

2025 年 8 月

慶應義塾大学大学院 理工学研究科

前期博士課程 入学試験問題

教育研究分野：F 生命システム情報

----- 受験生への注意 -----

- この問題冊子の総ページ数は 10 ページです。問題は 2 ページから 10 ページに印刷されています。
- この問題冊子には 4 つの問題 (F1, F2, F3, F4) があります。
すべての問題に解答しなさい。
- 問題 1 問につき必ず 1 枚の答案用紙 (両面利用可) を使って解答しなさい。
- すべての答案用紙の所定欄に、問題番号 (例 : F1) と受験番号を記入しなさい。(氏名は記入しない)
- 答案用紙は切り離さないでください。

F1. (分子細胞生物学)

次の各設問に答えなさい。

- (1) 次の文章の空欄[A]～[H]にあてはまる適切な語句を書きなさい。

多細胞生物の発生・分化では、DNA に貯えられた遺伝情報が必要な細胞に必要なタイミングでタンパク質に変換される必要がある。この遺伝子発現の制御はおもに[A]と呼ばれるタンパク質が担っている。[A]は DNA 上の特異的な制御配列に結合してスイッチのように働くことで、特定の遺伝子の転写を活性化したり抑制したりする。このとき最終的に[B]と呼ばれる大きな酵素が、[C]と呼ばれる DNA 配列から転写を開始する。転写された mRNA 前駆体の 5'末端には[D]が付加され、3'末端には[E]が付加されるというプロセッシングを受ける。さらに、[F]と呼ばれるタンパク質・RNA 複合体がイントロンを切除することで mRNA が完成する。完成した mRNA は核を出て、細胞質で[G]と呼ばれるタンパク質・RNA 複合体によってタンパク質に翻訳される。このとき tRNA が[G]にアミノ酸を運んでくるが、tRNA のアンチコドンに対応するアミノ酸を連結する反応を触媒する酵素が[H]である。

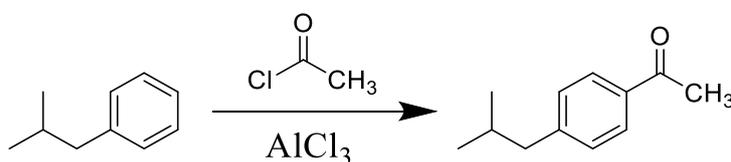
- (2) タンパク質と DNA の相互作用を調べる実験手法を 1 つ挙げ、その手順を説明しなさい。
- (3) アガロースゲル電気泳動と SDS-PAGE (ポリアクリルアミド電気泳動) は、それぞれ DNA とタンパク質を長さの違いで分離するのによく用いられる。SDS-PAGE における SDS (ドデシル硫酸ナトリウム) の役割を 2 つ説明しなさい。
- (4) FRAP (fluorescence recovery after photobleaching) とは何か、また、どのような生物学実験に応用されているか、説明しなさい。
- (5) ミトコンドリアにおける ATP 生産にはプロトン駆動力が必須である。プロトン駆動力はどのようなメカニズムで生じるのか、また、生じたプロトン駆動力はどのようなメカニズムで ATP を生産するのか、説明しなさい。

F2. (生物有機化学および生化学)

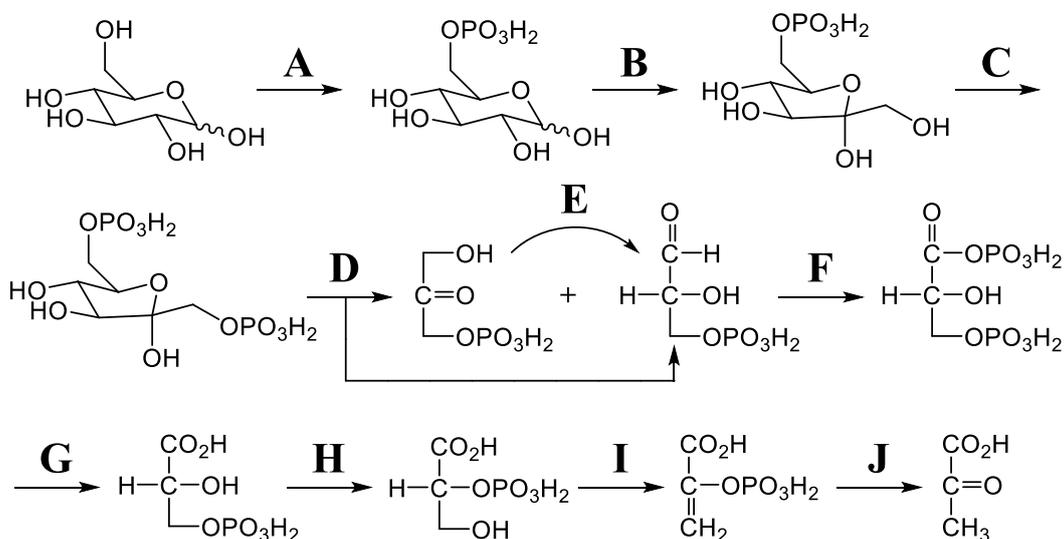
次の各設問に答えなさい。

(1) 塩化アルミニウム(AlCl_3)に関する以下の①～③の問いに答えなさい。アルミニウムは、原子番号 13 の元素である。

- ① AlCl_3 は典型的な Lewis 酸である。Lewis 酸の定義を述べなさい。
- ② AlCl_3 の Al 原子の混成軌道の種類を答えなさい。また、その理由を軌道の観点から説明しなさい。
- ③ 以下のアシル化反応の反応機構を巻き矢印を用いて書きなさい。また、この反応が主にパラ位選択的に進行する理由を述べなさい。



(2) 下図は、解糖系の概略を示している。以下の①～④の問いに答えなさい。

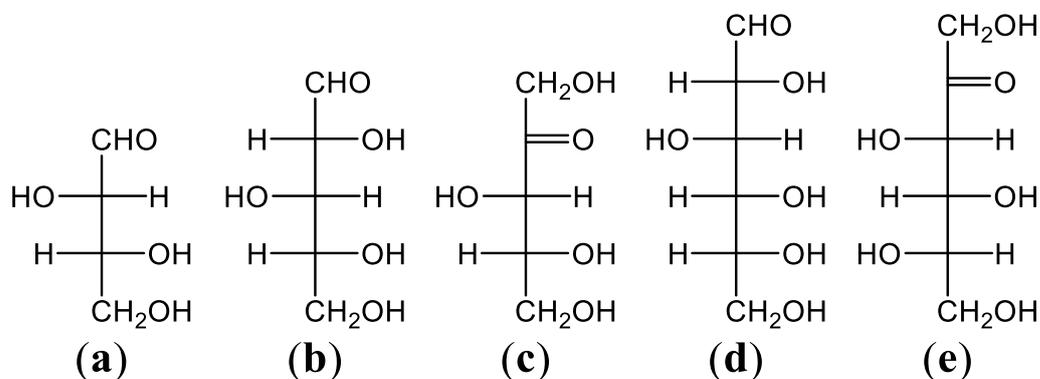


- ① ATP が生成する段階を **A**～**J** の中から二つ選び記号で答えなさい。
- ② NADH が生成する段階を **A**～**J** の中から一つ選び記号で答えなさい。
- ③ 段階 **I** の反応機構を巻き矢印を用いて書きなさい。
- ④ 乳酸、ピルビン酸やアミノ酸などの糖質以外の物質から、概ね解糖系を逆行してグルコースを生産する経路を何というか答えなさい。

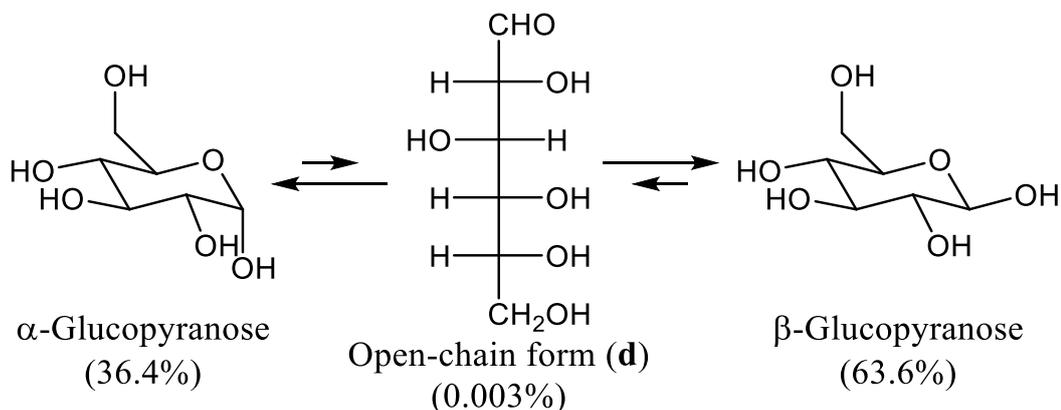
(次ページにつづく)

(前ページからのつづき)

(3) 糖に関する以下の①～④の問いに答えなさい。



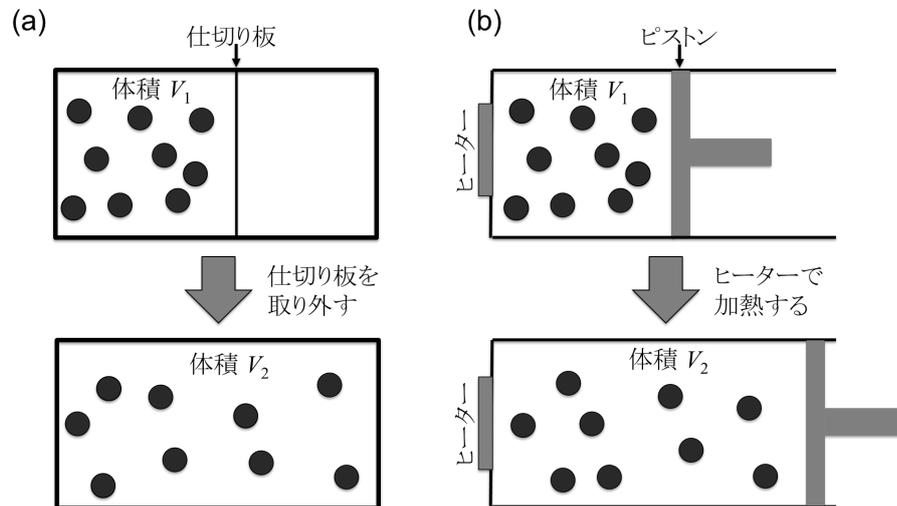
- ① 糖(a)～(e)の中から、ケトペントースを一つ選び記号で答えなさい。
- ② 糖(a)～(e)の中から、L体の糖を一つ選び記号で答えなさい。
- ③ 糖(b)の鏡像体の構造を **Fischer** 投影式で書きなさい。
- ④ 溶液中では、鎖状の糖 (d) は環状のグルコピラノースとの平衡混合物として存在している。そして、最終的な平衡状態において大部分を占めているグルコピラノースは、下図の様にα形よりβ形の方が多いことが分かっている。この様に、グルコピラノースはβ形の方が多い理由を立体配座の観点から述べなさい。



F3. (生物物理化学)

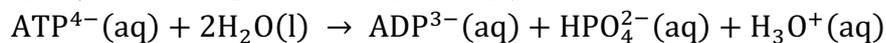
次の各設問に答えなさい。

- (1) 気体の膨張に伴うエントロピー変化について考える。(a)では、断熱容器が仕切り板で左右に分けられ、その左側に気体が入っている。このときの気体のモル数、圧力、体積をそれぞれ n 、 p 、 V_1 とする。右側は真空である。仕切り板を断熱的かつ気体に外力を与えずに取り除くと、気体は自由膨張して体積 V_2 となった。一方(b)では、容器にヒーターが取り付けられており、ピストンにより体積可変となっている。はじめの気体のモル数、圧力、体積は(a)と同様それぞれ n 、 p 、 V_1 とする。ヒーターで加熱し、圧力 p を維持したまま可逆的に等温膨張させ、体積が V_2 となったところで加熱を終了したところ、(a)と(b)はどちらも同じ状態となった。(a)、(b)どちらも操作中の温度は一定(温度: T)で、気体は完全気体とする。



- ① (a)と(b)のエントロピー変化は等しい。その理由を説明しなさい。
- ② (b)において、気体の体積が微小変化 (dV)したときの、気体になされた仕事 dw を求めなさい。
- ③ エントロピー変化(ΔS)を導出し、 n 、 V_1 、 V_2 の関数として表しなさい。必要に応じて気体定数 R を使いなさい。

- (2) ATPの加水分解が次の反応式で表せるとする。



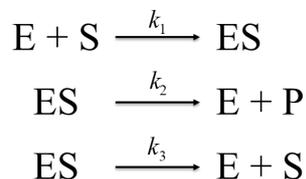
標準反応ギブズエネルギーを $\Delta_r G^\ominus$ とし、生物学的標準状態(生化学的標準状態とも呼ばれる)である $\text{pH}=7$ のときの標準反応ギブズエネルギーを $\Delta_r G^\oplus$ とする。どちらも温度 T におけるものとする。

- ① $\Delta_r G^\ominus$ と $\Delta_r G^\oplus$ の関係式を示しなさい。 H_3O^+ 以外の物質は標準状態とし、必要に応じて気体定数 R を使いなさい。
- ② $T=298\text{ K}$ で $\Delta_r G^\ominus = +10\text{ kJ mol}^{-1}$ とする。 $\Delta_r G^\oplus$ を有効数字2桁で求め、反応が自発的に進むか理由とともに述べなさい。
必要に応じて $R = 8.31\text{ J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}$ 、 $\ln(10) = 2.30$ を使いなさい。
- ③ この反応は細胞内の様々な吸エルゴン反応を駆動することができる。このことを「共役」と「ギブズエネルギー」を用いて説明しなさい。

(次ページにつづく)

(前ページからのつづき)

- (3) ミカエリス–メンテン型酵素反応について、下記の問いに答えなさい。



ここで、Eは酵素、Sは基質、Pは生成物、 k_1 、 k_2 、 k_3 はそれぞれ速度定数を示す。また、[E]、[S]、[ES]をそれぞれE、S、ESの濃度とする。

- ① 初期基質濃度 ($[S]_0$) を横軸、反応速度 (v) を縦軸として、グラフの概要を描きなさい。その際、最大反応速度 v_{\max} 、 $v_{\max}/2$ 、ミカエリス–メンテン定数 K_M もグラフに書き入れなさい。
- ② [ES]はこの反応を通じて定常状態であると仮定する。酵素の全濃度を $[E]_0$ として、反応速度 v を導出し、以下で表されるラインウィーバー–バーグの式の係数 A、B を求めなさい。必要に応じてミカエリス–メンテン定数 K_M を用いなさい。

$$\frac{1}{v} = A + B \frac{1}{[S]}$$

- ③ $1/v$ を縦軸、 $1/[S]$ を横軸として、ラインウィーバー–バーグの式のグラフの概要を実線で描きなさい。その際、 x 切片および y 切片もグラフに書き入れなさい。
 - ④ 不競合阻害（または不競争阻害、反競合阻害とも呼ばれる）の場合、③のグラフの概要はどのようになるか。③と同じグラフに破線で描きなさい。
- (4) 質量 m の粒子がばね定数 k のばねにつながれた、量子力学にしたがう一次元調和振動子について考える。この粒子の波動関数 $\psi(x) = N \exp(-\alpha x^2)$ は、以下のシュレディンガー波動方程式を満たすとする。ここで、 N は規格化定数（実数）、 α はパラメータである。

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + \frac{1}{2} kx^2 \right) \psi(x) = E\psi(x)$$

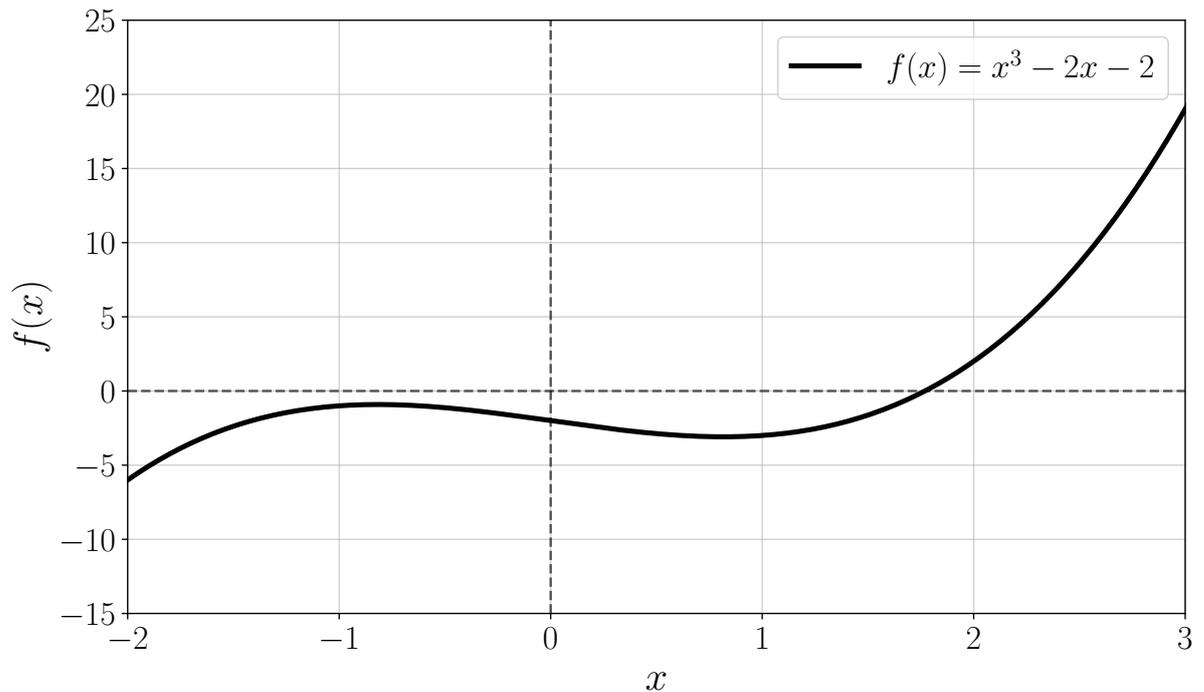
ただし、 $\hbar = h/2\pi$ で、 h はプランク定数である。以下の問いに答えなさい。

- ① パラメータ α を求めなさい。
- ② この波動関数に対応するエネルギー E を求めなさい。ただし、 $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ で定義される ω を用いなさい。

F4. (情報の基礎およびバイオインフォマティクス)

次の各設問に答えなさい。

- (1) 次のプログラムは関数 $f(x) = x^3 - 2x - 2$ の実数解を、二分法を用いて $[1, 2]$ の範囲で求め、その近似解を小数点以下 5 桁まで表示するプログラムである。



なお、二分法は関数 $f(x)$ の解を求める数値解法の一つであり、解が存在する区間 $[a, b]$ を繰り返し半分に分割し、解が存在する可能性のある区間を絞り込んでいくことで近似解を求める手法である。

① ② を埋め、プログラムを完成させなさい。

(次ページにつづく)

(前ページからのつづき)

```
#include <stdio.h>

/* f(x)の定義 */
double f(double x) {
    return x * x * x - 2 * x - 2;
}

int main() {
    double a = 1.0, b = 2.0;
    double c;
    int i;

    if (  ① > 0) {
        printf("区間に解が存在しません。¥n");
        return 1;
    }

    /* 二分法を繰り返す */
    for (i = 0; i < 100; i++) {
        c = (a + b) / 2.0;
        if (  ② ) {
            b = c;
        } else {
            a = c;
        }
    }

    printf("近似解 x = %.5f¥n", (a + b) / 2.0);
    return 0;
}
```

(次ページにつづく)

(前ページからのつづき)

- (2) 読み上げ数列は、前の項を「見て」その内容を「言葉で表現する」ことで次の項を生成する数列である。具体的には、前の項の数字を左から順に見て、「同じ数字が何個連続しているか」を数え、「個数+数字」の形で表現する。以下に初項が1の場合の読み上げ数列の例を示す。

(例)

- 第1項：1
- 第2項：「1個の1」→ 11
- 第3項：「2個の1」→ 21
- 第4項：「1個の2、1個の1」→ 1211
- 第5項：「1個の1、1個の2、2個の1」→ 111221

上記の生成規則に従った場合、第7項は となる。③を答えなさい。

次のプログラムは第10項目までの読み上げ数列を表示するプログラムであり、実行結果は以下のように表示される。

```
第1項： 1
第2項： 11
第3項： 21
第4項： 1211
第5項： 111221
...
```

を埋め、プログラムを完成させなさい。

(次ページにつづく)

(前ページからのつづき)

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>

int main() {
    char current[1000] = "1"; /* 初項 */
    char next[1000];          /* 次項 */

    printf("第1項: %s¥n", current);

    for (int term = 2; term <= 10; term++) {
        int len = strlen(current); /* 文字列の長さを取得 */
        int pos = 0;
        int i = 0;

        while (i < len) {
            char digit = current[i];
            int count = 1;

            /* 同じ文字が続く数をカウント */
            while (  < len && current[  ] == digit) {
                count++;
            }

            /* 整数(回数)を文字列に変換 */
            next[pos++] = count + '0';
            next[pos++] = digit;
            ;
        }

        next[pos] = '¥0';
        printf("第%d項: %s¥n", term, next);
        strcpy(current, next);
    }

    return 0;
}
```