

H319

攪拌技術の基礎と最新実用化技術

(佐竹化学機械) ○(正)西岡光利・(正)加藤好一*

1. 攪拌機の選定方法

まずは攪拌目的を明確に定めて考える必要が有る。目的は1つではなく、複数の場合もあるが、その中で重要な目的に絞って考える。次に槽内の流動状態をどのようにすると効率的かを考え、それに沿ってインペラや槽形状、槽内構造を考える。翼の特性として同じ攪拌動力でも高吐出（低せん断）の特性の物から高せん断（低吐出）の特性の物まである。攪拌目的に合わせて槽内の流動状態やせん断力の分布を決めていく。

そして、液特性（粘度や比重、粘性特性）と流動特性（攪拌レイノルズ数 $Re = \rho \cdot n \cdot d^2 / \mu$: 以降 Re 数）により、槽内の流動状態が異なることも考慮し、最適な攪拌翼（図1）や、攪拌槽内の邪魔板などの槽内構造を決定する。この、攪拌翼を中心とした攪拌システムを最適に選定することが重要となる。あとは、各種の化学工学計算（混合時間・粒子浮遊回転数・伝熱計算などや攪拌強度（P/V値など））にて、必要攪拌強度を決定し、攪拌動力計算式にて攪拌動力を決定する。

2. 選定結果の検証

実液を小スケールで攪拌実験（精密に動力測定が可能なミキシングトルクメーターなど）する方法や、メーカー企業が用意しているテスト装置で、実際の試料や疑似液でのパイロットスケールの実液攪拌を確認して、スケールアップ手法により、実機設計に進める方法が従来からとられている。

最近では、シミュレーションソフトの発達により、コンピュータ上で混合状態の確認や細部の流動速度からの粒子浮遊や伝熱量の確認などが可能であり、攪拌動力も算出される。また、その形状データを3Dプリンターに転送し、攪拌システムを小スケールで再現し、PTVやLDVにより、実際の流動状況を確認し、さらに、精度を上げた検証が可能である。今後は、機械的強度などの連成計算により、一気に実機設計も可能となっていっだろう。このシミュレーションと小スケールでの実証する一連の手法は、新規及び、既存の攪拌装置の最適化検討や最適なスケールアップ検討に有用であり、共同開発や受託解析のニーズも高い。

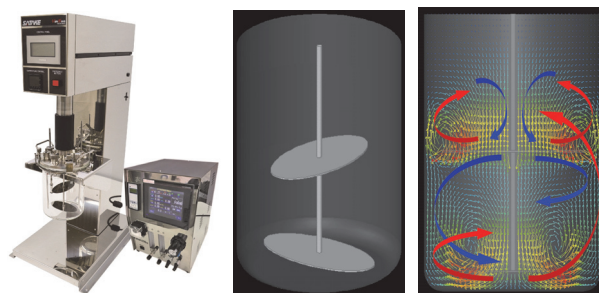


図2. VMFリアクター流動特性

3. 新しい攪拌システムの実用化技術

食品添加物や健康栄養物及び、飼料などで、微生物培養による機能性素材の生産が行われている。これらは大容量（最大200～300kL）において、高密度培養が必要であり、要求OTRも高いため、大きな攪拌動力が必要である。そこで、低動力で高kLaのインペラシステムHS100翼を使用すると、計算値で約1/3の動力、実際にも2/3程度の動力で生産可能となったので紹介する。

動物細胞による医薬品の開発も盛んである。現在、医薬品の売り上げTOP10のうち、8品目程度が従来の化学合成からバイオ医薬品に置き換わっている。動物細胞の培養には大きなせん断力が細胞にダメージを与えてしまうので、回転する攪拌翼ではスケールを大きくするのに限界がある。そこで、上下動攪拌で緩やかに3次元流動（図2）を発生させるVMFリアクターを開発した。CHO細胞などはもちろん、iPS細胞の培養にも好成績を収めている。分化誘導など、再生医療にも貢献できる装置である。また、酸素供給を攪拌翼に頼らずにSPG膜スパージャを利用したVerSusReactorも紹介する。

RBミキシングシステムは、固体的回転部と境界層との圧力バランスを利用して、槽内に竜巻状の強力な上昇流を生じさせる。水処理分野では液面変動が無い連続流入の操作となり、上水でのフラッシュミキサーや下水・工業廃水での担体に微生物を育成して処理する反応槽に適用されている。さらに、下水汚泥を消化槽に入れてメタン発酵させ、エネルギー化を行うプロセスにも利用され、攪拌動力の低下と攪拌機コストダウン、重量低下による槽側のイニシャルコスト低減、混合状態の改善によるスラッジの低減と処理コストの低減など、多くのメリットが確かめられているので紹介する。

このように、装置内の流れをコントロールする技術が確立し、新しい攪拌システムが次々に誕生している。

参考文献

- 1) 佐竹化学機械編：攪拌技術改訂版，佐竹化学機械（1995）他、社内技報

...スーパーミックスシリーズ

翼種別	軸流翼	斜流翼	槽底型翼	輪流翼	高粘度翼	広幅翼
攪拌領域（主に） 適用Re数範囲	均一系 3000<Re	斜一系 1000<Re	スラリー系 3000<Re	気液系 1000<Re	均一系 Re<100	反応系 10<Re
従来翼	プロペラ翼	パドル翼	フッドローラー翼	タービン翼(GDT)	リボン翼	アンカー翼
高効率インペラ	欧米	A100 A310 ISO JET	A310 INTER MIG	KT-3 EPAL	コンゲブ(6CC) PHASE JET PARAVISC	MAXBLEND フルラン
	国内	H'R100 H'R320	H'S600	ツインスター H'S100	ロクボン H'R500	HI-F H'R205

図1. 代表的各種インペラ分類表