

北海道大学大学院工学院修士課程
2020 年 4 月入学ならびに 2019 年 10 月入学
入学試験

環境フィールド工学専攻 北方圏環境政策工学専攻
環境創生工学専攻 環境循環システム専攻
共同資源工学専攻

専門 0 問題冊子

試験時間：9：00～12：00

注：

- ① 解答用紙の表紙にある問題選択票と 4 枚の解答用紙をはずしてはいけません。試験終了後、ホッチキスで留めたままそれらを提出しなさい。なお、2 枚の草案紙は持ち帰ること。
- ② 全部で 8 問ある問題のうちの 4 問についてのみ解答しなさい。
- ③ 1 つの問に対して、解答用紙は必ず 1 枚だけ使用しなさい。表面だけで解答しきれないときには裏面を使いなさい。解答用紙は補充しません。
- ④ 解答用紙のすべてに受験番号、問番号を、また、問題選択票と草案紙にも必ず受験番号を記入しなさい。

専門0 問1 (数学)

次の行列 A , B , C について以下の問いに答えよ.

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 4 \\ 4 & 7 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 1 \\ 0 & 1 & 3 \end{pmatrix} \quad C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 5 \\ 3 & 3 & 9 \\ 1 & 3 & -1 \end{pmatrix}$$

(設問 1) A の逆行列 A^{-1} を求めよ.

(設問 2) B の固有値と固有ベクトルを求めよ.

(設問 3) B を対角化する直交行列 P を求め, B を対角化せよ.

(設問 4) C の階数 $\text{rank } C$ を求めよ.

専門 0 問 2 (数学)

(設問 1) 次の曲線上の 1 点 (x_0, y_0) における接線と法線の方程式を求めよ.

$$y^2 = 4ax \quad (a \neq 0)$$

(設問 2) 次の定積分を計算せよ.

$$(1) \quad \int_0^1 \log(1 + \sqrt{x}) \, dx$$

$$(2) \quad \int_0^2 \frac{1}{(x^2 + 4)^{\frac{3}{2}}} \, dx$$

(設問 3) 次の関数を微分せよ.

$$y = x^{\log x}$$

専門0 問3 (数学)

次の微分方程式を解きなさい。

(設問 1) $\frac{dy}{dx} + 2y = -x^2$

(設問 2) $x \frac{dy}{dx} + y = x(1-x)$

(設問 3) $\frac{dy}{dx} - 2xy = xe^{x^2}$

(設問 4) $\frac{dy}{dx} - y \cos x = -\sin x \cos x$

専門0 問4 (物理)

図1の様に、水槽に密度 ρ_l の液体が溜められ、液体中の点 O を軸として鉛直面内で回転できる長さ L の質量の無視できる棒の先端に密度 ρ_s 、体積 v の小さな固体の球が取り付けられている。点 O を通る鉛直軸と棒のなす角度を θ とする。球の運動の接線方向の速度を u_s とすると、球には u_s に比例する抵抗 $C_0 u_s$ が運動と逆方向にはたらく。ここで、 C_0 は定数である。時刻 $t = 0$ において、 $\theta = \theta_0$ をもって静止させていた球を放したところ、時間 t と共に運動を開始した。重力加速度を g とする時、以下の問いに答えよ。なお、棒の重さ及び流体抵抗は無視できるものとし、十分に大きな水槽に溜められた液体中の球の運動に伴う液体の流れは十分に小さく液体は常に静水状態であると仮定する。

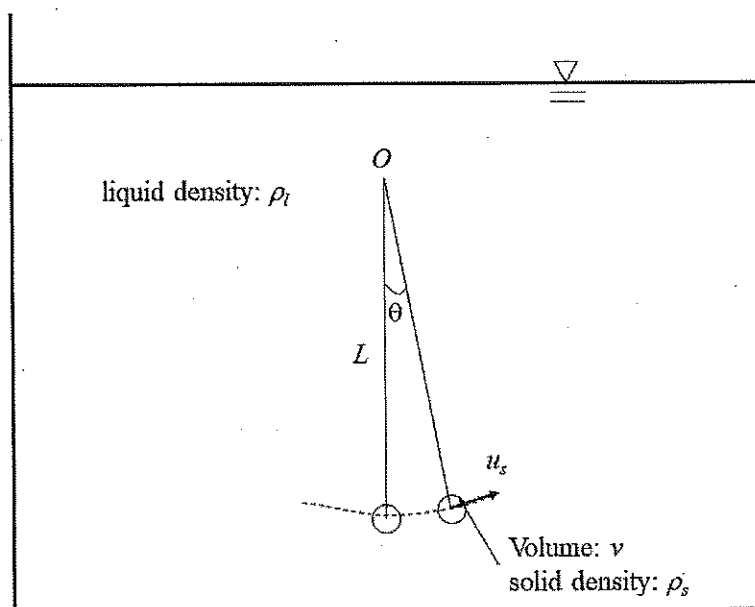


図1: 液体中の振り子

(設問1)

u_s を θ をもって記述すると、球の運動方程式は θ に関する微分方程式で表せられる。 u_s 以外の与えられた変数、定数のみを使って、球の運動方程式を与えよ。

(設問2)

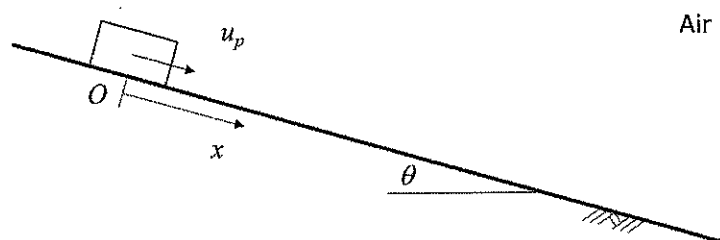
角度 θ が十分小さい時、 $\sin \theta \approx \theta$ と近似できる。この近似の下、(設問1) で与えられた微分方程式を解き、任意時刻 t における θ を求めよ。

(設問3)

ある条件下において球の運動は減衰振動を示した。この時、角周波数 ω を求め、任意時刻 t における θ を三角関数によって表せ。なお、 ω は正の実数である。

専門0 問5 (物理)

図のような角度 θ の斜面における質量 m の物体の運動について考える。今、物体と底面間の摩擦係数を μ 、重力加速度を g として以下の問いに答えよ。ただし、物体は回転せずに斜面に沿って滑り落ちるとし、空気抵抗は無視する。



(設問1)

静止状態の物体が移動を開始するときの斜面角度 θ_c を求めよ。

(設問2)

$\theta > \theta_c$ の斜面において静止状態の物体が時刻 $t=0$ で移動を開始した。移動開始後、任意時刻 t における物体の移動速度 u_p と移動距離 x_p を求めよ。ただし、摩擦係数は一定値($\mu=\mu_0$)とする。

(設問3)

物体と底面の材質によっては、摩擦係数は物体の移動速度に依存することが経験的に知られている。今、摩擦係数が速度依存する場合の物体の移動速度と移動距離をそれぞれ u_p' 、 x_p' と定義し、摩擦係数が $\mu=\mu_0(1+\alpha u_p')$ で表されたとする。ただし、 α は正の値とする。設問2と同様に物体が静止状態から時刻 $t=0$ で移動を開始後、任意時刻 t における物体の移動速度 u_p' と移動距離 x_p' を求めよ。

専門0 問題6 物理

(設問1)

n モルの単原子分子の理想気体に、熱量 Q を加えて、図1に示すように状態Aから状態Bへと変化させる。温度、圧力、体積は図中の記号に示すとおりである。気体定数は R とする。

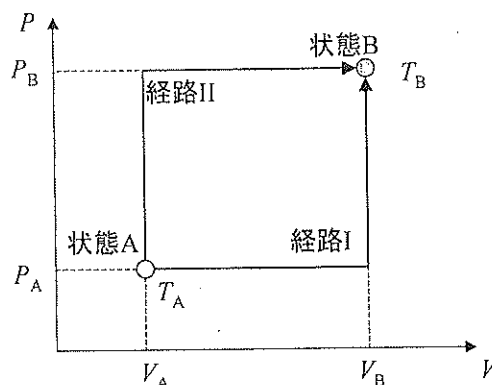


図1

(1)以下の説明文中の空欄①～⑨に適切な式を記載せよ。

<説明文>

状態A、状態Bの内部エネルギーは、それぞれ温度が T_A 、 T_B であり、“単原子分子”であるから、 $U_A =$ (①)、 $U_B =$ (②) と表せる。従って状態Aから状態Bへの変化による内部エネルギーの変化は $\Delta U_{A \rightarrow B} =$ (③) であり、圧力と体積を用いて表すと、 $\Delta U_{A \rightarrow B} =$ (④) と書ける。状態Aから状態Bへの変化において経路Iを用いた場合、外部にした仕事は、 $W_I =$ (⑤)、同様に経路IIを用いて状態Aから状態Bに変化した場合の仕事は、 $W_{II} =$ (⑥) である。従って、経路IによってAからBに状態変化させるのに加えるべき熱量は、 $Q_I =$ (⑦) であり、同様に経路IIでは、 $Q_{II} =$ (⑧) の熱量が必要である。両者の差 ($Q_{II} - Q_I$) は (⑨) であり、経路により必要となるエネルギーが異なることがわかる。

(2)今、それぞれの状態を下記の通りとする。経路Iと経路IIで、加えるべき熱量の差[J]を求めよ。

状態A : $P_A = 0.1 \text{ MPa}$, $V_A = 1 \text{ m}^3$ 、状態B : $P_B = 0.2 \text{ MPa}$, $V_B = 2 \text{ m}^3$

(設問2)

図2に示すような可動性の床(面積 A)に質量 M の人が立っている。可動床の下空間には理想気体が封入されており、現在の位置にあるとき、体積は V 、温度は T である。また、人が立っている場の圧力は P である。今、外部から熱量 Q が与えられて、可動床の位置が H だけ上昇した。上昇した高さ H を図中の記号、および重力加速度 g 、可動床から下の空間に封入されている理想気体の定圧比熱 C_p を用いて示せ。なお可動床は滑らかに動くものとする。

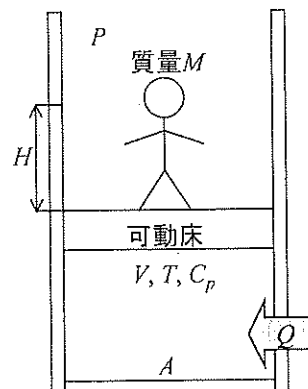


図2

専門Ⅰ 問7 (化学)

(設問1)

以下の原子軌道、分子軌道、および電子配置に関する問いに答えよ。

- (1) 2p 軌道の最大収容電子数を述べよ。
- (2) 基底状態の 15P 原子の 3p 軌道に入っている電子数を述べよ。
- (3) (a) パウリの排他原理、および (b) フントの規則、についてそれぞれ説明せよ。
- (4) (a) フッ化水素 (HF)、および (b) アンモニウムイオン (NH_4^+) のルイス構造式 (点電子構造式) をそれぞれ示せ。
- (5) 次の文章の空欄 (ア) ~ (コ) を埋めよ。ただし、(イ) と (エ) には形を、(ケ) と (コ) には数を答えること。

一つの s 軌道と三つの p 軌道が混成してできる新たな四つの等価な軌道を (ア) 混成軌道という。メタン分子 (CH_4) の C 原子は (ア) 混成軌道をつくり、それぞれが H 原子と共有結合を形成する。この際、電子間の反発が最も小さくなるように C 原子を中心として H 原子は (イ) の頂点に位置する構造をとる。また、一つの s 軌道と二つの p 軌道が混成してできる新たな三つの等価な軌道を (ウ) 混成軌道という。エチレン (C_2H_4) 分子の C 原子は (ウ) 混成軌道を形成しており、この場合の混成軌道は C 原子を中心として (エ) の各頂点に向けた構造となる。また、エチレン分子において、C 原子どうしは一つの (オ) 結合と一つの (カ) 結合からなる二重結合で結合している。アンモニア (NH_3) 分子の N 原子は (キ) 混成軌道、水 (H_2O) 分子の O 原子は (ク) 混成軌道を形成している。また、アンモニア分子には (ケ) つの孤立電子対、水分子には (コ) つの孤立電子対が存在し、それらは分子の反応性に大きく影響している。

(設問2)

以下の化合物 (a) および (b) の化学構造式を示し、それぞれの化合物の中で最も分極が大きいと考えられる結合を特定し、その分極の状態を化学構造式中に δ^+ 、 δ^- を用いて示せ。

(a) メチルアミン (CH_3NH_2)

(b) 酢酸 (CH_3COOH)

専門0 問8(化学)

(設問1)

溶質としてアンモニアのみを含む水溶液中における、アンモニア濃度とアンモニウムイオン濃度の比を求めよ。

ただし、水溶液の pH は 8.2 であり、アンモニアの電離定数(塩基解離定数)の逆対数値 pK_b は 4.75 であること。活量係数は 1.0、水のイオン積は 10^{-14} として良い。

(設問2)

50 mM 酢酸ナトリウム溶液 100 mL に 100 mM 酢酸溶液 60 mL を加え、緩衝液を作製した。この緩衝液に 0.1 mol/L の塩酸 10 mL を入れた。反応が平衡に達した後のこの溶液の pH を求めよ。

酢酸の酸性度定数の逆対数値 pK_a は 4.76 である。酢酸ナトリウムと塩酸は完全に解離するものとする。活量係数は 1.0、水のイオン積は 10^{-14} として良い。

(設問3]

25°Cにおける物質 A の分解反応は一次反応に従う。反応開始から一定時間ごとに物質 A の濃度 C を測定したところ、以下のような結果を得た。

時間 t(分)	0	30	60	90
濃度 C(mol/L)	18.48	18.05	17.62	17.25

この反応の反応速度定数 k をできるだけ正確に求めよ。

北海道大学大学院工学院修士課程
2020 年 4 月入学ならびに 2019 年 10 月入学
入学試験

環境フィールド工学専攻 北方圏環境政策工学専攻
環境創生工学専攻 環境循環システム専攻
共同資源工学専攻

専門 1 問題冊子

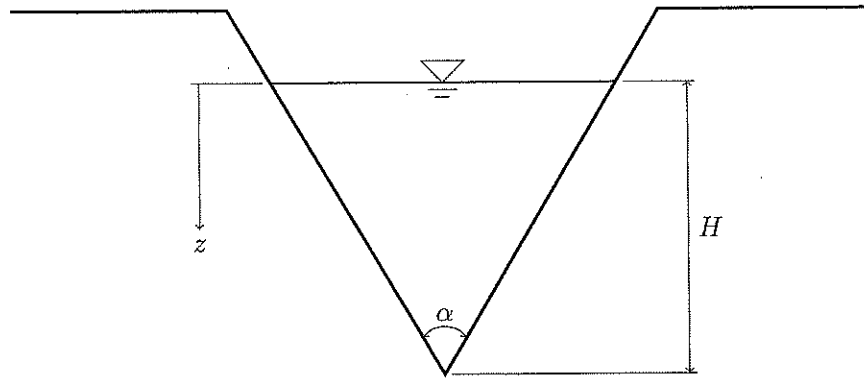
試験時間：13：00～16：00

注：

- ① 解答用紙の表紙にある問題選択票と 4 枚の解答用紙をはずしてはいけません。試験終了後、ホッチキスで留めたままそれらを提出しなさい。なお、2 枚の草案紙は持ち帰ること。
- ② 環境フィールド工学専攻、北方圏環境政策工学専攻、環境創生工学専攻の受験生は、全部で 18 問ある問題のうちの 4 問についてのみ解答しなさい。環境循環システム専攻、共同資源工学専攻の受験生は、全部で 18 問ある問題のうち、コンクリート工学（問 7）を除く 17 問から 4 問についてのみ解答しなさい。
- ③ 1 つの問に対して、解答用紙は必ず 1 枚だけ使用しなさい。表面だけで解答しきれないときには裏面を使いなさい。解答用紙は補充しません。
- ④ 4 枚の解答用紙のすべてに受験番号、問番号を、また、問題選択票と草案紙にも必ず受験番号を記入しなさい。

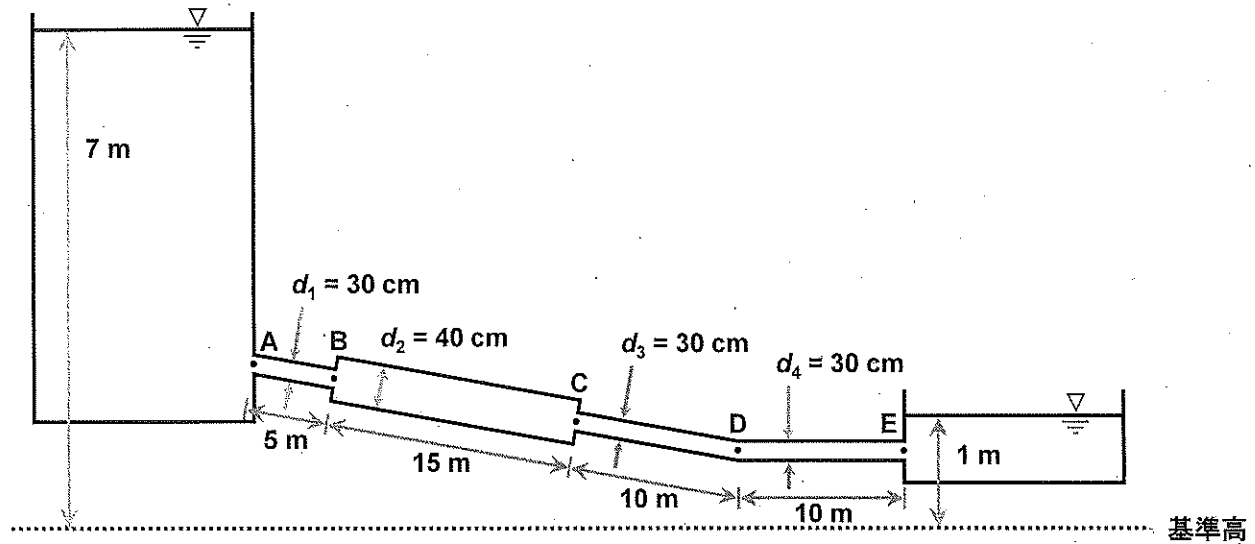
専門-1 問-1 流体力学

下図のように角度 α をもつ三角堰がある。越流水深が H のときの流量 Q を求めよ。なお水深 z における越流流速 v が $v = \sqrt{2gz}$ で表されると仮定できるものとする (g は重力加速度)。



専門1 問2 (流体工学)

下図に示す円管路に水が流れている。次の設問に答えなさい。但し、流入損失係数は $K_e = 0.5$ 、急拡大損失係数は $K_{se} = 0.2$ 、急縮損失係数は $K_{sc} = 0.25$ 、曲がり損失係数は $K_b = 0.15$ 、流出損失係数は $K_o = 1.0$ 、A～B間及びC～E間の管摩擦損失係数は $\lambda_1 = 0.042$ 、B～C間の管摩擦損失係数は $\lambda_2 = 0.038$ 、重力加速度は $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ とし、答えは小数点以下2桁目まで求めることとする。



- (設問1) 管内の水の流量を求めよ。
- (設問2) 点Bにおける急拡大前・急拡大後のピエゾ水頭の高さを求めよ。
- (設問3) 点Cにおける急縮前・急縮後のピエゾ水頭の高さを求めよ。
- (設問4) 点Dにおける曲がり前・曲がり後の全エネルギー水頭の高さを求めよ。

専門1 問3 (構造力学)

(設問1)

軸力を受ける柱部材に関する以下の問いに答えよ。

- (1-1) 図-1(a)に示すように、長さ L 、断面積 A 、ヤング係数 E の柱がある。その頂部に荷重 P が作用したときの頂部鉛直変位量を求めよ。
- (1-2) 図-1(b)に示すように、長さ L と断面積 A は同じものの、ヤング係数が $2E$ の柱の下端に、同じ力 P を作用させた時の下端部鉛直変位量を求めよ。
- (1-3) 上記の二種類の柱を組み合わせて図-1(c)のような構造物を作成した。接合面に荷重 P が作用している時、上端での反力の大きさと作用方向を示せ。
- (1-4) 上記と同じ条件下で下端での反力の大きさと作用方向を示せ。
- (1-5) この荷重による接合面での鉛直変位量はいくらか。

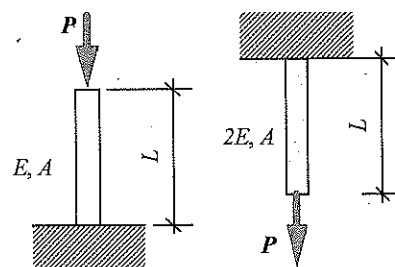


図-1 (a)

図-1 (b)

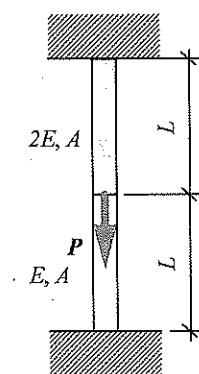


図-1 (c)

(設問2)

先端に集中荷重 P を受ける、図-2 に示すような構造物がある。曲げ剛性 EI は一定で、曲げたわみによる微小変形のみを考慮すると仮定して、以下の問いに答えよ。

- (2-1) この状態における曲げモーメント図を示せ。
- (2-2) この時の B 点での鉛直方向変位量はいくらか。変位量とその変位方向（上、下）を示せ。
- (2-3) また、 B 点に発生するたわみ角はいくらか。その大きさと回転方向（時計回り、半時計回り）を示せ。
- (2-4) この時の C 点での鉛直方向変位量はいくらか。その大きさと変位方向（上、下）を示せ。
- (2-5) また、 C 点での水平方向変位量はいくらか。その大きさと変位方向（左、右）を示せ。

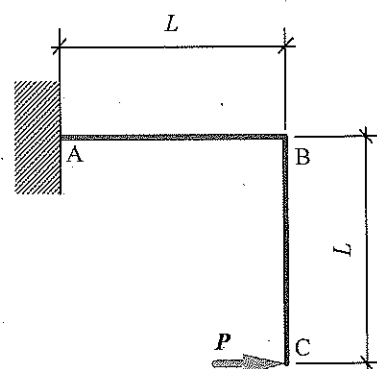
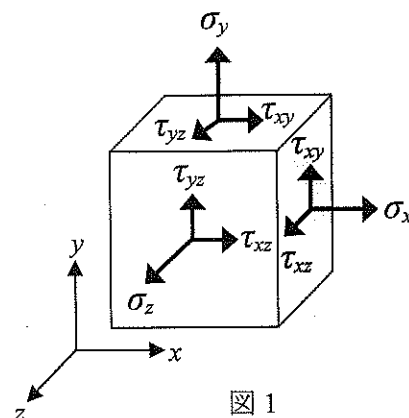


図-2

専門1 問4 (構造力学)

(設問1) 等方弾性体中の微小要素における応力テンソルが図1のように与えられている。この弾性体のヤング率、ポアソン比を、それぞれ E , ν とし、以下の問いに答えよ。



(1) 垂直ひずみ ϵ_x , ϵ_y , ϵ_z を、それぞれ σ_x , σ_y , σ_z , E , ν を用いて示せ。

(2) せん断ひずみ γ_{xy} , γ_{yz} , γ_{zx} を、それぞれ τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{zx} , E , ν を用いて示せ。

(3) 上記(1)と(2)の関係式を用い、平面応力状態 ($\sigma_z = \tau_{yz} = \tau_{xz} = 0$) における応力とひずみの関係式を導け。

(4) この弾性体のヤング率とポアソン比を、それぞれ 50 GPa, 0.3 とする。 $\sigma_x = 2$ MPa, $\sigma_y = 5$ MPa, $\tau_{xy} = 1$ MPa (平面応力状態) のとき、 ϵ_x , ϵ_y , ϵ_z , γ_{xy} を求めよ。

(5) 上記(4)のとき、この弾性体に蓄えられる単位体積当りのひずみエネルギー W (N・m) を求めよ。

(設問2) 図2(a)のような断面を有する長さ $2l$ の片持ちはりについて以下の問いに答えよ。

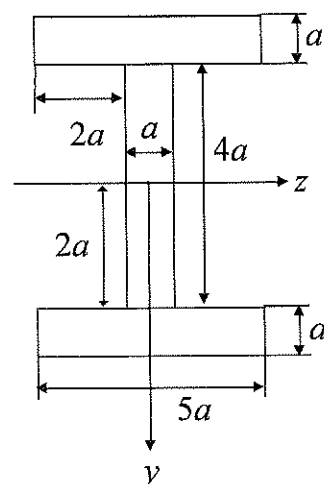


図 2(a)

(1) z 軸に関する断面 2 次モーメントを求めよ。

(2) 図2(b)のように、 y 方向に集中荷重を作用させたときの断面位置 x におけるせん断力の分布を図示せよ。

(3) $x = 2l$ の断面において y 軸に沿ったせん断応力の分布を図示せよ。

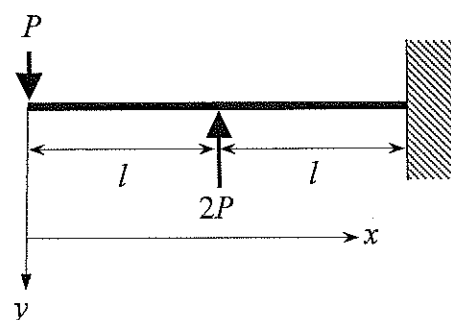


図 2(b)

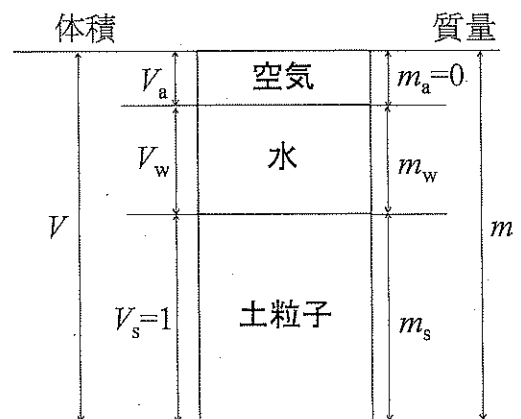
専門1 問5 (土の力学)

以下の設問に答えなさい。

(設問1) 土の力学 (土質力学) では、土を土粒子、間隙水、間隙空気により構成される三相材料であるとして取り扱う (図を参照)。土粒子の体積を1 ($V_s=1$) としたとき、以下の問に答えよ。

- (1) 次の(a)~(g)について、土粒子の密度 ρ_s 、間隙水の密度 ρ_w 、間隙比 e 、飽和度 S_r (%)の4つのパラメータのうち1つ又は複数を用いて式で表せ (上記4つ以外のパラメータは用いないこと)。

- (a) 土の体積 V
- (b) 間隙水の体積 V_w
- (c) 間隙水の質量 m_w
- (d) 土粒子の質量 m_s
- (e) 含水比 w (%)
- (f) 土の湿潤密度 ρ_t
- (g) 土の乾燥密度 ρ_d



- (2) 土の乾燥密度 ρ_d を土の湿潤密度 ρ_t と含水比 w (%)のみを用いて式で表せ。

(設問2) 同じ圧密係数 c_v を有する粘土層 (上下面ともに排水面と見なせる) を想定すると、層厚が5mの粘土層にくらべて、層厚が15mの粘土層では、平均圧密度90%に達するまでに要する時間が何倍になるか答えよ。

(設問3) 短辺に対して長辺が十分に長い矩形基礎 (連続基礎と見なせる) に適用できるTerzaghiの支持力公式は

$$q_u = cN_c + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma + \gamma DN_q$$

と表される。ここに、 q_u は極限支持力、 c は粘着力、 B は基礎の短辺の長さ (基礎の幅)、 D は基礎の根入れ、 γ は対象とする地盤の単位体積重量 (地下水位以下や水中では水中単位体積重量 γ')、 N_c 、 N_γ 、 N_q は支持力係数である。上式に基づいて考えたとき、(a) 飽和した粘土地盤の場合と(b) 飽和した砂地盤の場合のそれぞれについて、支持力を増加させるために有効な方法について説明せよ。なお、支持力係数はせん断抵抗角 ϕ の関数として表され、以下の値を参考にして良い。

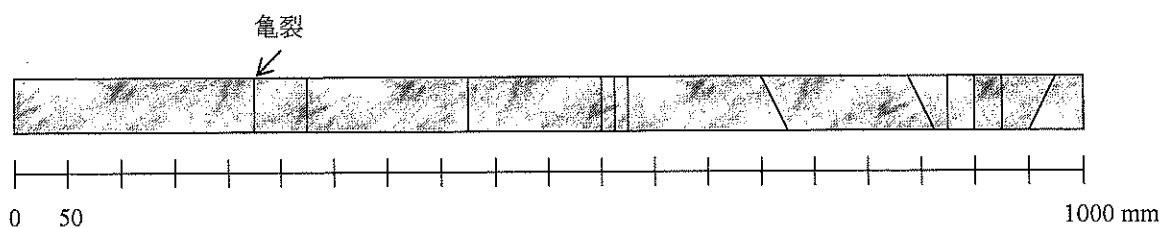
ϕ	N_c	N_γ	N_q
0°	5.1	0.0	1.0
30°	30.1	15.7	18.4

専門1 問6 (土の力学)

(設問 1) ある岩石の一軸圧縮強度は 30 MPa、封圧 15 MPa における最大軸応力が 100 MPa であった。粘着力と内部摩擦角を、図式解法によらず、正確に算出せよ。

(設問2) 鉛直応力 30 MPa、水平応力 15 MPa の岩盤中に掘削した円形水平坑道周辺の岩盤の破壊挙動を予測して図示せよ。なお、岩盤の一軸圧縮強度は 20 MPa とする。

(設問3) 下図に示す直径 50 mm、長さ 1 m のボーリングコアの RQD (Rock Quality Designation) はおよそいくらか。



専門1 問7 (コンクリート工学)

図1は、鉄筋コンクリート断面が曲げモーメントと軸圧縮力を同時に受けた場合の耐荷力の変化を模式的に示した相互作用図である。なお、 N'_u は軸方向圧縮耐荷力、 M_u は曲げ破壊モーメントを表している。これに関して、次の問いに答えなさい。

ただし、軸方向圧縮耐荷力および曲げ破壊モーメントの計算は図2に示す複鉄筋コンクリート矩形断面を対象とし、コンクリートの圧縮強度は 30 N/mm^2 、鉄筋の引張降伏強度および圧縮降伏強度は 400 N/mm^2 、鉄筋のヤング係数は 200 kN/mm^2 とする。また、コンクリートの圧縮破壊ひずみは 0.0035 、引張応力下のコンクリートは引張力を負担しないものとし、曲げ圧縮合力の計算には $0.85f'_c \times 0.8x$ (f'_c : コンクリートの圧縮強度, x : 中立軸深さ) の等価応力ブロックを用いてよい。

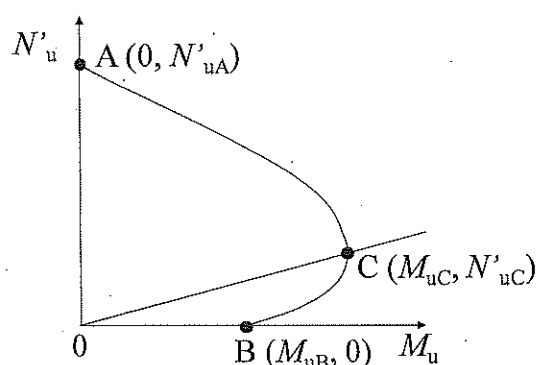


図1 相互作用図

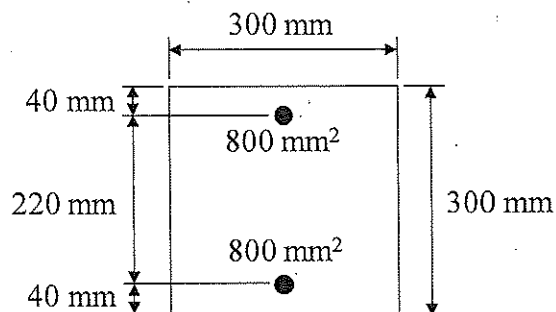


図2 複鉄筋コンクリート矩形断面

(設問1) 点Aでの軸方向圧縮耐荷力 N'_{uA} を求めなさい。

(設問2) 点Bでの曲げ破壊モーメント M_{uB} を求めなさい。

(設問3) 点Cは耐荷力の観点からどのような状態であるか説明しなさい。また、点Bから点Cの区間において、軸圧縮力の増加とともに曲げ破壊モーメントが増加していく理由を説明しなさい。

(設問4) 点Cでの軸方向圧縮耐荷力 N'_{uC} および曲げ破壊モーメント M_{uC} を求めなさい。

専門1 問8 (計画数理学)

(設問1) コインの種類として公正なコイン(表面と裏面のあるコイン)と不正なコイン(両面とも表面)を定義する。公正なコインの事象を A 、不正なコインの事象を $\bar{A}$ とする。コインには、これら2種類の事象しかないものとする。今、コインが手元に1枚ある。このコインが公正なコインかどうか、わからない。最初、このコインが公正なコインである確率 $P(A)=0.9$ 、不正なコイン(両面とも表面)である確率 $P(\bar{A})=0.1$ とする。ベイズの定理を用いて①と②の間に答えよ。

①最初にこのコインを投げたとき、表面が出た。表面が出る確率を求めよ。

②最初にこのコインを投げたとき、表面が出た。この結果を受けて、このコインが公正である確率を求めよ。

(設問2) ある地域のビルの設計基準では、再現期間50年の風速を設計風速とするよう規定している。平均的に、この設計風速は50年に一度の割合で発生すると考えられる。この場合、任意の年に50年確率の風速が起きる確率は $p=1/50=0.02$ である。以下の①と②の間に答えよ。

①この設計風速を5年間に1回のみ経験する確率を求めよ。

②この設計風速がビルの完成後5年以内に発生する確率はいくらか。

(設問3) 小さい街のある郵便局には、1日当たり平均70人の客がポアソン分布に従ってやってくる。この郵便局の1日の営業時間は10時間である。窓口は1つであり、1時間に平均10人の客を処理できる。この1人の客の処理に要するサービス時間は指数分布に従う。 $M/M/1(\infty)$ の待ち行列として、以下の①と②の間に答えよ。

①平均待ち行列の人数を求めよ。

②待っている客が2人以上となる確率を求めよ。

(設問4) 全ての $x_i \geq 0$ および以下の3つの式の条件で、 $x_1 + x_2 + 2x_3$ を最大することを考える。最大値とそのときの x_1, x_2, x_3 の各々の値を求めよ。(ただし、シンプレックス法を使うこと)

$$x_2 + 2x_3 \leq 3$$

$$-x_1 + 3x_3 \leq 2$$

$$2x_1 + x_2 + x_3 \leq 1$$

以上

専門1 問9 (地質学基礎)

(設問1) 以下の元素の代表的な鉱石鉱物を鉱物名、化学式ともに示せ。

(1-1) 鉛 (1-2) クロム (1-3) 銅 (1-4) 錫 (1-5) 金

(設問2) 次の鉱物に関する用語について説明せよ。また、その例として鉱物名を挙げよ。

(2-1) 多形 (2-2) 固溶体 (2-3) 準安定相

(設問3) 鉱床を形成する地質プロセスと鉱床のタイプ、元素名のうち適当な組み合わせを4つ挙げよ。ただし、同じものを2度使用してはならない。

地質プロセス	鉱床のタイプ	元素	
苦鉄質岩の生成	堆積性鉱床	クロム	鉄
珪長質岩の貫入	斑岩鉱床	アルミニウム	チタン
海底熱水活動	浅熱水性鉱床	マンガン	銅
海水からの化学沈殿	正マグマ鉱床	ジルコニウム	金
	塊状硫化物鉱床	亜鉛	錫

(設問4) 二酸化炭素が地球表層温度を制御することや炭素が生物活動に必須であることから、地球システムにおける炭素の循環は重要である。大気中の二酸化炭素濃度に影響を与える負のフィードバック機構について二つ記述し、それぞれについて説明せよ。また、そのフィードバック機構の働くタイムスケールについても述べよ。

専門 1 問10(地質学基礎)

(設問 1) 図は地球の歴史を示したものである。下に示すA~Eの事象が、①~⑤どの時代に当てはまるものか。解答用紙に解答例に示すように答えなさい。

代	紀 (世)	絶対年代 (OC100万年単位)
新 生 代	第四紀	0.01
		1.65
	第三紀	6.3
		23.5
		34
		53
		65
		135
	白垩紀	205
		245
中 生 代	ジュラ紀	295
	トリアス紀(三畳紀)	360
	ペルム紀(二畳紀)	410
	石炭紀	435
	デボン紀	500
	シルル紀	540
	オルドビス紀	540
古 生 代	カンブリア紀	540
	原 生 代	2500
	始生代(太古代)	4000
	めい 王 代	4600

- A 恐竜の絶滅
- B 三葉虫の絶滅
- C エディアカラ動物群の出現
- D 光合成の開始
- E 化学進化の時代

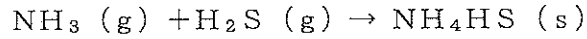
解答例

① - E

(設問 2) 地球の内部の物質や構造をできるだけ詳しく図示しなさい。また、その内部の物質や構造を推定するために重要となる試料またはデータを箇条書きで記しなさい。

専門1 問11 (物理化学)

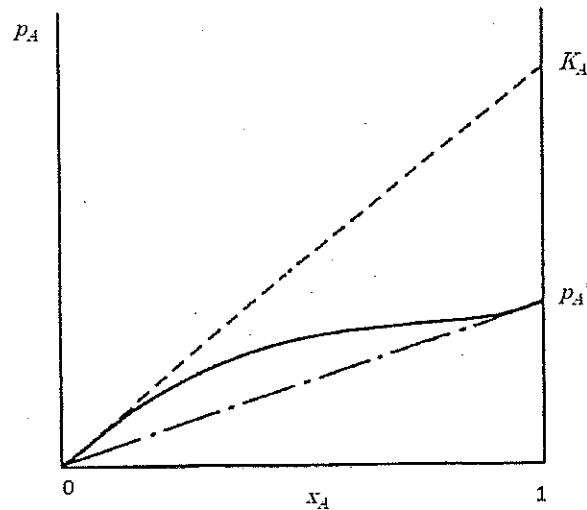
設問1 以下の反応を考える。



0.3グラムの $\text{NH}_3(\text{g})$ を含む2ℓの密閉されたフラスコ中(25℃)に少量の $\text{NH}_4\text{HS}(\text{s})$ を入れた。以下の問に答えなさい。ただし、気体定数は $8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ 、 $1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$ とする。

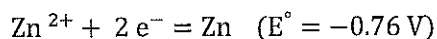
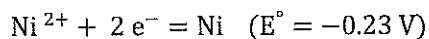
- (1) 熱力学的平衡定数 $K=9.259$ として、反応の標準自由エネルギー変化を求めなさい。
- (2) $\text{NH}_4\text{HS}(\text{s})$ を加える前のフラスコ内の圧力 P_1 を求めなさい。
- (3) 平衡が成り立った時点での全圧を P_2 として、 K を P_1, P_2 で表しなさい。
- (4) P_2 を求めなさい。

設問2 下図中の実線はある溶液中の成分Aのモル分率 x_A と蒸気圧 p_A との関係を示したものである。点線、一点鎖線、 K_A, p_A^* が何を表しているかを述べ、図が示す内容を説明しなさい。



専門1 問12 (物理化学)

(設問1) 次の半電池反応について以下の問いに答えよ。温度 T は 298 K 、ファラデー定数 F は 96485 C/mol 、気体定数 R は 8.31 J/mol/K とする。 E° は各反応の標準電極電位である。



- (a) Ni^{2+} の標準生成ギブスエネルギーの値を求めよ。
- (b) 0.001 mol/L の Ni^{2+} を含む水溶液がある。この溶液に挿入された Ni 電極の電極電位の値を計算せよ。
- (c) 上記の溶液に Zn 粉末を添加すると Ni^{2+} の濃度が低下した。この反応の化学式を示せ。
- (d) 上記の反応の平衡定数を求めよ。

(設問2) 大気から隔離された水 1 L に CaCO_3 を加えたところ、 $x\text{ mol}$ 溶解して飽和した。この飽和溶液について以下の問に答えよ。ただし、 CaCO_3 の溶解度積は $10^{-8.3}$ 、 H_2CO_3 の第1段および第2段の酸解離定数 (K_{a1} および K_{a2}) の値はそれぞれ $10^{-6.4}$ 、 $10^{-10.3}$ である。

- (e) 溶液が飽和するまでに生じた反応の化学式を列挙せよ。
- (f) 溶液中の炭酸化学種の物質均衡式を示せ。
- (g) この溶液の pH は 9.9 であった。 Ca^{2+} の濃度を計算せよ。

以上

専門1 問13 (微生物工学)

(設問1) 以下の問いに答えなさい。

1. 分子生物学におけるセントラルドグマとはなにか説明しなさい。
2. 生物分類学における3つのドメインをすべて答えなさい。
3. 現在、細菌の進化の道筋を描いた系統樹は16S rRNA 遺伝子の塩基配列のデータベースを基に構築されているが、なぜ16S rRNA 遺伝子の塩基配列が用いられているのか説明しなさい。
4. 細菌の増殖にはDNAの複製が伴う。*Escherichia coli* はどのようにDNAを複製しているか説明しなさい。
5. DNA複製にはプライマーが必要である。なぜ必要か説明しなさい。
6. なぜ嫌気性細菌は酸素(O_2)によって、増殖が阻害されたり、時には死滅したりするのか？その理由を説明しなさい。
7. 発酵と好気呼吸においてどのようにATPが合成されるのか？その違いを説明しなさい。
8. 好気呼吸において、クエン酸回路で生成された $NADH_2$ や $FADH_2$ はどのようにするのか説明しなさい。
9. 細菌におけるペントースリン酸回路の主な役割を説明しなさい。
10. 世代時間が30分の*Escherichia coli*を、初期菌体濃度が1000個/Lで培養を開始した場合、培養3時間後の菌体濃度はいくらになるか答えなさい。

専門1 問14 (熱力学)

(設問1) はじめの状態が圧力 $P_1=3.0[\text{MPa}]$, 温度 $T_1=20.0[^\circ\text{C}]$, 容積 $V_1=20.0[\text{m}^3]$ の空気 (理想気体) を圧力 $P_2=15[\text{MPa}]$ まで断熱圧縮したとき, 終わりの容積 $V_2[\text{m}^3]$ と温度 $T_2[^\circ\text{C}]$ を求めよ. ただし, 空気の比熱比 κ を 1.4 とする.

(設問2) 高度 2000[m] での水の沸点を求めよ. この高度での気圧を 799[hPa] とし, 沸騰した水蒸気は理想気体とみなす. また, $100[^\circ\text{C}]$, 1 気圧 ($1[\text{atm}]=1013[\text{hPa}]=1.013\times 10^5[\text{Pa}](=\text{N}/\text{m}^2)$) での水の気化熱は $540[\text{cal}/\text{g}]$ であり, この条件付近では水と水蒸気の共存線は直線と見なしてよいとせよ. ただし, 気体定数 $R=8.31[\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})]$, $1[\text{cal}]=4.2[\text{J}]$ である.

(設問3) 灯油を燃やして高温熱源の温度を $200[^\circ\text{C}]$ に保ち, 低温熱源の温度を $20[^\circ\text{C}]$ とするカルノー機関がある. 以下の①から④の問いに答えよ. ただし, 灯油の $1[\text{kg}]$ 当りの燃焼による発熱量を $45\times 10^3[\text{kJ}/\text{kg}]$ とする.

- ① この熱機関の効率 η を求めよ.
- ② 灯油を $20[\text{kg}]$ 燃やしたときに高温熱源が出す熱量 Q_1 を求めよ.
- ③ 灯油を $20[\text{kg}]$ 燃やしたときに得られる仕事 W を求めよ.
- ④ 低温熱源に排出する熱量 Q_2 を求めよ.

専門1

問15 (反応工学)

問題1 同容量の完全混合槽が直列している2槽の流通式反応槽で、物質 A が分解している。直列2槽で反応率は90%である。物質 A の分解反応は A の濃度の1次反応であり、定容定圧反応とする。

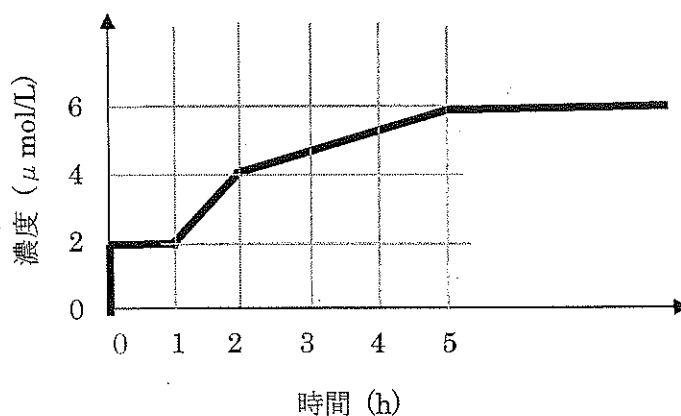
(1) 完全混合槽1槽目の出口における A の反応率を求めよ。

(2) 2段目の流れを押し出し流れにした際の直列2層(1段目は完全混合で2段目は押し出し流れ)での反応率を求めよ。

問題2 ある流れに流入濃度ステップ応答実験を行い、図のような結果を得た。
流量は2 L/分である。

(1) この流れに1 gのトレーサーをインパルス投入した際、時間 $t = 3$ h の流出濃度はいくらか。

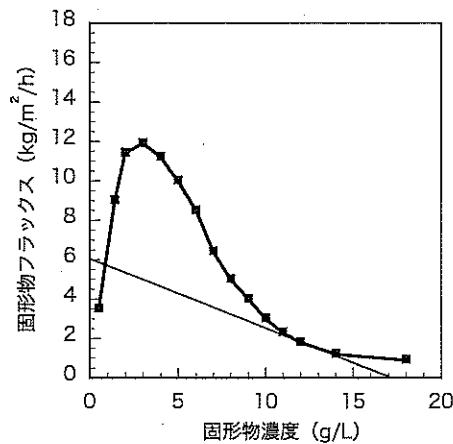
(2) 滞留時間が1時間までの流れを短絡流とする。その流量を求めよ。



専門1 問16 (分離工学)

(設問1)

新規に設計するシックナーを用いた汚泥の重力濃縮を考えている。処理対象汚泥の回分沈降試験を行い、下図のようなデータを得た。流量 $25 \text{ m}^3/\text{h}$ でシックナーに流入させる汚泥濃度は 5000 mg/L である。シックナーからの引き抜き汚泥濃度を 17 g/L に設定するとき、必要となるシックナーの面積を有効数字二桁で求めよ。



(設問2)

(1) 粒子濃度を $C(\text{mg/L})$ 、ろ層深さを $z(\text{m})$ 、ろ過係数を $\lambda(1/\text{m})$ として、粒状層ろ過における粒子抑留パターンを表すろ過方程式を書け。

(2) ろ過係数 λ の値に影響する因子を列挙せよ。

(3) ろ層への流入濃度を $C_m(\text{mg/L})$ 、ろ層厚さを $L(\text{m})$ として、ろ層流出水中の粒子濃度を求めよ。

(設問3)

アルミニウム塩を用いた凝集において、濁質成分の除去を目的とした場合の最適 pH が中性付近であるのに対して、自然由来有機物 (Natural Organic Matter, NOM) の除去を目的とした場合の最適 pH は酸性側となる。この理由を記せ。

専門1 問17 (環境統計学)

ある化学物質製造施設で、水処理前の排水の水質測定を行った。

(設問1) 水質には変動があり、施設の平均を求めるにはサンプリング数が多いほど測定精度はよい。水質の特性値 X が正規分布 $N(\mu, \sigma^2)$ に従うとき、その標本平均 $\bar{X}$ は正規分布 $N(\mu, \square)$ に従うためである。 $\square$ に適切な式を入れよ。 μ は母平均、 σ^2 は母分散である。

(設問2) 微量化学物質の場合は、濃度レベルが通常は0.01だが、1~10となることがある。このとき、算術平均の代わりにどのような代表値を用いるのがよいか。

(設問3) 物質 X は正規分布とみなせるが、同時に測定した微量化学物質 Y は設問2のように変化していた。このとき、 X と Y の相関係数はどのように求めるか。

(設問4) 類似する別の施設2で、同様の測定を行った。物質 X の測定値を X_1, X_2 とするとき、「施設1は施設2より大きい」かどうかを有意水準5%で検定せよ(図1の数値を用いること)。測定値は以下のようであった。

$$n_1 = 12, \bar{x}_1 = 8.833, s_1^2 = 28.83, n_2 = 12, \bar{x}_2 = 6.917, s_2^2 = 24.49,$$

ここで n は標本数、 x は測定値、 $\bar{x}$ は算術平均、 s^2 は不偏分散、添字1, 2は、施設1, 2を表す。

$$T = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{s\sqrt{1/n_1 + 1/n_2}} \text{ は自由度 } n_1 + n_2 - 2 \text{ の } t \text{ 分布に従う。}$$

$$\text{ここで } s^2 = (s_1^2 + s_2^2)/2$$

(設問5) 設問4において、帰無仮説を「施設1は施設2と差がない」とした場合の棄却域を、設問4の場合と比較し図示せよ。

(設問6) 物質 Y には目標値が設定されている。施設1において100回の測定の中で目標値を越えることが10回あった。超過率の目標値0.05を超えると言えるか。以下の関係を用い、有意水準5%で検定せよ。

$$Z = \frac{Y_1/n_1 - p_1}{\sqrt{p_1(1-p_1)/n_1}} \text{ は標準正規分布 } N(0,1) \text{ に従う}$$

ここで n_1 は標本数、 Y_1/n_1 は目標値超過の標本比率、 p_1 は超過率の目標値である。

(設問7) 設問6において、100回の測定で何回以下ならば目標値を満足していると言えるか。

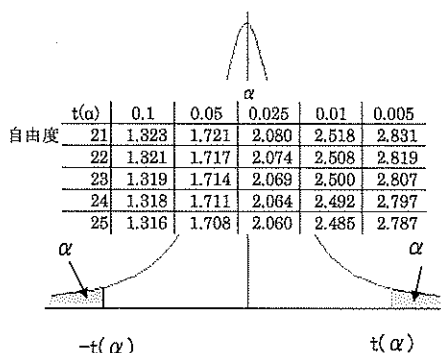


図1 t分布表

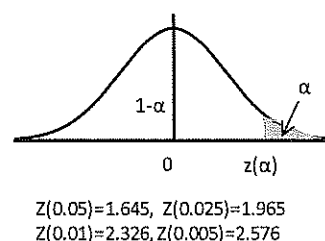


図2 標準正規分布

専門1 問18 (地圏環境学)

下表は、あるミネラルウォーター (pH7.58, 水温 25.0°C) の水質を mmol/L の単位で示したデータである。以下の設問に答えよ。

Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
(mmol/L)	(mmol/L)	(mmol/L)	(mmol/L)	(mmol/L)	(mmol/L)	(mmol/L)
0.661	0.222	0.614	0.029	?	0.432	0.153

(設問1) 電気的中性条件を考慮して、HCO₃⁻の濃度を推定せよ。

(設問2) このミネラルウォーターのイオン強度を求めよ。ただし、イオン強度 I の計算には、すべての主要イオン種を考慮し、式(1)を用いよ。

$$I = \frac{1}{2} \sum_i c_i z_i^2 \quad (1)$$

ここで、 c_i : i イオンのモル濃度 (mol/L), z_i : i イオンの価数

(設問3) HCO₃⁻の活量を求めよ。ただし、活量係数の値は式(2)の Davis の式を用いて計算せよ。

$$\log \gamma_i = -0.5 z_i^2 \left(\frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} - 0.3 I \right) \quad (2)$$

ここで、 γ_i : i イオンの活量係数

(設問4) CO₃²⁻の活量および Ca²⁺の活量を求めよ。なお、CO₃²⁻と HCO₃⁻との平衡定数 K は式(3)で与えられる。

$$K = \frac{(H^+)(CO_3^{2-})}{(HCO_3^-)} = 10^{-10.33} \quad (3)$$

ここで、() は活量

(設問5) CaCO₃の飽和指数 SI を式(4)を用いて計算せよ。ただし、CaCO₃の溶解度積 K_{sp} は $10^{-8.48}$ とする。また、この SI 値からどのようなことがわかるか。簡単に説明せよ。

$$SI = \log \frac{(Ca^{2+})(CO_3^{2-})}{K_{sp}} \quad (4)$$

(設問6) CaCO₃の溶解・沈殿反応は自然界においても、重要な役割を果たす。どのような地質環境でこの反応は主要となるのか、例を挙げて簡単に説明せよ。