

第3回 攪拌効率？ 分母は?? 分子は???

化学の分野で、「攪拌効率」と言うことばを良く耳にする。効率と言うからには、分母、分子があるのだろう。攪拌モーター入力に対する攪拌実負荷、つまり攪拌機の効率なのであろうか？また、完全混合するために要する時間を何かで割った数字なのであろうか？ちなみに「攪拌効率」と言うことばは化学工学辞典には載っていない。

同じような感覚で使うことばとして「濾過性」がある。これも～性と言っているので、分母、分子があるであろう。なんとなくイメージはわかるが、濾過の閉塞のし易さを言っているのか、濾過の速度を言っているのかは明確ではない。この「濾過性」も化学工学辞典には載っていない。

また、生産性と言うことばも良く聞く。これも分母と分子が定義されていなければならない。一般には、付加価値額を従業員数で割った「労働生産性」が用いられる。分子を利益に変えれば、「1 人当り利益」、分母を有形固定資産額に変えれば「設備投資効率」である。

～率、～性などは分母、分子が明確に定義されてこそ意味がある指標となり得る。皆さんご存知の円周率も、直径(分母)に対する周長(分子)の比率で定義されている。つまり、その分母、分子が正確に定義されていないと、聞く人々によって受け止め方が違い、間違った議論をしてしまう。しかし、わざとあいまいな表現とし、話をごまかすには良い表現のしかたである。だが、技術者としてはあいまいな議論ではすまされないので、～率、～性と言うことばが発せられたなら、迷わず質問しよう。「その分母と分子は何ですか？」と。正確に質問に答えられないならば、その人は「サギ師」であるに違いない。

化学装置で良く使用される攪拌槽の「攪拌効率」と言うことばの意味は、たぶん「均一混合状態をいかに速く達成するか」と言うことと思われるので、以下で攪拌についてのお話をしてみたい。

1. 攪拌の目的

攪拌操作自身は、他の単位操作のように特定の目的(例えば、蒸留の目的は低沸点物と高沸点物との分離である)を持っていると言うよりは、容器の中に流体を入れ、適当な翼によってかき混ぜる作業を示しており、この操作は以下に示すさまざまな目的のために利用される。

- ① 2 種類以上の流体濃度の均一化
- ② 反応、物質移動、伝熱の促進
- ③ 気泡滴や液滴の微粒化
- ④ 異相系での固体粒子の懸濁

ほとんどの場合、系全体を均一化することを目的とするので、混合が促進されることが好ましく、攪拌装置は混合装置としてとらえることが多い。

2. 攪拌状態を表す指標

攪拌の状態を表現する指標として、(1)レイノルズ数(Re 数)、(2)攪拌強度(単位液量当り消費動力 P_V)、

(3)攪拌混合時間(θ_M)について以下に簡単に説明することにする。

(1)レイノルズ数(Re 数)

第 2 回「工学者は無次元がお好き」で出てきた言葉です。定義式をおさらいします。

$$Re = nd^2\rho/\mu = [\text{慣性力}]/[\text{粘性力}] \quad [-]$$

ここで、n：攪拌回転数[s^{-1}]、d：攪拌翼径[m]、 ρ ：液密度[kg/m^3]、 μ ：液粘度[Pa·s]です。Re 数が同じなら、流動の状態は同じと考える。

2. 単位液量当り消費動力(P_V)

攪拌に消費した動力を液量で割った、単位液量・単位時間当りのエネルギーの消費量を示す指標です。簡単な推算として、層流域(Re 数が小さい場合)では、粘性力が支配的なので、

$$P_V \propto \mu n^2 d^3 / V \quad [W/m^3]$$

となる。乱流域(Re 数が大きい場合)では、慣性力が支配的なので、

$$P_V \propto \rho n^3 d^5 / V \quad [W/m^3]$$

となる。ここで、V：液量[m^3]である。実際に用いられる攪拌装置の概略の P_V 値は、

$$\text{低粘性液} \quad : 0.5 \text{ kW}/m^3$$

$$10\text{Pa}\cdot\text{s 液程度}(10,000 \text{ cP}) \quad : 1 \text{ kW}/m^3$$

$$100\text{Pa}\cdot\text{s 液程度}(100,000 \text{ cP}) \quad : 10\text{kW}/m^3$$

である。

(3)攪拌混合時間 θ_M

攪拌の混合性能を簡便に表す指標としては、攪拌混合時間 θ_M [s]がある。すなわち、いかに速く混合するかの指標である。同じ翼であれば、 P_V を大として多くのエネルギーを与えれば、当然のごとく θ_M は短くなる。従って、攪拌装置の混合特性を比較する場合は、同じ P_V 値にて θ_M 値を比較することになる。すまわち、同じ P_V 値の場合における θ_M 値の短さが、「攪拌効率」になるかもしれないが、「攪拌効率」と言う言葉は使わないほうが賢明である。

3. 流れのパターン

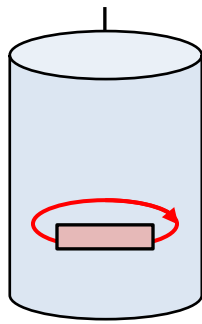
単位液量当り消費動力 P_V だけで、混合の良さが必ずしも把握できない。攪拌槽内の流動パターンが種々存在することに起因しており、攪拌槽内の液の流れは、

旋回流　：翼の回転に沿って、円状にグルグル回る流れ

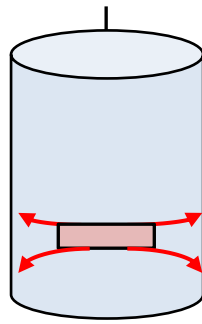
放射流　：翼の半径方向に吐出される流れ

循環流　：翼の軸方向に吐出される全体流

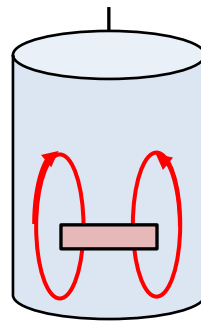
などに分類できる。単に液塊として槽内をグルグル回る旋回流だけでは、動力を消費するだけで液の混合を促進することはできない。槽全体を流動させて剪断力を与えて、流れを乱して混合を促進することが必要となる。



旋回流



放射流



循環流

参考文献

化学工学協会編：「化学工学便覧」pp.889～919(丸善、1988)

化学工学協会編：「化学工学辞典」pp.889～903(丸善、1986)

浅野健司著：「化学工学会ミキシング技術特別研究会夏期セミナー」要旨集、pp.19～23(1996)