注）引用部分は著作権法に従って一部削除しています。

筆答専門試験科目（午前）　　2023　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]

次の文章を読み、問 1 から問 4 の解答を、答案用紙の所定の欄に記入せよ。

コロナ禍において社会全体で急速なデジタル化が進められていたが、それに伴い、デジタル社会(下線1)を実現するためには、様々な側面において課題があることが顕在化した。これらの課題は従来からあったものが多いが、コロナ禍において、社会全体がデジタル活用を行ったことにより、より問題が顕在化した、又は、深刻化したものである。

総務省が実施した調査においても、デジタル化が進まない理由としては、「情報セキュリティ」、「リテラシー」、「利活用が不十分」、「通信インフラが不十分」及び「端末が十分に行き渡っていない」といった点が挙げられている。これらの課題を解決しなければ、コロナ禍で経験したデジタル化に対して否定的な意見を持つ人が増え、デジタル化が定着しないおそれがあるため、これらの課題解決は益々(ますます)重要となっている。

新型コロナウイルス感染症の流行により、急速かつ強制的に社会全体のデジタル化が進展し(下線 2)、テレワークやオンライン授業など、従来利活用が十分に進んでいなかった分野でもデジタル化が進んでいる。それに伴い、デジタルに慣れていない利用者が増えるとともに、インターネットに接続される機器・アプリケーションなどが増え、システム構成や利用形態が多様化している。また、標的型攻撃等の高度な攻撃が増え、従来型のセキュリティ対策では十分対応できない状況が発生している。このような変化に伴い、セキュリティリスクに対応することが益々(ますます)重要となっている。

(途中略)

デジタル社会では、日常生活における様々なデータを収集し、活用することになる。データを最大限活用することがデジタル社会の効用を最大限発揮することとなるが、そのデータには、健康情報などのパーソナルデータが含まれることとなる。今回のコロナ禍では、世界的な健康に対する脅威への対応として、世界各国でスマートフォンを活用した市民の行動履歴や接触者履歴等のデータの収集と分析が行われ、さらなる感染拡大防止のための予防や注意喚起を行うことを可能とした。一方で、こうした公衆衛生の観点からのユーザの位置情報や行動履歴の取得に関する議論においては、パーソナルデータ利用における(　　A　　)と(　　B　　)との間のバランスの問題(下線 3)が浮き彫りとなった。

このうち個人が所在する場所を示す位置情報は、場合によっては個人の趣味嗜好、さらには思想信条まで推測することを可能とするものであり、また、当該情報を一定期間継続して取得することで、個人の行動状況を把握することも可能となる。特に GPS 測位に関する位置情報(下線 4)は、携帯電話基地局を利用した位置情報よりもより詳細な所在地を示すものであることから、その取得によりさらに容易で詳細な把握が可能となる。

これらのデータを活用することは、コロナ禍のような緊急時だけでなく、平常時においても生活の利便性は大きく向上する一方、プライバシーや個人情報保護とのバランスを考える必要があり、今後も多くの議論がなされていく必要があるであろう。

(出典:令和3年版　情報通信白書、一部表現を改変、
https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r03/pdf/n2400000.pdf)

問 1） 下線（1）に関して、「デジタル社会」とはどのような社会を意味するのか、自身の理解に基づき、また、以下より3つのキーワードを選択して、句読点を含めて 100 字～200 字程度でその定義を記述せよ。その際、選択したキーワードに下線を引くこと。英語で解答する場合は、50 ワード～100 ワード程度で記述し、選択したキーワードを英訳の上、下線を引くこと。

キーワード：情報、アクセス、公共の福祉、利便性、プライバシー

問 2） 下線（2）に関して、「新型コロナウイルス感染症の流行により、急速かつ強制的に社会全体のデジタル化が進展し」とある。急速かつ強制的なデジタル化は社会におけるさまざまな格差に対してどのような影響を与えると考えるか、自身の意見を理由とともに 300 字～400 字程度で記述せよ。英語で解答する場合は、150 ワード～200 ワード程度で記述せよ。

問 3） 下線（3）に関して、空欄（A）と（B）に入る語句の組み合わせとして最も適切なものを、以下の①～④から選べ。

① ｛公共の福祉，プライバシー等の個人の人権｝
② ｛利便性，データの有効性｝
③ ｛情報の正確さ，データおよび情報の使いやすさ｝
④ ｛守備範囲，データへのアクセシビリティー｝

問 4） 下線（4）に関して、GPS 測位に関する位置情報を提供する技術や製品は、広く社会において利用されており、社会に大きな恩恵をもたらしている。例えば、GPS が提供する位置情報の精度向上により、カー・ナビゲーションシステムを備えている自動車やトラックは、目的地にたどり着くことが容易となり、同システムを利用しない場合と比較して、燃料消費量の削減に貢献していると想定される。一方で、GPS による位置情報が悪用される懸念がある。例えば、警視庁はスマートフォンに備わっている GPS 情報に関して、以下のような注意を促している。

（この部分の記載を著作権の関係により削除）

(出典：警視庁ホームページ、
https://www.keishicho.metro.tokyo.lg.jp/kurashi/cyber/security/cyber414.html)

上記の GPS の事例を踏まえ、あなたが関心を持つ **GPS 以外の現代社会の技術や製品**を一つ挙げ、①その技術や製品が社会に与える好影響、②その技術や製品が社会に与える悪影響、③前述の懸念される悪影響を予防するために必要な方策について、着目した技術や製品を明示し、①、②、③に対する解答が明確にわかるように、自身の意見を 400 字程度で記述せよ。英語で解答する場合は、200 ワード程度で記述せよ。
（注：GPS: Global Positioning System の略）

筆答専門試験科目（午後）　2023 大修
融合理工学系

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。両方に解答した場合は採点されません。
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）　2023 大修
融合理工学系（問題Ａ）

時間　１３：００～１５：００

注　意　事　項

１．［問題１］～［問題７］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］

両親と３兄弟の５人家族がいる。両親の年齢の和は、現在は３兄弟の年齢の和の４倍であるが、１３年後には３兄弟の年齢の和の２倍になる。また、２年前には父親と三男の年齢の和が、母親、長男、次男の年齢の和と等しかったとすると、現在の母親、長男、次男の年齢の合計はいくつになるか求めよ。

［問題２］

図 2-1 を見て、以下の①と②の問いに答えよ。ただし図 2-1 は中心を O とする、直径が $a+b$（$0<a\leq b$）の半円である。

① a, b を用いて、OC, AB, AC, BH の線分の長さを求めよ。

② OC, AB, AC, BH の線分の大小関係を不等式を用いて説明せよ。その際、一般式 $(x-y)^2\geq 0$ より $x^2+y^2\geq 2xy$ の x, y に、a, b を用いた適切な代入を行うことで示せ。

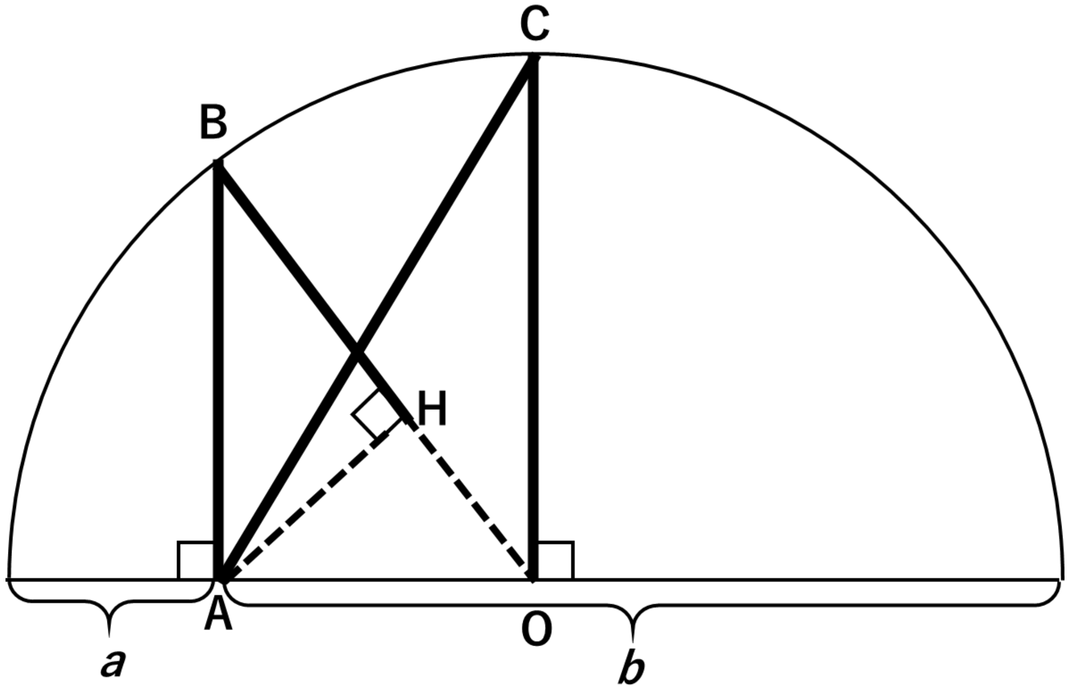


図 2-1

［問題３］

新たに商品 A の製造が工場で開始される。以降、製造を開始する日を 1 日目とする。毎日、工場では以下ア）～ウ）の作業を順番に行う。以下の①～③の問いに答えよ。なお、イ）の作業において、倉庫にあった商品の総数に対する実際に出荷された商品の個数の割合を出荷率と定義する。また、1 日目の製造開始時には倉庫に商品 A はひとつもなかったとする。

ア）朝方、商品 A を 4,000 個新たに製造し、倉庫に運び保管する。
イ）お昼ごろ、倉庫にある商品 A から無作為に 3,000 個選び、倉庫から外へ運び出し、出荷する。
ウ）夕方、倉庫にある商品 A のうち、前日に製造された全ての商品を倉庫から外へ運び出し、廃棄する。

① 1 日目に製造された商品 A のうち、出荷されず廃棄される個数の期待値 N を答えよ。
② D 日目の出荷率を W_D とする。$(D+1)$日目の出荷率 W_{D+1} を W_D を用いて表せ。
③ 工場が製造と出荷を毎日休まず続けると、出荷率の期待値は一定の値となる。その値を求めよ。

［問題４］

図 4-1 のような、同じ長さの棒 57 本で構成された図形がある。今、この図形から何本かの棒を取り除いて棒上を一筆書きするとき、取り除く棒の最小の本数を答えよ。また取り除いた後の図形を描け。

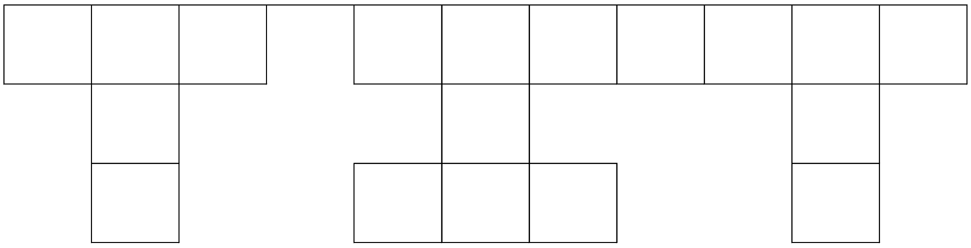


図 4-1

［問題５］

じゃんけんは、その手が「グー」、「チョキ」、「パー」の３つである。「グー」は「チョキ」に勝って「パー」に負け、「チョキ」は「パー」に勝って「グー」に負け、「パー」は「グー」に勝って「チョキ」に負ける。

「グー」、「チョキ」、「パー」の勝ち負けはそのままに、新たな手「ポン」と「ショー」を加えることとした。この新たなルールで２人がじゃんけんをするとき、以下の①と②の問いに答えよ。

① すべての手（グー、チョキ、パー、ポン、ショー）の強さが等しくなるよう、「ポン」と「ショー」の他の手に対する強さ（勝ち、もしくは負け）を答えよ。ただし、「ポン」は「ショー」に勝って「グー」に負け、「ショー」は「チョキ」に勝って「ポン」に負けるとする。

② すべての手（グー、チョキ、パー、ポン、ショー）から２手のみ選び、選んだ手のどちらかを出して１回じゃんけんをする。相手が「ポン」もしくは「チョキ」を必ず選んでいると想定したとき、勝つか引き分ける確率が最も高くなる手の選び方をすべて答えよ。

［問題６］

全ての辺が直線の多角形に以下の操作を繰り返し実施し、異なる多角形へ変形させる。

操作 : 多角形の全ての辺について辺を三等分し（ 図 6-1(b) ）、等分された中央の線分を一辺として多角形に外接する正三角形を作成し（ 図 6-1(c) ）、それら外周に沿った線分群を多角形の新たな辺とする（ 図 6-1(d) ）。

最初多角形は正三角形であったとして以下の①～③の問いに答えよ。なお、必要であれば表 6- 1 の整数の累乗の値を使用せよ。

① 操作を 2 回行った後の多角形を図に描け。
② 操作を 3 回行った後の多角形の辺の数を求めよ。
③ 変形させる前の正三角形の面積は 2.187 であった。操作を 4 回行った後の多角形の面積を求めよ。

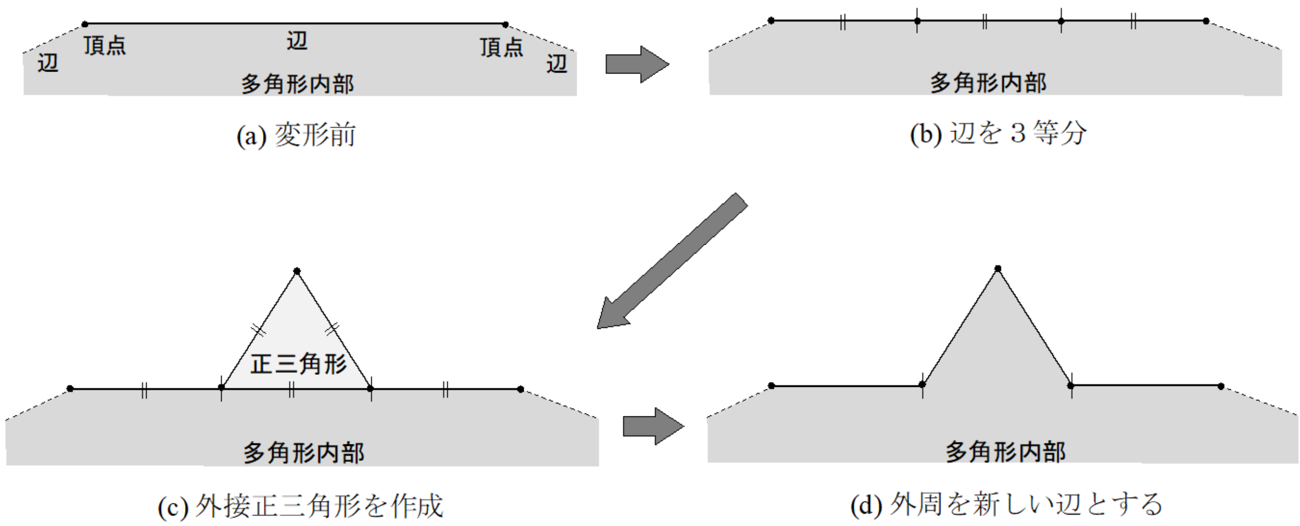


図 6-1

表 6-1　整数 x の累乗

	$x=2$	$x=3$	$x=4$	$x=5$	$x=6$	$x=7$	$x=8$	$x=9$
2乗(x^2)	4	9	16	25	36	49	64	81
3乗(x^3)	8	27	64	125	216	343	512	729
4乗(x^4)	16	81	256	625	1296	2401	4096	6561
5乗(x^5)	32	243	1024	3125	7776	16807	32768	59049

［問題７］

以下の①と②の問いに答えよ。

① $\frac{1}{7}$ の小数第 50 位の数字を答えよ。

② $\frac{48}{287}$ の小数第 200 位、201 位、202 位の数字をそれぞれ答えよ。

筆答専門試験科目（午後）　2023 大修
融合理工学系（問題Ｂ）

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．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。

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。

４．コンパス、電卓、定規を使用してはならない。

５．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。

⑴ $f''(t) - 5f'(t) + 6f(t) = 0, \qquad f(0) = 1, f'(0) = 2$

⑵ $f''(t) + 5f'(t) - 6f(t) = 7e^{t}, \qquad f(0) = 0, f'(0) = 2$

⑶ $f''(t) + 4f'(t) + 4f(t) = 4\sin 2t\,, \qquad f(0) = 0, f'(0) = 1$

2. 関数 $f(x)$のフーリエ変換は

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\, e^{-i\omega x} dx$$

で表される。ωは変換後の独立変数、i は虚数単位（$i^2 = -1$）である。その逆変換は

$$f(x) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)\, e^{i\omega x} d\omega$$

と表される。以下の問いに答えよ。ただし、いずれも答えは虚数単位（$\sqrt{-1}$などの書き方を含む）を含まない形で答えること。なお、a は実数の定数を表す。

(1) 以下の関数 $f(x)$のフーリエ変換 $F(\omega)$を求めよ。

$$f(x) = \frac{1}{2a} \quad \text{for} \quad |x| \le a, \qquad f(x) = 0 \quad \text{for} \quad |x| > a$$

⑵ 以下の関数 $f(x)$のフーリエ変換 $F(\omega)$を求めよ。

$$f(x) = e^{-ax} \quad \text{for} \quad x > 0, \qquad f(x) = e^{ax} \quad \text{for} \quad x < 0$$

⑶ $F(\omega) = \frac{\sin(\omega)}{\omega}$の逆フーリエ逆変換$f(x)$を求めよ。答えは積分記号を含んだままでよい。

⑷ 以上の結果を適宜利用することにより、次の定積分の値を求めよ。

$$\int_{0}^{\infty} \frac{\sin(x)}{x} dx$$

［問題２］

1.　次の各問に答えよ。

(1) 次の行列式を因数分解せよ。

$$\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ a & a^2 & a^3 & a^4 \\ b & b^2 & b^3 & b^4 \\ c & c^2 & c^3 & c^4 \end{vmatrix}$$

(2) 次の行列 A が正則として逆行列 A^{-1}を求めよ。

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 8 & 3 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & -2 \\ 2 & -1 & 3 & 3 \\ -1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

(3) 次の行列 B の n 乗 B^nを求めよ。

$$B = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

2.　次の各問に答えよ。

(1) C、D、F を n次正方行列とし、それぞれの行列式を$|C|$、$|D|$、$|F|$で表す。E は単位行列、O は零行列である。次の行列式(a)から(d)を、$|C|$、$|D|$、$|F|$および n のうち必要なものを用いて表せ。

(a) $\begin{vmatrix} C & D \\ O & E \end{vmatrix}$ (b) $\begin{vmatrix} E & C \\ O & D \end{vmatrix}$ (c) $\begin{vmatrix} C & D \\ O & F \end{vmatrix}$ (d) $\begin{vmatrix} C & D \\ F & O \end{vmatrix}$

(2) P、Q を３次正方行列とするとき、$|PQ| = |P||Q|$となることを示せ。

3．$X = \begin{bmatrix} w & x \\ y & z \end{bmatrix}$、$E = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ とするとき、次の問に答えよ。

(1) 次の式の空欄$\boxed{\text{ア}}$、$\boxed{\text{イ}}$にあてはまる数または数式を答えよ。

$$X^2 + \boxed{\text{ア}}\, X + \boxed{\text{イ}}\, E = O$$

(2) $Y = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ -7 & -3 \end{bmatrix}$ とするとき、Y^{20} を計算せよ。

(3) $Z^2 = \begin{bmatrix} 6 & -2 \\ -4 & 2 \end{bmatrix}$ を満たすとき、行列 Z を求めよ。

［問題 3］

1. ある都市では、都心の中央駅と空港を結ぶ直通列車が等間隔で運行されている。空港方面に向かう乗客が中央駅の直通列車のホームに到着する過程はポアソン過程であり、1 分あたり平均 3.0 人の乗客が到着する。直通列車の定員を 150 人とし、定員を超えた場合も乗客は立席でその列車に乗車することとする。次の問いに答えよ。必要に応じて表 3-1 を使用してよい。

(1) ある 1 列車において、定員を超過する確率を 5%未満とする条件を、運行間隔を t 分、乗客数を x 人として、ポアソン分布を用いて数式で示せ。

(2) 各列車の乗客数が正規分布に従い、その平均値と標準偏差が、それぞれ上記のポアソン分布から得られるものと等しいと仮定する。定員を超過する確率を 5%未満とするには、直通列車を最長で何分間隔で発車させる必要があるか。その近似解を分単位で求めよ。

(3) 定員を超過する確率を 5%としたとき、連続して発車する 3 列車のうち 1 列車だけが定員を超える確率を求めよ。また、連続して発車する 3 列車のうち、少なくとも 1 列車が定員を超える確率を求めよ。共に有効数字 4 桁で答えよ。なお、各列車の発車は独立と仮定する。

2. 相関分析と回帰分析について、それぞれ定義を示し、さらに具体的な事例を用いて説明せよ。

表 3-1　標準正規分布表の一部

$\mathrm{P}(x < z) = \int_{-\infty}^{z} f(x)\,dx$　$f(x)$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	.9951	.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］

<u>1.と 2.はそれぞれ別の答案用紙に解答せよ。</u>

1. 図 4-1 に示すように、質量 m のおもりを長さ L の棒の先端に固定した振り子がある。棒のもう一端は原点 O に固定されている。棒は原点 O を中心にして自由に回転できる。棒の回転角は x 軸から反時計回り方向に θ とする。おもりは質点とみなし、棒の質量は無視し、空気抵抗も無視する。重力は x 軸方向に働き、重力加速度を g とする。この振り子の運動は「質点の運動」として扱うことも、「剛体の回転運動」として扱うこともできる。以下の問に答えながら２つの方法で振り子の運動を記述する微分方程式を導出せよ。

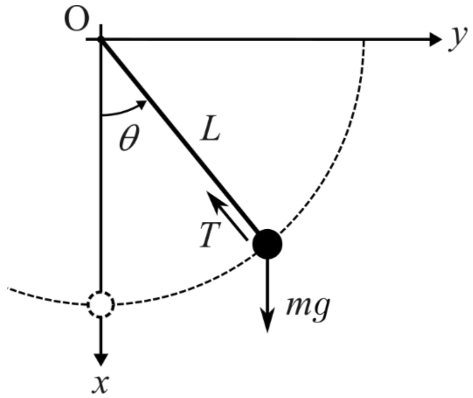


図 4-1　棒とおもりからなる振り子

まず、「質点の運動」として扱おう。おもりの座標を (x,y) とし、おもりに働く力を (f_x,f_y) とすれば、質点の運動方程式 $f_x=m\ddot{x}$ および $f_y=m\ddot{y}$ により運動を記述することができる。ここで $\ddot{x}$ および $\ddot{y}$ は、それぞれ x および y の時間に関する 2 階微分とする。

(1) おもりの座標 (x,y) を L および θ の関数として表せ。

(2) 棒が質点を引く力を T とする。質点に働く力 (f_x,f_y) を T と図中の記号の関数として表せ。

(3) 2 つの運動方程式より T を消去して、θ に関する微分方程式を導出せよ。

つぎに、「剛体の回転運動」として扱おう。棒とおもりを 1 つの剛体とみなす。剛体の慣性モーメントを I とし、剛体に働く力のモーメント（トルク）を N とすれば、回転の運動方程式 $N=I\ddot{\theta}$ より運動を記述することができる。

(4) 棒とおもりからなる剛体の原点周りの慣性モーメント I を図中の記号の関数として表せ。

(5) 棒とおもりからなる剛体に働く力のモーメント（トルク）N を図中の記号の関数として表せ。

(6) 回転の運動方程式より、θ に関する微分方程式を導出せよ。

(［問題４］は次ページへ続く)

2.　図 4-2 に示すように、長さ l の柱の軸方向に力 N 、水平方向に力 P が柱の端部に作用している。変形が弾性範囲内で生じるとき、以下の問いに答えよ。柱は鉛直に立ち、水平な床に固定されている。また、変形は微小で、座屈は生じないと仮定する。

(1) 柱は正方形断面で一辺の長さを a とするとき、柱に生じる圧縮応力の最大値を求めよ。

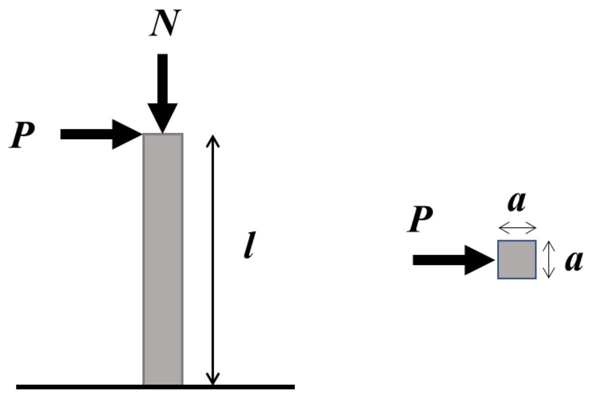


図4-2　柱の側面図（左），上面図（右）

(2) つぎに、柱は円形断面でその直径が a のとき、柱に生じる圧縮応力の最大値は正方形断面のときに比べて大きくなるか、小さくなるか、同じか、式を用いて答えよ。

（[問題 4] 終わり）

［問題 5］

1. 静止物体中の Maxwell 方程式に関する以下の説明文を、ア〜コの空欄を適切な数式や数値、語句で埋めて完成せよ。単位系には MKSA 単位系を用い、数値は有効数字 1 桁で求めること。また、必要に応じて $\sqrt{3} \fallingdotseq 1.73$, $\sqrt{5} \fallingdotseq 2.24$ を用いよ。

「静止物体中の Maxwell 方程式は、

$$\mathrm{rot}\,\boldsymbol{E} = \boxed{\text{ア}} \tag{5–1}$$

$$\boxed{\text{イ}} = 0 \tag{5–2}$$

$$\mathrm{rot}\,\boldsymbol{H} = \boldsymbol{j}_\mathrm{e} + \boxed{\text{ウ}} \tag{5–3}$$

$$\boxed{\text{エ}} = \rho_\mathrm{e} \tag{5–4}$$

とかかれる。ここで、$\boldsymbol{E}$ は電場、$\boldsymbol{B}$ は磁束密度、ρ_e は真電荷密度、$\boldsymbol{j}_\mathrm{e}$ は伝導電流密度である。また、$\boldsymbol{D}$ は $\boxed{\text{オ}}$、$\boldsymbol{H}$ は磁場の強さといい、それぞれ次のように定義される。

$$\boldsymbol{D} \equiv \epsilon_0 \boldsymbol{E} + \boldsymbol{P} \qquad \boldsymbol{H} \equiv \frac{1}{\mu_0}\boldsymbol{B} - \boldsymbol{M} \tag{5–5}$$

ここで、ϵ_0 および μ_0 はそれぞれ真空の誘電率および透磁率、$\boldsymbol{P}$ は $\boxed{\text{カ}}$ ベクトル、$\boldsymbol{M}$ は $\boxed{\text{キ}}$ ベクトルである。一般に、式 (5–1)〜(5–5) において $\boldsymbol{E}$ と $\boldsymbol{B}$ の組と $\boldsymbol{D}$ と $\boldsymbol{H}$ の組は独立な物理量であるが、強誘電体や強磁性体などを除く通常の物質については、多くの場合、式 (5–5) はその物質の誘電率 ϵ および透磁率 μ を用いて $\boldsymbol{D} = \boxed{\text{ク}}$, $\boldsymbol{H} = \boxed{\text{ケ}}$ とかける。同軸ケーブルの絶縁体に用いられるポリエチレンの比誘電率は約 2.4 であり、このことから同軸ケーブルを伝わる電気信号の速さは光速の約 $\boxed{\text{コ}}$ 倍になる。」

2. 半径 r の円環状ソレノイドコイルを考える。コイルは空芯で断面積は一定であり、空間に固定されている。また、外部から加えられた電場や磁場は無視できる。以下の問いに答えよ。なお、解答にあたっては導出過程を明記すること。

(1) 図 5–1 のように円環状ソレノイドコイルの内側を貫く導線に電流 I を流す。このとき、コイルの中心を貫く円 C_0（図中の点線）上で接線方向に発生する磁束密度 B を求めよ。ただし、変位電流は無視できるものとする。また、導線は円環状ソレノイドの中心を円 C_0 を含む平面に対して垂直に貫き、その長さは無限大であるとせよ。

(2) ソレノイドコイルの断面積を S、全巻数を N とするとき、コイルを貫く全鎖交磁束 Φ を求めよ。また、そのときコイル両端に発生する電圧 V_1 を求めよ。ただし、磁束密度 B はコイル断面において一様であると仮定せよ。

(3) 電流 I が時間 t とともに図 5–2 のように変化するとき、V_1 の波形を図示せよ。なお、作図にあたっては、波形の高さや幅がわかるように縦軸（電圧）および横軸（時間）に適宜、数式を記入すること。

(4) 円環状ソレノイドコイルを貫く電流 I の波形を直接測定するために、図 5–3 の等価回路に示すようにコイル両端に積分回路を接続する。コイルのインダクタンスを L、積分回路の抵抗と静電容量をそれぞれ R, C とするとき、回路を流れる電流 i についての微分方程式をかけ。ただし、コンデンサの初期電荷は 0 とせよ。

(5) $L\omega \ll R$, $\tau \ll RC$ の条件が成り立つとき、図 5–3 の電圧 V_2 と円環状ソレノイドコイルを貫く電流 I の関係式を求めよ。ここで、ω はパルス電流を構成する周波数成分のうち最も高いもの、τ はパルス電流の時間幅である。

(6) 円環状ソレノイドコイルはロゴスキーコイルとも呼ばれ、パルス電流計測によく用いられる。実際のロゴスキーコイルでは、図 5–4 に示すようにコイルの巻線を端で折り返し、コイルの内部を通して戻すことで、円環を貫く磁場（ノイズ）の影響を取り除き、パルス電流由来の信号だけを検出できるようにする。これが可能となる理由を説明せよ。

（［問題 5］は次ページへ続く）

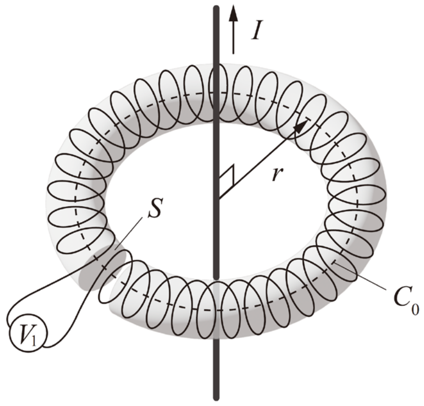


図 5–1

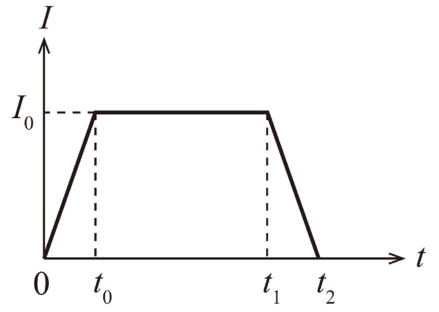


図 5–2

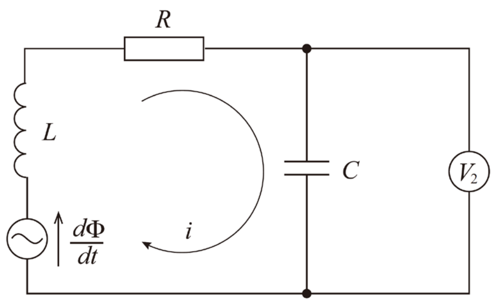


図 5–3

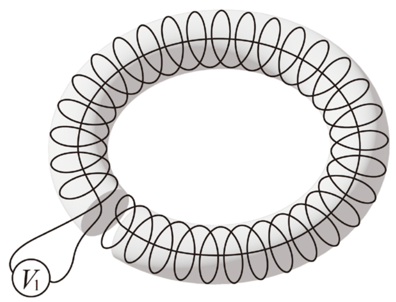


図 5–4

（［問題５］終わり）

［問題6］

1.と2.はそれぞれ別の答案用紙に解答せよ。

1. ギブズの相律に関する下記の文章の空欄 (ア) ～ (セ) 、および (タ) をそれぞれ適切な数式、記号、数値、などで埋め、 (ソ) および (チ) にそれぞれ当てはまる適切な語句を以下の語群から選べ。

語群: 点、線、面

温度、圧力一定の下で、c 成分(c=1, 2, 3, ...)からなる系が、互いに平衡にあるp 相(p=2, 3, 4, ...)を形成している。全ての相の温度T_k ($1\leq k \leq p$)の間にある互いに独立な関係式は (ア) であるから、これらの式の数は (イ) である。全ての相の圧力P_k ($1\leq k \leq p$)の間にある互いに独立な関係式は (ウ) であるから、これらの式の数は (エ) である。それぞれの相k ($1\leq k \leq p$)において、成分 i のモル分率$x_{i,k}$ ($1\leq i \leq c$)の間にある互いに独立な関係式は (オ) であるから、これらの式の数は系全体において (カ) である。また，相k における成分 i の化学ポテンシャル$\mu_{i,k}$ が温度T_k 、圧力P_k 、および全成分のモル分率$x_{1,k}$, ..., $x_{c,k}$ の関数であるという関係式の数は系全体で (キ) である。この化学ポテンシャル$\mu_{i,k}$ ($1\leq i \leq c$, $1\leq k \leq p$)の間にある互いに独立な関係式は (ク) であり、これらの式の数は (ケ) である。したがってこの系を表す独立な関係式の総数は (コ) となり、その関係式の中に現れる変数の総数は (サ) であるから、この系の自由度 f は、

f= ((サ)) − ((コ)) = (シ)

なるギブズの相律で表される。この関係は結果的に均一系すなわち相の数が1の場合にも成り立つ。

例えば1成分系であればこのギブズの相律より自由度 f は最大で (ス) であるから、物質系の状態変数の間の関係を示す状態図において温度、圧力を座標軸にとれば全ての平衡関係を表すことができる。気液、固液、または気固の2相を形成する場合の f は (セ) であるからその条件の範囲は状態図において (ソ) となる。また、気液固の3相を形成する場合の f は (タ) であるからその条件の範囲は状態図において (チ) となる。

(［問題6］は次ページへ続く)

2. 以下の文章を読み、(1)〜(5)に答えよ。

酵素の一種であるウレアーゼは、以下の尿素（$CO(NH_2)_2$）の加水分解反応に対する触媒作用を示す。

$$CO(NH_2)_2 + H_2O \rightarrow CO_2 + 2NH_3 \quad (6\text{–}1)$$

この反応は、水中で以下の単純化した反応機構に基づき考えることができる。すなわち、尿素（S）とウレアーゼ（E）から反応中間体 ES が生成し、ES と H_2O が反応することで反応生成物 CO_2（P）と NH_3（P'）が生成する。

$$E + S \underset{k_{-a}}{\overset{k_a}{\rightleftarrows}} ES \quad (6\text{–}2)$$

$$ES \xrightarrow[+H_2O]{k_b} E + P + 2P' \quad (6\text{–}3)$$

ここで k_a、k_{-a}、k_b は各反応式の反応速度定数を表し、式(6–2)、(6–3)のいずれの反応速度も各反応物（E、S、ES）の濃度の 1 次に比例する。ただし、反応系内に多量に存在する H_2O に対してはその濃度の 0 次に比例する。定常状態近似に基づき ES の濃度[ES]は時間変化がないと仮定すると、遊離ウレアーゼ濃度[E]、尿素濃度[S]、[ES]、k_a、k_{-a}、k_b を用いて次式が成り立つ。

$$\frac{d[ES]}{dt} = \boxed{\quad（ア）\quad} = 0 \quad (6\text{–}4)$$

ウレアーゼの全濃度$[E]_0$は、E の物質収支から [E]と[ES]を用いて次式で表される。

$$[E]_0 = \boxed{\quad（イ）\quad} \quad (6\text{–}5)$$

式(6–4)、(6–5)から[E]を消去すると[ES]は$[E]_0$、[S]、k_a、k_{-a}、k_b を用いて次式で表される。

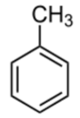
$$[ES] = \boxed{\quad（ウ）\quad} \quad (6\text{–}6)$$

したがって尿素の消滅速度 $-r_S$ は$[E]_0$、[S]、k_a、k_{-a}、k_b を用いて次式で表される。

$$-r_S = -\frac{d[S]}{dt} = \boxed{\quad（エ）\quad} \quad (6\text{–}7)$$

ここで、$K_m = \dfrac{k_{-a} + k_b}{k_a}$、$V_m = k_b[E]_0$ とおくと、$-r_S$ は次式で表される。

$$-r_S = \boxed{\quad（オ）\quad} \quad (6\text{–}8)$$

(1) 尿素の構造式を記せ。（構造式の例：  ）

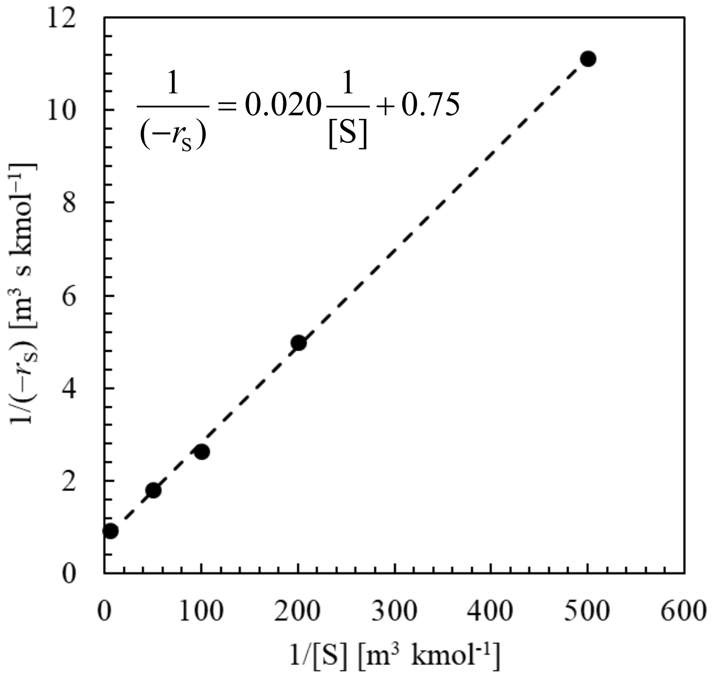
(2) ウレアーゼの立体構造の決定法でもっともふさわしいものを以下から 1 つ選べ。
（a）原子吸光分析法 （b）X 線回折法 （c）液体クロマトグラフィー
（d）X 線光電子分光法 （e）電気泳動法

(3) 反応物の濃度を[$mol\ m^{-3}$]の単位で表すとき、式(6–2)、(6–3)の反応速度定数 k_a 、k_{-a} 、k_b の単位を SI 単位系でそれぞれ答えよ。

(［問題 6］は次ページへ続く)

(4) （ア）～（オ）の空欄に適切な式を記せ。

(5) 尿素の消滅速度の逆数（$1/(-r_S)$ [m³ s kmol⁻¹]）を尿素の濃度の逆数（$1/[S]$ [m³ kmol⁻¹]）に対してプロットとすると下図に示されるように直線関係が得られた。この結果から K_m と V_m の値を有効数字 2 桁で求めよ。



（［問題 6］終わり）

［問題７］

1.と2.はそれぞれ別の答案用紙に解答せよ。

１．次の文章を読んで、以下の設問(1)～(9)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、開始コドンに対応するメチオニンを1個目として、カルボキシ末端に向かって順に2個目、3個目、・・・と数えることとする。

細胞は分裂を繰り返すことによって増殖する。分裂によって新たな細胞が生まれ、その細胞が分裂して再び2個の新たな細胞を生み出すまでの一連の過程を細胞周期という。細胞周期はG1期、G2期、M期、S期の4つの時期に分けられる。この中で、細胞分裂が行われる時期を$\boxed{\text{ア}}$期、DNA複製が行われる時期を$\boxed{\text{イ}}$期という。また、$\boxed{\text{ア}}$期から次の$\boxed{\text{イ}}$期までの間の時期を$\boxed{\text{ウ}}$期、$\boxed{\text{イ}}$期から次の$\boxed{\text{ア}}$期までの間の時期を$\boxed{\text{エ}}$期という。

$\boxed{\text{ア}}$期はさらに前期、前中期、中期、後期、終期、細胞質分裂に分けられる。前期には、①姉妹染色分体が互いに結合した状態で、染色体が凝縮する。また、2個の$\boxed{\text{オ}}$を極として微小管が重合し、伸長することにより、$\boxed{\text{カ}}$が形成される。前中期には、$\boxed{\text{キ}}$が分散(消失)し、染色体が微小管に結合する。染色体の微小管に結合する部分を$\boxed{\text{ク}}$という。中期には、染色体が$\boxed{\text{カ}}$の中央に整列する。後期には、姉妹染色分体が分離し、$\boxed{\text{カ}}$の互いに反対側の極に向かって移動する。終期には、染色体が脱凝縮するとともに、$\boxed{\text{キ}}$が再び形成される。最後に、細胞質分裂が起こって、細胞分裂が完了する。

ある培養ヒト細胞Aを用いて、フローサイトメータによって細胞ごとのDNA量の分布を調べる実験を行った結果を図7-1のa、bに示す。横軸はDNA量、縦軸はそれぞれのDNA量を持つ細胞の頻度を示している。aは細胞Aが指数関数的に増殖しているとき、bは指数関数的に増殖していた細胞Aを微小管重合阻害剤で24時間処理したときのDNA量の分布である。ピークiiのDNA量はピークiのDNA量の2倍であった。また、aでピークiに含まれる細胞数は全体の50%、ピークiiに含まれる細胞数は全体の25%であった。細胞Aが指数関数的に増殖している状態では24時間ごとに細胞数が倍加し、死細胞は出現しないとすると、この結果から、細胞Aの細胞周期の中で、G1期が占める時間は$\boxed{\text{I}}$時間、S期が占める時間は$\boxed{\text{II}}$時間であると考えられる。次に、微小管重合阻害剤に高い感受性を示す別の培養ヒト細胞Bを用いて同様の実験を行った。細胞Bが指数関数的に増殖している状態でのDNA量の分布は細胞Aの場合とほとんど変わらなかったが、微小管重合阻害剤で24時間処理したときは、図7-1のcに示すように、ピークiiに加えてピークiiiが見られた。

さらに、ブロモデオキシウリジンを用いて、DNA合成量を調べた。なお、ブロモデオキシウリジンは、$\boxed{\text{ケ}}$の$\boxed{\text{コ}}$基が臭素原子に置き換えられたもので、$\boxed{\text{ケ}}$に代わってDNA鎖に取り込まれる。細胞Aでは、指数関数的に増殖している状態では活発なDNA合成が見られたが、微小管重合阻害剤で処理するとDNA合成がほとんど見られなくなった。一方、細胞Bでは指数関数的に増殖している状態でのDNA合成量は細胞Aと同等であったが、微小管重合阻害剤で処理したときにもDNA合成が見られた。

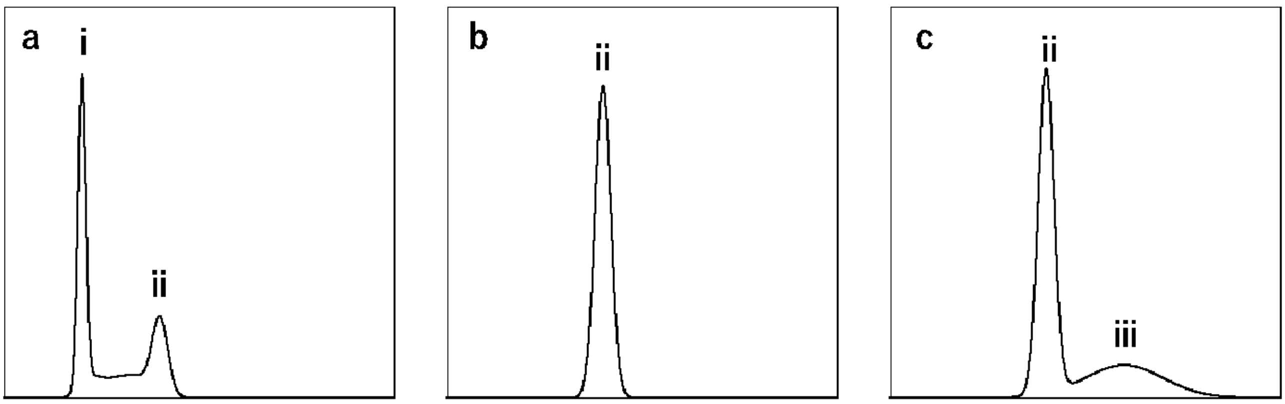


図7-1 細胞A、BのDNA量の分布を測定した実験の結果

（［問題７］は次ページへ続く）

図 7-2 に正常な遺伝子 *X* の cDNA の塩基配列の一部を示す。塩基は 5'から 3'方向に、一文字記号で書いてある。なお、数えやすいように 10 塩基ごとに空白を挿入している。細胞 A と B でこの遺伝子の cDNA の塩基配列を調べると、細胞 A では正常なもののみが見られたが、細胞 B では正常なものに加え、1475 番目の塩基がシトシンからアデニンに変異したものが見られた。正常な遺伝子 *X* から作られるタンパク質の[Ⅲ]個目のアミノ酸は[サ]であるが、変異した遺伝子 *X* から作られるタンパク質では[シ]に変化する。また、正常な遺伝子 *X* から 1487 番目のアデニンが欠失した場合、作られるタンパク質のアミノ酸配列は[Ⅳ]個目までは正常な遺伝子 *X* から作られるタンパク質と同一であるが、それ以降のアミノ酸配列は大きく変化し、開始コドンに対応するメチオニンを含めて[Ⅴ]個のアミノ酸からなるタンパク質が作られる。細胞 B に見られる変異した遺伝子 *X* の cDNA を適切なベクターに組み込んで細胞 A に導入し、発現させた。この細胞を A'とする。細胞 A'を微小管重合阻害剤で 24 時間処理したときの DNA 量の分布を調べたところ、ピーク iii が出現した。また、細胞 A'は細胞 B のように微小管重合阻害剤に高い感受性を示した。

```
1451-1500 番 ②CTGATGACAA AGATGAATGG CAATCTCTAG ATCAAAATGA AGATGCATTT
1501-1550 番 GAAGCCCAGT TTCAAAAAAA TGTAAGGTCA TCTGGGGCTT GGGGAGTCAA
```

図 7-2 ヒト正常遺伝子 *X* の cDNA の塩基配列の一部

(1) 空欄[ア]～[エ]に入る語を G1、G2、M、S から選んで記せ。

(2) 空欄[オ]～[ク]に入る語を次の語群から選んで記せ。

＜語群＞　核膜、細胞膜、動原体、小胞体、中心体、紡錘体

(3) 下線①「姉妹染色分体」とは何か、説明せよ。

(4) 空欄[Ⅰ]～[Ⅴ]に入る適切な数を、簡潔な説明を付して答えよ。

(5) 空欄[ケ]、[コ]に入る語を次の語群から選んで記せ。

＜語群＞　デオキシアデノシン、デオキシグアノシン、デオキシシチジン、デオキシチミジン、アミノ、ヒドロキシ、メチル

(6) 空欄[サ]、[シ]に入るアミノ酸を答えよ。

(7) 図 7-2 中の下線②で示した配列　CTGATGACAA　の相補鎖の塩基配列を 5'から 3'方向に記せ。

(8) 遺伝子 *X* から作られるタンパク質の機能について、この一連の実験の結果から考えられることを述べよ。

(9) ここで用いた微小管重合阻害剤は抗がん剤として用いられているものである。この実験で得られた知見はがん治療にどのように生かすことができるかについて、考えを述べよ。

（［問題 7］は次ページへ続く）

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７］は次ページに続く）

2．大気 CO_2 の動態に関する以下の問(1)～(3)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。その際に、炭素原子 C のモル質量は 12 g mol^{-1}、酸素分子 O_2 のモル質量は 32 g mol^{-1} とすること。なお、gC という単位は、対象としている物質に含まれる炭素の質量を指す。

(1) ある年の初めに大気 CO_2 分圧を標準状態において測定したところ 400.0 μatm であった。また、その時の大気 CO_2 の総量は 840 PgC ($P = 10^{15}$) と推定された。その 1 年後に同じ条件で大気 CO_2 分圧を測定したところ 1.9 μatm 増加していた。この年の 1 年間あたりの大気 CO_2 の増加量として最も近いものを以下の①～④より選んで答えよ。

（ア）1.0 PgC $year^{-1}$　② 4.0 PgC $year^{-1}$　③ 9.0 PgC $year^{-1}$　④ 16.0 PgC $year^{-1}$

(2) 化石燃料の燃焼に伴う人為起源の CO_2 の発生量に対して、実際の大気 CO_2 の増加量は少ないことが知られており、その差は主に陸上生物圏による吸収と海洋への溶解によるものと考えられている。

ある年の化石燃料の燃焼によって 1 年間あたりに発生した CO_2 の総量は 8.0 PgC $year^{-1}$ であった。また、この年の大気中の O_2 濃度の変化を観測したところ 1 年間あたり 24 Pg $year^{-1}$ の大気 O_2 の減少が観測された。この年の 1 年間あたりに陸上生物圏へ吸収された CO_2の量 (PgC $year^{-1}$) と海洋に溶解した CO_2 の量 (PgC $year^{-1}$) をそれぞれ答えよ。なお、この年の 1 年間あたりの大気 CO_2 の増加量は問(1)で選択した値を用いること。また、問題を解くにあたり、以下の i ~ iv が仮定できるものとする。

i. 化石燃料の燃焼によって CO_2 が 1.0 mol 発生した際には、O_2 は 1.4 mol 消費される。

ii. 陸上生物圏によって CO_2 が 1.0 mol 吸収された際には、O_2 は 1.1 mol 生産される。

iii. O_2 の海洋への正味の溶解は無視できる。

iv. 大気 CO_2 および O_2 を変化させる他の過程は無視できる。

(3) 近年、海洋への人為起源の CO_2 の溶解によって海洋表層水のpHの低下が進行している。そしてこれに伴い、サンゴや有孔虫、貝類などの炭酸カルシウムの骨格を造る生物の骨格形成が阻害されるなどの生態系への影響が懸念されている。このような海洋表層水のpHが低下する現象のことを何と言うか答えよ。

(［問題 7］終わり)

［問題 8］

1. 放射性同位体^{60}Coの製造を考える。原子炉でコバルトに中性子照射すると中性子捕獲反応^{59}Co(n,γ)^{60}Coにより^{60}Coが生成される。ここで質量30 mgのコバルト試料を原子炉の照射孔に入れ5時間の中性子照射を行ったとする。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、熱中性子による捕獲反応のみを考慮し、照射孔の熱中性子束を$5.0\times10^{17}\ \mathrm{m^{-2}\cdot s^{-1}}$、熱中性子捕獲断面積を37 bとする。また、必要に応じて、$\ln 2 = 0.693$を使ってよい。
   - (1) 照射終了時の生成された ^{60}Co の原子数を求めよ。ここで試料の中性子自己遮蔽は無視するものとする。^{59}Co の天然同位体比は 100%、コバルトの原子量は 59、^{60}Co の半減期を 5.3 年とする。また、生成される ^{60}Co は、全て基底状態とし、アイソマーの生成は無視するものとする。
   - (2) 照射終了時の生成された ^{60}Co の放射能、および比放射能を求めよ。

2. 均質な材料からなる裸の球形炉心の原子炉が真空中にある。 1 群中性子拡散理論を用いてこの原子炉が臨界となる半径Rを求めよ。ただし、この炉心のマクロ吸収断面積をΣ_a、マクロ核分裂断面積をΣ_f、中性子拡散係数をD、1回の核分裂で発生する中性子数をν、外挿距離をdとせよ。

3. 放射性物質の物理的半減期、生物的半減期、実効半減期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) 原子炉の受動安全性
   - (2) 燃料再処理
   - (3) ジルカロイ
   - (4) 慣性核融合