2 - 2$ である。以下の間(a), (b)に答えよ。

- (a)  $v = 0$  および  $v = 1$ の波動関数の概形を描け。ただし、極大値や極小値の位置は求めなくてよい。
- (b) 電磁波の吸収による振動遷移 $v_2 \leftarrow v_1$ の遷移確率は、遷移モーメント $\mu_{21}$ の2乗に比例することが知られており、微小振動近似のもとで $\mu_{21}$ は次のように表される。

$$\mu_{21} = \left( \frac{d\mu}{dx} \right)_{x=0} \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{v_2}(x) x \psi_{v_1}(x) dx$$

ここで、 $\mu$ は電気双極子モーメントである。振動遷移 $2 \leftarrow 0$ が禁制であること、すなわち遷移モーメントが0となることを示せ。エルミート多項式の関係  $xH_0(x) = \frac{1}{2}H_1(x)$ , 固有関数の直交性を用いてよい。

平成 29 年度修士課程入学試験問題  
 相関基礎科学系 総合科目

第 7 問 化学 (2) その 1

以下の問 I ~ III に答えよ。必要であれば次の周期表を参照せよ。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac-Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn		Fl		Lv		

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

I. 以下の問(1)~(5)に答えよ。

- (1)  $I_3^-$  のルイス構造を書き、VSEPR (原子価殻電子対反発) モデルを適用して立体構造を説明せよ。
- (2)  $HClO_2$  と  $HClO_3$  のうち、水平化効果がない溶媒中でどちらが強い酸か。理由とともに答えよ。
- (3)  $Cl^-$  と  $I^-$  のうち、どちらが軟らかい塩基 (Soft Base) か。理由とともに答えよ。
- (4)  $[Fe(H_2O)_6]^{2+}$  と  $[Fe(H_2O)_6]^{3+}$  のうち、d軌道分裂幅が大きいのはどちらか。結晶場理論にもとづいて答えよ。
- (5)  $AB_2X_4$  (A は 2 価の陽イオン、B は 3 価の陽イオン、X は 2 価の陰イオン) がとる結晶構造のひとつである正スピネル型構造では、X のなす立方最密構造において、すべての A が四面体孔を、すべての B が八面体孔を占めている。A は全四面体孔のうちの何分の一を占めているか。また、B は全八面体孔のうちの何分の一を占めているか。

平成 29 年度修士課程入学試験問題  
 関連基礎科学系 総合科目

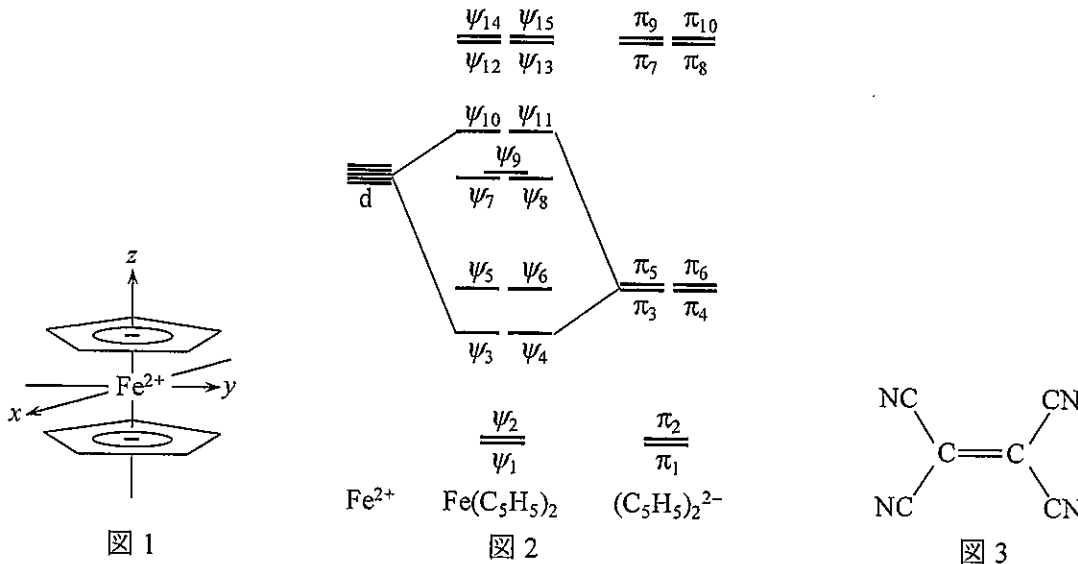
第 7 問 化学 (2) その 2

II. フェロセン  $\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$  は、鉄イオン ( $\text{Fe}^{2+}$ ) が 2 個のシクロペンタジエニドイオン ( $\text{C}_5\text{H}_5^-$ ) に挟まれた化合物である(図 1)。気相では、2 個の 5 員環は重なり型配置をとり、すべての C-Fe 結合距離は等しい。

フェロセンの分子軌道エネルギー準位を図 2 に示す。  $\psi_1 \sim \psi_6$ ,  $\psi_{12} \sim \psi_{15}$  軌道は 5 員環の  $\pi$  軌道の性質が強く、  $\psi_7 \sim \psi_{11}$  軌道は金属 d 軌道の性質が強い。フェロセンは d- $\pi$  相互作用が強く、反磁性を示す。

中心金属をマンガンイオン ( $\text{Mn}^{2+}$ ) に置換したマンガノセン  $\text{Mn}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$  は、d- $\pi$  相互作用が弱く、大きなスピン多重度を示す。またデカメチルフェロセン  $\text{Fe}(\text{C}_5\text{Me}_5)_2$  (Me =  $\text{CH}_3$ ) は、強い電子受容性をもつ TCNE (図 3) と  $\text{Fe}(\text{C}_5\text{Me}_5)_2$ -TCNE 錯体を形成し、約 5 K で強磁性になることが知られている。

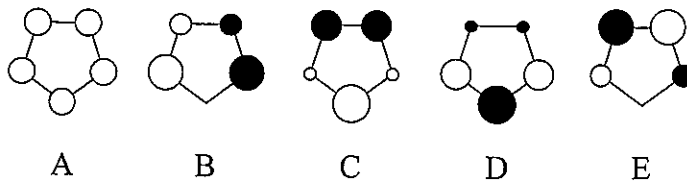
以下の問 (1) ~ (7) に答えよ。



- (1) フェロセンは 18 電子則を満たすことを示せ。
- (2) Hückel 法によると、5 員環 ( $\text{C}_5\text{H}_5$ ) の  $\pi$  軌道エネルギーは次式で与えられる。

$$E_i = \alpha + 2\beta \cos \frac{2\pi i}{5} \quad (i = 1, 2, \dots, 5)$$

ここで、 $\alpha$ ,  $\beta$  はそれぞれクーロン積分、共鳴積分を表す。シクロペンタジエニドイオン ( $\text{C}_5\text{H}_5^-$ ) の  $\pi$  電子系は、閉殻構造をとることを示せ。また次の  $\pi$  軌道 A ~ E は被占軌道か空軌道か根拠とともに述べよ。なお、円の大きさは  $\pi$  軌道における各軌道係数の大小、白と黒は位相の違いを示している。



- (3)  $\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$  の電子配置を例にならって記せ。例  $(\psi_1)^2$
- (4) 図 2 に基づいて  $\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$  の化学結合について説明せよ。ただし、以下の語句を使うこと。  
結合性軌道、反結合性軌道、共有結合、イオン結合
- (5)  $\text{Mn}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$  の d 電子配置はどのようにになると予想されるか。スピン状態が分かるように記すこと。
- (6)  $\text{Mn}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$  の電子構造を解析するための実験法をひとつ取り上げ、原理と特徴を説明せよ。
- (7)  $\text{Fe}(\text{C}_5\text{Me}_5)_2$  と TCNE との間の相互作用について述べよ。



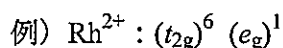
平成 29 年度修士課程入学試験問題  
 関連基礎科学系 総合科目

第 7 問 化学 (2) その 3

III. d-ブロック金属に関する以下の問 (1), (2) に答えよ。

(1) 液状に融解したケイ酸塩からなるマグマから、ケイ酸塩鉱物が結晶化するとき、マグマに含まれていた金属イオンの一部は鉱物に取り込まれる。マグマと鉱物中の金属イオンには酸素が配位しており、その配位構造は鉱物中では正八面体形 6 配位、マグマ中では正四面体形 4 配位である。以下の問 (a)~(e) に答えよ。

- (a) 結晶場理論によると、鉱物中における d-ブロック金属イオンの最外殻 d 軌道は、それぞれ縮重した  $e_g$  軌道と  $t_{2g}$  軌道に分裂する。そのエネルギー準位図を描け。対応する d 軌道の名称 ( $d_{xy}$  など) も記すこと。
- (b) 結晶場理論によると、マグマ中における d-ブロック金属イオンの最外殻 d 軌道は、それぞれ縮重した  $e$  軌道と  $t_2$  軌道に分裂する。そのエネルギー準位図を描け。対応する d 軌道の名称 ( $d_{xy}$  など) も記すこと。
- (c) Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn の 2 価イオンについて、鉱物中における電子配置を例にならって示せ。また結晶場安定化エネルギーの大きさを、 $e_g$  軌道と  $t_{2g}$  軌道の分裂幅  $\Delta_O$  を単位として求めよ。ただし金属イオンは弱い結晶場に置かれているものとする。



- (d) Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn の 2 価イオンについて、マグマ中における電子配置を問 (c) の例にならって示せ。また結晶場安定化エネルギーの大きさを、 $e$  軌道と  $t_2$  軌道の分裂幅  $\Delta_T$  を単位として求めよ。ただし金属イオンは弱い結晶場に置かれているものとする。
- (e)  $\Delta_O$  と  $\Delta_T$  の間には、どのような関係があるか。下から選び、その選んだ理由を簡単に記せ。  
 (イ)  $9\Delta_O = 4\Delta_T$       (ロ)  $\Delta_O = \Delta_T$       (ハ)  $4\Delta_O = 9\Delta_T$

(2) 鉱物とマグマ間での金属元素の分配係数  $K_P$  は、

$$K_P = \frac{[M]_{\text{鉱物}}}{[M]_{\text{マグマ}}}$$

で表される。ただし  $[M]$  は、鉱物中とマグマ中における元素 M の濃度である。Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn の 2 価イオンについて、鉱物とマグマの間の  $K_P$  とその自然対数を表 1 に示す。

表 1. d-ブロック金属 2 価イオンの鉱物-マグマ間の分配係数

イオン	Mn <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Co <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
$K_P$	1.2	1.9	3.8	14	2.6	1.1
$\ln K_P$	0.18	0.64	1.3	2.6	0.96	0.095

平成 29 年度修士課程入学試験問題  
相関基礎科学系 総合科目

第 7 問 化学 (2) その 4

マグマ中にあった金属イオンが鉱物中に取り込まれ平衡に達したとき,  $K_p$  はエンタルピー変化  $\Delta H$ , エントロピー変化  $\Delta S$  と以下の関係にある.

$$\ln K_p = -\frac{\Delta H}{RT} + \frac{\Delta S}{R} \quad (1)$$

ただし  $R$  は気体定数,  $T$  は温度である. 以下の問 (a), (b) に答えよ.

- (a) Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn の 2 価イオンについて, 鉱物中における結晶場安定化エネルギーと, マグマ中における結晶場安定化エネルギーの差  $\Delta_{CFSE}$  を,  $\Delta_0$  を単位として求め,  $\Delta_{CFSE}$  を横軸,  $K_p$  の自然対数を縦軸に取ったグラフを作成せよ. ただし全ての元素について  $\Delta_0$  の大きさは等しいとしてよい.
- (b) 問 (a) で作成したグラフと式 (1) にもとづいて, 鉱物とマグマの間での金属イオンの分配に, 結晶場安定化エネルギーが支配的な役割を果たしているか否か理由とともに答えよ. ただし全ての元素について  $\Delta S$  の大きさは等しいとしてよい.

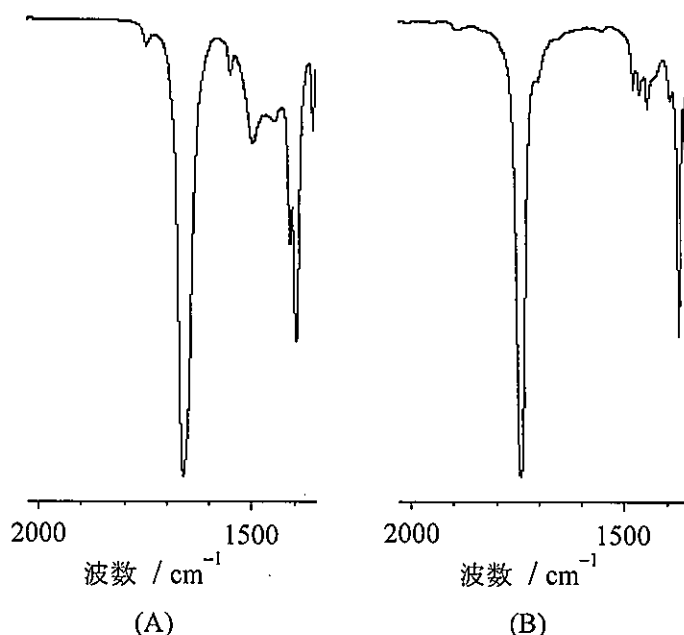
平成 29 年度修士課程入学試験問題  
 相関基礎科学系 総合科目

第 8 問 化学 (3) その 1

次の問 I ~ III に答えよ。

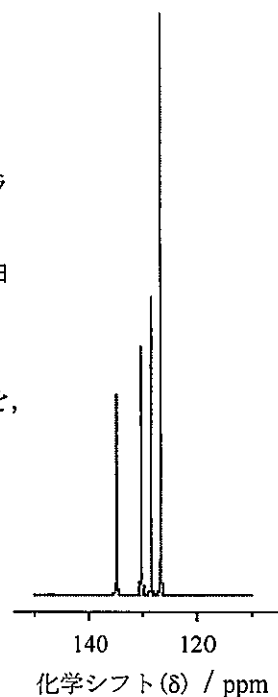
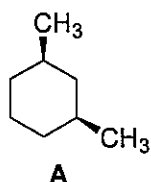
I. 有機化合物の構造と反応に関する次の問に答えよ。

- (1) 以下の図(A), (B)は,  $\text{CCl}_4$  中で測定した  $N,N$ -ジメチルアセトアミド  $\text{CH}_3\text{CON}(\text{CH}_3)_2$ , 酢酸エチル  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$  のいずれかの IR スペクトルの一部を示したものである。  $N,N$ -ジメチルアセトアミドのスペクトルは(A), (B)のうちどちらか。判断した理由とともに記せ。



- (2) 右図は  $\text{CDCl}_3$  中で測定したジクロロベンゼンのオルト体, メタ体, パラ体のいずれかの  $^{13}\text{C}$  NMR スペクトル ( $^1\text{H}$  はデカップリングしてある) の一部を示したものである。どの異性体のスペクトルか。判断した理由とともに記せ。

- (3) *cis*-1,3-ジメチルシクロヘキサン **A** の最も安定な配座異性体の構造式を, その立体構造がわかるように描け。



- (4)  $\alpha$ -クロロ酪酸  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}(\text{Cl})\text{HCO}_2\text{H}$  と  $\beta$ -クロロ酪酸  $\text{CH}_3\text{C}(\text{Cl})\text{HCH}_2\text{CO}_2\text{H}$  のうち, 酸性が強いものはどちらか。判断した理由とともに記せ。

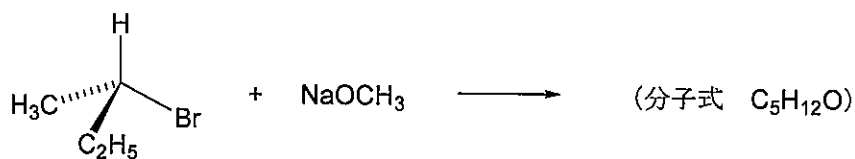
平成 29 年度修士課程入学試験問題  
 相関基礎科学系 総合科目

第 8 問 化学 (3) その 2

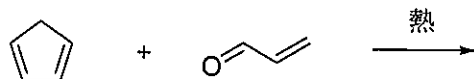
(5) 1-ブタノールの沸点 (117.2°C) は同じ分子量をもつジエチルエーテルの沸点 (34.5°C) より著しく高い。その理由を説明せよ。

(6) 以下の(a)~(d)のそれぞれの化学反応でおもに生じる有機化合物の構造式を描け。構造式は立体構造がわかるように描き、光学活性な生成物が得られる場合には、不斉炭素原子に\*を付してその絶対立体配置を(R), (S)で表示すること。

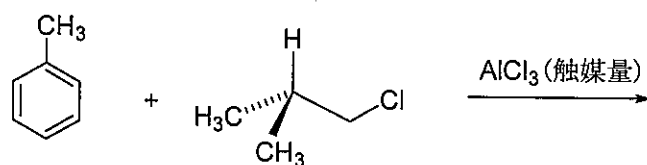
(a)



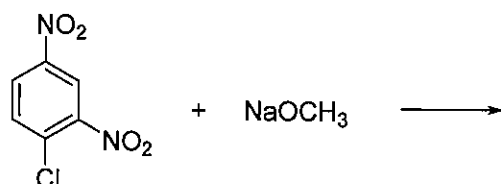
(b)



(c)

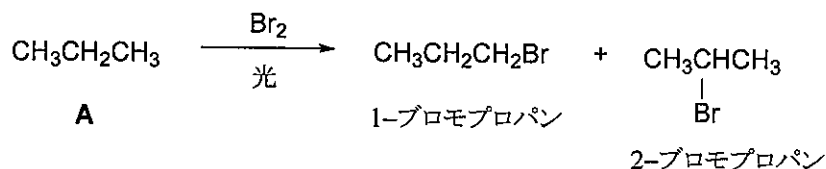


(d)



II. 有機化合物のハロゲン化反応は、天然資源から得られる炭化水素に官能基を導入し様々な機能をもつ物質を合成するための最初の段階として、工業的にも重要な反応である。炭化水素の臭素化反応に関する以下の問に答えよ。

(1) 光照射下、臭素 $\text{Br}_2$ によるアルカンのハロゲン化は、光による臭素-臭素結合のホモリシスによって開始される。プロパンAを臭素と反応させると、2種類のブロモプロパンが生成するが、その生成量は著しく異なっている。以下の問に答えよ。



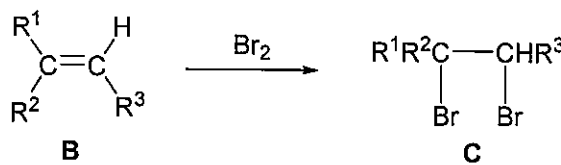
(a) ある反応条件において、1-ブロモプロパンと2-ブロモプロパンの生成比は3 : 97であった。この条件下、第一級水素に対する第二級水素の水素原子1個当たりの臭素化反応の相対速度はいくらか。整数値で答えよ。但し、生成比はそれぞれの生成物を与える反応速度の比に等しいものとする。

平成 29 年度修士課程入学試験問題  
 相関基礎科学系 総合科目

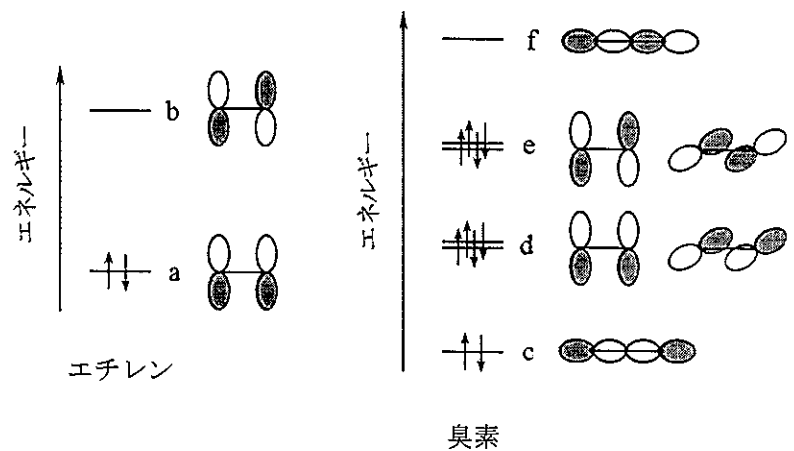
第 8 問 化学 (3) その 3

- (b) この反応において2-ブロモプロパンが優先して得られた理由を、反応機構に基づいて説明せよ。  
 (c) 2-ブロモプロパンを1-ブロモプロパンに変換する反応経路を示せ。但し、反応は1段階とは限らない。

- (2) アルケン **B** に臭素  $\text{Br}_2$  を反応させると容易に付加反応が進行し、1,2-二臭化物 **C** が得られる。この反応の速度はアルケンの構造に著しく依存し、また反応に立体選択性が観測される。以下の間に答えよ。



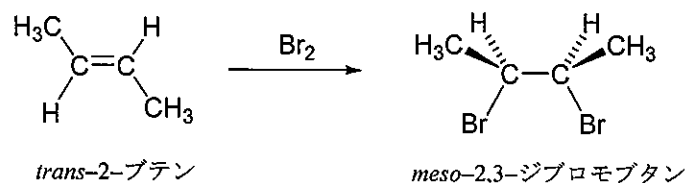
- (a) 右図はエチレン (**B**:  $\text{R}^1 \sim \text{R}^3 = \text{H}$ ) と臭素の最高被占軌道と最低空軌道付近の分子軌道を模式的に描いたものである。この付加反応にも関与する分子軌道は a ~ f のうちどれか。エチレンと臭素のそれぞれについてひとつずつ選び、その記号を記せ。



- (b) エチレンの水素をメチル基で置換した様々なアルケン (**B**:  $\text{R}^1 \sim \text{R}^3 = \text{H}$  または  $\text{CH}_3$ ) の臭素化反応を行い、同一条件下におけるそれぞれの反応速度定数  $k$  を求めたところ、それぞれのアルケンの第一イオン化エネルギー  $I$  と次式で表されるよい相関があることが判明した。定数  $\rho$  の符号は正か、それとも負か。判断した理由とともに述べよ。

$$\log k = \rho I + C \quad (\rho, C \text{ は定数})$$

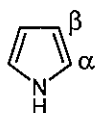
- (c) *trans*-2-ブテン (**B**:  $\text{R}^1 = \text{R}^3 = \text{CH}_3$ ,  $\text{R}^2 = \text{H}$ ) を臭素化すると、*meso*-2,3-ジブロモブタンのみが生成し、そのジアステレオマーは生成しない。このような立体選択性が観測される理由を反応機構に基づいて説明せよ。



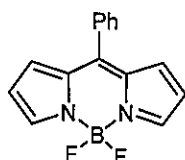
平成 29 年度修士課程入学試験問題  
 相関基礎科学系 総合科目

第 8 問 化学 (3) その 4

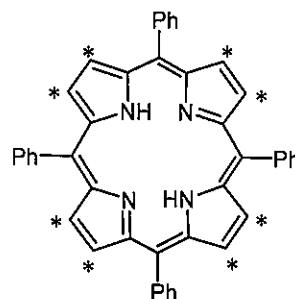
Ⅲ. ピロール**1**から合成されるボロンジピロメテン**2**およびテトラフェニルポルフィリン**3**は、量子収率が高く退色しにくい蛍光色素として生命科学研究で利用されたり、太陽電池の光増感剤として注目されている。以下の間に答えよ。



1

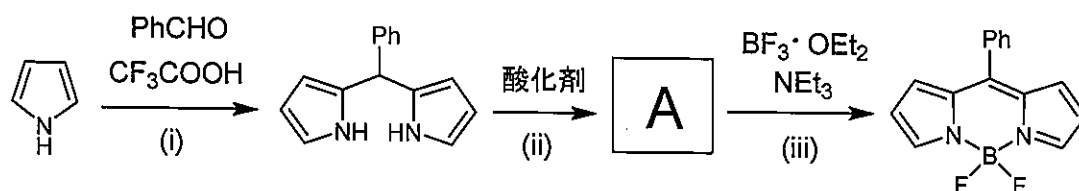


2



3

- (1) **1**は芳香族化合物であるが、空気にあふれると酸化される。**1**がこのような酸化されやすい化合物である理由を簡潔に説明せよ。
- (2) **1**の炭素原子のうち求電子置換反応が進みやすいのは $\alpha$ 位である。その理由を、求電子試薬を $E^+$ として反応中間体の共鳴構造式を用いて説明せよ。
- (3) **1**とベンズアルデヒドを用いて、次の反応(i)~(iii)により**2**を合成する。化合物**A**の構造式を描け。また、反応(i)の反応機構を示せ。電子対の動きは巻矢印で示すこと。



- (4) テトラメチルシランを内部標準として、 $CDCl_3$ 中、室温で**3**の $^1H$  NMR測定を行った。
- (a) 化学シフト  $-2.7$  ppmという高磁場にシングレットのピークが現れた。このピークは**3**のいずれの水素原子核に由来するか、そう判断した理由とともに答えよ。
- (b) 構造式中の\*で示された炭素原子に結合する水素原子核は、化学シフト  $8.8$  ppmにシングレットのピークを示した。この理由を説明せよ。但し、**1**の $\beta$ 位の水素原子核は、同条件において  $6.3$  ppmにピークを示す。
- (5) 適切な有機溶媒に溶解した**1**, **2**, **3**それぞれの紫外-可視領域に観測される吸収ピークのうち最も長い波長を表1に示した。化合物ア~ウは**1**, **2**, **3**のいずれであるか答えよ。

表1. 各化合物の紫外-可視領域に観測される吸収ピークのうち最も長い波長

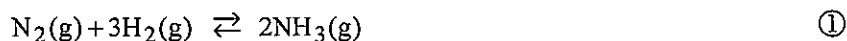
化合物	波長 /nm
ア	499
イ	210
ウ	647

平成 29 年度修士課程入学試験問題  
相関基礎科学系 総合科目

第 9 問 化学 (4) その 1

以下の問I~IIIに答えよ。

I. アンモニアは窒素と水素から化学的に合成されるが、その際、以下の平衡反応を利用している。



以下の間に答えよ。ただし反応は298.15 Kで、全圧 $1 \times 10^5$  Paで進行するとする。気体はすべて理想気体とみなしてよい。またエンタルピー及びエントロピーの温度変化は無視できるとする。計算にあたっては以下の数値を用いよ。

標準モルエントロピー  $\text{N}_2(\text{g})$ :  $191.6 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ,  $\text{H}_2(\text{g})$ :  $130.7 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ,  $\text{NH}_3(\text{g})$ :  $192.5 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

標準生成エンタルピー  $\text{NH}_3(\text{g})$ :  $-46.1 \text{ kJ mol}^{-1}$

気体定数  $R = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

- (1) 反応式①の正反応で1 molのアンモニアが生成するときの標準反応エントロピー $\Delta_r S^\circ$ を求めよ。
- (2) 標準反応エントロピーの符号が(1)のようになる理由を、反応式①に基づいて答えよ。
- (3) アンモニアの標準生成ギブズエネルギー $\Delta_f G^\circ$ を求めよ。
- (4) 反応式①の圧平衡定数 $K_p$ について、 $\ln K_p$ の値を求めよ。
- (5)  $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$ の反応を、 $\text{N}_2$  1 mol,  $\text{H}_2$  3 mol,  $\text{NH}_3$  0 molから開始したとする。反応の進行の割合を $\xi$ で表す。反応が全く進行していないときには $\xi = 0$ , 反応が進行してアンモニアのみになったときには $\xi = 1$ である。アンモニアの標準化学ポテンシャルを $\mu^\circ_{\text{NH}_3}$ として反応の進行の割合 $\xi$ におけるアンモニアの化学ポテンシャル $\mu_{\text{NH}_3}$ を求めよ。
- (6) 化学平衡が成り立っているとき $\xi = \xi_{\text{eq}}$ とする。 $\xi_{\text{eq}}$ と反応式①の正反応の標準反応ギブズエネルギー $\Delta_r G^\circ$ との関係式を求めよ。
- (7) 温度が上がると $\xi_{\text{eq}}$ は小さくなる。その理由をギブズエネルギーの温度依存性に基づいて答えよ。

平成 29 年度修士課程入学試験問題  
相関基礎科学系 総合科目

第 9 問 化学 (4) その 2

II. 以下の問に答えよ。

(1) 分子の構造に関する以下の問(a)(b)に答えよ。

- (a) 炭酸イオン ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) とオゾン ( $\text{O}_3$ ) について、それぞれのルイス構造を、共鳴構造を含めて記せ。
- (b)  $\text{O}_3$  は折れ線形の構造である。この理由を VSEPR モデルに基づいて説明せよ。

(2) 第5周期第10族のPdは、 $\text{Pd}^{2+}$ イオンとして様々な配位子と錯体を形成する。以下の問(a)(b)に答えよ。

- (a)  $\text{Pd}^{2+}$ イオンの電子配置を例にならって記せ。例  $\text{Li}^+ : (1s)^2$
- (b)  $[\text{PdCl}_4]^{2-}$  は反磁性を示す。この事実と結晶場理論に基づくd軌道のエネルギー分裂より、 $[\text{PdCl}_4]^{2-}$  は正方形、正四面体形のどちらの構造をとると考えられるか。理由とともに答えよ。

(3) Pd の単体は金属であり、面心立方構造をとる。Pd は結晶格子内に水素を取り込むことができ、Pd は水素吸蔵材料として研究されている。以下の問(a)–(d)に答えよ。

なお、本問では、計算に必要であれば、以下の数値を用いよ。

原子量 H: 1.0, Pd: 106

アボガドロ定数  $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ , 気体定数  $R = 8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

$\sqrt{2} \approx 1.41$ ,  $\sqrt{3} \approx 1.73$ ,  $\pi \approx 3.14$  とせよ

- (a) Pdの単位格子を図示せよ。
- (b) 単位格子におけるPdの空間充填率を有効数字2桁で答えよ。途中の計算式も示せ。
- (c) 室温で Pd を約  $2 \times 10^3 \text{ Pa}$  の水素ガスと接触させて平衡に到達させたところ、Pdの結晶格子内に水素が吸蔵され、平均組成は $\text{PdH}_{0.6}$ になった。Pdの格子定数  $a$  は水素吸蔵量によらず  $a = 0.40 \text{ nm}$  とする。吸蔵された水素の密度 ( $\text{g cm}^{-3}$ ) を有効数字 2 桁で答えよ。
- (d) 前問の条件で  $1 \text{ cm}^3$  の Pd に吸蔵された水素を取り出し、その物質量を  $300 \text{ K}$ ,  $10^5 \text{ Pa}$  における体積 ( $\text{cm}^3$ ) に換算し、有効数字 2 桁で答えよ。ただし、吸蔵された水素は水素分子 ( $\text{H}_2$ ) として扱い、理想気体とみなしてよい。



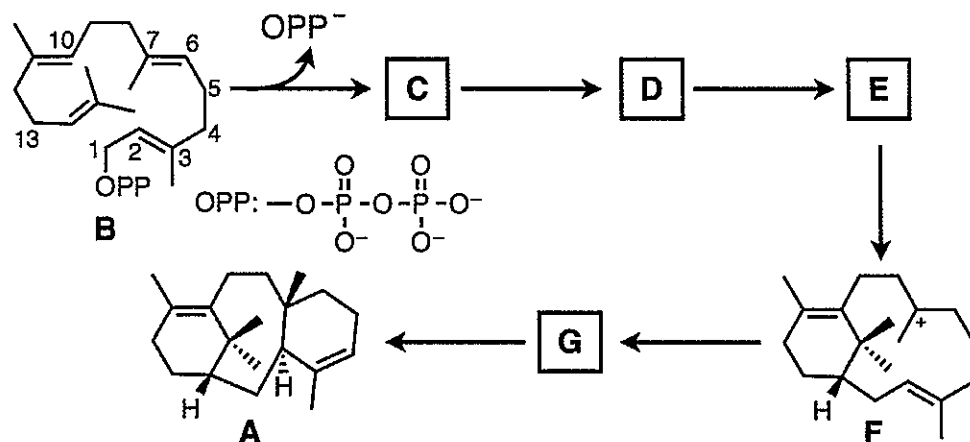
平成 29 年度修士課程入学試験問題  
 関連基礎科学系 総合科目

第 9 問 化学 (4) その 3

III. 以下の間に答えよ。

- (1) カルボカチオン  $R_3C^+$  ( $R$  は水素またはアルキル基) の立体構造を図示せよ。
- (2) 4 種類のカルボカチオン ( $H_3C^+$ ,  $H_2MeC^+$ ,  $HMe_2C^+$ ,  $Me_3C^+$ ) を安定な順に左から並べよ。
- (3) (2) のカルボカチオンの安定性は超共役により説明できる。超共役を図を用いて簡潔に説明せよ。
- (4) アリルカチオン ( $C_3H_5^+$ ) はカルボカチオンの中でも安定である。その理由を構造式を用いて簡潔に説明せよ。
- (5) アリルカチオン ( $C_3H_5^+$ ) の 3 つの  $\pi$  軌道の概形をエネルギーの低い順に下から上に図示せよ。また、どの軌道が最高被占軌道 (HOMO)、最低空軌道 (LUMO) であるかも示せ。
- (6) 以下の文章を読み、問 (a), (b) に答えよ。

タキサジエン **A** は抗がん剤であるパクリタキセル (タキソール) の前駆体で、グラニルグラニルピロリン酸 **B** からタキサジエンシンターゼにより生合成される。**B** から **A** への反応では、数種類のカルボカチオン中間体が生成すると考えられている。はじめに、**B** からピロリン酸イオン ( $OPP^-$ ) が脱離し、アリルカチオン **C** が生成する。続いて、**C** のアリルカチオンの近傍に位置する炭素-炭素二重結合が反応し、カルボカチオン **D** が生成する。次に **D** のカルボカチオンの近傍に位置する炭素-炭素二重結合が反応し、カルボカチオン **E** へ誘導される。その後、⑩位の水素が C6-C7 位の二重結合に引き抜かれ、カルボカチオン **F** になる。続いて、**F** のカルボカチオン近傍に位置する炭素-炭素二重結合が反応し、カルボカチオン **G** へ変換される。最後に、**G** のカルボカチオンの隣の水素の脱離を伴いタキサジエン **A** が生成する。



- (a) カルボカチオン **C**, **D**, **E**, **G** の構造式を **A**, **B** にならって描け。
- (b) 下線⑩で、C2-C3 位の二重結合が 10 位水素を引き抜く機構も考えられている。この場合に生成するカルボカチオン中間体 **H** の構造式を **A**, **B** にならって描け。

平成 29 年度修士課程入学試験問題  
 相関基礎科学系 総合科目

第 10 問 生物学 (1) (その 1)

I. 真核細胞の多くは、細胞外の特定の化学物質 (以下「刺激分子」と呼ぶ) の濃度の高い側 (もしくは低い側) へ、指状突起や葉状仮足を伸長させることができる。このような現象に関連した分子と細胞の挙動について、以下の問いに答えよ。

(1) 刺激分子と細胞膜上の受容体タンパク質が高い特異性で結合と解離を繰り返している。刺激分子と受容体が理想溶液の反応をすると見なして、その時の結合速度係数と解離速度係数をそれぞれ  $k_{ON}$  と  $k_{OFF}$  とする。刺激分子の濃度を  $S$ 、未結合の受容体の濃度を  $R_0$ 、これらの複合体の濃度を  $R$  とおき、時間を  $t$  として  $R$  の時間変化に関する反応速度式を表せ。また、定常状態における  $R$  が  $S$  の関数として、次式のようになることを示せ。

$$\frac{R}{R_T} = \frac{S}{K_d + S} \quad (\text{式 1})$$

ただし、 $R + R_0 = R_T$  (一定値)、 $k_{OFF} / k_{ON} = K_d$  とする。

(2) 刺激分子を細胞外に加えると、指状突起と葉状仮足が数分のうちに形成された。蛍光標識した刺激分子は刺激分子と同様に、受容体と複合体を形成した後に解離する。この間の複合体の位置変化を顕微鏡下で追跡したところ、細胞膜上でランダムな軌跡を示したものと、細胞内に取り込まれてから直線的な運動を示したものがあつた。平均 2 乗変位は、前者が図 1 (a) のように時間に比例し、後者は図 1 (b) のように時間の 2 乗に比例した。これらの運動の特徴はどのような素過程が原因となっていると考えられるか。2、3 文で説明しなさい。なお、細胞内外では粘性抵抗が存在する。

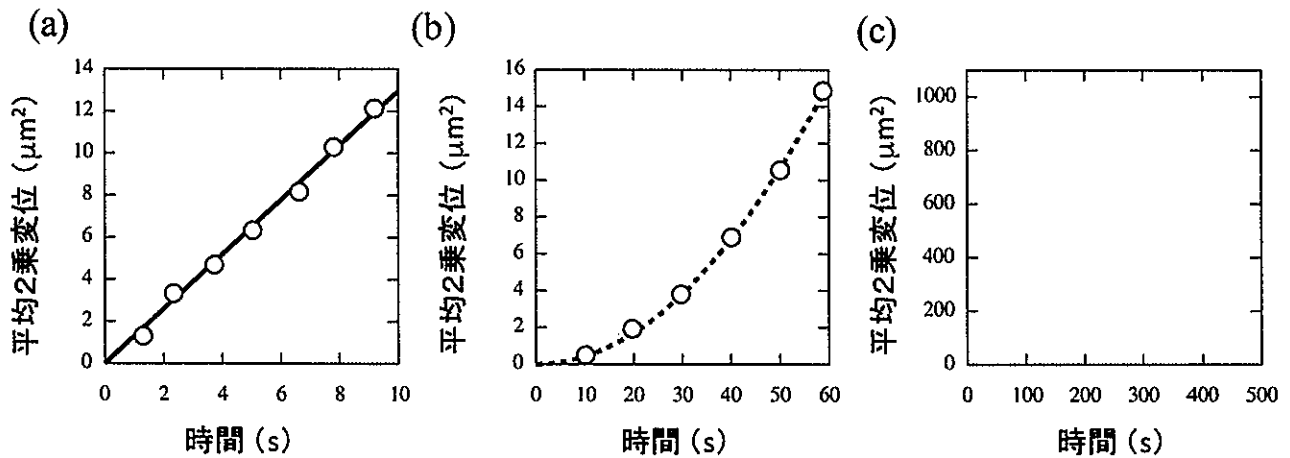


図 1

(3) 図 1 (a), (b) のフィッティング曲線を外挿したグラフを、図 1 (c) の時間スケールで描け。また、複合体の移動について、図 1 (b) のような運動が特に有用となる空間的なスケールを明らかにせよ。

平成 29 年度修士課程入学試験問題  
 相関基礎科学系 総合科目

第 10 問 生物学 (1) (その 2)

(4) 図 2 のように長さ  $L$  の容器内に細胞を置き、刺激分子の濃度勾配を  $S(x) = ax$  とした (ただし、 $x$  は位置、 $a$  は正の定数)。容器と細胞を 1 次元で近似し、容器の両端の位置を  $x=0$  と  $x=L$ 、細胞の長さを  $l$ 、細胞の中心位置を  $x_c$  とおく。細胞膜上には、複合体を含む全受容体が単位長さあたり  $R_T$  個、空間的に均一に分布しており、その分布は変化しないものとする。位置  $x$  における複合体の濃度を  $R(x)$  とすると、複合体の平均個数は、細胞の左半分 (領域①;  $x_1 \leq x \leq x_c$ ) では  $R_1 = \frac{2}{l} \int_{x_1}^{x_c} R(x) dx$ 、右半分 (領域②;  $x_c \leq x \leq x_2$ ) では  $R_2 = \frac{2}{l} \int_{x_c}^{x_2} R(x) dx$  となる。(式 1) に基づいて、これらの差  $\Delta R = R_2 - R_1$  が次式のようになることを示せ。

$$\Delta R \approx \frac{R_T K_d}{2} \frac{\Delta S}{(S(x_c) + K_d)^2} \quad (\text{式 2})$$

ただし、 $\Delta S = al$  は十分小さく、細胞の移動は考えない。 $\int \frac{z}{1+z} dz = \int \left(1 - \frac{1}{1+z}\right) dz$  と、十分小さい  $\varepsilon$  に対して  $\log(1+\varepsilon) \approx \varepsilon$  であることを用いて良い。

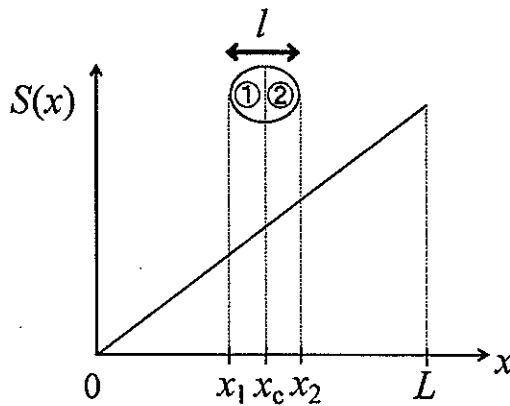


図 2

(5) ある細胞種で同一条件下で(4)の実験を繰り返したところ、濃度の高い側で指状突起や葉状仮足の伸長が見られたが、その再現性は必ずしも良くなかった。(式 2) の  $\Delta R$  によって伸長が決定されるならば、この実験結果は何に起因すると考えられるか。根拠とともに簡潔に答えよ (複数可)。ただし細胞の状態は変化せず、細胞同士の違いは無視できるとする。

II. 脳や神経の伝達は電気現象であることが知られている。このことを確かめる実験を 2 つ挙げ、必要となる試料や装置について具体的に説明せよ。そのうち一方はできるだけ簡便にできるもの、他方は既存の実験装置で実現できるものとする。

平成 29 年度修士課程入学試験問題  
 関連基礎科学系 総合科目

第 11 問 生物学 (2) (その 1)

以下の文を読み、問I～VIIに答えよ。

人類はその歴史の中で、様々な生物を家畜あるいは作物として改良してきた。野生のイノシシから家畜化したブタにいたる過程のなかで起こった変化の例を考えてみる。野生のイノシシでは椎骨 (図 1) は19個であるが、現在の肉用ブタではその数に幅があり、20から23個の椎骨をもつようになっている。最近、ブタにおけるゲノム配列情報、SNP (スニップ) の情報などを活かしてブタの椎骨数の変化に関わる責任遺伝子 (遺伝子Gとする) が特定された。ここでは椎骨数が多いE品種と少ないA品種を用いた研究から遺伝子Gが見いだされたと仮定する。

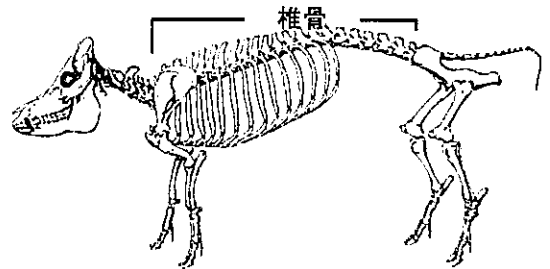


図 1

問I SNPとはどのようなものか説明せよ。

問II E品種とA品種の間で交配させ、F1世代、さらにF2世代の個体を得ると、椎骨の数が多い個体と少ない個体とが生まれた。SNP情報などのツールを用いると、各個体について、染色体上の領域がA品種、あるいはE品種のどちらに由来するかがわかる。一つの染色体の中で由来が異なる染色体がつなぎ合わさった状態を生み出す生命現象の名前を答えよ。

問III 図 2 は遺伝子Gが存在している染色体領域を示す。各F2個体 (個体番号1～10) の椎骨の数 (20 または23) と、それぞれの染色体領域の由来がA品種であれば黒色 (図中の縦線網掛け), E品種であれば白で示す。こうした情報から遺伝子Gの候補が絞ることができる。この染色体領域にある遺伝子 a ~ j のうち責任遺伝子として可能性のあるものすべてをアルファベットで、簡単な理由とともに答えよ。(いずれの個体ももう一本の染色体による影響はないものとして考えよ。ここでの遺伝子の表示はイントロン領域なども含めている)

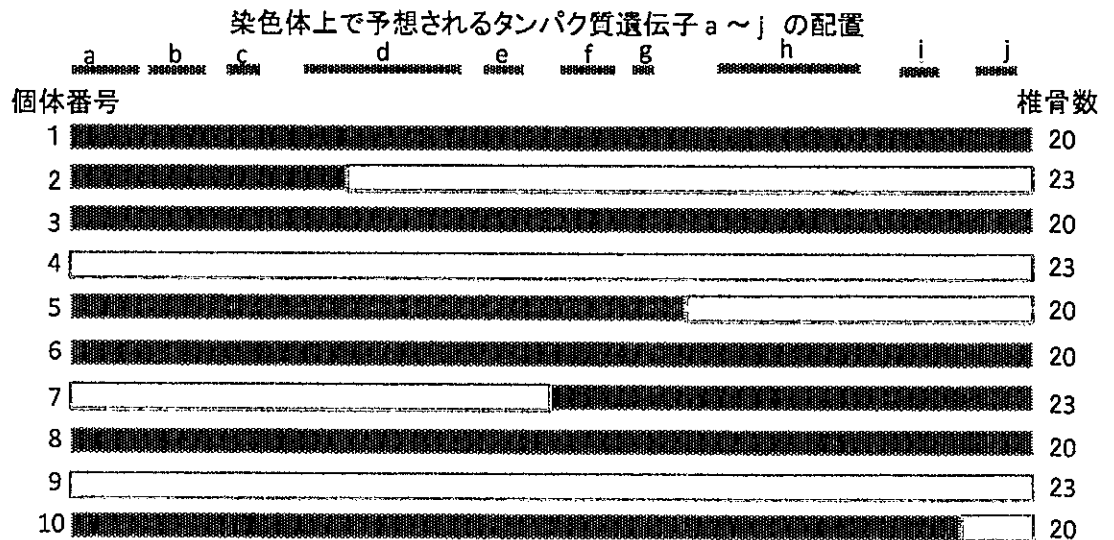


図 2

(次のページに続く)

平成 29 年度修士課程入学試験問題  
相関基礎科学系 総合科目

第 11 問 生物学 (2) (その 2)

- 問IV 図2で示す領域に見いだされた一つのタンパク質 (アミノ酸479個からなる) でのみA品種とB品種による配列の違いが見られ、192番目のアミノ酸がE品種ではロイシン、A品種ブタあるいは野生イノシシではプロリンとなっていた。このアミノ酸置換はちょうどDNA結合ドメインとリガンド結合ドメインと呼ばれる配列領域間のつなぎ部分に位置した。このアミノ酸置換によってタンパク質の立体構造にどのような影響をもたらすかを推測して述べよ。
- 問V 遺伝子Gがコードするアミノ酸配列中についてデータベース上で調べると、そのタンパク質が転写因子型受容体である可能性が示唆された。一般に転写因子とは、転写を起こす機構のなかでどのようなはたらきをするものかを、mRNA、ゲノムDNA、酵素という言葉を含めて説明せよ。
- 問VI 遺伝子Gはブタだけでなく、ヒトやマウスにも見いだされ、ほ乳類の発生の中で共通に重要な機能を担っていることが予想される。この遺伝子が、ほ乳類の発生のどの段階でどの組織で発現しているかを調べるための解析技術の例を挙げ、どのように行うかを具体的に説明せよ。
- 問VII 人類は生物学的な知識を持つ以前から、飼い馴らしてブタを選抜してきた。椎骨に関して長年かけてこうした変化が起こった理由として考えられることを述べよ。

平成 29 年度修士課程入学試験問題  
相関基礎科学系 総合科目

第 12 問 科学史・科学哲学（1）

次の A・B のうち、1 題を選び、答えなさい。複数回答した場合はすべて無効とする。選択した問題の記号は解答冒頭に明記すること。

A 古代から近代に至るまで、様々な天文理論が作られ、惑星の運動の説明を試みてきた。これらの理論の内容、特徴、根拠を述べながら、その変遷の経緯を明らかにしなさい。

B 心の病は脳の病であると言えるかどうかについて、心と脳の関係に関する原理的な考察を行いながら、論じなさい。

平成 29 年度修士課程入学試験問題  
相関基礎科学系 総合科目

第 13 問 科学史・科学哲学（2）

次の A・B のうち、1 題を選び、答えなさい。複数回答した場合はすべて無効とする。選択した問題の記号は解答冒頭に明記すること。

A アゲハチョウやオオクワガタといった種は実在するのだろうか。確率的なあり方をする素粒子は実在するのだろうか。両者を比べながら、実在について自由に論じなさい。

B 水俣病の認定や原子力発電所の停止について、裁判によって判断が下されることがある。しかし、裁判官や裁判員は必ずしも科学や技術について豊富な知識をもっているわけではない。そのような人々が科学や技術に関する問題に裁定を下すことについて、自由に論じなさい。

平成 29 年度修士課程入学試験問題  
相関基礎科学系 総合科目

第 14 問 科学史・科学哲学（3）

次の A・B のうち、1 題 を選び、答えなさい。複数回答した場合はすべて無効とする。選択した問題の記号は解答冒頭に明記すること。

A 人工知能の開発は、多大な恩恵をもたらすことが期待される反面、さまざまな倫理的問題を発生させるおそれもある。予想される恩恵と倫理的問題について、人工知能開発の現状に即して具体的に論じなさい。

B 近代科学の誕生と比較しつつ、近代医学の誕生について論じなさい。



平成 29 年度修士課程入学試験問題  
相関基礎科学系 総合科目

第 15 問 科学史・科学哲学（4）

次の A から P までの言葉・文章から 4 つを選択し、科学史的、哲学的、ないし科学技術論的観点から説明しなさい。（M から P までの文章については説明のなかに文章の訳を含めても良い。）5 つ以上選択した場合は、すべて無効とする。選択した問題の記号はその解答の冒頭に明記すること。

- (A) 心的時間旅行
- (B) ア・ポステリオリな必然性
- (C) 神経現象学 (neurophenomenology)
- (D) ゲノム編集
- (E) Evidence-based medicine/Narrative-based medicine
- (F) 自然魔術
- (G) チャレンジャー号事故
- (H) 『ミクログラフィア』
- (I) 活力
- (J) スコープス裁判
- (K) 研究伝統
- (L) 環境正義

(M) Wer an allem zweifeln wollte, der würde auch nicht bis zum Zweifel kommen. Das Spiel des Zweifelns selbst setzt schon die Gewißheit voraus.

L. Wittgenstein, *Über Gewißheit*

(N) La matière peut-elle s'organiser d'elle-même? En d'autres termes, des êtres peuvent-ils venir au monde sans parents, sans aïeux? Voilà la question à résoudre.

Louis Pasteur, "Des générations spontanées" (1864)

(O) ПАУЛИ ТЕОРЕМА - устанавливает связь спина со статистикой (В. Паули, 1940) и утверждает, что поля, описывающие частицы с целым спином, квантуются по Бозе - Эйнштейну, а с полуцелым - по Ферми - Дираку.

Физическая энциклопедия. [http://www.femto.com.ua/articles/part\\_2/2771.html](http://www.femto.com.ua/articles/part_2/2771.html)

(P) 中国天文学家很早就进行卓越地天文学观测。他们有规律地观察和记录新星和超新星，其中包括 1004 年、1054 年、1572 年和 1604 年的超新星。这些现象大多完全被欧洲天文学家忽略或者错过了。他们束缚在亚里士多德的天空十全十美的思想中，以至完全没有记录 1054 年的特大超新星。这一记录仅在中国和日本存在。

《科学的旅程》(2008)

# 草稿用紙

# 草稿用紙

# 草稿用紙