Ａ．数理科学

Ａ１．（微分・積分と線形代数の基礎）

出題の意図

多項式近似, 重積分や対角化に対する具体的な計算力を確認する.

解答例

(1) $P(x) = x + \dfrac{3}{2}x^2 + \dfrac{4}{3}x^3.$

(2) $\dfrac{4\sqrt{2}}{3} - \dfrac{1}{2} - \dfrac{1}{6}\cos 9.$

(3) (i) 固有値は 0 (重複度 2) と 2.

(ii) 固有値 0 の固有空間の基底として, 例えば ${}^t(1,1,0)$ と ${}^t(0,0,1)$ を, 固有値 2 の固有空間の基底として例えば ${}^t(1,-1,0)$ をとることができる.

(iii) 例えば, 直交行列 P として

$$P = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & \sqrt{2} & 0 \end{pmatrix}$$

をとれば,

$${}^tPAP = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix}$$

と対角化される.

Ａ２．（微分積分とその応用）

出題の意図

関数列の一様収束に関する知識や計算力を確認する.

解答例

(1) ε-δ 論法を適切に使って証明を述べることができるかを問う.

(2) $f(x) = x^2$ で定まる関数 f に各点収束する.

(3) 一様収束しない. 直接証明することもできるが, (2) の結果と (4) の積分の値を比較することによっても結論を導くことができる.

(4) $-\dfrac{5}{3}$ に収束する.

Ａ３．（線形代数とその応用）

出題の意図

線形代数の観点から最小二乗法を問う.

解答例

(1) $\boldsymbol{x}_1, \ldots, \boldsymbol{x}_p$ の 1 次独立性から $\boldsymbol{X}\boldsymbol{\beta} = \boldsymbol{0}$ の解が $\boldsymbol{\beta} = \boldsymbol{0}$ のみとなることに注意する.

(2) f の単射性を用いる.

(3) $\hat{\boldsymbol{\beta}} = ({}^t\boldsymbol{X}\boldsymbol{X})^{-1}\,{}^t\boldsymbol{X}\boldsymbol{y}$.

(4) $P = \boldsymbol{X}({}^t\boldsymbol{X}\boldsymbol{X})^{-1}\,{}^t\boldsymbol{X}$ とおくと, (3) より $\boldsymbol{e} = (I - P)\boldsymbol{y}$ と表せること, $P\boldsymbol{X} = \boldsymbol{X}({}^t\boldsymbol{X}\boldsymbol{X})^{-1}\,{}^t\boldsymbol{X}\boldsymbol{X} = \boldsymbol{X}$ となることに注意する.

(5) $\hat{\boldsymbol{\beta}}$ が Q の最小点であることに注意する.

A 4 .（代数の基礎）

出題の意図

群, 同値関係, 商群, 商集合などの基本的な性質の理解を確認する.

解答例

(1) $X = \{1, 2, 3\}$ のとき, $S(X)$ の位数は 6. $X = \{1, 2, 3, 4\}$ のとき, $S(X)$ の位数 2 の元の個数は 9 個.

(2) $\{1, \ldots, n\}$ の i と j を入れ替える互換による共役を考える.

(3) 集合への群の作用が同値関係を定めることを理解しているかを問う.

(4) N が正規部分群であることに注意して, f_N が誘導されることを示す. f に f_N を対応させる写像の核が N を含むことに注意して, 準同型写像 $G/N \to S(X_N)$ が定まることを示す.

A 5 .（集合・位相の基礎）

出題の意図

集合と位相に関する基礎的な事項の理解を確認する.

解答例

(1) 写像の逆像および補集合の定義を理解しているかを問う.

(2) 開集合系の定義を理解しているかを問う.

(3) (1) と有限集合が $\mathbb{R}^2$ の通常の位相に関する閉集合であることに注意する.

(4) ハウスドルフ空間の定義を理解しているかを問う.

(5) (4) の証明と $(\mathbb{R}^2, \mathcal{O})$ がハウスドルフ空間であることに注意する.

B．物理学

B1.（力学・解析力学・電磁気学）

出題の意図

前半は，最速降下問題に対する変分原理を題材に力学・解析力学の基本的な理解度を問う問題である．後半は，磁場中での磁気双極子モーメントの運動を題材に電磁気学の基本的な理解度を問う問題である．

解答例

I

(1) $v = \sqrt{2gy}$.

(2) $I\left(x, \dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}y}, y\right) = \sqrt{\dfrac{(\mathrm{d}x/\mathrm{d}y)^2 + 1}{2gy}}$.

(3) $\dfrac{\partial I}{\partial x} - \dfrac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}y}\left(\dfrac{\partial I}{\partial(\mathrm{d}x/\mathrm{d}y)}\right) = 0$, $\left(\dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}x}\right)^2 = \dfrac{h}{y} - 1$.

(4) $x = \dfrac{h}{2}(\theta - \sin\theta)$, $T_1 = \pi\sqrt{\dfrac{h}{2g}}$.

II

(1) $\boldsymbol{M} = (0, 0, \pi R^2 I)$.

(2) $D_1(\boldsymbol{r}) = -\dfrac{\mu_0}{4\pi r^3}$, $D_2(\boldsymbol{r}) = \dfrac{3\mu_0 \boldsymbol{M}\cdot\boldsymbol{r}}{4\pi r^5}$.

(3) 円形回路 C_2 が C_1 から受ける力 $\boldsymbol{F} = \left(0, 0, \dfrac{3\pi\mu_0 R^4 I_1 I_2}{2z_0^4}\right)$.

(4) 周期 $T = \dfrac{z_0^2}{R^2}\left(\dfrac{2\pi m z_0}{3\mu_0 I_1 I_2}\right)^{\frac{1}{2}}$.

B2. （熱力学・統計力学）

出題の意図

3 次元のポテンシャル中の理想気体を題材に熱力学・統計力学の基本的な理解度を問う問題である.

解答例

(1) 分配関数 $Z = \dfrac{V^N}{h^{3N}N!}(2\pi m k_\mathrm{B} T)^{\frac{3N}{2}}$.

(2) 熱容量 $C = \dfrac{3}{2}Nk_\mathrm{B}$.

(3) 自由エネルギーは $F = -k_\mathrm{B}T\ln Z$ であり，圧力は $P = -\dfrac{\partial F}{\partial V} = k_\mathrm{B}T\dfrac{\partial}{\partial V}\ln Z = \dfrac{Nk_\mathrm{B}T}{V}$ となる．両辺に V をかけると $PV = Nk_\mathrm{B}T$.

(4) $\sqrt{\langle H^2\rangle - \langle H\rangle^2} = \sqrt{\dfrac{3N}{2}}k_\mathrm{B}T$.

(5) $\hbar = \dfrac{h}{2\pi}$ として，分配関数 $Z = \dfrac{1}{N!}\left(\dfrac{k_\mathrm{B}T}{\hbar\omega}\right)^{3N}$.

(6) 熱容量 $C = 3Nk_\mathrm{B}$.

(7) 仕事 $W = 3Nk_\mathrm{B}T\ln\left(\dfrac{\omega_\mathrm{f}}{\omega_\mathrm{i}}\right)$.

(8) 熱容量 $C = \dfrac{9}{4}Nk_\mathrm{B}$.

B3.（量子力学）

出題の意図

3 次元の球対称な量子系での散乱・束縛状態を題材に量子力学の基本的な理解度を問う問題である.

解答例

(1) $[L_z, x] = \mathrm{i}\hbar y$，$[L_z, L_x] = \mathrm{i}\hbar L_y$.

(2) $\lambda = m \in \mathbb{Z}$，$\Phi(\phi) = \dfrac{1}{\sqrt{2\pi}}\mathrm{e}^{\mathrm{i}m\phi} \quad (m \in \mathbb{Z})$.

(3) $c = 1$，$\left(\dfrac{\mathrm{d}^2}{\mathrm{d}r^2} - \gamma\delta(r-a) + \dfrac{2mE}{\hbar^2}\right)\chi(r) = 0$.

(4) $\dfrac{\mathrm{d}\chi(r)}{\mathrm{d}r} = \chi'(r)$ と書くと，$\chi'_>(a) - \chi'_<(a) - \gamma\chi(a) = 0$，$\chi_>(a) - \chi_<(a) = 0$.

(5) $\chi_<(r) = A\sin(kr)$（A は定数）.

(6) $\cot\delta = -\cot(ka) - \dfrac{k}{\gamma}\dfrac{1}{\sin^2(ka)}$.

(7) $E = -\dfrac{\hbar^2\rho^2}{2m}$ $(\rho > 0)$ とおくと，$\chi_<(r) = B\sinh(\rho r)$，$\chi_>(r) = C\mathrm{e}^{-\rho r}$（$B, C$ は定数）.

(8) $\gamma_0 = -\dfrac{1}{a}$.

C1. （電気・電子回路）

出題の意図

電気・電子回路分野共通：アナログ受動および能動素子を含む回路において、回路理論を基にした回路方程式やグラフを用いてその素子および回路の性質を具体的に説明できることを確認する。

解答例

(a) 回路の例として抵抗、コンデンサ、直流電源、スイッチの直列接続を考える。コンデンサの端子間電圧および時間を変数として回路方程式を記述する。スイッチの入り/切り、およびコンデンサの初期電圧値を設定し、コンデンサの端子間電圧の時間変化を指数関数で表現する。例えば、電源電圧を V_S、コンデンサの初期電圧を V_0 とすると、$v = V_S + (V_0 - V_S)\exp(-\frac{t}{CR})$ を得る。その他、電源方式（直流/交流）、コイルとコンデンサの組み合わせによる 2 次の過渡解析、時定数の定義などに関する解答が期待された。直流安定化電源では、整流ダイオードの組み合わせによる全波整流の後、コンデンサを用いて電圧が平滑化される。コンデンサの充電/放電を回路方程式から定式化し、実用的な抵抗やコンデンサ容量の数値を用いて電圧の時間変動幅（リップル）を試算するなどの解答が期待された。

(b) 演算増幅器を含む加算・減算回路、微分・積分回路の回路図を示し、回路方程式から入力電圧に対して出力電圧がそれぞれの演算結果を表すことを示す。例えば、交流電源、抵抗、オペアンプ、その負帰還回路にコンデンサを接続した積分回路では、$v_{out} = -\frac{1}{RC}\int v_{in}dt$ となる。加えて、例えばその帰還部のコンデンサに抵抗を並列接続した回路を示し、利得と位相の周波数特性を図示する、さらに遮蔽周波数の条件を導出するなどの記述が期待された。

C2. （電磁気学・量子力学）

出題の意図

電磁気学および量子力学に関する基本知識の習得を確認する問題である。

(1) マクスウェル方程式の理解度を確認する。
(2) 電磁波の伝搬を表す波動方程式の理解、また、電磁波の基本特性の理解を確認する。
(3) ガウスの法則を正しく理解し、それを用いて、面電荷密度から電位を求めることができるか確認する。
(a) 電子スピンの存在を初めて実験的に示した「シュテルン＝ゲルラッハの実験」の概要、および電子スピンの量子力学的意味の理解を確認する。
(b) 重ね合わせた量子状態の観測について、量子力学・量子計測の観点から説明できることを確認する。

解答例

(1)（電場に関する）ガウスの法則　$\nabla \cdot \boldsymbol{E} = \dfrac{\rho}{\varepsilon_0}$

電場は電荷を起源として生じる。

磁場に関するガウスの法則　$\nabla \cdot \boldsymbol{B} = 0$

磁場のわき出しはない。磁気単極子は存在しない。

ファラデーの法則　$\nabla \times \boldsymbol{E} = -\dfrac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t}$

時間的に変化する磁場によって、その周囲に電場が誘起される。

アンペール・マクスウェルの法則　$\nabla \times \boldsymbol{B} = \mu_0 \boldsymbol{j} + \mu_0 \varepsilon_0 \dfrac{\partial \boldsymbol{E}}{\partial t}$

電流および時間変化する電場によって、その周囲に磁場が誘起される。

また、関連する物理法則として、例えば、クーロンの法則、ビオ・サバールの法則、アンペールの法則、ファラデーの電磁誘導の法則などを挙げ、その意味を説明できることが期待された。

(2) 電場の波動方程式　$\nabla^2 \boldsymbol{E} - \mu_0 \varepsilon_0 \left(\frac{\partial^2 \boldsymbol{E}}{\partial^2 t} \right) = \boldsymbol{0}$

磁場の波動方程式　$\nabla^2 \boldsymbol{B} - \mu_0 \varepsilon_0 \left(\frac{\partial^2 \boldsymbol{B}}{\partial^2 t} \right) = \boldsymbol{0}$

電場と磁場は互いに直交し伝搬する、また、伝搬方向にも直交しているなど、電磁波の伝搬について説明できることが期待された。

(3) 球殻表面の電荷は、$Q = 4\pi a^2 \sigma$。 $a < r$ では、半径 r より内側の全電荷は Q。また、$r < a$ では、半径 r より内側の電荷は 0。以上より、ガウスの法則を用いると、r における電場は、

$a < r : \int \boldsymbol{E} \cdot d\boldsymbol{S} = \frac{Q}{\varepsilon_0}$ したがって、 $\boldsymbol{E}(r) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \boldsymbol{e}_r$

$0 < a < r : \int \boldsymbol{E} \cdot d\boldsymbol{S} = 0$ したがって、$\boldsymbol{E}(r) = \boldsymbol{0}$

無限遠の電位を 0 として上記を積分することで、位置 r における電位は下記のように求め

ることができる。

(i) $0 < r < a : \dfrac{\rho a^2}{\varepsilon_0 r}$

(ii) $a < r : \dfrac{\rho a}{\varepsilon_0}$

(a) 1922 年、シュテルンとゲルラッハは、銀原子ビームを不均一磁場中に入射する実験を行った。古典論ではビームは連続的に広がると予測されたが、実際には明瞭に 2 本に分離した。これは磁気モーメントの空間量子化を示している。銀の最外殻電子は $5s$ 軌道にあり軌道角運動量を持たないため、この分裂は電子が持つ固有の角運動量である「スピン」の存在を決定づけるものとなった。以上のようなシュテルン＝ゲルラッハの歴史的な実験について説明できることが期待された。

(b) ① 状態 Ψ は ϕ_1 と ϕ_2 を $1:1$ で重ね合わせた状態であるため、求める状態 Ψ は、以下のような線形結合で表せる。

$$|\Psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|\phi_1\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|\phi_2\rangle$$

② ある量子状態 Ψ において、状態 ϕ_1 が観測される確率 P は、射影仮説（ボルンの規則）に基づき、内積の絶対値の 2 乗で与えられる。

$$P(\phi_1) = |\langle\phi_1|\Psi\rangle|^2$$

よって、これに先ほど求めた Ψ を代入して計算すると、

$$\langle\phi_1|\Psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\langle\phi_1|\phi_1\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}\langle\phi_1|\phi_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \times 1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \times 0 = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

となり、確率 P は以下のように求まる。

$$P(\phi_1) = \left|\frac{1}{\sqrt{2}}\right|^2 = \frac{1}{2}$$

③ 量子力学の測定では、演算子の固有値のみが観測される。固有状態 ϕ_1, ϕ_2 の重ね合わせの場合、測定値は確率的に固有値 a_1 または a_2 のいずれかとなり（本例では各確率 1/2）、測定と同時に状態は対応する固有状態へ瞬時に収縮する。個々の測定結果はランダムだが、測定を繰り返して得られる平均値は、量子力学的な期待値 $\langle A\rangle = \frac{1}{2}a_1 + \frac{1}{2}a_2$ に収束する。以上のような量子力学に関する基本知識について説明できることが期待された。

C3. （物理情報数学）

出題の意図

(a) 複素周回積分を行う閉経路内に特異点が存在する場合について、留数定理を理解していることを確認する。

(b) 写像を表す行列について、正規方程式を立てることができ、最小 2 乗法を説明できることを確認する。

(c) z 変換について基本的な性質を理解しており、差分方程式の解法として応用できることを確認する。

解答例

(a) 留数定理は、複素関数 $f(z)$ が閉経路 C 内部の有限の個の特異点 $b_1, \ldots, b_n$ を除いて、閉経路上およびその内部で正則であるとき

$$\oint_C f(z)dz = 2\pi i \sum_{k=1}^{n} \mathrm{Res}(f(z), b_k)$$

が成り立つことである。ここで $\mathrm{Res}(f(z), b_k)$ は $f(z)$ の特異点 b_k における留数である。次に、具体例を示す。例えば $f(z) = \dfrac{1}{z-1}$、C を $|z| = 2$ とすると C の内部の特異点は $z = 1$ のみあり、特異点を除いて $f(z)$ は正則である。$z = 1$ の留数は

$$\begin{aligned} \mathrm{Res}(f(z), 1) &= (z-1)f(z)|_{z=1} \\ &= 1 \end{aligned}$$

であるので

$$\oint_{|z|=2} f(z)dz = 2\pi i$$

である。

(b) (1) 零空間と行空間は、互いに直交補空間の関係にある。

(2) 最小 2 乗法で説明すると

$$A^\top A\hat{\boldsymbol{x}} = A^\top \boldsymbol{b}$$

の正規方程式を示し、$A^\top A$ が正則であるとき

$$\hat{\boldsymbol{x}} = (A^\top A)^{-1} A^\top \boldsymbol{b}$$

のように求めることができる。

(c) (1) 関数 $x(k)$ について

$$X(z) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k) z^{-k}$$

が $x(z)$ の z 変換の定義である。

(2) $\dfrac{1}{1 - z^{-1}}$

(3) $\dfrac{r \sin \omega_0 \cdot z^{-1}}{1 - 2r \cos \omega_0 \cdot z^{-1} + r^2 z^{-2}}$

(4) $x(k)$ と $y(k)$ の畳み込み和であり、$\displaystyle\sum_{l=-\infty}^{\infty} x(l) y(k-l)$ である。

(5) 差分方程式を $x(k+2) - 3x(k+1) + 2x(k) = 1$ とし、$x(1) = x(0) = 0$ とする。差分方程式を z 変換して

$$z^2 X(z) - 3zX(z) + 2X(z) = \frac{z}{z-1}$$

となる。

$$\begin{aligned} X(z) & \frac{z}{(z-1)(z^2 - 3z + 2)} \\ &= \frac{z}{(z-1)^2 (z-2)} \\ &= -\frac{z}{z-1} - \frac{z}{(z-1)^2} + \frac{z}{z-2} \end{aligned}$$

を得るので、逆変換して

$$\begin{aligned} x(k) &= -1 \cdot 1^k - 1 \cdot k \cdot 1^k + 1 \cdot 2^k \\ &= -1 - k + 2^k \end{aligned}$$

となる。

D. 分子・生物化学

D1（物理化学）
出題の意図

物理化学分野全般の理解度を確認するために、基礎的な熱力学、化学平衡、電気化学、化学反応速度に関する計算問題（数値計算3題）を中心に出題した。

解答例

（1）　$-212\ \mathrm{kJ\ mol^{-1}}$

（2）　$(1-0.5\alpha)p_0$

（3）　-1.74

（4）　$-0.400\ \mathrm{V}$

（5）　$k_\mathrm{c}k_\mathrm{f}/(k_\mathrm{b}+k_\mathrm{c})$

D2（無機化学）
出題の意図

無機化学分野全般における理解度を確認するため以下の分野について、知識問題だけでなく、計算問題も含めて出題した。具体的に、典型元素の特徴、電子親和力、光電効果、仕事関数、炎色反応、イオン結合、波長とエネルギー換算など。

解答例

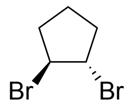
ア Ne　イ F　ウ B_2　エ O_2（ウとエは順不同）オ N_2　カ 光電効果　キ 仕事関数　ク 4.35×10^{-19}　ケ 電子　コ 0.947　サ 11.3　シ 79.6　ス 3s　セ 3p

D3（有機化学）
出題の意図

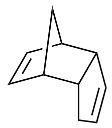
有機化学分野から，分子の性質ならびに分子変換反応に関する基礎的な知識と理解を問うことに加え，与えられた条件と知識から論理的に解を導き出す思考力を測る意図で問題を構成した。

解答例

（1） ① **A**

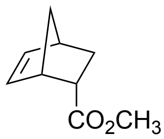


B

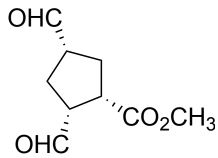


endo/exo
どちらでも可

C

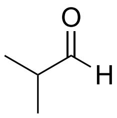


D



② Hückel則を満たし，芳香族性をもつため

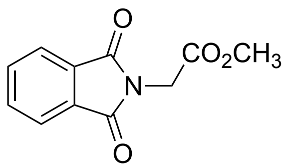
（2） ① **E**



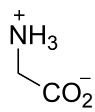
F

KCN

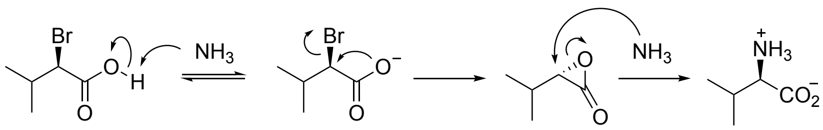
② **G**



I



③



D4（小論文）
出題の意図

卒業研究および関連する学習や文献調査の理解度を確認するための出題。

以上。

E. 創発理化学

E１.（物理化学）

出題の意図

物理化学分野全般の理解度を確認するために、基礎的な熱力学、化学平衡、電気化学、化学反応速度に関する計算問題（数値計算3題）を中心に出題した。

解答例

（1）　$-212\ \mathrm{kJ\ mol^{-1}}$

（2）　$(1-0.5\alpha)p_0$

（3）　-1.74

（4）　$-0.400\ \mathrm{V}$

（5）　$k_c k_f/(k_b+k_c)$

E２.（無機化学）

出題の意図

無機化学分野全般における理解度を確認するため以下の分野について、知識問題だけでなく、計算問題も含めて出題した。具体的に、典型元素の特徴、電子親和力、光電効果、仕事関数、炎色反応、イオン結合、波長とエネルギー換算など。

解答例

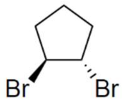
ア	Ne
イ	F
ウ	B_2
エ	O_2 （ウとエは順不同）
オ	N_2
カ	光電効果
キ	仕事関数
ク	4.35×10^{-19}
ケ	電子
コ	0.947
サ	11.3
シ	79.6
ス	3s
セ	3p
ソ	2.11

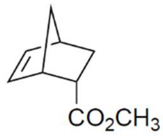
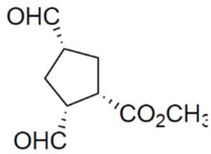
E3.（有機化学）

出題の意図

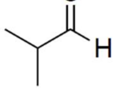
有機化学分野から、分子の性質ならびに分子変換反応に関する基礎的な知識と理解を問うことに加え、与えられた条件と知識から論理的に解を導き出す思考力を測る意図で問題を構成した。

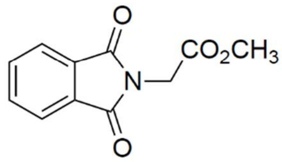
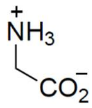
解答例

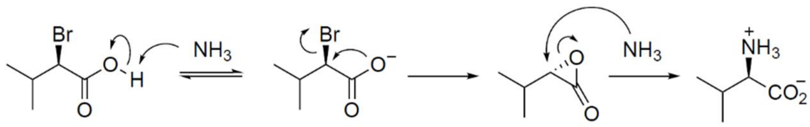
（1） ① A

B

endo/exo
どちらでも可
C

D


② Hückel則を満たし，芳香族性をもつため

（2） ① E

F
KCN

② G

I


③


E4.（論述問題）
出題の意図

自身の卒業研究（相当する科目を含む）について、関連する学術分野・社会的背景・研究内容・成果と課題を、他者に対して論理的にわかりやすく説明する能力があるかどうかを問うた。

F. 生命システム情報

F1.（分子細胞生物学）

出題の意図

分子細胞生物学の基礎知識や分子・細胞レベルの実験の原理を理解していることを確認する。

解答例

（1） A　転写因子

B　RNAポリメラーゼ

C　プロモーター

D　キャップ構造

E　ポリ(A)尾部

F　スプライソソーム

G　リボソーム

H　アミノアシルtRNA合成酵素

（2）　（一例として）プルダウンアッセイでは、相互作用をテストしたいDNAとタンパク質のどちらか一方をビーズ（担体）に固定化し、もう一方を蛍光色素やタグで標識する。その後、両者を混合し、ビーズを洗浄後、ビーズに残っている標識分子を蛍光色素やタグに対する抗体を利用して検出する。

(3) 直鎖状DNAが長さに応じた移動度を示すのに対して、タンパク質は同じ長さでも異なる立体構造をもつことで移動度に差が出やすいので立体構造を破壊して変性させる必要がある。SDSの１つ目の役割は、タンパク質を変性させることである。

塩基配列によらず全て負電荷をもつDNAは一定方向に電気泳動できるが、タンパク質はアミノ酸配列によって正電荷をもつものや負電荷をもつものが混在しているのでそのままでは一定方向に泳動できない。負電荷をもつSDSは、長さに応じてタンパク質に結合することで、全てのタンパク質を負に帯電させる役割もある。

(4) FRAPとは、生細胞蛍光イメージングで小さな蛍光領域に強い光を照射して蛍光色素を破壊した後、周囲の蛍光色素がその暗い領域に拡散してくることで、その領域の蛍光が回復する様子を観察する手法である。応用例として、蛍光標識した膜タンパク質や脂質分子の細胞膜上の横方向の動きを測定できる。

(5) ミトコンドリアにおけるプロトン駆動力とは、ミトコンドリア内膜の内外のプロトン（H^+）の濃度勾配のことであり、解糖系やクエン酸回路などでつくられた還元型補酵素NADHや$FADH_2$から放出された電子が電子伝達系の複合体の中を伝わることでプロトンをミトコンドリアマトリックスから膜間腔に汲み出すことで生じる。

プロトンが電気化学的勾配にしたがってATP合成酵素の内部を通ってマトリックスに戻る際に、ATP合成酵素の膜内のサブユニットが回転し、その回転により膜外のサブユニットのヌクレオチド結合部位に構造変化が起こり、ADPとリン酸からATPが合成される。

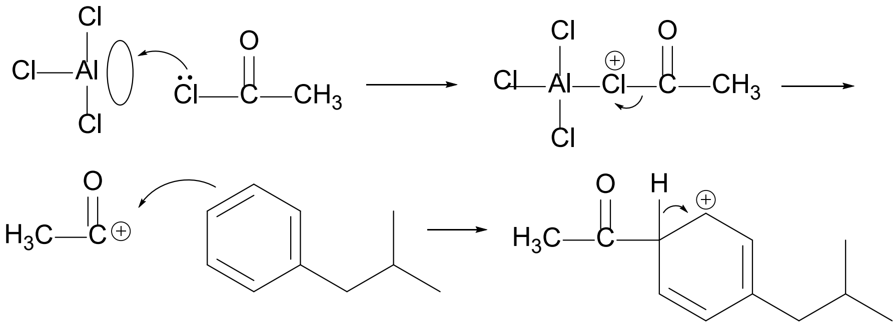
F2.(生物有機化学および生化学)
出題の意図

生物有機化学と生化学の基礎的な知識に関する内容を確認する。

(1) ① 電子対を受け取るもの。

② SP^2混成軌道

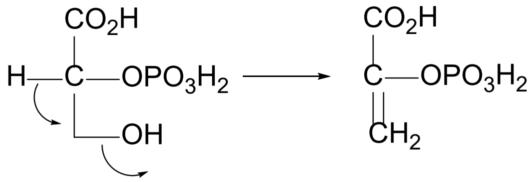
③



(2) ① GとJ

② F

③

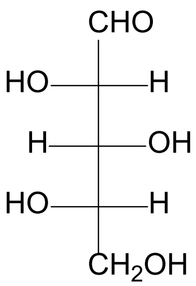


④ 糖新生

(3) ① c

② e

③



④ ベータ型はすべてのOH基がエカトリアルであり、立体配座的に安定だから

F3.（生物物理化学）
出題の意図

熱力学、反応速度論および量子化学の基礎的な知識を確認する。

（1） ① エントロピーは状態量であり、始点・終点が等しいとその変化は等しくなるから。

② $dw = -p\,dV$

③ $\Delta S = nR\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

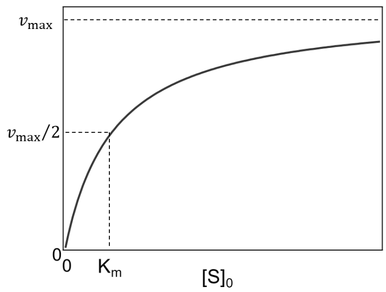
（2） ① $\Delta_r G^{\oplus} = \Delta_r G^{\ominus} - 7RT\ln 10$

② $\Delta_r G^{\oplus} = -3.0 \times 10^1\ \mathrm{kJ\ mol^{-1}}$

$\Delta_r G^{\oplus} < 0$のため、反応は自発的に進む。

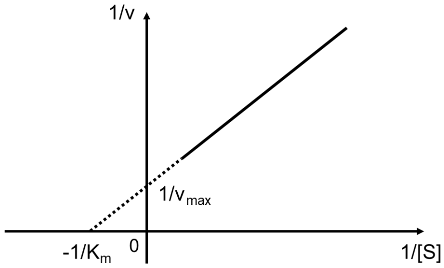
③ この反応は発エルゴン反応である。これを吸エルゴン反応と共役させることで、全体のギブズエネルギーを負にして反応を進行させることができる。

（3） ①

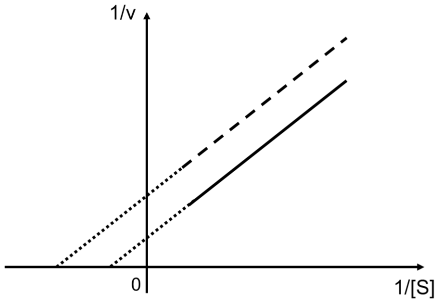


② $A = \dfrac{1}{v_{max}}, B = \dfrac{K_M}{v_{max}}$

③



④



（4） ① $\alpha = \dfrac{\sqrt{mk}}{2\hbar}$

② $E = \dfrac{1}{2}\hbar\omega$

F4.（情報の基礎およびバイオインフォマティクス）

出題の意図

数値計算と文字列処理に関するプログラミングの知識を確認する。

解答例

（1） ① f(a) * f(b)

② f(a) * f(c) < 0

（2） ③ 13112221

④ i + count

⑤ i + count

⑥ i = i + count

G. 機械工学

G1.（選択記述問題）

出題の意図

機械力学、材料力学、熱力学、流体力学の基礎学力を確認する

解答例

A1 (1) (ア) 円の中心　(イ) v^2/r　(ウ) 4.5 N　(エ) 遠心力
(オ) 2.0 m/s^2　(カ) 慣性モーメント　(キ) 0.45 N·m
(ク) 運動量ベクトル　(ケ) $Lmgt$
(コ) 重力によるモーメント

(2) ① 棒が円柱とおもりを押す力をそれぞれ R_1, R_2 とし，円柱が斜面からうける摩擦力を F（斜面に沿って上向きを正）とする．

円柱の並進：　$M\ddot{x} = Mg\sin\alpha + R_1 - F$ ⋯ (i)

円柱の回転：　$\frac{1}{2}MR^2\ddot{\theta} = FR$ ⋯ (ii)

棒の並進：　$0\cdot\ddot{x} = -R_1 + R_2$ ⋯ (iii)

おもりの並進：　$m\ddot{x} = mg\sin\alpha - R_2 - \mu mg\cos\alpha$ ⋯ (iv)

② 円柱が滑らずに転がるときの関係式 $\ddot{x} = R\ddot{\theta}$ ⋯ (v)

式(ii) (v)より $F = \frac{1}{2}MR\ddot{\theta} = \frac{1}{2}M\ddot{x}$

式(i) (iii) (iv) (vi)より

$$(M+m)\ddot{x} = (M+m)g\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha - \frac{1}{2}M\ddot{x}$$

これを整理して

$$\ddot{x} = \frac{(M+m)\sin\alpha - \mu m\cos\alpha}{\frac{3}{2}M + m}g$$

A2 (1) (ア) $P_1 + P_2 = P$　(イ) $\lambda_1 = P_1 l / A_1E_1$　(ウ) $\lambda_2 = P_2 l / A_2E_2$　(エ) $\lambda_1 = \lambda_2$
(オ) $\sigma_1 = \frac{E_1P}{A_1E_1 + A_2E_2}$　(カ) $\sigma_2 = \frac{E_2P}{A_1E_1 + A_2E_2}$

(2) (キ) $R_A = \frac{5}{6}P$ （ク） $R_B = \frac{1}{6}P$ （ケ) $y_c = \frac{13Pl^3}{1296EI}$

(コ) $y_c = \frac{Pl^3}{36EI}$

（サ） $\frac{w\,dx}{12EI}\left(\frac{3}{4}l^2 - x^2\right)x$ （シ） $y_c = \frac{w\,a^2}{48EI}\left(\frac{3}{2}l^2 - a^2\right)$

B1 (1) ①: 正しい

②: 開いた系では、境界を通して、物質、熱ともに流入流出がある.

③: エントロピーは系の熱の出入りに伴って増減し、断熱不可逆の場合には常に増大する.

④: 正しい

⑤: ある物質の定圧比熱の値は、定積比熱の値より大きい.

⑥: 正しい

⑦: 圧力の SI 単位は Pa（パスカル）である.

⑧: 軸仕事は軸トルクと回転角度の積である.

⑨: 等温過程を持続的に続けることができれば、理論的には熱を持続的に仕事に 100 %
変換し続けることができる.

⑩: カルノー機関の熱効率は、作動流体によらない.

(2) ①: 質量 m $m = \frac{p_1V_1}{RT_1}$

②: 温度 T_2 $T_2 = T_1\frac{V_2}{V_1} = T_1\frac{2V_1}{V_1} = 2T_1$

③: 仕事 L_{12} $L_{12} = \int_1^2 pdV = p_1(V_2 - V_1) = p_1V_1$

④: 熱量 Q_{12} $Q_{12} = mc_p(T_2 - T_1) = mc_pT_1$

⑤: 内部エネルギーの変化量 dU

$$dU = Q_{12} - L_{12} = mc_pT_1 - p_1V_1$$

⑥: エントロピーの変化量 $\varDelta S$

$$\Delta S = mc_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = mc_p \ln 2$$

(3) ①: $W = Q_H - Q_L$ 熱力学第一法則より、$Q_H = W + Q_L$

②: $\eta_{Carnot} = 1 - T_L / T_H$ $\eta = W / Q_H = 1 - Q_L / Q_H = 1 - T_L / T_H$

③: $Q_H = m\,R\,T_H \ln(V_2 / V_1)$ 等温過程では、温度が一定のため内部エネルギーの変化はゼロ．よって吸収された熱 Q_H はすべて仕事に変わる．理想気体の等温過程の仕事は $W = nRT\ln(V_2 / V_1)$

④: $V_2 / V_1 = V_3 / V_4$ 断熱過程では $PV^{\gamma} = \mathrm{const.}$、
または $TV^{\gamma-1} = \mathrm{const.}$ が成り立つ．断熱膨張($T_H \rightarrow T_L$、$V_2 \rightarrow V_3$)、断熱圧縮($T_L \rightarrow T_H$、$V_4 \rightarrow V_1$)において、$T_H\,V_2^{\gamma-1} = T_L\,V_3^{\gamma-1}$、$T_L\,V_4^{\gamma-1} = T_H\,V_1^{\gamma-1}$ が成り立つので、これを整理すれば解答が得られる.

⑤: $W = m\,R\,(T_H - T_L)\ln(V_2 / V_1)$

③より $Q_H = n R T_H \ln(V_2 / V_1)$、$Q_L = m R T_L \ln(V_3 / V_4)$
④より $V_2 / V_1 = V_3 / V_4$ なので、$Q_L = m R T_L \ln(V_2 / V_1)$
よって、①より $W = Q_H - Q_L = m R (T_H - T_L) \ln(V_2 / V_1)$

B2 (1) （ア）Pa･s, kg/(m･s) （イ）低下する
（ウ）m^2/s （エ）水
（オ）慣性力 （カ）音速
（キ）0 （ク）非圧縮流れ （ケ）c^2x （コ）c^2y

(2) ① $V_1 = V_2 A_2 / A_1$
② $p_1 - p_2 = (\rho_M - \rho) gH$
③ $Q = A_2 \sqrt{\frac{2(\rho_M - \rho) gH}{\rho\left(1-\frac{A_2^2}{A_1^2}\right)}}$

(3) ① $\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{dV_z}{dr}\right) = \frac{1}{\mu}\frac{\partial p}{\partial z}$
② $V_z = \left(-\frac{\partial p}{\partial z}\right)\frac{R^2}{4\mu}\left(1-\frac{r^2}{R^2}\right), V_{\max} = \left(-\frac{\partial p}{\partial z}\right)\frac{R^2}{4\mu}$

G2.（小論文問題）
出題の意図

卒業研究について小論文形式で記述させること研究内容の理解度と文章作成能力を確認する

以上。

H. 電気情報工学

H1.（電気回路）

出題の意図

基本的な交流回路と電気回路の時間応答の解析を確認するため。

解答例

（1）　(i)

$$|I| = |V||Y| = |V| \times \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + (\omega C)^2}$$

(ii)

$$Y = \frac{1}{R} + j\omega C - j\left(\frac{1}{\omega L}\right) = \frac{1}{R} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)$$

(iii)

$$|I| = |V||Y| = |V| \times \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}$$

（2）　(i)

$$v(t) = E \times \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)$$

(ii)

$$U(t) = \frac{1}{2}CE^2 \times \exp\left(-\frac{2t}{RC}\right)$$

(iii)

$$W = E^2 C \times \frac{1}{2}(1 - \exp(-2))$$

H. 電気情報工学

H2.（情報工学）

出題の意図

シャノンの情報理論を基礎から理解しているか確認するための問題を出題した。

解答例

(1) S1:0, S2:10, S3:110, S4:111

(2) N(T)=N(T−1)+N(T−2)+2N(T−3)

(3) C=1

(4) 10110000

(5) 割り切れない（誤りがある）

H. 電気情報工学

H3.（物性工学）

出題の意図

半導体のキャリア濃度とエネルギーバンド・電流密度の関係および、キャリア濃度の温度依存性の理解を確認するための問題を出題した。

解答例

(1) $E_c - E_F = -\frac{k_B T x}{a} - k_B T \ln\frac{N_{D,0}}{N_c} = -\frac{k_B T x}{a} + k_B T \ln\frac{N_c}{N_{D,0}}$

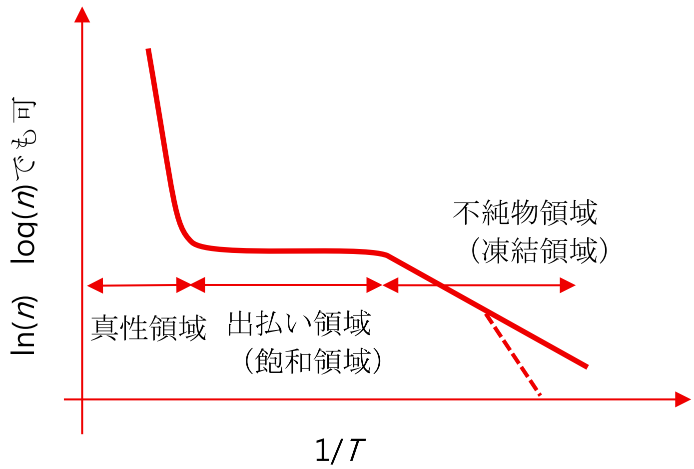
(2) $F = -\frac{k_B T}{aq}$

(3) $J_{drift} = -\frac{N_{D,0}\mu \exp\left(\frac{x}{a}\right) k_B T}{a}$

(4) $J_{diff} = qD\frac{dn}{dx} = \frac{qDN_{D,0}}{a}\exp\left(\frac{x}{a}\right)$

(5) $\mu k_B T = qD$

2.



H. 電気情報工学

H4.（数学）

出題の意図

線形代数、フーリエ変換について、基本的な知識と計算力・論理的思考力を確認する意図で出題した。

解答例

1

(1) $|x+ty|^2 = |y|^2t^2 + 2\langle x,y\rangle t + |x|^2$

(2) (1)で求めたtに関する2次関数の判別式がゼロ以下になる条件式を用いる。（詳細略）

2

(1) rank $A = 2$, rank $B = 2$

(2) $Ax = 0$の場合：解空間の次元は1

$Bx = 0$の場合：解空間の次元は1

(3) $r + d = m$

3

(1) $X(\omega) = \delta(\omega)$

(2) $X(\omega) = -\pi i\big(\delta(W-\omega) - \delta(W+\omega)\big)$

(3) $X(\omega) = \sqrt{\pi}\, exp\ (-\omega^2/4)$

以上。

I. システムデザイン工学

I1.　卒業研究について

出題の意図

卒業研究に関連する基盤学問や専門知識および将来展望・展開力を問う問題を出題した。

解答例

(1)　キーワード: ロバスト制御
基礎学問分野: 制御工学
　などのように適切に記載されていればよい。

(2)　問題文に示されている通り、100字程度で適切に記載されていればよい。

(3)　問題文に示されている通り、300字程度で適切に記載されていればよい。

(4)　問題文に示されている通り適切に説明されていればよい。文字数に制限はないが、答案用紙の解答欄におさまっている必要がある。

I2. 基礎学力確認問題

I2（1） 材料力学・構造力学

出題の意図

システムデザイン工学に関連する基礎知識を問う問題を出題した。特に、材料力学・構造力学に関する基礎的知識を問うための、応力とひずみ、はりの曲げ応力、はりのたわみに関する問題である。

解答例

(1-1)	(ア)	(1)
	(イ)	(5)
	(ウ)	(9)
	(エ)	(11)
	(オ)	(14)
(1-2)	(1-2-1)	$y_{\mathrm{b1}} = \dfrac{4Wl_1{}^3}{Ebh_1{}^3}$
	(1-2-2)	$\sigma_{\max} = \dfrac{6Wl_1}{bh_1{}^2}$
(1-3)	(1-3-1)	$R = \dfrac{Wl_1{}^3h_2{}^3}{l_2{}^3h_1{}^3 + l_1{}^3h_2{}^3}$
	(1-3-2)	$y_{\mathrm{b2}} = \dfrac{4Wl_1{}^3l_2{}^3}{Eb\left(l_2{}^3h_1{}^3 + l_1{}^3h_2{}^3\right)}$
(1-4)		$h_2 = \dfrac{l_2}{l_1}h_1$

I2（2） 熱・環境工学

出題の意図

システムデザイン工学に関連する基礎知識を問う問題を出題した。特に、熱力学・環境工学に関する基礎知識、ならびに熱流体システムデザインに関する知識を問う問題である。

解答例

(2-1)

選択肢の語句について、式を用いながら正しく説明されていたら正解。なお、記号の意味も明記されていること。

(2-2)

（ア） 孤立系

（イ） 閉じた系

（ウ） 開いた系

（エ） 熱力学の第1法則

（オ） 熱力学の第2法則

(エ)の数式表現 $dQ = dU + dW$

Qは熱、Uは内部エネルギー、Wは仕事

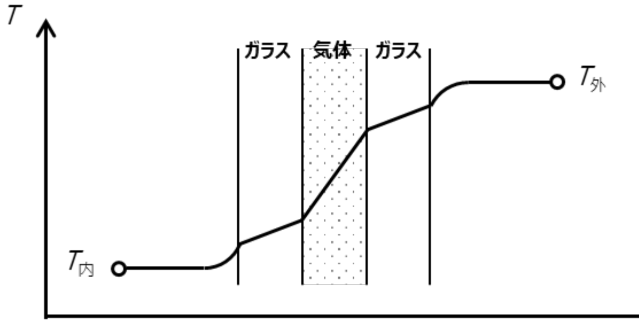
(オ)の数式表現 $\oint \frac{dQ}{T} < 0$

Qは熱、Tは温度

(2-3) (2-3-1)

$$R_T = \frac{1}{h_{\mathrm{in}}\, L^2} + \frac{2w}{\lambda_{\mathrm{glass}}\, L^2} + \frac{w}{\lambda_{\mathrm{gas}}\, L^2} + \frac{1}{h_{\mathrm{out}}\, L^2}$$

(2-3-2)



(2-3-3)

室外から室内に流入する熱量と、クーラーが温度を一定に保つために室外に捨てる熱量のバランスを考えればよい。動作係数からクーラーの仕事を求め、1kWhあたりの電気料金を勘案してあれば正解。

(2-4)

惑星が恒星から受け取るエネルギーは、放射エネルギー密度に惑星の投影面積を掛けたものである。惑星の温度は、惑星が宇宙に放出する輻射エネルギーと恒星から受け取るエネルギーのバランスによって決定される。

I2（3） 電気回路

出題の意図

システムデザイン工学に関連する基礎知識を問う問題を出題した。特に、回路素子の基本特性と立式、過渡応答の物理的理解、減衰振動の理解を目的とした総合問題である。

解答例

（3−1）　$d^2v(t)/dt^2 + 2dv(t)/dt + 2v(t) = -4$

（3−2）　$v(0) = 3$
$dv/dt(0) = 0$

（3−3）　$v(t) = -2 + 5\,e^{-t}(\cos t + \sin t),\ t \geq 0$

（3−4）　エネルギーと過渡応答の本質的な理解を確認する問題。

（3−5）　連続条件が応答を決める本質を理解しているかという点について確認する問題。

I2（4） 電磁気工学

出題の意図

システムデザイン工学に関連する基礎知識を問う問題を出題した。特に、電磁気工学の基礎について、電界と磁界との関係性を問う問題である。

解答例

（4−1） $\frac{I}{2\pi R}$

（4−2） 電流ベクトルおよび導線中心から当該点へ向かう位置ベクトルの双方に対して直交し、電流ベクトル、位置ベクトル、磁界ベクトルの順で右手系をなす向き（電流の進行方向に向かって、時計回りの接線方向）。

（4−3） $\frac{\mu_0 I}{2\pi R}$

（4−4） $\frac{Ir}{2\pi R^2}$

（4−5） $\frac{\mu_0 Ir}{2\pi R^2}$

（4−6） $\nabla \times \boldsymbol{A}$

（4−7） $\frac{-\mu_0 I}{2\pi}\ln r + C$ （任意定数C は省略可）

（4−8） 問題文に示されている通り適切に説明されていればよい。文字数に制限はないが、答案用紙の解答欄におさまっている必要がある。

I2（5） 建築計画

出題の意図

システムデザイン工学に関連する基礎知識を問う問題を出題した。特に、建築計画に関する基礎知識、ならびに立体物の投影図法に関する知識を問う問題である。

解答例

(5−1)		図学に関する知識と理解を問う問題。
(5−2)	(5−2−1)	2 建築計画（集合住宅の類型）に関する知識と理解を問う問題。
	(5−2−2)	1　4　3 建築計画（集合住宅の類型）に関する知識と理解を問う問題。
(5−3)	(5−3−1)	1 重要な建築作品に関する知識と理解を問う問題。
	(5−3−2)	4　3　2 重要な建築作品に関する知識と理解を問う問題。
(5−4)		都市デザインに関する知識と、論理的な思考能力を問う問題。

以上。

J. オープンサイエンス

J1.

出題の意図

　これまで取り組んできた卒業研究の理解を問う。

解答例

　一義的な解答を示すのが困難なため、解答例は省略。

J2.

出題の意図

　理工学研究科入学後の研究ビジョンを通して、基礎的研究能力を問う。

解答例

　一義的な解答を示すのが困難なため、解答例は省略。

以上。

K. 管理工学

K1.（数学1）

出題の意図

線形代数の基礎的な知識を確認するために、対称行列の直交行列による対角化に関する問題を出題した。また、凸集合と凸関数の定義を理解しているかを確認するために、基礎的な証明問題を出題した。

解答例

（1）（i）

固有値 0, 固有ベクトル $t\begin{bmatrix} 1 \\ -2 \\ 1 \end{bmatrix}$（$t \neq 0$ は任意定数）

（ii）

$$\boldsymbol{P} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & 0 & -\frac{2}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{6} \end{bmatrix},\ \boldsymbol{D} = \begin{bmatrix} 12 & 0 & 0 \\ 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

（iii）

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \end{bmatrix}$$

（2）（i）省略

（ii）省略

K2.（数学2）

出題の意図

連続確率変数の和および独立性に関する性質についての基本的理解および応用力を問う問題を出題した。

解答例

（1）（i）省略

（2）（i）2

（ii）$\frac{7}{8}$

（iii）以下で定義される関数g:

$$g(x) = \begin{cases} 2e^{-\frac{1}{2}x} - (x+2)e^{-x} & (x \geq 0) \\ 0 & (x < 0) \end{cases}$$

K3.（統計）

出題の意図

正規分布に基づく標本平均の分布、区間推定、仮説検定や、最尤推定量、重回帰分析における最小2乗推定量、主成分分析といった統計学における基礎的知識を問う問題を出題した。

解答例

（1） (i) 期待値：μ 分散：$\frac{\sigma^2}{n}$ 分布：$N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right)$

(ii) $\left(\bar{x} - 1.960\frac{\sigma}{\sqrt{n}},\ \bar{x} + 1.960\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)$

(iii) $\frac{\sqrt{n}(\bar{x}-\mu_0)}{\sigma} > 1.645$

(iv) $\widehat{\boldsymbol{\beta}} = (\boldsymbol{X}^\top\boldsymbol{X})^{-1}\boldsymbol{X}^\top\boldsymbol{y}$

（2） (i) 基本的な点推定量である最尤推定量についての知識を問う問題である。

(ii) 代表的な多変量解析法の一つである主成分分析についての知識を問う問題である。

K4.(オペレーションズ・リサーチ)

出題の意図

線形計画問題に関する知識と基礎的な計算能力を測ること、およびオペレーションズ・リサーチにおける基本的な用語や概念の理解を確認することを目的とした出題である。

解答例

(1) (i) (ア): (5,4) (イ): 53

(ii) (ウ): 2 (エ): 0.5 ただし、(ウ)と(エ)は逆でもよい。

(iii)

$$
\begin{array}{ll}
\text{minimize} & 13y_1 + 14y_2 + 6y_3 \\
\text{subject to} & y_1 + 2y_2 + y_3 \geq 5 \\
 & 2y_1 + y_2 \geq 7 \\
 & y_1, y_2, y_3 \geq 0
\end{array}
$$

(iv) (オ): (3,1,0) (カ): 53

(v) 与えられた線形計画問題の例題を、現実問題と関連付けて解釈する能力を測ることを目的とした出題である。

(2) (i) PERTに関わる重要概念の理解と基礎知識を問うことを目的とした出題である。

(ii) 待ち行列理論に関わる重要概念の理解と基礎知識を問うことを目的とした出題である。

K5.(経営)

出題の意図

ポートフォリオ理論、コーポレートファイナンス、デリバティブというファイナンスの重要領域から基礎力を確認する問題を出題した。

解答例

(1) (i) $\frac{\sigma^2}{n}$

(ii) $\frac{0.7\sigma^2}{n} + 0.3\sigma^2$

(iii) 上記の問題より、相関がない場合には保有銘柄数を増やすことでリスクを減らすことができる。また資産間に相関がある場合には、固定のリスクが残るため、相関が低い資産に投資することが重要である。これを分散化という。

(2) 1円

(2) 500円、割安であるため購入するべき

K6.（経済）

出題の意図

寡占競争とマッチングに関するモデルの分析能力を問う問題を出題した。

解答例

（1）　(i)

$$q_1^* = \frac{1-(2-k)c}{3}, \qquad q_2^* = \frac{1+(1-2k)c}{3}$$

(ii)

$$\frac{(1-(2-k)c)^2}{9}$$

(iii)　$1 < k < 2$のときcに関して減少、$2 < k < 3$のときcに関して増加（$k = 2$のときはcに関して一定）。理由についてはcの変化が利潤に対して与える正負の影響を考察できているかを問うている。

（2）　存在する。w_2 は真の選好を表明すると m_1 と結婚するが、例えば選好を (m_3, m_4, m_1, m_2) と表明することにより m_3 と結婚できる。

K7.（情報）
出題の意図

ソーティングおよび探索問題を通して，アルゴリズムに関する基礎知識，プログラムの読解力，計算量の理解力を問う問題を意図している。

解答例

（1） (i) （ア）分割統治法
（イ）整列済み
（ウ）再帰

(ii) [13, 81]
[4, 38]
[4, 13, 38, 81]
[22, 69]
[41, 43]
[22, 41, 43, 69]
[4, 13, 22, 38, 41, 43, 69, 81]

(iii) 時間的計算量：$O(Nlog_2N)$
要素数がN個の配列をマージソートする計算量を$T(N)$とした場合、マージソートの計算量は下記の式で表せる。

$$T(N) = 2T\left(\frac{N}{2}\right) + O(N)$$

$O(N)$はマージ操作にかかる計算量である。これを解くことにより、マージソートの計算量は$O(Nlog_2N)$と求まる。

（2） （a） 配列xの先頭要素$x[0]$から順番に、各要素をキーkと比較する。一致した場合、終了。一致しない場合、配列の最後の要素かどうかを調べる。最後の要素であった場合、キーkは存在していないと判断し、終了。最後の要素でない場合、次の要素とキーkとの比較を続ける。

（b） 配列xを事前に昇順にソートする。配列xの中央値（x[中央]）とキーkを比較し、下記の3パターンに分けて処理を行う.
（1）キーkがx[中央]と一致する場合、終了。
（2）キーkがx[中央]より小さい場合、配列の左半分（$x[0]$からx[中央－1]）を対象として、同様に比較を行う。
（3）キーkがx[中央]より大きい場合、配列の右半分（x[中央+1]から$x[N-1]$）を対象として、同様に比較を行う。
キーkと一致するx[中央]が見つかるまで上記を繰り返す。探索範囲が存在しなくなった場合、キーkが配列に存在しないと判断し、終了。

（c） (1)(2)の手順に従って行う。なお、データの衝突はないものとする。
（1）事前にハッシュ関数を用いて、各データを配列xの対応する要素番号

$index$に格納する。すなわち、$index$ = ハッシュ関数（データ）より要素番号を計算し、$x[index]$ = データ として格納する。
(2) 検索したいキーkに対しても同様にハッシュ関数を用いて要素番号を計算する。すなわち、i = ハッシュ関数（キー）よりキーkに対応する要素番号iを計算し、$x[i]$とキーkが一致するかどうかを調べる。一致した場合、キーkは存在しており、一致しない場合、キーkは存在していないと判断する。

K8.（人間工学）

出題の意図

（1）ワークロードに関する基本的な問題であり、NASA−TLXによる評価と低いワークロードが作業者にもたらす影響について問う問題である。（2）状況認識（Situation Awareness）に関する基本的な問題であり、状況認識とは何か、さらに状況認識のレベル1、レベル2、レベル3の特徴を理解できているかを確認する問題である。

解答例

（1）　(i)　制御操作卓Aに関するWWL得点：
5×80＋1×20＋3×60＋2×50＋3×601×20＝900
900÷15＝60

制御操作拓Bに関するWWL得点：
5×60＋1×40＋3×50＋2×40＋3×50＋1×30＝750
750÷15＝50

よって、ある被験者の制御操作卓に関するワークロードは、
制御操作卓A　＞　制御操作卓B
と推定される。

(ii)　ワークロード（作業負荷）は低ければ良いという単純なものではなく、「適切なレベル」であることが重要であり、基本的な考え方となる。ワークロードが低すぎる状態にあると、単調作業となったり、退屈・眠気などを誘発し、その結果として、注意力低下，ミス，モチベーション低下などが生じる。このような状態は、作業者にとっては必ずしも適当でない。

（2）　「状況認識（Situation Awareness, SA）」とは、ある環境や場面において「何が起きているのか」「何が重要なのか」「これから何が起こりそうか」を把握・理解する能力を指す。これは特に安全性や迅速な意思決定が求められる分野（例えば、航空機、医療、自動運転など）で非常に重要とされている。

図中の(a)は状況認識のレベル1に該当し、「環境要素の知覚」であ

る。（状況認識の第一段階で、関連する環境の状態、特性およびその時間的な変化を知覚する、環境の中の重要な情報を検出・収集する）

図中の(b)は状況認識のレベル2に該当し、「現状の理解」である。（レベル1で得られた要素の特性を組合せ、周りの環境の全体像を把握し、対象と起こっている事柄の意味を理解する、収集した情報を意味づけし、現在の状態がどういう状態なのかを理解する）

図中の(c)は状況認識のレベル3に該当し、「将来状況の予測」である。（レベル1およびレベル2で得られた環境要素の状態と時間的変化およびそれらの理解に基づいて、環境要素の将来を予測する、現在の状況から、次に何が起こるかを予測し、先を見越した判断や行動につなげる）

K9.（インダストリアル・エンジニアリング）

出題の意図

（1）経済性工学に関する知識を問う問題で、排反案の中から無資格案となる案を判定し、残された案に対して、追加効率を求める基礎的な知識を問う問題である。（2）IEに関する知識を問う問題で、時間研究における重要な概念となる標準時間ついて、その定義と算出方法を問う基礎的な問題である。

解答例

（1）　C案

（2）　標準時間とは、熟練した作業者が、適正な作業条件のもとで、普通の作業速度で作業を行った場合に必要とされる時間のことを示す。

標準時間の算出方法は、以下の通りである。

標準時間＝基本時間＋余裕時間

なお、基本時間＝観測時間 × レイティング係数

以上。