

2021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。
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] 等価騒音レベル
- [2] 温室効果ガス
- [3] BOD と COD
- [4] オゾン層破壊
- [5] クリプトスポリジウム
- [6] 生物の多様性指数

選 択 問 題 (環 境 物 理 学)

問題番号： 2

(2枚の内1)

今、5,000 MBq の ^{60}Co の密封線源と 20,000 MBq の ^{137}Cs の密封線源が図-1 のように部屋 A の中央に厚さ 2 cm の鉛製線源格納容器に入れて置いてあるとき、その隣の部屋 B で作業する人の被ばく量を考える。部屋 A と部屋 B の間には厚さ 30 cm のコンクリートの壁があり、壁から線源までの距離は 2 m とする。 ^{60}Co の実効線量率定数が $0.305 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 ^{137}Cs の実効線量率定数が $0.0779 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 ^{60}Co と ^{137}Cs に対する鉛とコンクリートの実効線量透過率が図-2、図-3 のように与えられる時、部屋 A に置いてある 2 つの線源以外からの外部被ばく量は無視して、以下の設問[1]～[3]に答えなさい。

[1] 部屋 B 内の地点 C での実効線量率を求めなさい。2 つの線源と地点 C との距離は 2.3 m、実効線量透過率については図-2、図-3 からおよそその値を読み取ること。

[2] 放射線による外部被ばく防護の 3 原則とは何か、説明しなさい。

[3] 部屋 B で作業する人の一日当たりの実効線量を確実に 0.07 mSv 以下にするためには、作業者はどのような対策を立てる必要があるかを説明しなさい。ただし、[2]で示した 3 つの原則、それぞれに基づいて、3 つの外部被ばく防護策を提案しなさい。このとき、各提案において、一日当たりの実効線量を計算するために必要な作業条件は適当な値を仮定し、各防護策で一日当たりの実効線量を確実に 0.07 mSv 以下にできる理由を、数値を示して説明すること。

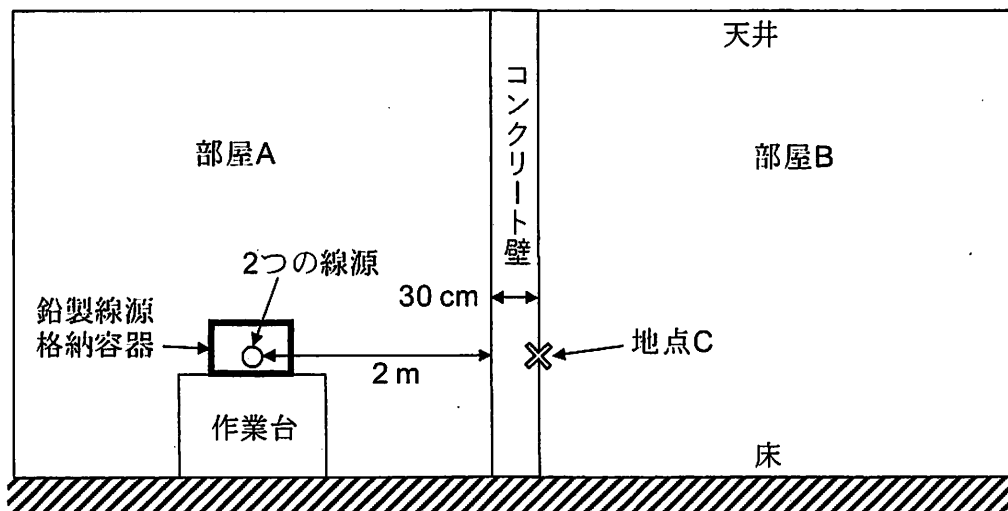


図-1 線源の位置と部屋の関係

選 択 問 題 (環 境 物 理 学)

問題番号： 2

(2 枚の内 2)

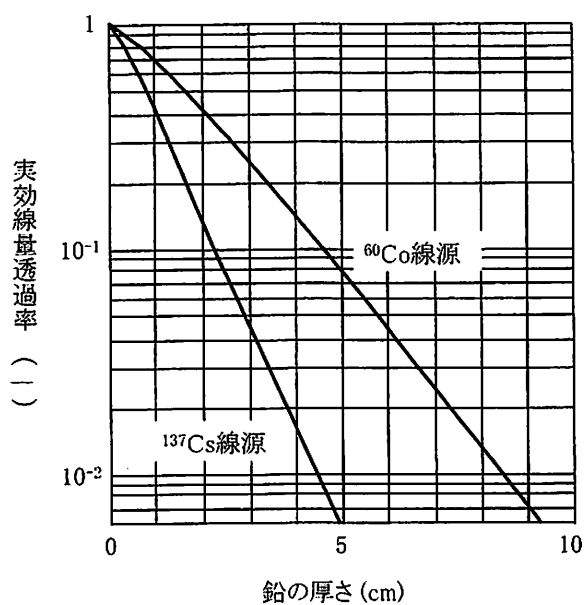


図-2 ^{60}Co と ^{137}Cs に対する鉛の実効線量透過率

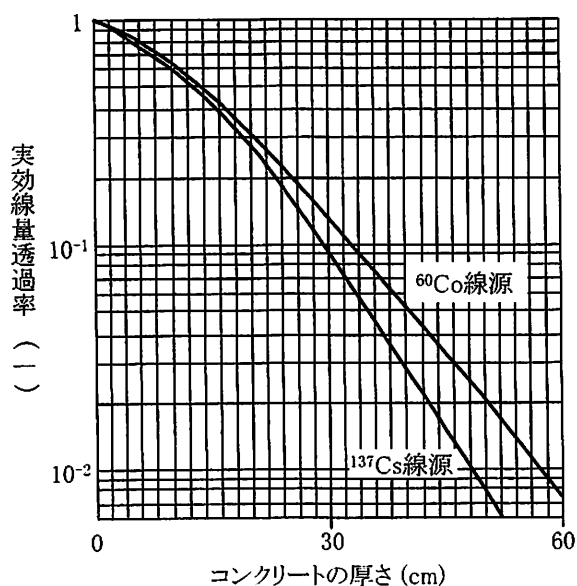


図-3 ^{60}Co と ^{137}Cs に対するコンクリートの実効線量透過率

選 択 問 題 (環 境 物 理 学)

問題番号: 3

(1枚の内1)

大気拡散に関する以下の問いに答えなさい。

[1] ある微小な直方体の空間 (各辺の長さが dx, dy, dz) を考え、その中のある物質 a の濃度を C とする。この微小空間における濃度の時間変化が式(1)で書けることを示しなさい。ただし、移流は考えず、拡散が x 方向のみについて発生していると仮定し、拡散によって運ばれる物質 a の単位時間当たりの移動量は濃度勾配に比例し、その拡散係数を K とする。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad \cdots (1)$$

[2] 上記の式(1)は Fick 型の拡散の微分方程式と呼ばれ、移流を考えない場合、 K が長い次元の空間中で一定として、 $x=0$ において、 $t=0$ で質量 Q_1 の物質 a が瞬間的に放出された際の濃度 $C(x,t)$ は式(2)のようになる。

$$C(x,t) = \frac{Q_1}{2\sqrt{\pi Kt}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Kt}\right) \quad \cdots (2)$$

これを応用して、 y 方向、 z 方向にも拡散があり、 x, y, z 方向の拡散係数を K として、ある座標 (x_0, y_0, z_0) に排出源がある場合の時刻 t 、座標 (x, y, z) における濃度式を示しなさい。ただし、ここでは地面の反射を考えないこととする。

[3] 次に道路のような線汚染源を考える。[2]を用いて、 x - z 平面に垂直で $(x_0, 0, z_0)$ を通る無限直線上に $t=0$ で単位長さあたり質量 Q_2 の物質 a が瞬間的に放出された時の時刻 t 、座標 $(x, 0, z)$ の濃度を示しなさい。ただし、必要に応じて式(3)のガウス積分を用いること。

$$\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(\frac{-(x-\alpha)^2}{\beta^2}\right) dx = \beta\sqrt{\pi} \quad \cdots (3)$$

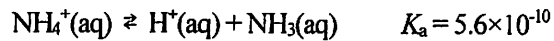
選 択 問 題 (環 境 化 学)

問題番号： 4

(1 枚の内 1)

アンモニウムイオンの解離に関する以下の設問に答えなさい。

なお、アンモニウムイオンは水溶液中では以下のように解離する。



- [1] 水溶液中の全アンモニア量に対する遊離アンモニア $\text{NH}_3(\text{aq})$ の割合 (R_{FN}) は、pH に依存する。 R_{FN} を pH の関数として表しなさい。また、平衡定数と標準反応 Gibbs エネルギーの関係 ($\Delta G^\circ = -RT \ln K_a$, R : 気体定数, T : 絶対温度) より、 R_{FN} は温度の関数としてどのように表されるか解答しなさい。
- [2] 水中のアンモニウムイオンを除去するためのアンモニアストリッピング法の原理と操作方法について、[1]で示した R_{FN} と pH, 温度の関係より、説明しなさい。
- [3] アンモニア性窒素濃度が高い排水の処理には、アンモニアストリッピング法が適している。生物学的な処理法と比較して、アンモニアストリッピング法の長所・短所を説明しなさい。

選 択 問 題 (環 境 化 学)

問題番号： 5

(2枚の内1)

以下の化学物質の光化学反応に関する文章を読んで、[1]～[2]の設問に答えなさい。

サンゴ礁は、過去数十年間にわたり減少傾向にあり、自然破壊、気候変動、海水の酸性化などの多数の脅威に直面している。近年、特定の化学物質による悪影響が注目されており、それは図-1に示す日焼け止めに含まれるオキシベンゾン（[ア]）やオクチノキサート（2-ethylhexyl-4-methoxycinnamate）などの紫外線吸収剤である。これらは、実験室内においてサンゴ礁に関わる数種の微生物への悪影響が確認されている。このような科学的根拠から、ハワイ州ではオキシベンゾンやオクチノキサートを含む日焼け止めの販売や流通を2021年1月1日より禁止する法案が可決された。

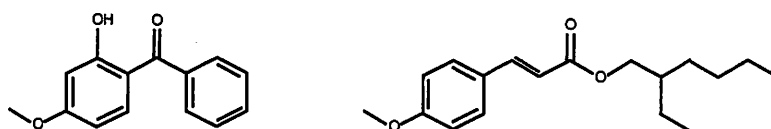


図-1 紫外線吸収剤オキシベンゾン（左）とオクチノキサート（右）の化学構造式

紫外線吸収剤であるオキシベンゾンとオクチノキサートは、オクチノキサートがUVBを吸収できるのに対し、オキシベンゾンはより波長の[イ]いUVAも吸収することができる。いずれも吸収した紫外線を主に熱エネルギーに変換する。

水中に排出された化学物質のうち、紫外線吸収剤のような紫外線を吸収する部位がない化学物質の一部は分解される。水中での光分解は、大きく[ウ]光分解と[エ]光分解に分けられる。前者は、化学物質による[オ]の吸収と分解反応の2段階からなっており、[オ]吸収過程はモル吸光係数、分解反応過程は量子収率として個別に評価され、光分解速度はモル吸光係数と量子収率という化学物質固有の値と、太陽光という自然条件を加味して計算される。ここで、実際の水環境では、太陽光が水中の化学物質に到達するまでに受ける影響として、植生や構造物による遮断や水面における[カ]、水中における[キ]などがある。

[1] 空欄[ア]に入る語句を下のa～cから選びなさい。また、[イ]～[キ]に入る適切な語句を答えなさい。

- 2-hydroxy-4-methoxybenzophenone
- 2-hydroxy-4-carboxylbenzophenone
- 2-hydroxy-4-methoxydiphenol

選 択 問 題 (環 境 化 学)

問題番号: 5

(2 枚の内 2)

- [2] 以下の文章を読んで[2-1]～[2-5]に答えなさい。答えが数値の場合、有効桁数は2桁とし、単位を明記しなさい。

水中の汚染物質 A は、太陽光で光分解することが分かっている。この特性を調べるため、A だけを含む水溶液を温度を一定に保ち、A の吸収極大波長に対応する 300 (±10) nm の紫外光を 1 W/cm^2 の強度で照射しながら、一定時間ごとにサンプリングし、波長 300 nm および 400 nm で分光光度法によって A の減少を追跡した。A の初濃度を変えて2回の実験を行い、表-1 のような結果を得た。

反応により A のみが減少し、生成物は1種のみであり、サンプルとして取り出した後の光分解反応は無視できるものとする。使用した測定用セルの光路長は 1.00 cm、A の初濃度は実験 1 では、1.00 mM、実験 2 では、それを適当に薄めて使用した。

表-1 A の光分解実験の測定結果

反応時間 (分)	吸光度の読み			
	実験 1		実験 2	
	300 nm	400 nm	300 nm	400 nm
0	1.799	0.270	0.433	0.065
10	1.355	0.194	0.325	0.046
30	0.805	0.099	0.193	0.024
60	0.438	0.037	0.105	0.009
120	0.254	0.005	0.061	0.001
300	0.225	0.001	0.054	0.000

- [2-1] 300 nm における A のモル吸光係数を求めなさい。
- [2-2] 実験 2 の A の初濃度を求めなさい。
- [2-3] 生成物の吸収スペクトルについて、この実験結果から分かることを簡単に説明しなさい。
- [2-4] この反応の反応次数は1次であるとして、反応速度定数を求めなさい。
- [2-5] 河川水中の A の測定を計画している場合、この他に実施すべき光分解の実験はどのようなものがあるか答えなさい。

選 択 問 題 (環 境 生 物 学)

問題番号： 6

(2枚の内1)

以下の文章を読み、[1]～[7]に答えなさい。

我々の体は細胞で構成されている。細胞膜は、脂質分子の並んだ【 ア 】層を形成しているため、一般に、【 イ 】分配係数の高い物質は細胞膜を透過しやすい。

ヒトをはじめとする生物やその細胞に影響を及ぼしうる外来異物には、化学物質や粒子、微生物などが含まれる。これらの外来異物は、様々な経路で体内に取り込まれる。取り込み経路には、初回通過効果を受けるという生理的特徴を有する経口曝露、呼吸を介して取り込まれる経【 ウ 】曝露や経皮曝露などがある。経路により体内への侵入速度は異なり、例えば、皮膚からの取り込みに比較し、粘膜からの取り込みは《 ① 》ことが一般的である。生体内に取り込まれた後、分解されにくく、脂溶性の高い物質は、一般に生体内に蓄積されやすい。こうした物質は、【 エ 】半減期が長い物質 (a) ということができる。

外来異物として、化学物質である農薬や界面活性剤などによる健康影響や生態系への影響が報告されている。農薬としては、有機リン系農薬 (b) や有機【 オ 】系農薬がその代表である。有機【 オ 】系農薬の一部や、一般河川水からも広く検出される界面活性剤である《 ② 》などは、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。

水道水の水質基準項目の中には多くの有害物質が含まれている。それらの物質の基準値を設定するためには、実験動物を用いた投与実験が行われることが多い。表-1 は、ある化学物質について、マウスを用いた投与実験を2年間行い、特定の臓器における病変の有無を調べた結果である。用量とは、単位体重あたり、1日あたりに、飲料水またはえさとして経口投与された化学物質の量 $[\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{day})]$ を意味する。この結果に基づいて、水道水質に関する評価値を議論することができる。

表-1 マウスを用いた投与実験の結果

用量 $[\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{day})]$	病変を有する個体数	マウス個体数
0.0	0	100
10.0	0	100
20.0	4	100
50.0	13	100
120.0	35	100

[1] 【 ア 】～【 オ 】に適切な用語を入れなさい。

[2] 《 ① 》に入れる適切な用語を選び、(i)～(iii)の記号で答えなさい。

(i) 速い (ii) 遅い (iii) 等しい

選 択 問 題 (環 境 生 物 学)

問題番号： 6

(2枚の内2)

[3] 《 ② 》に入れる適切な用語を選び、(i)～(iii)の記号で答えなさい。

(i) メフェナセツト (ii) イマゾスルフロン (iii) ノニルフェノール

[4] 下線部の【 エ 】半減期が長い物質 (a) 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。これらの物質群の特徴を3点と代表的物質を2つ挙げなさい。

[5]

[5-1] 下線部の有機リン系農薬 (b) については、脳神経系を中心とする健康影響が出現しやすい。この健康影響発現メカニズムを4行程度で説明しなさい。

[5-2] 水俣病においても、脳神経系の健康影響が大きな問題となった。水俣病について、原因物質とその生態系における動態、症状に焦点を当て、4行程度で説明しなさい。

[6] 下線部のいわゆる「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3行程度で説明しなさい。また、内分泌かく乱作用が疑われている環境汚染物質とその生態系への影響の具体的報告例を1つ、1行程度で説明しなさい。

[7] 表-1 の結果を用いて水道水質に関する評価値を算出する。以下の問いに順次答えなさい。

[7-1] 評価値は、一般に、NOAEL または LOAEL を用いて算出する。NOAEL および LOAEL について、日本語名と英語名を略さずに答えなさい。

[7-2] 表-1 の結果を用いて評価値を算出しようとする場合、NOAEL または LOAEL のいずれを用いるのが妥当かを答えなさい。またその値はいくらかを答えなさい。

[7-3] この病変が非発がん病変であったと仮定する。一般に用いられる不確実係数を設定したうえでTDIを求めなさい。

[7-4] 求めたTDIから、評価値（単位：mg/L）を試算しなさい。ただし、ヒトの1日の飲水量2L、平均体重50kg、またこの化学物質の水道水経由の割当率は10%であるとす。なお、割当率とは、食物、水道水、空気など、複数の曝露源を経由して摂取する全体の化学物質量のうち、それぞれの経路による曝露割合を意味する。

選 択 問 題 (環 境 生 物 学)

問題番号: 7

(2枚の内1)

有用物質の生産などを目的とする生物反応器での微生物増殖に関する以下の文章を読み、[1]～[4]に答えなさい。

回分培養および連続培養では、反応器中の培養液量がほぼ一定になるように運転されるのに対して、培養液量が増える運転を行うこともある。その例として、流加培養（半回分培養とも呼ばれる）を考える。これは、基質を反応器に供給しながら、培養液の引抜きは行わない培養方法である。

反応器に、流量 Q (L/d)、微生物濃度 $X_{in}=0$ (mg/L)、基質濃度 C_{in} (mg/L) で基質を流入させ、反応器内は完全混合とする。反応器内について、時間 t (d) における培養液量を V (L)、微生物濃度を X (mg/L)、基質濃度を C (mg/L) とする。 $t=0$ における培養液量は V_0 (L)、微生物濃度は X_0 (mg/L)、基質濃度は C_0 (mg/L) とする。培養液量は基質の供給に伴って増加し、 $\frac{dV}{dt} = Q$ である。

時間 t における反応器内の微生物量は VX (mg)、基質量は VC (mg) と表される。微生物の比増殖速度を μ (1/d)、基質の消費に伴い増殖する微生物の割合を Y (mg 微生物増殖量/mg 基質消費量) として、増殖した微生物の自己分解は考慮しないとする。微生物および基質についての物質収支式は以下のようになる。

$$\frac{d(VX)}{dt} = [\text{ア}] \quad (1)$$

$$\frac{d(VC)}{dt} = [\text{イ}] \quad (2)$$

V 、 C および X はいずれも時間 t の経過に従い変化するので、例えば V および X については以下の関係が成り立つ。

$$\frac{d(VX)}{dt} = \frac{dV}{dt} \cdot X + V \cdot \frac{dX}{dt} \quad (3)$$

これを参考にとすると、

$$\frac{dX}{dt} = [\text{ウ}] \quad (4)$$

$$\frac{dC}{dt} = [\text{エ}] \quad (5)$$

と表される。

Q が時間によらず一定の場合、 V と t の関係は、

$$V = [\text{オ}] \quad (6)$$

と表される。

選 択 問 題 (環 境 生 物 学)

問題番号: 7

(2枚の内2)

比増殖速度が基質濃度に影響されることを《 ① 》式で表すと、《 ② 》を $\mu_{\max}$ (1/d), C についての《 ③ 》を K (mg/L) として、

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{C}{K + C} \quad (7)$$

となる。この式を基本として、基質などによる阻害影響を含めて表すモデル式が種々提案されている (a)。

培養開始直後で基質が十分にあり、 $\mu = \mu_{\max}$ となる十分時間が短い間の t と VX の関係は、

$$VX = \text{【 力 】} \quad (8)$$

と表される。

培養を継続すると、反応器内の微生物量が増加し、基質供給律速となる。式(7)によらず、供給される基質がすべて消費され $C=0$ (mg/L) となる場合、 $t \rightarrow \infty$ で X は【 キ 】に近づく。

[1] 《 ① 》～《 ③ 》にあてはまる適切な語句を答えなさい。

[2] 【 ア 】～【 キ 】にあてはまる数式を答えなさい。

[3] 下線部(a)について、基質阻害を表すモデル式の例として最も適切なものを選び、(i)～(iv)の記号で答えなさい。阻害を表す定数を E (mg/L) として、 $E \ll C$ の条件下で基質阻害が生じているとする。

$$(i) \quad \mu = \mu_{\max} \cdot \frac{C}{K + C} \cdot \frac{C}{E + C}$$

$$(ii) \quad \mu = \mu_{\max} \cdot \frac{E + C}{K + C}$$

$$(iii) \quad \mu = \mu_{\max} \cdot \frac{C}{K + C + \frac{C^2}{E}}$$

$$(iv) \quad \mu = \mu_{\max} \cdot \frac{C}{K + C + \frac{E}{C^2}}$$

[4] 高濃度の基質により微生物反応が阻害される場合、回分培養よりも流加培養が有利である。その理由を2行程度で説明しなさい。

2021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 特別選考 試験問題

専門科目（小論文）

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. この問題冊子には、専門科目（小論文）に関する問題が1題記載してある。問題冊子は、表紙を除き合計1ページ（下書き用紙は含まない）である。
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（小論文および口頭試問）試験は、400点満点である。
5. 解答用紙は1枚である。
解答用紙の上部に必ず、受験番号・氏名を記入すること。
6. 試験時間は、2時間である。（午前9時から11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。

小 論 文

最近の新型コロナウイルス感染症の世界的流行のように、人類は何度となく感染症の流行に直面してきた。このような危機に対して、環境工学は公衆衛生の改善に重要な役割を果たしてきた。これまでの環境工学の公衆衛生分野での貢献について述べるとともに、今後環境工学がこの分野で果たすべき役割について述べなさい。

解答は横書きとし、1,000 文字以内とすること。

