音響工学・信号処理

注意： 問題 I, II, III は必答問題。さらに選択問題 IV, V, VI, VII のいずれか 2 問を選択すること。
なお, 解答用紙の裏面には解答しないこと。裏面に解答しても採点しません。また各問題ごとに解答用紙を別にすること。

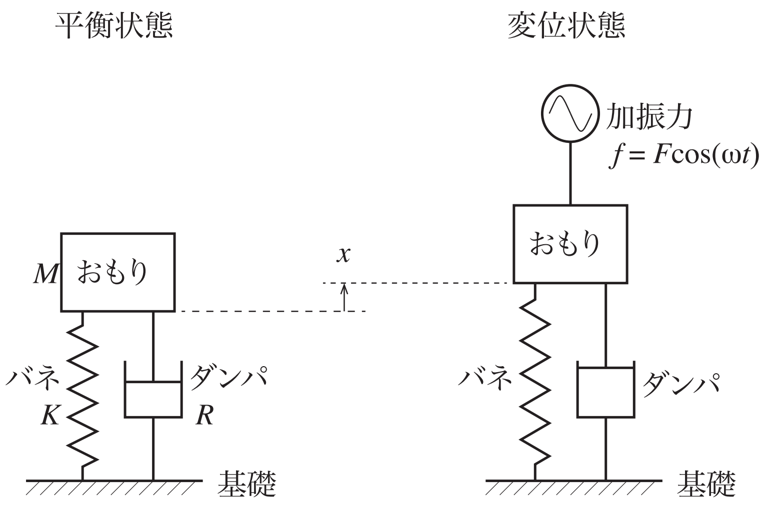
〔必答問題〕

問題 I　(40 点)

下図は，加振力 $f(t) = F\cos(\omega t)$ で加振される機械振動系を示したものである。x はおもりの平衡状態からの変位，M はおもりの質量，R はダンパの抵抗係数，K はバネのバネ定数，F は加振力の振幅，ω は加振力の角周波数，t は時間である。バネとダンパの下端は，動かない基礎に固定されている。減衰は弱く，バネとダンパの質量はないものとする。また，虚数単位は j で表されるものとして解答に用いてもよい。以下の問に答えよ。

(1) 機械振動系の特性を表す重要なものとして，機械インピーダンスがある。機械インピーダンスとはどのような物理量であるのか，また，機械振動系のどのような特性を表しているのかを，簡潔に説明せよ。(5 点)

(2) 下図の機械振動系における機械インピーダンスを，t, M, R, K, ω の中から必要なものを用いて示せ。(5 点)



注意： 問題 I, II, III は必答問題。さらに選択問題 IV, V, VI, VII のいずれか２問を選択すること。
なお, 解答用紙の裏面には解答しないこと。裏面に解答しても採点しません。また各問題ごとに解答用紙を別にすること。

〔必答問題〕

問題 I　(つづき) (40 点)

$x(t)$ の定常解は，以下で表されるものとする。

$$x(t) = A\cos(\omega t + \phi)$$

ただし，

$$A = \frac{F}{M}\frac{1}{\sqrt{\left(\omega_0^2 - \omega^2\right)^2 + \gamma^2\omega^2}}$$

であり，ω_0 はこの機械振動系の固有角周波数，$\gamma(= R/M)$ は減衰定数，ϕ は初期位相角である。

また, この機械振動系から基礎に伝わる力の振幅を F_B としたとき, この機械振動系の振動伝達率 τ は $\tau = F_B/F$ と定義される。

(3) バネから基礎に伝わる力 $f_S(t)$，およびダンパから基礎に伝わる力 $f_D(t)$ を，t, A, M, R, K, ω, ϕ の中から必要なものを用いて，それぞれ示せ。(6 点)

(4) F_B は, $f_S(t) + f_D(t)$ を単一の正弦波で表したときの, その振幅ということになる。F_B を, t, A, M, R, K, ω, ϕ の中から必要なものを用いて示せ。(6 点)

(5) τ は，ω, ω_0, γ のみを用いて表すことができる。それを示せ。(6 点)

(6) ω が与えられたとき，τ を１以下にするためには，その ω に対して M, R, K をどのような値に調整すればよいだろうか。数式を用いながら説明せよ。(6 点)

(7) τ の周波数特性のグラフ (横軸に ω, 縦軸に τ をとったグラフ) の概形を描け。その際, $\omega = 0$, $\omega = \omega_0$, $\omega \to \infty$ における τ の値を明示せよ。(6 点)

注意： 問題 I, II, III は必答問題。さらに選択問題 IV, V, VI, VII のいずれか２問を選択すること。
なお, 解答用紙の裏面には解答しないこと。裏面に解答しても採点しません。また各問題ごとに解答用紙を別にすること。

〔必答問題〕

問題 II　(40 点)

音波に関する以下の問に答えよ。

(1) 振幅が 0.2 Pa である平面正弦音波について，その音圧レベルと，音の強さのレベルを算出せよ。導出過程も示すこと。なお，媒質の固有音響抵抗を 400 と近似してよい。(7 点)

(2) x 軸上のある点の音圧を $p(x)$，また x 軸に沿った粒子速度を $u_x(x)$ とした場合，音波によって x 軸方向に生じる運動を記述する式が，ρ_0 を媒質の質量密度として，以下で与えられることを説明せよ。(8 点)

$$\frac{\partial p}{\partial x} + \rho_0 \frac{\partial u_x}{\partial t} = 0$$

(3) 上式を用いて，音圧を測定することで，粒子速度を推定する方法について説明せよ。測定精度を確保する限界についても言及すること。(8 点)

(4) 音響材料の垂直入射吸音率の定義を示し，その代表的な測定方法について説明せよ。(7 点)

(5) 自由音場において，あるパワーレベルの小さな音源が存在し，その音源から距離 r の受音点における音圧レベルが L [dB] であった。同じパワーレベルの別の音源を受音点から $2\,r$ の距離に置いて両方を同時に動作させた場合，受音点で観測されるレベルは L からどの程度増加するか示せ。なお，二つの音源から放射される音は互いに干渉しないものとする。解答は対数記号を残した形式で表して良い。(10 点)

注意： 問題 I, II, III は必答問題。さらに選択問題 IV, V, VI, VII のいずれか 2 問を選択すること。
なお, 解答用紙の裏面には解答しないこと。裏面に解答しても採点しません。また各問題ごとに解答用紙を別にすること。

〔必答問題〕

問題 III　（40 点）

以下の離散時間信号処理について, 時間領域のみを使い解答せよ。z 領域で解答してはならない。なお, n は時刻を表し, $u[n]$ は以下に示す単位ステップ列である。

$$u[n] = \begin{cases} 0 & (n < 0) \\ 1 & (n \geq 0) \end{cases}$$

また数列 $x[n]$ と $y[n]$ の畳み込みは次式で与えられる。

$$x[n] * y[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]y[n-k]$$

以下の公式を使用してもよい。なお公式中の α は実数である。

$\displaystyle\sum_{n=0}^{N-1} \alpha^n = \begin{cases} \dfrac{1-\alpha^N}{1-\alpha} & (\alpha \neq 1) \\ N & (\alpha = 1) \end{cases}$	$\displaystyle\sum_{n=0}^{\infty} \alpha^n = \frac{1}{1-\alpha} \quad (\lvert\alpha\rvert < 1)$
$\displaystyle\sum_{n=k}^{\infty} \alpha^n = \frac{\alpha^k}{1-\alpha} \quad (\lvert\alpha\rvert < 1)$	$\displaystyle\sum_{n=0}^{\infty} n\alpha^n = \frac{\alpha}{(1-\alpha)^2} \quad (\lvert\alpha\rvert < 1)$

(1) インパルス応答が $h_1[n] = \alpha_1^{n-1}u[n-1]$ である離散時間の線形時不変システムを考える。このシステムが因果的であるか否かを理由とともに示せ。なお α_1 は任意の実数である。（10 点）

(2) 上問 (1) のシステムの有限入力有限出力安定を α_1 を使って説明の過程も含めて示せ。（5 点）

(3) インパルス応答が $h_2[n] = \beta_2^n u[n]$ である離散時間の線形時不変システムを考える。この線形時不変システムに信号 $x_2[n] = \alpha_2^n u[n]$ を入力した場合の出力 $y_2[n]$ を計算過程を含めて示せ。なお α_2 と β_2 は任意の実数である。（10 点）

(4) インパルス応答が $h_3[n] = \alpha_3^{-n}u[-n]$ である離散時間の線形時不変システムを考える。この線形時不変システムに信号 $x_3[n] = \alpha_3^n u[n]$ を入力した場合の $n \leq 0$ における出力 $y_3[n]$ を計算過程を含めて示せ。なお α_3 は $0 < \alpha_3 < 1$ の実数である。($u[-n]$ に注意すること) （5 点）

(5) 上問 (4) のシステムと入力において, $n > 0$ における出力 $y_3[n]$ を計算過程を含めて示せ。（5 点）

(6) 上問 (4)(5) のシステムと入力において, 全ての n に対する出力 $y_3[n]$ を 1 つの式で示せ。ただし n について場合分けを使ってはならない。またこのシステムが因果的であるか否かを理由とともに示せ。（5 点）

注意： 問題 I, II, III は必答問題。さらに選択問題 IV, V, VI, VII のいずれか2問を選択すること。
なお, 解答用紙の裏面には解答しないこと。裏面に解答しても採点しません。また各問題ごとに解答用紙を別にすること。

〔選択問題〕

問題 IV　(40 点)

下図のように，自由音場内に間隔 d[m] で置かれた A, B の2つの全指向性マイクロホン素子をもちいて平面波を受音し，その出力電圧を減算して差分を取り出すシステムを考える。

2つのマイクロホンを結ぶ直線と平面波の進む方向のなす角を θ[rad] とする。2つのマイクロホン素子の中央の点を O とする。また，それぞれのマイクロホンの感度を K [V/Pa] とする。

入射する平面波は純音であり，音圧の実効値を P [Pa], 角周波数を ω[rad/s]，音速を c [m/s], 波数を $k=\omega/c$ とする。点 O での，音圧の瞬時値は $\sqrt{2}Pe^{j\omega t}$ と表せるとする。ここで，j は，虚数単位である。

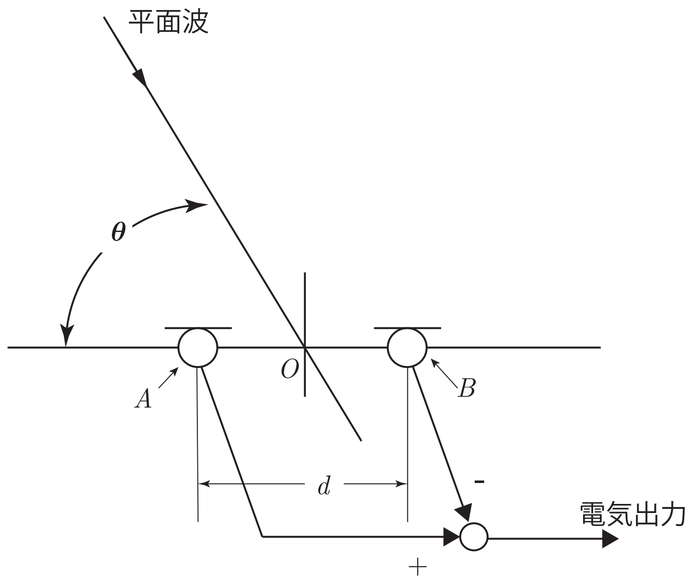
(1) 原点 O に，感度 K のマイクロホンを1つ置いて受音するとき，その出力電圧の瞬時値 $\phi_0(t)$ を表せ。(5 点)

(2) 平面波の，ある波面が原点 O を通る時刻を基準として，その波面がマイクロホン A, B を通る時刻は，それぞれどの時間遅れるか，遅れを正の値として表せ。(5 点)

(3) マイクロホン A の出力電圧からマイクロホン B の出力電圧を減算して差分をとった信号の瞬時値 $\phi(t)$ をあらわせ。(10 点)

(4) $\phi(t)$ の $\phi_0(t)$ に対する比の絶対値 D を求めよ。ただし D の最大値を1に正規化すること。(10 点)

(5) $kd=\pi$ の場合の，θ を変数とする D のグラフを描け。(10 点)



注意： 問題 I, II, III は必答問題。さらに選択問題 IV, V, VI, VII のいずれか２問を選択すること。
なお, 解答用紙の裏面には解答しないこと。裏面に解答しても採点しません。また各問題ごとに解答用紙を別にすること。

〔選択問題〕

問題 V　(40 点)

床寸法 $\ell_x = 8$ m, $\ell_y = 9$ m, および天井高 $\ell_z = 2.88$ m の直方体室の，拡散音場に基づく残響時間 T の設計を考える。以下の問に答えよ。ただし，室の総表面積について $S = 2(\ell_x\ell_y + \ell_y\ell_z + \ell_z\ell_x)$ [m^2], 総容積について $V = \ell_x\ell_y\ell_z$ [m^3]，室内各面の面積による加重算術平均により平均吸音率を定義し，その値を $\bar{\alpha}$ と表記すること。なお，実際の数値を求める際には，音速を c [m/s] としたとき，$K := 24 \ln 10/c = 0.161$ s/m として計算せよ。

(1) 拡散音場の定義，および残響時間の定義を示せ。(7 点)

(2) Sabine の残響公式を導出せよ。ただし，拡散音場においては，室内のエネルギー密度を E [J/m^3] とする時，室内表面に入射する垂直方向音響インテンシティが $\dfrac{Ec}{4}$ [J/(m^{2}s)] であることを用いても良い。(6 点)

(3) Eyring の残響公式を導出せよ。ただし，拡散音場においては平均自由行路が $\dfrac{4V}{S}$ [m] で表されることを用いても良い。(6 点)

(4) 残響時間 $T = 0.4$ s とするために必要な平均吸音率を考える。以下，小数は既約分数に直して途中計算を行い，計算結果は既約分数で解答せよ。

(4-1) $\dfrac{V}{S}$ の値を数値計算せよ。(1 点)

(4-2) Sabine の残響公式に基づき平均吸音率を数値計算せよ。(2 点)

(4-3) Eyring の残響公式および以下の近似に基づき平均吸音率を数値計算せよ。(4 点)

$$-\ln(1-x) \approx x + \frac{1}{2}x^2 \tag{a}$$

(4-4) この条件を Sabine の残響公式により設計した場合に予想される結果を説明せよ。(4 点)

(5) 統計吸音率 $\alpha = 0.84$ の材料 P を用いて残響の調整を行う。この時，天井面のみを材料 P による吸音面とし，その他の 5 面を統計吸音率 0 の反射面とする設計により残響時間 $T = 0.46$ s が達成可能かを検証する。

(5-1) Sabine の残響公式に基づき検証せよ。(4 点)

(5-2) Eyring の残響公式および上記 (a) の近似に基づき検証せよ。(6 点)

注意： 問題 I, II, III は必答問題。さらに選択問題 IV, V, VI, VII のいずれか 2 問を選択すること。
なお, 解答用紙の裏面には解答しないこと。裏面に解答しても採点しません。また各問題ごとに解答用紙を別にすること。

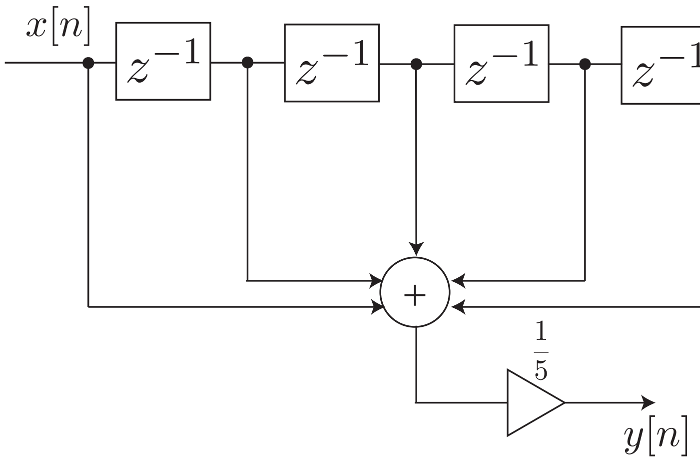
〔選択問題〕

問題 VI　(40 点)

下図は, 離散時間におけるある因果性をもつ線形時不変システムを表すブロック図である。ここで, $x[n]$ はシステムへの入力信号, $y[n]$ はシステムの出力信号, z^{-1} は単位遅延を表す。 また, 離散時間信号 $x[n]$ のフーリエ変換 $X(\Omega)$ は以下のように与えられる。ただし，j は虚数単位である。

$$X(\Omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]e^{-j\Omega n}$$

このとき, 以下の問に答えよ。



(1) システムのインパルス応答 $h[n]$ を求めよ。 (6 点)

(2) $y[n]$ および $y[n-n_0]$ を, $x[n]$ を用いて示せ。 (6 点)

(3) システムの周波数応答 $H(\Omega)$ を求めよ。 (6 点)

(4) 周波数応答 $H(\Omega)$ より, $0 \leq \Omega \leq \pi$ に対する振幅応答 $|H(\Omega)|$ と位相応答 $\angle H(\Omega)$ をぞれぞれ求めよ。ただし, $\angle H(\Omega)$ の値は, $-\pi \leq \angle H(\Omega) \leq \pi$ の条件を満たすように求めなさい。また, $\cos\frac{\pi}{5} = \frac{1+\sqrt{5}}{4}$, $\cos\frac{2\pi}{5} = \frac{-1+\sqrt{5}}{4}$ を利用してもよい。 (6 点)

(5) $0 \leq \Omega \leq \pi$ に対する振幅応答 $|H(\Omega)|$ の概形を描き, 図中には, $|H(0)|$, $|H(\pi)|$ の値, および, $|H(\Omega)| = 0$ となる Ω の値を明示せよ。 (5 点)

(6) $0 \leq \Omega \leq \pi$ に対する位相応答 $\angle H(\Omega)$ を図示せよ。 (5 点)

(7) $y[n]$ を $y[n-1]$ を用いて表現することで, 本システムと同一の特性を持つシステムを極・零型で実現できることがわかる。このときの極・零型システムのブロック図を示せ。 (6 点)

注意： 問題 I, II, III は必答問題。さらに選択問題 IV, V, VI, VII のいずれか 2 問を選択すること。
なお, 解答用紙の裏面には解答しないこと。裏面に解答しても採点しません。また各問題ごとに解答用紙を別にすること。

〔選択問題〕

問題 VII　(40 点)

以下の式は, 連続時間における因果性の線形時不変システムを表す。

$$y(t) = x(t) + gx(t-T) \qquad \cdots\cdots \text{(a)}$$

ここで, $x(t)$ と $y(t)$ はシステムへの入力と出力, g は実数, T は正の実数である。なお, 連続時間の信号 $x(t)$ のフーリエ変換 $X(\omega)$ および $X(\omega)$ の逆フーリエ変換は, それぞれ以下のように与えられる。

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t}dt \quad ; \quad x(t) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} X(\omega)e^{j\omega t}d\omega$$

ここで, j は虚数単位である。また, デルタ関数 $\delta(t)$ について以下の性質が知られている。

$$\delta(t) = \begin{cases} 0, & t \neq 0 \\ \infty, & t = 0 \end{cases} \quad ; \quad \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t)dt = 1 \quad ; \quad \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t)e^{-j\omega t}dt = 1$$

最後の式は, デルタ関数のフーリエ変換が 1 であることを示している。

(1) 信号 $x(t)$ のフーリエ変換を $X(\omega)$ とする。$X(\omega)$ を用いて $x(t-s)$ のフーリエ変換 $X'(\omega)$ を表せ。ただし, s は実数である。(8 点)

(2) 式 (a) のシステムにおいて, $x(t)$ のフーリエ変換を $X(\omega)$, $y(t)$ のフーリエ変換を $Y(\omega)$ とする。システムの周波数応答 $H(\omega)$ を示せ。(8 点)

(3) 信号 $x(t)$ の自己相関関数 $\phi(\tau)$ は, $\phi(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)x(t-\tau)dt$ で定義され, かつ $\phi(\tau)$ は $x(t)$ のパワスペクトル $|X(\omega)|^2$ の逆フーリエ変換において $t = \tau$ としたものに等しい。このことを利用して, 自乗振幅応答 $|H(\omega)|^2$ よりシステムのインパルス応答の自己相関関数を求めよ。(8 点)

(4) 式 (a) のシステムにおいて $g = 1$ の場合を考え, システムに複素指数信号 $x(t) = e^{j\omega_o t} = e^{j2\pi f_o t}$ を入力する。n を正の整数として, 複素指数信号の周波数が $f_o = \dfrac{2n-1}{2T}$ [Hz] であるとき, システムからの出力 $y(t)$ を示せ。(8 点)

(5) $g = 1$ とした場合のシステムの周波数振幅応答 $|H(\omega)|$ を, $\dfrac{\omega T}{2}$ の関数として求めよ。さらに, 周波数位相応答 $\angle H(\omega)$ を示せ。(8 点)

令和８（2026）年度　大学院　修士課程（一般入試）学力検査問題

音響工学・信号処理

解　答　紙

（　１１ 枚中 １ 枚目　）

受 験 番 号

各問題ごとに解答用紙を別にすること。

裏面には解答しないこと。裏面に解答しても採点しません。

音響工学・信号処理	解　答　紙 （　１１ 枚中 ２ 枚目　）	受験番号

各問題ごとに解答用紙を別にすること。

令和８（2026）年度　大学院　修士課程（一般入試）学力検査問題

音響工学・信号処理

解　答　紙

（　１１ 枚中 ３ 枚目　）

受験番号

各問題ごとに解答用紙を別にすること。

裏面には解答しないこと。裏面に解答しても採点しません。

令和８（2026）年度　大学院　修士課程（一般入試）学力検査問題

音響工学・信号処理	解　答　紙 （ １１ 枚中 ４ 枚目 ）	受験番号

各問題ごとに解答用紙を別にすること。

裏面には解答しないこと。裏面に解答しても採点しません。

令和８（2026）年度　大学院　修士課程（一般入試）学力検査問題

音響工学・信号処理

解　答　紙

（　１１ 枚中 ５ 枚目　）

受験番号

各問題ごとに解答用紙を別にすること。

裏面には解答しないこと。裏面に解答しても採点しません。

音響工学・信号処理

解　答　紙

（　１１ 枚中 ６ 枚目　）

受 験 番 号

各問題ごとに解答用紙を別にすること。

令和８（2026）年度　大学院　修士課程（一般入試）学力検査問題

音響工学・信号処理

解　答　紙

（　１１ 枚中 ７ 枚目　）

受 験 番 号

各問題ごとに解答用紙を別にすること。

裏面には解答しないこと。裏面に解答しても採点しません。

令和８（2026）年度　大学院　修士課程（一般入試）学力検査問題

音響工学・信号処理	解　答　紙 （　１１ 枚中 ８ 枚目　）	受 験 番 号

各問題ごとに解答用紙を別にすること。

裏面には解答しないこと。裏面に解答しても採点しません。

音響工学・信号処理

解　答　紙

受験番号

各問題ごとに解答用紙を別にすること。

令和８（2026）年度　大学院　修士課程（一般入試）学力検査問題

音響工学・信号処理

解　答　紙

（　１１ 枚中 １０ 枚目　）

受 験 番 号

<u>各問題ごとに解答用紙を別にすること。</u>

裏面には解答しないこと。裏面に解答しても採点しません。

音響工学・信号処理

解　答　紙

受験番号

各問題ごとに解答用紙を別にすること。

令和８（2026）年度　大学院　修士課程（一般入試）学力検査問題

音響工学・信号処理

計 算 用 紙

（　全２枚　）

音響工学・信号処理

計 算 用 紙

（　全２枚　）