

グラスライニング製新型攪拌翼『ツインスター』

(特許, 商標登録出願中)

New Model of Glasslined Impeller "TWINSTIR"

(Patent and Trademark Applications Pending)



(化)技術部 GLグループ
中 村 隆 彦
Takahiko Nakamura
徳 岡 洋 由
Hiroyuki Tokuoka

近年, 医薬品・ファインケミカル分野では, 多品種少量生産での攪拌性能の向上, 洗浄性の向上などが望まれている。これらの要求に応えるべく従来のオーバル三枚後退翼に代わる新型攪拌翼『ツインスター』を開発した。形状は後退した二枚板翼を採用している。混合性能はオーバル三枚後退翼の1.4~2倍であり, 3%の少液量においても攪拌可能である。

More agitation performance and improved cleanability are recently required to multi-purpose chemical reactors for multi-grade products in pharmaceutical and fine-chemical markets. A new model of glasslined impeller "TWINSTIR" has been developed to replace the conventional model, i.e. the three retreat blade impeller made of round pipes. TWINSTIR is made of flat plate and formed into two retreat blades. TWINSTIR has 1.4-2 times higher mixing performance than conventional impeller and can agitate the content at a small volume such as 3%.

Key Words

グラスライニング製攪拌翼
少 量 液 攪 拌
洗 浄 性

Glasslined mixing impeller
Small volume agitation
Cleanability

まえがき

グラスライニング(以下GLと呼ぶ)製反応機の攪拌翼としては, オーバル三枚後退翼, タービン翼, フルゾーン翼などがある。このうちフルゾーン翼はその優れた攪拌性能から, 中高粘度液の高負荷攪拌, 水素添加, 酸化反応などの表面ガス吸収攪拌, また, 晶析などの用途でプロセス改善ならびに効率化に貢献している。

一方, 低中粘度液攪拌では従来からオーバル三枚後退翼が使用されており, GL施行の容易さ, 低コストなどを理由にGL製攪拌翼全体の約60%以上を占めている。

近年この低中粘度液攪拌においてもユーザーニーズ

は次のように多様かつ高度化してきており, 従来のオーバル三枚後退翼ではこれらニーズを満足することが困難となってきた。

- ・多品種少量生産への移行により一つの反応機で少液量から通常液量(呼称容量)まですべての液量において効率良い攪拌が可能
- ・高サニタリー性, コンタミレスを保つため攪拌翼形状はシンプルで洗浄が容易
- ・コンタミ発生の原因となる分割部が少ない密閉型(クローズドタイプ)の攪拌槽に取り付けが可能

当社はこのたび, 上記ユーザーニーズを満足するGL製新型攪拌翼『ツインスター』を開発し, 販売

を開始した。

本稿ではこの『ツインスター』の特長を紹介する。

1. ツインスターの形状

ツインスターを装備した攪拌槽を第1図に示す。ツインスターは二枚板翼であり、翼先端を一部折り曲げ後退させた非常にシンプルな形状である。また攪拌翼下面を攪拌槽底面（鏡部内面）に沿うような形状としており、攪拌翼位置（高さ）が従来のオーバル三枚後退翼よりも低い位置となっている。

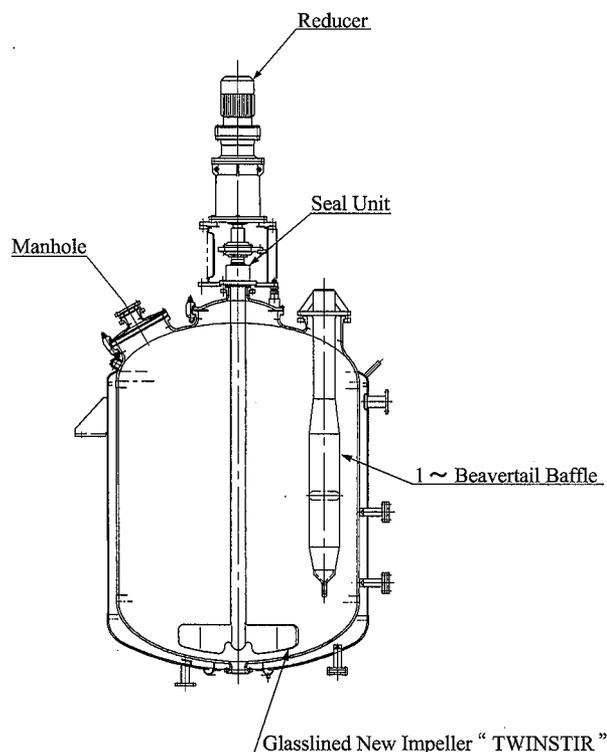
この形状は攪拌混合実験によって性能確認を行い最適化した結果として得られた。

1.1 基本形状

攪拌翼について次の目標を設定し、その基本形状を検討した。

- ・攪拌混合性能の向上
 - オーバル三枚後退翼以上の混合性能
- ・少流量での混合性能の向上
- ・洗浄性が良好
- ・密閉型の攪拌槽に取り付けが可能
 - 本体胴フランジがなくセンターマンホール（以下CMHと呼ぶ）からの挿入が可能
- ・製作が容易

一般に攪拌翼はオーバル翼であるよりも板翼であるほうが吐出循環流が増加し、攪拌混合性能が向上



第1図 ツインスターを装備した攪拌槽
Fig. 1 TWINSTIR set into a vessel

することが知られているが、GL 施行の容易さより従来からオーバル翼が採用されてきた。しかし、近年のGL 施行技術の向上により板へのGL 施行の安定化が図られたため新型攪拌翼には板翼を採用した

またオーバル翼の場合その構成がパイプであるため攪拌軸への取り付け位置に制限を受け、攪拌槽底面に攪拌翼を近接させる事ができず攪拌槽底面と攪拌翼との間隔が大きくならざるを得なかった。これは少流量の場合において内容液に攪拌翼が接触する面積が少なくなり十分な混合性能を得ることが難しくなることを意味する。しかし、板翼を採用したことにより攪拌槽底面に沿うような形状に容易に加えられるため少流量への対応性が向上すると考えた。

洗浄性および製作性についても考慮し、パドル翼を基本形状に選び、攪拌翼枚数は二枚とした。また吐出力の強化、粘度対応性と動力効率の向上を図るため後退翼を採用した。

さらに、CMH から挿入可能な範囲で攪拌翼スパンと翼高さを変え、混合上最適な形状寸法を決定した。

1.2 検討手法

混合性能を評価するために混合実験を行った。実験はヨード澱粉の呈色をチオ硫酸ナトリウムで還元脱色する脱色法を利用し、攪拌動力を同一にして混合時間を測定し比較した。ヨード溶液およびチオ硫酸ナトリウム溶液は内容液と同じ粘度に調整したものをを用い、混合時間は脱色過程の連続写真から決定した。本実験はφ400 mm のアクリル製可視円筒槽一本のビーバーテイルバッフルを使用し、内容液粘度は0.5 Pa·s, 0.001 Pa·s, 液深は $H/D = 1.25$ の条件にて行った。さらに少流量時の混合性能を評価するため $H/D = 0.32$, 0.2 の条件にも行った。なお、ここで採用した $H/D = 0.32$ は $H/D = 1.25$ の20% 液量、 $H/D = 0.2$ は10% 液量に相当する。

1.3 形状寸法の最適化の検討

CMH から攪拌翼を挿入する際、CMH 径より攪拌翼スパンが小さい場合は攪拌翼高さに制約を受けることなく攪拌槽内への挿入が可能である。しかしCMH 径よりも攪拌翼スパンが大きい場合は片方の翼をある程度挿入した後、微調整しながらもう一方の翼を挿入することになり、攪拌翼高さは制約を受けることになる。すなわちCMH からの挿入可能な範囲内では、攪拌翼挿入方法より攪拌翼スパンを可能な限り大きくすれば攪拌翼高さは必然的に低くせざるを得ず、逆に攪拌翼高さを高くすれば攪拌翼スパンは小さくせざるを得ない。

ここでは上記制約を考慮し攪拌翼スパンと翼高さが混合性能に及ぼす影響を評価した。

第1表に実験に使用した代表的な3種の攪拌翼での混合実験結果を示す。攪拌翼スパンと翼高さのバランスが不適切な場合、各液粘度および各液量で安定した混合性能が得られないことが判断できる。特に少液量となった場合においては形成された循環流のバランスが悪くなり混合不良部（デッドスペース）が発生し、完全混合には至らない。第1表以外の寸法の攪拌翼においても混合実験を行った結果、最も混合性能が安定している攪拌翼スパンはCMH径の1.5倍程度であり、攪拌翼高さは最少でも $b/d=0.25$ であることが好ましい。

2. ツインスターの攪拌特性

2.1 混合特性

ツインスターの混合性能を従来の汎用型攪拌翼であるオーバル三枚後退翼と比較した結果を写真1～8に示す。実験では $0.001 \sim 0.5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ の範囲で液粘度を変化させ H/D が 1.25, 0.32, 0.2 の条件にて脱色の速さを比較した。ツインスターでは全粘度域において混合不良部の発生がなく、しかもオーバル三枚後退翼に比べ混合速度が1.4～2倍程度大きい。特に

第1表 a) 翼スパンおよび翼高さの混合時間に及ぼす影響、 $\mu = 0.5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

Table 1 a) Effect of the d/D and b/d on mixing time ($\mu = 0.5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$)

		Impeller		
		$d/D=0.32$ $b/d=1.40$	$d/D=0.50$ $b/d=0.25$	$d/D=0.55$ $b/d=0.14$
H/D	1.25	80 sec	50 sec	50 sec
	0.32	30 sec	80 sec	80 sec
	0.20	over 300 sec	40 sec	over 300 sec

第1表 b) 翼スパンおよび翼高さの混合時間に及ぼす影響、 $\mu = 0.001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

Table 1 b) Effect of the d/D and b/d on mixing time ($\mu = 0.001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$)

		Impeller		
		$d/D=0.32$ $b/d=1.40$	$d/D=0.50$ $b/d=0.25$	$d/D=0.55$ $b/d=0.14$
H/D	1.25	10 sec	8 sec	12 sec
	0.32	8 sec	4 sec	12 sec
	0.20	7 sec	5 sec	7 sec

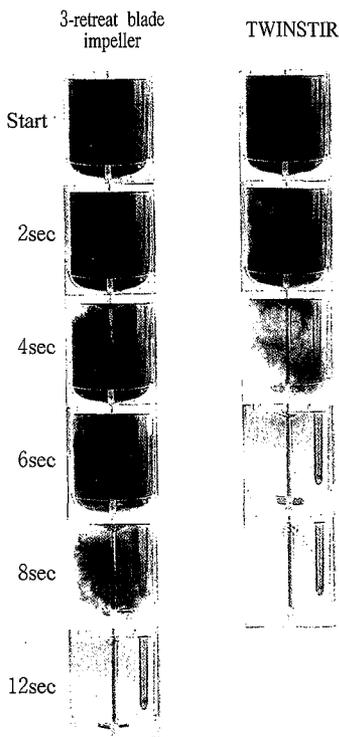


写真1 混合経過の比較
 $\mu = 0.001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
 $P_v = 0.1 \text{ kW/m}^3$
 $H/D = 1.25$

Photo 1 Comparison in mixing.

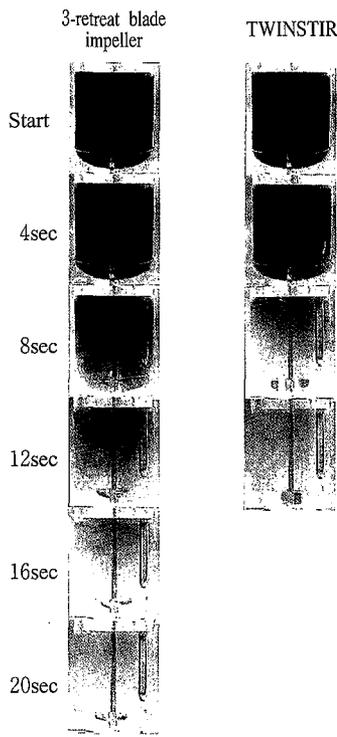


写真2 混合経過の比較
 $\mu = 0.032 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
 $P_v = 0.1 \text{ kW/m}^3$
 $H/D = 1.25$

Photo 2 Comparison in mixing.

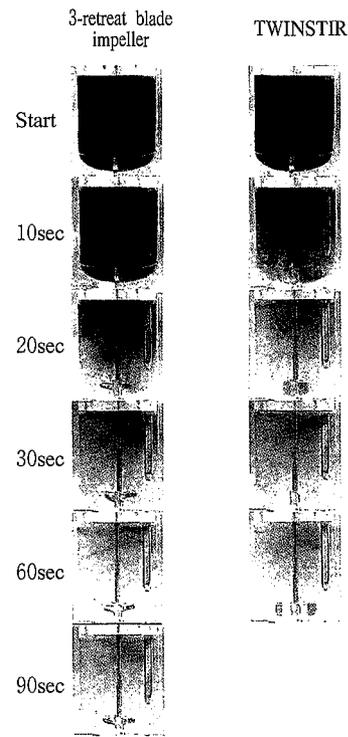


写真3 混合経過の比較
 $\mu = 0.12 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
 $P_v = 0.1 \text{ kW/m}^3$
 $H/D = 1.25$

Photo 3 Comparison in mixing.

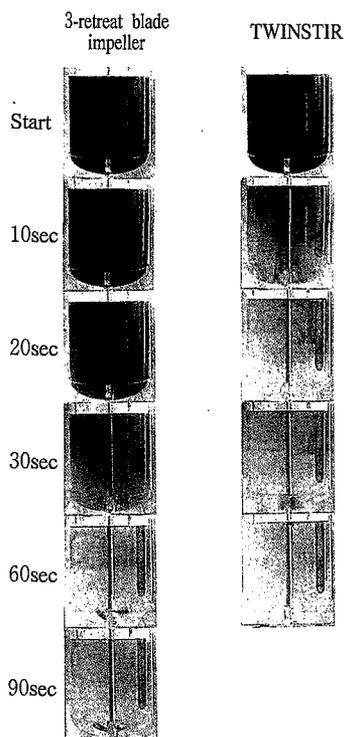


写真 4 混合経過の比較
 $\mu = 0.5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
 $P_v = 0.5 \text{ kW/m}^3$
 $H/D = 1.25$
 Photo 4 Comparison in mixing.

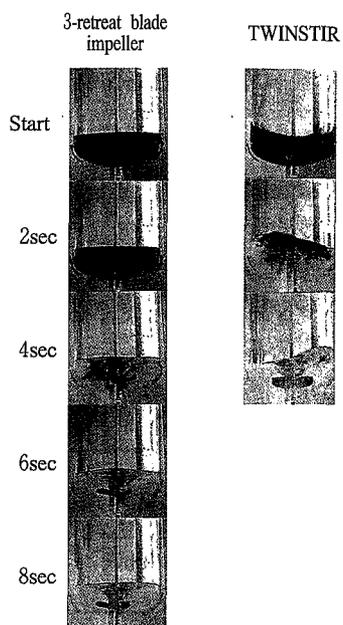


写真 5 混合経過の比較
 $\mu = 0.001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
 $P_v = 0.1 \text{ kW/m}^3$
 $H/D = 0.32$
 Photo 5 Comparison in mixing.

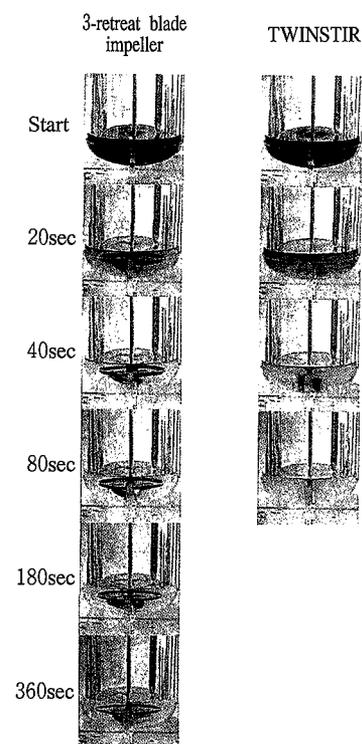


写真 6 混合経過の比較
 $\mu = 0.5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
 $P_v = 0.25 \text{ kW/m}^3$
 $H/D = 0.32$
 Photo 6 Comparison in mixing.

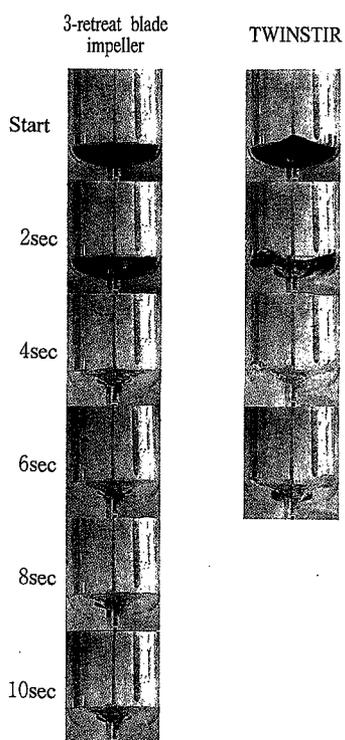


写真 7 混合経過の比較
 $\mu = 0.001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
 $P_v = 0.1 \text{ kW/m}^3$
 $H/D = 0.20$
 Photo 7 Comparison in mixing.

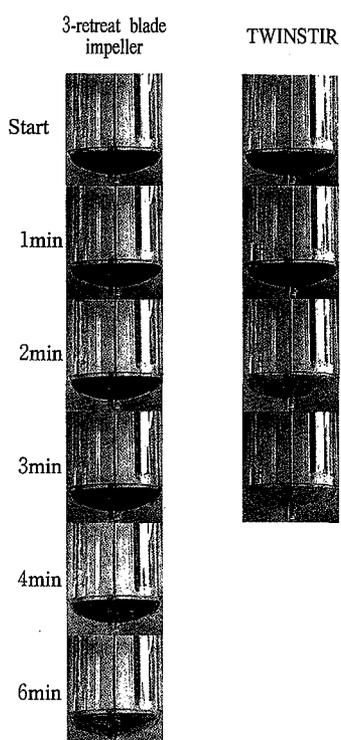


写真 8 混合経過の比較
 $\mu = 0.5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
 $P_v = 0.4 \text{ kW/m}^3$
 $H/D = 0.20$
 Photo 8 Comparison in mixing.

液深が低い少量でバッフルが液に浸からない状態、すなわちバッフル効果が得られない状態においてはオーバル三枚後退翼では混合不良部が発生し、6分の時点でも混合が完了していないが、ツインスターの場合、 $H/D=1.25$ の場合の混合時間から大きく逸脱することなく完全混合に達している。従来のオーバル三枚後退翼では対応することが困難であった少量液、具体的には攪拌槽容量の約3~20%程度の液量であってもツインスターは対応可能であり、液深変化に対して安定した混合性能を有する。

上記攪拌翼の混合時間を $n \cdot \theta m \cdot Re$ 線図で整理し、各種攪拌翼の線図¹⁾と比較して第2図に示す。ツインスターはフルゾーンのような大型パドル翼とオーバル三枚後退翼のほぼ中間位置となっている。中低粘度域 ($Re=300 \sim 10^5$ 以上) ではオーバル三枚後退翼よりも小さな $n \cdot \theta m$ であり、攪拌混合性能の向上が図られている。

2.2 異相系攪拌特性

2.2.1 固液系攪拌

固液系攪拌の特性評価のためイオン交換樹脂の懸濁実験を行った。粒子濃度をかさ体積で23%とし、ツインスターとオーバル三枚後退翼について攪拌速度を数段階に変化させて粒子の浮遊状態を観察比較した。液表面近傍での粒子濃度を動力に対してプロットした結果を第3図に示す。液面近傍での粒子濃度が仕込み濃度に近づけば均一な懸濁状態と見なせる。ツインスターではオーバル三枚後退翼の約50%の動力で粒子の均一浮遊が可能であり、固液攪拌においても攪拌性能の向上が図れる。

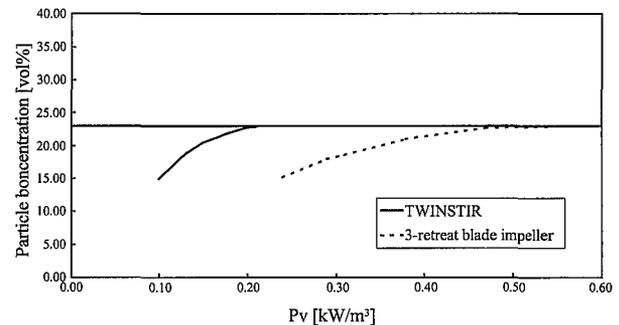
2.2.2 液液系攪拌

液液系攪拌の特性評価のためにも固液系攪拌と類似の実験を行った。20 vol%の白灯油(密度790 kg/m³)と水を攪拌槽に満たし、上記2種の攪拌翼について攪拌速度を数段階に変化させて液滴の分散状

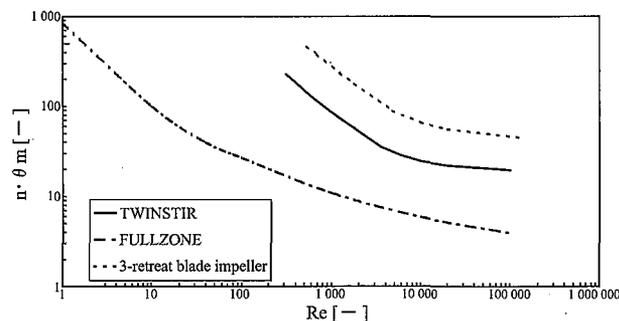
態を観察比較した。攪拌槽鏡部終端(T. L.)近傍での白灯油濃度を動力に対してプロットした結果を第4図に示す。攪拌槽鏡終端近傍での白灯油濃度が仕込み濃度に近づけば均一な分散状態と見なせる。ツインスターではオーバル三枚後退翼の約80%の動力で均一分散が可能であり、液液分散においても攪拌性能の向上が図れる。

3. 横荷重

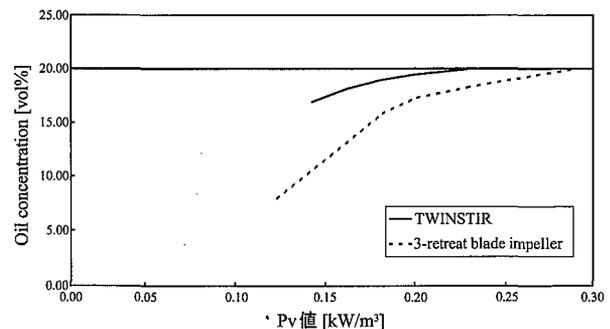
二枚翼および板翼にすることにより横荷重が増加し、オーバル三枚後退翼の攪拌軸サイズよりも大きくなることを懸念していたが、 $\phi 1600$ mmの攪拌テスト槽を用いて攪拌軸に作用する横荷重を測定²⁾したところ、液深変化した場合においても突出した横荷重が発生することがなく問題視すべき点がないことを確認した。Pv値が同一の条件であればオーバル三枚後退翼と同等の横荷重であり、軸サイズを大きくする必要はなくオーバル三枚後退翼と互換性がある。



第3図 粒子均一浮遊にいたる動力の比較
Fig. 3 Comparison of two impellers in power required for uniform solids suspension



第2図 $n \cdot \theta m \cdot Re$ 曲線の比較
Fig. 2 Comparison of $n \cdot \theta m \cdot Re$ curves for several impellers



第4図 液滴均一分散にいたる動力の比較
Fig. 4 Comparison of two impellers in power required for uniform dispersion of liquid droplets

4. ツインスターの形状、特長および適用分野

【形状】

- ・先端部を後退させた二枚板翼
- ・攪拌槽底設置で翼下面が槽底面に沿う

【特長】

- ・密閉型の攪拌槽への取り付けが可能（CMHからの挿入が可能）であり、サニタリー性が良い。また二枚翼であることからクライオロック化も可能である。
- ・オーバル三枚後退翼の1.4～2倍の混合性能を有する。
特に少液量攪拌の場合において、オーバル三枚後退翼以上の混合性能を有する。
- ・攪拌槽呼称容量の3%程度の液量から混合可能である。
- ・オーバル三枚後退翼の50～80%の動力で粒子の均一浮遊および液滴の分散が可能である。
- ・シンプルな形状であり、洗浄性が良好である。
- ・製作が容易で低コストである。
- ・オーバル三枚後退翼と軸サイズの互換性があり、攪拌翼の改造にも対応可能である。

【適用分野】

- ・液量変化を伴うプロセスや、多品種少量生産の攪拌槽
- ・コンタミレス、洗浄性が重要視される医薬・電子材料などのファインケミカル分野

むすび

本稿ではGL製新型攪拌翼『ツインスター』について、その開発過程および実験で確認した攪拌性能をいくつか紹介した。ここに紹介したツインスターの性能がユーザ各位の攪拌における問題改善の検討材料になれば幸いである。また、付属品であるマンホール、排出弁、各種センサー類についても開発・改良を行っており、機会を改めて報告する。

今後も高度なユーザニーズを的確にとらえ、GL製反応機の開発・改良を行い、ユーザ各位の製品品質の向上、生産性の向上に役立ちたいと考えている。

【記号説明】

H	：液深	[mm]
D	：攪拌槽径	[mm]
d	：攪拌翼スパン	[mm]
b	：攪拌翼高さ	[mm]
n	：攪拌翼回転数	[1/s]
θ_m	：混合時間	[s]
Re	：攪拌レイノルズ数 = $\rho n d^2 / \mu$	[-]
Pv	：単位容積当たりの攪拌動力	[kW/m ³]
ρ	：攪拌液密度	[kg/m ³]
μ	：攪拌液粘度	[Pa·s]

【参考文献】

- 1) 菊池雅彦ほか：神鋼パンテック技報 Vol.35, No.1 (1991), p.6
- 2) 戸崎康隆ほか：神鋼ファウドラニューズ Vol.10, No.4 (1966), p.1

連絡先

中村 隆彦 化工機事業部
技術部
GLグループ
TEL 0794-32-2513
FAX 0794-32-2578
E-mail th.nakamura@pantec.co.jp