# 平成２１年度弁理士試験論文式筆記試験問題

［制御工学］

１．以下の文章を読んで、(1)～(8)の設問に答えよ。

【６０点】

回転型モータの回転軸に、その回転軸まわりの慣性モーメントが $J$ である剛体のアームを取り付けたロボットアームがある。モータの出力トルクを $\tau$、アームの回転角を $\theta$ とする。なお、モータには減速器は取り付けられておらず、重力や摩擦などの回転に関する抵抗力はすべて無視できるものとする。このときのアームの運動方程式は(式 1)のように記述される。なお、$\dot{\theta}$ は時間 $t$ に対する $\theta$ の一階の常微分を表し、$\ddot{\theta}$ はさらにその微分、すなわち二階の常微分を表す。

$$\boxed{\quad \text{A} \quad} \tag{式 1}$$

基準となる位置（$\theta = 0$）からアームを目標角度（$\theta = r$）回転させて止めるような制御を行うことを考える。モータの回転角 $\theta$ を計測し、(a)モータの出力トルクが(式 2)となるように制御を行った。ただし、$K$ は正の定数とする。

$$\tau = K(r - \theta) \tag{式 2}$$

しかし、(b)アームは行ったり来たりするだけで、目標角度で止まることはなかった。次に、回転角速度 $\dot{\theta}$ も、$\boxed{\quad ア \quad}$ することにする。すなわち、(c)モータの出力トルクを(式 3)となるようにする。ただし、$C$ は正の定数とする。

$$\tau = K(r - \theta) - C\dot{\theta} \tag{式 3}$$

このとき、アームは(d)行き過ぎることもあったが、最終的には目標の回転角に移動して止まった。(e)さらに $C$ の値をもう少し大きくしてみたら、アームは行き過ぎることなく、目標の回転角に移動し、止まった。

(1)　(式 1) $\boxed{\quad \text{A} \quad}$ にふさわしい式を以下より選択せよ。

$\ddot{\theta} = J\tau$　　$J\ddot{\theta} = \tau$　　$\tau\ddot{\theta} = J$　　$\ddot{\theta} = J\tau\theta$　　$J\ddot{\theta} = \tau\theta$　　$\tau\ddot{\theta} = J\theta$

(2)　下線(a)に示す制御を行った際の、目標角 $r$ から回転角 $\theta$ までの伝達関数とその特性根を求めよ。なお、ラプラス演算子を $s$ とせよ（以降の問題でもラプラス演算子を $s$ とすること)。

(3)　下線(b)のようになった理由を記述せよ。

(4)　$\boxed{\quad ア \quad}$ に最もふさわしい用語を以下の語群より選択せよ。

フィードフォーワード　　フィードバック　　フォーワードステッピング　　バックステッピング

(5)　下線(c)に示す制御を行った際の、目標角 $r$ から回転角 $\theta$ までの伝達関数とその特性根を求めよ。

(6)　下線(d)の現象を表すのに最もふさわしい用語を以下の語群より選択せよ。

インパルス　　オーバーシュート　　オフセット　　スモールゲイン　　ホールド

(7)　下線(e)について、$C$ の値をどのくらい大きくしたと考えられるか答えよ。

(8)　もし、$C$ の値を負にしたら、どのようなことが起きるのか、その理由とともに記述せよ。

２．以下の文章を読んで、(1)～(6)の設問に答えよ。

【４０点】

下の図１は倒立振子を表している。一端が質量 $M$ の台車に回転関節で固定されている長さ $l$ の腕の先に質量 $m$ の質点がある。また、腕は回転関節で紙面に垂直な軸まわりに自由に回転できる。腕の絶対姿勢角を図のように鉛直上向きを原点に、時計回りを正として $\theta$ とおく。一方、台車は駆動力 $F$ で駆動され、水平面上を紙面の左右に移動するものとする。台車の水平位置を図のように紙面右向きを正として $x$ とおく。なお、重力加速度は鉛直下向きに $g$ とする。また、質点の大きさや腕の質量は無視し、回転関節における摩擦などの回転に関する抵抗力や、腕の変形などは無視できるものとする。

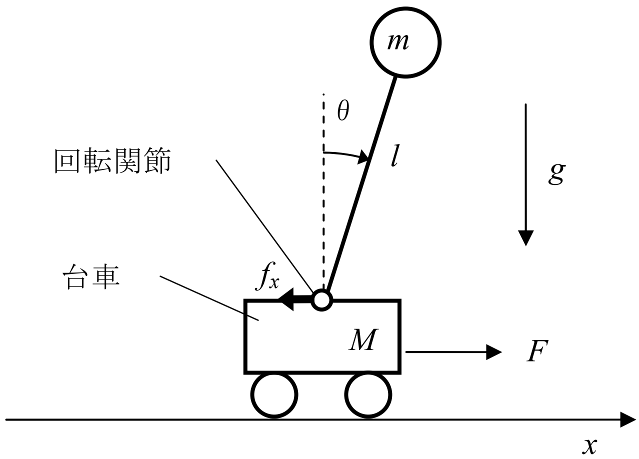


図１

(1)　こうした系の運動方程式を求めるには、ニュートン・オイラー法と $\boxed{\quad \mathrm{I} \quad}$ 法の二通りの方法がある。$\boxed{\quad \mathrm{I} \quad}$ にふさわしい用語を以下の語群より選択せよ。

ルンゲ・クッタ　　リカッチ　　リアプノフ　　ラグランジュ　　ラプラス
ラウス・フルビッツ

(2)　この系の運動方程式をニュートン・オイラー法により導出する。回転関節の位置において、図のように腕から台車に加わる力の水平方向成分を $f_x$ とおく。台車の運動方程式を $f_x$ を用いて表せ。

(3)　腕の角度 $\theta$ が十分小さく、$\sin\theta \approx \theta$、$\cos\theta \approx 1$ と近似できるとする。このとき、質点 $m$ の水平方向に関する運動方程式を $f_x$ を用いて表せ。

(4)　振子の回転方向に関する運動方程式を考える。台車に固定された座標系を基準として考えると、質点 $m$ には台車の加速度 $\ddot{x}$ による慣性力が働くと考えられる。回転関節まわりのモーメントの関係を考えた後、腕の角度 $\theta$ が十分小さいことによる近似を用いて、振子の回転角加速度 $\ddot{\theta}$ と台車の加速度 $\ddot{x}$ の関係を導出せよ。

(5)　入力を $F$ 、状態を $(\theta, \dot{\theta}, x, \dot{x})^{\mathrm{T}}$ として、この系の状態方程式を表せ。ただし、T はベクトルの転置を表す。

(6)　上記設問(5)で求められた系が可制御かどうか判定せよ。