

低粘度液攪拌のための新しい軸流翼「ウイングスター」

Axial Flow Impeller "WINGSTIR" Newly Developed for Mixing of Low Viscosity Liquid



(化) 技術部
岡 本 幸 道
Yukimichi Okamoto
(環) 設計部設計第1課
山 本 昌 史
Masafumi Yamamoto

低粘度液の混合に用いる攪拌機の小型化と省エネを目的とし、1995年11月、当社は新しい軸流攪拌翼ウイングスターを開発した。動力、回転数、トルクが同じ条件で比較すると、ウイングスターはプロペラの125%の流量を発生する。均相混合と固体粒子の懸濁実験において、ウイングスターは45度傾斜パドルが必要とするトルクを1/3に低減し、動力を1/5に低減できることが確かめられた。この攪拌翼は、また、小型翼からオーダーメイドの大型翼まで正確に同じ形状で経済的に製作できるという特長を合わせ持つ。これは、スケールアップにおいて軸流翼の特性維持に配慮したためである。ウイングスターの製作販売を目下、展開中である。

In November 1995, Shinko-Pantec had newly developed an axial flow impeller, WINGSTIR, to reduce impeller power and shaft size in mixing of low viscosity liquids. Under the condition of equal impeller power, equal speed and equal shaft torque, WINGSTIR's pumping flow rate is as much as 125% of a propeller's. When used in liquid blending and solid particle suspension, WINGSTIR was observed to save 4/5 of the impeller power that the pitched blade paddle impeller required, as well as to reduce its shaft torque to 1/3 of the pitched blade paddle impeller's. WINGSTIR also has a feature that it can be easily manufactured from a bench-scale impeller to a custom-made, commercial-scale impeller as keeping its shape precisely same, which is crucial to keep its flow characteristics in scale-up. WINGSTIR is available in the market.

Key Words:

軸 流 翼
低 粘 度 攪 拌
液 体 混 合
粒 子 懸 濁

Axial flow impeller
Low viscosity mixing
Liquid blending
Solid particle suspension.

ま え が き

1995年11月、当社は低粘度液攪拌のための新しい軸流攪拌翼ウイングスターを開発し、その販売を開始した。ウイングスター開発の狙いは攪拌機の小型化と省エネである。低粘度液の攪拌においてこの狙いを達成するには、小さなトルクと少ない動力で良好に攪拌出来る効率の良い攪拌翼が必要である。これを実現した新しい攪拌翼がウイングスターである。

低粘度液の混合や異相系分散等の操作を行う攪拌においては、攪拌軸の方向に液を吐出する軸流型の攪拌翼が比較的多く用いられる。その理由は、この種の翼が他の翼に比べ、小さなトルクと少ない動力でより多い吐出流量が得られ、攪拌機の設備費と運転費において経済的に有利である

と考えられるからである。

この種の翼として、一般には、傾斜パドルやプロペラが用いられる。傾斜パドルは最も簡単で安価に製作でき、あらゆる用途に用いられている。プロペラに比べ流量の割にトルクと動力が大きくなりがちで吐出効率は良くない。傾斜角度により軸流と放射流の中間的な流れになるといわれる。一方、船舶用プロペラに準じて製作された攪拌翼はより優れた効率を持つが、その製作コストがかさむ、容器に搬入するための大きな開口部を必要とする等、大型のオーダーメイドには採用しがたい欠点がある。これらの欠点を解消するため、各国の攪拌機メーカーが攪拌機用の各種軸流翼を考案し市場に提供してきた。しかしながら、トルクと動力が同じという条件の下でプロペラに匹敵する効率を

達成した翼は見受けられない。

そこで、当社は、プロペラと同等以上の効率を持ち大型翼の製作が容易な軸流翼の開発に注力し、プロペラの125%の流量に達する翼をウイングスターとして完成した。その形状を写真1に示す。ウイングスターは均相混合や固体粒子の懸濁攪拌において45度傾斜パドルが必要とするトルクを1/3に低減し、動力を1/5に低減出来る性能を持つことが実験で確かめられた。次にウイングスターの概要を紹介する。

1. 開発の考え方

既存の軸流翼の考案はほとんどの場合、翼理論あるいはプロペラ理論に基づいている。ところで、Winardiと長瀬の研究¹⁾によれば、船舶用プロペラを攪拌槽で用いた場合も、タービンや傾斜パドルの場合と同様に攪拌槽内の流れは不安定であり、翼近傍での吐出流ですら周方向の流速に2倍程度の揺らぎがある。また、乱れの強さも20~50%と大きい。翼への流入と流出が間欠的に変動する事実は、流れに対する迎え角を一定に保つ³⁾という船舶用プロペラの設計手法が攪拌翼に真の効果をもたらし得るかどうかの疑問を投げかけるだけでなく、翼理論を応用する各種の軸流翼の性能についても同様の見直しを迫る。なぜなら、翼理論が扱う流れは整った一様な流れであり、攪拌槽の流れとは大いに異なるからである。

実際、各国の特許公報に開示された既存の軸流翼を公報に忠実に試作し、等トルク等動力の条件の下で吐出流量をレーザードップラー流速計で測定し比較した結果を、第1図に示す。図中のプロペラは単に平板を一定のピッチ高さ

に合わせて捻った当社設計によるもので翼理論やプロペラ理論とは無関係の翼であるが、ウイングスターを除いてはいずれの軸流翼もこのプロペラに及ばない。また、単に平板を折り曲げただけの翼^{6, 7)}や傾斜パドルとの比較においても翼理論やプロペラ理論に基づいた翼^{2, 4, 5)}が劣るケースが少なくない。これらの事実は前述の疑念を強く支持する。

プロペラをはじめとする軸流翼の性能設計の要点は羽根板幅、傾斜角度、羽根板のそりを半径方向にどのように分布させれば最高の吐出効率が実現出来るかにある。最も確実な方法は、実際にこれらの諸元をかえて攪拌翼の吐出効率を測定し最適化することである。

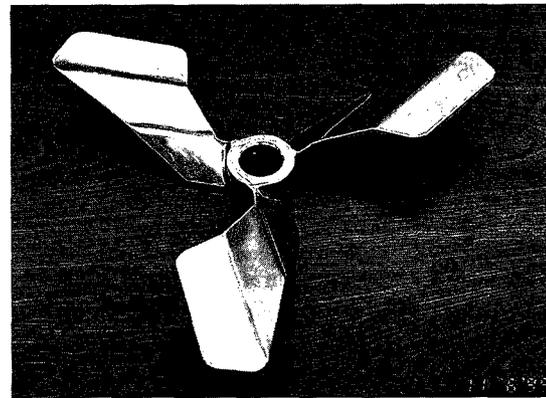
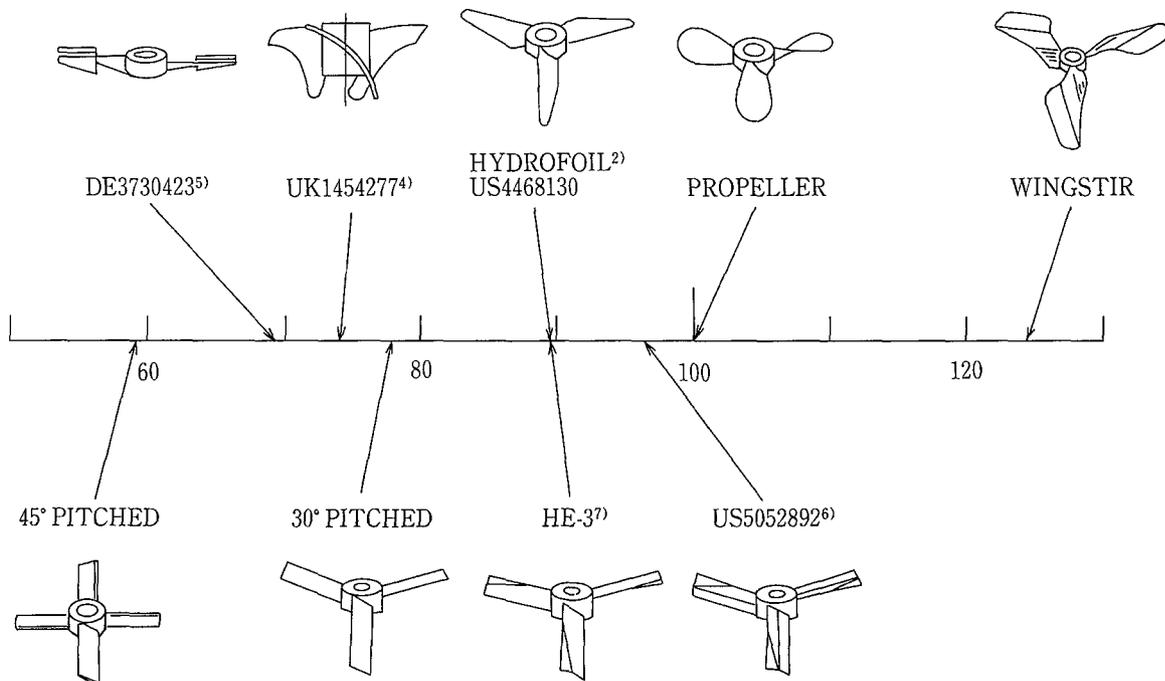
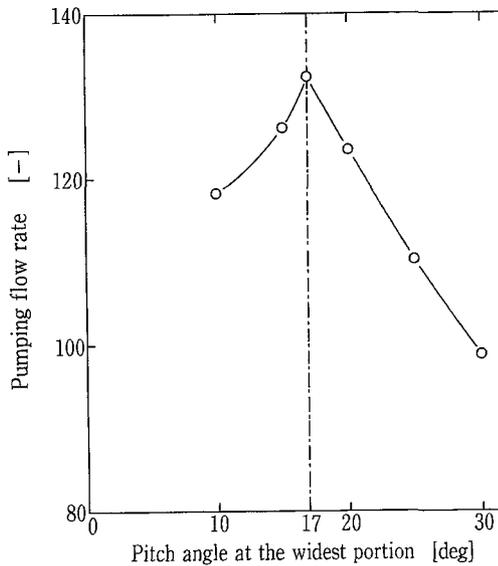


写真1 新しい軸流翼，ウイングスター
Photo. 1 New axial flow impeller, WINGSTIR

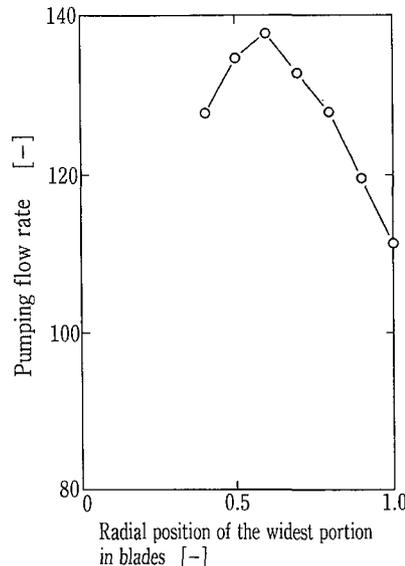


第1図 等トルク，等動力の下での吐出流量の比較

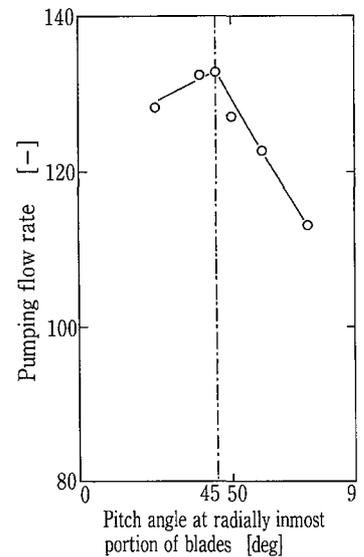
Fig. 1 Comparison of pumping flow rate under equal power and equal torque conditions



第2図 吐出流量と最大幅部での傾斜角度
Fig. 2 Pumping flow rate vs. pitch angle at the radial position where the blades become widest. (equal power and equal torque condition)



第3図 吐出流量と最大幅部の半径位置
Fig. 3 Pumping flow rate vs. radial position of the widest portion in blades. (equal power and equal torque condition)



第4図 吐出流量と羽根板付け根部での傾斜角度
Fig. 4 Pumping flow rate vs. pitch angle at radially inmost portion of blades (equal power and equal torque condition)

第1表 混合時間10秒の攪拌に要した動力とトルク
Table 1 Impeller power and torque at which the mixing time became 10sec. (ϕ 400mm tank containing 50Lt of water)

Impeller	Speed	Power	Torque
WINGSTIR	122 rpm	8.1 W/m ³	0.63 Nm/m ³
HYDROFOIL	150 rpm	15.5 W/m ³	0.99 Nm/m ³
45° PITCHED	192 rpm	37.1 W/m ³	1.84 Nm/m ³

2. 形状の選択と各寸法比の最適化

2.1 形状の選択

大型翼から小型翼まで正確に同じ形状と寸法比で経済的に製作出来ること、分解組立が容易な翼であることの2点を重視すると、平板の数カ所を折り曲げて羽根板を形成し、攪拌軸に羽根板を固定するためのボスと羽根板との取り合いが平面であることが望ましい。さらに、半径方向に羽根板の傾斜角度が変えられること、羽根板にそりと同等の機能が与えられること等を考慮して基本的な形状が選択された。

羽根板先端側を回転方向に先行させる前傾翼の形状を指向したことが、前述の条件を満たす形状の考案を容易にした。

2.2 各寸法比の最適化

羽根板各部の寸法としては、羽根板の最大幅、その最大幅部の半径位置と傾斜角度、羽根板先端部の幅と傾斜角度、羽根板付け根側の幅と傾斜角度を選んだ。これらの諸元を変え、攪拌翼のトルク、回転数、動力が等しい条件で吐出

流量を測定し比較した。

羽根板の最大幅に関しては翼径の1/3以下であれば吐出流量に大きな変化は見られなかった。羽根板の幅が最大になる半径位置とその位置での羽根板傾斜角度は吐出流量に大きな影響を与え最適値が存在する。第2図に最大幅部の傾斜角度と吐出流量の関係を、第3図に最大幅部の半径位置と吐出流量の関係を示す。半径位置60%において傾斜角度17度とするのが最適である。羽根板先端部の幅と傾斜角度については、いずれも最大幅部の半分程度が良い結果となった。第4図に示すように、羽根板付け根側の傾斜角度は40~45度が最適となる。また、付け根側の幅は最大幅の半分以上であれば良い。

このようにして決定された各寸法比を採用して製作された結果が写真1に示したウイングスターである。羽根板の形状が鳥の翼に似た攪拌翼ということからWINGとSTIRを合わせ命名された。その吐出流量を既存の軸流翼と比較した結果は、第1図に示した通り、プロペラの125%となり従来のいずれの翼よりも優れた効率を達成している。

3. 攪拌性能の比較

3.1 混合時間の比較

混合時間を同一にする攪拌条件をウイングスター、US Patent 4468130のハイドロfoil翼、45度傾斜パドルの3種について比較し第1表に示す。

内径400mmの亚克力製タンクに邪魔板を4枚取り付け、50Ltの水道水を張り込み、水をヨード澱粉で着色した後、所定量のチオ硫酸ソーダで脱色する混合実験を上記3種の翼について実施し、混合時間が10秒になる攪拌条件を求めた。ウイングスターは傾斜パドルの22%の動力、34%のトルクで同一の混合が可能であり、翼理論に基づくハイドロfoil翼の52%の動力、64%のトルクで同一の混合

が可能である。

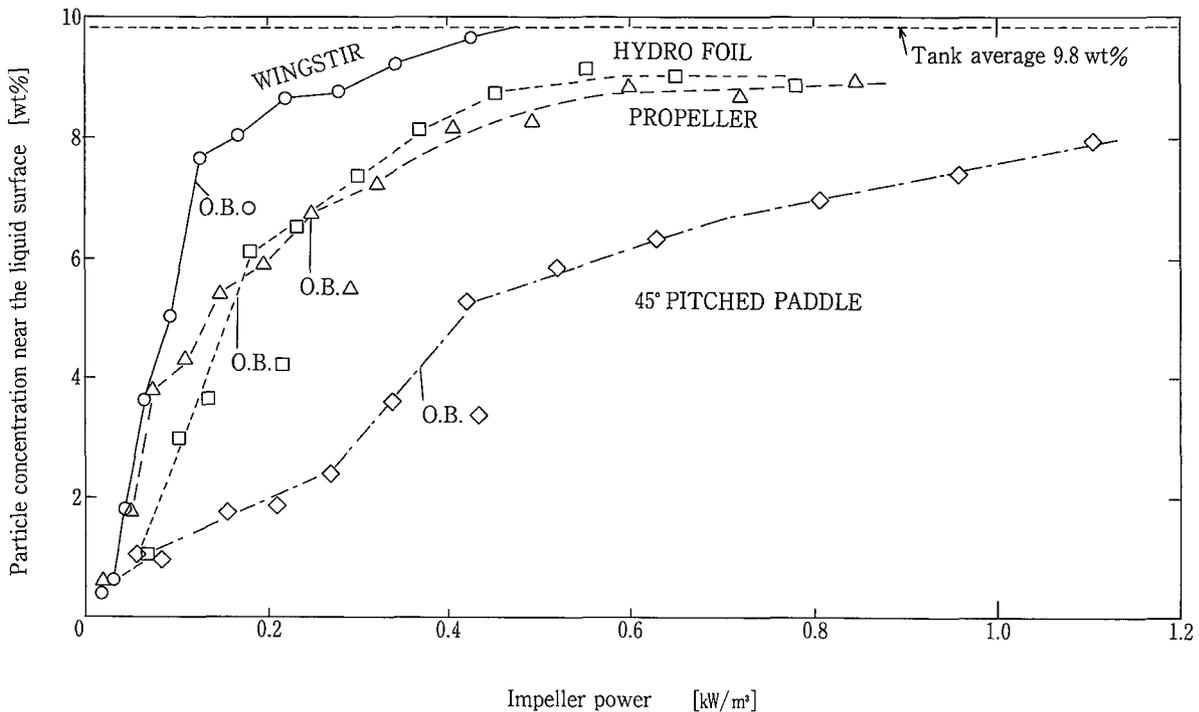
3.2 固体粒子の懸濁

前述と同じ装置を利用し径150ミクロンのガラスビーズを約5kg投入した。前述3種の翼にプロペラを加えた4種の翼のそれぞれについて、攪拌速度を変え攪拌動力と液表面近傍での粒子濃度の関係を調べた。結果を第5図に示す。液面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。ウイングスターでは約0.5 kW/m³の攪拌で均一な状態に至るが、他の翼ではその2倍以上の動力を与えても均一状態を達成できそうにない。今、液面での粒子濃度が仕込み濃度の70%の攪拌状態を達成するとして4種の翼の攪拌条件を比較すると、第2表のようになる。ここではウイングスターは傾斜パドルの16%の動力、28%の

第2表 粒子懸濁に要する攪拌動力とトルク

Table 2 Impeller power and torque required for suspending solid particles. (ϕ 400mm tank, 50Lt, 150 μ m glass beads 9.8wt%)

Impeller	Speed	Power	Torque
WINGSTIR	295 rpm	124 W/m ³	4.0 Nm/m ³
PROPELLER	375 rpm	288 W/m ³	7.3 Nm/m ³
HYDROFOIL	370 rpm	273 W/m ³	7.0 Nm/m ³
45° PITCHED	510 rpm	765 W/m ³	14.3 Nm/m ³



第5図 液面近傍の粒子濃度と攪拌動力の関係

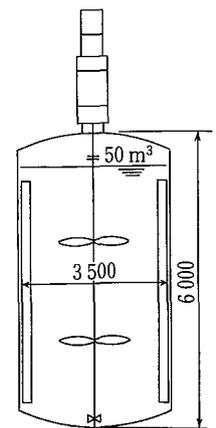
Fig. 5 Particle concentration near the liquid surface vs. impeller power (ϕ 400mm tank, 50Lt, 150 μ m glass beads 9.8wt%, O.B. shows the off-bottom condition of each impeller.)

第3表 50m³スラリー貯槽の攪拌機

Table 3 Agitators for a 50m³ slurry storage tank

Impeller	Dia.	Speed	Motor	Agitator cost	Electricity cost/year
45° PITCHED	1.2m	120rpm	55kW	5.3	2.5
PROPELLER	1.4m	112rpm	22kW	4.0	1.0*
WINGSTIR	1.5m	86rpm	11kW	3.0	0.5

*taken as unit of cost



トルクで同一の懸濁攪拌が可能であり、プロペラの43%の動力、55%のトルクで同一の懸濁攪拌が可能である。

4. 大型貯槽への適用試算

150ミクロンのガラスビーズと同等の沈降性を持つ粒子のスラリー貯槽を想定する。ほぼ均一な粒子濃度で次の工程に供給するには、少なくとも、第2表と同等の攪拌条件が必要である。貯槽の径を3.5 m、高さを6 m、容量を50 m³とし2段翼での攪拌を想定し、傾斜パドル、プロペラ、ウイングスターでの攪拌機コスト、モーター運転コストを試算し、第3表に示す。攪拌機の小型化による設備費の低減もさることながら、省エネ効果による運転費の削減の大きいことが理解出来る。ちなみに、攪拌機の償却期間を5年と設定すると、ウイングスターでの償却費と運転費の合計は傾斜パドルでの1/3、プロペラでの2/3になる。

むすび

攪拌機の設備コストは伝達トルクに依存するところが大きく、運転コストは動力に比例する。攪拌機の経済性を追求するにはトルクと動力の両方を制限する必要がある。このような観点から等トルク等動力の条件下で軸流翼の吐出

効率を評価し、この評価法において優れた軸流翼を開発し、さらには、その翼が混合や個体粒子の懸濁において実際にトルク及び動力の低減に有効であることを実験で確認した。

この攪拌翼は大型翼から小型翼まで正確に同じ形状で経済的に製作出来る。これは、スケールアップにおいて軸流翼の特性維持に配慮し、さらには、オーダーメイドの大型翼で自由に翼径を選択出来ることに配慮したためである。

これらの特長を生かし、今後、ウイングスターを大型貯槽の攪拌機の小型化と省エネに役立てて行きたい。

【参考文献】

- 1) Winardi & Nagase: J. Chem. Eng. Japan, Vol. 24, No. 2, 243 (1991)
- 2) Weetman: US Patent 4468130
- 3) Jonquieres: US Patent 4147437
- 4) Hjorth & Skanberg: UK Patent Specification 1454277
- 5) Forshner & Herbert: Deutsches Patentamt DE 3730423 A1
- 6) Fasano: US Patent 5052892
- 7) Chemineer Catalogue, HE-3 Impeller

連絡先

岡本 幸道 化工機事業部
(工学博士) 技術部
次長
TEL 0794 - 36 - 2512
FAX 0794 - 36 - 2578
E-mail y. okamoto@pantec. co. jp

山本 昌史 環境装置事業部
設計部
設計第1課
TEL 078 - 232 - 8117
FAX 078 - 232 - 8058
E-mail m. yamamoto@pantec. co. jp