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　例

（　9 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。

問題 I

(1)

$$D = \frac{F/M}{\omega_0^2 - \omega^2 + jh\omega}$$

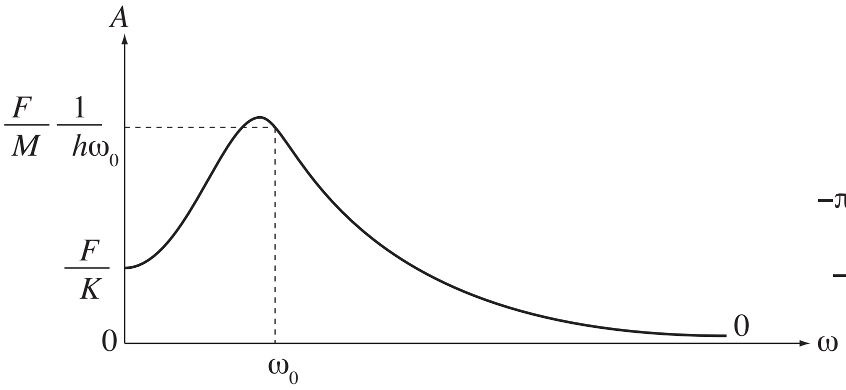
(2)

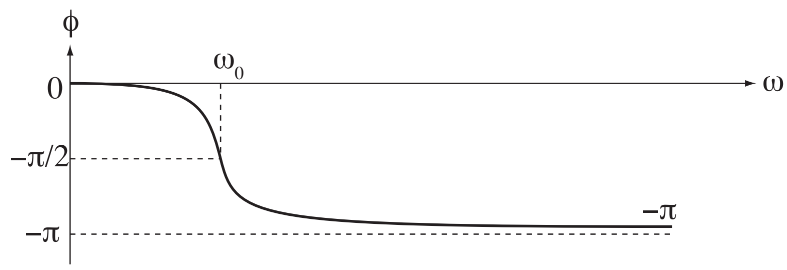
$$A = \frac{F/M}{\sqrt{\left(\omega_0^2 - \omega^2\right)^2 + \left(h\omega\right)^2}}$$

$$\cos\phi = \frac{\omega_0^2 - \omega^2}{\sqrt{\left(\omega_0^2 - \omega^2\right)^2 + \left(h\omega\right)^2}}$$

$$\sin\phi = \frac{-h\omega}{\sqrt{\left(\omega_0^2 - \omega^2\right)^2 + \left(h\omega\right)^2}}$$

(3)





(4)

$$\omega_{max} = \sqrt{\omega_0^2 - h^2/2}$$

$$A_{max} = \frac{F/M}{h\sqrt{\omega_0^2 - h^2/4}}$$

音響工学・信号処理

解　答　例

受験番号

各問題ごとに解答用紙を別にすること。

問題 I（つづき）

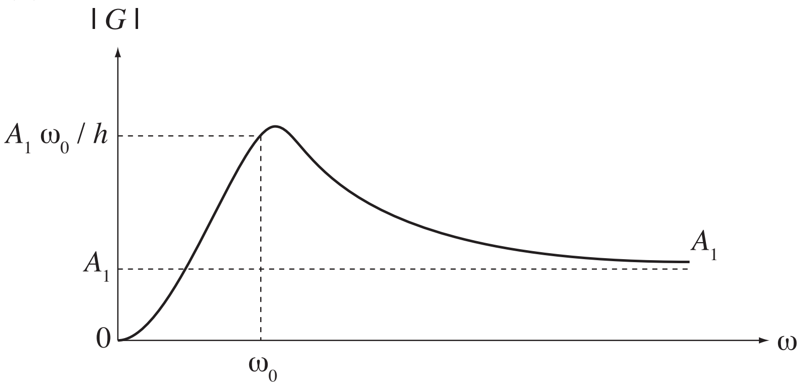
(5)

$$D_2 = \frac{\omega_0^2 + jh\omega}{\omega_0^2 - \omega^2 + jh\omega} A_1$$

(6)

$$G = \frac{\omega^2}{\omega_0^2 - \omega^2 + jh\omega} A_1$$

(7)



音響工学・信号処理

解　答　例

受験番号

各問題ごとに解答用紙を別にすること。

問題 II

(1) $u = -\dfrac{\partial \phi}{\partial x}$ であり，次元としては $[\mathrm{m/s}] = \dfrac{\phi}{[\mathrm{m}]}$ である。つまり，単位は $\mathrm{m^2/s}$ である。

(2) 音圧 $p(x,t) = \rho_0 \dfrac{\partial \phi}{\partial t} = -\rho_0 A\omega \sin(\omega t - kx)$，粒子速度 $u(x,t) = -\dfrac{\partial \phi}{\partial x} = -Ak\sin(\omega t - kx)$

(3) 瞬時音響インテンシティ $I(x,t)$ は，$I(x,t) = p(x,t)u(x,t) = \rho_0 \omega k A^2 \sin^2(\omega t - kx)$ である。音響インテンシティは，これを周期にわたって積分することで得られる。

$$I(x) = \frac{1}{T}\int_0^T \rho_0 \omega k A^2 \sin^2(\omega t - kx) dt = \frac{\rho_0 \omega k A^2}{2T}\int_0^T [1 - \cos 2(\omega t - kx)]\, dt = \cdots = \frac{\rho_0 \omega k A^2}{2}$$

(4) 音圧レベル SPL は $10\log_{10}(\overline{P}/P_{\mathrm{ref}})^2$, 音の強さのレベル IL は $10\log_{10}(I/I_{\mathrm{ref}})$ で与えられる。ただし，$\overline{P}$ は $p(t)$ の実効値で，正弦振動の場合は $|p(t)|/\sqrt{2}$，P_{ref} は基準の音圧で，2×10^{-5} Pa，また I_{ref} は基準の音の強さで，10^{-12} $\mathrm{W/m^2}$ である。

(4-1) $\therefore \mathrm{SPL} = 10\log_{10}\left(\dfrac{\rho_0^2 A^2 \omega^2/2}{P_{\mathrm{ref}}^2}\right)$，$\mathrm{IL} = 10\log_{10}\left(\dfrac{\rho_0 \omega k A^2/2}{I_{\mathrm{ref}}}\right)$

(4-2) 両者が等しい場合は，$\dfrac{\rho_0 c}{P_{\mathrm{ref}}^2} = \dfrac{1}{I_{\mathrm{ref}}}$ である。

$$\therefore P_{\mathrm{ref}}^2 = 4\times 10^{-10} = 400\times 10^{-12} = \rho_0 c \times I_{\mathrm{ref}} = \rho_0 c \times 10^{-12}$$

となり，$\rho_0 c = 400$ と近似していることになる。なお，通常の気温 15°C 程度では，この値は 415 程度である。$c \approx 331.5 + 0.61 \times$ 気温 であるため，気温が高いほど近似が成立しにくくなる。つまり，気温が低い方が成立しやすい。

(5) 二つの波を合成すると，以下のようになる。

$$\phi(x,t) + \phi'(x,t) = \mathrm{Re}\left[(Ae^{-jkx} + Be^{jkx})e^{j\omega t}\right] = \cdots = \mathrm{Re}\left[\sqrt{A^2 + B^2 + 2AB\cos 2kx}\cdot e^{j\theta}e^{j\omega t}\right]$$

つまり，振幅最大値として $|A+B|$ を持つことになる。つまり，合成した音圧の振幅は，$\rho_0(A+B)\omega$ となるはずである。音圧レベルの差としては，以下で与えられる。

$$10\log_{10}\left(\frac{\rho_0^2(A+B)^2\omega^2/2}{P_{\mathrm{ref}}^2}\right) - 10\log_{10}\left(\frac{\rho_0^2 A^2\omega^2/2}{P_{\mathrm{ref}}^2}\right) = 10\log_{10}\left[\frac{(A+B)^2}{A^2}\right]$$

従って，最大 $10\log_{10}\left[\dfrac{(A+B)^2}{A^2}\right]$ [dB] 上昇することになる。

音響工学・信号処理

解　答　例

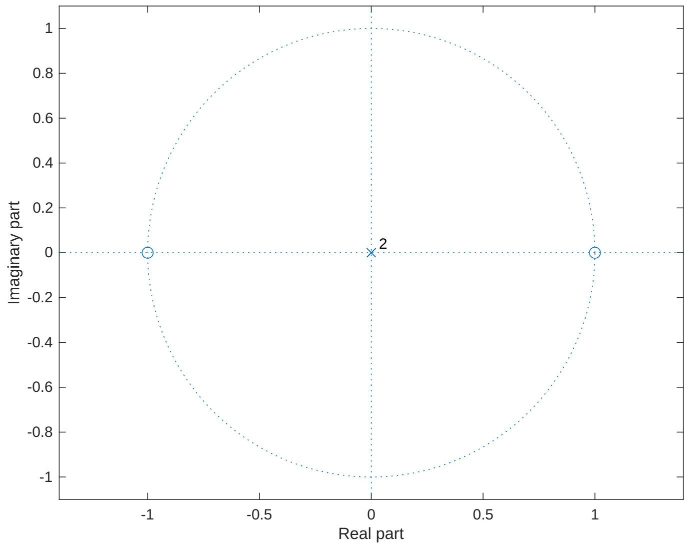
受験番号

各問題ごとに解答用紙を別にすること。

問題 III

(1) $H(z) = 1 - z^{-1}$

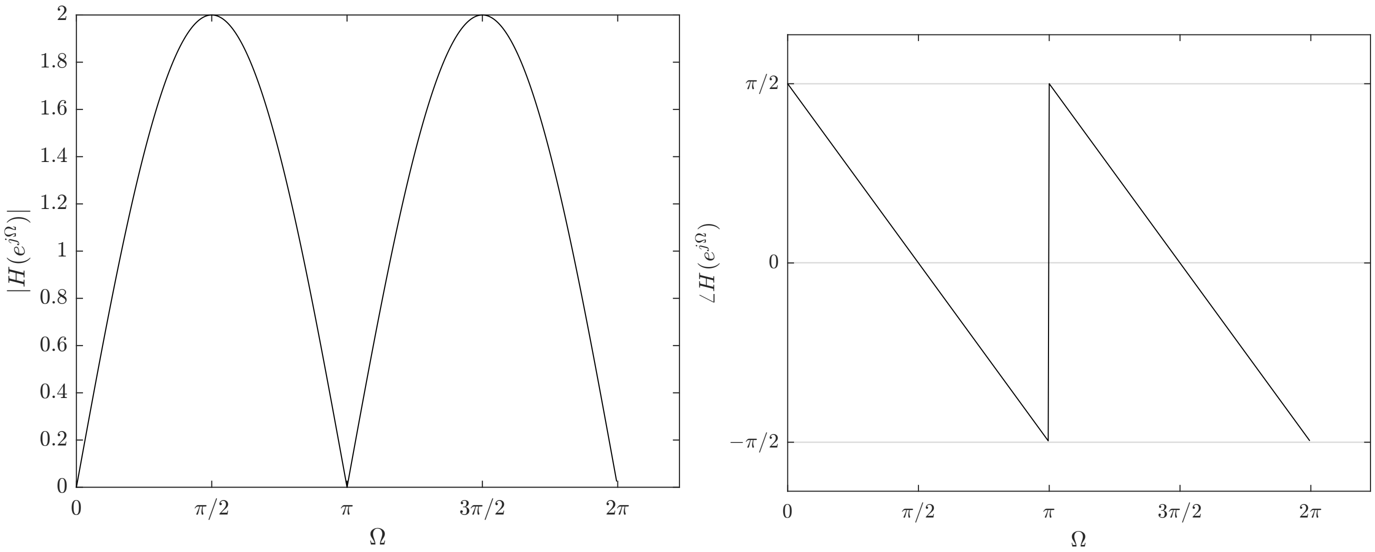
(2) 極 $z = 0$ 零点 $z = \pm 1$



(3) $H(e^{j\Omega}) = 2e^{-j(\Omega - \pi/2)} \sin\Omega$

$|H(e^{j\Omega})| = |2\sin\Omega|$

$\angle H(e^{j\Omega}) = -\Omega + \pi/2$



音響工学・信号処理	解　答　例 （　9 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。

問題 III (つづき)

(4) 低域通過周波数 $= 4$ kHz

(5) $0 \geq f < 4$ kHz

振幅周波数応答　$2|\sin(\pi \times f \times 10^{-3}/4)|$

位相周波数応答 $-(\pi \times f \times 10^{3}/4) + \pi/2$

$f \geq 4$ kHz

振幅周波数応答　0

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　例

（　９ 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。

問題 IV

(1) $F' = IB\ell$

(2) $F' = 1.92\ \mathrm{N}$

(3) $V = 0.153\ \mathrm{m/s}$

(4) $X = 0.122\ \mathrm{mm}$

(5) $Z_{em} = -j \cdot 0.587\ \Omega$

(6) $Z_{em} = 0.2 - j \cdot 0.6\ \Omega$

音響工学・信号処理

解　答　例

受 験 番 号

各問題ごとに解答用紙を別にすること。

問題 V

(1) **拡散音場：** 音場内の全ての点でのエネルギー密度が同じ値であり，かつ任意の点においてあらゆる方向から等しい確率で音のエネルギーが到来する音場。
残響時間： 音場内へのエネルギーの供給が停止した後，百万分の一まで減衰するまでの時間。レベルでは 60 dB 減衰するまでの時間。

(2) $V\dfrac{dE(t)}{dt} = -V\dfrac{E(t)}{\tau}$, $\therefore \dfrac{dE}{E} = -\dfrac{dt}{\tau}$, $\therefore \ln E = -\dfrac{t}{\tau} + C$(定数)，ここで $t=0$ で $E(0)=E_0$ とすると，

$\ln E_0 = C$, $\therefore E(t) = E_0 e^{-t/\tau}$ となる。残響時間を T とすると，$E(T) = E_0 e^{-T/\tau} = E_0 10^{-6}$。

つまり，$T = \tau 6 \ln 10$ である。

(3) **平均自由行路：** 音源から放射された音のエネルギーを有する粒子，あるいは音線が，境界に衝突した後，次に衝突するまでの平均的な距離のこと。

なお，この室内においては，$-\dfrac{VE}{\tau} = -\dfrac{EcS\overline{\alpha}}{4}$ という関係があり，$\therefore \dfrac{1}{\tau} = \dfrac{cS\overline{\alpha}}{4V}$，つまり，$\dfrac{c\overline{\alpha}}{\ell_m} = \dfrac{cS\overline{\alpha}}{4}$, $\therefore \ell_m = 4V/S$ で与えられる。

(4) 音響出力 W [W] の音源が存在する場合のパワーバランスの式は，$W - V\dfrac{E(t)}{\tau} = V\dfrac{dE(t)}{dt}$ で与えられる。

定常状態では右辺がゼロとなり，また $\dfrac{1}{\tau} = \dfrac{cS\overline{\alpha}}{4V}$ より，$W = V\dfrac{cS\overline{\alpha}}{4V}E$, この両辺を $W_0 = E_0 c A_0$ という基準値で割ると，

$$\frac{W}{W_0} = \frac{EcS\overline{\alpha}}{W_0 \cdot 4} = \frac{ES\overline{\alpha}}{E_0 A_0}\frac{1}{4},\ \therefore 10\log_{10}\left(\frac{W}{W_0}\right) = 10\log_{10}\left(\frac{E}{E_0}\right) + 10\log_{10}\left(\frac{S\overline{\alpha}}{A_0}\right) - 10\log_{10} 4$$

$$\therefore \mathrm{PWL} = \mathrm{SPL} + 10\log_{10}\left(\frac{S\overline{\alpha}}{A_0}\right) - 6$$

(5) 室定数 R は，$R = \dfrac{S\overline{\alpha}}{1-\overline{\alpha}}$ で与えられる。また右辺括弧内の第 1 項は，音源から出力されて，直接受音点に届く成分であり，第 2 項は，音源から出力され，境界にあたるまでの時間に生じたエネルギーを「もと」にして形成された残響（あるいは拡散）成分のエネルギー。

(6) $T_0 = \dfrac{KV}{S\overline{\alpha}}$, $T_1 = \dfrac{KV}{(S-S_1)\overline{\alpha} + 0.5S_1} = \dfrac{KV}{S\overline{\alpha} + S_1(0.5-\overline{\alpha})}$。これを連立させて解くと，$S_1 = \dfrac{T_0 - T_1}{T_1}\dfrac{2S\overline{\alpha}}{1-2\overline{\alpha}}$ が得られる。

音響工学・信号処理

解　答　例

（　９ 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。

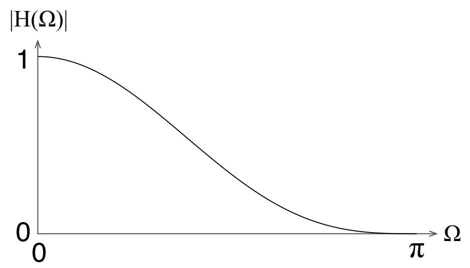
問題 VI

(1) $h(n) = \dfrac{1}{8}\{\delta(n) + 3\delta(n-1) + 3\delta(n-2) + \delta(n-3)\}$

(2) $H(\Omega) = \dfrac{1}{8}\left\{1 + 3e^{-j\Omega} + 3e^{-2j\Omega} + e^{-3j\Omega}\right\}$

(3) 周波数応答は $H(\Omega) = \cos^3\left(\dfrac{1}{2}\Omega\right)e^{-\frac{3}{2}j\Omega}$ のように変形でき, $|H(\Omega)| = \cos^3\left(\dfrac{1}{2}\Omega\right)$, $\angle H(\Omega) = -\dfrac{3}{2}\Omega$

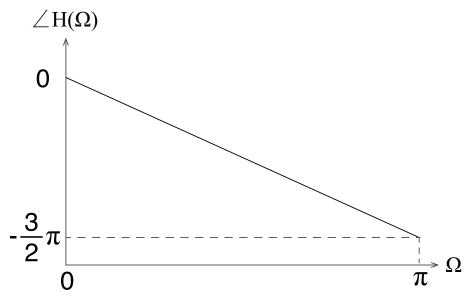
(4)



$|H(0)| = 1$, $|H(\pi)| = 0$

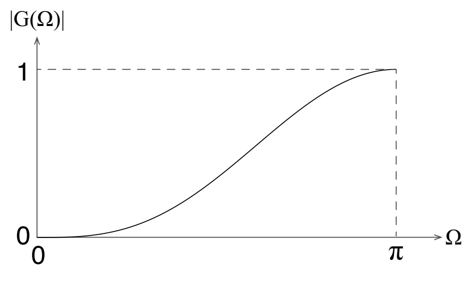
低い周波数成分を通過させることから, 低域通過型フィルタである。

(5)



(6) $X_2(\Omega) = \sum_{n=0}^{N-1} x_2(n)e^{-j\Omega n} = \sum_{n=0}^{N-1}(-1)^n x_1(n)e^{-j\Omega n} = \sum_{n=0}^{N-1} x_1(n)e^{j\pi n}e^{-j\Omega n} = \sum_{n=0}^{N-1} x_1(n)e^{-j(\Omega-\pi)n} = X_1(\Omega-\pi)$

(7)



高い周波数成分を通過させることから, 高域通過型フィルタである。

音響工学・信号処理

解　答　例

受験番号

各問題ごとに解答用紙を別にすること。

問題 VII

(1) $X^{'}(\omega)=\int_{-\infty}^{\infty}x^{'}(t)e^{-j\omega t}dt=\int_{-\infty}^{\infty}x(t-t_0)e^{-j\omega t}dt=\int_{-\infty}^{\infty}x(t)e^{-j\omega(t+t_0)}dt=e^{-j\omega t_0}\int_{-\infty}^{\infty}x(t)e^{-j\omega t}dt=e^{-j\omega t_0}X(\omega)$

(2) $e^{j\omega_0 t}x(t)$ のフーリエ変換が $X(\omega-\omega_0)$ であることを示す。
$\int_{-\infty}^{\infty}e^{j\omega_0 t}x(t)e^{-j\omega t}dt=\int_{-\infty}^{\infty}x(t)e^{-j(\omega-\omega_0)t}dt=X(\omega-\omega_0)$

(3) 上問 (2) において $x(t)=1$ とおけば, $e^{j\omega_0 t}$ のフーリエ変換は $2\pi\delta(\omega-\omega_0)$, $e^{-j\omega_0 t}$ のフーリエ変換は $2\pi\delta(\omega+\omega_0)$ であり, さらに $f(t)=\frac{1}{2}(e^{j\omega_0 t}+e^{-j\omega_0 t})$ より, $F(\omega)=\pi\left\{\delta(\omega-\omega_0)+\delta(\omega+\omega_0)\right\}$ を得る。

(4) $\cos^2(\omega_0 t)=\left\{\frac{1}{2}(e^{j\omega_0 t}+e^{-j\omega_0 t})\right\}^2=\frac{1}{4}\left\{e^{2j\omega_0 t}+2+e^{-2j\omega_0 t}\right\}$ より, $G(\omega)=\frac{1}{2}\pi\left\{\delta(\omega-2\omega_0)+2\delta(\omega)+\delta(\omega+2\omega_0)\right\}$

(5) $S(\omega)=\int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}}\frac{1}{T_0}e^{-j\omega t}dt=\frac{1}{T_0}\int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}}e^{-j\omega t}dt=-\frac{1}{jT_0\omega}\left\{e^{-j\frac{T_0}{2}\omega}-e^{j\frac{T_0}{2}\omega}\right\}=\frac{2}{T_0\omega}\sin(\frac{T_0}{2}\omega)$

(6) $S(\omega)$ は sinc 関数であり, $S(0)=1$ である。$S(\omega)=0$ となるのは $\frac{T_0}{2}\omega=\pm\pi,\pm 2\pi,\pm 3\pi,...$ の場合であり, $\frac{T_0}{2}\omega_1=\pi$, $\frac{T_0}{2}\omega_2=-\pi$ である。従って, $\Delta\omega=\omega_1-\omega_2=\frac{4\pi}{T_0}$ は T_0 に反比例する。

音響工学・信号処理

出題意図

問題 I

1 自由度強制振動系の支配方程式の解析法を理解しているかを問うこと。

問題 II

波動方程式に基づいて，速度ポテンシャル・音圧・粒子速度・音の強さの関係が理解できているか，また dB について基本的な計算が可能かを問う問題である。

問題 III

受験生のディジタル信号処理への理解度を測るとともに, 離散時間信号処理と連続時間信号処理との関係への理解度を測る。

問題 IV

可動コイル型の動電変換器の仕組みについて理解しているかを問うこと。

問題 V

建築音響学の分野での基本的な概念である拡散音場について，その性質を理解しているか，代表的な音響物理指標である残響時間の算出が Sabine の残響公式を用いて行えるかを問う。

問題 VI

修士課程における研究に必要なディジタル信号処理の基礎的な知識を問う。

問題 VII

修士課程における研究に必要な音響信号処理の基礎的な知識を問う。