令和３年度
神戸大学大学院工学研究科 博士課程前期課程
機械工学専攻　入学試験問題

科目名：機械力学　［1/3］

（問題[1]、[2]は別々の答案用紙に解答すること）

[1] 図 1-1 に示すように、ジェットエンジンは吸気口から空気を吸入・圧縮した後、燃料と混合して燃焼させ、燃焼ガスを大気中に高速で噴出することにより推力を得る。今、静止状態のジェットエンジンに対して、大気密度をρ、吸気口面積をA_{IN}、吸気口から流入する空気の質量流量（単位時間に流れる空気の質量）を$\dot{m}$、空気の吸入により発生する吸気口前方の圧力（静圧）低下をΔP_{IN}、空燃比（ジェットエンジン燃焼時における燃料の質量流量に対する空気の質量流量の比）をλ、燃焼ガスの速度をV_{EXH}とする。

(1) 吸気口前方での圧力（静圧）低下ΔP_{IN}がジェットエンジンに及ぼす力F_Aを求めよ。

(2) 空気吸入速度V_{IN}を求めよ。

(3) 吸入空気がジェットエンジンに及ぼす力F_Bを求めよ。

(4) 燃焼ガスによる推力F_Cを求めよ。

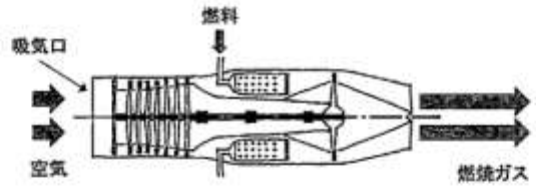


図 1-1　ジェットエンジン

今、図 1-2 に示すように、このジェットエンジンを機体軸に対して平行に装備し、ノズルにより排気方向を可変できる垂直離着陸機（質量M）がある。F_A, F_B, F_Cを用いて以下の問いに答えよ。

(5) この機体が水平に保ちながら垂直に上昇するノズル角度φを求めよ。ただし重力加速度をgとし、ノズル角度は機体軸を基準とする。

(6) 垂直上昇の加速度を求めよ。

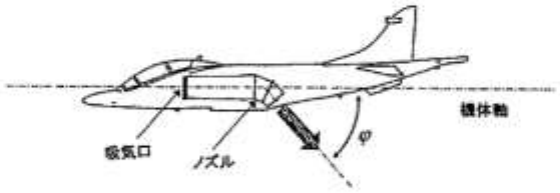


図 1-2　垂直離着陸機

2021（R3）年度【１】問題〈推力・極座標〉

（１）吸気口前方での圧力（静圧）低下 ΔP_{IN} が**ジェットエンジンに及ぼす力 F_A** を求めよ。

吸気口面積は A_{IN} であるので、右向きを正とすると、

$$\therefore F_A = -\Delta P_{IN} A_{IN}$$

（圧力差スラスト）

（２）空気吸入速度 V_{IN} を求めよ。

大気密度は ρ, 吸気口面積は A_{IN}, 吸気口から流入する質量流量は $\dot{m}$ であるので、

次式で表される関係が成り立つ。右向きを正として、

$$\dot{m} = \rho \cdot A_{IN} \cdot V_{IN}$$

$$\therefore V_{IN} = \frac{\dot{m}}{\rho A_{IN}}$$

（３）**吸入空気がジェットエンジンに及ぼす力 F_B** を求めよ。**（吸入空気によるスラスト）**

吸入空気に関する運動量保存則より、

$$-F = \dot{M}_{out} - \dot{M}_{in} = (\dot{m}u)_{out} - (\dot{m}u)_{in}$$

今回、及ぼす力を求めるため、$-F$ としている。

右向きを正とすると、

$$-F_B = 0 - \dot{m}V_{IN}$$

（２）の結果 V_{IN} を代入する。

$$\therefore F_B = \frac{\dot{m}^2}{\rho A_{IN}}$$

（４）**燃焼ガスによる推力 F_C** を求めよ。**（燃料によるスラスト）**

燃焼ガスに関する運動量保存則より、

$$-F = \dot{M}_{out} - \dot{M}_{in} = (\dot{m}u)_{out} - (\dot{m}u)_{in}$$

今回、及ぼす力を求めるため、$-F$ としている。

燃料の質量流量を $\dot{m}_f$ として、右向きを正とすると、

$$-F_c = \left(\dot{m}V_{EXH} + \dot{m}_f V_{EXH}\right) - 0$$

空燃比 λ（燃焼時における燃焼の質量流量に対する空気の質量流量の比）より、

$$\lambda = \frac{\dot{m}}{\dot{m}_f} \quad \therefore \ \dot{m}_f = \frac{\dot{m}}{\lambda}$$

（２）の結果 V_{IN} と上式 $\dot{m}_f$ を代入する。

$$-F_c = \dot{m}V_{EXH} + \frac{\dot{m}}{\lambda}V_{EXH}$$

$$\therefore F_c = -\dot{m}\left(1 + \frac{1}{\lambda}\right)V_{EXH}$$

（参考）ジェットエンジン

圧力差スラストを無視した正味推力 F_n を考える。

（正味スラストはエンジンが静止している場合、総スラストと一致する。

通常、飛行機は運動するため、ラム抗力を考慮する必要がある。）

吸入空気と燃焼ガスに関する運動量保存則より、圧力差を無視すると、

$$-F = \dot{M}_{out} - \dot{M}_{in} = (\dot{m}u)_{out} - (\dot{m}u)_{in}$$

今回、及ぼす力を求めるため、$-F$ としている。

燃料の質量流量を $\dot{m}_f$ とすると、右向きを正とすると、

$$-F_n = \left(\dot{m}V_{EXH} + \dot{m}_f V_{EXH}\right) - \dot{m}V_{IN}$$

それぞれ代入する。

$$\therefore -F_n = \left(\dot{m}V_{EXH} + \frac{\dot{m}}{\lambda}V_{EXH}\right) - \dot{m}\frac{\dot{m}}{\rho \cdot A_{IN}} = \dot{m}\left\{\left(1 + \frac{1}{\lambda}\right)V_{EXH} - \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A_{IN}}\right\}$$

$$\therefore \boldsymbol{F_n = -\dot{m}\left\{\left(1 + \frac{1}{\lambda}\right)V_{EXH} - \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A_{IN}}\right\}}$$

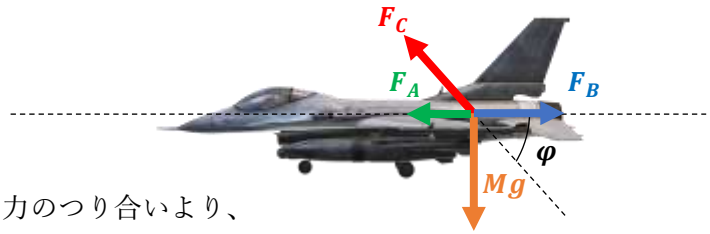
この式から、$\boldsymbol{F_n = F_B + F_C}$ となっていることがすぐ確認できる。

「力＝質量流量×速度」と安易に解答しても差し支えないが、

今回は、運動量変化に着目して、やや遠回りに解答した。

図 1-2 に示すように、このジェットエンジンを機体軸に対して平行に装備し、
ノズルにより排気方向を可変できる垂直離着陸機（質量 M）がある。
F_A, F_B, F_C を用いて以下の問いに答えよ。

（5）この機体が水平に保ちながら垂直に上昇するノズル角度 φ を求めよ。
ただし重力加速度 g とし、ノズル角度は機体軸を基準とする。

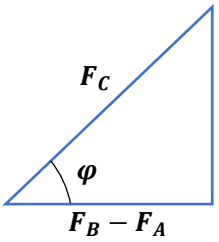


水平方向の力のつり合いより、

$$F_A + F_c \cos\varphi = F_B$$

よって、

$$\cos\varphi = \frac{F_B - F_A}{F_c}$$



$$\therefore \varphi = \cos^{-1}\frac{F_B - F_A}{F_c}$$

F_A, F_B, F_C を用いて、とあるが、もちろん三角関数も使わざるを得ない。

（6）垂直上昇の加速度を答えよ。

垂直方向の運動方程式を立式する。求める加速度を a とすると、

$$Ma = F_c \sin\varphi - Mg$$

よって、

$$a = \frac{F_c}{M}\sin\varphi - g$$

ここで（5）より、$\sin\varphi$ を F_A, F_B, F_C を用いて表すと、

$$\sin\varphi = \frac{\sqrt{(F_C)^2 - (F_B - F_A)^2}}{F_C}$$

これを代入して、

$$\therefore a = \frac{\sqrt{(F_C)^2 - (F_B - F_A)^2}}{M} - g$$

令和３年度
神戸大学大学院工学研究科 博士課程前期課程
機械工学専攻　入学試験問題

科目名：機械力学　［2/3］

離陸後、この垂直離着陸機が図 1-3 のようにレーダーサイトの真上を通過する直線経路を飛行した。その際、レーダーサイトから垂直離着陸機までの距離rと水平からの仰角θを計測した（$\theta < 90^\circ$）。計測値の１階および２階時間微分$(\dot{r}, \dot{\theta}, \ddot{r}, \ddot{\theta})$が既知であるとして以下の問いに答えよ。

(7) 垂直離着陸機の速度Vを求めよ。
(8) 垂直離着陸機の加速度αを求めよ。
(9) 垂直離着陸機の上昇角度βを求めよ。

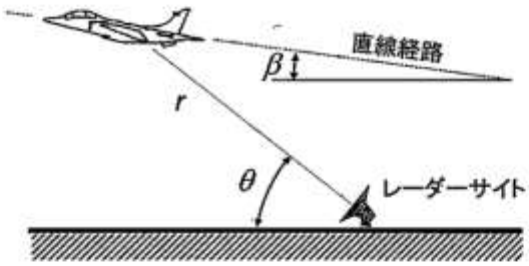


図 1-3　レーダーによる追跡

離陸後、この垂直離着陸機が図 1-3 のようにレーダーサイトの真上を通過する直線経路を飛行した。その際、レーダーサイトから垂直離着陸機までの距離 r と水平からの仰角 θ を計測した。($\theta < 90°$)。計測値の 1 階および 2 階時間微分 $(\dot{r},\ \dot{\theta},\ \ddot{r},\ \ddot{\theta})$ が既知であるとして以下の問いに答えよ。

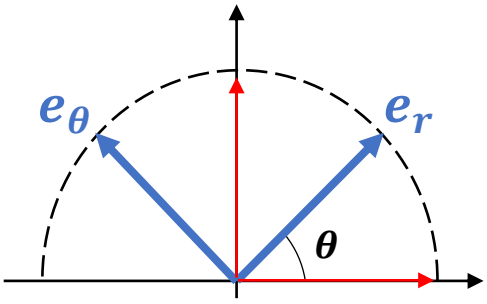
（7）垂直離着陸機の速度 V を求めよ。

★ **直交座標と極座標のそれぞれの単位ベクトルの関係**

$$\boldsymbol{r} = r\boldsymbol{e_r} \qquad \begin{cases} \boldsymbol{e_r}(t) = \cos\theta\,\boldsymbol{e_x} + \sin\theta\,\boldsymbol{e_y} \\ \boldsymbol{e_\theta}(t) = -\sin\theta\,\boldsymbol{e_x} + \cos\theta\,\boldsymbol{e_y} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \dot{\boldsymbol{e}}_{\boldsymbol{r}} &= -\dot{\theta}\sin\theta\,\boldsymbol{e_x} + \dot{\theta}\cos\theta\,\boldsymbol{e_y} \\ &= \dot{\theta}\left(-\sin\theta\,\boldsymbol{e_x} + \cos\theta\,\boldsymbol{e_y}\right) \\ &= \dot{\theta}\,\boldsymbol{e_\theta} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{\boldsymbol{e}}_{\boldsymbol{\theta}} &= -\dot{\theta}\cos\theta\,\boldsymbol{e_x} - \dot{\theta}\sin\theta\,\boldsymbol{e_y} \\ &= -\dot{\theta}\left(\cos\theta\,\boldsymbol{e_x} + \sin\theta\,\boldsymbol{e_y}\right) \\ &= -\dot{\theta}\,\boldsymbol{e_r} \end{aligned}$$



・速度 $\boldsymbol{v}$

$$\boldsymbol{v} = \dot{\boldsymbol{r}} = \dot{r}\boldsymbol{e_r} + r\dot{\boldsymbol{e}}_{\boldsymbol{r}} = \dot{r}\boldsymbol{e_r} + r\dot{\theta}\,\boldsymbol{e_\theta}$$

・加速度

$$\boldsymbol{a} = \ddot{\boldsymbol{r}} = \ddot{r}\boldsymbol{e_r} + \dot{r}\dot{\boldsymbol{e}}_{\boldsymbol{r}} + \dot{r}\dot{\theta}\,\boldsymbol{e_\theta} + r\ddot{\theta}\,\boldsymbol{e_\theta} + r\dot{\theta}\dot{\boldsymbol{e}}_{\boldsymbol{\theta}} = \left(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2\right)\boldsymbol{e_r} + \left(2\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta}\right)\boldsymbol{e_\theta}$$

垂直離着陸機の速度 $\boldsymbol{V}$ は、

$$\therefore \boldsymbol{V} = \dot{r}\boldsymbol{e_r} + r\dot{\theta}\,\boldsymbol{e_\theta}$$

速度 $\boldsymbol{V}$ の大きさ $|\boldsymbol{V}|$ は、

$$\therefore |\boldsymbol{V}| = \sqrt{\dot{r}^2 + \left(r\dot{\theta}\right)^2}$$

（8）垂直離着陸機の加速度 α を求めよ。

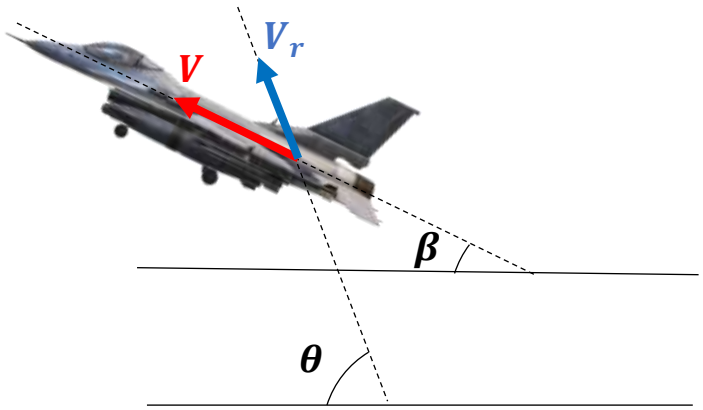
垂直離着陸機の加速度 $\boldsymbol{\alpha}$ は、

$$\therefore \boldsymbol{\alpha} = \left(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2\right)\boldsymbol{e_r} + \left(2\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta}\right)\boldsymbol{e_\theta}$$

加速度 $\boldsymbol{\alpha}$ の大きさ $|\boldsymbol{\alpha}|$ は、

$$\therefore |\boldsymbol{\alpha}| = \sqrt{\left(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2\right)^2 + \left(2\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta}\right)^2}$$

（9）垂直離着陸機の上昇角度 β を求めよ。



速度の大きさの関係を考える。

$$|\boldsymbol{V_r}| = |\dot{r}| = |\boldsymbol{V}|\cos(\theta - \beta)$$

よって、

$$\theta - \beta = \cos^{-1}\frac{|\dot{r}|}{|\boldsymbol{V}|}$$

ここで（7）より、速度 $\boldsymbol{V}$ の大きさ $|\boldsymbol{V}|$ は、

$$|\boldsymbol{V}| = \sqrt{\dot{r}^2 + (r\dot{\theta})^2}$$

したがって、代入すると、

$$\therefore \beta = \theta - \cos^{-1}\frac{\dot{r}}{\sqrt{\dot{r}^2 + (r\dot{\theta})^2}}$$

加速度の関係からも求められる。

2021（R3）年度【1】略解

（1）	（以下、右向き・上向きを正とする） $F_A = -\Delta P_{IN} A_{IN}$
（2）	$V_{IN} = \dfrac{\dot{m}}{\rho A_{IN}}$
（3）	$F_B = \dfrac{\dot{m}^2}{\rho A_{IN}}$
（4）	$F_c = -\dot{m}\left(1 + \dfrac{1}{\lambda}\right) V_{EXH}$
（5）	$\varphi = \cos^{-1} \dfrac{F_B - F_A}{F_c}$
（6）	$a = \dfrac{\sqrt{(F_C)^2 - (F_B - F_A)^2}}{M} - g$
（7）	$\boldsymbol{V} = \dot{r}\boldsymbol{e_r} + r\dot{\theta}\,\boldsymbol{e_\theta} \quad \lvert\boldsymbol{V}\rvert = \sqrt{\dot{r}^2 + \left(r\dot{\theta}\right)^2}$
（8）	$\boldsymbol{\alpha} = \left(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2\right)\boldsymbol{e_r} + \left(2\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta}\right)\boldsymbol{e_\theta} \quad \lvert\boldsymbol{\alpha}\rvert = \sqrt{\left(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2\right)^2 + \left(2\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta}\right)^2}$
（9）	$\beta = \theta - \cos^{-1} \dfrac{\dot{r}}{\sqrt{\dot{r}^2 + \left(r\dot{\theta}\right)^2}}$

2021（R3）年度【1】講評

ジェットエンジンに関しての基本的な知識を問われた後、極座標の知識が問われた。
定義を知っているか知らないかという程度で、問題設定は複雑ではない。
あらかじめ図も用意されており、正確に状況は掴みやすい。
（1）～（4）ジェットエンジンの推力に関する問い。ちょっとニッチなテーマ？
（5）（6）力のつり合いの式と運動方程式立てるだけ。
（7）～（9）極座標における運動。定義に当てはまるだけ。

令和３年度
神戸大学大学院工学研究科 博士課程前期課程
機械工学専攻　入学試験問題

科目名：機械力学　［3/3］

（問題 [1]，[2] は別々の答案用紙に解答すること．）

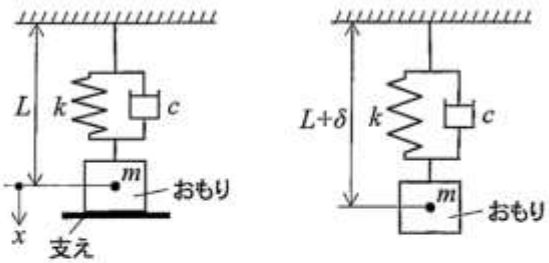
[2] 図２に示すように，質量 m のおもりがばねとダンパによって天井から吊り下げられている．ばねに力が作用しない状態における天井とおもりの重心との間の距離は L である．静止した状態から時刻 $t=0$ でおもりの支えが外され，十分な時間が経過した後にばねの静たわみ（伸び）は δ となった．ばね定数を k，粘性減衰係数を c とするとき，以下の問いに答えよ．支えが外される前のおもりの位置を $x=0$ とし，x は下向きを正とする．また，重力加速度は g とする．

(1) 図２の振動系で支えが外された後の状態を表す運動方程式を示せ．

(2) 不足減衰（減衰比 $\zeta < 1$）の場合におけるおもりの変位 x を表す式を示せ．また，そのときの固有角振動数 ω_n と減衰固有角振動数 ω_d を示せ．

(3) 時間が十分に経過したのちの静たわみ δ が mg/k になることを証明せよ．

(4) 支えを外した後に生じうるおもりの変位 x の最大値 x_p と静たわみ δ との関係について考える．静たわみ δ に対する変位 x の最大値 x_p の比が最大になる粘性減衰係数 c の値と，そのときの δ と x_p の比を示せ．



(a) 初期状態　　(b) 十分な時間が経過した後

図２　１自由度振動系

(5) 以下の４つの単語の英訳を示せ．

・初期条件　・粘性減衰係数　・調和振動　・振幅

2021（R3）年度【２】問題〈ばね質量ダンパ系〉

（１）図２の振動系で支えが外された後の状態を表す運動方程式を示せ。

運動方程式は、

$$m\frac{d^2x}{dt^2}+c\frac{dx}{dt}+kx=mg$$

（２）不足減衰（減衰比$\zeta<1$）の場合における変位xを表す式を示せ。
また、そのときの固有角振動数ω_nと減衰固有角振動数ω_dを示せ。

まず、固有角振動数ω_nと減衰固有角振動数ω_dを示す。

減衰要素を考慮した１自由度の減衰振動を考える。

質点、ばね、速度比例形の減衰要素（ダンパ）をもつ系の自由振動の運動方程式は、

$$m\ddot{x}+c\dot{x}+kx=0$$

である。減衰要素のモデルには、他のタイプ（クーロン減衰など）もあるが、

この速度比例型が標準的である。上式は次のように変形できる。

$$\ddot{x}+2\zeta\omega_n\dot{x}+\omega_n^2x=0\,,\quad \omega_n=\sqrt{\frac{k}{m}}\,,\quad \zeta=\frac{c}{c_c}\,,\quad c_c=2\sqrt{mk}$$

ここで、ω_nは（不減衰）固有角振動数、ζは減衰比、c_cは臨界減衰係数である。

減衰比の値ζ_cは、$\zeta_c=1$を臨界値として、後述のように減衰振動の特徴を表す。

不足減衰（減衰比$\zeta<1$）の場合、変位xは次式で表される。

$$x=e^{-\zeta\omega_n t}(A\cos\omega_d t+B\sin\omega_d t),\quad \omega_d=\sqrt{1-\zeta^2}\omega_n$$

ここで、ω_dは減衰固有角振動数、A,Bは振幅である。

固有角振動数ω_nは、次式で定義される。

$$\omega_n=\sqrt{\frac{k}{m}}$$

減衰固有角振動数ω_dは、次式で定義される。

$$\omega_d=\sqrt{1-\zeta^2}\omega_n=\sqrt{1-\frac{c^2}{4mk}}\sqrt{\frac{k}{m}}=\sqrt{\frac{4mk-c^2}{4m^2}}$$

$$\therefore\ \omega_d=\frac{\sqrt{4mk-c^2}}{2m}$$

今回、運動方程式は（1）より、

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = mg$$

解の重ね合わせより、不足減衰（減衰比$\zeta < 1$）の場合における変位xは、

$$x = e^{-\zeta\omega_n t}(A\cos\omega_d t + B\sin\omega_d t) + \frac{mg}{k}$$

初期条件を考える。初期位置・初期速度はともに0なので、

$$\begin{cases} x\,(t=0) = 0 \\ \dot{x}\,(t=0) = 0 \end{cases}$$

ここで、

$$\dot{x} = -\zeta\omega_n e^{-\zeta\omega_n t}(A\cos\omega_d t + B\sin\omega_d t) + e^{-\zeta\omega_n t}(-A\omega_d\sin\omega_d t + B\omega_d\cos\omega_d t)$$

初期条件から、

$$\begin{cases} A + \dfrac{mg}{k} = 0 \\ -\zeta\omega_n A + B\omega_d = 0 \end{cases} \quad \therefore \begin{cases} A = -\dfrac{mg}{k} \\ B = -\dfrac{\zeta\omega_n}{\omega_d}\dfrac{mg}{k} = -\dfrac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\dfrac{mg}{k} \end{cases}$$

これを代入して、整理する。

$$x = -\frac{mg}{k}e^{-\zeta\omega_n t}\left(\cos\omega_d t + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin\omega_d t\right) + \frac{mg}{k}$$

$$\therefore x = \frac{mg}{k}\left\{1 - e^{-\zeta\omega_n t}\left(\cos\omega_d t + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin\omega_d t\right)\right\}$$

【別解】解の形を、三角関数を合成した後の形で考える。αは未定係数である。

$$x = Ae^{-\zeta\omega_n t}\cos(\omega_d t - \alpha) + \frac{mg}{k}$$

ここで、

$$\dot{x} = -\zeta\omega_n Ae^{-\zeta\omega_n t}\cos(\omega_d t - \alpha) - Ae^{-\zeta\omega_n t}\omega_d\sin(\omega_d t - \alpha)$$

初期条件から、

$$\begin{cases} A\cos\alpha + \dfrac{mg}{k} = 0 \\ \zeta\omega_n\cos\alpha + \omega_d\sin\alpha = 0 \end{cases}$$

これを解く。ちょっとめんどくさそう。

（３）時間が十分に経過したのちの静たわみ δ が mg/k になることを証明せよ。

（２）の答えより、

$$x = \frac{mg}{k}\left\{1 - e^{-\zeta\omega_n t}\left(\cos\omega_d t + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin\omega_d t\right)\right\}$$

時間が十分に経過したとき $(t \to \infty)$ を考える。

$$\delta = \lim_{t\to\infty}\frac{mg}{k}\left\{1 - e^{-\zeta\omega_n t}\left(\cos\omega_d t + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin\omega_d t\right)\right\} = \frac{mg}{k} \quad \blacksquare$$

【別解１】時間が十分に経過したとき、おもりの状態は静止している。

力のつり合い式を考える。

$$mg - k\delta = 0 \quad \therefore \delta = \frac{mg}{k}$$

【別解２】（１）の運動方程式より、$x = \delta$ を代入する。

$$m\frac{d^2\delta}{dt^2} + c\frac{d\delta}{dt} + k\delta = mg$$

$$0 + 0 + k\delta = mg \quad \therefore \delta = \frac{mg}{k}$$

（４）支えを外した後に生じうるおもりの変位 x の最大値 x_p と静たわみ δ との関係について考える。静たわみ δ に対する変位 x の最大値 x_p の比が最大になる粘性減衰係数 c の値と、そのときの δ と x_p の比を示せ。

静たわみ δ に対する変位 x の比は、（２）（３）より、

$$\frac{x}{\delta} = 1 - e^{-\zeta\omega_n t}\left(\cos\omega_d t + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin\omega_d t\right)$$

変位 x が最大となるのは、運動を始めてから最初の折り返し地点 $(\omega_d t = \pi)$ のときなので、

$$\frac{x_p}{\delta} = 1 + e^{-\zeta\omega_n t}$$

さらに、これが最大となる粘性減衰係数 c の値を考える。

ここで、$\omega_d = \sqrt{1-\zeta^2}\omega_n$ より、

$$-\zeta\omega_n t = -\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\omega_d t = -\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\pi$$

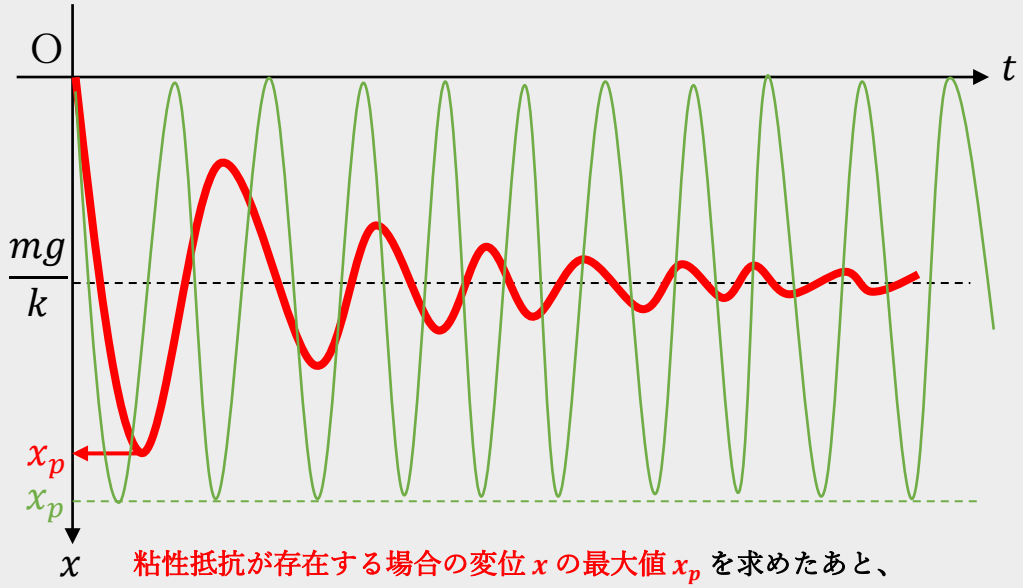
この値が最大となる減衰比 ζ の値を求める。

導関数を計算してもいいが、$\zeta = 0$ で最大となるのは自明なので省略する。

よって、静たわみ δ に対する変位 x の最大値 x_p の比とそのときの粘性減衰係数 c の値は、

$$\frac{x_p}{\delta} = 2, \quad c = 0$$

これは、不減衰自由振動（単振動）を考えればアタリマエ。



粘性抵抗が存在する場合の変位 x の最大値 x_p を求めたあと、

x_p を減衰比 ζ の関数として考えたが、

減衰比＝粘性減衰係数＝ゼロの場合の変位 x の最大値 x_p が最大となることは当然。

（５）以下の４つの単語の英訳を示せ。

・初期条件：initial condition

・粘性減衰係数：viscous damping coefficient

・調和振動：harmonic vibration

・振幅：amplitude

2021（R3）年度【２】略解

（１）	$m\dfrac{d^2x}{dt^2}+c\dfrac{dx}{dt}+kx=mg$
（２）	$x=\dfrac{mg}{k}\left\{1-e^{-\zeta\omega_n t}\left(\cos\omega_d t+\dfrac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin\omega_d t\right)\right\}$ $\omega_n=\sqrt{\dfrac{k}{m}},\quad \omega_d=\dfrac{\sqrt{4mk-c^2}}{2m}$
（３）	略
（４）	$\dfrac{x_p}{\delta}=2,\quad c=0$
（５）	・初期条件：initial condition ・粘性減衰係数：viscous damping coefficient ・調和振動：harmonic vibration ・振幅：amplitude

2021（R3）年度【２】講評

ばねマスダンパ系。

（１）即答。（２）各用語の定義は全部暗記しておく。重力の考慮をする

（３）証明するほどのものではない。当たり前。

（４）減衰がないとき（つまり単振動のとき）に振幅が最大を取ることはアタリマエ。

（５）これ、全問正解できるやついるんか、甚だ疑問。

単振動の話でややこしいのはどこを原点にとるかということで、

どんな運動をするかは常識として知っておく必要がある。

ふつうは、単振動はつり合い位置を原点として考えるが、

どうやら出題者はふつうじゃないらしい。