

2024 年度

京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻入学資格者選考試験

修士課程 一般学力選考及び特別選考 試験問題

専門科目（専門）

注意事項

1. 合図があるまでこの問題冊子を開いてはならない。
2. 問題冊子は、表紙を除き合計 14 ページ（下書き用紙は含まない）である。
この問題冊子には、専門科目（専門）に関するもので
（1）必須問題（環境工学に関する語句説明）（6 題）、および
（2）選択問題（6 題）の問題がある。
（1）については 6 題すべてに解答すること。
（2）については、合計 6 題の中から、3 題を選択し解答すること。4 題以上解答
した場合は、全解答を無効とすることがある。
3. 問題冊子は、下書き用紙も含め切り離してはいけない。
4. 専門科目（専門）試験は、一般学力選考：400 点満点、特別選考：200 点満点である。
5. 解答用紙は 4 枚 1 組である。必須問題は 1 枚に、選択問題は 1 題につき必ず 1 枚に解答すること（足りない場合は裏面に解答してもよいが、その場合切り取り線（用紙上部の実線）より下部を使用すること）。また、すべての解答用紙の上部に必ず、受験番号・氏名、問題番号を記入すること。
6. 試験時間は、2 時間である。（午後 1 時から 3 時まで）
7. 試験時間が終了したら直ちに解答をやめ、室長の指示に従うこと。解答用紙を持ち帰ることはできない。

必 須 問 題

問題番号： 1

(1枚の内1)

次に示す環境工学に関連する語句をそれぞれ5行程度で説明しなさい。

[1] デシベル

[2] 理想的沈殿池の除去率

[3] 酸化還元電位

[4] 消毒副生成物

[5] TDI

[6] 補償深度

選 択 問 題 (環 境 物 理 学)

問題番号: 2

(2枚の内1)

定常状態における固体および流体中の熱の移動現象に関し、下記の問題に答えなさい。なお、本問では固体ならびに固体に接する流体中の境界膜において、熱の伝導は Fourier の法則に従うとする。

[1] 1200 [K]の炉に接するレンガが、温度が時間的に変化しない定常状態にあるとする。

[1-1] 図-1 のように熱伝導率 k が 1.2 [W/(m・K)]で厚み 200 [mm]の耐火レンガに対して炉外温度が 400 [K]の場合の熱流束 q_s [W/m²]を求めなさい。

[1-2] 図-2 のように熱伝導率 k が 1.2 [W/(m・K)]で厚み 200 [mm]の耐火レンガの外側に熱伝導率 k が 0.2 [W/(m・K)]で厚み 100 [mm]の断熱レンガが配置され、炉外温度が 400 [K]であるとする。耐火レンガと断熱レンガとの境界での温度[K]を求めるとともに、図-2 の熱流束 q_s は図-1 ([1-1])の熱流束 q_s の何パーセントか、答えなさい。

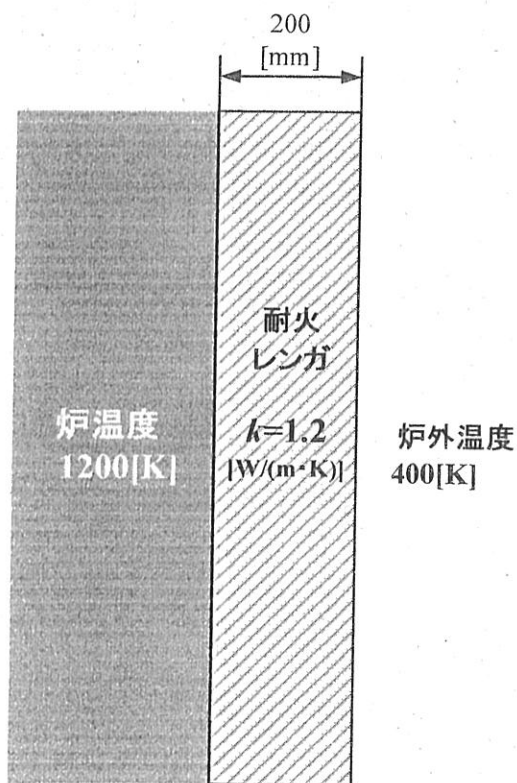


図-1 炉の材料が耐火レンガの場合

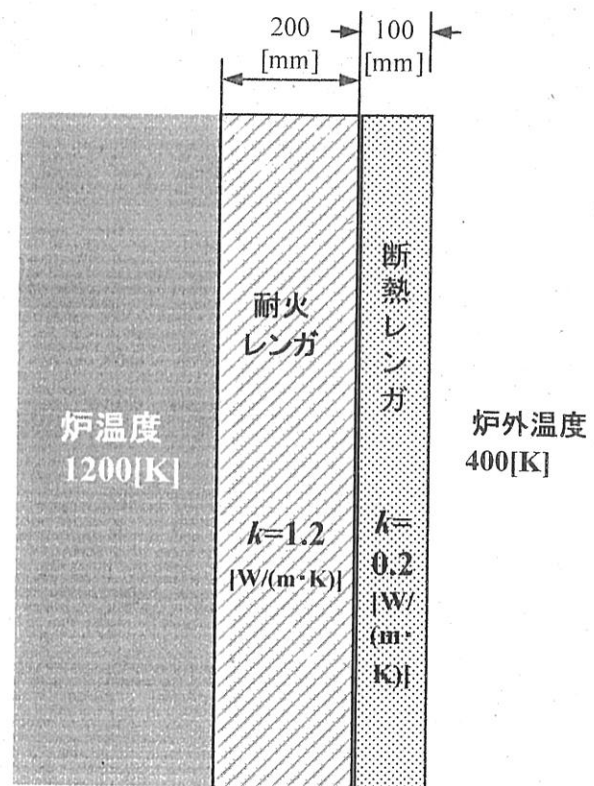


図-2 炉の材料が耐火レンガと断熱レンガの場合

選 択 問 題 (環 境 物 理 学)

問題番号： 2

(2 枚の内 2)

[2] 流体と固体が図-3 のように接しているとき、境膜 1 から固体壁への熱流束 q_{L1} [W/m^2]、固体壁内の熱流束 q_s [W/m^2]、固体壁から境膜 2 への熱流束 q_{L2} [W/m^2] を、図中に示した記号を用いて、式としてそれぞれ記しなさい。なお、温度の単位は[K]、固体の熱伝導率 k の単位は [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]、境膜伝熱係数 h_1 、 h_2 の単位は [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$] とする。

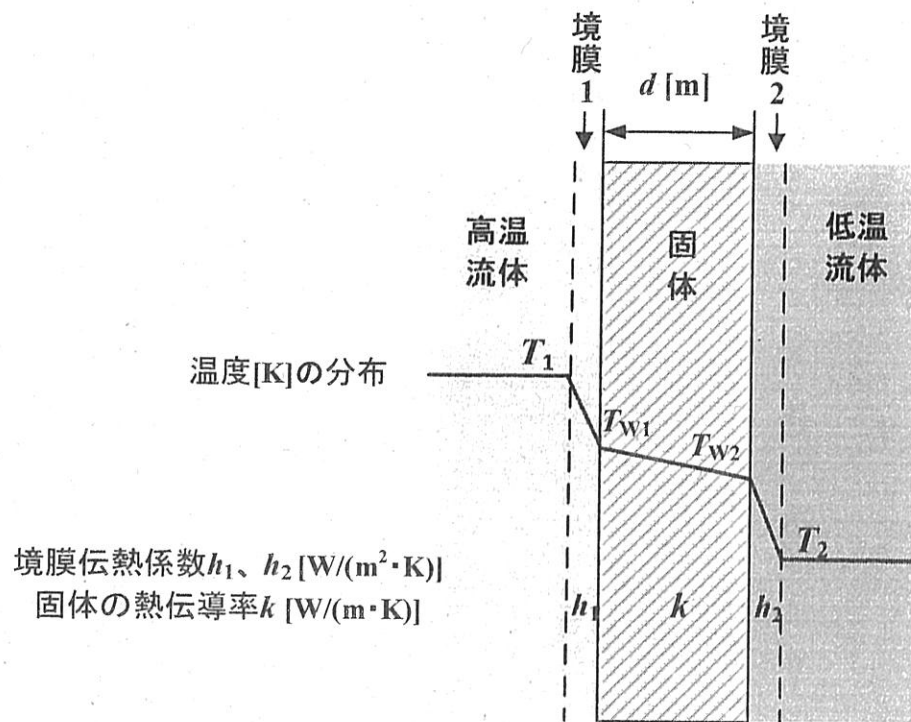


図-3 流体と固体が接する系

[3] 大きさ $2 [\text{m}] \times 2 [\text{m}]$ 、厚さ $10 [\text{mm}]$ のガラス窓が一つある部屋の室内の気温 $25 [^{\circ}\text{C}]$ に対し、外気の気温 $-15 [^{\circ}\text{C}]$ であるとする。またガラス窓の屋外側の境膜および室内側の境膜の伝熱係数はそれぞれ 10 および $5 [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ 、窓ガラスの熱伝導率は $0.6 [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ であるとする。窓からの放熱量に基づいてこの部屋において室温を維持するために最低限必要なエアコンの能力 [kW] を、計算過程と共に示しなさい。ただし、この部屋の熱収支においては、窓からの熱伝導のみを考慮し、また設置予定のエアコン以外に熱の供給・排出源はないものとする。必要に応じ[2]を参考にしなさい。

選 択 問 題 (環 境 物 理 学)

問題番号： 3

(1 枚の内 1)

放射性核種に関する以下[1] [2] [3]の ① ～ ⑫ を埋めよ。

①⑤⑥⑩には語句を、②③④には式を、⑦⑧には整数を、⑨には元素名あるいは元素記号を、⑪⑫には有効数字 2 桁の数字を記せ。⑪⑫に関しては算出過程も記せ。

[1]

放射性核種の個数 N が壊変によって減少する速度、 $-dN / dt$ はその時に存在する放射性核種の個数に比例する。

$$-dN / dt = \lambda N \dots (1)$$

この比例定数 λ は ① と呼ばれる。

時刻 $t = 0$ の時の放射性核種の個数を N_0 として、(1)式を積分すると、

$$N = \text{②}$$

と表すことができる。

$t = 0$ から $T_{1/2}$ 時間後に N が当初の個数 N_0 の半分になったとすると、

$$N_0 / 2 = \text{③}$$

と表すことができるので、 λ は $T_{1/2}$ を用いて

$$\lambda = \text{④} \text{ と表すことができる。}$$

[2]

天然ウラン鉱石中に存在する $^{235}_{92}\text{U}$ は ⑤ 壊変して $^{231}_{90}\text{Th}$ に、その $^{231}_{90}\text{Th}$ は ⑥ 壊変して $^{231}_{91}\text{Pa}$ になる。さらに壊変は続き、最終的に $^{235}_{92}\text{U}$ は 7 回の ⑤ 壊変と 4 回の ⑥ 壊変をして安定核種である原子番号 ⑦、質量数 ⑧ の ⑨ となる。 $^{235}_{92}\text{U}$ と $^{231}_{90}\text{Th}$ の λ をそれぞれ λ_{U235} 、 λ_{Th231} と表すと、その値はおおよそ

$$\lambda_{U235} : 3.12 \times 10^{-17} [1/s], \lambda_{Th231} : 7.54 \times 10^{-6} [1/s]$$

であり、 $\lambda_{U235} \ll \lambda_{Th231}$ であるから、 $^{235}_{92}\text{U}$ と $^{231}_{90}\text{Th}$ との放射平衡は ⑩ 平衡と呼ぶことができる。

このことから、天然ウラン鉱石中の $^{235}_{92}\text{U}$ と $^{231}_{90}\text{Th}$ の原子数比 $N(\text{U235}) / N(\text{Th231})$ は ⑪ と算出できる。

[3]

天然ウラン鉱石中に存在する $^{238}_{92}\text{U}$ と $^{226}_{88}\text{Ra}$ も ⑫ 平衡になっていると考えられる。いま、ある天然ウラン鉱石中の $^{238}_{92}\text{U}$ の放射能が $2.0 \times 10^{10} \text{ Bq}$ であるとすると同鉱石中の $^{226}_{88}\text{Ra}$ の質量は ⑬ と算出できる。ただし、 $^{226}_{88}\text{Ra}$ の半減期は 1.6×10^3 年とする。

選 択 問 題 (環 境 化 学)

問題番号: 4

(1枚の内1)

緩衝液に関する以下の設問に答えなさい。なお、以下では[X]は化学種 X のモル濃度(mol/L)を表すものとする。

[1] 緩衝液の調製では弱酸とその共役塩基の塩を混合することが多い。弱酸 HA とその共役塩基のナトリウム塩 NaA について、HA を C_{HA} (mol/L), NaA を C_{NaA} (mol/L)となるよう純水に加えた場合の緩衝液の pH は、 $[H^+]$ と $[OH^-]$ が、 C_{NaA} および C_{HA} よりも十分に小さいという仮定の下では以下のように記述できる。ここで K_a は HA の酸解離定数である。

$$pH = pK_a + \log_{10} \left(\frac{C_{NaA}}{C_{HA}} \right) \quad (1)$$

この関係式を質量保存、化学平衡、電気的中性の原理に基づき導出しなさい。なお、イオン強度の影響は無視できるものとする。

[2] 上記の式(1)の関係を用いて、 NaH_2PO_4 と Na_2HPO_4 から pH 7.0 の 5.0 mmol/L 緩衝液 (注: $[H_2PO_4^-] + [HPO_4^{2-}] = 5.0 \times 10^{-3}$ mol/L) を 1.0 L 調製することを考える。それぞれ、何 mg 加えればよいか計算しなさい。ただし、原子量は $Na=23, P=31, O=16, H=1.0$ としなさい。また、 $H_2PO_4^-$ の酸解離定数を 7.2 としなさい。

pK_a

[3] 上記[1], [2]のように稀薄な緩衝液ではイオン強度の影響は無視できるが、濃度が高くなるとその影響は無視できず、緩衝液の実際の pH と式(1)で求められる pH の間にずれが生ずる。 NaH_2PO_4 と Na_2HPO_4 から緩衝液を作る場合を例にとり、どちらが大きくなるか定性的に説明しなさい。

[4] 緩衝液の緩衝能 (buffer intensity, β) は、以下で定義される。

$$\beta = - \frac{dC_A}{d(pH)} \quad (2)$$

ここで、 C_A は緩衝液に加える酸の量(mol/L)である (体積の変化は無視する)。この式は pH を単位量変化させるために必要な強酸の量と解釈できる (注: pH の変化と酸の添加量の向きが逆なので負号を付している)。ここで[1]で取り上げた弱酸 HA とその共役塩基のナトリウム塩 NaA からなる緩衝液に HCl を加えた際の緩衝能を考える。以下の小問に答えなさい。ただし、イオン強度の影響は無視できるものとする。

[4-1] 緩衝液に塩酸 (HCl) を濃度が C_A となるように少量加えたときの C_A を、 $[Na^+]$, $[H^+]$, $[OH^-]$, $[A^-]$ で表しなさい。

[4-2] $[A^-]$, $[HA]$ をそれぞれ、酸解離定数 K_a , $[H^+]$, $[A^-]$ と $[HA]$ の和 C_T で表しなさい。

[4-3] $\frac{d[H^+]}{d(pH)} = - \ln 10 [H^+]$ であることを示しなさい。

[4-4] 上記[4-1]~[4-3] を利用して、以下の式が成立することを示しなさい。

$$\beta = \ln 10 \left([H^+] + [OH^-] + \frac{[HA][A^-]}{[HA] + [A^-]} \right) \quad (3)$$

選 択 問 題 (環 境 化 学)

問題番号： 5

(2 枚の内 1)

[1] 以下の、フロンに関する設問に答えなさい。答えが数値の場合、有効数字は 2 桁とし単位を明記しなさい。

[1-1] フロンの名称は ISO817 形式で示される接頭辞 R (あるいは CFC, HFC など) の後ろに 2 ～ 4 桁の数字を記した冷媒記号で表されることが多い。数字部分の一位はフッ素原子数、十位は水素原子数 + 1、百位は炭素原子数 (3 以下) - 1、千位は不飽和度を表す。値が 0 の百位、千位は記載しない (2 桁あるいは 3 桁となる)。炭素の結合の余剰分には全て塩素原子を結合させる。異性体が存在する場合には最後にアルファベットの小文字を付加して区別する。例えば R-32 ならば、各桁 0032、不飽和度 0、炭素数 1 (0+1)、水素数 2 (3-1)、フッ素数 2 であるから、分子式は CH_2F_2 、系統名 (IUPAC 名) は difluoromethane である。

R-12 (CFC-12), R-134a (HFC-134a), R-152a (HFC-152a) それぞれの構造式と系統名を書きなさい。ただし、これらのうち a が付加された分子は異性体のうちで対称性の低い方を示している。

[1-2] R-12, R-152a はどちらにも複数存在する除去過程により大気中から除去される。それぞれのフロンの除去過程を 1 次反応で減衰するものとする、その速度定数は以下のとおりである。

$$k_{\text{R-12}} = 3.0 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$$

$$k_{\text{R-152a}} = 2.3 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$$

これから、R-12, R-152a の大気寿命 ($1/e$ になる時間) を計算しなさい。

[1-3] R-12 と R-152a の大気寿命が大きく異なるのはなぜか。その理由を主な除去過程 (光分解, ラジカル反応など) の反応と関連させて説明しなさい。

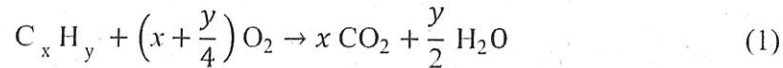
[1-4] R-12 の ODP (ozone depletion potential) は 0.95 (100 年評価値) である一方、R-134a のそれは 0 である。その理由を書きなさい。

選 択 問 題 (環 境 化 学)

問題番号： 5

(2 枚の内 2)

[2] 炭素と水素のみからなる炭化水素燃料を酸素存在下で燃焼させ、熱エネルギーを取り出すことを考える。燃料中の可燃成分をすべて燃焼（完全燃焼）させることができれば、下記の反応により、水（水蒸気）と二酸化炭素のみが生成する。



今ブタン (C_4H_{10}) $10.0 \text{ m}^3_{\text{N}}$ (m^3_{N} は 0°C , 1 気圧の標準状態に換算したガス量) を完全燃焼させることにする。ここで、実際の燃焼においては、完全燃焼させるために必要な最小の空気量（以後、理論空気量と呼ぶ）より多量の空気を供給する必要があるが、実際の供給空気量と理論空気量の比を空気比と呼ぶ。また、完全燃焼したときに生成する燃焼ガス（湿り燃焼ガス）から水蒸気を取り除いたガス量を乾き燃焼ガス量と呼ぶ。

このとき以下の問いに有効数字 3 桁で答えなさい。ただし、空気の組成は、体積基準で窒素 79%、酸素 21% とし、それ以外の成分については無視して良い。

- [2-1] 空気比を 1.1 に設定したとき、所要空気量 (m^3_{N}) はいくらか。
- [2-2] [2-1]の条件下で完全燃焼させたときの乾き燃焼ガス量 (m^3_{N}) はいくらか。
- [2-3] このとき、乾き燃焼ガス中の CO_2 濃度 ($\text{m}^3_{\text{N}}/\text{m}^3_{\text{N}}$) はいくらか。

選 択 問 題 (環 境 生 物 学)

問題番号 : 6

(2 枚の内 1)

以下の文章を読み、[1]～[8]について答えなさい。

酵素の反応速度に関する式は、以下のように示されることがある。

$$v \equiv \frac{d[P]}{dt} = \frac{V_{\max}[S]}{K_m + [S]} \quad (1)$$

ここで、 v は反応産物の濃度変化速度、 $[P]$ は反応産物の濃度、 $[S]$ は基質濃度、 $V_{\max}$ は最大反応速度を示す。 K_m は定数である。 t は時間を表す。この式を導出する。

酵素 (以下 E) が基質 (以下 S) と結合して酵素基質複合体 (以下 ES) を形成、ES が E と S に戻るか反応産物 (以下 P) を生成する一連の反応機構を以下のように仮定する。



この反応は、 $E + S \rightleftharpoons ES$ と $ES \rightarrow E + P$ の 2 つの反応過程からできている。前者は可逆反応で、正反応の反応速度定数を k_{+1} 、逆反応の反応速度定数を k_{-1} と設定する。後者の反応を律速段階と仮定し、反応速度定数を k_{+2} と設定する。 $E + S \rightleftharpoons ES$ の反応は迅速に化学平衡に達していると仮定し、解離定数を K_s と設定する。

$$K_s = \frac{[E][S]}{[ES]} \quad (3)$$

仮定されている反応系に存在する酵素種は、基質と結合していない酵素 E と、基質 S と結合した酵素 ES の 2 種類のみである。従って、全酵素濃度 $[E]_0$ は両者の濃度の和に等しい。

$$[E]_0 = [E] + [ES] \quad (4)$$

式(3)および(4)から、 $[ES]$ を、 $[E]_0$ 、 $[S]$ 、その他定数を用いて示すと、

$$[ES] = \boxed{\text{①}} \quad (5)$$

となる。

一方、単位時間当たりに産生される反応産物 P の量は酵素基質複合体 ES と反応速度定数 k_{+2} の積で与えられる。

$$v = \frac{d[P]}{dt} = k_{+2} [ES] \quad (6)$$

以上より、式(1)を導出することができる。

選 択 問 題 (環 境 生 物 学)

問題番号: 6

(2 枚の内 2)

[1] ①に入る数式を答えなさい。

[2] 上記の式群を用い、必要な設定を行い式(1)を導出しなさい。

[3] 基質濃度と反応速度の関係の概略を図示しなさい。また K_m が意味するところを述べなさい。

[4] 式(1)は、導出した科学者名を用いた名称で称されるが、その式名を答えなさい。

[5] 回分的に反応を進めるとする。式(1)が成立し、かつ ES の濃度変化が無視できる場合、基質の濃度が、ある時点 T での基質濃度 $[S]_T$ の 1/2 になるまでに要する時間を求めなさい。

酵素反応は様々な要因で反応速度が遅くなることがある。これを阻害という。基質濃度が高いときに生じる阻害を基質阻害という。基質阻害を以下のようにモデル化する。すなわち、酵素基質複合体 ES がさらに基質 S と結合して別の複合体 ESS を形成して不活性となるとする。



この場合の解離定数は、

$$K_{ss} = \frac{[ES][S]}{[ESS]} \quad (8)$$

とする。この時、含まれる酵素種は E、ES と ESS の 3 種類なので、全酵素濃度は、

$$[E]_0 = \boxed{\text{②}} \quad (9)$$

となる。式(3)、(8)および(9)より、[ES]を、[E]₀、[S]、その他定数を用いて示すと、

$$[ES] = \boxed{\text{③}} \quad (10)$$

となる。式(6)を用いると、基質阻害のある場合の反応式は、

$$v = \boxed{\text{④}} \quad (11)$$

となる。

[6] ②、③および④に入る数式を答えなさい。

[7] 基質阻害がある場合の、基質濃度と反応速度の関係の概略を図示しなさい。

[8] 反応速度が最も大きくなるときの基質濃度を求めなさい。

選 択 問 題 (環 境 生 物 学)

問題番号： 7

(5 枚の内 1)

問 1. 水を介して発生あるいは伝播しヒトに害を及ぼす微生物がある。次の文章を読み、以下の [1]～[3]に答えなさい。

水系感染症を防止する観点から用いられる細菌学的指標に大腸菌がある。大腸菌とは、特定酵素基質培地法によってβ-グルクロニダーゼ活性を有すると判定される好気性または【 ア 】性の細菌をいう。ヒトや温血動物の腸管内に生息する常在菌である。水質管理上、大腸菌はあくまで水のふん便汚染の指標として用いられるものであり、必ずしもそれ自体に病原性^(a)があるわけではない。

ウイルスは、核酸として DNA または【 イ 】を持ち、タンパク質または脂質とタンパク質からなる最外殻で包まれている。細菌よりも小さく、光学顕微鏡では通常見ることができない。また、それ自身では増殖することができず、他の生物（宿主）に感染し、その細胞を利用して増殖する。

水系感染の原因になるウイルスには、【 ウ 】【 エ 】などがある。これらの水系感染の原因ウイルスは、動物ウイルスの中でも小型に属するものが多い。したがって、膜ろ過によって除去するためには、A 膜では不十分で、それより細孔径が小さい膜を用いる必要がある。

細菌、ウイルス以外で水系感染の原因となる微生物に寄生虫がある。このうち、単細胞のものを【 オ 」、多細胞のものを蠕虫^{ぜんちゅう}という。水環境および上下水道の水質管理において関心の高い【 オ 】には【 カ 】【 キ 】がある。

【 カ 】【 キ 】は、細菌の芽胞に相当するシスト^{のうし}（嚢子）を形成するが、シストは塩素処理をはじめとする消毒に対する抵抗性が強い。特に、【 カ 】は、通常の浄水処理における塩素消毒では不活化することができない。【 カ 】は人畜共通の病原体であり、ヒトの他にイヌ、ネコ、ヒツジ、アヒルなどの動物に感染する。経口摂取によって感染し、主たる症状は水様性の下痢である。

【 キ 】はランブル鞭毛虫の名で古くから知られている【 オ 】である。人畜共通病原体であり、動物のふん便によって水の汚染が起きる。【 キ 】下痢症という激しい下痢を引き起こす。

選 択 問 題 (環 境 生 物 学)

問題番号： 7

(5枚の内2)

[1] 【 ア 】～【 キ 】に適切な用語を答えなさい。

[2] 下線(a)に関連し、水系感染の原因となりうる主な病原性細菌を2つ答えなさい。

[3] A にあてはまるろ過膜の種類としては、次のいずれが適切か。下記の4つのうちもっとも適切な一つを選んで記号で答えなさい。

①ナノろ過 ②精密ろ過 ③逆浸透 ④限外ろ過

問2. 水中の大腸菌数の測定に関する以下の[4]～[5]に答えなさい。

ある河川水中の大腸菌数を MPN 法^(b) で求めたい。適切な希釈水を作成したうえで、河川水を1倍、10倍、100倍、1000倍に希釈し、その1mLを試験用培地を含む試験管に無菌的に接種した。接種した試験用培地を含む試験管は各希釈段階で3本ずつ作成した。試験管を恒温器に入れて所定の時間培養したところ、陽性管の数は表1のようになった。

表1 試料水の希釈倍率と陽性管の数

希釈倍率	1	10	100	1000
陽性管の数	3	3	1	0

[4] 下線(b)について、MPN とは何か簡単に説明しなさい。

[5] 表1の結果をもとに、表2を参考にして、この河川水中の大腸菌数を求めなさい。

選 択 問 題 (環 境 生 物 学)

問題番号: 7

(5枚の内3)

表2 大腸菌試験の MPN 表 3-3-3 法

(1)			(2)			(1)			(2)		
10	1	0.1	MPN	95%信頼区間		10	1	0.1	MPN	95%信頼区間	
				下限	上限					下限	上限
0	0	0	≤3.0			2	0	0	9.2	2.3	37
0	0	1	3.0	0.37	25	2	0	1	14	4.0	51
0	0	2	6.0	1.2	30	2	0	2	20	5.7	69
0	0	3	9.0	2.2	37	2	0	3	26	7.3	92
0	1	0	3.0	0.38	25	2	1	0	15	4.1	52
0	1	1	6.1	1.2	30	2	1	1	20	5.9	71
0	1	2	9.2	2.3	37	2	1	2	27	7.5	96
0	1	3	12	3.3	45	2	1	3	34	8.9	130
0	2	0	6.2	1.3	30	2	2	0	21	6.1	73
0	2	1	9.3	2.3	37	2	2	1	28	7.7	99
0	2	2	12	3.4	46	2	2	2	35	9.1	130
0	2	3	16	4.4	55	2	2	3	42	10	170
0	3	0	9.4	2.4	38	2	3	0	29	7.9	100
0	3	1	13	3.4	46	2	3	1	36	9.3	140
0	3	2	16	4.5	56	2	3	2	44	11	180
0	3	3	19	5.5	66	2	3	3	53	12	230
1	0	0	3.6	0.51	25	3	0	0	23	6.6	81
1	0	1	7.2	1.6	32	3	0	1	38	9.7	150
1	0	2	11	2.9	42	3	0	2	64	15	280
1	0	3	15	4.2	53	3	0	3	95	24	380
1	1	0	7.4	1.7	33	3	1	0	43	10	180
1	1	1	11	3.0	42	3	1	1	75	18	320
1	1	2	15	4.3	53	3	1	2	120	30	440
1	1	3	19	5.5	66	3	1	3	160	45	570
1	2	0	11	3.0	43	3	2	0	93	23	380
1	2	1	15	4.4	54	3	2	1	150	42	540
1	2	2	20	5.6	68	3	2	2	210	61	760
1	2	3	24	6.8	83	3	2	3	290	78	1100
1	3	0	16	4.5	55	3	3	0	240	67	860
1	3	1	20	5.7	69	3	3	1	460	100	2100
1	3	2	24	6.9	85	3	3	2	1100	260	4700
1	3	3	29	7.9	100	3	3	3	≥2400		

(1)三段階希釈における陽性管数

(2)100 mL中のMPNと信頼限界

選 択 問 題 (環 境 生 物 学)

問題番号： 7

(5 枚の内 4)

問 3. 環境生態学に関する以下の文章を読み、[6] ～[13]に答えなさい。

生態系を構成する生物は、個体、個体群、群集といった階層構造をなしている。個体とはひとつの生物で、ある地域における同じ種の個体が集まったものが個体群である。さらに異なる種のいくつかの個体群が集まって群集（植物の場合は群落）となる。これらは餌資源の獲得をめぐつてたがいに影響を及ぼし合っている。

同種の生物の個体数が増えることを個体群の成長という。個体群は、食物や水分、生活空間といった生活資源の制約がなく、温度や湿度、空気などの無機的环境がその生物にとって好適であり、他種の影響も受けない理想的な条件下では、指数関数的に【 ク 】する。一方、生物には寿命があり、やがて死亡するので、その分だけ個体群の成長の速さは【 ケ 】することになる。しかし、理想的な環境の下ではつねに出生が死亡を上回っているので、全体の個体数が減ることはない。

いま、ある動物の個体群の個体数を N 、出生率を a 、死亡率を b とするときの個体数の増加速度は【式 1】で表すことができる。

内的自然増加率を r とすると、この値は環境条件が恒常的で個体群の年齢構成が安定しているときに一定となり、与えられた環境下におけるその種のとりうる増加率の最大値を示す。このように資源が十分にあり、増殖を妨げる要因がなく、移出入がないときの個体群の成長を【 コ 】という。(式 1) を時間で積分すると、時間 t における個体数 N_t は、 $t=0$ のときの個体数を N_0 とすると、【式 2】で表すことができる。

(式 2) は理想的な状態であるが、現実には個体数が増加すると餌やすみかが減少したりして成長が抑制され、個体数の増加速度は低下していく。こうした個体群の成長を【 サ 】_(c) という。対象とする空間において長期的に維持できる最大個体数_(d) を K とすると、成長速度の減少を考慮した場合の個体数の増加速度は、【式 3】で表すことができる。

(式 3) を時間で積分すると、【式 4】が得られる。(式 4) は【 シ 】と呼ばれ、閉鎖環境における個体群の成長曲線を簡潔かつ基礎的に表現したものとして、今日よく使われている。

[6] 【 ク 】から【 シ 】に適切な用語を記しなさい。

[7] 【式 1】を a, b, N を用いた数式で示しなさい。

[8] 【式 2】を N_0, r, t を用いた数式で示しなさい。

選 択 問 題 (環 境 生 物 学)

問題番号 : 7

(5 枚の内 5)

[9] 下線部のこうした個体群の成長を【サ】_(c)の記述に関連し、(1) それに抑圧的に働く制限要因を何と呼ぶか漢字 4 文字で答えなさい。(2) これによる成長速度の減少を何と呼ぶか漢字 5 文字で答えなさい。

[10] 下線部の対象とする空間において長期的に維持できる最大個体数_(d)を何と呼ぶか漢字 5 文字で答えなさい。

[11] (式 3) を r, N, K を用いた数式で示しなさい。

[12] $t=0$ における初期個体数を N_0 とする。(式 3) を時間で積分し、 N_t を r, N_0, K を用いた数式 (式 4) で示しなさい。

[13] 抑制がなければ、1 年ごとに頭数が 2 倍になる動物がいる。いま、 K が 1000 頭の牧草地にこの動物を 5 頭導入したとする。1 年後、5 年後、10 年後の個体数を求めなさい。ただし、下記を参考にしてもよい。

$$\log_e 2 = 0.693$$

