

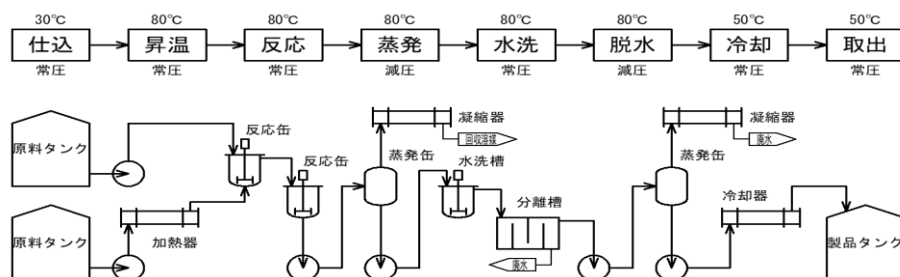
第7回 量少願作“回分槽” 量多願為“連続槽”

題名を考えるのが一苦労である。今回は、白楽天の長恨歌に出てくる唐の6代皇帝玄宗と楊貴妃の愛の誓い「比翼連枝の誓い(男女の契りの深いこと)」、つまり、「在天願作比翼鳥、在地願為連理枝。」¹⁾より拝借した。「生産量が少ない時には回分式の反応槽が有利であり、生産量が多い時には連続式の反応槽が有利である。」と言ったような意味に解釈していただきたい。経験的には年間の生産量 5000~10000t/年程度が転換点である。

1. 定常と非定常(空間と時間)

回分式(バッチ式)では、時間と共に反応組成が変化するため非定常操作である。一方、連続操作では、時間と共に反応組成は変化せず定常操作であるが、反応装置の上流側から下流側、つまり空間を物質が移動する。単純には、回分式の時間が連続式では空間に変換されると考えて良い。回分式の時間的な「工程」を連続式では空間的な「設備」に置き換えている。従って、ちまちま手間かけて製造する場合は、回分式のほうが融通がきいて便利である(連続式にすると設備点数が多すぎる)。逆に、大量に生産する場合は、設備をコンパクトにできる連続式が有利である(回分式にすると設備が大きくなり過ぎる)。図1に同じプロセスを連続式とした場合、回分式とした場合の事例を示す。

(a)連続式プロセス



(b)回分式プロセス

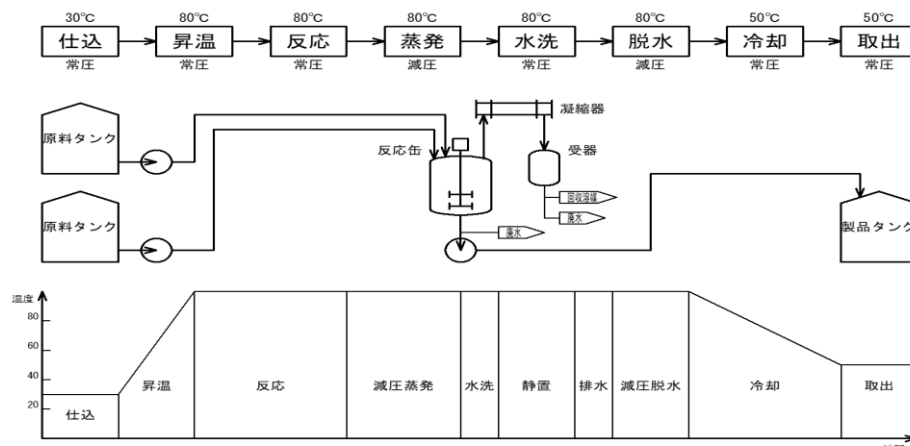


図1 連続式プロセスと回分式プロセスの比較

2. 滞留時間分布

回分式において滞留時間分布は槽内ですべて同じであるが、連続式の場合は反応槽の形態により滞留時間分布が変化する。以下に理想的な場合の反応槽の滞留時間分布を、人口100人で平均10人/年の割合で出生(槽への流入)および死亡(槽からの流出)する村を例として考えることにしよう。

① 回分式の村(一斉死亡の村)

10年に一度100人が生まれ、10年後に100人がすべて死亡する村である。平均寿命 τ は100人全員が等しく10年であり、平均出生率は、100人/10年=10人/年である。これは、一般の回分式の反応槽に該当する。

② 連続・栓流式の村(逐次死亡の村)

毎年10人が生まれ、10年を経過した10人がトコロテン式に死亡する村である。平均寿命 τ は各年のどの10人も等しく10年である。滞留時間分布(寿命分布)は回分式と同じである。これは、管型反応器のように逆混合を無視した場合(栓のように流れて行く場合)に該当する。

③ 連続・完全混合式の村(無作為抽選死亡の村)

毎年10人が生まれるが、死亡するのは抽選により選ばれた10人である。すなわち、無作為に選ばれるので、0歳の人が死亡する場合もあり、逆に20年も30年も生き長らえる可能性もある。平均寿命 τ は100人/(10人/年)=10年であるが、死亡していく人の寿命はまちまちである。これは、良く攪拌された攪拌槽に連続的に流通させる場合に該当する。

連続プロセスにおける現実の流れは、②の栓流流れと③の完全混合流れの中間と考えることができ、数学的には完全混合槽をN槽連ねた場合と考えられる。栓流流れは $N = \infty$ に該当する。すなわち、液の流れ方向には全く混合しないが、その流れの直角方向(半径方向)には完全に混合するような理想的な流れである。一方、完全混合流れ($N = 1$)は、反応槽に入った流体は時間ゼロで一瞬に混合すると考えた場合の理想的な流れである。N槽の完全混合槽列モデルの滞留時間分布関数は²⁾、

$$f(t) = N/\tau \cdot (Nt/\tau)^{N-1} \cdot e^{-Nt/\tau} / (N-1)!$$

となる。ここで、

N : 完全混合槽列の数

T : 平均滞留時間

である。無次元時間 $\theta = t/\tau$ とし、 $\tau f(t)$ 対 θ をプロットすると、図2のようになる。Nが小さい場合、平均滞留時間に対して分布が広いことが分かる。N ≥ 5 ぐらいになって、平均滞留時間付近がやっと極大となる。N=100でも分布はかなりある。

回分式の反応時間(=滞留時間)をそのまま連続式に適用する場合、栓流流れの場合を除いてそれは大きな間違いである。滞留時間分布を考慮しなければならない。滞留時間分布は、ステップ応答実験やインパルス応答実験を行うことにより測定することができる。

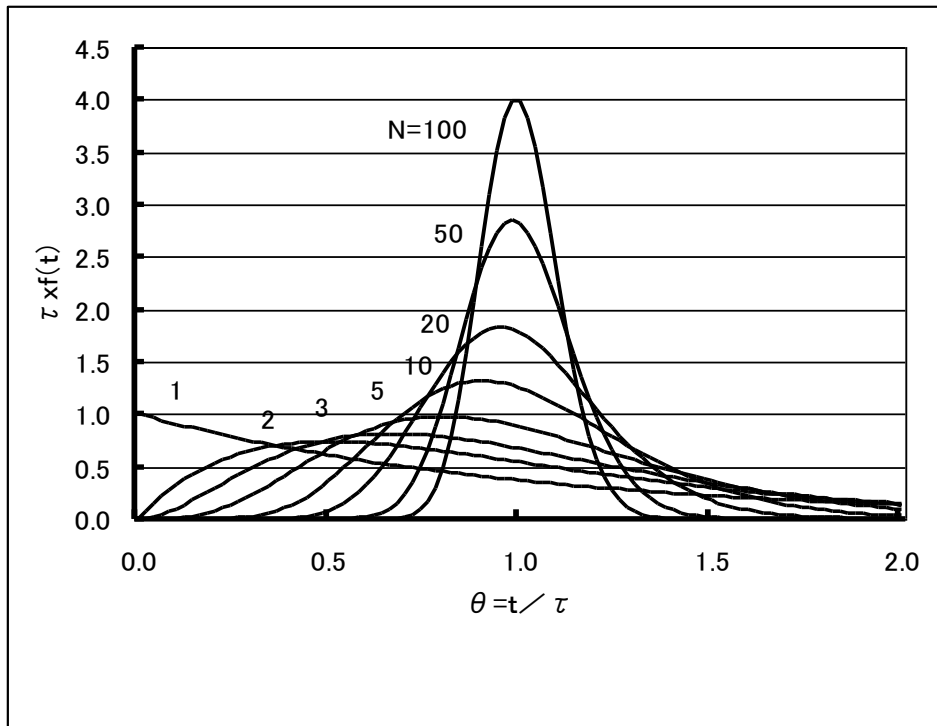


図 2 槽列モデルによる滞留時間分布

参考文献

- 1) 村上吉廣著：「楊貴妃」(中公新書、1997)
- 2) 化学工学協会編：「化学工学便覧」,977~1008(丸善、1988)