

2023 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 13 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。

(下書き用紙 Sheet for drafting)

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] 騒音計の聴感補正回路

[2] 総括伝熱係数

[3] アルカリ度

[4] 吸着等温線

[5] 水温躍層

[6] バクテリアとアーキア

(2枚の内1)

地球の大気を1次元で2層からなると仮定して、太陽放射と大気のエネルギーのやり取りから定常状態にある気温を推定することを試みる。以下の問いに対して答えなさい。解答に数値を求められる場合は有効数字3桁で答えること。

[1] 3つの方程式から2つの大気層の温度、並びに地上気温の3つの温度を導出することを考える。その方程式とは、大気上層のエネルギーバランス、大気上層のエネルギーバランス、大気下層のエネルギーバランスである。大気は太陽放射に対して透明で、地表面は太陽放射を一定の割合 a で反射すると仮定する。また、地球からの放射はその全量が大気下層で吸収される、と仮定する。太陽放射のうち地球に到達する放射を F_{sun} 、大気上層、大気下層、地表面の放射をそれぞれ F_0 、 F_1 、 F_s とする。この時の大気上層、大気上層、大気下層の3つのエネルギーバランス式を以下の図-1を参考にして示しなさい。

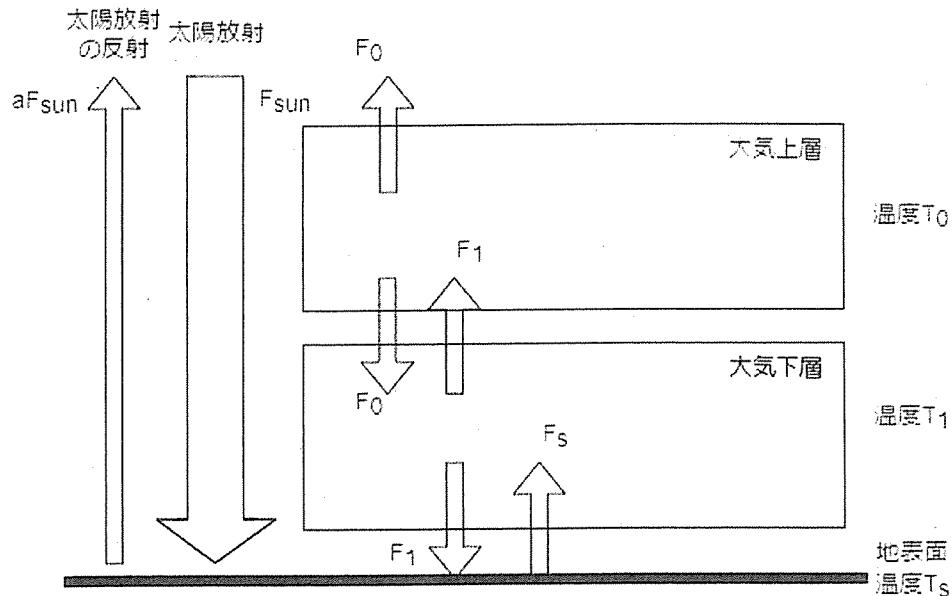


図-1 大気上層、大気下層、地表面、宇宙空間とのエネルギーのやり取りの模式図

[2] 大気上層、大気下層、地表面の温度をそれぞれ T_0 、 T_1 、 T_s [K]としたとき、ステファンボルツマンの法則を用いて F_0 、 F_1 、 F_s を、それぞれの温度 T_0 、 T_1 、 T_s を用いて表しなさい。ただし、ステファンボルツマン定数は σ とする。

[3] 地球に到達する太陽放射 F_{sun} を $343[\text{W}/\text{m}^2]$ 、反射率 a を 0.3 とし、ステファンボルツマン定数は $5.67 \times 10^{-8}[\text{W}/\text{m}^2/\text{K}^4]$ として、温度 T_0 、 T_1 、 T_s (ケルビン[K]) を計算しなさい。

(2枚の内2)

[4] [3]で求めた温度は実際の観測値とはだいぶ乖離がある。これはここで想定しているモデルが単純なことに基づく。そこで、以下で示す1)-4)のような現実的な想定をすべて追加し、図-2を参考に再び大気上層、大気上層、大気下層でエネルギーバランス式を立てて、 T_0 、 T_1 、 T_s (ケルビン[K]) を計算しなさい。

- 1) 太陽放射のうち、一定量 ($F_a=86[W/m^2]$) は大気で吸収される。 F_a のうち70%が大気上層で起こり、30%が大気下層で起こるとする。大気上層では特にオゾン層などによって吸収される。
- 2) 地表からの水の蒸発に伴う潜熱 ($F_e=80[W/m^2]$) が存在し、その半分は大気下層、残り半分は大気上層で吸収される。
- 3) 対流による大気下層への地表面からの熱の伝達は $F_c=17[W/m^2]$ とする。
- 4) 地表面の放射のうち、宇宙空間に直接逃げる放射も存在し、およそ $F_w=20[W/m^2]$ である。これは [3]のモデルにおいて大気下層で吸収されていたはずの放射から引いておくことで表現できる。

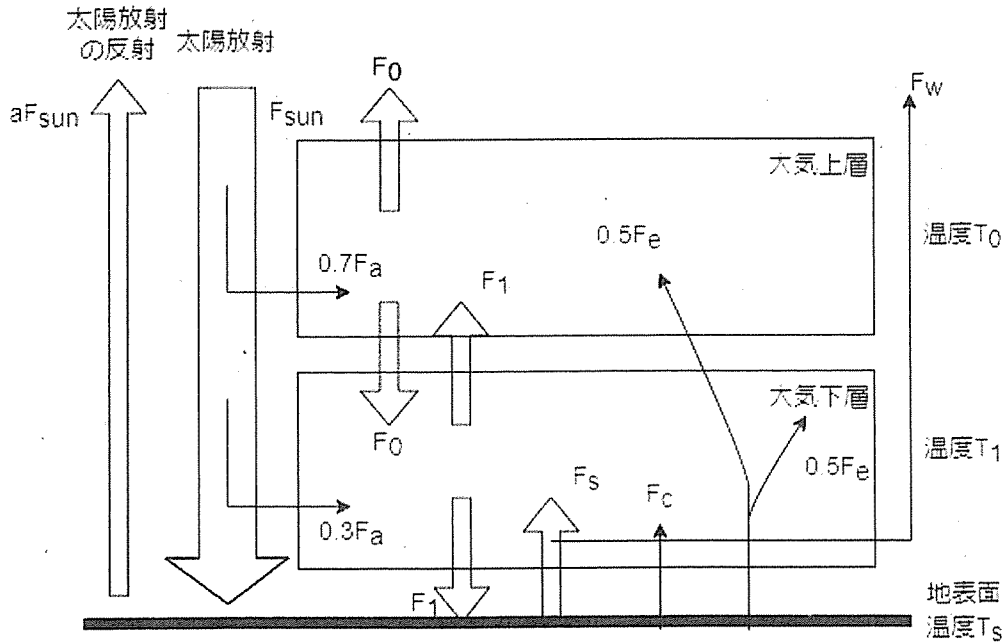


図-2 太陽放射の大気における直接吸収、水の蒸発に伴う潜熱、地表面の熱の伝達、地表面からの放射のうち直接宇宙へ逃げる熱を考慮した時の大気上層、大気下層、地表面と宇宙空間とのエネルギーのやり取りの模式図

[5]現在、産業革命前と比較して地表面の全球平均気温は約 $1^{\circ}C$ 上昇したといわれている。これが仮に温室効果ガスによる直接的な影響のみによって起こったとして、上記の F_w のみが一定量減少した結果であると仮定したときに、 F_w の減少量はいくらであろうか。[4]で計算した T_s に $1^{\circ}C$ 追加して F_w を計算したうえで、 $20[W/m^2]$ からの減少量で示しなさい。

選択問題(環境物理学)

問題番号: 3

(1枚の内1)

放射性同位元素に関する以下の問いに答えよ。

[1]

鉛(Pb)を含む化合物 100.0[g]を酸によく溶解し、無担体の放射性鉛の 2000[Bq]を加えよく攪拌した。酸を中和し、塩化ナトリウムを加え、鉛の一部を塩化鉛(PbCl_2)の沈殿にした。この沈殿の一部を取り、重量と放射能を測定したところ、それぞれ 2.781[g]、100.0[Bq]であった。元の化合物中の鉛の重量パーセントを有効数字3桁で求めよ。ただし、放射性鉛 2000[Bq]の重量および減衰は無視でき、原子量は Pb: 207.19 Cl: 35.45 とする。

[2]

バナナはカリウムを豊富に含む食物として知られている。1本 150[g]のバナナを食べたとき、その中に含まれる ^{40}K による実効線量を求めよ。ただし、バナナ 100[g]あたりのカリウム含有量は 360[mg]、 ^{40}K の同位体存在率は 0.0117[%]、 ^{40}K の半減期は 1.28×10^9 [年]、 ^{40}K を経口摂取したときの実効線量係数は 6.2×10^{-9} [$\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$]とする。答えは有効数字2桁で記し、その導出過程も示せ。

選択問題(環境化学)

問題番号: 4

(2枚の内1)

水の消毒や酸化処理で一般的に用いられる次亜塩素酸ナトリウム (NaOCl) について以下の文章を読んで, [1]~[4]に答えなさい。

NaOCl は水中で Na^+ と OCl^- に解離し, 常温 (25 °C), 中性およびアルカリ性条件下で, 以下の平衡が成り立っている。なお, 中性およびアルカリ性条件下では Cl_2 の存在は無視できる。



HOCl, OCl^- はともに酸化剤として働く。この際の HOCl の半反応式はアルカリ性条件下では,



であり, OCl^- の半反応式はアルカリ性条件下では,



である。 OCl^- は条件によっては還元剤としても働き, 自身は塩素酸イオン (ClO_3^-) に酸化される。この際の半反応式はアルカリ性条件下では,



となる。実際, アルカリ性条件下で NaOCl 水溶液の保存中に一部の OCl^- が OCl^- 自身により酸化され ClO_3^- が生成することがある。これは不均化反応の一種である。

HOCl や OCl^- は, 水中の有機物と反応し, 水道水質基準項目の一つである $\boxed{\text{エ}}$ などの塩素化物が生成するが, 生成物は塩素化物でない場合も多い。例えば, HOCl や OCl^- とトリメチルアミンとの反応では, $\boxed{\text{オ}}$ が生成する。

[1] (ア) ~ (オ) にあてはまる半反応式または物質名を記しなさい。

[2] 下線部に関して、式(3), (4)を利用して、 OCl^- が不均化反応により分解し、 ClO_3^- が生成する際の化学反応式を記しなさい。

[3] 下線部の反応は OCl^- 濃度について 2 次反応となる。つまり、 OCl^- の減少速度は以下の微分方程式で記述できる。

$$\frac{d[\text{OCl}^-]}{dt} = -k[\text{OCl}^-]^2 \quad (5)$$

ここで、 t は時間(s), $[\text{OCl}^-]$ は物質 OCl^- のモル濃度(mol/L), k は反応速度定数(L/(mol・s))である。いま、pH が 11 で一定、つまり HOCl は系内にほとんど存在せず反応に関与しないとみなせる場合、 OCl^- の初期濃度が 1.0 mol/L, $k = 5.0 \times 10^{-8}$ L/(mol・s) とすると、この反応により初期濃度の 10%の OCl^- が分解されるのに必要な時間は何日か有効数字 2 桁で求めなさい。

[4] 式(2)で示される HOCl の酸化剤としての半反応の標準電極電位は+1.05 V である。このとき OCl^- の酸化剤としての半反応の標準電極電位を有効数字 2 桁で求めなさい。温度は 25 °C とし、イオン強度の影響は無視できるとして計算しなさい。なお、ファラデー定数 9.65×10^4 C/mol, 気体定数 8.31 J/(K・mol), 水のイオン積 $[\text{H}^+][\text{OH}^-]=10^{-14}$ を用いてもよい。

選択問題(環境化学)

問題番号: 5

(2枚の内1)

排水の水質に関する以下の文章を読んで、[1]~[5]に答えなさい。必要に応じて、原子量は $H=1$, $C=12$, $N=14$, $O=16$, $Cl=35.5$, $Mn=55$, $Ag=108$ を用いなさい。計算結果は、有効数字 2 桁で示しなさい。

日本において水質汚濁防止法により定められている排水基準の項目として、水素イオン濃度(水素指数)(pH)、生物学的酸素要求量(BOD)、化学的酸素要求量(COD)、浮遊物質(SS)、【①】抽出物質含有量(a)、【②】含有量、【③】含有量などが挙げられる。

【②】含有量および【③】含有量については、排出先の湖沼や海域での富栄養化を管理するためなどに定められている。排水中に含まれる【②】の形態として、【ア】、【イ】、【ウ】などの無機性、および動植物体由来する有機性に分けられ、排水や環境水中からガス態へ変換されることがある。排水中に含まれる【③】の形態も無機性および有機性に分けられ、排水や環境水中からガス態へ変換されることはほとんどない。排水中から有価物としてこれらを含む物質を回収・活用する技術(b)も開発されつつある。

[1] COD は、水中の有機物を酸化する際に消費される酸化剤の量を酸素量に換算したものをいう。

[1-1] COD の測定に用いられる酸化剤として、マンガン (Mn) を含有する化学物質名を答えなさい。

[1-2] 排水中に塩化物イオン (Cl^-) が含まれていると、COD の測定を妨害することが知られている。COD の分析時に酸化剤が十分あり Cl_2 にまで酸化されるとして、排水中に Cl^- が 10 g/L 含まれている場合には、COD の測定値が何 g/L 増加することになるかを計算しなさい。

[1-3] Cl^- の妨害を防ぐ方法の一つとして、COD の測定時に硝酸銀 ($AgNO_3$) を添加する方法が用いられる。 Cl^- が 10 g/L 含まれている排水試料 100 mL に対して、 200 g/L の $AgNO_3$ 溶液 5 mL が妨害を防ぐのに十分かどうか、計算により確認しなさい。なお、 Cl^- 1 mol の妨害を防ぐのに、 $AgNO_3$ が 1 mol 必要であるとする。

[1-4] 排水処理施設から排出される SS 成分の元素組成が、 $C_5H_7O_2N$ で表されるとする。この SS 成分 1.0 g の COD の測定値が 0.60 g の場合、理論的酸素要求量に対する分解率を計算しなさい。

[2] 下線(a)は、排水中の油分を表す指標であり、有機溶媒を用いて測定される。【①】に入る化学物質名を答えなさい。

選 択 問 題 (環 境 化 学)

問題番号： 5

(2 枚の内 2)

[3] 有機溶媒を用いた抽出操作に関する以下の文章を読んで、《 あ 》 ~ 《 う 》にあてはまる数式を答えなさい。

水中に微量濃度で溶解する物質 X を定量分析するためには、物質 X に対する溶解度が大きく、しかも水と混じり合わない有機溶媒を利用して抽出操作を実施し、分離・濃縮する方法がある。水中の pH を調整しており、物質 X の解離による影響はないとして、2つの液体の間で次の化学平衡が成立する。



式(1)において、aq および org は、それぞれ水相および有機溶媒相を意味する。式(1)は化学平衡を表すことから、ある温度における平衡定数 (X の両相への分配定数) K は、それぞれの相中の物質 X の濃度 (mmol/L) を $[X_{aq}]$ および $[X_{org}]$ とすると、

$$K = \text{《 あ 》} \quad (2)$$

となる。もともと V_{aq} mL の水中に a mmol の物質 X が溶解している時、 V_{org} mL の有機溶媒で物質 X を抽出することを考える。平衡状態では、 b mmol の物質 X が水相に残るとすると、 a と b の関係は式(3)のようになる。

$$b = \text{《 い 》} \cdot a \quad (3)$$

この後、有機溶媒相を分離し、水相に再び同量 (V_{org}) の有機溶媒を添加し、平衡状態にした場合、水相中に残る物質 X の量 c mmol は、上と同様にして、式(4)で表される。

$$c = \text{《 う 》} \cdot a \quad (4)$$

[4] 【 ② 】 【 ③ 】 にあてはまる元素名、および (ア) ~ (ウ) にあてはまる化学物質名を答えなさい。

[5] 下線(b)について、排水中に含まれる【 ② 】 もしくは【 ③ 】 の有効利用方法の例を1つ、1行程度で説明しなさい。

[1] 下図のような容積(V_1+V_2) [m^3]の湖沼があり、湖沼の上流側を区画1とし、下流側を区画2とする。その流動状態から2槽の完全混合槽列状態と見なすことができるとする。ここで、ある化学物質 X についての湖沼内での挙動について着目する。いま、化学物質 X を含む水がこの湖沼へ流量 Q [m^3/hr]、濃度 C_0 [kg/m^3]で区画1に流れ込み、区画1からは、流量 Q [m^3/hr]で下流の区画2へ流れているものとする。区画2では流量 Q [m^3/hr]で湖沼から排出されているものとする。

湖沼内では、化学物質 X は、生物学的、化学的、物理学的に変化する。区画1では、生物学的作用により反応速度 R_{b1} [$kg/(m^3 \cdot hr)$]で減少し、化学的作用により反応速度 R_{c1} [$kg/(m^3 \cdot hr)$]で増加、物理学的的作用により反応速度 R_{p1} [$kg/(m^3 \cdot hr)$]で水中より除去されているとする。また区画2では、同様に生物学的作用により反応速度 R_{b2} [$kg/(m^3 \cdot hr)$]で減少し、化学的作用により反応速度 R_{c2} [$kg/(m^3 \cdot hr)$]で増加、物理学的的作用により反応速度 R_{p2} [$kg/(m^3 \cdot hr)$]で水中より除去されているとする。

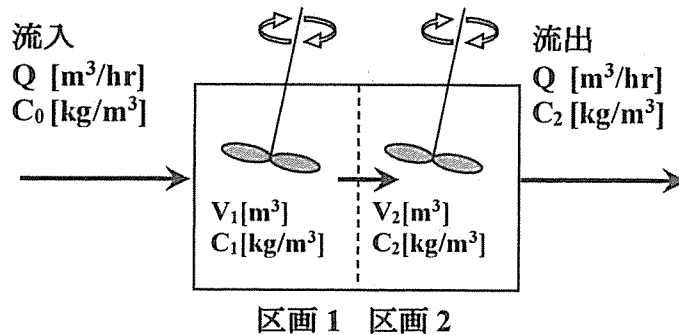


図 湖沼における流動概念図

凡例:

- | | |
|-------------------------|--------------|
| Q: 流入および流出流量 | [m^3/hr] |
| V_1 : 区画1の容積 | [m^3] |
| V_2 : 区画2の容積 | [m^3] |
| C_0 : 流入水中の化学物質 X の濃度 | [kg/m^3] |
| C_1 : 区画1での化学物質 X の濃度 | [kg/m^3] |
| C_2 : 区画2での化学物質 X の濃度 | [kg/m^3] |

[1-1] 区画 1, 区画 2 での化学物質 X の物質収支式を示せ。ただし容積変化は無いものとする。

[1-2] この場合の滞留時間(水理的滞留時間)は, 区画 1, 区画 2 で各々どれだけか。また, 物質の系内での反応による増減がなく, かつ流入水中に化学物質 X が存在しないとき(つまり $C_0 = 0$ [kg/m³] のとき), 区画 1 の化学物質 X が約 95%流出するには, 区画 1 の滞留時間の何倍(整数倍)の時間が必要とされるか。ただし, 区画 1 の初期濃度は 0 でないものとする。

[1-3] 下線部の「生物学的作用」について, 具体的な事象を 2 つ挙げ, 簡単に説明しなさい。

[1-4] 湖沼内での初期の化学物質 X の濃度が, 区画 1 では C_x [kg/m³], 区画 2 では 0 [kg/m³] であるとする。湖沼内での生物学的作用はそれぞれ各区画の濃度の一次式で表現できるとし, 物理学的作用や化学的作用は生じないとする(すなわち $R_{b1} = kC_1, R_{b2} = kC_2, R_{c1} = R_{c2} = R_{p1} = R_{p2} = 0$ [kg/(m³·hr)])。このとき, 区画 1, 2 での化学物質 X の濃度変化はどのようになるのか。[1-1]で求めた物質収支式を解き, その解析解を求めなさい。ただし, 区画 1, 2 は各々同じ容量 (V [m³]) であるとし, 流入水濃度 C_0 [kg/m³] は 0 でないものとする。

以下の文章について、[1]から[12]に答えなさい。

ヒトの体は、数十兆個の細胞から構成される。個々の細胞は細胞膜を有し、外界との境界としている。細胞膜は、[ア]分子の並んだ二重層を形成している。このため、一般に、[イ]分配係数の高い物質は細胞膜を透過しやすい。

外来異物には、我々ヒトをはじめとする生物やその細胞に影響を及ぼすものがあり、化学物質や粒子、微生物等が含まれる。外来異物は、様々な経路で体内に取り込まれ([ウ]され)、体内の様々な部位に[エ]し、肝臓等で[オ]され、胆汁や尿等から体外に[カ]される。この[ウ]、[エ]、[オ]、[カ]の過程を体内動態(a)という。生体内に取り込まれた後、分解されにくく、[キ]性の高い物質は、一般に、生体内に蓄積されやすい。こうした物質は、[ク]半減期が長い物質(b)ということができる。

外来異物は、肝臓等で[オ]され、一般には、水溶性が高く、有害性が少ない化学形態に変換され、体外に[カ]されることが多い。この化学的変換に関わる生体反応には、生体内の多様な酵素が関わっている。これらの酵素反応には、酸化反応、還元反応、[ケ]反応や生体内分子の〈A〉反応が含まれる。〈A〉反応では、〈B〉、〈C〉等の生体内極性基が導入され、より一層水溶性が高く、有害性が少なく、組織や細胞に取り込まれにくい化学形態に変換される。これらの酵素は、細胞分画した際、〈D〉画分に多く見られる。

外来異物である農薬や界面活性剤によるヒトや生態系への影響が報告されている。農薬としては、種々の生物の酵素であるコリン[コ]を阻害する作用を有する有機[サ]系農薬や、生体内での濃縮性が高い有機[シ]系農薬がその代表である。有機[シ]系農薬の一部や界面活性剤等は、いわゆる「環境ホルモン」として生態系に影響(c)を及ぼしている可能性が指摘されている。一方、金属に関しては、カドミウムはヒトに有害な金属の代表である。カドミウムは、急性の曝露により肝臓の障害を、慢性の曝露により[ス]臓の障害(d)をきたす。このように、ある外来異物によって有害な影響を受けやすい臓器を標的臓器という。また、水銀もヒトに有害な金属である。水銀は、環境中で3つの形態で存在し、それぞれ、化学的性質も健康影響も全く異なる(e)。鉛も、同様に有害な金属で、末梢[セ]障害や貧血をきたすことがある。貧血の原因は、赤血球に含まれる鉄含有タンパク質である[ソ]を構成するヘムの合成にかかわる酵素の阻害であり、基質であるアミノレブリン酸の増加が障害の指標になる。このような生体指標を〈E〉という。

選択問題(環境生物学)

問題番号: 7

(3枚の内2)

一方、金属の中には、ヒトに必須のものも存在 (f) する。しかし、必須の金属でさえ、過剰摂取は有害となる場合が多い。

- [1] [ア]から[ソ]に適切な用語を入れなさい。
- [2] 〈A〉に入れる適切な用語を下記から選び、その記号を答えなさい。
(a) 縮合
(b) 抱合
(c) 連合
- [3] 〈B〉に入れる適切な用語を下記から選び、その記号を答えなさい。
(a) クエン酸
(b) 酢酸
(c) グルクロン酸
- [4] 〈C〉に入れる適切な用語を下記から選び、その記号を答えなさい。
(a) メタロチオネイン
(b) グルタチオン
(c) アルブミン
- [5] 〈D〉に入れる適切な用語を下記から選び、その記号を答えなさい。
(a) ミクロソーム
(b) 核
(c) n-ヘキササン抽出
- [6] 〈E〉に入れる適切な用語を下記から選び、その記号を答えなさい。
(a) サテライトマーカー
(b) バイオマーカー
(c) プロテインマーカー

選 択 問 題 (環 境 生 物 学)

問題番号： 7

(3 枚の内 3)

- [7] 下線部の体内動態(a)を規定する生体側の要因が、いくつか知られている。この要因を一つ挙げなさい。また、その規定要因が体内動態に影響を与える機構を二行程度で説明しなさい。
- [8] 下線部の[ク]半減期が長い物質(b)について、残留性有機汚染物質 (POPs) に指定されている物質がいくつかある。この物質群の特徴二点と代表的物質を二つ挙げなさい。
- [9] 下線部の「環境ホルモン」として生態系に影響(c)の記述について、内分泌かく乱化学物質 (環境ホルモン) の定義を、三行程度で説明しなさい。
- [10] 下線部の急性の曝露により肝臓の障害を、慢性の曝露により[ス]臓の障害 (d)という記述に関連し、肝臓と[ス]臓に障害が起こりやすい理由を二行程度で説明しなさい。
- [11] 下線部の3つの形態で存在し、それぞれ、化学的性質も健康影響も全く異なる (e)という記述に関連し、水俣病の原因となった水銀の形態とその健康影響として認められた症状を三行程度で述べなさい。
- [12] 下線部のヒトに必須のものも存在 (f)という記述に関連し、ヒトに必須である金属を、鉄以外で一つあげ、その理由を一行程度で述べなさい。

(下書き用紙 Sheet for drafting)

(下書き用紙 Sheet for drafting)