

2007 年度 プロセス制御工学試験

【問題 1】

ある反応プロセスの温度制御を行いたい。反応器内温度を制御変数，冷媒流量を操作変数として，以下の問いに答えよ。

1. プロセスの動特性を把握するために，ステップ応答実験を実施した。その結果を図 1 に示す。プロセスの伝達関数を求めよ。

ステップ応答から，1 次遅れ+むだ時間の伝達関数を求めるだけの極めて初歩的な問題である。この問題すらできていない学生が多かった。ハッキリ言って，全く理解できていないということだ。入力変数と出力変数の初期定常値が教科書のように 0 ではないが，これが現実である。この問題では，入力が+3 変化したときに，出力が-6 変化したのだから，定常ゲインは-2 である。時定数やむだ時間を 13 や 23 と答えている例もあったが，入力変数をステップ変化させる前から数えてどうするのか。定常ゲイン，時定数，むだ時間の定義を正しく把握しておくように。

2. I-PD 制御によるフィードバック制御系を構築した。PID 制御ではなく I-PD 制御を用いるのは，なぜか。I-PD 制御を用いる動機を，PID 制御との相違点を明確にして説明せよ。

全く意味不明の解答も多かった。I-PD 制御を理解していないのも問題だが，まともな日本語が書けないというのも酷い。教科書を読み直すように。

3. フィードバック制御のみでは十分に満足いく制御結果が得られなかった。その原因について検討したところ，原料温度の変動が制御性能を低下させていることが判明した。そこで，原料温度測定値を利用して，フィードフォワード制御系を構築したい。原料温度から反応器内温度への伝達特性が式(1)で与えられるとして，フィードフォワード・コントローラを設計せよ。

$$D(s) = \frac{1}{6s+1} \quad (1)$$

これも極めて初歩的な問題だ。過去問しか勉強しないという手抜きをした学生にはできなかつただろう。なお，考え方はあっているが，むだ時間の逆数を取ってそのままという学生が数名いた。そんなものは物理的に実現できないと講義で何度も繰り返したはずだ。教科書を読み直すように。

4. ここで構築した，フィードフォワード制御とフィードバック制御を併用した制御系全体のブロック線図を描け。

ここで構築したフィードバック制御系は I-PD 制御系だ。だから，I-PD 制御系のブロック線図を書く必要がある。コントローラを C とするだけではダメだ。その後，フィードフォワード制御のブロック線図を書き加えればよい。各伝達要素の入力と出力が何なのか，きちんと考えながら書くように。あと，矢印が書かれていないとか，符号が書かれていないとか，そういうミスをしないように。

5. フィードフォワード制御の追加によって，制御系の安定性はどのように変化するか。理由と共に答えよ。

制御系が安定か不安定かは何で決まるのか。閉ループ伝達関数の特性根でだ。では，フィードフォワード制御の追加によって，閉ループ伝達関数の特性根は影響を受けるか。特性根が変わらないなら，安定

性も変わらない。安定と振動は違う。

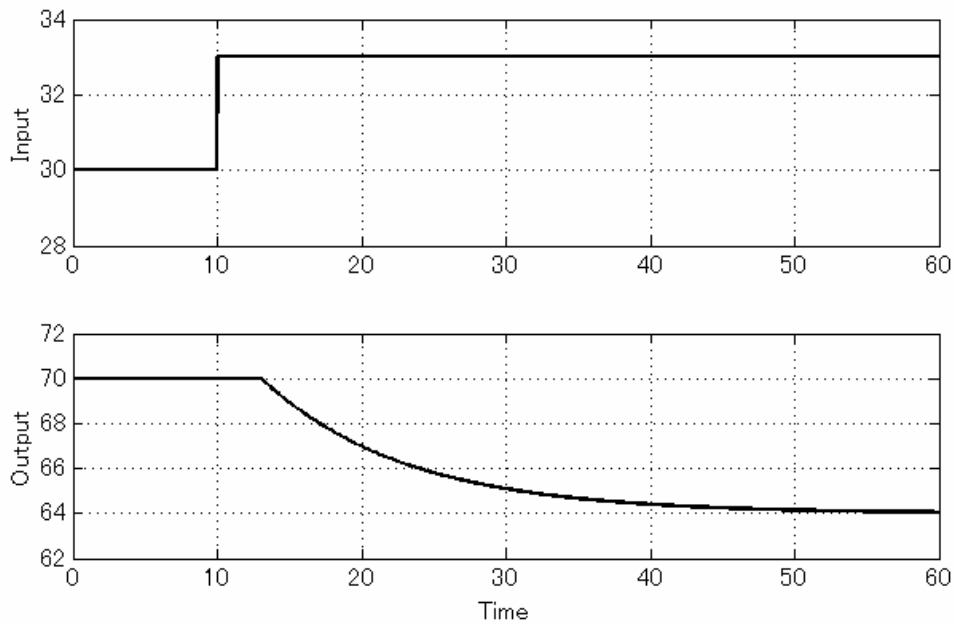


図1 ステップ応答実験結果

【問題2】

以下の問いに答えよ。

1. フィードバック制御系のゲイン余裕および位相余裕をボード線図から求めたい。コントローラとプロセスの伝達関数をそれぞれ $C(s)$, $P(s)$ とするとき、ボード線図を描くべき伝達関数は何か。

閉ループ伝達関数だという解答が少なかった。まるで理解していないことがバレバレだ。制御系の安定性について、教科書を読み直すように。

2. ゲイン余裕が 5dB の PID 制御系がある。比例ゲインのみを調整してゲイン余裕を 15dB にしたい。比例ゲインを何倍にすればよいか。

定番問題であり、比較的出来が良かった。しかし、符号を間違っている学生や、自然対数と常用対数を混同している学生が見受けられた。

3. プロセスの伝達特性が式(2)で与えられるとき、そのステップ応答は振動的か非振動的か。理由と共に答えよ。

$$P(s) = \frac{1}{25s^2 + 2s + 1} \tag{2}$$

特性根を求めるだけの初歩的な問題だ。こんな問題で計算ミスなどするな。

4. プロセスの伝達特性が式(2)で与えられるとき、そのステップ応答を求めよ（時間 t の関数として）。ただし、以下のラプラス変換の公式を利用してもよい。

$$L[\sin \omega t] = \frac{\omega}{s^2 + \omega^2}, L[\cos \omega t] = \frac{s}{s^2 + \omega^2} \tag{3}$$

式(2)の伝達関数をいきなりラプラス逆変換している学生がいたが、一体何がしたいのか。ステップ応答を求めたいのだから、ステップ入力のラプラス変換 $1/s$ も使わないとダメだ。部分分数展開して、逆変換まで辿り着いた学生も、そこで終わっているのがほとんどだった。cos と sin の和は cos または sin 単独で表現しておかないと、どんな応答なのかイメージできない。

5. プロセスの伝達特性が式(2)で与えられるとき、そのインパルス応答を求めよ。

求め方は2通りある。1つは、インパルス入力のラプラス変換が1であることを用いて、前問と同様に導出する方法。もう1つは、前問で求めたステップ応答を微分する方法。どちらでも構わない。 $1/s^2$ を用いている学生も複数いたが、それはインパルスではなく、ランプだ。

6. プロセスの伝達特性が式(2)で与えられるとき、そのステップ応答の行過ぎ量を求めよ。

行過ぎ量を求めるためには、ステップ応答の極値を求めなければならない。したがって、ステップ応答を微分して、それが0となる点を見付ける必要がある。そう言えば、ステップ応答の微分はインパルス応答だ。前問ができていながら、ここで長々と式変形する必要はない。4, 5, 6ができた学生は大した計算力の持ち主だ。2回生までも脳味噌が腐っていないのだろう。素晴らしい。

7. ある安定なプロセスに対して、比例ゲイン 10 の比例制御を適用したところ、大きさ 1 の設定値変更に対してオフセット（定常偏差）が 0.1 となった。このプロセスの定常ゲインを求めよ。

過去問では、定常ゲインと比例ゲインが与えられて、オフセットを求めるという形になっているだろう。今回は、比例ゲインとオフセットを与えて、定常ゲインを求めるという形にしてみた。問題としては全く同じだ。少しひねってあるが、一回転、いや半回転もしていない。それなのに、出来は良くない。まず、設定値から偏差への伝達関数を求めることすらできていない学生がいる。これではどうしようもない。開ループ伝達関数を用いてオフセットを計算しているのは論外だとして、設定値から制御変数への開ループ伝達関数を用いている解答もあった。もしそうしたいなら、最終値定理の右辺はオフセット 0.1 ではなく、制御変数の定常値 0.9 だ。

8. スミス補償器を利用するのはどのような場合か。説明せよ。

「むだ時間があるプロセス」だけではダメだ。むだ時間が短いなら、敢えてスミス補償器を使わなくても良いだろう。使うべきは、むだ時間が長い場合だ。しかし、それだけではない。いくらむだ時間が長くても、プロセスのモデルが既知でなければスミス補償器は使えない。当然、モデルは正確でないといけない。

9. カスケード制御を利用するのはどのような場合か。説明せよ。

全く意味不明の解答も多かった。きちんと説明できないということは、理解できていないということだ。この問題だけではない。多くの場合に、我々は「理解したつもり」だけだったりする。自分の言葉で誰かに教えられるぐらいでないと、理解したとは言えない。教科書を読み直すように。

以上