

サタケにおける実用攪拌技術開発事例 ～気-液攪拌～

(佐竹化学機械工業株式会社) ○(正)根本孝宏*・(正)加藤好一**

1. はじめに

攪拌は工業的にも身近な単位操作として用いられているが目的は多種多様である。それぞれの目的で必要とされる作用は異なり、目的を達成するには適切な攪拌作用を与えなければならない。

ガス吸収性能を目的とした気-液攪拌を例にとれば、ガスを微細化して槽内に均一的に分散させる為に、高い剪断作用と液流動化作用を効率的に与える事が攪拌装置に望まれる。但し、気-液攪拌といっても目的は様々で、少量のガス通気から、培養等の多量のガス通気、化学プラントでの超大流量ガス通気など、条件はまちまちである。

本報では、気-液攪拌装置の開発事例を取り上げ、当社の攪拌技術に関してご紹介する。

2. 新型タービン翼 : Supermix HS100

2-1) 従来タービン翼とその問題点

気-液攪拌のような剪断・破壊作用、界面移動現象促進が必要な系では、高剪断型に分類される各種のタービン翼が用いられてきた。中でも6枚フラットタービン(以下6FT)は最も代表的なタービン翼であり、古くから使用され、多くの実績がある。

6FTは翼背面の負圧と慣性力を利用した吐出形態を有し、速度勾配・相対速度(圧力変動)、渦場により強い剪断力を得ている。しかし、これらの特性は通気時においてしばしば問題となる。

通気流量が増すと翼背面の負圧部に気泡が補足され、キャビテーションが形成される(図1)。キャビテーションにより翼背面は気泡溜りとなり、剪断場の減少、翼吐出作用の低下を招く。剪断作用と流動化作用が大幅に低下する為に、実機では多大な動力をかけて対応している場合も多い。

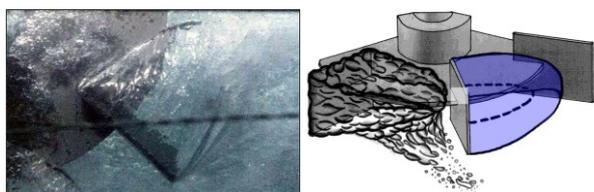


図1 キャビテーション発生状況とイメージ

2-2) Supermix HS100シリーズの特性

6FTの問題点を改善する為に液流動化作用と剪断作用を分けて検討したのがHS100シリーズである(図2a)。HS100はディスクの上下に剥離を起こさない角度で翼を取付け、上下翼を独立させ、隙間を設けている。この翼の独立と隙間が重要であり、気液分散作用を大幅に改善している。また、目的に応じて種々の形状があり、上翼の面積比を変更してダウンフローを強化したタイプ(図2b)、Non-Diskとして翼面積を広くとり、ガス吸収性能を極力高めたタイプ(図2c)などの実績を積んでいるが、基本的な作用は同じである。

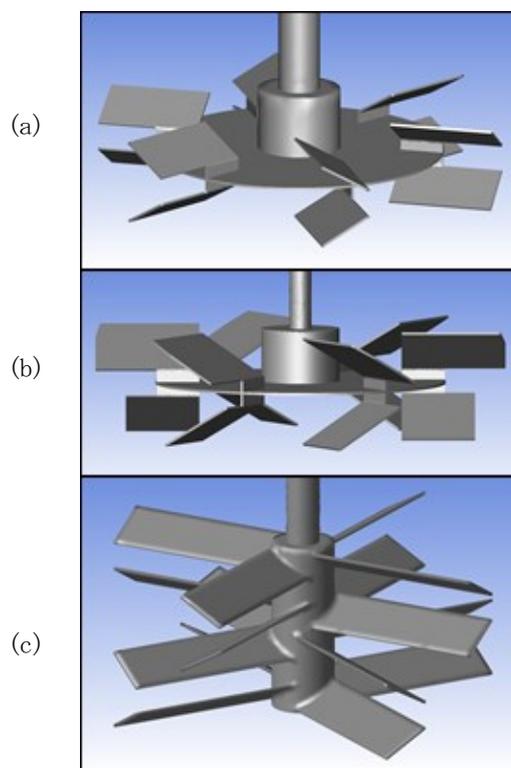


図2 Supermix HS100 シリーズ

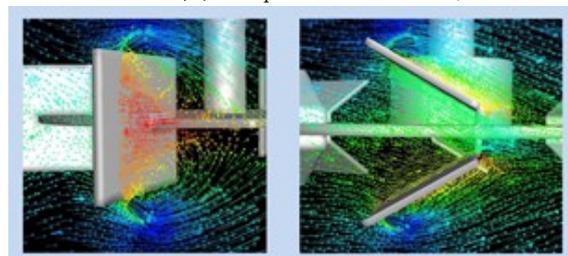


図3 翼断面部での流動状態比較(CFD解析結果)

図3は翼断面における流動状態を比較した結果である。6FTは翼端から流れが剥離し、翼背面に大きな剥離渦が生じている事が確認できる。一方、HS100では剥離は見られず翼面に沿った流れとなる。翼背面の剥離を抑制し、負圧部を形成させない事がHS100の最大の特徴である。低動力で翼の揚力により流れを集中させて吐出し、翼吐出場における相対速度・圧力変動を利用して、強力な剪断・破壊作用を発生させている。従来タービン翼とは全く異なる原理である。

HS100では同一エネルギー(=Pv)条件において、ガス分散性が向上し、高いガス吸収性能が得られる。

2-3) 実機への適用

実機では滞留時間の増加によるガス吸収促進、装置面積の有効利用などの理由から、槽径に対して液深を高くする事が多い。液深が上がるので攪拌翼を多段化したデザインがよく用いられるが、各攪拌翼の作用を適切に分ける事で効率化を図れる。

例えば、6FT は輻流型の吐出形態であり、6FT×3 段では槽内で分割したブロックフローとなる(図 4)。各領域間での交流が弱く、槽内の流動・分散作用が良いとは言えない。一方、高効率型軸流翼 HR100 と HS100 の組合せでは、上段翼 HR100 から剪断場である下段翼 HS100 に集中した流れが生じ、ガス吸収性能向上と共に、槽内の流動作用を向上させている(図 5)。

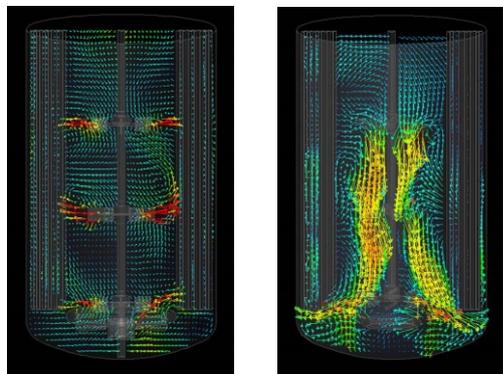


図 4 6FT×3 段 図 5 HS100+HR100+HR100

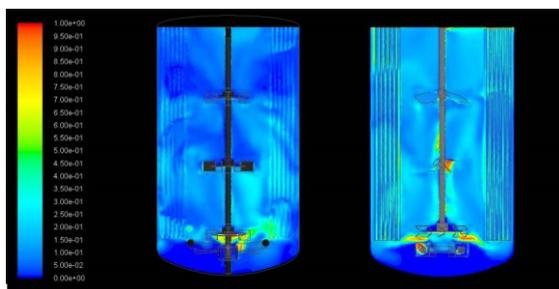


図 6 ガス分散状態の CFD 解析結果
(オイラー-オイラー混相流モデル)

図 6 は、実機でのガス分散状態を CFD で解析した結果である。HS100 と軸流翼 HR100 の組合せではより均一的なガス分散状態となっており、実機において品質向上や生産性向上を果たしている。

なお近年、装置開発や実機選定等において、CFD を利用するケースが増えており、当社では、実験検証や実績に基づいて CFD 結果の妥当性を評価しながら、積極的に活用している。

3. サタケスパージャー

従来は通気ノズルを複数本に分割、またはリングスパージャー等としてガスの初期分散を高める工夫がされてきた。しかし、高度化するニーズに対応する為に、スパージャーにも更なる性能向上が求められている。

図 7 がサタケスパージャーである。

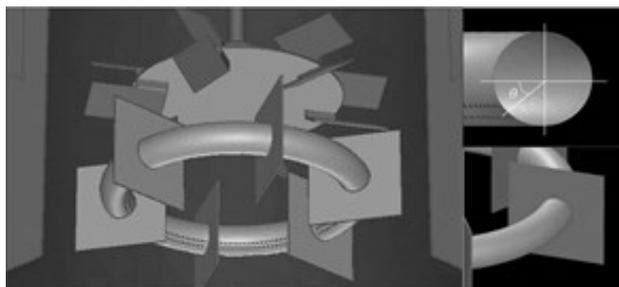


図 7 サタケスパージャー

通気方向を内側の斜め下方・槽底中心とし、リングに静翼を設けて分散作用を向上させている。これにより、同一条件下での $K_L a$ を約 8% 向上させた。

また、槽底部の流動作用も改善され、固体触媒を含む系にも有効であると共に、この静翼は整流効果もあり、ガスで乱れ易い吐出流を安定にする役割も果たす。

図 8 は従来型とサタケスパージャーのガス分散状態を比較した結果である。スパージャーの検討によりガスがより均一的に分散されている。ガス吸収への効果も確認しており、現在、本スパージャーの実機への採用が増えつつある。

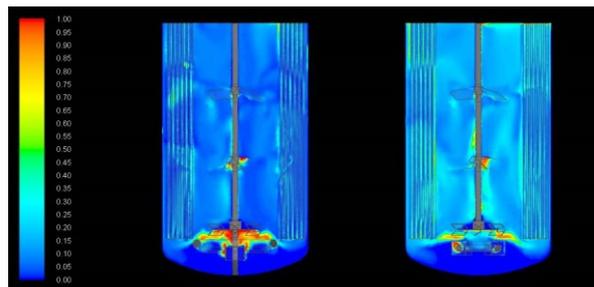


図 8 ガス分散状態の CFD 解析結果

4. 大通気攪拌システム：

HS600 Impeller + 静翼 + 特殊通気方式

実機プラントのリアクターでは、通気流量が非常に多い系も存在し、気泡塔やタービン翼を取付けた強力攪拌による方法が用いられている。攪拌操作は槽内での混合・分散に有効であるが、フラッシングによる効率低下や攪拌翼への付着等が問題となるため、従来のタービンとは異なる思想の攪拌方式が必要である。

そこで、通気の際に生じる高吐出エネルギーを利用し、高分散型ボトムタービン HS600 と静翼を組合せる事で効率化を達成したシステムを開発した(図 9)。

大通気条件下でのガス吸収性能(= $K_L a$)を大幅に向上させることに成功した。(図 10)また、通気されたガスは直接、攪拌翼に当たらない為、付着を抑制している。

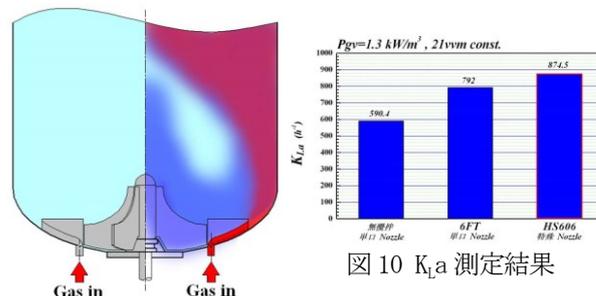


図 10 $K_L a$ 測定結果

図 9 大通気攪拌システム

5. おわりに

開発事例を紹介させて頂いたが、開発では目的を明確にし、必要な作用を与える事が大切である。その為には、現象を解析する、実験やシミュレーションの技術も重要となる。当社では効率化を目指し、様々な面から攪拌技術の向上に努めていきたいと考えている。