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：生産工学･制御工学　[1 / 3]

（問題［1］,［2］は別々の答案用紙に解答すること.）

［1］　以下の(1)～(4)の問いに答えよ.

(1) 加工の前後の製品の質量の変化を基準にして種々の加工法を，(a) 除去加工，(b) 変形加工，(c) 付加加工，という３つに分類することができる。以下の ① から ⑩ の加工法を (a) 除去加工，(b) 変形加工，(c) 付加加工，にそれぞれ分類せよ.

① 切削加工，② 研削加工，③ 砂型鋳造，④ 型鍛造，⑤ アーク溶接，
⑥ プレス加工，⑦ ダイカスト，⑧ 放電加工，⑨ 射出成形，⑩ 金属積層造形

(2) 特殊アーク溶接法にタングステン･イナート･ガス溶接（TIG 溶接）とメタル･イナート･ガス溶接（MIG 溶接）がある.

(a) TIG 溶接と MIG 溶接の違いを説明せよ.

(b) 溶接時にイナート･ガスを吹き付ける理由を説明せよ.

(3) 以下の ① から ⑥ の記述で，正しい記述には○を誤った記述には×を解答用紙に記載せよ．また，誤った記述には，誤りの部分にアンダーラインを記すこと.

① 高精度で高品質な加工面を得るために，切削加工の後に研削加工が行われる.

② 放電加工は加工法の中で加工効率が高く，切削加工が苦手とする高硬度材の加工を得意とする.

③ ダイカストは成形する材料を選ばず，生産効率が高く大量生産に適している.

④ プラスティックの射出成形は成形品の寸法精度が良好で大量生産に適している.

⑤ 金属積層造形は切削加工と比べて，i. 使用できる材料が限られる，ii. 寸法精度が悪い，iii. 材料のコストが高い，という課題がある.

⑥ ウォータージェット加工は金属の切断ができないので，木材や布，段ボールの切断に用いられる.

2021（R3）年度　⑤生産工学　問題

【1】（1）〈加工方法の分類〉

（1）加工の前後の製品の質量の変化を基準にして種々の加工法を、 （a）除去加工、（b）変形加工、（c）付加加工、という３つに分類することができる。 以下の①から⑩の加工法を（a）除去加工、（b）変形加工、（c）付加加工、 にそれぞれ分類せよ。
（a）除去加工 ①研削加工　②研削加工　⑧放電加工 （b）変形加工 ③砂型鋳造　④型鍛造　⑥プレス加工　⑦ダイカスト　⑨射出成形 （c）付加加工 ⑤アーク溶接　⑩金属積層造形

【1】（2）〈アーク溶接〉

（2）特殊アーク溶接法にタングステン・イナート・ガス溶接（TIG 溶接）と メタル・イナート・ガス溶接（MIG 溶接）がある。
（a）TIG 溶接と MIG 溶接の違いを説明せよ。
TIG 溶接は、タングステンが電極なので消耗しないが、溶加材が必要になるのに対して、 MIG 溶接は、溶加材が電極なので消耗する。
（b）溶接時にイナート・ガスを吹き付ける理由を説明せよ。
不活性ガス（シールドガス）で大気を遮断し、大気混入の防止と酸化防止を行うため。

【1】（3）〈加工法〉

（3）以下の①から⑥の記述で、正しい記述には○を誤った記述には×を記載せよ。
また、誤った記述には、誤りの部分にアンダーラインを記すこと。

① 高精度で高品質な加工面を得るために、切削加工の後に研削加工が行われる。

○

切削加工→研削加工→研磨加工の順番

② 放電加工は加工法の中で加工効率が**高く**、切削加工が苦手とする高硬度材の加工を得意とする。

×高く→低く

③ ダイカストは成形する材料を**選ばず**、生産効率が高く大量生産に適している。

×選ばず→選び

金型よりも低融点の材料に限られる

④ プラスティックの射出成形は成形品の寸法精度が良好で大量生産に適している。

○

⑤ 金属積層造形は切削加工と比べて、ⅰ．使用できる材料が限られる、ⅱ．寸法精度が悪い ⅲ．材料のコストが高い、という課題がある。

○

3D プリンタは課題が多い

⑥ ウォータージェット加工は金属の切断が**できないので**、木材や布、段ボールの切断に用いられる。

×できないので→できるが

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：生産工学･制御工学　[2 / 3]

(4) 図１に示すフランジ形固定軸継手の設計図(一部抜粋)を見て，以下の問いに答えよ．

(a) 軸継手の用途を簡単に説明せよ．

(b) 図中 C 部の溝の呼び名を示せ．

(c) 図中の φ40 g6 や φ40 H7 の g6 や H7 が何を指示しているのかを説明せよ．

(d) ボルト穴の加工に指示されているリーマ加工（ドリル加工の後にリーマ加工）を行う理由を説明せよ．

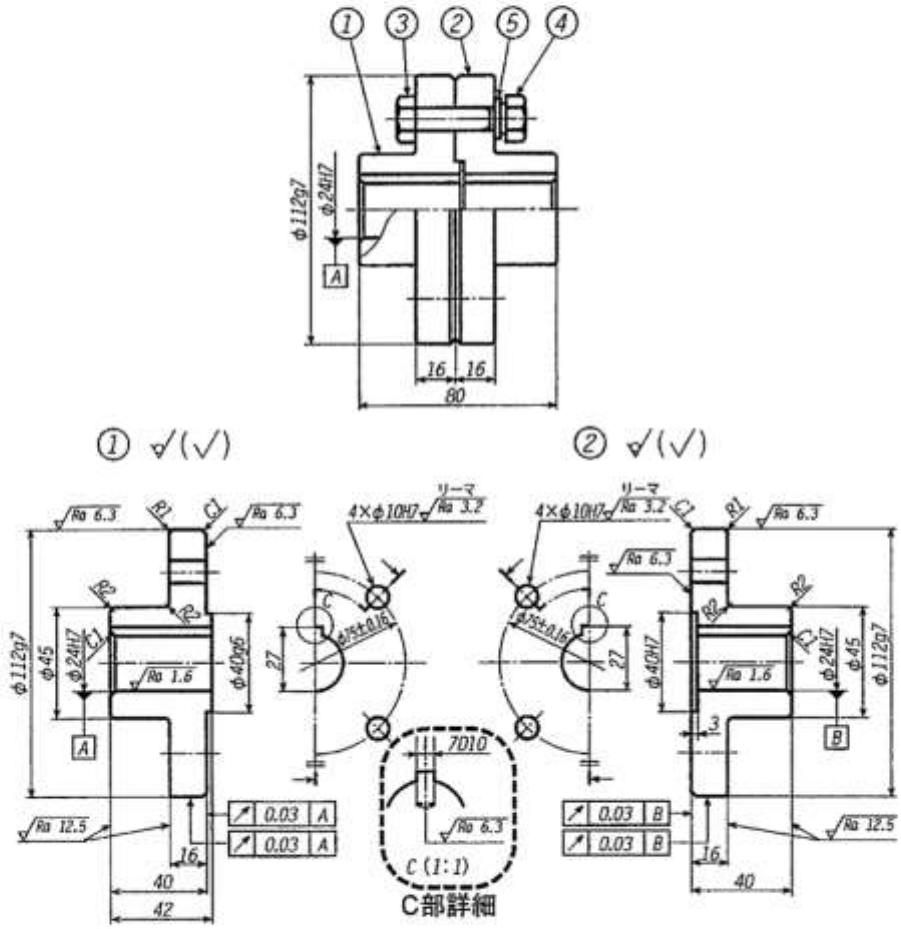


図１　フランジ形固定軸継手

【1】（4）〈フランジ形固定軸継手の設計図〉

（4）図1に示すフランジ形固定軸継手の設計図（一部抜粋）を見て、以下の問いに答えよ。
（a）軸継手の用途を簡単に説明せよ。
軸継手は、モータと歯車入力および歯車出力と圧縮機などの軸とを結合する要素である。 図1に示されるフランジ形固定軸継手は、両方の軸にキーを介してフランジを取り付け、 ボルトによって二つのフランジを結合する軸継手である。
（b）図中C部の溝の呼び名を示せ。
キー溝
（c）図中の $\phi 40\ g6$ や $\phi 40$ H7 の $g6$ や H7 が何を指示しているのかを説明せよ。
はめあい公差表において、はめ合いの程度を、穴基準はめあい方式の場合は大文字で表し、 軸基準はめあい方式の場合は小文字で表している。
（d）ボルト穴の加工に指示されているリーマ加工（ドリル加工の後にリーマ加工）を 行う理由を説明せよ。
リーマ穴に挿入されるボルトは、軸部の精度が高いものが使用されるため、 穴の内面を精度よく仕上げることができるリーマ加工が行われる。

2021（R3）年度【1】講評

（1）製造プロセス工学Ⅰの範囲からの出題。加工方法の分類。
（2）製造プロセス工学Ⅰの範囲からの出題。アーク溶接。
（3）製造プロセス工学Ⅰの範囲からの出題。加工法のメリット・デメリットについて。
　　研削・研磨、鋳造、付加製造、特殊加工。
（4）設計工学Ⅰの軸の締結・はめあいの内容。
　　あと、軸継手知ってる？という感じ。知らん。

生産工学の講義内で、白瀬先生が「製造プロセス工学Ⅰ」を必修だと勘違いしていたので、白瀬先生が問題を作成している年は、恐らく「製造プロセス工学Ⅰ」＋「部品の設計図」という組み合わせになることが予想される。
部品は、「JISにもとづく標準製図法（オーム社）」の付録2から選んで出題しているぽい？

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：生産工学・制御工学　[3 / 3]

（問題 [1]，[2] は別々の答案用紙に解答すること.）

[2] 以下の問いに答えよ.

図２に示すような両端にプロペラのついた飛行体の運動を考える.

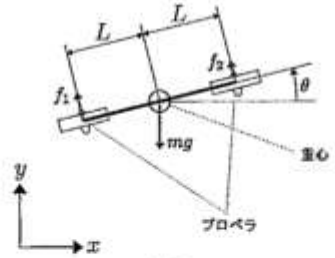


図２

飛行体の質量を m，重心まわりの慣性モーメントを I とする．また，鉛直下向きに重力が作用するものとし，重力加速度を $g > 0$ とする．水平方向を x 軸，鉛直方向を y 軸とする静止座標系における飛行体の x 方向速度を v_x，y 方向速度を v_y とし，水平姿勢を基準とした傾斜角を θ とする（符号と向きの関係は図示の通り）．各プロペラは機体に対して垂直に力を発生する．重心から各プロペラまでの距離を $L > 0$ とし，左右のプロペラが発生する力をそれぞれ f_1，f_2 とする.

(1) 飛行体の x 方向，y 方向および回転に関する運動方程式を導出せよ.

(2) 飛行体が $v_x = v_y = \dot{\theta} = 0$ で平衡状態にあるとき，θ および各プロペラが発生する力 f_1，f_2 を求めよ．ただし $-\pi/2 \leq \theta \leq \pi/2$ とする.

(3) 平衡状態におけるプロペラの力からの変化量を δf_1，δf_2 とし，状態変数を $x = [\theta, v_x, v_y, \dot{\theta}]^\top$，制御入力を $u = [\delta f_1, \delta f_2]^\top$ として (2) の平衡状態を基準に近似線形システムを導出すると

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ -g & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{1}{m} & \frac{1}{m} \\ -\frac{L}{I} & \frac{L}{I} \end{bmatrix} u$$

となる．この導出過程を示せ.

(4) (3) の線形システムの可制御性を判定せよ．過程も示すこと.

(5) (3) の線形システムに対し，目標水平速度を r として

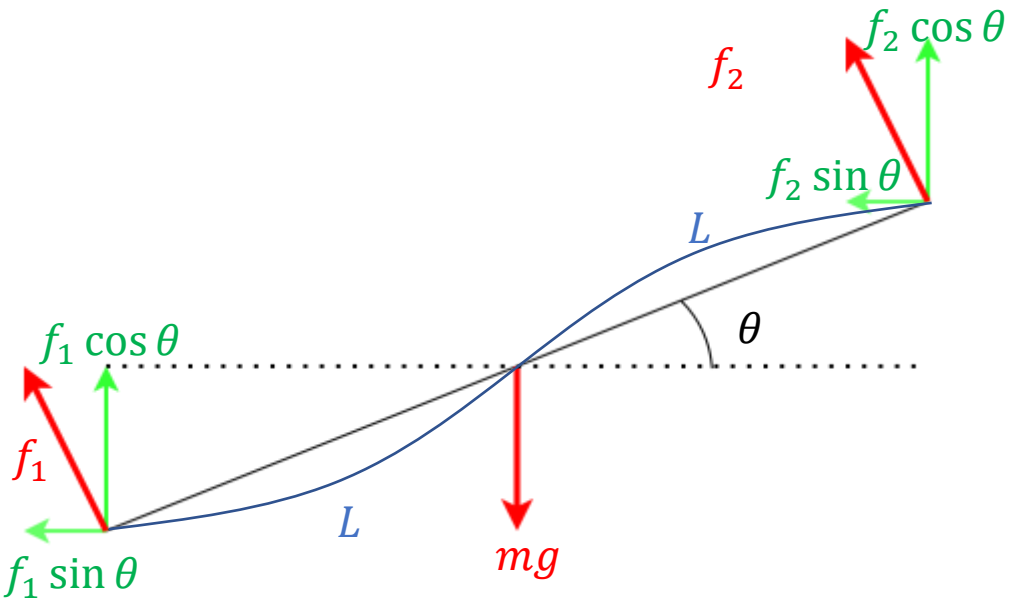
$$\delta f_1 = -\frac{I}{2L}w, \quad \delta f_2 = \frac{I}{2L}w, \quad w = -K_1(v_x - r) - K_2\theta - D\dot{\theta}$$

で与えられる状態フィードバック制御則により水平飛行を行う．r から v_x への伝達関数の極が $-10, -5 \pm i$ となるように K_1，K_2 および D を決めよ．ただし $g \approx 10[\mathrm{m/s^2}]$ としてよい.

2021（R3）年度　⑤制御工学　問題

【２】問題〈現代制御〉

（１）飛行体の x 方向、y 方向および回転に関する運動方程式を導出せよ。



・x 方向の並進の運動方程式

$$m\dot{v}_x = -f_1\sin\theta - f_2\sin\theta$$

・y 方向の並進の運動方程式

$$m\dot{v}_y = f_1\cos\theta + f_2\cos\theta - mg$$

・回転の運動方程式

$$I\ddot{\theta} = -Lf_1 + Lf_2$$

（２）飛行体が $v_x = v_y = \dot{\theta} = 0$ で平衡状態にあるとき、θ および各プロペラが発生する力 f_1, f_2 を求めよ。ただし$-\pi/2 \le \theta \le \pi/2$ とする。

（１）で求めた式に $\dot{v}_x = \dot{v}_y = \ddot{\theta} = 0$ を代入する。

$$\begin{cases} 0 = -(f_1 + f_2)\sin\theta \\ 0 = (f_1 + f_2)\cos\theta - mg \\ 0 = L(f_2 - f_1) \end{cases}$$

$$\therefore (\theta, f_1, f_2) = \left(0, \frac{1}{2}mg, \frac{1}{2}mg\right)$$

（３）平衡状態におけるプロペラの力からの変化量を $\delta f_1, \delta f_2$ とし、状態変数を

$$\boldsymbol{x} = \begin{bmatrix} \theta & v_x & v_y & \dot{\theta} \end{bmatrix}^T$$

制御入力を

$$\boldsymbol{u} = [\delta f_1 \quad \delta f_2]^T$$

として（２）の平衡状態を基準に近似線形システムを導出すると、

$$\dot{\boldsymbol{x}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ -g & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \boldsymbol{x} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{1}{m} & \frac{1}{m} \\ -\frac{I}{L} & \frac{I}{L} \end{bmatrix} \boldsymbol{u}$$

となる。この導出過程を示せ。

（１）（２）より、$\sin\theta \sim \theta, \cos\theta \sim 1$ として、線形近似する。

なお、微小項 $O(0)$ は無視する。

$$\dot{v}_x = -\frac{(f_1 + \delta f_1)}{m}\sin\theta - \frac{(f_2 + \delta f_2)}{m}\sin\theta$$

$$= -\frac{\left(\frac{mg}{2} + \delta f_1\right)}{m}\theta - \frac{\left(\frac{mg}{2} + \delta f_2\right)}{m}\theta = -g\theta + O(0)$$

$$\dot{v}_y = \frac{(f_1 + \delta f_1)}{m}\cos\theta + \frac{(f_2 + \delta f_2)}{m}\cos\theta - g$$

$$= \frac{\left(\frac{mg}{2} + \delta f_1\right)}{m} \cdot 1 + \frac{\left(\frac{mg}{2} + \delta f_2\right)}{m} \cdot 1 - g = \frac{1}{m}\delta f_1 + \frac{1}{m}\delta f_2$$

$$\ddot{\theta} = -\frac{L}{\mathrm{I}}\delta f_1 + \frac{L}{I}\delta f_2$$

以上より、

$$\dot{\boldsymbol{x}} = \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{v}_x \\ \dot{v}_y \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ -g & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ v_x \\ v_y \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{1}{m} & \frac{1}{m} \\ -\frac{I}{L} & \frac{I}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta f_1 \\ \delta f_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ -g & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \boldsymbol{x} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{1}{m} & \frac{1}{m} \\ -\frac{I}{L} & \frac{I}{L} \end{bmatrix} \boldsymbol{u} \quad \blacksquare$$

（4）（3）の線形システムの可制御性を判定せよ。過程も示すこと。

【連続時間線形システムの可制御性の必要十分条件】

連続時間線形システム $\dot{\boldsymbol{x}}(t) = \boldsymbol{A}\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{B}\boldsymbol{u}(t)$ が可制御であるための条件

可制御性行列 $\boldsymbol{M_C} = [\boldsymbol{B} \quad \boldsymbol{AB} \quad \boldsymbol{A^2B} \quad \cdots \quad \boldsymbol{A^{n-1}B}]$

のランクが $\boldsymbol{n}$ であること。（フルランク）

（3）より、

$$\boldsymbol{A^2} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ -g & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ -g & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -g \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{A^3} = \boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{A^2} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ -g & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -g \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{AB} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ -g & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{1}{m} & \frac{1}{m} \\ -\frac{I}{L} & \frac{I}{L} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{I}{L} & \frac{I}{L} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{A^2B} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -g \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{1}{m} & \frac{1}{m} \\ -\frac{I}{L} & \frac{I}{L} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{I}{L}g & -\frac{I}{L}g \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{A^3B} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{1}{m} & \frac{1}{m} \\ -\frac{I}{L} & \frac{I}{L} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

よって、可制御性行列は、明らかにフルランクで、可制御である。

$$\therefore \boldsymbol{M_C} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & & & & & & \\ 0 & 0 & -\frac{I}{L} & \frac{I}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{m} & \frac{1}{m} & 0 & 0 & \frac{I}{L}g & -\frac{I}{L}g & 0 & 0 \\ -\frac{I}{L} & \frac{I}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

（5）（3）の線形システムに対し、目標水平速度を r として

$$\delta f_1 = -\frac{I}{2L}w, \quad \delta f_2 = \frac{I}{2L}w, \quad w = -K_1(v_x - r) - K_2\theta - D\dot{\theta}$$

で与えられる状態フィードバック制御則により水平飛行を行う。

r から v_x の伝達関数の極が $-10, -5 \pm i$ となるように K_1, K_2 および D を決めよ。

ただし $g \approx 10\ [\mathrm{m/s^2}]$ としてよい。

与式より、

$$w = -K_1(v_x - r) - K_2\theta - D\dot{\theta}$$

ラプラス変換する。ここで、$w = \ddot{\theta}$ に注意する。

$$s^2\Theta(s) = -K_1\big(V_x(s) - R(s)\big) - K_2\Theta(s) - Ds\Theta(s) \qquad (*)$$

また、与式より、

$$\boldsymbol{u} = \begin{bmatrix}\delta f_1 \\ \delta f_2\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}-\dfrac{I}{2L} \\ \dfrac{I}{2L}\end{bmatrix} w$$

（3）の式に上の $\boldsymbol{u}$ を代入して、

$$\begin{bmatrix}\dot{\theta} \\ \dot{v}_x \\ \dot{v}_y \\ \ddot{\theta}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0 & 0 & 0 & 1 \\ -g & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\theta \\ v_x \\ v_y \\ \dot{\theta}\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \dfrac{1}{m} & \dfrac{1}{m} \\ -\dfrac{I}{L} & \dfrac{I}{L}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}-\dfrac{I}{2L} \\ \dfrac{I}{2L}\end{bmatrix} w$$

$\dot{v}_x$ の行だけ抜き出すと、

$$\dot{v}_x = -g\theta$$

ラプラス変換すると、

$$\Theta(s) = -\frac{s}{g}V_x(s)$$

これを $(*)$ に代入する。

$$-s^3\frac{V_x(s)}{g} = -K_1\big(V_x(s) - R(s)\big) + \frac{K_2 s}{g}V_x(s) + \frac{Ds^2}{g}V_x(s)$$

$$\therefore (s^3 + Ds^2 + K_2 s - gK_1)V_x(s) = -gK_1R(s)$$

よって、r から v_x の伝達関数は、$g = 10$ を代入すると、次式となる。

$$\frac{V_x(s)}{R(s)} = \frac{-10K_1}{s^3 + Ds^2 + K_2 s - 10K_1}$$

特性方程式は、

$$s^3 + Ds^2 + K_2 s - 10K_1 = 0$$

極が $-10, -5 \pm i$ となるとき、特性方程式は、

$$(s^2 + 10s + 26)(s + 10) = s^3 + 20s^2 + 126s + 260 = 0$$

以上 2 式の係数を比較して、

$$(K_1, K_2, D) = (-26, 126, 20)$$

2021（R3）年度【２】略解

（１）	$m\dot{v}_x = -f_1 \sin\theta - f_2 \sin\theta$ $m\dot{v}_y = f_1 \cos\theta + f_2 \cos\theta - mg$ $I\ddot{\theta} = -Lf_1 + Lf_2$
（２）	$(\theta, f_1, f_2) = \left(0, \frac{1}{2}mg, \frac{1}{2}mg\right)$
（３）	略
（４）	$\boldsymbol{M_C} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{I}{L} & \frac{I}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{L} & \frac{1}{L} & -\frac{I}{L}g & -\frac{I}{L}g & 0 & 0 \\ \frac{1}{m} & \frac{1}{m} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{I}{L} & \frac{I}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ フルランクで、可制御
（５）	$(K_1, K_2, D) = (-26, 126, 20)$

2021（R3）年度【２】講評

（１）回転の運動方程式は立式できただろうか。
　　今回、問（３）で状態方程式が示されているため、間違えていれば気付いたか。
（２）代入して求めるだけ。
（３）線形化に先立って、微小項を無視できるか。
（４）可制御性行列は記憶しておく。行列の計算に気を付けたい。
　　まあ、フルランクで、可制御やろ。行列の計算が怠い。
（５）極配置によるフィードバック制御に関する問い。計算ミスを誘われる。

制御工学Ⅱから現代制御の内容の出題。やめてくれー（ウエストランド井口風）