

筆答専門試験科目（午前）

2022 大修

融合理工学系

時間 9 : 3 0 ~ 1 0 : 3 0

注 意 事 項

1. 設問は【問題1】の1題である。設問にあるすべての問いについて解答すること。
2. 答案用紙は日本語による解答用と英語による解答用の2種類がある。どちらか一方のみを使用して解答すること。
3. 選択した答案用紙の各ページに受験番号を記入すること。氏名を記入してはならない。

〔問題 1〕

次の問題文を読み、問1から問4の解答を、答案用紙の所定の欄に記入せよ。

技術と社会の関係は相互依存的である。技術が一方的に社会の変容を引き起こすのではない。もし、新技術が社会システムの要請に合わないならば、社会は変化しない。技術のインパクトは、社会と組織の構造に依存する。社会と組織の構成原則を理解することは、技術と社会の関係性を理解するための鍵となる。

例えば、米国のIT経済隆盛の象徴となったシリコンバレーを見てみよう。Saxenian (1994)はシリコンバレーを調査し、リスクをとる文化、高い技術を持った小企業の集積、企業間の柔軟なネットワークを、その成功の要因として挙げている。他方、Harrison (1994)は、これら小企業の多くはハイテク技術を保有せず、低賃金で、グローバルな生産ネットワークの周辺に位置すると指摘する。どちらのシリコンバレー像が現実なのだろうか。

1950年代より、近代化の2つの原則、すなわち、知識創造の正統な様式としての実証主義的合理性と、効率的な組織原則としての官僚主義について深刻な疑問が呈されてきた。以来、ほとんどの知識人に、近代主義（モダニズム）の原則、すなわち、ヒエラルキー（序列階層）、**(A)**、統合に対抗するものとして、ポストモダニズムの原則、すなわち、ネットワーク、分権、多様性を好む傾向が見られた。

では、ヒエラルキーはすたれ、新しい組織原則に取って代わられるのだろうか。組織発展の歴史を振り返ると、現実には、理論が予想した世界より、もっと複雑であることに気づく。まず、多様化の進行と同時に、標準化が一層広がっている。この現象の事例を見つけるのは難しくない。例えば、様々なソフトウェアは、標準化されたOS (Operating System)の上を走る。多様な顧客の満足を追求しながら、マニュアルに頼る。民族や地方文化の独自性が強調される一方で、統合的グローバル文化が出現する。

素早い経営判断のために、権限の委譲が求められると同時に、強いリーダーシップも必要だと我々は考える。大企業の統合が世界規模でブームとなり、グローバルなネットワークの中心的地位を占める一方で、補助的機能は外部委託され、小企業のネットワークを形成している。サイバースペースの柔軟性は、電線や光ファイバーなどの空間的固定設備によって実現している。

標準化と多様化は、相反する概念である。集権と分権、ヒエラルキーとネットワーク、固定と移動もそうである。しかし、社会や組織の発展の歴史から見ると、このように論理的に相反する概念は、実質的には相反していない。私はこのような現象を、ヒエラルキーのパラドックス（逆説）、社会的統合と個人的自由のパラドックスと呼びたい。社会・組織の原則や秩序を理解するには、このパラドックスの性質の理解が鍵となる。

(B)ヒエラルキーのパラドックスは、我々が組織や社会のシステムを、ヒエラルキーとネットワーク、集権と分権といった二分法で見てはならないことを示唆している。図1に示すように、組織や社会の発展は、集権化と分権化、あるいは標準化と多様化の低レベルでの均衡（モード①）から、高いレベルでの均衡（モード②、モード③）に移行することによって達成される。**(C)階層的構造は決してなくなる**ない。このため、正しい質問は、ネットワークがヒエラルキーに取って代わるか否かではなく、次の段階への移行と分化が、どのように進行しているかを問うことである。

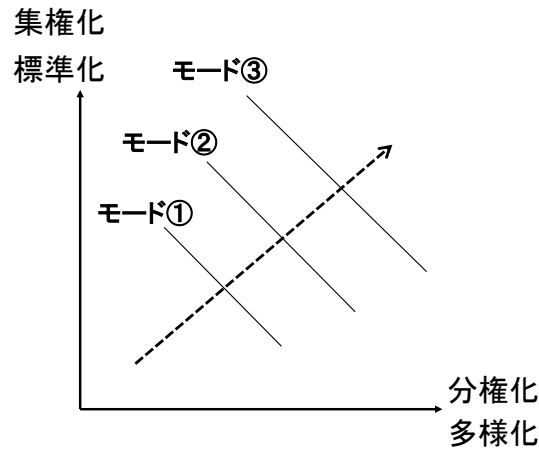


図 1 社会・組織の発展

出典：Sakano, T. 2001. “Beyond the Paradox of Hierarchy,” the 37th IsoCarp Congress in Utrecht

(http://www.isocarp.net/Data/case_studies/cases/cs01_1688/2001.html#_ftnref1) から一部改変し、引用・翻訳

1. 空欄 (A) に入る語句として最も適切なものを、以下の①～⑤から選べ。(10点)
①統治、②集権、③集合、④一致、⑤強制
2. 下線 (B) に示す筆者の言う「ヒエラルキーのパラドックス」とは何か。句読点を含めて 80 字～120 字程度で説明せよ。英語で解答する場合は、40 ワード～60 ワード程度で説明せよ。(25 点)
3. 下線 (C) に示す「階層的構造は決してなくなる」という著者の主張の理由として考えられることは何か。社会の発展と関連付けて、句読点を含めて 80 字～120 字程度で記述せよ。英語で解答する場合は、40 ワード～60 ワード程度で記述せよ。(25 点)
4. あなたが関心を持つ技術の一つ挙げ、①その技術が組織や社会にもたらす変化、②その技術の普及・利用と組織・社会システムとの関係性について、標準化と多様化、集権化と分権化のように、論理的に相反する概念を示すキーワードを使い、240 字～320 字程度で記述せよ。英語で解答する場合は、120 ワード～160 ワード程度で記述せよ。使用した（論理的に相反する概念を示す）キーワードには下線を引くこと。(40 点)

【問題 1】 おわり

筆答専門試験科目（午後） 融合理工学系（問題A）

2022 大修

時間 13:00～15:00

注 意 事 項

1. [問題1]～[問題8]の全てについて、答案用紙に導出過程を記して解答せよ。
2. 解答は問題1題ごとに別々の答案用紙に記入せよ。1題につき1枚使用すること。
3. 1つの問題の解答が1枚の答案用紙の表面に収まりきらない場合は、裏面に記入してもよい。裏面に記入する場合はその旨を表面に明記せよ。
4. 答案用紙の各ページには必ず問題番号（[問題1]を解答する答案用紙には、問題A-1と記入）、受験番号を記入せよ。氏名を記入してはならない。
5. コンパス、電卓を使用してはならない。
6. 試験終了後、全ての答案用紙を回収する。問題冊子と下書き用紙は持ち帰ること。

[問題 1]

ある会社の事業活動に伴う温室効果ガスは、サービスと製造の2つの部門から排出されている。このうちサービス部門については、地域での植林を実施することで、名目上、温室効果ガスの排出を少なく申告できる仕組みがあり、これを利用して1割減で申告している。また、製造部門については、製造過程で出た熱を回収して温水を地域に供給することで温室効果ガスの排出を少なく申告できる仕組みがあり、これを利用して3割減で申告している。ある年から熱回収の設備を拡大し、製造部門の排出を4割減として申告したところ、温室効果ガスの総排出量は、前年と比べて10%削減して申告することができた。この会社における実際の温室効果ガス総排出量に占めるサービス部門の排出量の割合を求めよ。

ただし、実際の温室効果ガス総排出量、およびサービス部門と製造部門の排出割合は、毎年、一定であるとする。

[問題 2]

4つの整数 A 、 B 、 C 、 D は、 $A < B < C < D$ を満足し、異なるふたつの数の和は 15、26、32、33、39、50 である。整数 A 、 B 、 C 、 D を求めよ。

[問題 3]

ある町で A、B、C 三種類のスーパーが立地している。その町での消費者の購買行動は次のア)～キ)であった。

- ア) A を使ったことがある。 69%
- イ) B を使ったことがある。 46%
- ウ) C のみを使ったことがある。 3%
- エ) B も C も使ったことがある。 21%
- オ) A、C の少なくとも一方を使ったことがある。 88%
- カ) B、C の少なくとも一方を使ったことがある。 50%
- キ) A、B、C のうち、いずれか一つだけを使ったことがある。 61%

以下の①と②の問いに答えよ。

- ① A のみを使ったことのある消費者の割合を求めよ。
- ② A、B、C 全てを使ったことのある消費者の割合を求めよ。

[問題 4]

2 の常用対数 ($\log_{10}2$) を 0.301 としたとき、以下の①と②の問いに答えよ。

- ① 3 の常用対数 ($\log_{10}3$) の値について、小数第 1 位の数字を答えよ。
- ② 7 の常用対数 ($\log_{10}7$) の値について、小数第 1 位と第 2 位の数字を答えよ。ただし、小数第 2 位については候補となる数字を 2 つ答えて良い。

[問題 5]

図 5-1 のような、半径 r の半球に外接する直円錐を考える。その直円錐の全表面積 S (側面と底面の面積の和) を最も小さくする高さを求めよ。ただし直円錐の底面は半球の底面と同一平面上にあるものとする。

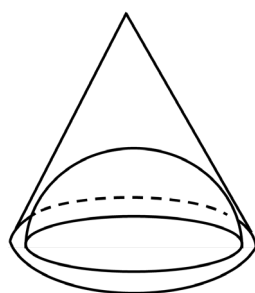


図 5-1

[問題 6]

平仮名をある法則に基づき、「○」、「△」、「×」の三種類の記号四つを組み合わせることで表わすこととする。「いしかわ」が「○○○△、○△○×、○○△×、△△×△」、「うおぬま」が「○○○×、○○△△、○×△△、△○△○」、「あおもり」が「○○○○、○○△△、△○×△、△△△○」で表されるとき、同じ法則で「○××△、○△×△、○××○、△○○△」と表される地名を平仮名四文字で答えよ。

[問題 7]

ある池に 3 組のつがいのカルガモ（つまりカルガモは 6 羽）と 1 羽のアヒルだけが居て、それらを観察したところ、次のア) ～カ) のことが分かった。

- ア) カルガモは 1 羽ずつ行動しており、パートナーのカルガモと別行動をしていた。
- イ) アヒルとカルガモがぶつかったとき、お互いに威嚇しあっていた。
- ウ) カルガモがパートナー以外のカルガモとぶつかったとき、お互いに威嚇しあっていた。
- エ) 威嚇した相手を、もう一度威嚇することはなかった。
- オ) すべてのカルガモにおいて、威嚇した回数はそれぞれ異なっていた。
- カ) まったく威嚇しなかったカルガモが 1 羽だけいた。

アヒルが威嚇した回数を答えよ。

[問題 8]

地点 A と地点 B は 200m 離れている。A-B 間には図 8-1 のように途中まで水道管が埋設されている。水道管は地点 A から水道管末端まで途切れず繋がっており、地点 B に水道管は到達していない。地面を実際に掘る掘削工事により、地中の水道管末端を見つけることを考える。水道管末端の位置は地表からはわからないが、探査車両による音響探査で地中に水道管が埋設されているかどうかを知ることができる。掘削工事は長さ $L=10\text{m}$ の区間を掘るとし、音響探査では車両直下のごく狭い範囲しか探査できないとする。以下の問いに答えよ。

- ① 図 8-2 に示すように、探査車両は地点 A から出発して地点 B に向け進みながら、一定間隔 D [m] で音響探査を順番に行う。掘削工事で必ず水道管末端を見つけることができる D の最大値を答えよ。ここで、音響探査を行なった地点を $X_1, X_2, X_3, \dots$ とすれば、地点 A から i 番目の地点 X_i への距離は $i \times D$ [m] で与えられる。
- ② 水道管末端の位置を確率変数と見做し、その確率は A-B 間で一様に分布するものとする。前問①で求めた D の最大値を用いて音響探査を行った場合について、掘削工事を行うべき区間を決めるまでに探査車両が移動する距離の期待値を求めよ。なお、掘削工事を行うべき区間を決めた時点で車両はそれ以上移動しないとする。
- ③ 図 8-3 に示すように、地点 A から出発した探査車両は A-B 間を自由に移動して適切な地点 X_1 で探査を行い、その結果を参考に次の探査地点 X_2 を決定する。さらにその結果を参考に次の地点 X_3 を決定する。以上の様に、以前の探査結果を参考にして次の探索地点を選択しつつ、順次音響探査を行う。最大 5 回の音響探査で必ず掘削工事を行うべき区間が決定できる探査地点の選び方を述べよ。

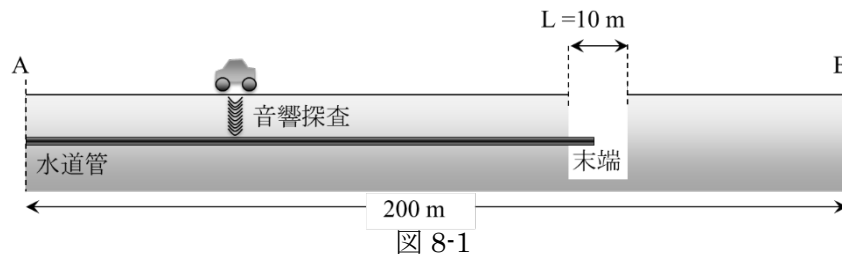


図 8-1

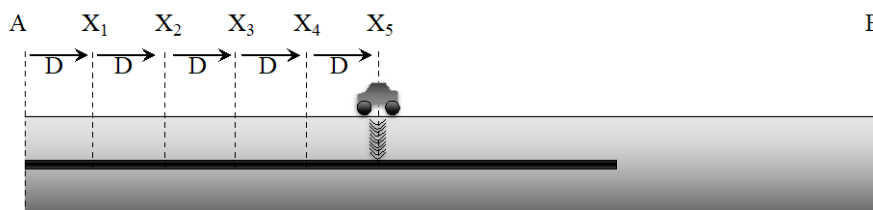


図 8-2

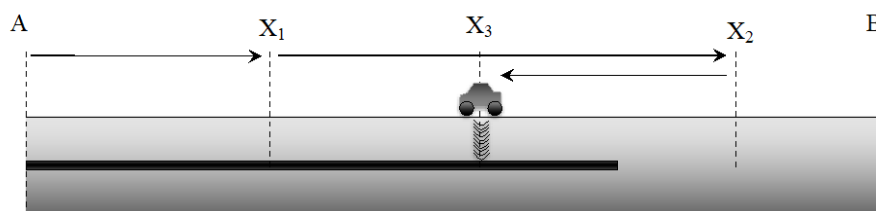


図 8-3

筆答専門試験科目（午後） 融合理工学系（問題B）

2022 大修

時間 13:00～15:00

注意事項

1. [問題1]～[問題8]から2題を選択し解答せよ。3題以上解答した場合は全てを0点とする。
2. [問題7]を選択する場合は、[問題7-I]、あるいは[問題7-II]のいずれか一方のみを解答せよ。両方解答した場合は、[問題7]を0点とする。
3. 各答案用紙には必ず試験科目名（もし[問題1]を選択した場合は、「問題B-1」と記入、もし[問題7-I]を選択した場合は、「問題B-7-I」と記入）、受験番号を記入せよ。氏名を記入してはならない。未使用の答案用紙には何も記載する必要はない。
4. 解答は、選択した問題ごとに別々の答案用紙に記入せよ。また、問題によっては設問ごとに別々の答案用紙に記入するよう指示があるので、これに従うこと。
5. 1つの問題の解答が1枚の答案用紙の表面に収まりきらない場合は、裏面に記入してもよいし、複数の答案用紙に記入してもよい。裏面に記入する場合はその旨を表面に明記せよ。また、複数の答案用紙に記入する場合にもその旨を明記した上で、それら全てに試験科目名、受験番号を記入せよ。
6. コンパス、電卓、定規を使用してはならない。
7. 全ての答案用紙を回収する。

[問題1]（微分積分）

[問題2]（線形代数）

[問題3]（確率・統計）

[問題4]（力学）

[問題5]（電磁気学）

[問題6]（化学）

[問題7]（生物学）

[問題8]（原子核工学）

[問題 1]

1 と 2 はそれぞれ別の答案用紙に解答せよ。

1. 以下の常微分方程式の厳密解を求めよ。虚数を使わずに表すこと。

(1) $f''(t) - 4f'(t) + 4f(t) = 0, \quad f(0) = 3, f'(0) = 4$

(2) $f''(t) - 4f'(t) + 3f(t) = e^t, \quad f(0) = 0, f'(0) = 3$

(3) $f''(t) + 3f'(t) + 2f(t) = 8t^2, \quad f(0) = 0, f'(0) = 0$

2. $y \geq 0$ の実数値をとるなめらかな曲線 $y = f(x)$ を x 軸のまわりに回転させる。以下の問いに答えよ。

(1) $a \leq x \leq b$ のとき、 $y = f(x)$ を回転してできる回転面の面積 S の式を導出せよ。

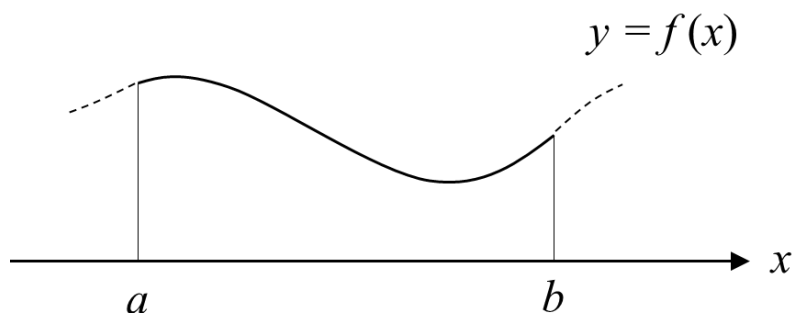


図 1-1

(2) (1)で求めた式を使って、 $y = \sqrt{c^2 - x^2}$ を x 軸のまわりに回転してできる回転面の面積について、 a, b を変えたときの最大値を求めよ。ただし、 c は定数で $c > 0$ とする。

[問題 2]

1. 行列 A の転置行列を tA と表す。正方行列 B が、 ${}^tB = B$ を満たすものを対称行列といい、 ${}^tB = -B$ を満たすものを交代行列と言う。次の行列を対称行列と交代行列の和として表せ。

$$\begin{bmatrix} 7 & 8 & 1 \\ 2 & 3 & 6 \\ 9 & 4 & 5 \end{bmatrix}$$

2. 行列 $C = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 1 & 3 & -1 \\ 2 & -1 & 2 \end{bmatrix}$ のとき、 $C^3 - 2C^2 + C - 3I$ を求めよ。 I は単位行列とする。

3. 連立方程式 $\begin{cases} x + iy - z = 1 \\ ix - y + iz = 1 \\ ix + y + z = 1 \end{cases}$ ($i^2 = -1$)をクラメールの公式を用いて解け。

4. 次の問いに答えよ。

- (1) 次の行列 D の固有値とそれぞれの固有値に対する固有ベクトルを求めよ。

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 0 \end{bmatrix} \quad (2-1)$$

- (2) (1)の D の固有ベクトルから D を対角化する行列 X を求め、対角行列 $F = X^{-1}DX$ を求めよ。

5. 感染症の流行の推移を1ヶ月ごとに調べた。その結果、前の月の感染者の80%が回復して非感染者となり、前の月の非感染者の10%が感染者になることがわかった。総人口は変わらず、同じ人が何度も感染することもありえるとして、次の問いに答えよ。

- (1) ある月 n の感染者数を x_n 、非感染者数を y_n として、下記のように表すとき、行列 G を求めよ。

$$\begin{bmatrix} x_n \\ y_n \end{bmatrix} = G \begin{bmatrix} x_{n-1} \\ y_{n-1} \end{bmatrix} \quad (2-2)$$

- (2) 行列 G の固有値とそれぞれの固有値に対する固有ベクトルを求めよ。

- (3) 十分長い時間が経過した場合の、総人口に占める感染者数の割合を、行列の対角化を用いて求めよ。

[問題 3]

1. ある型の航空機における機械故障の発生は、ポアソン過程とみなされとする。過去の記録から、軽微なものを含めた平均故障発生頻度は、飛行時間 10,000 時間につき 1 件である。以下の問いについて有効数字 3 桁で答えよ。なお、必要に応じて表 3-1、表 3-2 を使用してよい。

- (1) ポアソン過程が満たす条件を説明せよ。
- (2) 航空機が飛行時間 2,000 時間ごとに点検・保全を受ける計画であるとする。この点検・保全計画に基づく点検間隔の間に機械故障が発生する確率を求めよ。
- (3) 同型機 10 機のうち、(2)の点検間隔の間に故障を起こす航空機が 3 機以下である確率を求めよ。異なる航空機の機械故障発生は独立と仮定する。
- (4) 機体安全担当技術者の立場から、各機の許容故障確率（点検間隔の間の故障確率）を 5%以下にとどめたい。
 - ① 点検・保全計画を変更することにより許容故障確率を満たすためには、点検間隔を何時間以下にすればよいか。点検間隔を求めよ。
 - ② 故障発生頻度の小さい新型の航空機開発を考える。飛行時間 2,000 時間の点検間隔を維持する場合、開発目標とする航空機の平均故障発生頻度を求めよ。

2. 仮説検定に関する以下の用語を説明せよ。

- (1) 第 1 種の過誤
- (2) 第 2 種の過誤

表 3-1 自然対数表 ($-\log_e x = -\ln x$) の一部

x	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	∞	4.6052	3.9120	3.5066	3.2189	2.9957	2.8134	2.6593	2.5257	2.4079
0.1	2.3026	2.2073	2.1203	2.0402	1.9661	1.8971	1.8326	1.7720	1.7148	1.6607
0.2	1.6094	1.5606	1.5141	1.4697	1.4271	1.3863	1.3471	1.3093	1.2730	1.2379
0.3	1.2040	1.1712	1.1394	1.1087	1.0788	1.0498	1.0217	0.9943	0.9676	0.9416
0.4	0.9163	0.8916	0.8675	0.8440	0.8210	0.7985	0.7765	0.7550	0.7340	0.7133
0.5	0.6931	0.6733	0.6539	0.6349	0.6162	0.5978	0.5798	0.5621	0.5447	0.5276
0.6	0.5108	0.4943	0.4780	0.4620	0.4463	0.4308	0.4155	0.4005	0.3857	0.3711
0.7	0.3567	0.3425	0.3285	0.3147	0.3011	0.2877	0.2744	0.2614	0.2485	0.2357
0.8	0.2231	0.2107	0.1985	0.1863	0.1744	0.1625	0.1508	0.1393	0.1278	0.1165
0.9	0.1054	0.0943	0.0834	0.0726	0.0619	0.0513	0.0408	0.0305	0.0202	0.0101
1.0	0.0000	-0.0100	-0.0198	-0.0296	-0.0392	-0.0488	-0.0583	-0.0677	-0.0770	-0.0862

表 3-2 指数関数表 ($e^{-x} = 1/e^x$) の一部

x	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	1.0000	0.9900	0.9802	0.9704	0.9608	0.9512	0.9418	0.9324	0.9231	0.9139
0.1	0.9048	0.8958	0.8869	0.8781	0.8694	0.8607	0.8521	0.8437	0.8353	0.8270
0.2	0.8187	0.8106	0.8025	0.7945	0.7866	0.7788	0.7711	0.7634	0.7558	0.7483
0.3	0.7408	0.7334	0.7261	0.7189	0.7118	0.7047	0.6977	0.6907	0.6839	0.6771
0.4	0.6703	0.6637	0.6570	0.6505	0.6440	0.6376	0.6313	0.6250	0.6188	0.6126
0.5	0.6065	0.6005	0.5945	0.5886	0.5827	0.5769	0.5712	0.5655	0.5599	0.5543
0.6	0.5488	0.5434	0.5379	0.5326	0.5273	0.5220	0.5169	0.5117	0.5066	0.5016
0.7	0.4966	0.4916	0.4868	0.4819	0.4771	0.4724	0.4677	0.4630	0.4584	0.4538
0.8	0.4493	0.4449	0.4404	0.4360	0.4317	0.4274	0.4232	0.4190	0.4148	0.4107
0.9	0.4066	0.4025	0.3985	0.3946	0.3906	0.3867	0.3829	0.3791	0.3753	0.3716
1.0	0.3679	0.3642	0.3606	0.3570	0.3535	0.3499	0.3465	0.3430	0.3396	0.3362
1.1	0.3329	0.3296	0.3263	0.3230	0.3198	0.3166	0.3135	0.3104	0.3073	0.3042
1.2	0.3012	0.2982	0.2952	0.2923	0.2894	0.2865	0.2837	0.2808	0.2780	0.2753
1.3	0.2725	0.2698	0.2671	0.2645	0.2618	0.2592	0.2567	0.2541	0.2516	0.2491
1.4	0.2466	0.2441	0.2417	0.2393	0.2369	0.2346	0.2322	0.2299	0.2276	0.2254
1.5	0.2231	0.2209	0.2187	0.2165	0.2144	0.2122	0.2101	0.2080	0.2060	0.2039
1.6	0.2019	0.1999	0.1979	0.1959	0.1940	0.1920	0.1901	0.1882	0.1864	0.1845
1.7	0.1827	0.1809	0.1791	0.1773	0.1755	0.1738	0.1720	0.1703	0.1686	0.1670
1.8	0.1653	0.1637	0.1620	0.1604	0.1588	0.1572	0.1557	0.1541	0.1526	0.1511
1.9	0.1496	0.1481	0.1466	0.1451	0.1437	0.1423	0.1409	0.1395	0.1381	0.1367
2.0	0.1353	0.1340	0.1327	0.1313	0.1300	0.1287	0.1275	0.1262	0.1249	0.1237
2.1	0.1225	0.1212	0.1200	0.1188	0.1177	0.1165	0.1153	0.1142	0.1130	0.1119
2.2	0.1108	0.1097	0.1086	0.1075	0.1065	0.1054	0.1044	0.1033	0.1023	0.1013
2.3	0.1003	0.0993	0.0983	0.0973	0.0963	0.0954	0.0944	0.0935	0.0926	0.0916
2.4	0.0907	0.0898	0.0889	0.0880	0.0872	0.0863	0.0854	0.0846	0.0837	0.0829
2.5	0.0821	0.0813	0.0805	0.0797	0.0789	0.0781	0.0773	0.0765	0.0758	0.0750
2.6	0.0743	0.0735	0.0728	0.0721	0.0714	0.0707	0.0699	0.0693	0.0686	0.0679
2.7	0.0672	0.0665	0.0659	0.0652	0.0646	0.0639	0.0633	0.0627	0.0620	0.0614
2.8	0.0608	0.0602	0.0596	0.0590	0.0584	0.0578	0.0573	0.0567	0.0561	0.0556
2.9	0.0550	0.0545	0.0539	0.0534	0.0529	0.0523	0.0518	0.0513	0.0508	0.0503
3.0	0.0498	0.0493	0.0488	0.0483	0.0478	0.0474	0.0469	0.0464	0.0460	0.0455
3.1	0.0450	0.0446	0.0442	0.0437	0.0433	0.0429	0.0424	0.0420	0.0416	0.0412
3.2	0.0408	0.0404	0.0400	0.0396	0.0392	0.0388	0.0384	0.0380	0.0376	0.0373
3.3	0.0369	0.0365	0.0362	0.0358	0.0354	0.0351	0.0347	0.0344	0.0340	0.0337
3.4	0.0334	0.0330	0.0327	0.0324	0.0321	0.0317	0.0314	0.0311	0.0308	0.0305
3.5	0.0302	0.0299	0.0296	0.0293	0.0290	0.0287	0.0284	0.0282	0.0279	0.0276
3.6	0.0273	0.0271	0.0268	0.0265	0.0263	0.0260	0.0257	0.0255	0.0252	0.0250
3.7	0.0247	0.0245	0.0242	0.0240	0.0238	0.0235	0.0233	0.0231	0.0228	0.0226
3.8	0.0224	0.0221	0.0219	0.0217	0.0215	0.0213	0.0211	0.0209	0.0207	0.0204
3.9	0.0202	0.0200	0.0198	0.0196	0.0194	0.0193	0.0191	0.0189	0.0187	0.0185
4.0	0.0183	0.0181	0.0180	0.0178	0.0176	0.0174	0.0172	0.0171	0.0169	0.0167

[問題 4]

1. と2. はそれぞれ別の答案用紙に解答せよ。

1. K君とT君は止まっているトラックを手で押して動かすことを求められた。力自慢のK君は図4-1(a)の様にトラックの背面を押して動かそうとしたが、動かすことはできなかった。一方、知識自慢のT君は図4-1(b)の様にトラックのタイヤの上面を押して動かすことに成功した。T君は「タイヤの上面を押せばより弱い力で動かせる」可能性のあることを知識として知っていたが、その可能性のある理由を説明できなかった。その様子を見ていたあなたは彼らにその理由を説明するため、トラックを質量 M と慣性モーメント I を持つ半径 R の円筒状回転体（剛体）にモデル化することにした。すなわち、トラック背面を押す場合（図4-1(a)）は回転体の回転軸に力を作用させる（図4-1(c)）とみなし、タイヤ上面を押す場合（図4-1(b)）は回転体の最上面に力を作用させる（図4-1(d)）とみなすことにした。

先ず、単純化のため、力の作用点は滑らず、トラックはブレーキもかけられておらず、トラックの駆動系内にある摩擦もないとみなし、同じ力 F で押したときの回転体の x 方向への加速度の大きさを比較する。以下の問いに答えよ。

(1) 図4-1(c)の場合、回転体の回転中心の x 方向への加速度を求めよ。

(2) 図4-1(d)の場合、回転体の回転中心の x 方向への加速度を求めよ。

上記は、ブレーキや駆動系の摩擦の存在しない仮想的な場合であり、どんな弱い力でもトラックを動かすことができってしまう点において現実と異なる。そこで、次に、ブレーキや駆動系の摩擦が存在する場合を考えよう。それらの影響を「回転軸にある値以上のトルク（力のモーメント）が加われば動き始める」と扱うこととする。

(3) 止まっているトラックを動かすために、K君はT君の何倍の力が必要か答えよ。その理由も記すこと。

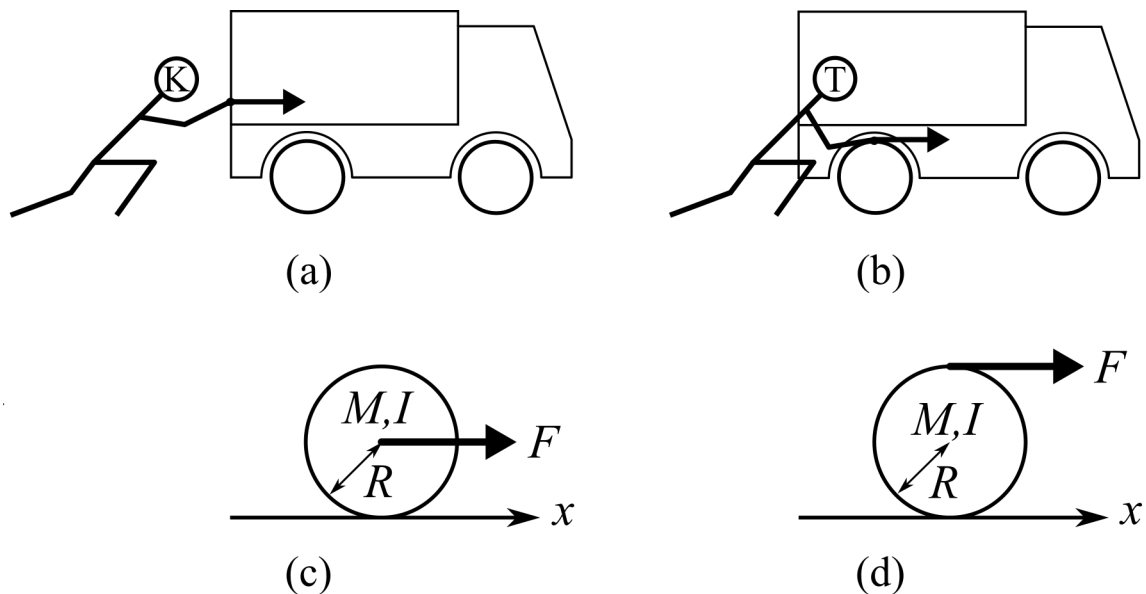


図 4-1 トラックを押して動かす 2 つの方法とそれらのモデル

2. 同じ材質で、同じ長さをもつ円柱と円管について考える。各々図4-2に示す円形と中空円形の断面を有し、断面積は等しい。同じ大きさの曲げモーメントが円柱や円管を曲げる方向に作用するとき、円柱と円管ではどちらが曲げに対して強いといえるか、式を用いて説明せよ。ただし、変形は弾性範囲内で生じると考える。

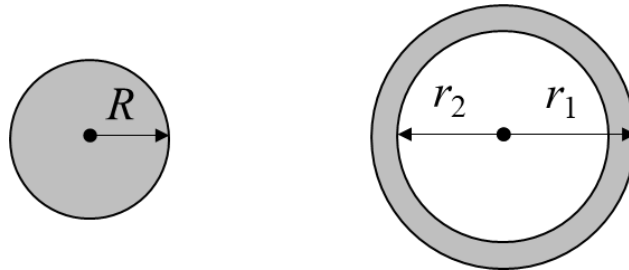


図4-2 円柱（左）と円管（右）の断面図

[問題 5]

1. Maxwell 方程式に関する以下の問いに答えよ。ただし、単位系は MKSA 単位系を用いるものとする。

- (1) 以下のア～エの空欄を適切な数式で埋めて、真空中の Maxwell 方程式 (5-1)～(5-4) を完成させよ。ここで、 $\mathbf{E}$ は電場、 $\mathbf{B}$ は磁束密度、 ρ は電荷密度、 $\mathbf{j}$ は電流密度、 ϵ_0 , μ_0 はそれぞれ真空の誘電率と透磁率である。新たな変数を用いる場合は、その定義を明記すること。

$$\text{rot } \mathbf{E} + \boxed{\text{ア}} = 0 \quad (5-1)$$

$$\frac{1}{\mu_0} \boxed{\text{イ}} - \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = \mathbf{j} \quad (5-2)$$

$$\boxed{\text{ウ}} = \rho \quad (5-3)$$

$$\text{div } \mathbf{B} = \boxed{\text{エ}} \quad (5-4)$$

- (2) 式 (5-2) は、電荷の保存則

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div } \mathbf{j} = 0$$

と矛盾しないことを示せ。

- (3) 以下のオ～クの空欄を適切な語句で埋めて、Maxwell 方程式に関する説明を完成させよ。

「式 (5-2) の左辺第 2 項は、 $\boxed{\text{オ}}$ 電流と呼ばれ、 $\boxed{\text{カ}}$ の存在を導くものである。導体内部における電流分布の時間変化が極端に速くない場合、この項は右辺の伝導電流に比べて無視できるほど小さく、 $\boxed{\text{キ}}$ 電流の近似のもとで式 (5-2) は $\boxed{\text{ク}}$ の法則に帰着する。」

2. 図 5-1 に示すように、真空中のある領域 ($0 \leq z \leq L$, $L > 0$) において、 $+x$ 方向に一様な定常電場 $\mathbf{E} = (E, 0, 0)$ が、 $+y$ 方向に一様な定常磁場 $\mathbf{B} = (0, B, 0)$ がある ($E > 0$, $B > 0$)。質量 m 、電荷 q をもつ荷電粒子が原点 O を通過してこの領域に入射するとき、この粒子の電磁場中での運動を考える。ただし、領域外 ($z < 0$ および $z > L$) に電磁場は存在せず、相対論的效果も考慮しないものとする。

- (1) 荷電粒子の速度が $\mathbf{v} = (v_x, v_y, v_z)$ で与えられるとき、上記の領域内での粒子の運動方程式を速度成分ごとに記述せよ。
- (2) 原点 O を速度 $\mathbf{v} = (0, 0, v_d)$, $v_d > 0$ で通過した荷電粒子が z 軸上を直進したとする。このとき v_d , E , B が満たすべき関係式を求めよ。
- (3) 運動方程式を解いて、時刻 t における荷電粒子の xz 平面上の位置 $(x(t), z(t))$ を求めよ。ただし、荷電粒子は時刻 $t = 0$ に速度 $\mathbf{v} = (0, 0, v)$, $0 < v < 2v_d$ で原点 O を通過するものとする。(ヒント：必要に応じて、2 階常微分方程式 $\frac{d^2 y}{dt^2} + \omega^2 y = 0$ の一般解は $y = C_1 \cos \omega t + C_2 \sin \omega t$ で与えられることを用いよ。ただし、 C_1, C_2 は任意定数。)
- (4) (3) の初期条件のもとで、荷電粒子の電磁場中での x 方向の変位 (x 座標の絶対値) が初めて最大となるときに、その粒子がちょうど $z = L$ に到達する条件において、 L と m, q, E, B の関係式を求めよ。
- (5) 同じ質量 m をもち、異なる正の電荷 q および $2q$ をもつ 2 つの荷電粒子がともに領域外 ($z < 0$) で電位差 V で加速されたのち、図 5-1 の領域に原点 O を通過しながら、 z 軸に平行に入射したとする。電荷 q をもつ粒子が z 軸上を直進するように E および B の値が選ばれているとき、電荷 $2q$ をもつ荷電粒子の x 方向の最大変位を電位差 V の関数として求めよ。なお、加速前の粒子の運動エネルギーは 0 とせよ。

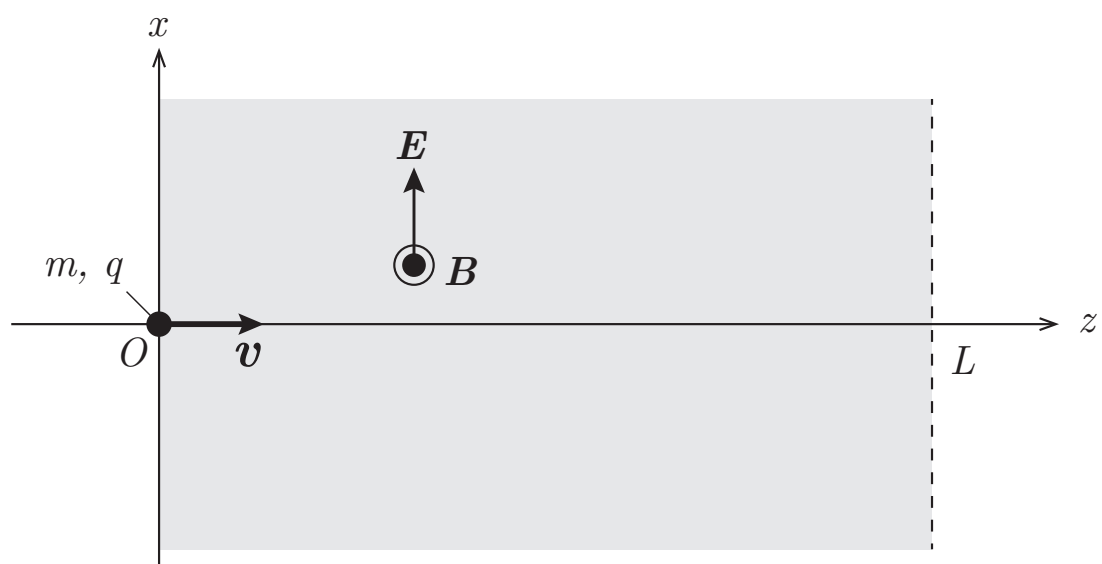


図 5-1

[問題 6]

1.と、2.~4.とは、それぞれ別の答案用紙に解答せよ。

1. 下記の文章は吸着平衡関係を表す式の一つであるLangmuirの吸着等温式の導出について述べたものである。この文章について以下の問いに答えよ。

(1) 文章中の空欄(ア)、(イ)に当てはまる適切な語句を次の語群から選び答えよ。

語群: 分子間力、物理吸着、化学吸着、飽和吸着、単分子層、多分子層

(2) 文章中の空欄(ウ)~(キ)に当てはまる適切な変数または数式を文章中の変数を用いて答えよ。

(3) 文章中の K_L の物理的意味を簡潔に述べよ。

単位質量の吸着剤と1成分の気体の間の吸着平衡を考える。吸着の機構は(ア)のみであり、吸着剤表面上に気体分子の(イ)を形成する、すなわち、吸着剤の表面上に気体分子の吸着に有効な点である吸着点が存在し、1個の吸着点は気体分子を1個だけを吸着するものとする。また、この吸着点の個数は有限であり、吸着点と気体分子の間の吸着のための親和力はいずれの吸着点も同等であるとする。これらに基づいて、すべての吸着点の数に対する気体分子を吸着している吸着点の数の割合を θ 、気体の圧力を P とおき、さらに吸着速度は(ウ)に比例し、脱着速度は(エ)に比例すると考える。吸着平衡においては吸着速度と脱着速度が等しいので、適当な比例定数 k_a および k_d を用いて、

$$k_a \text{ (ウ)} = k_d \text{ (エ)} \quad (6-1)$$

となり、これを変形すると、

$$\theta = \text{(オ)} \quad (6-2)$$

となる。ここで、吸着剤が吸着している気体の物質量 q およびその飽和量(全ての吸着点が気体分子を吸着している状態における q) q_m を用いて θ を表すと、

$$\theta = \text{(カ)} \quad (6-3)$$

であるから、これを式(6-2)に代入し、 $k_a/k_d \equiv K_L$ とおくと、

$$q = \text{(キ)} \quad (6-4)$$

なるLangmuirの吸着等温式が得られる。ここで、 K_L は吸着系により決まる定数である。

2. 大気中のCO₂は雨粒に溶解し、そのpH(水素イオン指数)に影響を与える。大気中のCO₂が水に溶解し平衡に至る過程は十分速く、その平衡状態は以下の反応式で近似的に表すことができる。



ここで、式(6-5)のCO₂の水への溶解に対するヘンリー一定数は H [mol L⁻¹ atm⁻¹]であり、式(6-6)の平衡定数は K [mol L⁻¹]である。 H 、 K 、およびCO₂分圧 P [atm]を用いて、大気中のCO₂が雨粒に溶解したときのpHを表せ。

3. 液相中の有害物質Aの分解反応において、20%分解するのに100 sの時間がかかった。液相中でその有害物質Aを80%分解するのに必要な時間を求めよ。Aの濃度[A]について1次反応と2次反応を仮定し、それら二通りの場合について有効数字2桁で計算せよ。必要があれば、log_e2 = 0.69、log_e3 = 1.1、log_e5 = 1.6の値を用いよ。

4. アルカリ水中で水の電気分解を行った。水の電気分解の総括反応は、以下の式で表される。



式(6-7)の標準反応エンタルピーは286 kJ mol⁻¹である。この反応を、298 K、2.0 Vの条件下で30分間行ったところ、12 molのH₂が得られた。以下の問いに有効数字2桁で答えよ。

(1) この水の電気分解で消費された電気量を計算せよ。

(2) 式(6-7)の標準反応エンタルピーに対する水の電気分解のエネルギー変換効率を求めよ。必要があれば、ファラデー定数 $F = 96500 \text{ C mol}^{-1}$ を用いよ。

[問題 7]

「問題 7-I」と「問題 7-II」からいずれか一問のみ選択し答案用紙に解答せよ。

どちらの問題を選択したかを答案用紙に明記すること。

以上に従わない場合は採点されない。

[問題 7-I]

光合成に関する以下の文章を読んで、問(1)～(7)に答えよ。なお、計算が必要な場合は有効数字 2 桁で計算し、答案用紙に導出過程も記述すること。

光合成は光エネルギーを化学エネルギーに変換する生化学反応であり、地球の生命・生態系を支える最も重要なプロセスの一つである。植物の光合成は ア の中で起こる。 ア は二重膜で囲まれており、二重膜の内部のことをストロマという。ストロマには酵素、DNA、RNA、リボソーム、そして膜で囲まれたチラコイドなどがある。チラコイド膜の内部はチラコイドルーメンという。

C₃ 植物では光合成は大きく明反応と暗反応の 2 つのプロセスに分けられる。明反応はチラコイド膜で起こり、まず、光化学系 II (PSII) において、光エネルギーを用いてチラコイドルーメンの水 (H₂O) を還元させ電子 (e⁻) を取り出す。このとき、酸素分子 (O₂) とプロトン (H⁺) を生ずる。なお、電子 1 個を取り出すためには光子 1 個が必要である。この電子はチラコイド膜の電子伝達鎖に従ってエネルギー的に低い方へと転送され、光化学系 I (PSI) に伝達される。この過程で、正味 1 個のプロトンがストロマからチラコイドルーメンへと運ばれる。PSI では、もう一度光エネルギーを用いて電子を運び、ストロマにて酸化型のニコチンアミドアデニンジヌクレオチドリン酸 (NADP⁺) とプロトンから NADPH を生成する。なお、PSI においても電子 1 個を運ぶためには光子 1 個が必要となる。他方、PSII で水を還元した際にチラコイドルーメンでプロトンが生ずること、電子伝達鎖を経てストロマからチラコイドルーメンにプロトンが運ばれること、ストロマ側で NADPH の生成の際にプロトンを消費すること、によってチラコイド膜を隔ててストロマとチラコイドルーメン間にプロトンの濃度勾配が生じる。チラコイド膜には イ が存在し、膜間のプロトン勾配を駆動力にして ウ を産生する。

暗反応は、主に明反応で産生された NADPH と ウ を用いて二酸化炭素から糖やデンプンを作る反応である。この反応では、まず、① エ と呼ばれる酵素の働きによって、炭素原子を 5 つ持つリブローズ二リン酸 (RuBP) 3 分子と二酸化炭素 3 分子から、炭素原子を 3 つ持つグリセリン酸リン酸 (PGA) を 6 分子生成する。② この PGA から、明反応で産生された NADPH と ウ を用いて複雑な反応経路を経て、炭素原子を 3 つ持つトリオースリン酸 (TP) を 6 分子生成する。③ 生成された TP 6 分子のうちの A 分子は RuBP の再生に使用され、①のプロセスに再利用される。残りの TP はグルコースなどの糖の産生に使われる。なお、この①～③の一連の反応経路のことを オ と呼ぶ。

(1) 空欄ア～オに当てはまる適切な語句を、以下の語群より選んで答えよ。

【語群】小胞体、葉緑体、ミトコンドリア、ATP、ATP シンターゼ、ルビスコ、ナビスコ、

アミラーゼ、TCA 回路、カルビン回路、コリ回路、糖新生、光呼吸

(2) 空欄Aに当てはまる適切な数字を答えよ。

- (3) 明反応において、酸素分子 1 mol が生成するにあたり、何 mol の NADPH が生成されるか？また、その際に、何 mol の光子が必要か？それぞれ答えよ。

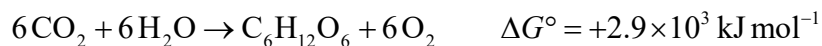
- (4) 680 nmの波長の光子1 molが持つ光エネルギーを計算せよ。なお計算には以下の諸量を用いること。

アボガドロ定数: $6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

プランク定数: $6.6 \times 10^{-34} \text{ J s}$

光速度: $3.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

- (5) 680 nmの波長の光を用いて、光合成によってグルコースが産生した場合に、光エネルギーから化学エネルギーへの変換の最大効率を計算せよ。なおグルコースの標準反応ギブズエネルギーは以下である。



- (6) 実際には、光合成は様々な制限要因によって阻害され、問(5)で計算したほどの光合成効率は得られない。ある地域の森林における総一次生産速度を見積もったところ、 $20 \text{ MJ m}^{-2} \text{ year}^{-1}$ であった。また、この地域の年間の平均的な日射量は 150 W m^{-2} 程度であった。このとき、この森林の総一次生産のエネルギー変換効率を求めよ。
- (7) 近年、地球全体の光合成による総一次生産速度は増加傾向にあることが知られている。この主な原因について説明せよ。

[問題 7-II]

次の文を読んで、以下の設問に答えよ。必要に応じて、本問 3 ページ目の表 7-1 を用いよ。なお、cDNA の塩基の番号は、開始コドンの最初の塩基の番号を 1 番とし、5' から 3' 方向に順に 2 番、3 番、・・・とする。また、タンパク質のアミノ酸の数え方は、開始コドンに当たるメチオニンを 1 個目として、カルボキシル末端に向かって順に 2 個、3 個、・・・と数えることとする。

ヒトには 3 種類の RAS 遺伝子、*KRAS*、*NRAS*、*HRAS* があり、さまざまながんにおいて高頻度で変異が認められる。*KRAS*、*NRAS*、*HRAS* から作られるタンパク質のアミノ酸配列は 86 個目までは同一である。*KRAS*、*NRAS*、*HRAS* の cDNA で開始コドンから 86 個目のアミノ酸に対応する部分の塩基配列を比較すると、①ほとんどの違いは 3 の倍数の番号の塩基に見られる。図 7-1 にヒト正常 *HRAS* 遺伝子の cDNA の塩基配列の一部を示す。なお、*HRAS* 遺伝子の cDNA では、図 7-1 の 541 番目から 600 番目以外の部分において終止コドンは存在しない。*HRAS* 遺伝子から作られるタンパク質は開始コドンに当たるメチオニンを含めて ア 個のアミノ酸から構成される。

1 番目から 120 番目	②ATGACGGAAT ATAAGCTGGT GGTGGTGGGC GCCGGCGGTG TGGGCAAGAG TGCCTGACC ATCCAGCTGA TCCAGAACCA TTTTGTGGAC GAATACGACC CCACTATAGA GGATTCCTAC
541 番目から 600 番目	TGCATGAGCT GCAAGTGTGT GCTCTCCTGA CGCAGGTGAG GGGGACTCCC AGGGCGGCCG

図 7-1 ヒト正常 *HRAS* 遺伝子の cDNA の塩基配列の一部

がんで見られる変異の一つの例として、*HRAS* 遺伝子の cDNA の イ 番目の塩基 1 が 2 に置き換わった結果、12 個目のアミノ酸が(a)グリシンから(b)バリンに変わったものがある。また、ウ 番目の塩基 3 が 4 に置き換わった結果、13 個目のアミノ酸がグリシンからアルギニンに変わったものがある。さらに、61 個目のアミノ酸がグルタミンからアルギニンに変わったものがあるが、これは エ 番目の塩基 5 が 6 に置き換わったために起こったと推測される。

RAS 遺伝子から作られるタンパク質 (Ras タンパク質) は、細胞の増殖や生存を促す細胞外からのシグナルの情報を核に伝える細胞内シグナル伝達経路で機能する分子である。Ras タンパク質は、(c) グアノシン二リン酸 (GDP) あるいはグアノシン三リン酸 (GTP) に結合した状態で存在する。GDP に結合した状態が不活性化状態で、GTP に結合した状態が活性化状態である。細胞外から細胞の増殖や生存を促すシグナル分子が細胞に到達すると、細胞膜に存在する受容体チロシンキナーゼなどを介して Ras-GEF タンパク質が活性化し、Ras タンパク質に結合している GDP を GTP に交換する。GTP と結合し活性化した Ras タンパク質は、MAP キナーゼキナーゼキナーゼ、MAP キナーゼキナーゼを介して MAP キナーゼというタンパク質リン酸化酵素を活性化し、MAP キナーゼが細胞の増殖や生存を調節する転写調節因子をリン酸化して活性化する。これによって細胞の増殖や生存が促される。正常な Ras タンパク質は自らに結合した GTP を加水分解して GDP に変える GTP アーゼ活性を持っているが、③がんで見られる変異を起こした Ras タンパク質は GTP アーゼ活性を失っている場合が多い。これによってがん細胞の特徴の一つである異常な細胞増殖が引き起こされると考えられる。

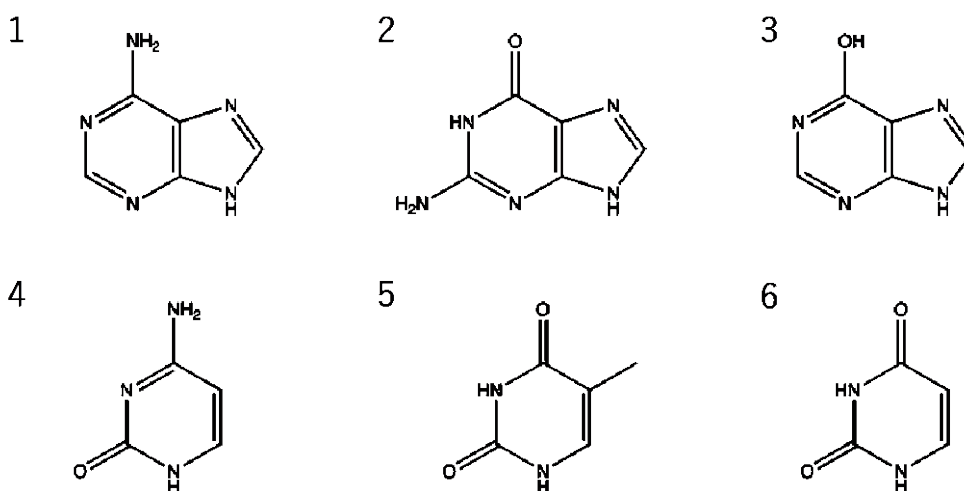
- (1) 下線部①について、
- (i) この理由を説明せよ。
- (ii) 3 の倍数以外の番号の塩基に違いが見られるのはどのような場合か述べて。
- (2) 図 7-1 中の下線部②の配列 ATGACGGAAT の相補鎖の塩基配列を 5'から 3'方向に記せ。
- (3) 空欄

 ～

 に入る適切な数を、簡潔な説明を付して答えよ。
- (4) 空欄

 ～

 に入る塩基 (A、C、G、T) を答えよ。
- (5) 下線部(a)、(b)について、
- (i) グリシンの構造式を示せ。
- (ii) 必要があれば、以下の事実を参考にし、バリン、ロイシンおよびイソロイシンの構造式を示せ。
なお、立体異性体は識別しなくてよい。
- 「バリン、ロイシンおよびイソロイシンはいずれも側鎖は水素、炭素のみで構成される。バリンの側鎖の炭素数は 3、ロイシンおよびイソロイシンの側鎖の炭素数は 4 であり、いずれも分枝構造を持つ。バリンおよびロイシンの側鎖には不斉炭素原子は存在しないが、イソロイシンの側鎖には不斉炭素原子が存在する。」
- (6) 下線部(c)について、GDP および GTP はグアニン、リボース、リン酸から構成される。
- (i) グアニンの構造式を下の 1～6 から選べ。



- (ii) DNA および RNA の相補鎖においてグアニンと対をなす塩基を 1～4 から選び、その名称を記せ。
- (7) 下線部③について、Ras タンパク質の変異によって GTP アーゼ活性が失われると、なぜ異常な細胞増殖が引き起こされるか。その段落の内容を参考に、考えられることを述べよ。

表 7-1 コドン表

	U		C		A		G	
U	UUU	フェニル アラニン	UCU	セリン	UAU	チロシン	UGU	システイ ン
	UUC		UCC		UAC		UGC	
	UUA	ロイシン	UCA		UAA	終止	UGA	終止
	UUG		UCG		UAG		UGG	トリプト ファン
C	CUU	ロイシン	CCU	プロリン	CAU	ヒスチジ ン	CGU	アルギニ ン
	CUC		CCC		CAC		CGC	
	CUA		CCA		CAA	グルタミ ン	CGA	
	CUG		CCG		CAG		CGG	
A	AUU	イソロイ シン	ACU	トレオニ ン	AAU	アスパラ ギン	AGU	セリン
	AUC		ACC		AAC		AGC	
	AUA		ACA		AAA	リシン	AGA	アルギニ ン
	AUG	メチオニ ン	ACG		AAG		AGG	
G	GUU	バリン	GCU	アラニン	GAU	アスパラ ギン酸	GGU	グリシン
	GUC		GCC		GAC		GGC	
	GUA		GCA		GAA	グルタミ ン酸	GGA	
	GUG		GCG		GAG		GGG	

[問題 8]

1. 中性子を金に照射すると中性子捕獲反応 $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ により放射性の ^{198}Au が生成される。 ^{198}Au は半減期 2.7 日でベータ崩壊し ^{198}Hg となる。このとき 412 keV の崩壊ガンマ線を放出する。中性子を金試料に照射し、照射後ガンマ線検出器で 412 keV の崩壊ガンマ線を計測したところ毎秒 1000 カウントの計数が得られた。以下の設問に計算過程を示し有効数字 2 桁で答えよ。ただし、検出器の検出効率は 2.0×10^{-4} とし、 ^{198}Au は、1 崩壊あたり 96% の確率で 412 keV のガンマ線を放出するものとする。また、必要に応じて、 $\ln 2 = 0.693$ を使ってよい。

- (1) 測定時の金試料の放射能を求めよ。
- (2) 測定時の ^{198}Au の原子数を求めよ。

2. 真空中に均質な無限平板の原子炉がある。1 群中性子拡散理論を用いて以下の設問に答えよ。ただし、炉心のマクロ吸収断面積を 0.18 cm^{-1} 、マクロ核分裂断面積を 0.090 cm^{-1} 、拡散係数を 0.36 cm 、1 回の核分裂で発生する平均中性子数を 2.4 とし、中性子外挿距離は無視せよ。計算過程を示し有効数字 2 桁で答えよ。

- (1) 炉心の無限増倍率の値を求めよ。
- (2) 中性子の漏れない確率 P_{NL} は、

$$P_{NL} = \frac{1}{1 + L^2 B_g^2}$$

で表される。ここで L は中性子拡散距離、 B_g^2 は幾何学的バックリングを表わす。炉心の厚さが 20 cm のときの P_{NL} の値を求めよ。

- (3) この原子炉の実効増倍率の値を求めよ。
3. 人体の放射線被ばくは、外部被ばくと内部被ばくに分けられる。それぞれの特徴について簡潔に説明せよ。
4. 原子核工学で用いられる以下の用語について簡潔に説明せよ。
- (1) 崩壊熱
 - (2) 親物質
 - (3) イエローケーキ
 - (4) トリチウム