２０２２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１１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。問題番号５を解答する際は，裏にグラフ用紙が描かれている解答用紙を用いること。

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５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。

（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] 高位発熱量と低位発熱量

[2] 騒音に係る環境基準

[3] 全有機ハロゲン化合物

[4] 活量と活量係数

[5] 従属栄養生物

[6] 生物濃縮係数

選　択　問　題（環　境　物　理　学）	問題番号：　2

（２枚の内１）

図-1 に示すような管路系について考える。管路の中には流体を輸送するポンプや加熱器があり，機械的仕事を行っていて，外部との熱の授受があるものとし，非圧縮性完全流体でしかも時間的に変化のない定常運動を想定して，以下の問いに答えなさい。

[1] 以下の文章の空欄(A)-(G)を埋めなさい。

この管路系に関係するエネルギーの大きさを流体 1 kg あたりについて書き表す。重力加速度を g [m・s^{-2}]とすると 1kg の物体が地表面から高さ Z [m]にあるとき，物体は重力に逆らって仕事をしたと考えられる。この時，位置エネルギーは(A)と表せる。また，同物体が速度 u [m・s^{-1}]で運動しているときその物体の運動エネルギーは，(B)と表すことができる。さらに，流体が管内を流れるには管路の断面に作用する圧力に逆らって仕事をする必要がある。それに対応するエネルギーを圧力エネルギーといい，その大きさは圧力 P [Pa]と流体 1kg の体積 v_m [m^3・kg^{-1}]を用いて(C)と表すことができる。

ポンプなどによって流体に仕事がされたり，加熱器によって熱が供給されると，それらも考慮する必要がある。系に加えられる仕事率を W[J・s^{-1}]，加熱速度を Q[J・s^{-1}]とし，系に流入し，流出する質量流量を w [kg・s^{-1}]とすると，流体 1kg に対する仕事 W_m [J・kg^{-1}]と熱量 Q_m [J・kg^{-1}]はそれぞれ(D)，(E)で表される。

さらに，物質内部での原子・分子運動に基づくエネルギーを内部エネルギーと呼び U_m [J・kg^{-1}]と表すとし，ここまでの全項目について断面 1 と断面 2 のエネルギー収支を考える。断面 1，断面 2 の高さ，速度，流体 1kg の体積，圧力，内部エネルギーをそれぞれ Z_1，u_1，v_{m1}，P_1，U_{m1} と Z_2，u_2，v_{m2}，P_2，U_{m2} とすると，以下の式(1)が導かれる。

(F)　…　(1)

もし，外部からの熱や仕事がなく，系が等温に保持される場合，式(1)は式(2)のように表すことができ，これをベルヌーイの式という。

(G)　…　(2)

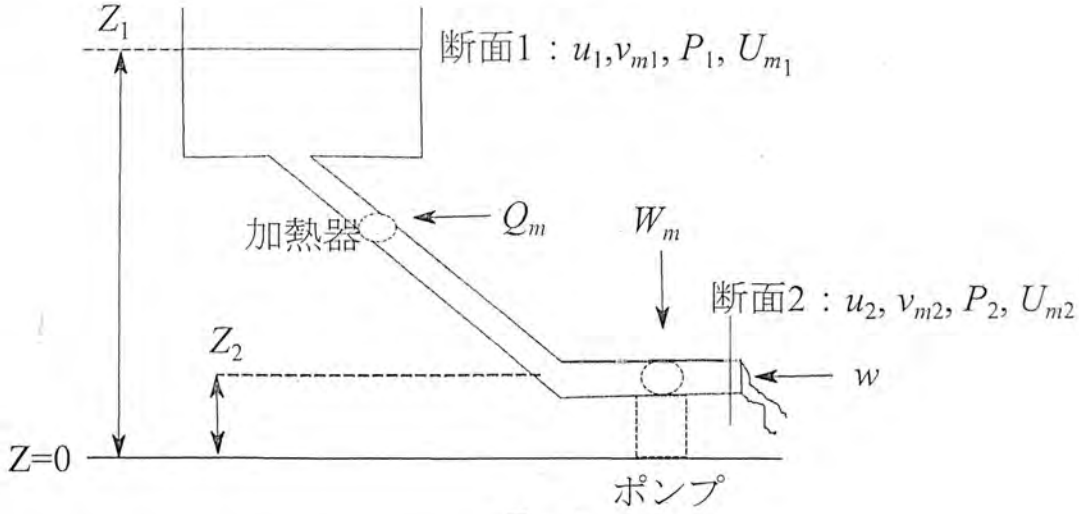

図 - 1

選　択　問　題（環　境　物　理　学）	問題番号：　2

（2枚の内2）

[2] 図-1 において，ポンプ，加熱器を作動させず，断面 1 から断面 2 に水が流れるとして，高さ Z_1 は 8m，Z_2 は 1m であるとき，断面 2 における水の平均流速を求めなさい。ただし，重力加速度は 9.8 [m・s^{-2}]とし，管路内では摩擦がないとし，断面 1 の面積は十分に大きく，水の流出入に対して水面の位置は変化しないとする。

[3] 図-1 において，加熱器は作動させず，ポンプで水を断面 2 から断面 1 へ流速 2.0 [m・s^{-1}]でくみ上げるのに必要となる理論所要動力[kW]を求めなさい。だたし，管は円管とし，その内径は 30 [mm]，水の密度 ρ は 1000 [kg・m^{-3}]とする。また，理論所要動力とは仕事 W_m に質量流量を乗じたものである。

選　択　問　題（環　境　物　理　学）	問題番号：　3

（1 枚の内 1）

[1] 次の文章の空欄(　①　)～(　⑩　)を適切な語句，記号，数式，または数値で埋めなさい。(　⑥　)，(　⑧　)は選択肢から選び，(　⑦　)，(　⑨　)の数値は，有効数字 2 桁で示しなさい。

放射性物質の体内への経路として，(　①　)，(　②　)，経皮侵入の 3 つが挙げられる。体内に取り込まれた放射性物質は，その物理的，化学的特性により，特定の組織，臓器に集積することがある。例えば，^{131}I は(　③　)に，^{90}Sr は(　④　)に集積しやすい。

体内に取り込まれた放射性物質は，代謝などにより体外に排出されることによって体内から減少する。体内に取り込まれた物質の量が排出により半分になるまでの時間を生物学的半減期(T_b)という。一方，放射性物質はそれぞれ核種に固有の物理的半減期(T_p)に従って減少するので，体内に放射性物質が取り込まれた場合，これら 2 つの半減期に従って体内から減少すると考えられる。これら 2 つの半減期が組み合わされた半減期を実効(あるいは有効)半減期 (T_e)と定義することができ，T_eは，T_b，T_pを用いて以下のように表すことができる。

$$T_e = (\quad ⑤ \quad)$$

例えば，^{131}I の場合，T_pは(　⑥　)であり，T_bを 80 日とすると，T_eは(　⑦　)日となる。また，^{137}Cs の場合，T_pは(　⑧　)であり，T_bを 100 日とすると，T_eは(　⑨　)日となる。

一般に，$T_p >> T_b$のとき，T_eは(　⑩　)に近い値となる。

【⑥，⑧の選択肢】

1 日，3 日，8 日，10 日，30 日，80 日，100 日，1 年，3 年，8 年，10 年，30 年，80 年，100 年

[2] ^{235}U の物理的半減期が 7.04×10^{8} 年，^{238}U の物理的半減期が 4.47×10^{9} 年であるとする。^{238}U と ^{235}U の原子数をそれぞれ N(^{238}U)，N(^{235}U)と表すとき，現在の原子数比 N(^{238}U)／N(^{235}U)が 138 であるとすると，地球誕生時（ここでは 45 億 4 千万年前の時点とする）では，その原子数比 N (^{238}U)／N (^{235}U)はいくらであったと考えられるか。有効数字 3 桁で示しなさい。

選　択　問　題（環　境　化　学）	問題番号：　4

（２枚の内１）

[1] 以下の大気中に放出された炭化水素の反応過程に関する記述を読み，以下の[1-1]～[1-5]の設問に答えなさい。答えが数値の場合，単位を明記しなさい。

環境中に炭化水素が放出された場合，低沸点の分子 ①のほとんどはガスとして大気中に拡散することになる。それらは多くの反応段階を経て酸化され，最終的には水と二酸化炭素とになる。大気中，太陽光の存在下では OH ラジカル（·OH）との反応が主要な除去過程の始まりとなっている。飽和炭化水素の場合，この時の反応の種類は·OH による水素の引き抜き反応 ②である。一方，不飽和炭化水素の場合，·OH による引き抜き反応の他に·OH の付加反応 ③が起こり得る。また，大気中にはオゾンが存在し，不飽和炭化水素と直接的に反応してオゾニド ④と呼ばれる過酸化物を生成する。このように除去過程の反応経路は複数存在するが，それぞれの寄与の程度は，反応速度を比較することで定量的に評価できる。

[1-1] 炭素数 4 の炭化水素は低沸点（沸点 4 ℃以下）であり下線①の分子に該当する。このうち分子式 C_4H_8 で表される分子には 6 種の異性体が存在するが，それらの構造式とそれぞれの系統名（IUPAC 名）を書きなさい。

[1-2] Methane を例として，下線②の引き抜き反応と，それに続く可能性が最も高い O_2 との反応式を書きなさい。なお、第三体を示す場合は M としなさい。

[1-3] [1-1]で答えた異性体のひとつを例として，下線④のオゾニドの構造式を書きなさい。

[1-4] 下線③の反応の一つである propene との反応は式(1)（M は第三体），オゾンとの反応は式(2)のように書ける。

$$\cdot OH + C_3H_6 + M \rightarrow \text{products} + M \qquad (1)$$

$$O_3 + C_3H_6 \rightarrow \text{products} \qquad (2)$$

式(1)と式(2)の擬一次反応速度定数（${}^1k_{OH}$, ${}^1k_{O3}$ とする）および各式の反応だけで消失すると考えた場合の propene の大気中での寿命（ネイピア数 e を用いて 1/e になる時間）を計算し，どちらが優勢な除去過程であるか判定しなさい。ただし，·OH とオゾンの濃度（数密度）は反応が進行しても変化せず，それぞれの二次反応速度定数（${}^2k_{OH}$, ${}^2k_{O3}$）と·OH とオゾンの定常濃度は以下のとおりであるとする。また，式(1)の反応は高圧限界に達しているものとする。

選　択　問　題（環　境　化　学）	問題番号：　4

（２枚の内２）

$^{2}k_{\cdot OH} = 3.5 \times 10^{-11}$ cm^3 molecule^{-1} s^{-1} （298 K）

$^{2}k_{O3} = 1.1 \times 10^{-17}$ cm^3 molecule^{-1} s^{-1} （298 K）

$[\cdot OH] = 3.0 \times 10^{6}$ molecule cm^{-3}

$[O_3] = 5.0 \times 10^{11}$ molecule cm^{-3}

[1-5] ·OH と炭化水素の反応は夜間にはほとんど進行しない。その理由を答えなさい。

選　択　問　題（環　境　化　学）	問題番号：　5

（１枚の内１）

[2] 大気中の SO_2 ガスの水への溶解に関する以下の[2-1]～[2-6]の設問に答えなさい。

温度 298K，大気圧 1 atm の大気に SO_2 ガスが一定の分圧 2×10^{-8} atm 含まれるとき，その大気に接する水に SO_2 が溶解するプロセスについて考える。SO_2 ガスの水への分配は Henry の法則にしたがい，式(1)であらわされるとする。水に溶解後，SO_2 は式(2)から(3)の反応により，様々な化学種を生成する。式中の K_H は無次元の Henry 定数，log は 10 を底とする常用対数である。

なお，本問では，気体定数は 0.082 L atm mol^{-1} K^{-1} とし，系は理想溶液と理想気体から成るとみなせるとする。また，価数が 4 価の水中硫黄の化学種のモル濃度の合計値を S(IV)-tot [mol L^{-1}] と称することにする。

$$SO_{2(g)} + H_2O \rightleftharpoons H_2SO_{3(aq)} \quad \log K_H = 1.485 \quad (K_H = 30.55) \quad (1)$$

$$H_2SO_{3(aq)} \rightleftharpoons HSO_3^- + H^+ \quad \log K_{a1} = -1.81 \quad (K_{a1} = 0.0154) \quad (2)$$

$$HSO_3^- \rightleftharpoons SO_3^{2-} + H^+ \quad \log K_{a2} = -9.0 \quad (K_{a2} = 1.0\times10^{-9}) \quad (3)$$

[2-1] SO_2 ガスの分圧 2×10^{-8} atm を，大気中の SO_2 ガスの濃度 [mol L^{-1}] に変換しなさい。

[2-2] Henry 定数 K_H を用いて，水中に溶解した $H_2SO_{3(aq)}$ の濃度[mol L^{-1}]を算出しなさい。

[2-3] H_2SO_3 が解離してその 50%が HSO_3^- になるときの pH はいくらか，必要に応じ計算して答えなさい。

[2-4] S(IV)-tot と水素イオン濃度の関係を式で示しなさい。

[2-5] 縦軸が対数軸のグラフ用紙に，横軸は 1 から 7 の範囲の pH 値，縦軸は S(IV)-tot をプロットしたグラフを作成しなさい。なお，[2-3]で求めた pH 値のプラスマイナス 1 以内の範囲で数点，残りは 2 点ほどの pH 値を選んで，S(IV)-tot を算出すれば，比較的簡単にグラフを描ける。グラフ用紙は解答用紙に添付したものを使いなさい。

[2-6] 本問のように SO_2 ガスが大気中に一定の分圧で存在する条件下で，S(IV)-tot をできるだけ多くするには，溶液の pH についてどのような条件としたらよいか，答えなさい。

選択問題（環境生物学）	問題番号：６

（２枚の内１）

一般的に，河川では浮遊性の藻類は増殖が困難であるのに対して，停滞水域では，藻類の大量発生が生じやすくなる。この現象に関連した，以下の[1]～[5]に答えなさい。

[1] 藻類の比増殖速度 μ は次式であらわされる。μ を一定とするとき，次式の解析解を求めなさい。

$$\frac{\mathrm{d}X}{\mathrm{d}t}=\mu X \qquad (1)$$

ここで，X：藻類濃度，t：時間，μ：比増殖速度

[2] 藻類の発生している停滞水域を完全混合槽とみなし，その容積を V，流入流量を Q，水域内の藻類濃度を X，藻類の比増殖速度を μ とする。流入水には藻類は存在しないものとする。

[2-1] この水域における藻類に関する物質収支式を示しなさい。

[2-2] 水域内で藻類が増加するには，比増殖速度 μ と希釈率 D（$=Q/V$）がどのような関係にあれば良いかを，[2-1]で解答した物質収支式を踏まえて1～2行で説明しなさい。

[3] 実際には，比増殖速度 μ は基質濃度 C の影響を受け，その関係はMonod式で表されることが多い。

[3-1] 最大比増殖速度を μ_{max}，半飽和定数を K とする時，Monod式を示しなさい。

[3-2] 基質が十分に存在し，増殖に適した条件の新しい培地に微生物を植種し，回分式で培養した場合の微生物細胞数の時間変化を表したものを微生物の増殖曲線という。増殖曲線について，図を描いて各相の名称を記載しなさい。

[3-3] Monod式が増殖曲線のどの相を表現しうるかを5行程度で説明しなさい。

[4] [1]～[3]の解答を踏まえ，

[4-1] 停滞水域では藻類の大量発生が生じやすい理由を2行程度で説明しなさい。

[4-2] 水中の栄養塩濃度が高いほど藻類の大量発生が生じやすい理由を2行程度で説明しなさい。

選　択　問　題（環　境　生　物　学）	問題番号：　6

（２枚の内２）

[5] 藻類 A 及び B の比増殖速度とリン濃度の関係が Monod 式で表せるとする。最大比増殖速度 μ_{max} 及びリンに関する半飽和定数 K が下表の場合，以下の[5-1] [5-2]に答えなさい。ここで，水域のリン濃度のみが増殖の制限因子となる条件を仮定する。

[5-1] 藻類 A 及び B に関する Monod 式を図示しなさい。

[5-2] 水域で藻類 B が優占的に増殖するリン濃度の条件を 2 行程度で説明しなさい。

表　藻類 A 及び B に関する Monod 式のパラメーター

	μ_{max} (1/day)	K (μg/L)
A	0.40	10
B	0.80	30

選択問題（環境生物学）	問題番号：7

（2枚の内1）

河川の水質汚濁指標に関する以下の文章を読み，[1]～[4]に答えなさい。計算に際して必要な場合，原子量はH=1，C=12，N=14，O=16，ネイピア数 $e = 2.72$ とすること。

河川の環境基準の項目に含まれている生物化学的酸素要求量（BOD）は，微生物による好気的酸化反応に伴う酸素消費量で測定される。炭素（C），水素（H），酸素（O），窒素（N）で構成される有機物を $C_nH_aO_bN_c$（n a b c は非負の整数）として，硝化反応を抑制する場合の酸化反応は，式(1)のように表される。

$$C_nH_aO_bN_c + \boxed{①}\ O_2 \rightarrow \boxed{②}\ CO_2 + \boxed{③}\ H_2O + c\ \boxed{④} \qquad (1)$$

BOD試験を20℃で5日間行う際に，微生物の増殖・分解は考慮せずにこの酸化反応が70%進むとすれば，グルコース（$C_6H_{12}O_6$）1 g の BOD 量は ⑤ g，グルタミン酸（$C_5H_9NO_4$）1 g の BOD 量は ⑥ g となる。

河川の流下過程で汚濁物質濃度が徐々に減少する現象は，⑦ と呼ばれる。濃度が減少するのは，希釈，混合，拡散，⑧，微生物による生物学的分解などによる。

河川における汚濁物質及び溶存酸素（DO）濃度について，河川の流れを押出し流れとして，流下方向への変化を考える。汚濁物質の分解速度は，汚濁物質濃度に比例する一次反応式で表されるとして，その際の脱酸素係数を k_1（1/d）とする。t を汚濁物質の混合地点からの流下時間（d），t における汚濁物質濃度を L（mg/L），$t = 0$ での L を L_0（mg/L）として，L の変化は，L，k_1 を用いて式(2)で表される。

$$\frac{dL}{dt} = \boxed{⑨} \qquad (2)$$

これより，L と t の関係は，

$$L = \boxed{⑩} \qquad (3)$$

と表される。$L_0 = 10$ mg/L，$k_1 = 0.2$（1/d），$t = 5$ d の時，L は ⑪ （mg/L）となる。

<u>飽和 DO 濃度 (a)</u> を C_S（mg/L），時刻 t における DO 濃度を C（mg/L）とする。大気からの酸素供給速度は，C_S と C の差に比例するとして，その際の再曝気定数を k_2（1/d）とする。汚濁物質 L が 1 mg 分解する際に，DO が 1 mg 消費されるとする。大気からの酸素供給及び汚濁物質分解による DO 消費を考えると，C の変化は，C_S，C，L，k_1，k_2 を用いて式(4)で表される。

選　択　問　題（環　境　生　物　学）	問題番号：　7

（２枚の内２）

$$\frac{\mathrm{d}C}{\mathrm{d}t} = \boxed{⑫} \tag{4}$$

時刻 $t=0$ における C を C_0（mg/L）として，式(5)が求まる。

$$C = C_s - (C_s - C_0)e^{-k_2 t} + \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1}\left(e^{-k_2 t} - e^{-k_1 t}\right) \tag{5}$$

これは ⑬ 式と呼ばれている。 ⑬ 式は，汚濁物質が河川に流入直後の高濃度の間は DO 濃度が ⑭ し，汚濁物質が低濃度になると DO 濃度が ⑮ することを示している。この DO 濃度と流下時間の関係を，DO の垂下曲線という。DO 濃度が低下すると，一部の微生物は酸素分子以外の化合物を電子受容体にして有機物を分解する。例えば ⑯ を電子受容体として用いる場合，有毒な硫化水素が発生する。

河川水質を論ずる場合には，水系感染症を引き起こす病原微生物の観点も重要である。多くの病原微生物が，人間や動物のふん便に由来することから，水のふん便汚染を示すと考えられる大腸菌群数 (b) などが指標として用いられる。水系感染症を引き起こす病原微生物の具体例として，細菌では《 i 》菌や《 ii 》菌などが，原虫類では《 iii 》や《 iv 》などが，ウイルスでは《 v 》ウイルスや《 vi 》ウイルスなどが知られている。

[1] ① ～ ⑯ にあてはまる適切な語句，式，もしくは数値を答えなさい。計算結果は小数第 2 位まで求めること。

[2] 下線部 (a) について，1 気圧の大気に接する 20℃の純水における飽和 DO 濃度（mg/L）として最も近い数値を下記から選び，答えなさい。

0.5　　0.9　　5　　9　　50　　90

[3] 下線部 (b) の測定方法である最確数による定量法とはどのような方法か，5 行以内で説明しなさい。

[4] 《 i 》～《 vi 》にあてはまる適切な語句を下記から選び，答えなさい。

アデノ	インフルエンザ	クリプトスポリジウム	酵母
コレラ	サルモネラ	ジアルジア	ノロ

（下書き用紙 Sheet for drafting）

（下書き用紙 Sheet for drafting）