

プロセスシステム

【問 1】 ある電力会社は現在、年間 16000 トンの低硫黄炭を使用し、環境基準以上の硫黄酸化物を排出しており、対策として排煙洗浄装置(スクラバー)の導入が求められている。そこで、現状の燃料と燃焼量に合わせた標準的な価格のスクラバーを導入するか、より安価で熱量の大きい高硫黄炭を使用できる高機能で高価なスクラバーを導入するかを検討したい。表 1 に検討のために集めた情報を示す。以下の設問に答えよ。燃料消費は発熱量ベースで考えてよく、コストはスクラバー運転費、スクラバー固定費、燃料費のみとし、有効数字は 2 桁とせよ。

- 1) お金の時間価値とはなにか、30 字程度で説明せよ。
- 2) お金の時間価値を考慮せず、スクラバーはいずれも 10 年間均等に減価償却する場合、高硫黄炭の単価 (円/トン) がいくら以下であれば、高機能スクラバーの導入が、より低コストとなるか計算せよ。
- 3) お金の時間価値を考慮すると、高機能スクラバー導入が標準スクラバーより低コストとなるための、高硫黄炭の最高許容単価は設問 2) で計算したものと比べてどうなるか、説明せよ。

表 1 検討中のスクラバーとそれぞれで使用可能な燃料

	スクラバー (標準)	スクラバー (高機能)
固定費	2.3×10^8 円	3.5×10^8 円
運転費	1.8×10^7 円/年	2.1×10^7 円/年
燃料	低硫黄炭, 発熱量 28000 MJ/トン	高硫黄炭, 発熱量 32000 MJ/トン
燃料単価	5000 円/トン	検討中のため未定

【問 2】 次の文章を読み設問に答えよ。ただし、濃度はすべて重量%であり、数値は小数第 2 位を四捨五入して小数第 1 位まで示せ。図中に書き込まれている濃度と流量は、文中で与えられた条件と合わせて計算に用いること。成分が書き込まれているストリームは、その成分のみが含有されているものとする。

アンモニアからの硝酸合成では、理想的には、濃度 60.0%の希薄な硝酸水溶液が得られる。この溶液を常圧下での蒸留を用いて濃縮すると、濃度が 68.0%に到達したときに、A) 気相と液相の組成が等しくなる現象が起き、これ以上の濃度の硝酸を得ることができない。そこで、この溶液に硝酸マグネシウム $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ を加えることで、常圧下で 68.0%を超えて濃縮することが可能となる。一度 68.0%を越えれば、さらに高濃度まで蒸留で濃縮できる (図 1)。その際、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ はリサイクルすることができるため、新たに外部から供給する必要がない。

これに対し実際には、アンモニアからの硝酸合成で得られる溶液は、不純物として硝酸鉄 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ を含有する。この不純物がプロセス内部で蓄積することを防ぐために、リサイクルストリームの一部を ア する必要がある (図 2)。

- 1) 下線部 A に示す現象の名称を日本語、または英語で答えよ。
- 2) 空欄 ア に適した語句を答えよ。
- 3) 全体の硝酸のバランスから、図 1 のストリーム 4 の流量[kg/min]を求めよ。
- 4) 全体の水のバランスと蒸留塔 3 のまわりの水のバランスから、図 1 のストリーム 8 の流量[kg/min]を求めよ。
- 5) 図 2 の定常運転において、ア の量はストリーム 8' の 5.0%であった。このとき、ストリーム 10' の流量[kg/min]と各成分の組成[%]を求めよ。

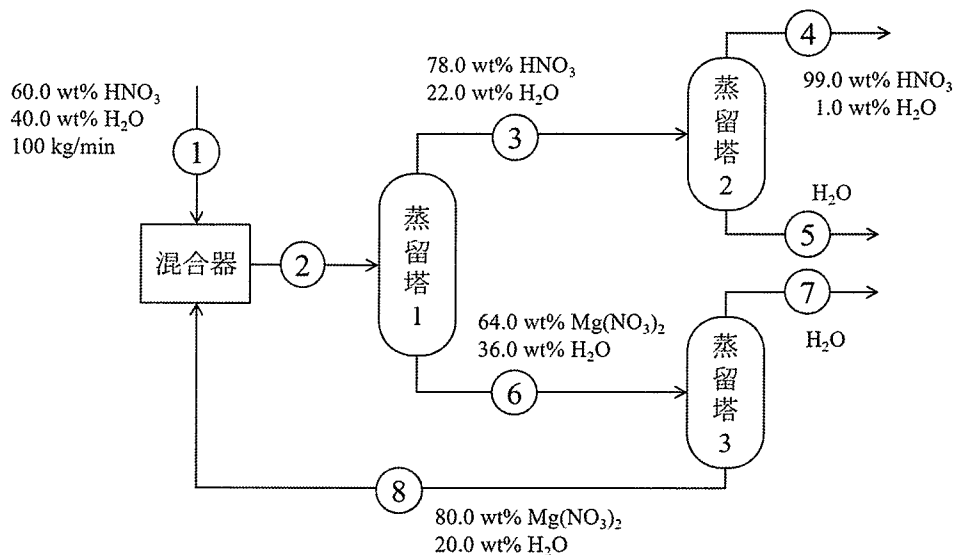


図 1 不純物を含まない希薄硝酸水溶液の濃縮プロセス
(数字の入った丸はストリームラベル, 中の数字はストリームの識別番号)

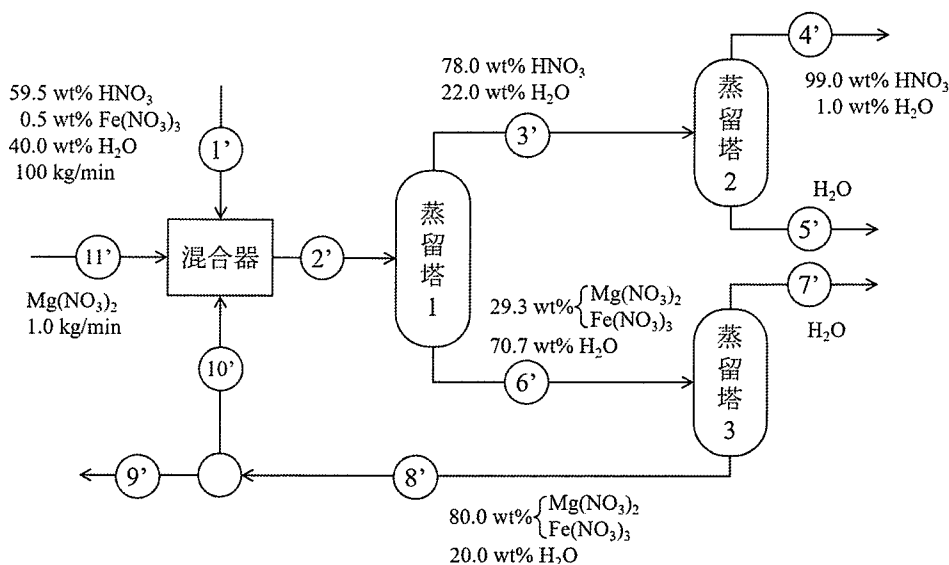


図 2 不純物を含む希薄硝酸水溶液の濃縮プロセス
(数字の入った丸はストリームラベル, 中の数字はストリームの識別番号, 数字のない丸は分岐器)

【問3】以下の文章を読み、設問1), 2)に答えよ。

プロセスの制御を行う際に、操作変数が変化してからその変化が制御変数に現れるまでに時間がかかることがある。このような場合を、むだ時間を伴うプロセスといい、制御が難しいといわれている。

例として、攪拌槽型反応器の温度を制御するプロセスについて、フィードバック制御を行う場合を考える。図3(a)に示すようなプロセスのブロック線図は、図3(b)のように表すことができる。ここで、図3(b)中の $G_{pi}(s)$ は制御対象（プロセス）の伝達関数、 $G_c(s)$ は調節計の伝達関数、 $U(s)$ は操作量、 $Y(s)$ は制御量であり、変数 s は複素数である。なお、 $G_{pi}(s)$ において、 i が0のときはむだ時間が無い場合、 L のときはむだ時間がある場合の制御対象（プロセス）の伝達関数である。

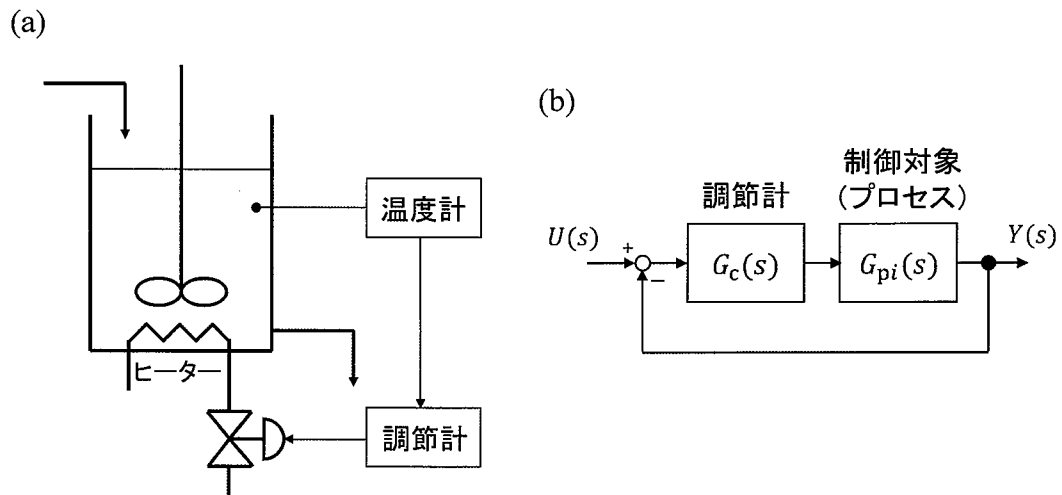


図3 攪拌槽型反応器の温度制御

まず、むだ時間がない場合について考える。制御対象の伝達関数が1次遅れプロセスとして表される場合、1次遅れ要素の時定数を T 、定常ゲインを k とすると、伝達関数 $G_{p0}(s)$ は以下のように与えられる。

$$G_{p0}(s) = \boxed{\text{ア}} \quad (1)$$

周波数を ω とするとき、伝達関数 $G_{p0}(s)$ のゲイン $|G_{p0}(j\omega)|$ と位相差 $\angle G_{p0}(j\omega)$ は、それぞれ以下のように与えられる。ここで、 $j = \sqrt{-1}$ である。

$$|G_{p0}(j\omega)| = \boxed{\text{イ}} \quad (2)$$

$$\angle G_{p0}(j\omega) = \boxed{\text{ウ}} \quad (3)$$

次に、むだ時間があるプロセスについて考える。制御対象の伝達関数が1次遅れとむだ時間があるプロセスとして表される場合、1次遅れ要素の時定数を T 、定常ゲインを k 、むだ時間を L とすると、伝達関数 $G_{pL}(s)$ は以下のように与えられる。

$$G_{pL}(s) = \boxed{\text{エ}} \quad (4)$$

周波数を ω とするとき、伝達関数 $G_{pL}(s)$ のゲイン $|G_{pL}(j\omega)|$ と位相差 $\angle G_{pL}(j\omega)$ はそれぞれ以下のように与えられる。

$$|G_{pL}(j\omega)| = \boxed{\text{オ}} \quad (5)$$

$$\angle G_{pL}(j\omega) = \boxed{\text{カ}} \quad (6)$$

1) 空欄 $\boxed{\text{ア}} \sim \boxed{\text{カ}}$ に当てはまる適切な文字式を答えよ。

2) むだ時間がない1次遅れプロセスでは、操作変数を変化させた場合に制御変数はある一定値に収束するため、制御系は安定である。これに対して、1次遅れとむだ時間があるプロセスでは、調節計の値によっては制御系が不安定になることがあるため、適切な値を設定する必要がある。

ステップ応答を用いてこのプロセスの時定数 T 、定常ゲイン k 、むだ時間 L を評価したところ、 $T = 5 \text{ min}$ 、 $k = 1.0 [-]$ 、 $L = 0.5 \text{ min}$ という値が得られた。このプロセスを、比例ゲイン $K_c (> 0)$ 、すなわち $G_c(s) = K_c$ の比例調節計を用いてフィードバック制御したい。このフィードバック制御系の一巡伝達関数の位相ボード線図を描いたところ、図4のようになった。このフィードバック制御系を安定に操作するための比例ゲイン K_c の範囲を求めよ。

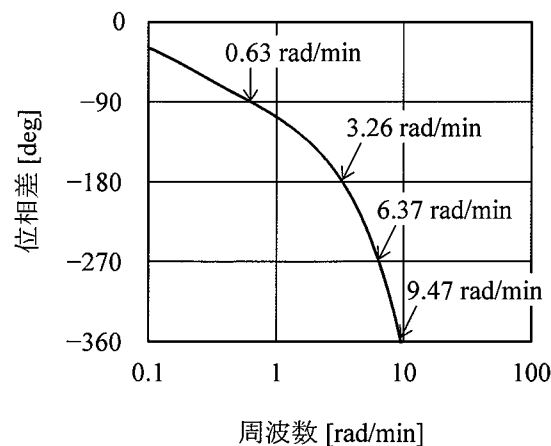


図4 位相ボード線図