

令和2年度入学者選抜試験問題  
山形大学大学院有機材料システム研究科博士前期課程  
(令和元年8月実施)

【有機材料システム専攻】

基礎科目

(数学, 有機化学, 物理化学)

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
2. この問題冊子の本文は1ページから13ページまであります。
3. 「数学」「有機化学」「物理化学」の3科目から**2科目を選択**して解答してください。それぞれの科目には、大問〔1〕〔2〕があります。
4. 解答用紙は6枚あります。それぞれの解答用紙には科目名と問題番号が指定してありますので、その問題以外の解答は記入しないでください。裏面を使用しても構いません。試験終了時、選択していない科目の解答用紙も回収します。
5. 監督者の指示にしたがって、**全ての**解答用紙に受験番号を正しく記入してください。受験番号が正しく記入されていない場合は、採点されないことがあります。
6. 計算によって答えを求めるときは、その過程も示してください。
7. 試験中に問題冊子の印刷不鮮明・落丁・乱丁、解答用紙の汚れなどに気が付いた場合は、手を挙げて監督者に知らせてください。
8. 試験終了後、問題冊子と草案用紙は持ち帰ってください。



# 数 学

## 数学 [ 1 ]

1. 領域  $D = \{(x, y) : |x| + |y| \leq 1\}$  上の重積分

$$I = \iint_D (x-y)^2(x+y+1) dx dy$$

について以下の問いに答えよ。

(1)  $x = s+t, y = -s+t$  とおく。

(a)  $(x, y)$  が  $D$  内のすべての点を動くとき、点  $(s, t)$  の動く領域を  $st$  平面上に図示せよ。

(b) ヤコビ行列式  $\frac{\partial(x, y)}{\partial(s, t)}$  を求めよ。

(2) 重積分  $I$  の値を求めよ。

2. 以下の問いに答えよ。ただし、 $e$  は自然対数の底である。

(1)  $f(x) = \frac{1}{2}(e^x + e^{-x})$  のとき、 $f''(x) + 9f(x)$  を求めよ。

(2)  $y(0) = y'(0) = 1$  を満たす微分方程式

$$y'' + 9y = 5(e^x + e^{-x})$$

の解  $y = y(x)$  を求めよ。

## 数学〔2〕

1. 区間  $[-\pi, \pi]$  上連続な関数  $f(x)$  の積分変換  $J[f](x)$  を

$$J[f](x) = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t)(2 \cos(x-t) - \sin(x+t)) dt$$

で定める。実数  $a, b$  に対し,  $f_{a, b}(x) = a \cos x + b \sin x$  とおくと, 以下の問いに答えよ。

(1)  $\int_{-\pi}^{\pi} \sin^2 t dt$  を求めよ。

(2)  $J[f_{a, b}](x) = (\cos x \ \sin x) A \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}$  を満たす  $2 \times 2$  行列  $A$  を求めよ。

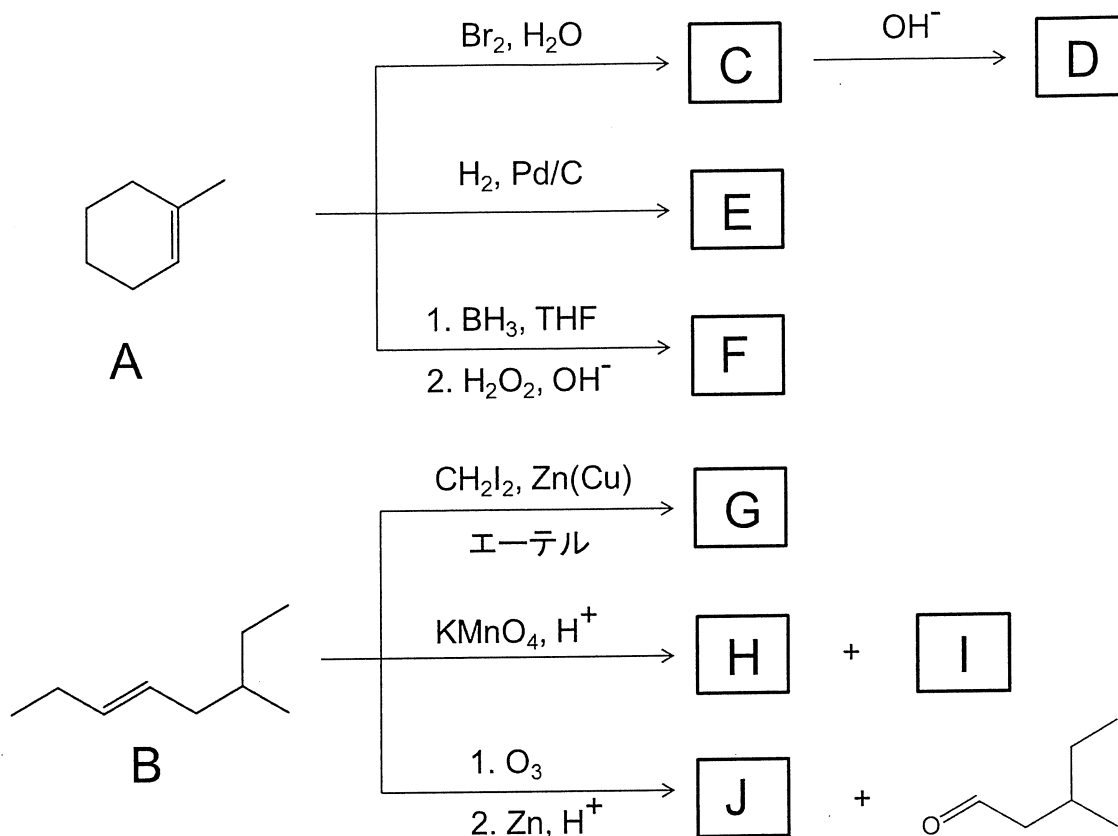
(3)  $J[f_{-1, 1}](x) = \beta f_{-1, 1}(x)$  となる実数  $\beta$  を求めよ。

(4)  $J[f_{a, 1}](x) = f_{a, 1}(x)$  となる  $a$  を求めよ。

# 有機化学

# 有機化学〔1〕

1. 下記の化合物 **A** と **B** の反応について、(1) ~ (5) の問いに答えなさい。



- (1) 化合物 **A** と **B** をそれぞれ命名しなさい。
- (2) 生成物 **C** ~ **J** の構造式を答えなさい。必要があれば、立体配置（くさび形の太線と破線）を含めて書きなさい。
- (3) 生成物 **C**, **E**, **F** の内、アルケンの還元反応により得られる生成物を一つ選び、記号で答えなさい。
- (4) 生成物 **C**, **E**, **F** の内、逆 Markovnikov 型の位置選択性がみられる生成物を一つ選び、記号で答えなさい。
- (5) 生成物 **G** ~ **J** の内、シクロプロパン環の構造を含むものを一つ選び、記号で答えなさい。

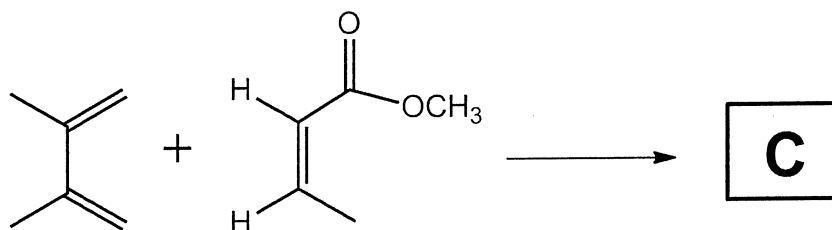
2. 下記の (1) ~ (3) の問いに答えなさい。

(1) 次のアルキンの反応 **A** と **B** について、生成物の構造式をそれぞれ答えなさい。

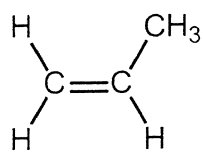
**A** : 3-ヘキシンと 2 当量の  $\text{Br}_2$  との付加反応

**B** : Lindlar 触媒存在下, 4, 4-ジメチル-1-ヘキシンと  $\text{H}_2$  との接触水素化 (部分還元)

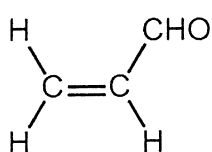
(2) 次の Diels-Alder 反応の予測される生成物 **C** の構造式を答えなさい。必要があれば, 立体配置 (くさび形の太線と破線) を含めて書きなさい。



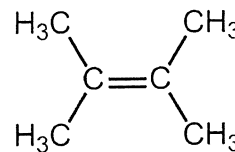
(3) 次のジエノフィル **D** ~ **F** の内, 1, 3-ブタジエンとの Diels-Alder 反応の反応性が最も高いものを一つ選び, 記号で答えなさい。



**D**



**E**

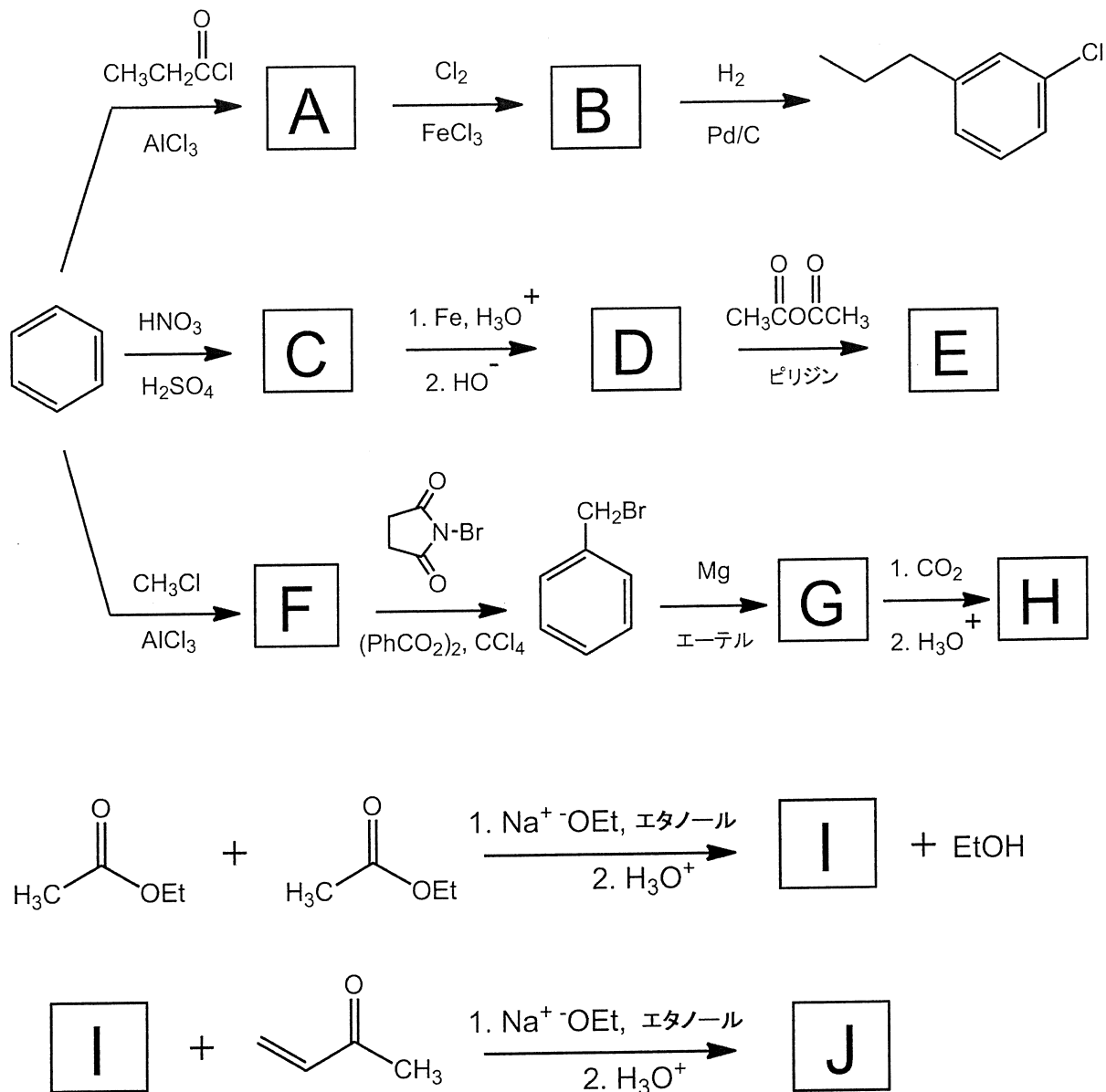


**F**



## 有機化学〔2〕

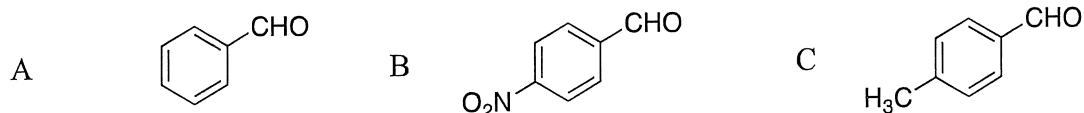
1. 下記の反応における生成物A～Jの構造式を答えなさい。



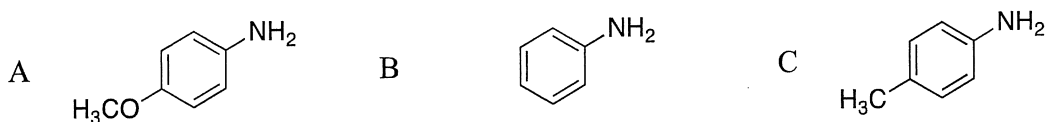
2. 以下の(1)～(3)の問いに答えなさい。ただし解答は、解答例のような形式で記すこと。

解答例： **A > B > C**

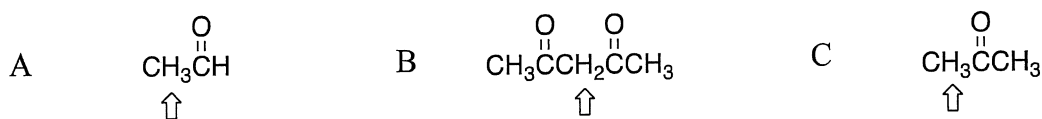
(1) 求核付加反応に対して、反応性が高い順に記しなさい。



(2) 塩基性が強い順に記しなさい。



(3) 矢印で示した水素原子について、酸性度が大きい順に記しなさい。



# 物 理 化 学

## 物理化学〔1〕

1. 気体の分子論的モデルに関する以下の文章を読み、(1)~(4)の問いに答えなさい。ただし、気体定数は  $8.3 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$ 、 $0^\circ\text{C}$  は  $273 \text{ K}$ 、エチレンのモル質量は  $2.8 \times 10^{-2} \text{ kg mol}^{-1}$ 、水素のモル質量は  $2.0 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}$  とする。また、この問題の条件ではエチレンと水素は理想気体とみなせるものとする。

理想気体中の1つの分子の  $x$  軸方向の速度成分を  $v_x$  とすると、圧力  $p$  は、モル数  $n$ 、体積  $V$ 、モル質量  $M$  によって、

$$p = \frac{nM\langle v_x^2 \rangle}{V} \quad \text{式①}$$

で表される。ただし、 $\langle v_x^2 \rangle$  は  $v_x^2$  の平均値である。気体分子の根平均二乗速さ  $v_{\text{rms}}$  と  $\langle v_x^2 \rangle$  の間には、

$$v_{\text{rms}}^2 = ( \quad a \quad ) \langle v_x^2 \rangle$$

の関係があるため、式①は、

$$p = \frac{nM v_{\text{rms}}^2}{( \quad a \quad )V} \quad \text{式②}$$

と表すことができる。理想気体の場合には、圧力  $p$  とモル数  $n$ 、体積  $V$ 、絶対温度  $T$ 、気体定数  $R$  の間に、

$$pV = ( \quad b \quad ) \quad \text{式③}$$

の関係が成り立つ。式②、③から、

$$v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad \text{式④}$$

の関係を得ることができる。

- (1) (  $a$  ), (  $b$  ) に入る適切な数字や式を答えなさい。
- (2) エチレン分子の  $25^\circ\text{C}$  での  $v_{\text{rms}}$  を求めなさい。 $v_{\text{rms}}$  の単位も正しく記述しなさい。有効数字2桁で答えなさい。
- (3) 温度を  $25^\circ\text{C}$  から  $125^\circ\text{C}$  に上昇させると  $v_{\text{rms}}$  は何倍になるか求めなさい。有効数字2桁で答えなさい。

- (4) 同じ圧力と温度の条件下で同一の形状の小さな穴から流出する気体について考える。気体分子が水素分子の場合に流出するモル数は、エチレン分子の場合に流出するモル数の何倍になるか求めなさい。有効数字2桁で答えなさい。

2. 相図に関する以下の文章を読み、(1)~(5)の問いに答えなさい。

図Iおよび図IIは、固体と液体と気体が共存する点Aの付近の相図の例を示している。2相が共存する相境界線上で圧力  $p$  を温度  $T$  で微分したもの(相境界線の傾き)は、2相間の転移に伴うエントロピーの変化  $\Delta S$  と体積の変化  $\Delta V$  によって、

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta S}{\Delta V} \quad \text{式①}$$

で与えられる。式①を( a )の式という。

- (1) 図中の(あ)、(い)、(う)の相領域に対応する三態の名称をそれぞれ記しなさい。
- (2) 点Aの名称を答えなさい。
- (3) ( a )に入る適切なものを、(ア)~(キ)の中から1つ選びなさい。  
 (ア) アイリング (イ) アインシュタイン  
 (ウ) カープラス (エ) クラペイロン (オ) ドブロイ  
 (カ) ネルンスト (キ) ファントホッフ
- (4) 水の相図の概略を表しているものは、図Iと図IIのどちらかを答えなさい。
- (5) (4)の理由を式①に基づいて説明しなさい。

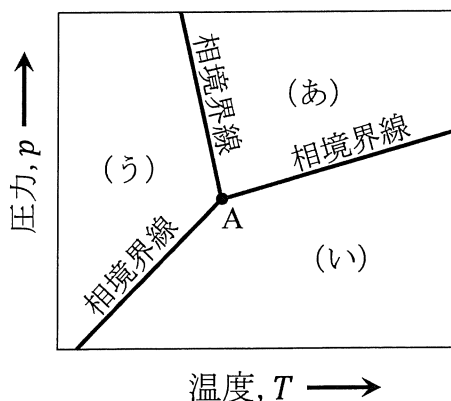


図 I

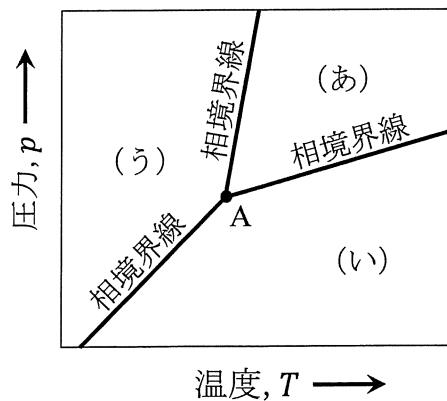


図 II

## 物理化学〔2〕

解答の式に物理定数を用いる場合、以下の記号を用いなさい。

プランク定数  $h$ , 光速  $c$

また、数値が必要な場合は以下の値を用いなさい。

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}, \quad c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$$

1. 光電効果に関する以下の文を読み、(1)~(4)の問いに答えなさい。

ある金属に波長  $\lambda = 300 \text{ nm}$  の紫外線を照射したところ、放出される光電子の運動エネルギーの最大値は  $E_K = 1.00 \text{ eV}$  であった ( $1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$ )。次に、照射する紫外線の波長  $\lambda$  を変化させて実験したところ、 $\lambda$  がある波長より{長く、短く}になると光電子が放出されなくなった。

- (1) 波長  $300 \text{ nm}$  の光子の振動数を求めなさい。有効数字3桁で答えなさい。
- (2) 波長  $300 \text{ nm}$  の光子のエネルギーを  $\text{eV}$  単位で求めなさい。有効数字3桁で答えなさい。
- (3) この金属の仕事関数  $\phi$  を  $\text{eV}$  単位で求めなさい。有効数字3桁で答えなさい。
- (4) 文中の{長く、短く}から正しい方を選びなさい。

2. 原子の電子構造に関する(1)~(3)の問いに答えなさい。

- (1) 水素原子の場合、原子オービタル(軌道)のエネルギーは主量子数  $n$  だけで決まり、

$$E_n = -\frac{E_H}{n^2} \quad (E_H \text{ は正の定数, } n = 1, 2, 3, \dots)$$

で与えられる。 $n = 3$  の軌道から  $n = 2$  の軌道に電子が遷移する際に放出される光子の波長を  $\lambda_3$ ,  $n = 4$  の軌道から  $n = 2$  の軌道に電子が遷移する際に放出される光子の波長を  $\lambda_4$  とする。この二つの波長の比  $\lambda_3/\lambda_4$  を求めなさい。

- (2) 前問(1)のような遷移の際のオービタル角運動量子数  $l$  の変化を  $\Delta l$  とする。 $\Delta l$  に対する選択律を答えなさい。
- (3) 多電子原子をオービタル近似で考えた場合は、オービタルのエネルギーは  $n$  以外に  $l$  にも依存する。たとえば  $\text{Li}$  原子の  $n = 2$  のオービタルの場合、 $l = 1$  の  $2p$  オービタルは  $l = 0$  の  $2s$  オービタルよりエネルギーが高い。浸透と遮蔽の概念を使い、その理由を簡単に説明しなさい。

3. フッ化水素分子 HF に関する(1)~(3)の問いに答えなさい。

- (1) HF 分子の振動を調和振動子で近似する。振動の量子数  $n$  ( $=0, 1, 2, \dots$ ) で指定される振動準位のエネルギー  $E_n$  を、量子数  $n$ , 振動子を古典力学で扱った場合の振動数  $\nu$ , およびプランク定数  $h$  で表す式を答えなさい。
- (2) フォトン吸収または放出することで振動準位間を遷移する際の振動量子数  $n$  の変化を  $\Delta n$  とする。  $\Delta n$  に対する選択律を答えなさい。
- (3) 以下の (a) から (c) のエネルギーを、小さいものから順に左から並べなさい。
  - (a) HF 分子の振動のエネルギー準位の、基底状態と第一励起状態のエネルギー差
  - (b) HF 分子の回転のエネルギー準位の、基底状態と第一励起状態のエネルギー差
  - (c) 温度  $T=300\text{ K}$  における熱エネルギー  $k_B T$  ( $k_B$  はボルツマン定数)