

# マグネチックスターラーへのHB攪拌翼の応用

鈴木啓扶<sup>1</sup>・池田靖之<sup>2</sup>・古川陽輝<sup>1</sup>・加藤禎人<sup>1\*</sup>

1 名古屋工業大学 工学部 生命・応用化学科, 466-8555 名古屋市昭和区御器所町

2 (株)旭製作所, 864-0025 熊本県荒尾市高浜1978

キーワード: 混合, 攪拌, 新型翼, マグネチックスターラー

筆者らは流脈の可視化に基づき, 3S (Simple, Speedy, Stable) の性能を持つ新規な攪拌翼 (HB翼) を開発した (Kato *et al.*, 2015a, 2015b). 本報では, さらなるHB翼の実用化を目指し, マグネチックスターラーへの応用を試みた. 通常用いられる円柱状のスターラーチップと比較した結果, 種々の水溶液の混合に対し, 大幅な混合時間の短縮を得た.

## 緒 言

マグネチックスターラーは実験室規模の有機合成などのあらゆる化学実験において頻繁に使用されている. しかしながら, それに使用されるスターラーチップは円柱状またはラグビーボール状のものしかなく, 扱う液体が少量であるため, これまでまったくその操作は重要視されず, ほとんど工夫がなされていない状況であった. また, 低粘度流体に対して通常の攪拌槽では邪魔板を設置するなど槽に対しても工夫することが出来るが, このようなピーカースケールでは, 文字通り市販のピーカーをそのまま使用するケースがほとんどであり, 一部のバッフル付の三角フラスコを除いて, まったく工夫されてこなかった.

筆者らは前報 (Kato *et al.* 2015a, 2015b) において, 井上らの開発した流脈の可視化法 (Inoue *et al.* 2009a, 2009b, 2012) を用い, 流脈が槽底部から槽壁部を一気に液自由表面まで駆け上がる攪拌翼

を開発した. 現在上市されている大型翼より幾何形状が単純 (Simple) で, 迅速 (Speedy) な混合性能を持ち, 流脈が安定 (Stable) に攪拌槽内に広がる攪拌翼であり, その幾何形状は野球で使用するホームベースの形状に酷似しているため HB 翼と名付けた. その一般的な形状を **Figure 1** に示す.

そこで, 本報ではマグネチックスターラーのスターラーチップに HB 翼を応用することによりどの程度混合の迅速化に寄与するかを実験的に検討したのでここに報告する. HB 翼は層流の混合特性に優れており, 邪魔板無し乱流攪拌でも固体的回転部が生じにくい (Kato *et al.* 2015b) という小規模のピーカーに対して非常に優れた特性を有しているからである.

有機溶媒への溶質の溶解や中和反応など実験室規模の反応に対し, マグネチックスターラーの混合を迅速化することは操作時間の短縮だけでなく, 目的物質の収率向上にも大きく寄与すると考えられる. さらにはこのような小スケールの操作に対し, 実機を意識した工夫を凝らすことにより, スケールアップをし

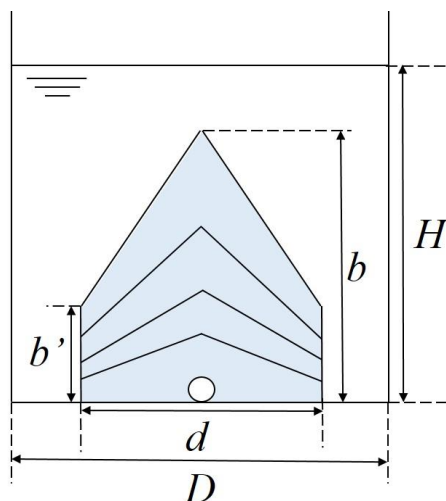


Fig.1 Schematic diagram of HB impeller

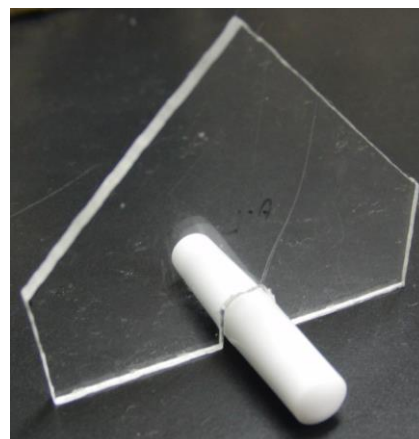


Fig.2 Example of stirring bar with HB type impeller

やすくなると考えられる。また、HB 翼は形状がシンプルなためテフロン加工もしやすく、洗浄も非常に容易であるとも考えられる。さらに、実用化された数ある大型翼の中でも HB 翼は液深の変化にも対応できる(Kato *et al.* 2015a)ので実験室の操作に対して応用範囲が広い翼である。

## 1. 実験装置および方法

本実験に用いた攪拌槽は市販の500mL ビーカー(内径 $D=85\text{mm}$ )とした。これ以下のサイズだと、観察がしにくく、種々のサイズのHB 翼の作成が困難であったからである。攪拌液には種々の粘度に調製したグリセリン水溶液を用いた。実験に使用したHB 翼を装着したスターラーチップの幾何形状の一例を **Figure 2** に示す。HB 翼はアクリル板で作成し、ビーカー内で自立するように市販の円柱状のスターラーチップ(直径8mm, 長さ40mm)に対し、直角にはめ込む方式とした。HB 翼の翼径 $d$ とビーカー径 $D$ の比 $d/D$ は過去の知見(Kato *et al.* 2015a)より黄金比0.618に近いサイズとした。この翼径を基本とし、翼高さ $b$ は **Table 1** に示すように種々のサイズを検討した。使用したマグネチックスターラーはADVANTEC 社のSRS316HA である。マグネチックスターラーの回転数はストロボ光を照射することにより測定した。

混合過程の可視化および混合時間は、ヨウ素でんぷん反応を用いて着色したものをヨウ素-チオ硫酸イオンの酸化還元反応を利用した脱色法で観察・測定した。チオ硫酸ナトリウムの水溶液は液自由表面から投入した。

粒子浮遊状態の観察には、固体粒子として陽イオン交換樹脂AMBERLITE IR-118を用いた。この粒子の平均粒子径は $0.75\text{mm}$ 、密度は $1.21 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ である。これをイオン交換水を入れたビーカーに1wt%投入し粒子の浮遊状況を観察した。

## 2. 実験結果と考察

### 2.1 混合状態の可視化

**Figure 3** に通常の円柱状のスターラーチップ、**Figures 4–7** に種々の幾何形状のHB 翼型スターラーチップで混合した様子を示す。この時の液の粘度は $80\text{mPa} \cdot \text{s}$ で、スターラーの回転数は100rpm (このときの攪拌レイノルズ数は、通常スターラーチップでは39, HB 型スターラーチップでは68 となる。)とした。通常スターラーチップでは300s 経過しても混合は完了していないが、HB 翼の場合は翼高さを高くするにつれて混合時間が短縮された。

Table 1 Geometry of HB type stirring bar

	$b$ [mm]	$b'$ [mm]	$d$ [mm]	$b/H$
A	17	8	53	0.2
B	26	10	53	0.3
C	43	17	53	0.5
D	68	28	53	0.8

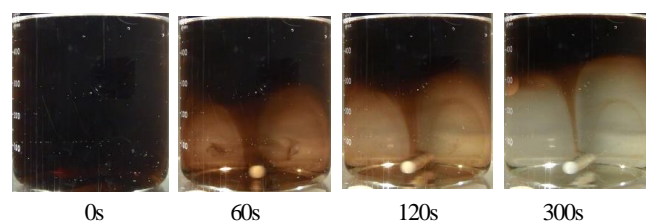


Fig.3 Mixing process of normal stirring bar at  $n=100\text{rpm}$

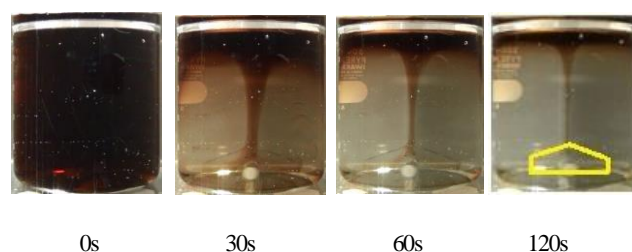


Fig.4 Mixing process of HB type stirring bar A at  $n=100\text{rpm}$

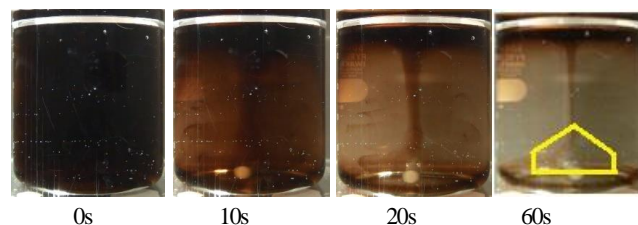


Fig.5 Mixing process of HB type stirring bar B at  $n=100\text{rpm}$

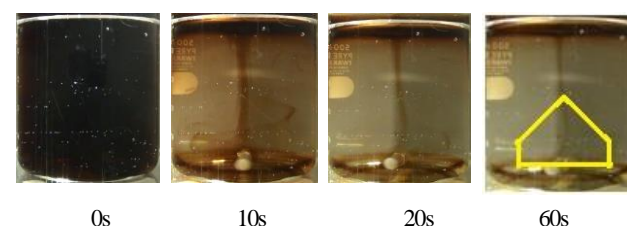


Fig.6 Mixing process of HB type stirring bar C at  $n=100\text{rpm}$

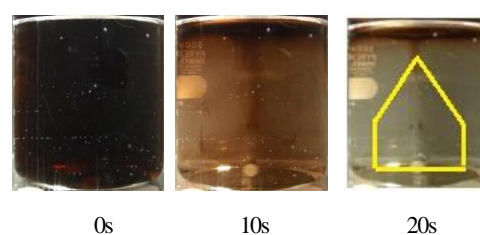


Fig.7 Mixing process of HB type stirring bar D at  $n=100\text{rpm}$

**Figures 8** と **9** にイオン交換水(乱流状態)の混合に対して通常の

円柱状のスターラーチップを用いたときとCタイプのHB型スターラーチップを200rpmで用いたときの混合状態を示す。通常スターラーチップでは固体的回転部が生じ、槽中心部の混合が遅れるが、HB型スターラーチップを用いると明らかに短い混合時間で完全混合状態を達成できることがわかる。マグネチックスターラーの攪拌なので直接所要動力は測定できないため、スターラーの寸法を用いて、相関式(Kato *et al.* 2015b)によりそれぞれの動力を計算した。その結果、スターラーチップは0.0032W、HB型スターラーは0.0108Wとなり、動力は3.4倍要しているが、混合時間は7/40=1/5.7倍となり、動力あたりの混合時間短縮効果も得られた。データは示していないが液深を浅く変化させた場合も良好な混合状態が得られた。

## 2.2 粒子浮遊状態

Figure 10に通常の円柱状スターラーチップを用いたときとCタイプのHB型スターラーチップを100rpmで用いたときの粒子浮遊状況を比較して示す。円柱状では槽底に粒子が沈降し、まったく浮遊していないが、HB型では完全浮遊状態を達成出来ている。Figure 11に示すように通常の場合は完全浮遊状態になるのに400rpmの回転数が必要だった。

以上の結果からHB型スターラーチップは非常に低回転で混合時間を短縮、粒子浮遊を改善できることがわかった。つまり、晶析操作や動物培養細胞など強剪断場を避けたい攪拌操作に対し非常に有効であることが示唆される。

## 結 論

ホームベース型の攪拌翼(HB翼)をマグネチックスターラーに適用することによりガラスビーカーの混合操作に対し、非常に有効であることが示された。これにより、実験室規模の攪拌混合操作に対しても改良の余地が十分あることが示され、有機合成などの収率アップに対し貢献できる可能性があることが示された。また、小スケールの実験からHB翼を使用することにより、パイロットから実機への幾何学的相似を保つスケールアップが可能となり、これまで以上にスケールアップの検討が容易になると考えられる。

### Nomenclature

$b$	= height of impeller blade	[m]
$D$	= vessel diameter	[m]
$d$	= impeller diameter	[m]

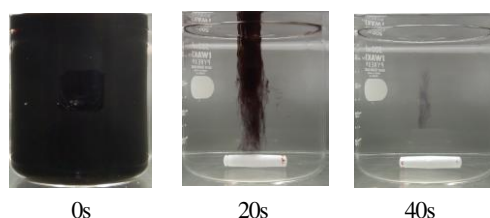


Fig.8 Mixing process of normal stirring bar at  $n=200\text{rpm}$

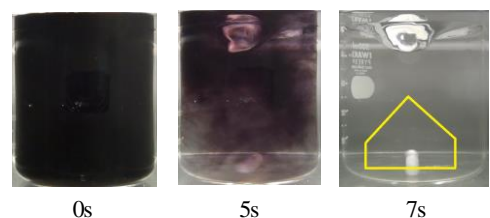


Fig.9 Mixing process of HB type stirring bar C at  $n=200\text{rpm}$

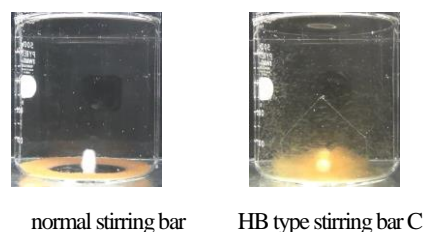


Fig.10 Particle dispersion at  $n=100\text{rpm}$

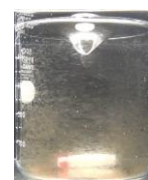


Fig.11 Particle dispersion of normal stirring bar at  $n=400\text{rpm}$

$H$	= liquid depth	[m]
$n$	= impeller rotational speed	$[\text{s}^{-1}]$
$Re$	= impeller Reynolds number ( $=nd^2\rho/\mu$ )	[-]
$\mu$	= liquid viscosity	$[\text{Pa} \cdot \text{s}]$
$\rho$	= liquid density	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$

### Literature Cited

- Inoue, Y., B.Okada and S.Hashimoto, "Simplified Model of 3D Velocity Field in a Stirred Tank," *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **35**, 201—210 (2009a)
- Inoue, Y., D.Takaoka, B.Okada, K.Natami, S.Hashimoto and Y. Hirata, "Analysis of Fluid Mixing in an Agitated Vessel Based on a Streakline," *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **35**, 265—273 (2009b)
- Inoue, Y., Y. Kato, R. Osaka, K. Natami, O. L. Onyanfo, M. Kawamata and S. Hashimoto " Enhancement of Fluid Mixing by

- Deformations of Streak Surface,” *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **38**, 41,16-20(2015a)  
191–202 (2012)
- Kato, Y., M. Hiramatsu, S. Ohtani, M. Yoshida and K. Shiobara; “Characteristics of Power Consumption and Mixing Time of New Large Paddle (HB Type) Impeller,” *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **41**, 276-280 (2015b)
- “Development of New Large Paddle (HB Type) Impeller Based on Streak Line Observation,” *Kagaku Kogaku Ronbunshu*,

## Application of a New Large Paddle (HB Type) Impeller to Magnetic Stirring

Keisuke SUZUKI<sup>1</sup>, Yasuyuki IKEDA<sup>2</sup>, Haruki FURUKAWA<sup>1</sup> and Yoshihito KATO<sup>1++</sup>

<sup>1</sup> *Department of Life and Materials Engineering, Nagoya Institute of Technology, Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya-shi, Aichi 466-8555, Japan*

<sup>2</sup> *Asahi Glassplant Inc., 1978 Takahama, Arao-shi, Kumamoto 864-0025, Japan*

*Keyword*: Mixing, Agitation, New Type Impeller, Magnetic Stirrer

A new home base (HB) type impeller with 3S performance (simple, speedy and stable) was developed based on the streak line visualization method (Kato *et al.*, 2015a, 2015b). The HB impeller was employed as a magnetic stirrer for practical use in experimental processes. The mixing time of the HB impeller for various aqueous solutions was found to be shorter than that of a normal cylindrical stirring bar.