

北海道大学大学院情報科学学院
情報科学専攻生体情報工学コース入学試験

2025年8月25日 13:00～15:00

専門科目 2

受験上の注意

- ・ 解答始めの合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけない。
- ・ 受験中、机上には、受験票、鉛筆(黒)、シャープペンシル(黒)、消しゴム、鉛筆削り、眼鏡、時計(計時機能のみのもの)以外の所持品は置くことができない。ただし、監督者が別に指示した場合は、この限りではない。
- ・ 携帯電話等の電子機器類は、必ずアラームの設定を解除し電源を切っておくこと。
- ・ 問題冊子1冊(この冊子)、選択問題答案用紙2枚、選択問題草案紙2枚、選択問題チェック票1枚の配布を確認すること。問題冊子と草案紙は回収しない。
- ・ 問題④～⑥のうち2問を選択し、答案用紙に問題番号と受験番号を記入の上、解答すること。選択問題チェック票にも、受験番号と問題番号を記入して提出すること。
- ・ 2ページにわたる問題もあるので、注意すること。
- ・ 答案用紙の裏面を使用する場合は、表面右下に「裏面に続く」と明記すること。
- ・ 導出過程も略さず記すこと。

(空白ページ)

1 微分方程式

1. 次の微分方程式の一般解 $y(x)$ を求めよ.

$$\left(\frac{d^2y}{dx^2} + 2\frac{dy}{dx} + y + 2x \right) e^{2x} = 1$$

2. 実関数 $z(x, t)$ に対して, 拡散方程式①を考える.

$$\frac{\partial z}{\partial t} - \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = 0 \tag{①}$$

$t \rightarrow \infty$ で発散しない条件において, 拡散方程式①の一般解は, 式②で表される.

$$z(x, t) = e^{-c^2 t} \{ Z_1 \cos(cx) + Z_2 \sin(cx) \} \tag{②}$$

ここで, c, Z_1, Z_2 は, 任意の実数である.

(1) 式②を導出せよ.

(2) 次の2つの境界条件と1つの初期条件を全て満たす拡散方程式①の解 $z(x, t)$ を求めよ.

2つの境界条件を

$$z(x=0, t) = 0$$

$$z(x=\pi, t) = 0$$

とする.

1つの初期条件 (範囲は, $0 \leq x \leq \pi$) を

$$z(x, t=0) = 1 - \cos^2 x$$

とする.

(空白ページ)

2 電磁気学

静磁場（静磁界）を用いて荷電粒子を空間的に閉じ込めることを考える。磁束密度を B とし、大きさのない荷電粒子 Q は電荷 q ($q > 0$)、質量 m をもち、その速度を v とする。荷電粒子 Q に働く力を F とする。ここで、 F, B, v はベクトルである。以下の設問に国際単位系 (SI) で答えよ。ここでは、重力の効果および磁場中の荷電粒子の運動による電磁波の放射は無視する。

- (1) 荷電粒子 Q に働く力 F を B, v, q を用いて表せ。
- (2) 荷電粒子 Q の運動エネルギーを K とすると、微小時間 dt での微小変化 dK は、 $dK = F \cdot v dt$ である。ここで、 \cdot はスカラー積 (内積) を表す。これを用いて、運動エネルギーが保存していること、すなわち $dK/dt = 0$ であることを説明せよ。

以下では円筒座標系 (r, θ, z) を用いる。 F, B, v の円筒座標系での成分表示をそれぞれ $(F_r, F_\theta, F_z), (B_r, B_\theta, B_z), (v_r, v_\theta, v_z)$ とする。ここで、 z 軸の正の方向から見て反時計回りが θ の正の向きである。また、 $B_z > 0$ とする。

- (3) まず、 z 軸に平行で一様な磁束密度 $B = (0, 0, B_z)$ が存在する場合を考える。荷電粒子 Q は z 軸を中心とするらせん運動をしている。この運動の z 軸に垂直な面内への射影は半径 R の等速円運動となる。円運動の半径 R を、 v_θ を含む式で表せ。また、 v_θ の正負を答えよ。ただし、等速円運動の向心力の大きさは $m v_\theta^2 / R$ と等しい。
- (4) 設問(3)の円運動の周期 T を、 v_θ を用いずに表せ。
- (5) 次に、図 1 に示すように、磁場が z 軸のまわりに軸対称で非一様な場合 を考える。なお、磁場は磁力線の接線方向を向いている。 B_r は θ によらず 0 でない (ただし、 $z \neq 0, r \neq 0$)。また、 B_θ は常に 0 である。 B_z は z 軸に垂直な面内では一様で、図 2 に示すように $|z|$ だけの関数になっている。 $|z|$ が大きくなるにつれて B_z は大きくなる。 B_z の z 依存性は十分に緩やかで、荷電粒子 Q の運動の z 軸に垂直な面内への射影は、1 周期の範囲では等速円運動と近似できるとする。この円運動の中心は z 軸上にあり、荷電粒子 Q はらせん運動をしている。荷電粒子 Q に働く力の 3 つの成分 (F_r, F_θ, F_z) を求めよ。また、 F_z の式の形をもとに、 $z > 0$ と $z < 0$ の 2 つの領域における F_z の符号を議論し、荷電粒子 Q が閉じ込められることを説明せよ。

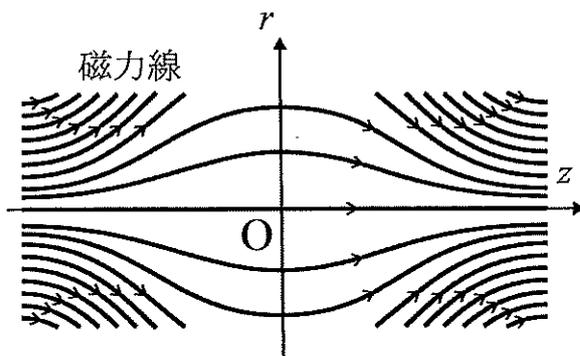


図 1

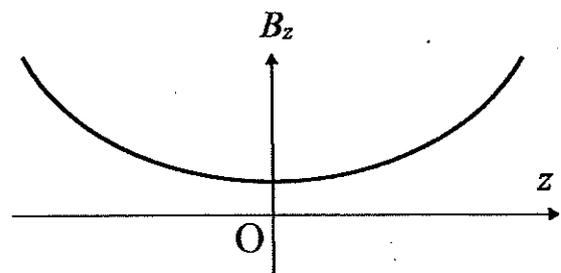


図 2

(空白ページ)

3 生 化 学

1. タンパク質の構造と機能に関する以下の説明文を読み、設問に答えよ。

アミノ酸分子の α -カルボキシ基と別のアミノ酸分子の(①)が脱水縮合して、(②)を形成することで、アミノ酸分子同士がつながっていきタンパク質の一次構造が形成される。ポリペプチド鎖の一部は主に(③)によって折りたたまれ、(④)や(⑤)などの規則的な二次構造を形成する。さらに、(③)に加えて、疎水性相互作用、イオン性相互作用、^(A)ジスルフィド結合などが協同的に働くことで、立体的な三次構造が安定化される。複数のポリペプチド鎖が結合することで、四次構造が形成されることがある。

タンパク質の機能は、高次構造に大きく依存しており、正確な折りたたみが不可欠である。熱や pH 変化は高次構造を破壊し、変性を引き起こすことがある。変性したタンパク質は機能を失うが、一部のタンパク質では(⑥)が正常な構造への折りたたみを助ける役割を果たす。このような構造の形成と維持が、生体内でのタンパク質の多様な機能発現に寄与している。

- (1) 空欄①から⑥に入る最も適切な語を、下記の語群から選んで答えよ。ただし、番号が異なる空欄には異なる語が入るものとする。④と⑤は順不同である。

<語群>

β -アミノ基、 α -アミノ基、エステル基、ペプチド結合、金属結合
水素結合、 α -ヘリックス、二重らせん、 β -シート、分子シャペロン、
ATP アーゼ、ルシフェラーゼ

- (2) 下線部(A)の結合を形成するアミノ酸の分子構造を描け。
(3) タンパク質が異常な折りたたみ構造をとることが、疾患の原因となることがある。そのような疾患の名称を1つ挙げ、その機序を100字以内で説明せよ。
(4) 酸素はヘモグロビンのアロステリック調節因子としてどのように機能するか、タンパク質の立体構造の観点を含めて100字程度で説明せよ。

(裏面に続く)

3 生化学

2. ヒトの電子伝達鎖と酸化リン酸化に関する以下の説明文を読み、設問に答えよ。

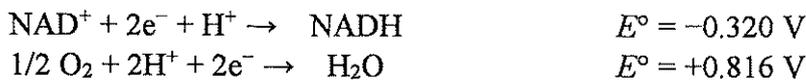
ミトコンドリア (①) の電子伝達鎖では、NADHから電子が供給され、電子は複合体 I, III, IV を通って酸素へと渡される。複合体 I, III, IV は (②) をマトリックスから (③) へ汲み出し、膜を跨いだ (②) 濃度勾配を形成する。この形成された (②) 濃度勾配は、(①) に存在する ATP 合成酵素によって利用される。(②) が (③) 側からマトリックス側へ流れ戻る際に、ATP 合成酵素の回転運動を駆動し、(④) と (⑤) から ATP が合成される。

(1) 空欄①から⑤に入る最も適切な語を、下記の語群から選んで答えよ。ただし、番号が異なる空欄には異なる語が入るものとする。④と⑤は順不同である。

<語群>

外腔、内膜、膜間腔、ヒドロニウムイオン、カルシウムイオン、プロトン、NAD⁺、CoA、FMN、GTP、ADP、Pi (無機リン酸)

(2) NAD⁺および O₂ の還元反応と標準還元電位 (E°) は下の通りである。これらの化学反応式から NAD⁺の還元反応の標準還元電位差 (ΔE°) と標準自由エネルギー変化 (ΔG°) を有効数字 3 桁で求めよ。ファラデー定数を 96.485 (kJ mol⁻¹ V⁻¹) とする。



(3) 図 1 は酵素を用いていないときの化学反応におけるエネルギー変化を模式的に示したグラフである。答案用紙に図 1 を転記し、この化学反応を触媒する酵素を用いたときのエネルギー変化を図示せよ。また、この反応における自由エネルギー変化 (ΔG) も図中に示せ。

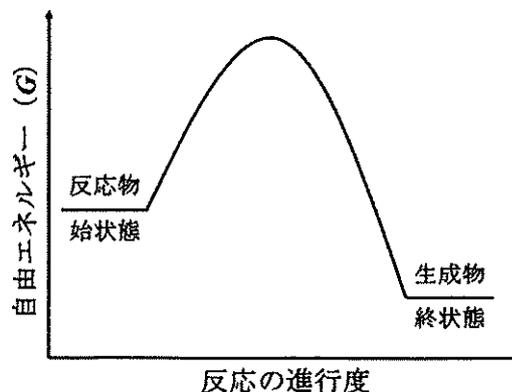


図 1. 化学反応のエネルギー変化

(4) 生体内ではグルコースのリン酸化は単独の反応としては進行しにくいですが、ATP の加水分解反応と共役することで反応が進行しやすくなる。この理由を自由エネルギー変化で説明せよ。

4 分子遺伝学

1. 標準遺伝暗号表に関する次の説明文を読んで、設問に答えよ。

表 1 の標準遺伝暗号表の一部では、コドンの第 3 塩基が A (アデニン), U (ウラシル), G (グアニン), C (シトシン) 以外の特殊な記号で表されている。これらの記号は 2 つ以上の塩基に対応することを表す、国際標準となっているあいまい記号である。括弧のなかにはコドンに対応するアミノ酸が 3 文字表記で、または終止コドン (停止コドン) が Stop で示されている。

表 1. あいまい記号を用いた標準遺伝暗号表

		コドンの第 2 塩基			
		U	C	A	G
コドンの第 1 塩基	U	UUY (Phe) UUR (Leu)	UCN (Ser)	UAY (Tyr) UAR (Stop)	UGU (Cys) UGC (Cys) UGA (Stop) UGG (Trp)
	C	CUN (Leu)	CCN (Pro)	CAY (His) CAR (Gln)	CGN (Arg)
	A	AUH (Ile) AUG (Met)	ACN (Thr)	AAY (Asn) AAR (Lys)	AGY (Ser) AGR (Arg)
	G	GUN (Val)	GCN (Ala)	GAY (Asp) GAR (Glu)	GGN (Gly)

- あいまい記号の R と Y はそれぞれプリン塩基とピリミジン塩基を指す記号である。A, U, G, C の 4 種類の塩基をプリン塩基とピリミジン塩基に分類せよ。
- 表 1 中で用いられている記号以外に、Strong を表す S や、Weak を表す W があり、塩基対形成の際の水素結合の強さに対応する。この表記を用いた UGS というコドンがコードするアミノ酸、もしくは終止コドンをすべて挙げよ。
- 5'-AUGCUGCAUCAUAUUUCAAAA-3' という塩基配列をもつ RNA がある。この塩基配列のどこかで 1 塩基の欠失が起こった。ヒトの細胞において、この RNA が AUG から翻訳されたときのアミノ酸配列が Met-Leu-His-Ile-Phe-Ser-Lys であったとき、RNA のどこに欠失が起こったかと推定できるか、理由とともに答えよ。複数の可能性がある場合はすべて答えること。
- YYYYYYYYYYYYNYAG という塩基配列は、真核生物の mRNA のスプライシングにおいて重要な役割をもつ塩基配列の特徴をあいまい記号で表したものである。この配列を目印にスプライシングが行われるとき、この配列はエクソン部分にあるか、イントロン部分にあるか、また、その 5'側, 3'側のいずれにあるかを答えよ。
- 新型コロナウイルス (SARS-CoV-2) がもつ遺伝子のアミノ酸配列を推測するために、標準遺伝暗号表を用いることは適切であるかどうか、理由とともに答えよ。

(裏面に続く)

4 分子遺伝学

2. 減数分裂に関する次の説明文を読んで、設問に答えよ。

ヒトの減数分裂は精子や卵子のような (①) の形成過程にある減数分裂母細胞で起こる。減数分裂前期 I に (②) 同士が対合し、(③) を形成する。この時期に乗換えが起こり、対合した (②) の間に (④) が形成される。その後、減数分裂後期 I では (②) が、減数分裂後期 II では (⑤) がそれぞれ両極に分配され、最終的に 4 個の細胞が生じる。

酵母では、1 回の減数分裂で作られる 4 つの細胞 (四分子) は、1 つの (A) 子嚢と呼ばれる袋状の構造内に形成される。異なる染色体に存在する酵母の遺伝子 A と B について調べたところ、すべての個体が、遺伝子 A において、アレル (対立遺伝子) A_1 と A_2 のヘテロ接合、遺伝子 B においてアレル B_1 と B_2 のヘテロ接合である個体群 X が存在した。個体群 X の個体が減数分裂を行った結果できた子嚢を多数観察したところ、(B) A_1B_1 と A_2B_2 が 2 つずつ入った子嚢と、 A_1B_2 と A_2B_1 が 2 つずつ入った子嚢の 2 種類が同じ割合で観察された。ただし、遺伝子 A と B は両方ともセントロメアの近傍にあり、セントロメアとの間で乗換えはほとんど起こらないということが分かっている。

- (1) ①～⑤に入る最も適切な語を以下の語群からそれぞれ選べ。ただし、番号が異なる空欄には異なる語が入るものとする。

<語群>

胞子、配偶子、複製子、原腸胚、胞胚、ミトコンドリア、姉妹染色分体、二価染色体、相同染色体、環状染色体、紡錘体、核小体、キアズマ

- (2) ヒトの減数分裂後期 I と減数分裂後期 II の間に DNA 複製は起こるかどうか答えよ。
- (3) 下線部(A)に関して、酵母以外で子嚢をつくる菌類を下の選択肢(a)～(d)のなかからすべて選べ。
- (a) アカパンカビ (b) 大腸菌 (c) 緑膿菌 (d) 乳酸菌
- (4) 下線部(B)について、減数分裂後期 I と減数分裂後期 II のどちらの時点で 2 種類の子嚢いずれになるかが決まるかを答えよ。
- (5) 個体群 X の個体から生じた配偶子同士が接合してできた接合体が、遺伝子型 $A_2A_2B_1B_2$ 、遺伝子型 $A_1A_2B_1B_2$ をもつ確率をそれぞれ百分率で示せ。

(空白ページ)

