令和７（2025）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



**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。<u>また各問題ごとに解答用紙を別にすること。</u>

## 〔必答問題〕

### 問題 I　(40 点)

下図のような，減衰が弱い１自由度の強制振動系を考える。その支配方程式は，次式で表されるものとする。

$$M\frac{d^2x}{dt^2}+R\frac{dx}{dt}+Kx=f$$
$$f=F\cos(\omega t)=\mathrm{Re}\left[Fe^{j\omega t}\right]$$

ここで，$x$ はおもりの振動変位，$M$ 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，$F$ は加振力の振幅，$\omega$ は加振力の角振動数，$t$ は時間，$j$ は虚数単位である。Re[ ] は実数部分を取り出す演算子である。なお，$\omega_0=\sqrt{K/M}$, $h=R/M$ とする。以下の問に答えよ。

(1) $x$ の定常解を，複素振幅 $D$ を用いて以下のように表したとする。

$$x=\mathrm{Re}\left[De^{j\omega t}\right]$$

$D$ を，$M, R, K, F, \omega, j, \omega_0, h$ の中から必要なものを用いて示せ。(5 点)

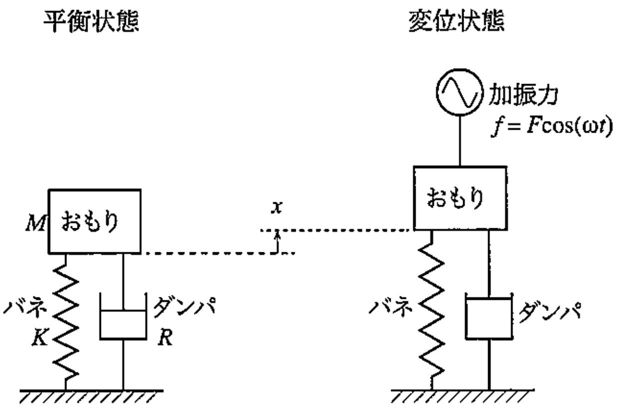
(2) $x$ の定常解を，複素数を使用せずに，実数のみを用いて以下のように表したとする。

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

$A$, $\cos\phi$, $\sin\phi$ を，$M, R, K, F, \omega, j, \omega_0, h$ の中から必要なものを用いて示せ。(5 点)

(3) この強制振動系の振動変位の振幅周波数特性のグラフ（横軸に角振動数 $\omega$，縦軸に $A$ または複素振幅 $D$ の絶対値をとったグラフ）と，位相周波数特性のグラフ（横軸に角振動数 $\omega$，縦軸に位相 $\phi$ をとったグラフ）の概形を描け。その際，$\omega=0$, $\omega=\omega_0$, $\omega\to\infty$ における値を，$M, R, K, F, j, \omega_0, h, \pi$ の中から必要なものを用いて明示せよ。(7 点)

(4) この強制振動系の振動変位の振幅（$A$ または $D$ の絶対値のこと）が，厳密に最大値をとるときの加振力の角振動数 $\omega_{\max}$，およびそのときの振幅の最大値 $A_{\max}$ を，$M, R, K, F, j, \omega_0, h$ の中から必要なものを用いて示せ。(7 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)

次に，下図のような，基礎が角振動数 $\omega$ で調和励振される減衰が弱い 1 自由度の振動系を考える。その支配方程式は，次式で表されるものとする。

$$M\frac{d^2x_2}{dt^2} + R\left(\frac{dx_2}{dt} - \frac{dx_1}{dt}\right) + K(x_2 - x_1) = 0$$
$$x_1 = A_1\cos(\omega t) = \mathrm{Re}\left[A_1 e^{j\omega t}\right]$$

ここで，$x_1$ は基礎の振動変位，$x_2$ はおもりの振動変位，$M$ 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，$A_1$ は基礎の振動変位の振幅である。なお，$\omega_0 = \sqrt{K/M}$, $h = R/M$ とする。以下の問に答えよ。

(5) $x_2$ の定常解を，複素振幅 $D_2$ を用いて以下のように表したとする。

$$x_2 = \mathrm{Re}\left[D_2 e^{j\omega t}\right]$$

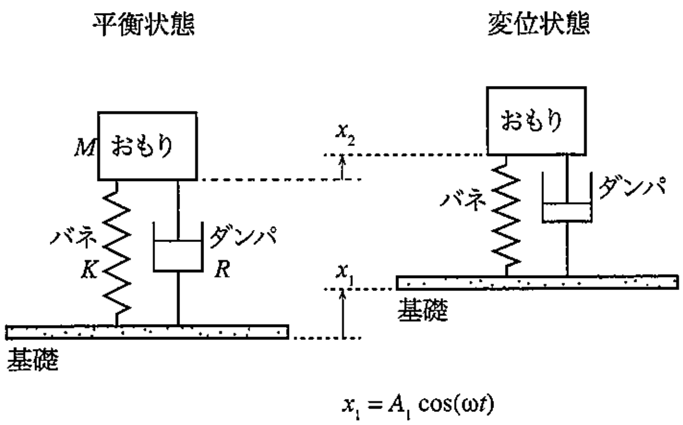
$D_2$ を，$M, R, K, A_1, \omega, j, \omega_0, h$ の中から必要なものを用いて示せ。(5 点)

(6) 基礎に対するおもりの相対変位 $y = x_2 - x_1$ の定常解を，複素振幅 $G$ を用いて以下のように表したとする。

$$y = \mathrm{Re}\left[G e^{j\omega t}\right]$$

$G$ を，$M, R, K, A_1, \omega, j, \omega_0, h$ の中から必要なものを用いて示せ。(5 点)

(7) 相対変位 $y$ の振幅周波数特性のグラフ（横軸に角振動数 $\omega$，縦軸に複素振幅 $G$ の絶対値をとったグラフ）の概形を描け。その際，$\omega = 0, \omega = \omega_0, \omega \to \infty$ における値を，$M, R, K, A_1, j, \omega_0, h, \pi$ の中から必要なものを用いて明示せよ。(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)

自由空間中の $x$ 軸方向に沿って，速度ポテンシャルの瞬時値が以下で表される正弦平面音波が伝搬している。

$$\phi(x,t) = \mathrm{Re}\left[A\, e^{j(\omega t - kx)}\right]$$

ここで $\mathrm{Re}\left[\ \ \right]$ は複素数の実部を求めることを示し，$A$ は実数の振幅，$\omega$ は角周波数，$c$ を音速，$k=\omega/c$ を波数，$\rho_0$ を媒質の密度，$t$ は時間を表すものとする。また $j=\sqrt{-1}$（虚数単位）である。以下の問に答えよ。

(1) $A$ の単位を SI 単位系で示せ。(8 点)

(2) この平面波の音圧および粒子速度を示せ。(8 点)

(3) この平面波の音の強さ（音響インテンシティ）は，上記の音圧，粒子速度の実部の積を時間（周期）平均することで導くことができる。この値が $\rho_0 \omega k A^2/2$ であることを示せ。(8 点)

(4) この平面波によって生じる物理量のレベル表記を考える。

(4-1) この平面波の音圧レベルおよび音の強さのレベルを，上式で得られた記号を用いて示せ。(4 点)

(4-2) 平面波の場合，音圧レベルと音の強さのレベルは等しいと言われるが，これはある近似（数値の丸め）に基づいている。どのような近似であるか説明せよ。また気温が低い場合と高い場合で，いずれの方が近似が成り立ちやすいかも示すこと。(4 点)

(5) おなじ $x$ 軸上に，$B$ を実数の振幅として速度ポテンシャルが $\phi'(x,t) = \mathrm{Re}\left[B\, e^{j(\omega t + kx)}\right]$ で表される平面波が存在する場合，$x$ 軸上で観測される音圧レベルは最大何 dB 上昇するか，導出過程と共に式で示せ。(8 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)

システムの入出力関係が以下の差分方程式で表される離散時間システム $H(z)$ について，以下の各問に答えよ。

$$y(n) = x(n) - x(n-2)$$

なお数列 $x(n)$ の z 変換を $X(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n) z^{-n}$ とする。また $j$ は虚数単位である。

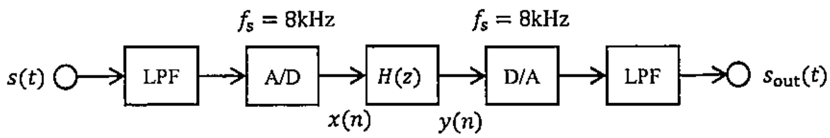
(1) このシステムの伝達関数 $H(z)$ を求めよ。(10 点)

(2) システムの零点を ○，極を × として z 平面上に図示せよ。(5 点)

(3) このシステム $H(z)$ の周波数応答 $H(e^{j\Omega})$ を求めよ。さらに，振幅周波数応答 $|H(e^{j\Omega})|$ 及び位相周波数応答 $\angle H(e^{j\Omega})$ をそれぞれ描け。横軸 $\Omega$ は $-\pi \leq \Omega < \pi$ の範囲で表示すること。(10 点)

(4) システム $H(z)$ と低域通過型フィルタ (LPF)，サンプリング周波数 $f_s = 8$ kHz の A/D，D/A 変換システムを組み合わせた下図の信号処理システムを考える。この信号処理システムに任意の連続信号 $s(t)$ を入力し，出力として連続信号 $s_{\mathrm{out}}(t)$ を得た。この信号処理システムにおいて，低域通過型フィルタ (LPF) に求められる条件を示せ。なお，LPF には理想 LPF を用い，また量子化ビット数は充分大きく量子化歪は無視できるものとする。(10 点)

(5) 上問 (4) において，任意の連続信号 $s(t)$ に対する $s_{\mathrm{out}}(t)$ はどのようなスペクトル変形を受けた信号となるか。具体的な周波数などを使って説明せよ。なおスペクトルは連続時間周波数解析を使用したとする。(5 点)




信号処理システム

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) 可動コイル型の動電変換器について，以下の問に答えよ。
ただし，虚数単位は $j$ と書くこととする。
数値計算を行う場合の有効数字は３桁とし，円周率 $\pi$ は，3.14 とする。

(1) 磁束密度を $B$ [T], コイルを構成する線の線長が，$\ell$ [m] であるとする。このコイルに電流 $I$ [A] を流したとき，コイルに働く電磁力 $F'$ [N] を求めよ。(5 点)

(2) 問 (1) において，$B = 1.2$ T，$\ell = 3.2$ m，$I = 0.5$ A であるとする。コイルに働く電磁力 $F'$ を求めよ。単位を明記せよ。(5 点)

(3) 問 (2) の動電変換器の振動部分の全質量が $m = 20$ g であるとする。コイルに周波数 200 Hz 実効値 I = 1.0 A の正弦波電流を流した時，振動系が動く速度の実効値 V の値はいくらになるか求めよ。単位を明記せよ。ただし，この周波数は，質量制御領域である。また，振動系支持のばねの強さは無視できるものとし，機械抵抗もないものとする。(10 点)

(4) 問 (3) の条件において，振動系の振動変位振幅の実効値 X は，いくらになるか求めよ。単位を明記せよ。(5 点)

(5) 問 (3) の動電変換器をコイルの端子から見た周波数 200 Hz での 動インピーダンス $Z_{em} = R_{em} + j\,X_{em}$ を求めよ。単位を明記せよ。(10 点)

(6) 問 (3) とは別の，ある可動コイル型動電変換器の電気端子間の電気インピーダンスを，振動系が振動できる状態とし，ある周波数で測定したとき，$Z_e = 10.2 + j\,2.3$ [Ω] であった。また，振動系を動かないように固定した状態とし，同じ周波数で測定した時，$Z_{e0} = 10.0 + j\,2.9$ [ Ω ] であった。この動電変換器の振動できる状態での動インピーダンス $Z_{em} = R_{em} + j\,X_{em}$ の値はいくらか。単位を明記せよ。(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 V　(40 点)

表面積が $S$ [m$^2$], 容積が $V$ [m$^3$] の室がある。室内には音響出力 $W$ [W] の点音源があり球面波を放射するが，その近傍以外では音場が拡散しているものとして以下の問に答えよ。なお，音速を $c$ [m/s]，室内のエネルギー密度を $E$ [J/m$^3$], 室内の平均吸音率を $\overline{\alpha}$ とする。拡散音場におけるエネルギー減衰の過程は，$V\dfrac{dE(t)}{dt} = -V\dfrac{E(t)}{\tau}$ で表され，拡散音場に接する境界面の単位面積に，単位時間に入射するエネルギーは $\dfrac{Ec}{4}$ で与えられることを利用して，以下の問に答えよ。

(1) 拡散音場の定義，および残響時間の定義を示せ。(7 点)

(2) エネルギーの減衰過程を表す式における，変数 $\tau$ と残響時間 $T$ の関係を示せ。(6 点)

(3) 平均自由行路 $\ell_m$ の定義を示し，この室における値を示せ。(6 点)

(4) 室内において，音源から離れた場所での平均音圧レベルが $L$ [dB] であった。このとき，音源のパワーレベル PWL [dB] を与える式を導出過程と共に示せ。(7 点)

(5) 一方，音源の近くで，音源の中心から距離 $r$[m] での音圧レベルが $L'(r)$ [dB] である場合，音源のパワーレベルは以下で表される。

$$\mathrm{PWL} = L'(r) - 10\log_{10}\left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right)$$

ここで，室定数 $R$ がどのように定義されるか示し，さらに右辺括弧内の2項が持つ物理的な意味を示せ。(7 点)

(6) この室において，空室時の残響時間が $T_0$ [s] であった。また室の境界に，統計吸音率が 0.5 で面積が $S_1$ [m$^2$] の材料を設置した場合の残響時間が $T_1$ [s] であった。材料の面積 $S_1$ が，以下のように表されることを，Sabine の残響公式を用いて示せ。(7 点)

$$S_1 = \frac{T_0 - T_1}{T_1}\frac{2S\overline{\alpha}}{1 - 2\overline{\alpha}}$$

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)

以下の式は, 離散時間における因果性の線形時不変システムを表す差分方程式である。

$$y(n) = \frac{1}{8}\{x(n) + 3x(n-1) + 3x(n-2) + x(n-3)\}$$

なお, 離散時間の信号 $x(n)$ 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。

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

(1) システムのインパルス応答 $h(n)$ を求めよ。(6 点)

(2) システムの周波数応答 $H(\Omega)$ を求めよ。(6 点)

(3) 周波数応答 $H(\Omega)$ より振幅応答 $|H(\Omega)|$ と位相応答 $\angle H(\Omega)$ をぞれぞれ求めよ。なお, $-\pi < \Omega \leq \pi$ の範囲で $\angle H(\Omega)$ は $\Omega$ の線形な関数であり, 不連続を有さない。(6 点)

(4) $0 \leq \Omega \leq \pi$ に対する振幅応答 $|H(\Omega)|$ の概形を, $|H(0)|$ および $|H(\pi)|$ の値とともに図示し, このシステムが低域通過型フィルタの特性を有することを示せ。(6 点)

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

(6) 長さ $N$ の信号を $x_1(n)(n = 0, 1, 2, 3, ..., N-1)$ とし, さらに信号 $x_2(n) = (-1)^n x_1(n)$ を定義する。$x_1(n)$ のフーリエ変換を $X_1(\Omega)$, $x_2(n)$ のフーリエ変換を $X_2(\Omega)$ とする。このとき, 以下の関係が成り立つことを示せ。(5 点)

$$X_2(\Omega) = X_1(\Omega - \pi)$$

(7) 上の (1) で求めたインパルス応答 $h(n)$ に対して, インパルス応答 $g(n) = (-1)^n h(n)$ を定義する。この新たなシステムについて, 振幅応答 $|G(\Omega)|$ の概形を図示し, システムが高域通過型フィルタの特性を有することを説明せよ。(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 VII　(40 点)

連続時間の信号 $x(t)$ 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。

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t}dt$$

また，正弦関数は $\sin x = x - x^3/3! + x^5/5! - \cdots$ のように多項式展開される。

(1) 信号 $x(t)$ のフーリエ変換を $X(\omega)$ とする。$x(t)$ を $t_0$ だけ時間シフトした信号 $x'(t) = x(t - t_0)$ のフーリエ変換 $X'(\omega)$ を，$X(\omega)$ を用いて表せ。(6 点)

(2) 信号 $x(t)$ のフーリエ変換を $X(\omega)$，このフーリエ変換を $\omega_0$ だけ周波数シフトしたものを $X(\omega - \omega_0)$ とする。$X(\omega - \omega_0)$ の逆フーリエ変換は，$e^{j\omega_0 t}x(t)$ であることを示せ。(6 点)

(3) $f(t) = \cos(\omega_0 t)$ のフーリエ変換 $F(\omega)$ を求めよ。なお，信号 $x(t) = 1$ のフーリエ変換は $X(\omega) = 2\pi\delta(\omega)$，$\delta(\omega)$ は以下に示すデルタ関数である。(7 点)

$$\delta(\omega) = \begin{cases} 0, & \omega \neq 0 \\ \infty, & \omega = 0 \end{cases} \quad , \quad \int_{-\infty}^{\infty} \delta(\omega)d\omega = 1$$

(4) $g(t) = \cos^2(\omega_0 t)$ のフーリエ変換 $G(\omega)$ を求めよ。(7 点)

(5) 以下のような矩形信号 $s(t)$ について，フーリエ変換 $S(\omega)$ を求めよ。(7 点)

$$s(t) = \begin{cases} \dfrac{1}{T_0} & |t| \leq T_0/2 \\ 0 & |t| > T_0/2 \end{cases}$$

(6) $S(\omega) = 0$ となる周波数のうち，$\omega > 0$ の範囲で最小のもの $(\omega_1)$ と，$\omega < 0$ の範囲で絶対値が最小のもの $(\omega_2)$ とを考える。さらに，$\omega_1$ と $\omega_2$ の差として，$S(\omega)$ のメインローブの幅 $\Delta\omega = \omega_1 - \omega_2$ を定義する。このとき，$\Delta\omega$ は矩形信号の長さ $(T_0)$ に反比例することを示せ。(7 点)

令和7（2025）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



受験番号

**各問題ごとに解答用紙を別にすること。**

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。**

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。**

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。

令和7（2025）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６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。**

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。

令和７（2025）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９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７（2025）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<br>（ １１ 枚中 １１ 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

# 計 算 用 紙

（　全２枚　）

音響工学・信号処理

# 計算用紙

（　全２枚　）