製品開発の進化を支える
混合・混練・撹拌機

山形大学理工学研究科教授　高橋　幸司

液体混合は化学、食品、製薬、バイオなどのプロセス工業において材料や製品開発のための基幹技術として広く用いられており、その目的は単なる濃度の均一化に加えて、化学反応や物質移動の促進、液体中への気体・液体・固体の分散などさまざまである。特に近年は材料を高付加価値化することが求められており、そのために撹拌（かくはん）に要求される事項が高度になってきている。その結果、多くの混合・混練・撹拌機が研究開発され市販されている。

カオス混合、時間短縮に有効

□■□

近年の撹拌に関する研究の流れとして注目されるのは、大型翼の混合に関する研究と小型翼の非定常撹拌、すなわちカオス混合に関する研究であろう。大型翼は日本で開発された独特な翼であり、その起源は1987年に市販されたマックスブレンドであり、その後フルゾーン、スーパーミックス、Hi―Fミキサーそしてサンメラーと開発が続いた（図1参照）。これらの大型翼は底部の大型パドル翼が翼の回転により高い圧力を生じさせ上下流を生み出し槽内全域の混合を生じさせる。広い粘度範囲の液体に対し適用可能であり、特にレイノルズ数が数十以上の領域では高粘度液の混合に適するダブルヘリカルリボン翼よりも短い混合時間を与える。

加えて固液混合の場合には、軸方向に極めて均一な固体粒子濃度分布を得ることができる。これらの大型翼は欧米で開発されている翼の傾斜により、直接軸方向の流れを生み出す翼に比べて応用範囲が広く保守も容易だ。優れた撹拌翼としてわが国でもっと採用すべきと考えている。ただしこれらの翼はその面積が大きいため動力も大きくなり設備費が高価となる。

そこで考えられるのが小型翼を非定常撹拌、すなわちカオス混合する方法であろう。カオス混合とは単純な操作を何回も繰り返すことにより混合を飛躍的に促進させる操作のことであり、時間的ならびに空間的カオス混合とに分類される。時間的カオス混合の代表は時間周期的に撹拌速度や回転方向を変化させることであり、空間的カオス混合の代表は偏心や斜軸撹拌である。いずれの方法でも混合時間を極めて短くすることができ、さらには懸濁や乳化重合では製品粒子の粒径分布を狭くすることができる。近年は時間的、そして空間的カオス混合を組み合わせた時の混合特性も検討されはじめている。

また、分散についての研究はあまり行われていない。電子デバイスの薄型化や高速化に伴い、高粘度液中へナノあるいはサブミクロンサイズの固体粒子を高濃度で分散させる操作が重要となっている。一般に粒子径が小さい程、強固な凝集体を形成する。この場合、ディスパ（エッジドタービン）翼が極めて有効な働きをする。ディスパ翼についての研究は少なく、細部の最適形状は明らかにされていない。また、この翼が持つ機能を他の翼に持たせることも可能と考えている。今後研究を進めるべき分野であろう。

最後に、実工業で問題となる凝集を対象とした研究について触れる。乳化重合における凝集量を予測できる方法が提案されている。予備実験として均一なせん断を与えることのできる同心2重円筒内で重合を行い、凝集量とせん断速度の関係を把握する。次いで実操作で用いる重合槽の流速分布をシミュレーションし、槽内の流体要素が経路線にしたがって流動している間に受けるせん断速度と、その場に滞留している時間を求める。この二つの情報から凝集量を推算して、実際の凝集量と良好に一致することが明らかにされている。

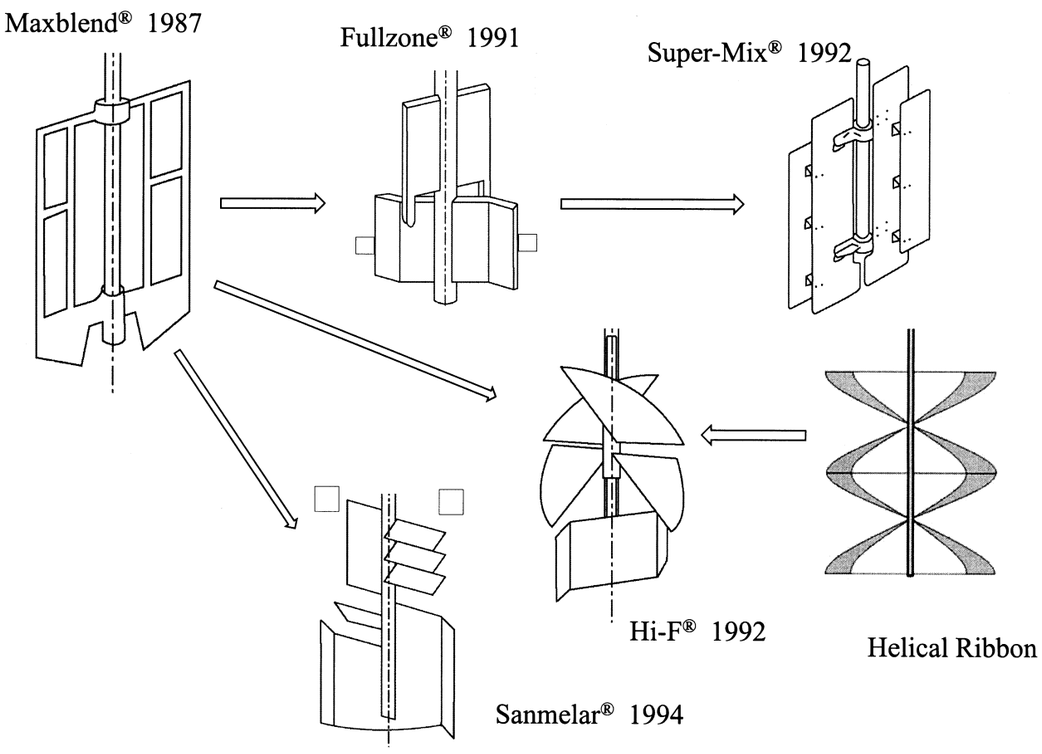

図1　大型翼の系譜

有力企業の製品＆技術（順不同）

横田製作所

横田製作所の脱泡・脱気装置は、液体混合時などに発生する無駄な泡や溶存気体を瞬時に取り除く。装置自体に自吸・加圧機能を備え、吸い上げから撹拌、脱泡・脱気までの工程を1台で実現。羽根車を高速回転させ液体を薄膜状にし効率よく脱泡・脱気する。液の均一化や粒子化といった二重の効果もある。

同装置は化学薬品を使用せず機械的に処理するため安心・安全な食の生産体制に寄与する。コンパクトで既設のラインにも組み込みやすくメンテナンスも容易。同社の独自技術を採用し国内外で特許を取得している。

日善エンジニアリング

日善エンジニアリングは顧客ニーズに合致したイージーオーダー対応で性能向上を実現する。同社のナックルフィン翼は板金プレス工法により、汎用翼など2次元翼と比較し3次元に近い多彩な形状に製造できるのが強み。長年高難易度の撹拌に取り組むなかで、吐出力とせん断力の配分比に重点を置いて改良し、細やかな最適化が可能になった。高粘度液・高比重液・粉体など、さまざまな被撹拌物の物性や目的に対応できる。

同翼の特徴を生かした性能向上法の詳細は同社ホームページで。

光陽産業

光陽産業の撹拌機「エア・ミキサー」は豊富なラインアップから使用環境に最適な機種を選択できる。小型機は軽量で扱いやすく、中型機は使いやすさと高出力を兼ね備えた万能タイプ。大型機は撹拌力に特化したスペシャルマシンで高粘度や大容量の液体でも短時間で効率よく撹拌できる。

全機種エア駆動の採用で引火性のある液体の撹拌にも対応。プロペラの材質はアルミニウムとステンレス。液体に応じタービン型やパドル型など羽根の形状を選択し効率の良い撹拌を実現する。

共立精機

共立精機が開発した自転公転式の撹拌脱泡機「ハイマージャ」が好調に販売台数を増やしている。材料を撹拌容器に入れ、自転・公転させることで容器内に対流が発生し短時間で撹拌・脱泡を行う装置で、撹拌翼を使用しないため材料にダメージを与えない。

レンズ加工機や測定機で培った技術やノウハウを投入し、高速回転でも耐久性に優れた構造となっており、好評を得ている。今後は、接着剤や化粧品など理化学関連、航空機、工作機械関連業界だけでなく、新しい分野にも積極的に展開していく。

大穂工業

大穂工業の高効率撹拌翼「ファイン・キャンペーン・ミキサー」は、ファインケミカルで行われる反応・蒸留・固体撹拌・晶析・ガス吸収などの操作を、回転数を変えることにより、単一で行える。あらゆる粘度に対応し、粒子の分散性（撹拌性能）に優れているため、均一混合が可能。また、従来よりも短時間で混合できるため、処理に費やされる時間と電力も削減できる。

回転数制御により、粒子径のコントロールが容易にできることや、翼が平面であるため清掃性に優れていることも特徴の一つだ。

エア・ミキサー
AIR MIXER
耐薬品性アップ
低騒音
高出力
高性能
安全
安価
爆発・引火の心配なし。
●防爆用軽量エアミキサー MO5-1800BN
●高粘度液体にも耐久性抜群 カタログ贈呈
光陽産業株式会社
http://www.koyo-sangyou.jp
〒578-0955 東大阪市横枕南4-29 TEL.072-963-0017(代) FAX.072-964-2264

ナックルフィンミキサー
イージーオーダー撹拌機で性能アップしませんか？
製品詳細についてはHPをご覧下さい
日善エンジニアリング㈱ 兵庫県加古郡稲美町加古1004−19 TEL 079-492-6611 FAX 079-492-5501
http://www.nichizen.co.jp/

瞬時に脱泡・脱気！
泡の問題、ポンプで解決！
高粘性液、溶剤にも対応
泡取りに時間がかかるな～
泡が多くて使えないな～
泡が多くて塗工欠陥が多いな～
before
ヨコタなら
after
再利用できるからコスト削減！
塗工欠陥が減って品質向上！
連続脱泡処理により生産効率アップ！
脱泡・脱気ポンプ ASP型
株式会社 横田製作所
本社・工場　〒730-0826　広島市中区南吉島1-3-6
脱泡・脱気システムチーム
TEL082（241）7234　FAX 082（504）1115
Email:yokota@aquadevice.com
ヨコタ　脱泡　検索

高効率撹拌翼
化学機械に F FINE C CAMPAIGN M MIXER
◎あらゆる粘度に対応。　◎消費電力の低減が可能。
◎均一混合が可能。　◎翼の清掃性に優れる。
◎混合時間の短縮が可能。◎反応、蒸留、固体撹拌、晶析、ガス吸収etc.
厚生労働省 第一種圧力容器製造許可工場
OHO HAMAMATSU SINCE 1926
おおほ 株式会社 大穂工業
〒430-0911
静岡県浜松市中区新津町443番地
TEL (053)461-2736
FAX (053)465-2210
お問い合わせは、専務の山田まで
E-mail:ohokogyo@jade.dti.ne.jp
http://www.ohokogyo.com

自転公転式撹拌脱泡機
Hi-Merger ハイマージャ
“美”混ぜマシン
美しく混ぜて　泡を除去
KSC 共立精機株式会社
本社／工場　栃木県宇都宮市茂原1-2-19　〒321-0145
☎ 028(654)1221　FAX 028(654)1220
http://www.kyoritsu-seiki.co.jp