

筆答専門試験科目（午前）

2020 大修

融合理工学系

時間 9：30～10：30

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合わせについて解答すること。
2. 答案用紙は和文用と英文用の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. 選択したすべての答案用紙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】次の文章を読み、問1から問5の解答を、答案用紙の所定の欄に記入せよ。

持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals: SDGs）という語は、開発途上国だけでなく国内でも様々な場面で取り上げられるようになった。持続可能性という考え方は、もともと自然生態系の保全を目的とする分野で提唱された。国際的な自然保護団体の一つである国際自然保護連合（IUCN）は、国連環境計画（UNEP）の委託を受けて1980年に世界保全戦略をまとめた。これは地球環境保全と自然保護の指針を示すもので、人類生存のための自然資源の保全のあり方として、持続可能な開発の概念を世界で初めて示したとされている。この戦略の副題が、「持続可能な開発のための生物資源の保全」となっているように、単に自然を保護するだけでなく、人類が持続的に生存していくために、いかに自然資源と共に存していくかという視点が強調されている。

この流れを受けて1984年に国連に設置された「環境と開発に関する世界委員会」は、1987年に "Our Common Future"（邦題『地球の未来を守るために』）と題する報告書をまとめ、その中で「持続可能な開発」という概念を示した。そこでは持続可能性の考え方として、「将来世代のニーズを損なうことなく現在の世代のニーズを満たす」という内容が示されている。この考え方方が1992年にブラジルで開かれた国連環境開発会議（地球サミット）で採用され、21世紀に向けて各国が取り組むべき行動計画をまとめたアジェンダ21の中に、主要なキーワードとして位置づけられた。持続可能な開発には経済、社会および環境の3つの側面の(A)を図るという考え方がある。すなわち、各側面を別個にとらえるのではなく、互いの関係性に配慮することの重要性が指摘されている。たとえば、経済活動を行う場合には地域社会の持続性や地域間の公平性に配慮したり、環境保全と経済発展の両立を目指すということが挙げられる。また、環境保全を進める際にも地域や社会階層の公平性に配慮することが求められる。こうした取り組みは、どちらかというと先進国が進めやすい内容であった。

一方、2000年9月に国連本部で開かれた国連ミレニアム・サミットにおいて、21世紀の国際社会の目標として採択された「国連ミレニアム宣言」と1990年代に開催された主要な国際会議やサミットにおける開発目標をまとめたものが、「ミレニアム開発目標（Millennium Development Goals: MDGs）」として設定された。MDGsは国際社会の支援を必要とする課題に対して2015年までに達成するという期限付きの8つの目標、21のターゲット、60の指標を掲げている。MDGsの目標には、極度の貧困と飢餓の撲滅、普遍的な初等教育の達成、ジェンダー平等の推進と女性の地位向上、乳幼児死亡率の削減などが挙げられており、開発途上国の問題解決に重点を置いた内容となっている。

このMDGsが達成期限としていた2015年に、「国連持続可能な開発サミット」が開催され、「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための2030アジェンダ」が採択された。このアジェンダが掲げた具体的な目標がSDGsであり、17の目標と169のターゲットからなっている。それまでのMDGsで掲げられていた内容を継承しながら新たな目標も設定されており、経済、社会、環境の3側面が包括的に扱われている。たとえば、目標7ではエネルギーが対象となっており、すべての人々に手ごろで信頼でき、持続可能かつ現代的なエネルギーへのアクセスを確保するとされている。また、目標9では産業のあり方を取り上げ、レジリエントなインフラを整備し、包摂的で持続可能な産業化を推進するとともに、イノベーションの拡大を図ることが求められている。

る。これらはアジェンダ 21 の流れも汲んでおり、MDGs と比較して SDGs には先進国が目指すべき目標が加わっていることや、産業界を対象にした取り組みが含まれられていることが特徴として挙げられる。

こうした動きに対して、国内の産業界も新たな取り組みに向けて動き出している。経済団体の中には、企業行動の基本的な考え方を改定する際に、政府が提唱している Society5.0、すなわち狩猟社会、農耕社会、工業社会、情報社会に続く、人類社会発展の歴史における 5 番目の新しい社会に向けて、IoT や AI、ロボットなどの革新技術を最大限活用して人々の暮らしや社会全体を最適化した未来社会の実現を通じて、SDGs を達成することを掲げている。その上で、個別目標に関連した各企業の取り組みを紹介している。持続可能な社会の実現に向けた国際的な目標に対して産業界が動き出していることは評価される一方、企業が取り組みやすい目標のみが取り上げられているという見方もある。

SDGs を考えるにあたって、目標として挙げられている項目間の相乗的な効果やトレードオフ（二律背反）といった相互間の関係が生じる可能性を考慮する必要もある。例えば、環境保全の増進が経済活動の活性化や格差の是正につながれば、一つの目標の達成による他の目標への波及効果が期待できる。一方、貧困対策や格差の是正が環境負荷の増大につながる可能性も否定できない。また、気候変動対策の一環として検討されたガソリンをはじめとする化石燃料への課税が経済的な格差の増大につながるとすれば、(B)SDGs が掲げる目標を独立して扱うのではなく、相互の関係を十分に考慮する必要がある。

問 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)

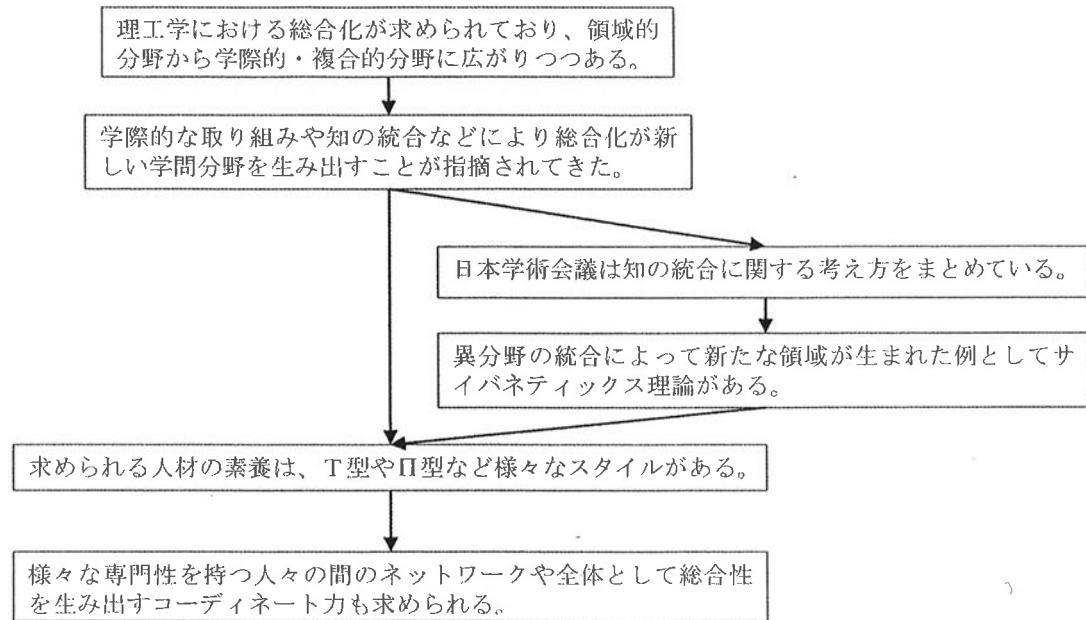
- ①断絶 ②改善 ③対抗 ④調和 ⑤便宜

問 2) 下線(B)で指摘されている相互の関係を十分に考慮する必要とはどのような意味か。句読点を含めて 80 字以上 120 字以内で記述せよ。英語で解答する場合は、40 ワード以上 65 ワード以内で記述せよ。(15 点)

(次ページに続く)

問3) 下記の例を参考にして、問題文の各段落の内容を表す見出しをつけたうえで、それらを用いて問題文の構造を図式化せよ。(25点)

(例)



注) 上記の例は本問題文とは関係ない。

問4) 問題文全体の要旨を、句読点を含めて240字以上300字以内で記述せよ。英語で解答する場合は、120ワード以上160ワード以内で記述せよ。(30点)

問5) 持続可能な開発に関してあなたが関心あるテーマを一つ挙げ、問題文の要旨を踏まえてSDGsの考え方がどのように関わるかについて考えるところをまとめ、句読点を含めて160字以上240字以内で記述せよ。英語で解答する場合は、80ワード以上130ワード以内で記述せよ。(20点)

(【問題1】おわり)

筆答専門試験科目（午後）
融合理工学系

2020 大修

時間 13:00～15:00

注意事項

1. 問題A（数的推理科目）、問題B（理工系基礎・専門科目）の2科目のうち、どちらか1科目を選んで解答すること。
2. 各問題（問題A、問題B）の注意事項にしたがって解答すること。

筆答専門試験科目（午後）
融合理工学系（問題A）

2020 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. 各答案用紙には必ず試験科目名（【問題1】の答案用紙には、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。
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. 定規を使用してよい。
5. コンパス、電卓を使用してはならない。
6. 全ての答案用紙、下書き用紙を回収する。

【問題 1】

図 1-1 のように、3 つのバケツ (A、B、C) があり、同じ量の水が入っている。3 つのバケツの底には弁があり、排水量が調節できるようになっている。以下ア) ~ ウ) の順でバケツの水を排水したところ、3 つのバケツは、排水の開始から 25 分後に同時に空になった。

- ア) 最初、バケツ A は毎分 200ml、B は毎分 50ml、C は毎分 200ml でそれぞれ排水されるように、同時に排水を開始した。
- イ) バケツ A の水が空になる前に、バケツ A の排水を止めると同時に毎分 200ml で蛇口からバケツ A に注水を開始した。同時に、バケツ C は毎分 40ml で排水されるよう弁を調節した。
- ウ) バケツ A の水量とバケツ B の水量が同じになった時点で、バケツ A への注水を止めて、毎分 200ml の排水を再び開始した。同時に、バケツ B も毎分 200ml で排水されるよう弁を調節した。

最初に一つのバケツに入っていた水の量は何リットルか答えよ。ただし、バケツから水は溢れないものとし、弁と蛇口の開閉や調節に要する時間は考えないものとする。

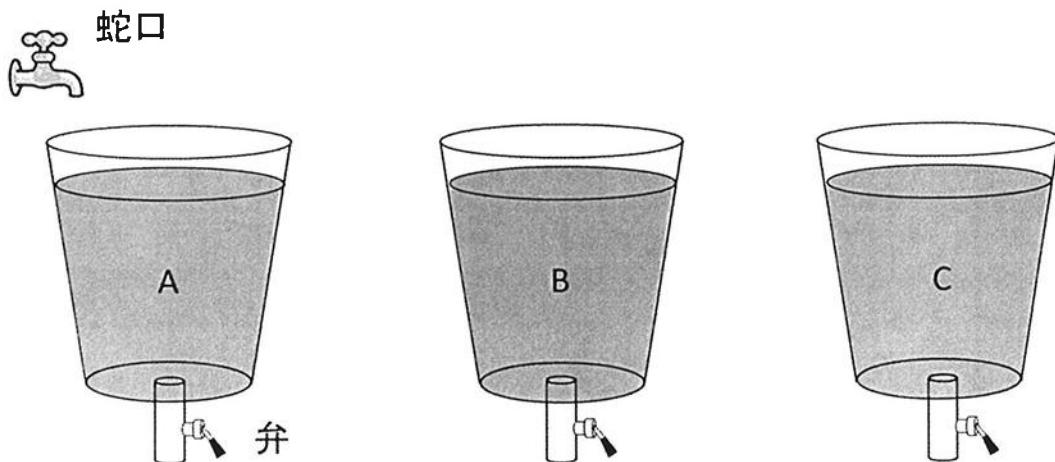


図 1-1

【問題 2】

a, b, c, x, y, z を実数とするとき、以下の①と②の問い合わせに答えよ。

① 不等式 $(a^2 + b^2 + c^2) \cdot (x^2 + y^2 + z^2) \geq (ax + by + cz)^2$ を証明せよ。

② $x^2 + y^2 + z^2 = 9$ の時、 $2x - 2y + z$ の最大値と最小値及びそれぞれの時の x, y, z の値を求めよ。

【問題3】

学生7名（A、B、C、D、E、F、G）の旅行経験を調査した。シドニー、北京、バンコクを訪ねたことがあるか聞いたところ、学生の回答は次のア)～キ)のとおりであった。このとき、以下の①～③の問い合わせに答えよ。

- ア) どの学生も、1つ以上の都市を訪ねたことがある。
- イ) 訪ねたことがある都市と訪ねたことがない都市の組み合わせは、全ての学生で異なっている。
- ウ) 学生Aと学生Fの両者とも訪ねたことがある都市はない。
- エ) 学生Dと学生Eは、訪ねたことのある都市が1つだけであり、北京を訪ねたことがない。
- オ) 学生Bは2都市を訪ねたことがあり、そのうちの1つが北京である。
- カ) 学生Cと学生Fはバンコクを訪ねたことがなく、学生Aと学生Gはシドニーを訪ねたことがある。
- キ) 学生Dが訪ねたことのある都市は、学生Cも訪ねたことがある。

① 3都市すべてを訪ねたことがある学生が誰か答えよ。ただし該当する学生がいない場合、「いない」と答えよ

② 3都市それぞれについて、訪ねた学生の数を答えよ。

③ 各学生が訪ねたことがある都市名を、それぞれの学生について答えよ。

【問題 4】

7 枚のコインがある。コインは外見では見分けがつかないが、ある 1 枚のコインだけ他より重く、それ以外の 6 枚のコインの重さは同じであることがわかっている。天秤ばかり(図 4-1) で重さを比較し、重いコインを見つける。以下の①と②の問い合わせに答えよ。

- ① 天秤ばかりの左右の皿にそれぞれコイン 1 枚だけを載せるとする。天秤ばかりを最大 3 回使えば必ず重いコインが見つかる手順をひとつ説明せよ。
- ② 天秤ばかりの左右の皿にコインを何枚でも載せられる場合を考える。天秤ばかりを 2 回使えば必ず重いコインが見つかる手順を全て述べよ。

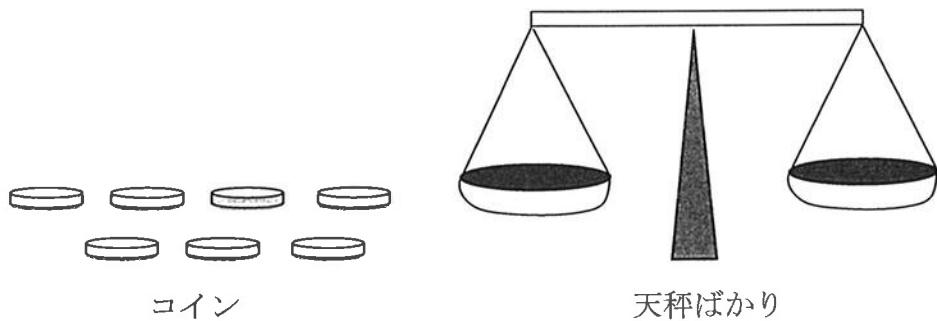


図 4-1

【問題 5】

ある町に日帰りの観光に出かける計画を考える。この町の観光の起点となる駅 Z のまわりには候補となる観光地が A～E の 5 か所にある。各観光地を訪問することによって得られる満足度ならびに駅 Z と各観光地及び観光地間の移動時間は図 5-1 のとおり与えられている。このとき、満足度の合計が最も大きくなる観光地の巡回経路を全て答えよ。なお、次の 4 つの条件を全て満たすものとする。

- 条件 1) 駅 Z を起点として、6 時間以内に駅 Z に戻ってくる。
- 条件 2) 訪問先の各観光地では 30 分滞在する。
- 条件 3) 訪問先の各観光地は 1 度しか通らない。
- 条件 4) 巡回の途中に駅 Z を通らない。

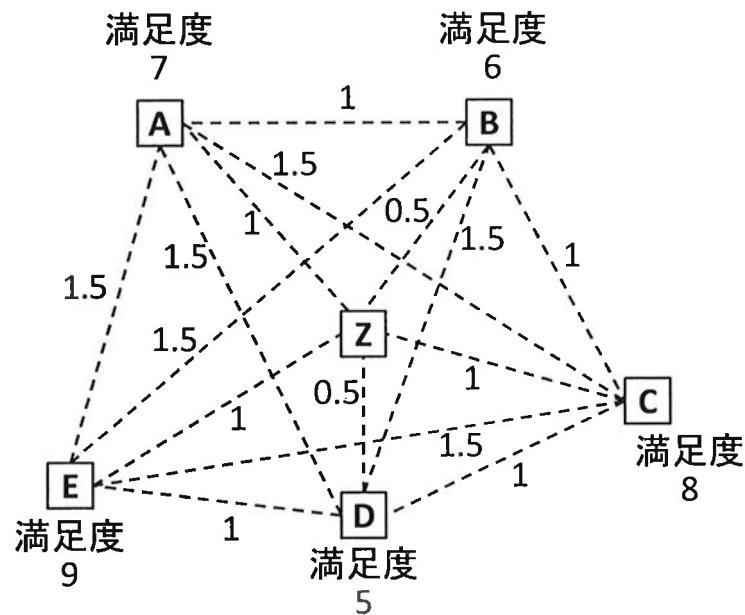


図 5-1 観光地 A～E の満足度の値と地点間の移動時間
各点線の隣には、その間の移動時間（単位：時間）を示す。

【問題6】

向かい合う面の目の数の和が7である同じサイコロが7つあり、図6-1のように、6つのサイコロの上に1つだけサイコロが載っている。サイコロ同士が接する面の目の数の和はそれぞれ偶数になるように並んでいることがわかっている。このとき、以下の①と②の問い合わせに答えよ。

- ① 図6-2は並んでいるサイコロを上から見たときの見え方を示している。1の目が見えるサイコロを矢印方向から見た場合に見える目の数を答えよ。
- ② 互いに接しているすべての面の目の数の合計を答えよ。

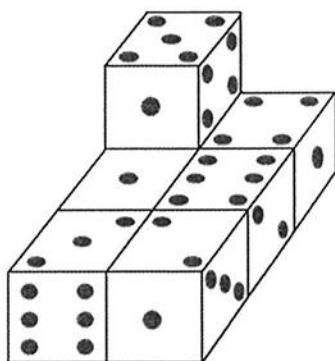


図6-1

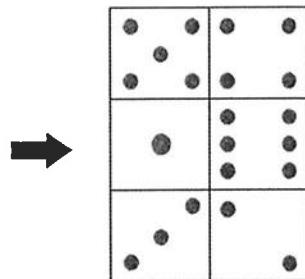


図6-2

【問題 7】

図 7-1 に示す円錐を考える。円錐底面の円の半径は 2cm である。点 O は円周上に位置し、点 P は円の中心を挟んだ点 O の反対の円周上に位置している。円錐の頂点を点 H とし、点 H と点 O を結ぶ線分 HO の長さは 24cm である。また線分 HO の中点を点 M とする。以下の①～③の問い合わせに答えよ。

- ① 図 7-2 は図 7-1 の円錐の展開図である。角度 θ を求めよ。
- ② 図 7-3 に示すように、点 O を出発し円錐の表面に沿って点 M に至る曲線 Γ_1 を考える。曲線 Γ_1 は線分 HP とただ一つの点 A で交わる。曲線 Γ_1 の最短の長さを求めよ。
- ③ 図 7-4 に示すように、点 O を出発し円錐の表面に沿って点 M に至る曲線 Γ_3 を考える。曲線 Γ_3 は線分 HP と異なる 3 点 B, C, D で交わる。曲線 Γ_3 の最短の長さを求めよ。

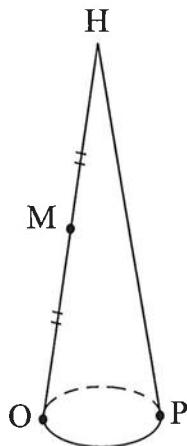


図 7-1

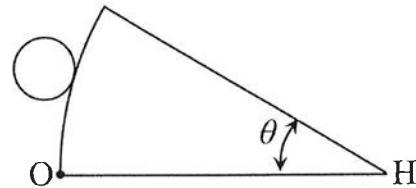


図 7-2

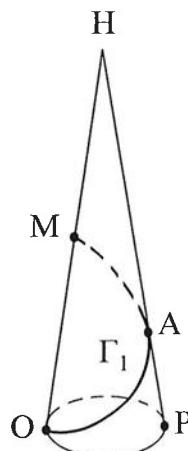


図 7-3

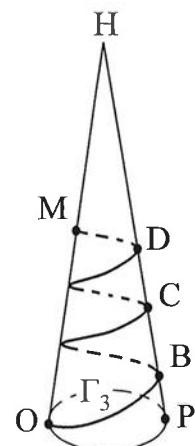


図 7-4

【問題 8】

ある場所で同じ日に採取した 3 種類のキノコ 9 本それぞれについて形状（傘の大きさ、柄の長さ、柄の太さ）を計測したところ、表 8-1 のとおりであった。さらにもう 1 本を追加で採取して計測したところ、傘の大きさ、柄の長さ、柄の太さは、それぞれ 4.5cm、5.0cm、2.5cm であった。追加で採取したキノコの種類はキノコ A、キノコ B、キノコ C のどれである可能性が最も高いか根拠を論理的に示しながら答えよ。ただし、同じ種類のキノコの個体間には、生育日数の違いに応じた寸法の差はあるものの、形状には類似した特徴がある。また、傘の大きさと柄の太さは、それぞれ傘の平面形状と柄の断面を円として近似した時の直径を意味する。

表 8-1 採取したキノコの寸法一覧

個体番号	種類	傘の大きさ(cm)	柄の長さ(cm)	柄の太さ(cm)
1	キノコ A	5.5	5.5	3.0
2		2.5	4.0	1.5
3		3.5	4.5	2.0
4	キノコ B	4.5	6.0	2.5
5		5.5	7.0	3.5
6		5.0	6.5	3.0
7	キノコ C	4.0	4.5	3.0
8		5.0	5.5	3.5
9		3.0	3.5	2.5

筆答専門試験科目（午後）
融合理工学系（問題B）

2020 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）、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。
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は、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、電卓を使用してはならない。
7. 全ての答案用紙、下書き用紙を回収する。

[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. 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。

$$(1) \quad f''(t) + 4f'(t) - 21f(t) = 0, \quad f(0) = 2, f'(0) = 1$$

$$(2) \quad f''(t) + 10f'(t) + 25f(t) = e^{-5t}, \quad f(0) = 0, f'(0) = 2$$

$$(3) \quad f''(t) + f(t) = 2\cos 2t, \quad f(0) = 1, f'(0) = 2$$

2. 以下に示す 3 次元のラプラス方程式を考える。ここで u は、 x, y, z の関数である。

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

(1) ラプラス方程式で記述できる工学や物理現象をひとつあげよ。

(2) a, b, c を定数とするとき、次の式②で定義する関数 u_0 が $(x, y, z) = (a, b, c)$ 以外の点で上記のラプラス方程式①を満たすことを示せ。

$$u_0(x, y, z, a, b, c) = \frac{1}{4\pi} \frac{1}{\sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2}} \quad (2)$$

(3) ここで方程式①の右辺を次の式③のようにデルタ関数を用いた式とする。

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \delta(x-a)\delta(y-b)\delta(z-c) \quad (3)$$

このとき式②で定義した関数 u_0 は、 $(x, y, z) = (a, b, c)$ でも方程式③を満たす。ここで次の 3 次元ボアソン方程式を考える。

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \rho(x, y, z) \quad (4)$$

次の式⑤が方程式④を満たすことを示せ。

$$u(x, y, z) = \frac{1}{4\pi} \iiint \frac{\rho(x', y', z') dx' dy' dz'}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}} \quad (5)$$

[問題 2]

N を正の整数とする。 N 次元実ベクトル空間を R^N で表し、 N 次単位行列を I で表す。また、行列 A の転置行列を A^T で表わす。 N 次正方行列 A の値域とは、集合 $\{Ax \mid x \in R^N\}$ のことである。

このとき、次の問い合わせに答えよ。なお、導出の過程を示すこと。

1. (1) ~ (3) に示す 1 次、2 次、3 次正方行列の逆行列をそれぞれ求めよ。

$$(1) \begin{pmatrix} -2 \end{pmatrix}$$

$$(2) \begin{pmatrix} -2 & 3 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}$$

$$(3) \begin{pmatrix} 2 & 1 & 3 \\ 1 & 2 & 2 \\ -1 & 2 & -1 \end{pmatrix}$$

2. 次の 3 次正方行列が正則であるとき、その逆行列を行列式を使って表せ。

$$\begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{pmatrix}$$

3. 2 つの N 次正方行列 A と X が、 $AXA = A$ を満たしているとする。 A の値域に含まれる任意の N 次元ベクトル y に対して、 $x = Xy$ とおくと、 $Ax = y$ となることを証明せよ。
4. N 次正方行列 P が、 $P^2 = P$ を満たしているならば、 P の値域と $I - P$ の値域の交わりは $\mathbf{0}$ だけであることを証明せよ。
5. N 次正方行列 P が、 $PP^T = P$ を満たしているならば、 P の値域の任意のベクトルと $I - P$ の値域の任意のベクトルは直交することを証明せよ。

[問題 3]

2018 年に、ある道路で 1 日あたりの自動車交通量を 100 日間観測した結果、標本平均 548.62 台、標本標準偏差 73.89 台を得た。毎日の自動車交通量は独立であり、その分布は正規分布に従うと仮定する。下記の問い合わせよ。なお、必要に応じて表 3-1 を使用してよい。また、本問題の標本数は十分多いため、t 分布は標準正規分布に近似できる。

1. 変動係数を求めよ。
2. 母平均の 95%両側信頼区間を求めよ。
3. 母平均の 99%両側信頼区間が 2 で求めた信頼区間に含まれるには、最低何日間の観測日数が必要であるか求めよ。
4. 母平均の 95%両側信頼区間を ±10.00 台の範囲で求めたい場合、最低何日間の観測日数が必要であるか求めよ。
5. この道路の 2017 年以前の 10 年間の 1 日あたりの平均交通量は 533.00 台であった。ここで、2018 年の観測結果が例年通りかどうか検定する。例年通りとは「2017 年以前の 10 年間の平均交通量と 2018 年の観測結果の母平均は、有意に差はない」という仮説である。なお、2018 年の観測結果の母集団の標準偏差は既知として 70.00 台とする。
 - (1) 帰無仮説と対立仮説を示せ。
 - (2) 有意水準 5%で両側検定せよ。
 - (3) 有意水準 1%で両側検定せよ。

表3-1 標準正規分布表の一部

$$P(x < z) = \int_{-\infty}^z f(x) dx \quad f(x) \text{は標準正規分布の確率密度関数}$$

Z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9872	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9950	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986

[問題4]

1. 2. はそれぞれ別の答案用紙に解答せよ。

1. 図4-1のように三角形の断面について、断面一次モーメントと断面二次モーメントを求みたい。以下の問いに答えよ。

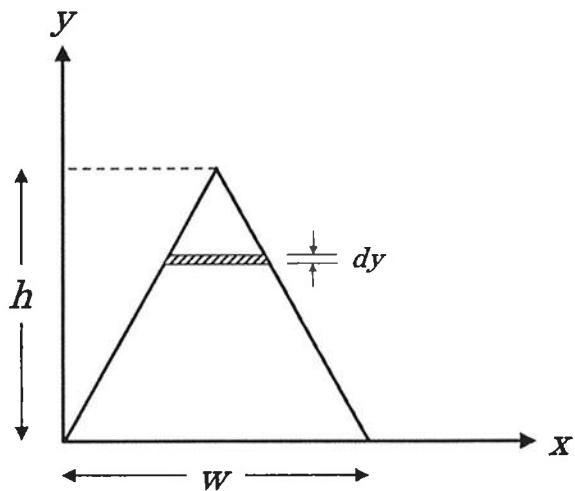


図4-1

- (1) 斜線の範囲で示される面積 dA が微小な高さ dy の長方形で近似できるとき、 dA を三角形の底辺の幅 w 、高さ h 、 dy および x 軸から微小要素までの距離 y を用いて表せ。
- (2) (1)で求めた dA を使って、 x 軸に関する断面一次モーメント G_x を計算せよ。
- (3) x 軸に関する断面二次モーメント I_x を求めよ。

([問題4]は次ページへ続く)

2. 図4-2に示すような2自由度振動系を考える。壁につながれたバネ1（バネ定数 k_1 ）の先にひもを取り付け、滑車（回転自由度を持つ一様な半径 R の円板状剛体であり、質量は M である）を介してバネ2（バネ定数 k_2 ）につながれている。バネ2の先には物体（鉛直並進自由度を持つ質量 m の質点と見なせる）が取り付けられており、物体には重力（重力加速度 g ）が作用している。 x_1 は滑車の回転角に比例した水平座標（=バネ1の先端の座標）、 x_2 は物体の垂直座標（=バネ2の先端の座標）であり、各々、物体が重力とつりあっている状態を座標原点とする。はじめ、バネ1側の壁は固定されているとする。このとき以下の問いに答えよ。（滑車は摩擦無く回転し、ひもと滑車の間は滑りが生じず、バネと滑車は触れることがなく、ひもが緩まない範囲で運動することとせよ。）

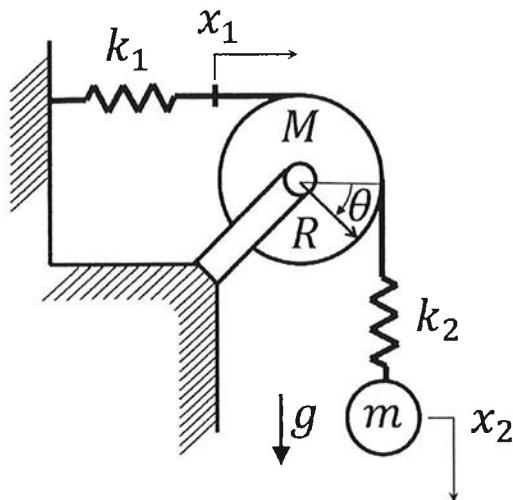


図4-2

(1) 滑車と物体の運動方程式を x_1 と x_2 を使って表わせ。

(2) (1)より、 $k_1 = k_2 = k$, $M = m$ として振動系の固有（角）振動数を求めよ。

([問題4]は次ページへ続く)

次に図4-3に示すようにバネ1側の壁は可動であるとした場合、以下の問い合わせよ。

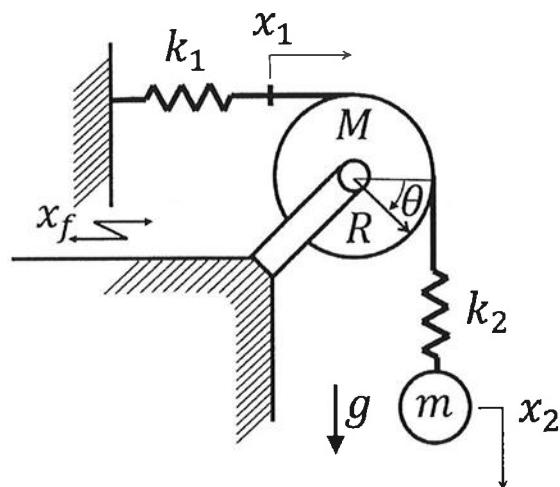


図4-3

- (3) (2)と同様に、 $k_1 = k_2 = k$, $M = m$ として、壁の変位を $x_f = x_0 \sin \omega t$ と与えた場合の滑車および物体の運動を記述せよ（与えた壁の変位の（角）振動数に対しての応答としての振幅を求めよ）。
- (4) (3)と同様に、 $k_1 = k_2 = k$, $M = m$ として、（角）振動数を変化させて応答を確認したところ、ある（角）振動数において滑車の運動が止まっていることが確認された。このときの（角）振動数の値を求めよ。また、そのときの物体の振幅を求めよ。

([問題4]おわり)

[問題 5]

1. 電磁気学に関する以下の問い合わせに答えよ。ただし、単位系はSI単位系を用いるものとする。

- (1) アンペール (Ampère) の法則を微分形、及び、積分形で示せ。ただし、式中に現れる全ての変数および定数の名称を明記すること。
- (2) 図5-1に示すように、答案用紙上に点電荷が2個あるとする。ともに電荷が正である場合、電気力線を実線で、等電位面と答案用紙（平面）との交線を点線で、同じ図面内に点電荷とともに描け。ただし、電気力線、及び、等電位面を表す曲線双方とも各々5本以上書くこと。



図5-1

2. 電磁場中の荷電粒子の運動方程式は、

$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

で与えられる。ここで、 \mathbf{v} は粒子の速度、 m は質量、 q は電荷、 t は時間、 \mathbf{E} 、 \mathbf{B} は粒子に作用する電場、及び、磁束密度である。このとき、以下の問い合わせに答えよ。ただし、単位系はSI単位系を用い、座標系は円柱座標 (r, ϕ, z) を用いよ。 ϕ は z 軸周りの角度、軸からの距離が r である（図5-2）。また、制動輻射や相対論的效果は考えないものとする。

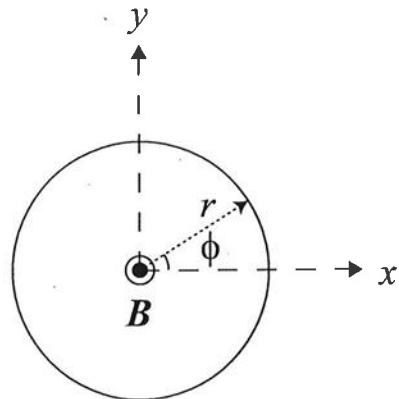


図5-2

- (1) 電場が無く、磁場が一様で定常の場合を考える。磁場の向きを z 方向とし、荷電粒子が z 方向の速度成分を持たない場合、荷電粒子が角周波数 $\omega = qB/m$ の円運動することを示せ。ここで、 $B \equiv |B|$ であり、粒子は静止していないものとする。また、荷電粒子の運動を電流とみなした場合、その電流の作る磁場の向きと元の磁場 B との関係を説明せよ。

（[問題5]は次ページに続く）

- (2) 電場が存在する場合、荷電粒子の運動エネルギー $K = \frac{1}{2}mv^2$ は、

$$\frac{dK}{dt} = q\mathbf{v} \cdot \mathbf{E}$$

に従い変化することを示せ。

- (3) 一様磁場を十分にゆっくり変化させた場合、荷電粒子の円運動の半径 r は 1 周期の間、一定であると考えることができる。このような場合、円運動 1 周期で増加する運動エネルギー ΔK が

$$\Delta K = q\pi r^2 \frac{dB}{dt}$$

であることを示せ。ここで π は円周率であり、電場は磁場の変化による誘導電場のみが存在するものとする。

- (4) 磁気モーメント μ を、

$$\mu \equiv \frac{K}{B}$$

で定義する。荷電粒子が円運動している場合、その 1 周期での磁束密度増加を ΔB とするとき、

$$\Delta K = \mu \Delta B$$

が満足されることを示し、磁気モーメント μ が一定であることを示せ。

- (5) 荷電粒子の円軌道と鎖交する磁束 Φ を電荷 q 、質量 m 、及び、定数と磁気モーメント μ を用いて表せ。また、この関係式を用いて、磁束密度 B が増大した場合、円運動の半径 r が減少することを説明せよ。

([問題 5] おわり)

[問題6]

1.と2.と3.はそれぞれ別の答案用紙に解答せよ。

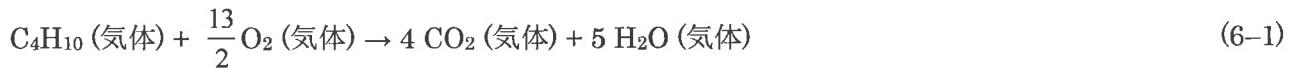
1. 次の文の(ア)~(ウ)を埋めよ。

一般に、ある系が平衡にありそこに存在する成分の数を c 、相の数を p とすると、その系の自由度 f は、ギブズの相律、

$$f = (ア)$$

により表される。水の3重点においては、水蒸気(気相)と液体の水(液相)と氷(固相)が共存しこれらは互いに平衡にあるから、この系の自由度 f は(イ)となる。したがって、水の3重点を与える温度と圧力の組み合わせは(ウ)個であることがわかる。

2. ブタン C_4H_{10} の完全燃焼は、



で表される。以下の問い合わせよ。なお、有効数字を3桁として、導出過程も示せ。ただし、全ての気体を理想気体とする。

- (1) 300 K、20 kPaにおける C_4H_{10} (気体)の完全燃焼の反応エンタルピー [kJ kmol^{-1}] を計算せよ。ただし、このときの C_4H_{10} (気体)、 O_2 (気体)、 CO_2 (気体)、 H_2O (気体)の生成エンタルピーを、それぞれ、 $-1.30 \times 10^5 \text{ kJ kmol}^{-1}$ 、 0 kJ kmol^{-1} 、 $-3.90 \times 10^5 \text{ kJ kmol}^{-1}$ 、 $-2.40 \times 10^5 \text{ kJ kmol}^{-1}$ とする。
- (2) C_4H_{10} (気体) 1.00 kmolが完全燃焼するのに必要な最少の空気の物質量 [kmol] を計算せよ。ただし、空気を酸素 O_2 および窒素 N_2 のみからなる混合物、空気中の O_2 のモル分率を0.200、 N_2 を不活性とする。
- (3) (2)で計算した量の空气中において、初期の温度を300 Kとし、定圧(20 kPa)および断熱で C_4H_{10} (気体) 1.00 kmolを完全燃焼させた後に到達し得る最高温度を計算せよ。ただし、反応エンタルピーを(1)の場合と同じ、空気の組成を(2)の場合と同じ、 N_2 を不活性、燃焼後に存在する全気体の平均の定圧モル熱容量を38.0 $\text{kJ K}^{-1} \text{ kmol}^{-1}$ とする。
- (4) (2)で計算したものよりも大きい物質量の空气中において、初期の温度を300 Kとし、定圧(20 kPa)および断熱で C_4H_{10} (気体) 1.00 kmolを完全燃焼させた後に到達し得る最高温度を1,700 Kとしたい。この場合に必要な空気の物質量 [kmol] を計算せよ。ただし、反応エンタルピーを(1)の場合と同じ、空気の組成を(2)の場合と同じ、 N_2 を不活性、燃焼後に存在する全気体の平均の定圧モル熱容量を35.0 $\text{kJ K}^{-1} \text{ kmol}^{-1}$ とする。

([問題6]は次ページへ続く)

3. 以下の問い合わせよ。

- (1) 下の文の空欄 **[1]** ~ **[7]** に入る適切な元素記号を次の元素記号群から選択し、答案用紙に空欄の番号とともに解答せよ。なお、同じ元素記号を複数回選択しても良い。
元素記号群: Li、Ni、Zn、Ca、Cu、Pt、Mg、H

金属が水溶液中で陽イオンになる傾向をイオン化傾向と呼ぶ。主要な金属をイオン化傾向の大きいものから順に並べると次のように表せる。

K、**[1]**、Na、**[2]**、Al、Fe、**[3]**、Sn、Pb、Hg、Ag、**[4]**、Au

イオン化傾向を使えば、金属の溶解や析出を予測することができる。すなわち、金属イオン溶液にその金属イオンよりイオン化傾向の大きな金属を加えるとイオン化傾向の大きい金属がイオンとなり、イオン化傾向の小さい金属イオンは金属として析出する。銅イオン Cu^{2+} と亜鉛イオン Zn^{2+} を含む弱酸性溶液がある。この溶液に酸化されていない鉄Feを入れた場合には、**[5]**はFeよりもイオン化傾向が大きく、**[6]**はFeよりもイオン化傾向が小さい。したがって、Feの表面には金属となった**[7]**が析出する。

- (2) 現在のウランUの同位体の存在割合を ^{238}U 99.0 %および ^{235}U 1.00 %とする。 ^{238}U および ^{235}U の半減期をそれぞれ45.0億年および7.50億年とすると、22.5億年前における ^{235}U の存在割合は何%か計算せよ。有効数字を2桁として、導出過程も示せ。ただし、 $\sqrt{2}=1.41$ とする。
- (3) 下の文の空欄 **[8]** ~ **[11]** に入る最も適切な用語を次の用語群から選択し、答案用紙に空欄の番号とともに解答せよ。なお、同じ用語を複数回選択しても良い。
用語群: 分配係数、溶解度積、溶解、還元、酸化、 Ag^+ 、 AgI 、 I^- 、 I_2

水溶液中のヨウ素 Iを回収する方法の一つに、銀イオン Ag^+ を含む鉱物を添加する方法がある。これは、水溶液中に**[8]**として溶けているヨウ素と鉱物に含まれる Ag^+ とを反応させて、**[9]**が小さなヨウ化銀 AgI とするものである。しかし、この系に還元剤を添加して還元雰囲気とした場合には、 AgI 中の Ag^+ が**[10]**されて固体の銀Agとして析出するために、ヨウ素が解離し、**[11]**として水溶液中に溶け出す。

[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。

[問題 7-I]

- ある閉鎖性浅水域では、無機栄養塩を吸収することで植物プランクトンが生産され、その一部が枯死して懸濁態有機物であるデトリタスとなり、さらにはこのデトリタスが分解されて無機栄養塩に戻る、一連の栄養塩循環が成立している。なお、図 7-1 にある要素以外の要素（例えば底質の影響や捕食者、移流・拡散など）がこの栄養塩循環に与える影響は無視できるものとする。

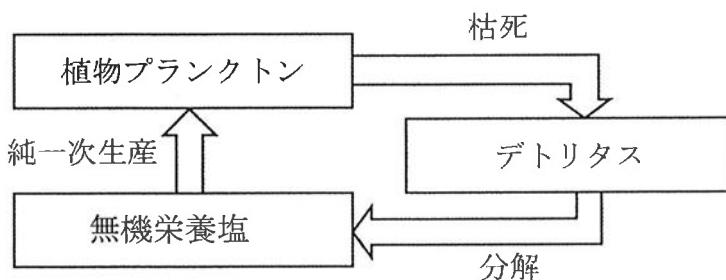


図 7-1 ある閉鎖性水体での栄養塩循環の概念図

この植物プランクトン 1 細胞 (1 cell)あたりの炭素保持量は $212 \text{ pmol C cell}^{-1}$ ($1 \text{ pmol} = 1 \times 10^{-12} \text{ mol}$) である。また、植物プランクトンの体組織やデトリタスの炭素 (C) : 窒素 (N) : リン (P) の元素数の比は $\text{C:N:P} = 106:16:1$ (レッドフィールド比) に従うものとする。この水体の環境条件下では、栄養塩である硝酸 (NO_3^-) もしくはリン酸 (PO_4^{3-}) がこの植物プランクトンの純一次生産の制限要因となっている。一方で、光や水温などの他の環境条件は最適であり、これらが純一次生産の制限要因とはなっていない。このときの純一次生産速度は、栄養塩 (硝酸あるいはリン酸) の取り込み速度の小さい方にのみ律速されるとするリービッヒの最小律に従うものとする。また、この植物プランクトンの 1 細胞あたりの栄養塩 i (i は硝酸あるいはリン酸) の取り込み速度 F_i は、以下のミカエリス・メンテン式に従うものとする。

$$F_i = V_i \frac{N_i}{N_i + K_i} \quad (7-1)$$

ここで、 N_i は栄養塩 i の濃度である。また、 V_i は栄養塩 i の最大取り込み速度、 K_i は栄養塩 i の半飽和濃度であり、硝酸、リン酸それぞれの場合の値を表 7-1 に示す。

表 7-1

記号	説明	値	単位
$V_{\text{NO}_3^-}$	硝酸の最大取り込み速度	3.2	$\text{pmol N cell}^{-1} \text{ d}^{-1}$
$K_{\text{NO}_3^-}$	硝酸の半飽和濃度	0.50	$\mu\text{mol N L}^{-1}$
$V_{\text{PO}_4^{3-}}$	リン酸の最大取り込み速度	0.30	$\text{pmol P cell}^{-1} \text{ d}^{-1}$
$K_{\text{PO}_4^{3-}}$	リン酸の半飽和濃度	0.10	$\mu\text{mol P L}^{-1}$

この水域の水質を分析したところ、水質は均質で、硝酸濃度は $0.50 \mu\text{mol N L}^{-1}$ 、リン酸濃度は $0.20 \mu\text{mol P L}^{-1}$ 、デトリタス濃度は $1.0 \times 10^2 \mu\text{mol C L}^{-1}$ であった。デトリタスの分解速度は、この水域の環境条件下では $1.0 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$ であることが分かっている。また、植物プランクトンのバイオマスあたりの枯死速度 (d^{-1}) が一定であることも分かっている。植物プランクトンのバイオマスおよびデトリタスや栄養塩の濃度が定常状態にあるとき、以下の問い合わせに答えよ。なお、有効数字は2桁とし、答案用紙に導出過程も記述すること。

- (1) 純一次生産を律速している栄養塩は、硝酸、リン酸のうちどちらであるかを理由とともに答えよ。
 - (2) 炭素で換算した植物プランクトン 1 細胞あたりの純一次生産速度 ($\mu\text{mol C cell}^{-1} \text{ d}^{-1}$) を求めよ。
 - (3) 植物プランクトンのバイオマス $\mu\text{mol C L}^{-1}$ および枯死速度 (d^{-1}) をそれぞれ求めよ。
 - (4) 植物プランクトンのバイオマスとして蓄えられている炭素の平均滞留時間 (d) を求めよ。
2. 実際の海洋では、表層付近の海水が暖められることで海水密度の成層化が起こるため、海水の上下混合が起こりにくくなる。また、植物プランクトンが枯死しデトリタスとなると細胞内の油分やガスが抜けて海底へと沈降する。これらの現象と関連し、一般に、植物プランクトンの純一次生産速度は、海洋表層域ではなく、少し深い水深帯で最大となることが多い。この理由を説明せよ。

[問題 7-II]

次の文を読んで、以下の設間に答えよ。必要に応じて、本問 3 ページ目の表 7-2 を用いよ。

網膜芽細胞腫は、主に乳幼児で眼の網膜に発生する悪性腫瘍（がん）で、*RB1* 遺伝子の異常によって生じる。図 7-2 に *RB1* 遺伝子の cDNA の塩基配列の一部を示す。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、終止コドンに向かって、順に 2 番、3 番、…とする。数えやすくするために、10 塩基ごとに空白を挿入している。また、①アミノ酸の番号は、開始コドンに当たるメチオニンを 1 番として、カルボキシル末端に向かって順に 2 番、3 番、…とする。なお、*RB1* 遺伝子の cDNA では、図 7-2 の 2771 番目から 2800 番目以外の部分において終止コドンは存在しない。

1 番目から 30 番目 ②ATGCCGCCCA AAACCCCCCG AAAAACGGCC
941 番目から 1000 番目 TTGAAAATCT TTCTAAACGA TACGAAGAAA
TTTATCTTAA AAATAAAGAT CTAGATGCAA
1976 番目から 1985 番目 ATCTCCGGCT
2771 番目から 2800 番目 ACAAGAAAGA GAAATGAGGA TCTCAGGACC

図 7-2 ヒト正常 *RB1* 遺伝子の cDNA の塩基配列の一部

RB1 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、5 番目のアミノ酸は [1]、カルボキシル末端に位置するアミノ酸は [2] である。

網膜芽細胞腫の患者に見られる変異の一つの例として、*RB1* 遺伝子の cDNA の 1981 番目の C が T に置き換わったものがある。正常 *RB1* 遺伝子から作られるタンパク質では [イ] 番目のアミノ酸は [3] であるが、この変異 *RB1* 遺伝子から作られるタンパク質の [イ] 番目のアミノ酸は [4] に置き換わっている。

別の変異の例として、*RB1* 遺伝子の cDNA の 948 番目から 951 番目までの TCTT の 4 個の塩基が欠失したものがある。この変異 *RB1* 遺伝子から作られるタンパク質のアミノ酸配列は、[ウ] 番目までは正常 *RB1* 遺伝子から作られるものと同一であるが、それ以降はアミノ酸配列が全く異なり、開始コドンに当たるメチオニンを含めて [エ] 個のアミノ酸から構成される。

([問題 7-I] は次ページへ続く)

RB1 遺伝子から作られるタンパク質 (*Rb* タンパク質) は③細胞周期の G1 期から S 期への進行を抑制しており、*Rb* タンパク質の④特定のセリンおよびトレオニンがサイクリン依存性キナーゼによるリン酸化を受け、不活性化されることによって S 期への進行が促進される。

RB1 遺伝子は 13 番染色体上に存在し、1 対の *RB1* 遺伝子の両方の機能が失われるとがんを発症する。網膜芽細胞腫には、家族に同じ病気の患者が存在する家族性（遺伝性）のものと、家族に同じ病気の患者が存在しない散発性（非遺伝性）のものがある。家族性の場合、患者はもともと 1 対の *RB1* 遺伝子の一方に変異を持っている。また、網膜芽細胞腫には、両眼で生じるもの（両眼性）と一方の眼のみで生じるもの（片眼性）がある。⑤両眼性のものはほぼ全てが家族性であり、散発性のものはほぼ全てが片眼性である。また、⑥両眼性のものは片眼性に比べて発症時期が早い傾向が見られる。

(1) 下線部①について、

- (i) 生体内のタンパク質を構成するアミノ酸（プロリンを除く）の構造式を示せ。なお、側鎖は R で表すこととし、立体異性体は識別しなくてよい。
- (ii) 生体内のタンパク質を構成するアミノ酸の中で、側鎖が H (水素原子) であるものの名称を記せ。

(2) 図 7-2 中の下線部②の配列 ATGCCGCCCA の相補鎖の塩基配列を 5'から 3'方向に記せ。

(3) 空欄 ア ~ エ に入る適切な数を、簡潔な説明を付して答えよ。

(4) 空欄 1 ~ 4 に入る適切なアミノ酸名を答えよ。

(5) 下線部③について、

- (i) S 期とはどのようなことが行われる時期か答えよ。
- (ii) *Rb* タンパク質のこの機能とがんとにどのような関係があるか簡潔に述べよ。

(6) 下線部④について、

- (i) セリンおよびトレオニンの側鎖の構造式を示せ。なお、立体異性体は識別しなくてよい。必要があれば、以下の事実を参考にせよ。

「セリンおよびトレオニンはいずれも側鎖は水素、炭素、酸素のみで構成され、それぞれ 1 個の水酸基を持つ。セリンの側鎖の炭素数は 1、トレオニンの側鎖の炭素数は 2 である。トレオニンは全体として 2 個の不斉炭素原子を持つ。」

- (ii) リン酸の分子式は H_3PO_4 で表される。リン酸の構造式を価標を用いて示せ。

(7) 下線部⑤、⑥の理由について、考えられることを述べよ。

([問題 7-1] は次ページへ続く)

表 7-2 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	
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		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. 核分裂性物質を含んだ無限に広がる均質な物質中に、無限に広い中性子源が $x = 0$ 面にあり、単位時間単位面積当たり S 個の中性子を等方的に放出している。1群拡散理論を用いて $x > 0$ の領域での中性子束 $\phi(x)$ を求めよ。但し、物質のマクロ核分裂断面積を Σ_f 、マクロ吸収断面積を Σ_a 、マクロ散乱断面積を Σ_s 、1回の核分裂で発生する平均の中性子数を v 、中性子拡散係数を D とし、 $v\Sigma_f < \Sigma_a$ であるとせよ。導出の過程も記述すること。
2. シンチレーションサーベイメーターの原理と用途について簡潔に説明せよ。
3. 放射線の人体に対する影響には、確定的影響と確率的影響がある。それぞれの影響について簡潔に説明せよ。
4. 原子力工学で用いられる下記の用語について簡潔に説明せよ。
 - (1) 濃縮ウラン
 - (2) 高速炉
 - (3) 決定論的安全評価手法
 - (4) シーベルト