

二次元非定常解析による攪拌槽流脈パターンの迅速評価手法

大矢康太・大谷祥太・鈴木啓扶・戎谷健司・内藤佑人・古川陽輝・加藤禎人[†]

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

キーワード: 攪拌, 混合, 流脈, 数値解析, 可視化

三次元定常流速分布を用いて数値解析的に迅速に層流攪拌槽の流脈パターンを得る簡易的な手法を開発した。その結果、非常に短時間で流脈パターンを得ることに成功した。層流攪拌槽内の一次流は旋回流であるが、混合の良否を決めるのは二次流である上下循環流であることに着目し、 r - θ - z の三次元定常速度成分から旋回流成分を解析から外し、 r - z - t の二次元非定常速度成分とみなした。その結果、得られた流脈パターンは定性的に実験で得られた流脈パターンとよく一致し、計算時間も大幅に短縮できた。また、この手法を市販のPIVソフトウェアを用いて検証した。簡単な実験によるビデオ画像から、三次元定常流れを二次元非定常流れとみなすことにより、攪拌レイノルズ数が低い領域の流脈パターンを簡易的に可視化した。この手法により日本の攪拌機メーカーが開発した大型翼を含めた攪拌翼の混合性能を迅速に評価できることを示した。

緒 言

この10年の間に井上らの提案した流脈線による混合評価の理論(Inoue *et al.* 1999)は飛躍的な発展を遂げ(Inoue *et al.* 2009a, 2009b), 各種の攪拌翼の混合性能を評価するために重要なツールになった(Inoue *et al.* 2012)。筆者らも、この手法を用いて各種大型翼の混合性能を評価し、これまであまり比較されてこなかった各社の大型翼の特徴を示した(Kato *et al.* 2015a, 2015c, 2015d)。また、Simpleな形状で、Speedyに混合可能で、液深が変動してもStableに混合可能なホームベース型の攪拌翼(HB翼)の開発に結びつけた(Kato *et al.* 2015b)。ただし、この流脈の可視化には攪拌翼に特殊な工作を施して実験しなければならないことと、多少の熟練を要するため、結果を得るまでに時間がかかるという難点があった。そこで、この手法は層流における解析であるため数値解析でも速度場の計算が容易と判断し、得られた速度場から流脈パターンを可視化することを試み、実験値と一致する結果を得た(Kato *et al.* 2015e)。しかし、これも流脈パターンの計算に対し、仮想粒子の配置方法に熟練を要することと、計算に多大な時間を要するため1日で結果を得ることは極めて困難であった。

そこで、筆者らは迅速に流脈パターンを得るために以下の手法を考えた。実験的にも数値解析的にも流脈パターンの評価には二次元断面が用いられている。そこで、始めから二次元断面で解析してはどうかと考えた。層流攪拌槽内の一次流は旋回流であるが、

混合の良否を決めるのは二次流である上下循環流であることに着目し、 r - θ - z の三次元定常速度成分から旋回流成分を解析から外し、 r - z - t の二次元非定常速度成分とみなす考え方を紹介する。

この考え方では、市販のPIVソフトウェアを用いて二次元流脈パターンを可視化することを試みた。この手法の考え方は数値解析と基本的に同じで、3次元の定常流れを、ある2次元断面での非定常な流れ場に置き換えて流脈パターンを計算する手法である。もともと流脈パターンで混合の良否を判断する手法は、この攪拌槽は何秒で混合が完了するといった定量的な判断に利用するものではなく、攪拌槽のどの部分に混合不良部が存在するかなど、定性的な判断に利用するものであると筆者らは認識している。すなわち、仮想的にどのような混合パターンが得られれば、迅速に混合可能な攪拌翼を設計できるかなどという発展的な技術開発にも利用可能である。また、攪拌槽内の混合パターンを解析する際の流脈パターン(速度分布)のモデルを提供できるとも考えられる。

この方法を用いれば、(1)数値解析的に：既存の市販CFDソフトウェアを用いて3次元の定常流速分布を得ることが出来れば、流脈を知るための膨大な仮想粒子位置情報を保存することなく、迅速に少量の粒子位置情報で流脈パターンを得ることが出来る。(2)実験的に：既存の実験設備でPIVの動画を撮影できる環境があれば1日足らずでその攪拌翼の流脈パターンを迅速に入手出来る、と考えられる。

1. 数値解析方法

計算領域が層流であることから、上ノ山らの手法(Kaminoyama *et al.* 1988)に基づき回転円筒座標系における連続の式と運動方程式(Navier-Stokes式)をSOLA法により解くことで三次元速度分布と圧力分布を定常解として求めた。対象とした翼の形状をFigure 1に示す。(マックスブレンド(MB):住友重機械プロセス機器(株),フルゾーン(FZ):(株)神鋼環境ソリューション,スーパーミックスMR205:佐竹化学機械工業(株),ホームベース翼(HB):筆者らが開発(Kato *et al.*, 2015b))攪拌翼の形状は後述する実験に合うように設定し翼径は $d/D=0.6$, 槽径150mm, 回転数は25rpmとした。粘度及び密度は攪拌レイノルズ数が100になるよう設定した。速度場のメッシュは半径方向 \times 円周方向 \times 高さ方向 $k=20 \times 40 \times 40$ ($H/D=1.0$), $20 \times 40 \times 52$ ($H/D=1.3$)に分割した。この2倍のメッシュ数も計算したが、結果に大きな差が無かったため計算時間の迅速化を優先しこのメッシュ数とした。

求めた三次元速度分布を基に、流脈を三次元定常ではなく二次元非定常の速度場と考えて計算する。そのモデルをFigure 2に示す。すなわち、三次元座標 $r-\theta-z$ の結果を $r-z-t^*$ とし、ある θ における $r-z$ 断面の流脈パターンを見るために θ 方向の変化を時間変化と置き換えた。時間変数 t^* は、空間位置とは関係なく、系全体の中で一様に進行する独立変数であるが、定常3次元流れを非定常二次元流れに変換するために新しく導入された疑似的な時間パラメータ t^* は、半径座標位置 r に依存してその進む速さが異なる時間変数である。すなわち、翼が θ 方向に単位格子幅 Δr だけ移動するのに要する時間を単位時間幅 Δt^* と定義することで、新しい時間変数 t^* を導入した。したがって、これは数値解析的には θ 方向のメッシュ分割幅に依存する時間変数となり、実験的には1秒間あたりの撮影コマ数に依存することとなる。これに関しては本実験範囲では大きな変化がなかった。仮想粒子を翼先端から連続的に放出し、Runge - Kutta法により粒子の位置を求め、二次元

流脈パターンを計算した。また、翼が θ 方向に座標一つ分移動するのに費やす時間を Δt と定義し、 Δt 毎の断面を可視化した。

2. 実験方法

PIV 解析に使用したソフトウェアはカトウ光研(株)の FLOW EXPERT 2D2C である。

本実験に用いた攪拌槽は内径 150mm のアクリル樹脂製平底円筒槽で、主に流脈が明確に可視化できる層流～遷移域(攪拌レイノルズ数で 20～300)の検討となるため、基本的に邪魔板無しとした。また、攪拌液は種々の粘度($0.01 \sim 0.05 \text{ Pa} \cdot \text{s}$)に調製した水飴水溶液を用いた。PIV 画像の撮影にはこの溶液に比重 1.02 平均粒径約 0.3mm のナイロン粒子を適量分散させた。槽内の流動状態が定常状態になったことを確認し、レーザースリット光を照射し、翼中央部の縦断面を可視化した。攪拌翼の回転数は流脈の観察のしやすさを重視し、経験的に 25rpm を標準とした。ソフトの検証に用いた攪拌翼はごく一般的な 2 枚羽根パドル翼(翼径 $d=75 \text{ mm}$, 翼幅 $b=14 \text{ mm}$)とし、翼取り付け位置を変更し、フローパターンの変化も観察できるかどうか検討した。

流脈パターンの観察実験には、パドル翼先端から着色液(ウラン水溶液)を染み出させるようにアクリル板で自作したものを使用した。基本的に流脈パターンは、トレーサーを攪拌槽のいずれの場所から流出させても最終的に同じパターンになるが、翼先端からトレーサーを流出される手法が最も簡単に流脈を可視化できるからである。

ナイロン粒子を分散させた水飴水溶液を用いて PIV に必要な動画を撮影し、前述したソフトウェアを用いて、速度場を得る。次にその速度場から流線および流脈線を計算させた。パドル翼の場合は流れ場が比較的単純なので、フレームレート(1 秒間の撮影コマ数)が 30 コマでも良好な結果が得られたが、攪拌レイノルズ数を上昇させた場合は流れが複雑になるので基本的にフレームレートを 60 コマに増加させて撮影した。

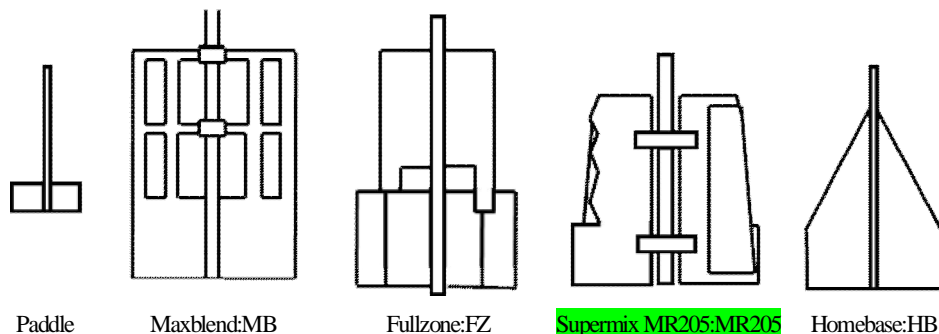


Fig. 1 Schematic diagram of two-blade paddle impellers

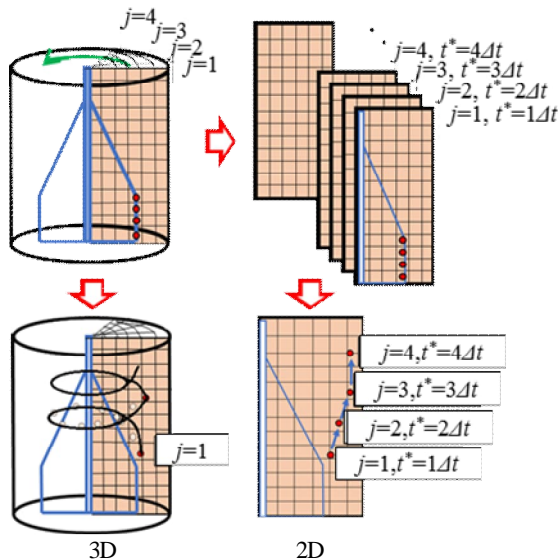


Fig. 2 Method of numerical analysis

3. 結果と考察

3.1 数値解析に基づく速度場と流脈パターン

Fig. 1 に示された翼を用いて十分に定常解として判断できる 50 回転した後の $j=1, 20, 40$ の速度場を Figures 3-7 に示す. またこの速度場を用いて導出した 3 次元定常流脈とその一断面を Figures 8 and 9 に示す. さらに今回の流脈導出手法による 2 次元非定常流脈を Figure 10 に示す. これらの流脈は後述の実験流脈と良好な一致を示した.

3.2 速度ベクトルと流線パターン

計算結果の妥当性を検証するために, まず, 2 枚羽根パドル翼を用いて実験した. Figure 11 に粘度 $0.042 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ の液をごく一般的な 2 枚羽根パドル翼により 25rpm で攪拌したときの翼が光切断面に対し垂直になったときと平行になったときの速度ベクトル場を示す. そして, その結果を用いて計算した流線の経時変化を Figure 12 に示す. 紙面 (検査面) に対して攪拌翼が垂直に位置したときの流線を $t=0$ とし, 翼が 1/4 回転したとき, すなわち翼が検査面を通過した瞬間の流線を $1/4T$ として示した. これを見ると翼が検査面を通過する瞬間, 渦が上下に広がり, その後また 2 つの渦が接近する様子が読み取れる. つまり, 2 つの渦が上下に振動していると考えられる.

3.3 流脈パターン

この結果から, 流脈パターンを検証した. Figure 13 に結果を示す. 上段がウラニンを用いた実験結果であり, 下段が PIV ソフトウェアを用いた擬似的な流脈の推算結果である. 両者は良い一

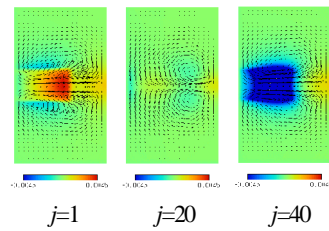


Fig. 3 Pressure-velocity field of paddle impeller

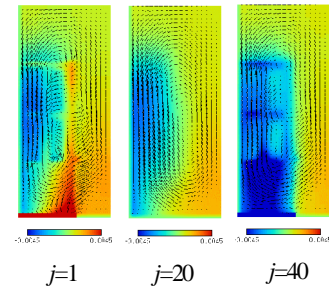


Fig. 4 Pressure-velocity field of MB

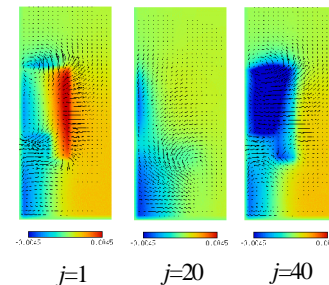


Fig. 5 Pressure-velocity field of FZ

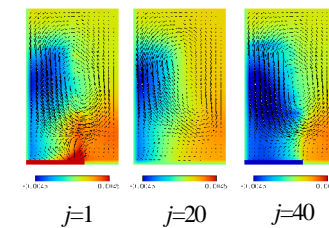


Fig. 6 Pressure-velocity field of MR205

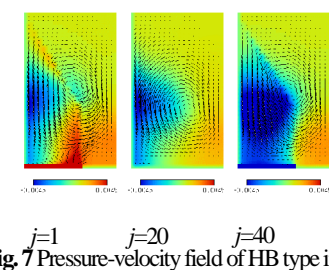


Fig. 7 Pressure-velocity field of HB type impeller

致を示していると考えられる.

3.4 翼取り付け位置に対する擬似的流脈パターンの変化

PIV ソフトウェアの妥当性が検証できたので翼取り付け位置を変更して本法を適用してみた. その結果を Figures 14 and 15 に示す. Fig. 14 は翼取り付け位置を槽底から液深さの 1/4 (ディスクのないパドル翼を用いた場合, 乱流域では翼を通過し, 軸流翼となる取り付け位置), Fig. 15 は槽底のごく近傍に設置した場合であ

る。いずれも擬似的な流脈が翼に戻る速度に若干遅れが観察されるが、翼の8回転後の流脈パターンは実験結果と良い一致を示し、本PIVを用いて攪拌翼の混合性能評価が可能であることが示された。

3.5 攪拌レイノルズ数や翼を変えたときの流脈の変化

Figure 16(a)には攪拌レイノルズ数を200にした場合、Fig.16(b)にはガラスライニング攪拌槽に一般的に用いられる3枚後退翼(槽底近傍に設置される代表的な翼)を $Re=100$ で用いた場合の流脈パターンを示す。翼形式を変更しても実験結果とよく一致したが、トレーリングボルテックス(ヘリカル流)が観察される攪拌レイノルズ数になると、PIVによる小さな渦の再現は困難なことが判明した。ただし、攪拌レイノルズ数が低い層流と見なせる領域では攪拌槽内の複雑な3次元の流れ(邪魔板無し条件)を、2次元化して検討可能になった点が特筆に値する。

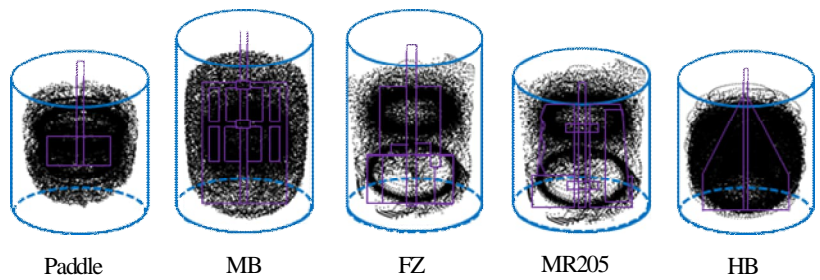


Fig. 8 Three dimensional streak line

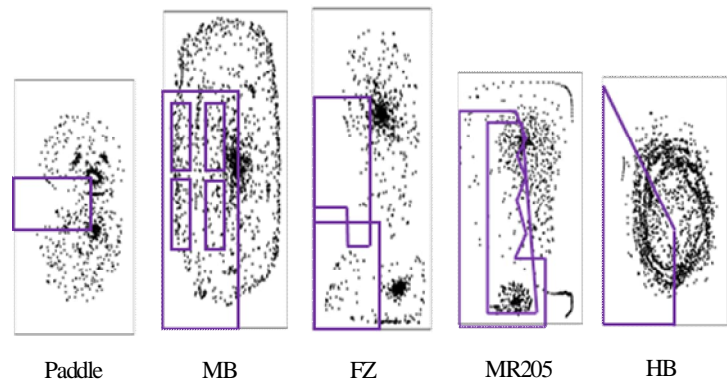


Fig. 9 Cross section of three dimensional streak line

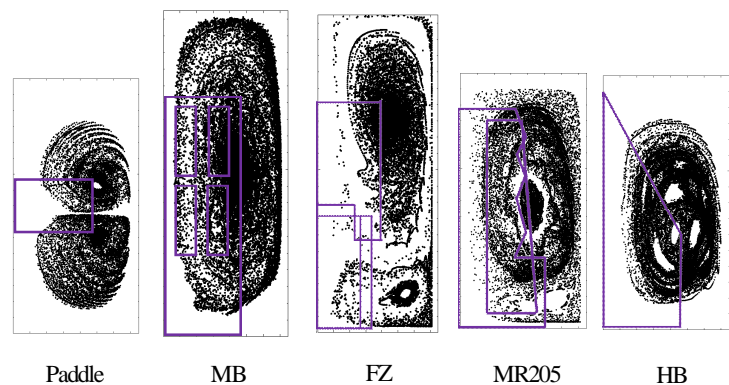


Fig. 10 Two dimensional streak line

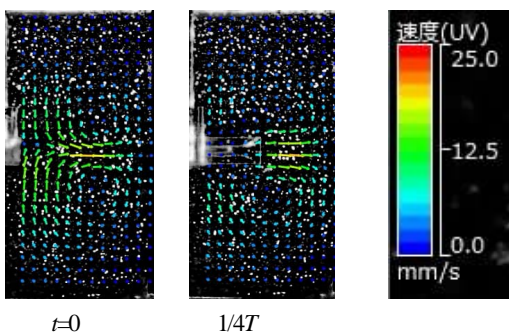


Fig. 11 Velocity vector of paddle impeller at $Re=70$

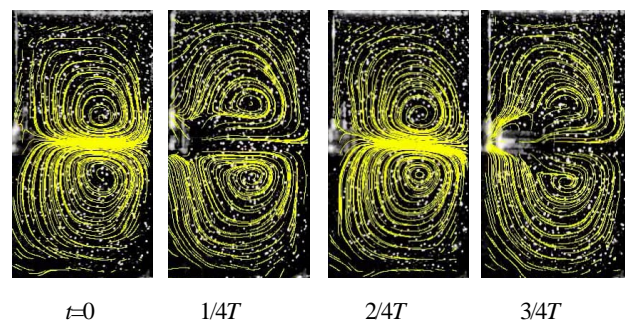


Fig. 12 Vibration of stream line of paddle impeller at $Re=70$

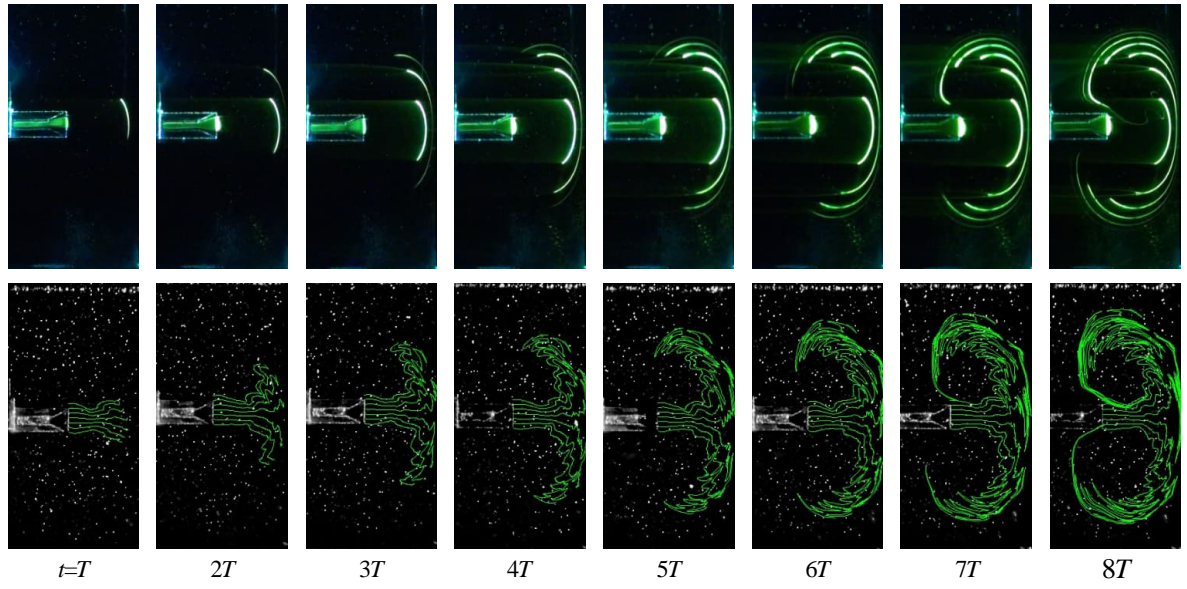


Fig. 13 Streak line of paddle impeller at $Re=70$, (upper stage: experimental, lower stage: simulation with PIV)

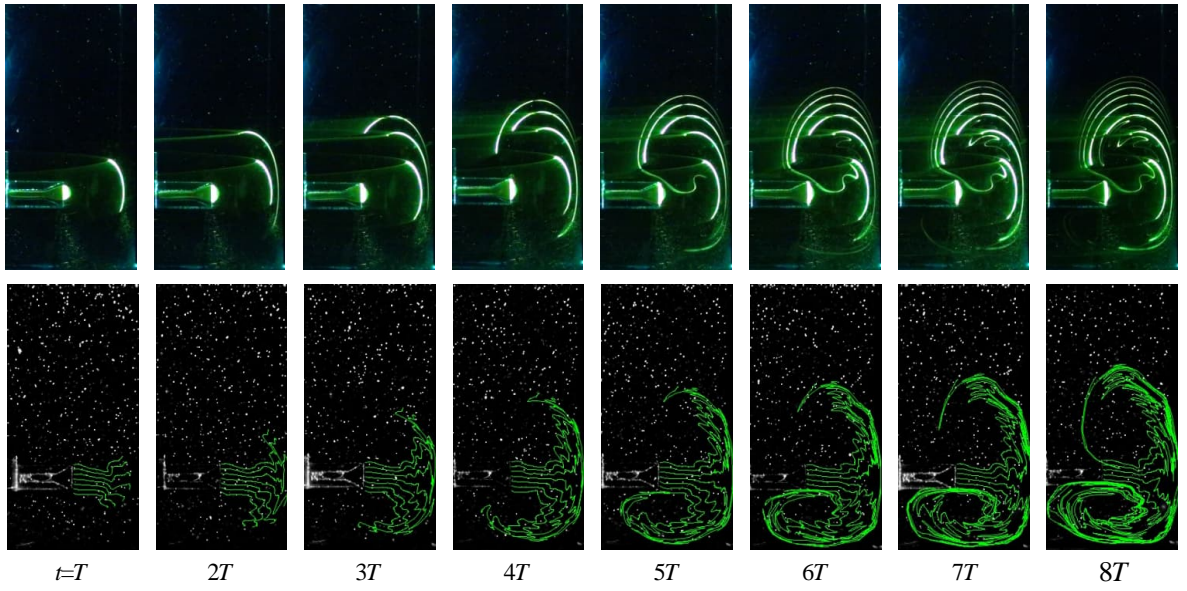


Fig. 14 Streak line of paddle impeller on $CH=0.25$ at $Re=70$, (upper stage: experimental, lower stage: simulation with PIV)

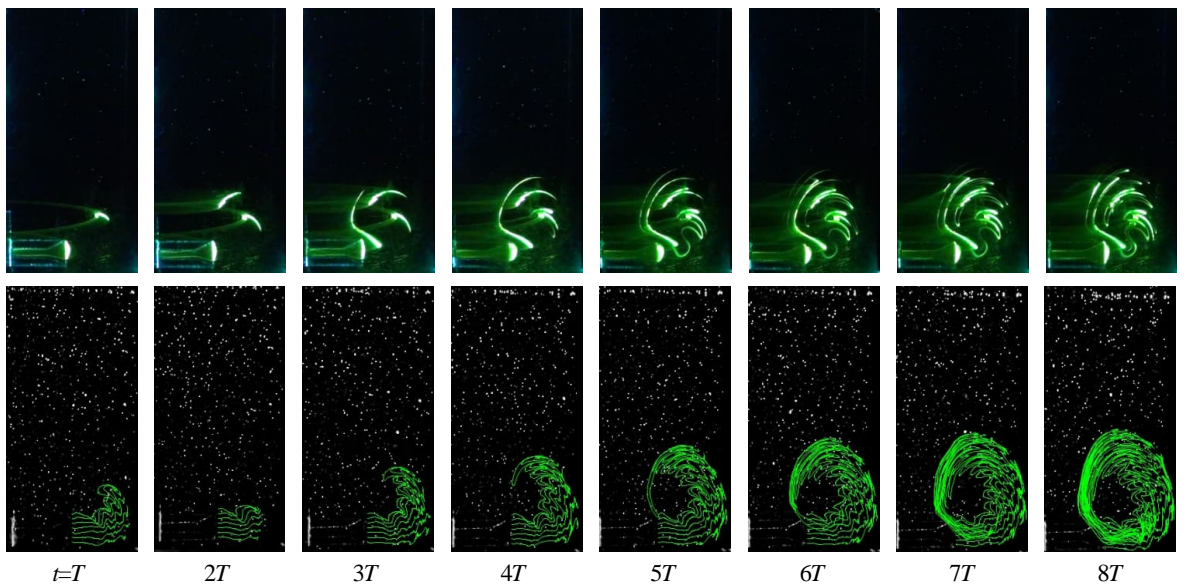
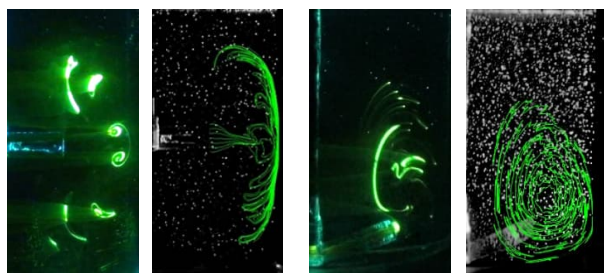


Fig. 15 Streak line of paddle impeller near the bottom at $Re=70$, (upper stage: experimental, lower stage: simulation with PIV)



(a) Paddle at $Re=200$ ($t=3.5T$) (b) Pfaudler at $Re=100$ ($t=8T$)

Fig. 16 Streak line of different experimental condition

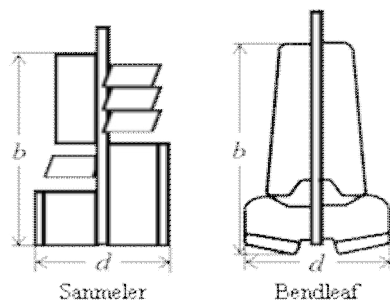


Fig. 17 Schematic diagram of other large impellers

3.6 大型翼への適用

次に大型翼への適用を試みた。攪拌翼として Fig.1 の大型翼ならびに Figure 17 に形状を、Table 1 に寸法を示したアクリル樹脂製の種々の大型 2 枚羽根パドル翼(マックスブレンド、フルゾーン、スーパーミックス MR205、サンメラー (SM) : 三菱重工業(株) (Kato *et al.*, 2015c)、ペンドリーフ (BL) : 八光産業(株) (Kato *et al.*, 2015d)、そして、HB 翼 : 筆者らが開発(Kato *et al.*, 2015b))を用いた。旋回流が主体の攪拌槽のトレーサーの軌道は、攪拌槽の垂直断面を観察するとすぐに検査面からはみ出してしまいうため、着目するトレーサー近傍に現れる別粒子の動きも利用して流速ベクトルを決定することになる。言い換えれば 3 次元的な攪拌槽内の定常流れを二次元的な軸対象の非定常流れとして見なすことになる。したがって、2 枚羽根パドル翼のようなごく単純な 1 枚板で構成される翼の場合はそれほど複雑な構造ではないため、とくに特別なノウハウは必要でない。つまり、実験手法と同じトレーサーの吐出位置から流脈を計算しても簡単に時系列に流脈パターンを可視化できた。しかし、大型攪拌翼はその形状が複雑であるばかりではなく、その翼が引き起こす流れも層流とはいえ複雑な流れになるため、時間が経過すると不連続な流れが発生してしまい、突然、現実には発生し得ない直線的な流脈パターンが現れてしまう。したがって、2 枚羽根パドル翼と同じ手法では、流脈パターンを見出すことは非常に困難であった。また、これらの大型翼の実機の適正な攪拌レイノルズ数は流動状態が完全な層流域といわれる

Table 1 Geometry of large paddle impellers

Impeller	d [cm]	b [cm]
Maxblend	8.9	13.9
Fullzone	9.1	15.0
Supermix MR205	9.9	11.0
Sanmuler	9.0	14.5
Bendleaf	9.9	16.7
HB type	9.2	14.5

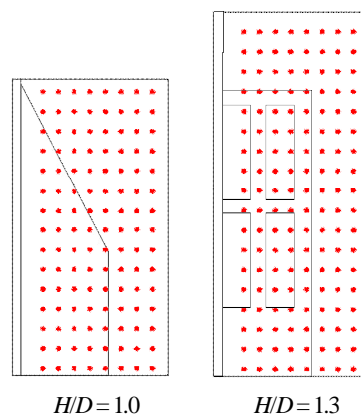


Fig. 18 Generation points of image tracer

数十以下のオーダーではなく、100 以上のオーダーであることから、PIV による流脈パターンの観察をさらに困難にしていた。そこで、パドル翼とは異なる下記に示すいくつかの手法により、大型翼の擬似的流脈パターンの迅速な可視化に成功した。

レーザーシート光の厚みのアップ

2 枚羽根パドル翼の場合は流れ場が比較的単純なので、着目粒子の動きを予想しやすくシート光の厚みは 6mm でも測定できたが、9mm に増やすことにより、画面から突如として消滅するトレーサー粒子が少なくなり、擬似的流脈パターンの乱れを抑えることができた。

仮想トレーサー粒子投入位置の増加

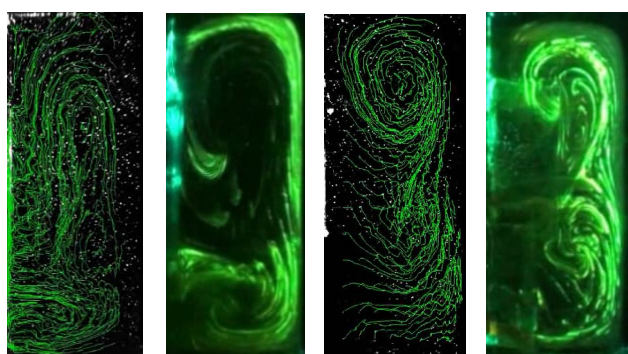
パドル翼の場合は実験と同様に翼先端のみから仮想トレーサー粒子を発生させ、流脈パターンを時系列に観察したが、流脈パターンの特性の「攪拌翼の回転周期に合わせた流脈パターンは不変である」(Inoue *et al.*, 2009, 2012)という性質を生かし、Figure 18 に示すように、攪拌槽内の複数の場所から仮想トレーサー粒子を発生させ、より短時間で擬似的流脈パターンを可視化できることが判明した。この操作は実験では物理的に不可能であり、計算でしかなしえない方法である。また、PIV の欠点として静止している固体壁面での速度場の推算精度が悪いので、壁面やシャフトの

ごく近傍は仮想トレーサー発生箇所には選択しなかった。この方法により、Figure 13の実験や従来どおりの仮想トレーサー吐出位置である翼先端からのみのように時系列的に擬似的流脈の広がりを観察することはできないが、迅速に全体の擬似的流脈パターンをとらえることはできた。つまり、パドル翼を槽中央においた場合、従来の方法では8周期ほど翼が回転しないと、ドーナツリングが現れてこないが、このように多くの箇所から流脈を同時に発生させると、わずか1回転(1周期)で概形が現れ、2および3周期で槽内全体の擬似的流脈パターンが出現する。Figures 19–24にはほぼ層流と見なせる攪拌レイノルズ数 40 近傍における、マックスブレンド($H/D=1.3$)、フルゾーン($H/D=1.3$)、スーパーミックスMR205($H/D=1.0$)、サンメラー($H/D=1.0$)、ベンドリーフ($H/D=1.3$)、そして、ホームベース翼($H/D=1.0$)の流脈パターンを実験結果と

もにそれぞれ示す。それぞれの図の左側がPIVによる擬似的流脈パターン(翼周期2回転後)、右側がウラニンを用いた実験画像(翼周期 75 回転後)である。PIV による方法でも各翼の特徴を捉え、両者はよく一致している。

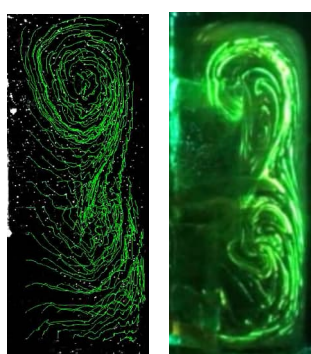
また、実機に近い攪拌レイノルズ数 100 近傍における流脈パターンも同様に Figures 25~30 に示す。これも実験と良く一致した。これらの結果から、複雑な装置を作成することなく、また、数値解析を適用するまでもなく、簡単な実験装置と市販の PIV ソフトウェアのみで迅速に擬似的流脈パターンを知ることが可能になったと考えられる。

層流混合の場合、同一攪拌レイノルズ数であり同じ流脈パターンになることはわかっている。よって、小スケールで迅速に流脈パターンが明らかになれば、実機においてその攪拌槽を用い



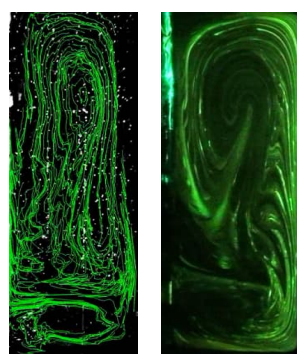
(a)PIV (b)Experiment

Fig. 19 Maxblend at $Re=38$



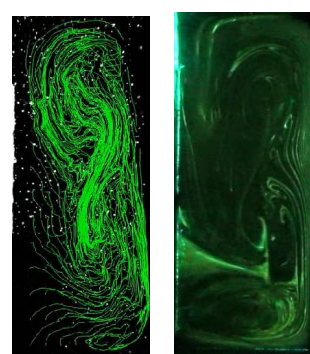
(a)PIV (b)Experiment

Fig. 20 Fullzone at $Re=39$



(a)PIV (b)Experiment

Fig. 25 Maxblend at $Re=94$



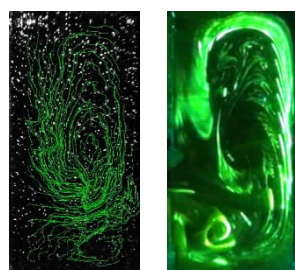
(a)PIV (b)Experiment

Fig. 26 Fullzone at $Re=99$



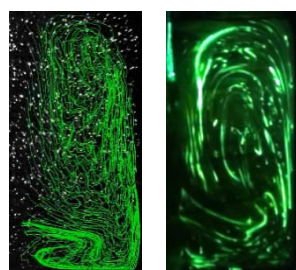
(a)PIV (b)Experiment

Fig. 21 MR205 at $Re=47$



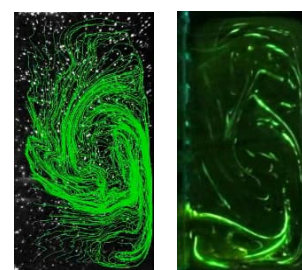
(a)PIV (b)Experiment

Fig. 22 Sanmeler at $Re=39$



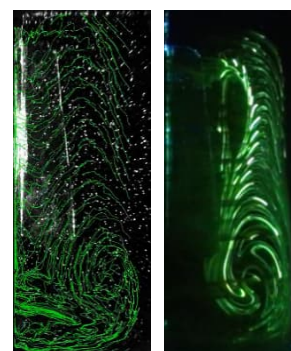
(a)PIV (b)Experiment

Fig. 27 MR205 at $Re=120$



(a)PIV (b)Experiment

Fig. 28 Sanmeler at $Re=96$



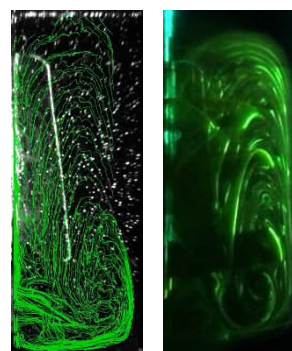
(a)PIV (b)Experiment

Fig. 23 Bendleaf at $Re=47$



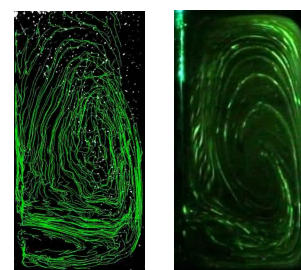
(a)PIV (b)Experiment

Fig. 24 HB type at $Re=40$



(a)PIV (b)Experiment

Fig. 29 Bendleaf at $Re=120$



(a)PIV (b)Experiment

Fig. 30 HB type at $Re=100$

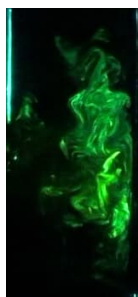


Fig. 31 Streak line of paddle impeller at $Re=2600$

て混合可能かどうかの判断を下せることになる。

ただし、層流での混合時間は翼の回転数に依存しているため、混合時間が同一になるわけではないことを断っておく。また、

Figure 31 に示すように、流脈パターンを特定できない乱流域では本手法を

適用できないことも加筆しておく。

結 言

三次元定常流れを二次元非定常流れと見なすことにより、迅速に攪拌槽内の流脈パターンを評価する方法を開発した。数値解析的および市販の PIV ソフトウェアを用いて実験的に種々の攪拌翼の流脈パターンを可視化した。その結果、層流域における攪拌槽内の三次元流動を二次元非定常流動と見なせたことになる。この手法により攪拌翼の混合性能の評価を簡易的 (Simple) に迅速 (Speedy) に行えることを示した。

Nomenclature

b	= height of impeller blade	[m]
D	= vessel diameter	[m]
d	= impeller diameter	[m]
H	= liquid depth	[m]
n	= impeller rotational speed	[s ⁻¹]
Re	= impeller Reynolds number ($nd^2\rho/\mu$)	[—]
T	= impeller period	[—]
μ	= liquid viscosity	[Pa · s]
ρ	= liquid density	[kg · m ⁻³]

Literature Cited

Inoue, Y. and Y. Hirata; “Numerical analysis of chaotic mixing in plane cellular flow I formation mechanisms of initial mixing pattern and

fine mixing pattern,” *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, 25, 294-302 (1999).

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, 191—202 (2012)

Kato, Y., Y. Inoue, M. Hiramatsu and S. Ohtani; “Mixing Mechanism of Large Paddle Impeller Based on Streak Line Observation,” *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, 41, 11-15 (2015a)

Kato, Y., M. Hiramatsu, S. Ohtani, M. Yoshida and K. Shiobara; “Development of New Large Paddle (HB Type) Impeller Based on Streak Line Observation,” *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, 41, 16-20 (2015b)

Kato, Y., T. Ito, H. Furukawa, R. Nagumo, Y. Tada, S.T. Koh and Y.S. Lee; “Mixing Performance of Large Asymmetric Impeller Based on Streak Line Observation,” *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, 41, 21-24 (2015c)

Kato, Y., Y. Oguri, M. Matsuno, H. Furukawa and R. Nagumo; “Evaluation of Mixing Performance Based on Streak Line Observation and Correlation of Power Consumption for BENDLEAF Impeller,” *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, 41, 184-189 (2015d)

Kato, Y., M. Yoshida, H. Furukawa, R. Nagumo and Y. Tada; “Streak Line Pattern of Large Paddle Impeller Based on Numerical Analysis,” *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, 41, 358-361 (2015e)

Kaminoyama, M., F. Saito and M. Kamiwano; “Numerical Analysis of Three Dimensional Flow Behavior of Pseudoplastic Liquid in a Stirred Vessel with Turbine Impellers,” *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, 14, 786-793 (1988)

Quick Evaluation Method of Streak Line Pattern in Mixing Vessel Based on Unsteady State Two dimensional Analysis

Kodai OYA, Shota OTANI, Keisuke SUZUKI, Kenji EBISUTANI, Yuto NAITO
Haruki FURUKAWA and Yoshihito KATO

Department of Life Science and Applied Chemistry, Nagoya Institute of Technology, Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya-shi, Aichi 466-8555, Japan

Keyword : Mixing, Agitation, Streak Line, Numerical Simulation, Visualization

A method was developed to quickly evaluate the streak line pattern in a laminar mixing vessel by numerical analysis. The primary flow in a laminar mixing vessel is the rotational flow, but the secondary flow as the upper and lower circulation flow determines the quality of the mixing. The three-dimensional steady velocity component of r - θ - z was regarded as the two-dimensional non-steady velocity component of r - z - t . As a result, the calculated streak line pattern agreed qualitatively well with the experimental pattern, and calculating time was reduced substantially. By using the present method to translate the three-dimensional steady flow to a two-dimensional unsteady flow, streak line patterns were easily visualized from video data with PIV at low Reynolds number. It was found that the mixing performance of impellers, including some wide-paddle impellers developed by a Japanese company, could be estimated quickly by this method.