

# 最適混合攪拌方法予測装置の開発

中村 敏郎\*, 田島 俊彦\*\*

Device development to predict the best mixing method

NAKAMURA Toshiro\*,

TAJIMA Toshihiko\*\*

In every industrial field, mixing of matters is widely used in process of manufacture. Factories need to make a development period of products as short as possible so that they must find out the best mixing system quickly. To meet this need, we developed an apparatus for simulation experiments to predict the system that realizes the fastest and most efficient productions leading to the saving energy.

Key Word : Mixing of Matters, Saving Energy, Rotating Turn Table

## 1. はじめに

産業界の医薬品や化粧品、食品、製紙工業や水処理の環境関連など、あらゆる分野において生産プロセスの一部には、必ず攪拌装置が使用されており、その多くは各生産現場で独自に時間をかけて、経験から生れた条件で運転されている。

しかし、今日のように製品の開発期間が短くなってくると、システム交換にかかる作業も短期間で行う必要がある。そのため、最適な条件となるシステムを先に予測しておくことで、実運転までの改良や調整などについて時間を大幅に削減することができる。また、原料に攪拌物質の密度差が大きい場合、混合しても静止後にはふたたび分離が始まる。このような物質の攪拌方法には、一般的に初期から強い攪拌流が発生する回転速度で連続運転を行っていることが多い。この動力消費を考えると、混合時間と混合状態を維持するために必要な最小所要動力が予測できれば、混合状態から排出までの総合所要動力の予測も可能となり、結果として省エネルギー運転を行うことになる。本研究では、これらについてシミュレーション実験から最適混合攪拌方法の予測を行う

ために試験装置を開発した。ここでは、この試験装置の開発にあたり、その構造と機能を示した予備的観測結果について述べる。

この研究をおこなうにあたり、攪拌技術に関するレビューは参考文献1)を参照した。

## 2. 実験装置および方法

### 2.1 実験装置

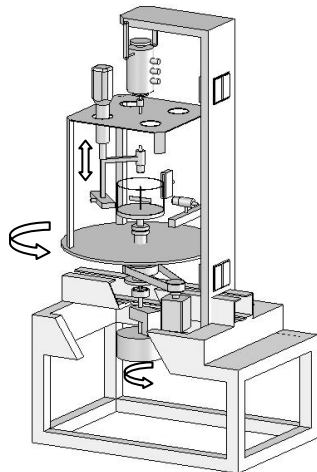
図1に示したのが今回製作した試験装置の各作動部で、この装置の特徴としては、すべての駆動関係を水槽の下に配置したことである。その理由に、実際に稼動している攪拌装置の多くは、タンク上部から回転翼を駆動しているが、これをそのままモデル化すると駆動部がTVカメラのブラインドとなり、水槽内の水平面流れの観測を細密に行うことができない。その他に、攪拌タンクをモデル化するとともに、多様な翼形状から混合に適合した翼を決定するため、これらを容易に交換できる必要がある。この問題を解決するために下部駆動の構造とした。また、攪拌軸を中心として独立回転できる回転円盤上に、TVカメラやライトシート等の観測機器を搭載し、翼との相対観測を行うため、回転速度が調節できる構造とした。これから、攪拌翼周りの流れ解析を行い、翼形状と攪拌状態を評価することができる。

\* 富山高専 技術部

e-mail:nakamura@toyama-nct.ac.jp

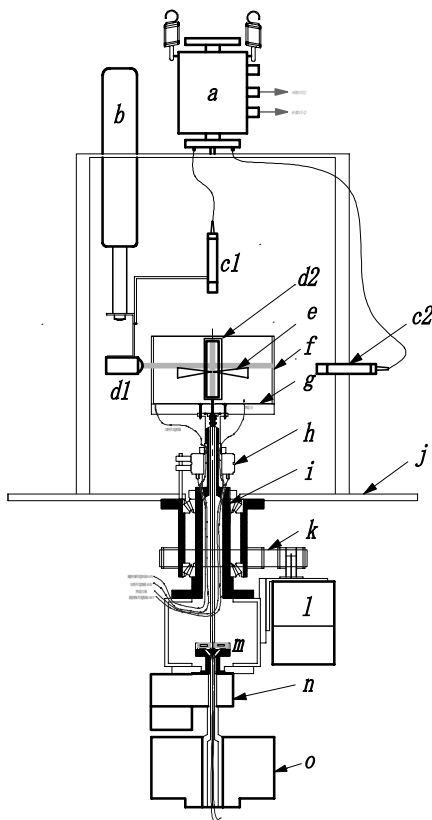
\*\* 福井県立大学 学術教養センター

e-mail:toshi@fpu.ac.jp



本体寸法 W600×D900×H1800mm  
回転円盤 φ 600mm

図1. 試験装置の各作動部



a.映像信号スリップリング i.固定軸  
b.電動シリンダー j.回転円板  
c1.c2.TVカメラ k.タイミングベルト  
d1.d2.ライトシート l.回転円盤駆動モータ  
e.攪拌翼 m.回転トルクセンサ  
f.円筒ガラス水槽 n.攪拌翼駆動モータ  
g.ヒーターシート o.センサ信号スリップリング  
h.電源スリップリング

図2. 駆動部と観測機器配置

## 2.2 試験用モデル水槽

図2に示す試験用モデル水槽の寸法は外径φ180mm, 深さ100mm, 厚さ3mmのパイレックスガラスとし, 底部は140Wのシリコンラバーヒーターを貼り, 試験原料の温度調節を行うことで, 原料流体の粘度調節や感温型液晶による温度均一攪拌等の観測を行う。

## 2.3 回転軸部と円盤駆動部

観測時には攪拌軸と観測装置が一方向回転となるため, すべての観測機器に関する電源と信号線はスリップリングで中継し, 外部に出す必要がある。このため回転軸部中央の固定軸を中空とし, スリップリング(h)から回転円盤上や水槽等へ電源を供給する。また, この回転円盤の駆動にはTVカメラの振動を防ぐため, 駆動用モータ(l)との伝達にはポリウレタン製のタイミングベルトを使用した。

## 2.4 TVカメラ観測装置

観測装置は回転円盤上にアルミ合金製角柱を設け, これに垂直断面観測用のTVカメラ(c2)とライトシート(d2)を水槽の中心縦断面に焦点位置を合わせた状態で固定した。また, TVカメラ(c1)は水平断面観測用で水槽の底面から液面まで移動観測を行うため, ライトシート(d1)と一体構造とし, これを電動シリンダーで駆動する。

この電動シリンダーの移動量は, 最大ストローク100mmで分解能は0.1mmである。制御はスリップリング(a)を中継し, 外部の調節器で行う。TVカメラ2台の映像信号もスリップリングを中継し, 画像入力ボードでサンプリングを行い水平断面観測と垂直断面観測の画像から水槽内部のフローパターンを細密に観測することができる。

攪拌翼の同期観測速度は  $0 \sim 82 \text{min}^{-1}$  の範囲で可変速が可能である。

## 2.5 攪拌動力測定装置

図3は低粘度流体用に製作した攪拌動力測定のためのトルクセンサを示し, 攪拌用モータ(図2.n)と攪拌翼軸の中間で同一中心上に設置する。図3.a はリン青銅板(幅5mm厚さ0.2mm)をS字形状に曲げ, その中央部に攪拌軸を置き, この板がモータの回転力を軸に伝達する。また, 攪拌軸の端部をボールベアリングで支え, 軸の保持と回転時の振れを押さえる構造とした。攪拌時のトルクは, 翼の抵抗力がS字板の曲げ力となる

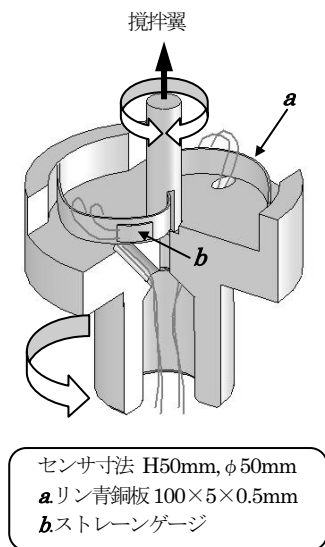


図3. 回転トルクセンサ

ので、その力をリン青銅板に貼ったひずみゲージ (b) から、ひずみ量としてスリップリング(図2.d) を中継し、外部のひずみアンプに接続する。

攪拌動力は分銅によるモーメントを基準とし、ひずみアンプ出力と回転速度のデータをADボード内臓のパソコンでサンプリングし、動力値の計算処理を行ってグラフ出力する。

### 3. 実験結果

#### 3.1 攪拌動力の測定結果

シミュレーションでは、小型のモデルタンクで実験を行うため、今回開発した微小トルクセンサを使用する。攪拌翼は所要動力の小さい2枚翼のパドル型で、翼まわり流れの基準とするためフラットブレードで行った。

図4は、水(20℃)とナイロン球(φ50μm)で、密度差が0.12g・cm<sup>-3</sup>の固-液対流混合過程の経過とトルク測定値から攪拌動力を示したグラフである。図5.(a)は攪拌開始前の状態を示し、密度差のため、ナイロン球はすべて水槽の底に沈降しており、この状態から攪拌を開始した。

運転方法は1秒で回転を0~80min<sup>-1</sup>まで上げ、攪拌レイノルズ数は  $Re(nd^2/\nu) \equiv 10759$  でこの状態を一定に保ち観測を行った。ここで、nは翼の毎秒回転数(s<sup>-1</sup>)、dは翼直径(m)、νは動粘度(10<sup>-6</sup>m<sup>2</sup>・s<sup>-1</sup>)である。攪拌は時間の経過とともに図5.(b),(c)で示された状態を経由し、(d)まで同じ状態を示す結果から(c)の段階で混合が完了し

ていることが確認できるため、混合状態維持の攪拌速度については、11s以降にナイロン球の沈降が発生しない速度まで小さくすることができる。また、グラフで平衡状態に近づくと共に発生している振れは、翼の後ろに発生した渦の離脱が繰り返されたものと考えられる。

#### 3.2 攪拌翼まわり流れ観測

図6.(a)は攪拌レイノルズ数が  $Re \equiv 2762$  のフラットブレード翼で、それを同期撮影した画像を示す。これをライブラリー社のFlowVec32でPIV計測を行って流度ベクトルを得て6.(b)に示した。図7では51画像分の各エリア平均流度と流れ方向の平均を示し、最大速度が20mm・s<sup>-1</sup>で、流れの方向については、翼に逆の流れが発生するため平均すると水平となる。このデータを基準として翼の評価ができることを確認した。また、この観測のトレーサ粒子には浮遊性の良い液晶カプセルを使用した。

#### 3.3 対流混合過程の観測

図8は対流混合の過程を観測したもので、(a)は水とウラン水溶液<sup>2)</sup>の液-液均一分散の混合経過を示し、攪拌条件はレイノルズ数  $Re \equiv 2762$  で回転開始時と35秒から110秒後の混合状態で、非同期観測を行った時の垂直断面画像である。

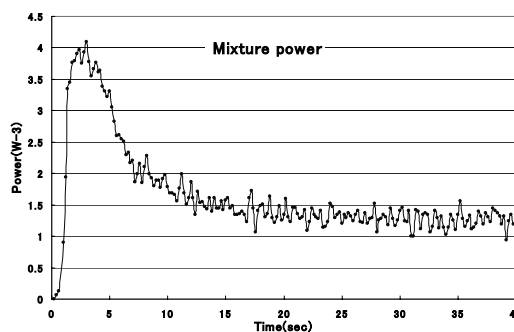


図4. 攪拌動力の時間変化

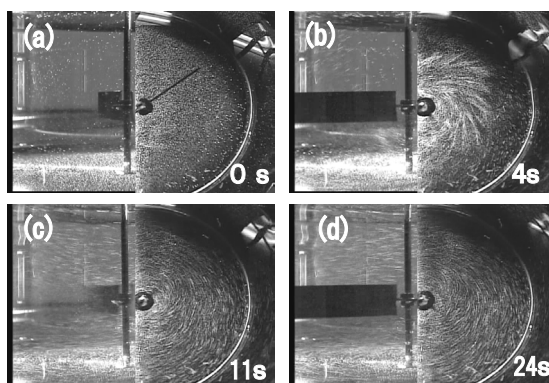


図5. 混合過程の垂直水平断面画像

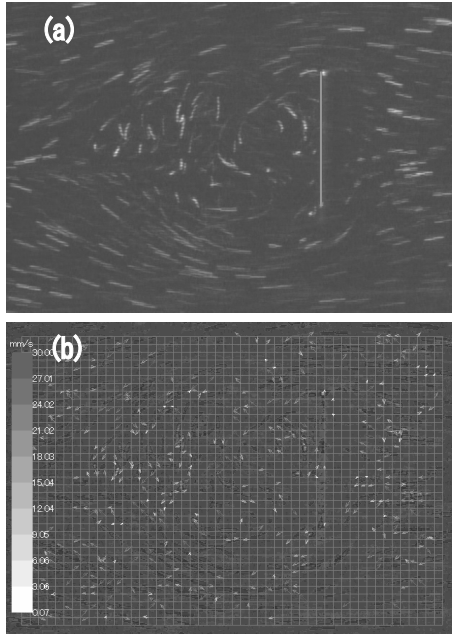


図6. 翼まわり流れ画像

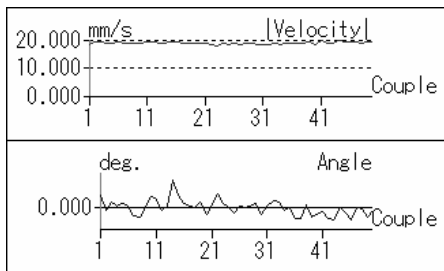


図7. エリア平均速度と平均流れ方向

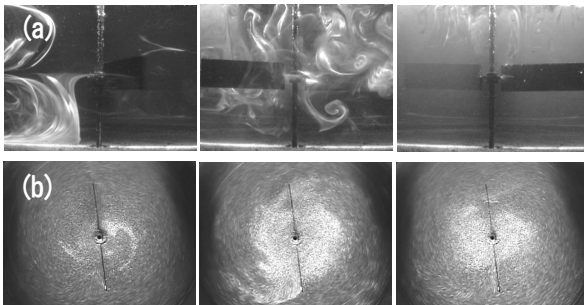


図8. 対流混合過程

(b)は、 $Re \equiv 2762$ で水(17°C)に感温型液晶(反応色温度範囲28°C~30°C)を混合したもので、温度均一攪拌(30°C)の加熱開始時と51秒から123秒後の観測画像でTVカメラは翼同期観測の水平断面画像である。

#### 4. おわりに

本論文では対流混合について、最適攪拌方法の予測を行うために、製作した実験装置の構造、

機能、観測方法について示した。これらの開発については、これまで我々が気象力学のシミュレーションを行う研究に用いてきた回転二重円盤実験台<sup>3)</sup>と感温液晶を用いる観測技術<sup>4, 5)</sup>の開発を参考にして行った。

予測する条件には、短時間混合と長時間混合維持の場合がある。短時間の混合均一攪拌と温度均一攪拌の評価方法については単色トレーサ液の濃度変化や微小カプセルトレーサ粒子の発散量を時間で評価し、温度均一攪拌時間は感温型液晶の温度色変化から評価できる。

長時間維持については、製品の分離や沈降が発生する限界攪拌速度と攪拌動力をカメラ観測とトルクセンサから求め、維持時間の最小所要動力を評価する。また、多様な性質をもつ攪拌原料に対応するための、最適な翼形状の選定と評価ができる。これらを総合評価することによって、高い効率と省エネ運転を行うための条件予測が可能となる。さらに混合状態をトレーサ粒子のエリア頻度から評価するプログラムを作成することで、混合状態の自動観測を行いながら、最適運転条件をデータ化することも可能になる。

この研究は日本学術振興会から平成18年度と19年度に奨励研究費の補助を受けて行われたことを記し謝意を表す。

#### 5. 参考文献

- 1) 山本一夫, 西野 宏, 「攪拌技術」, 佐竹化学機械工業株式会社(1992)
- 2) 中村敏郎, 田島俊彦, 富山高専紀要「回転円筒水槽実験のためのインク注入器」, 第29巻(1995) PP43-46
- 3) T. Tajima and T. Nakamura, 富山高専紀要「Apparatus with double turn tables in rotating fluid experiments」, 第28巻(1994) PP1-7
- 4) T. Tajima and T. Nakamura, 可視化情報「A Multiple Liquid Technique of Visualization for Quantitative Measurements of a Temperature Field in Fluid」, 第15巻, 56号, (1995) PP36-40
- 5) T. Tajima and T. Nakamura, 可視化情報「Methods of Visualization for Observing Directly an Internal Structure of Steady Baroclinic Waves in Rotating Annulus Experiments」, 第15巻, 57号, (1995) PP39-46

(2007. 12. 28 受理)