

羽根なし攪拌機の孔寸法と攪拌性能の関係

日大生産工(院) ○青木 宏樹 日大生産工 安藤 努
日大生産工 仁科 憂也 日大生産工 谷田部遼

1 緒言

攪拌は塗料の調製や食品の製造など、様々な産業分野で混合や反応の促進を目的に利用されている¹⁾。一般的に攪拌には、モーターとモーターに軸を介して取り付けられた羽根とで構成される攪拌機が用いられる。この攪拌機はモーターの回転に従動する羽根により攪拌槽内の流体が混合されることで攪拌が行われる。

しかし、この攪拌機にはいくつかの問題がある。一つは高速回転時に羽根の影響によって発生するキャビテーションにより、羽根に損傷が生じることである。もう一つは攪拌槽内壁へ羽根が接触することで発生した切削物が攪拌対象物に異物として混入するコンタミネーションが発生することである。

こうした問題を解決するために遠心力を利用した羽根なし攪拌機が開発された²⁾。この羽根なし攪拌機は羽根がない代わりに、遠心力を利用して攪拌を行う。

羽根なし攪拌機は近年開発された新しい技術であるためにデータが少なく、攪拌機直径や孔寸法（吸入口や吐出口）、外形形状などの各因子が攪拌性能（混合性能や吐出流量）に対してどのような影響を与えるのかが解明されていないのが現状である。そこで本研究では、羽根なし攪拌機の孔寸法が攪拌性能に与える影響を解明することを目的に、脱色反応法による混合時間の計測および PIV による吐出付近の速度分布計測を行った。

2. 実験装置および実験方法

2.1 実験装置

実験で使用した羽根なし攪拌機を図 1 に示す。羽根無し攪拌機は吐出口である側面の穴と吸入口である底面にある穴を繋ぐ L 字の流路が等間隔に三つ設けられている。また、吸入口および吐出口の孔寸法 d は 10, 15, 20 mm の三種類とした。

実験で用いた攪拌槽の寸法および攪拌位置を図 2 に示す。攪拌槽は透明アクリル製円筒水槽 ($D=215$ mm) を用い、液面高さ $H=215$ mm (攪

拌液量: 3.1 L) とした。また、攪拌機高さは攪拌機の吐出口が攪拌槽底面から 107.5 mm ($h=0.5H$) の位置になる高さにした。攪拌液には水道水 (粘度 $\mu=1$ mPa·s) を用いた。本実験では、光の屈折を防ぎ、観察しやすくするために円筒水槽を水で満たした四角容器に置いた。なお、回転数 n は 100, 200, 300 rpm の 3 パターンとした。

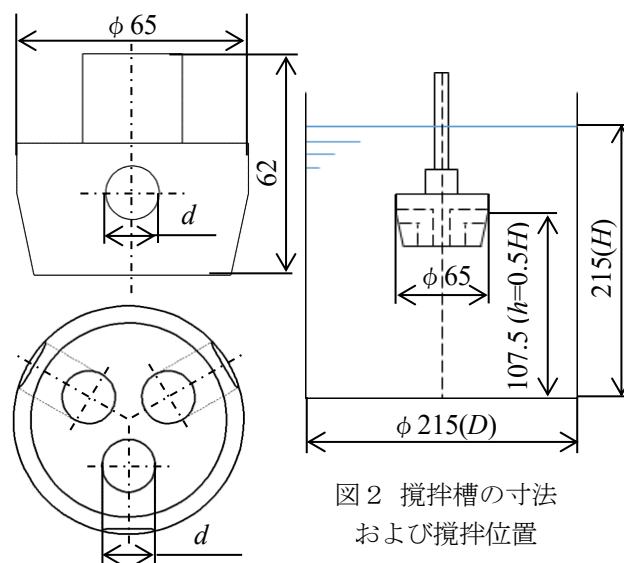


図 1 羽根なし攪拌機

(単位: mm)

図 2 攪拌槽の寸法
および攪拌位置

2.2 実験方法

混合過程の可視化および混合に要する時間の測定には脱色反応法を用いた。脱色反応法は、着色剤によって着色した攪拌液に脱色剤を注入し、脱色に要する時間から混合時間を求める手法である。

混合時間の判別には画像解析ソフト ImageJ を用いた。ImageJ は撮影した画像を 256 階調の白黒画像に変換し、画像全体の輝度値の平均値を算出することができる。混合時間は脱色剤の投入開始時点から攪拌槽全体の輝度値の平均値が閾値に達する時点までとした。閾値は脱色が完全に終了した時の攪拌槽全体の輝度値の平均値の 95% の値とした。これは、

Relationship between Pore size and Mixing Performance of Blade-less Stirrer

Hiroki AOKI, Tsutomu ANDO, Yuya NISHINA and Ryou YATABE

混合時間の判別に 5%の余裕を与えるためである。

PIV 計測では、攪拌槽内の溶液に比重 1.4、平均粒径約 10 μm の銀コーティングされたガラス中空粒子を適量分散させた後、攪拌機の回転を開始した。攪拌槽内の流動状態が定常状態になったことを確認した後、シート状にしたレーザー光を照射し、NAC 製のハイスピードカメラを用いて撮影を行った。ハイスピードカメラの撮影速度は 1500, 3000, 4500 fps とし、三回転分の画像を撮影した。撮影した画像から、吐出口付近の縦断面における速度分布を計測した。なお、PIV 解析にはカトウ光研 (株) の FlowExpert2D2C を用い、2 mm 間隔の正方格子で $d \times 3$ の範囲の速度分布を求めた。

3. 実験結果

孔寸法の異なる羽根なし攪拌機の t_M - n 線図を図 3 に示す。図 3 のグラフから、孔寸法 $d=10$ mm の羽根なし攪拌機では、全ての回転数において最も長い混合時間を示すことが確認できた。また、孔寸法 $d=15, 20$ mm の羽根なし攪拌機では、回転数 $n=100$ rpm のときに大きな差が生じるが、 $n=200, 300$ rpm では同じような値に収束することが確認できた。この結果から、回転数 n が低いほど、孔寸法 d が混合時間 t_M に与える影響が大きいことが考えられる。

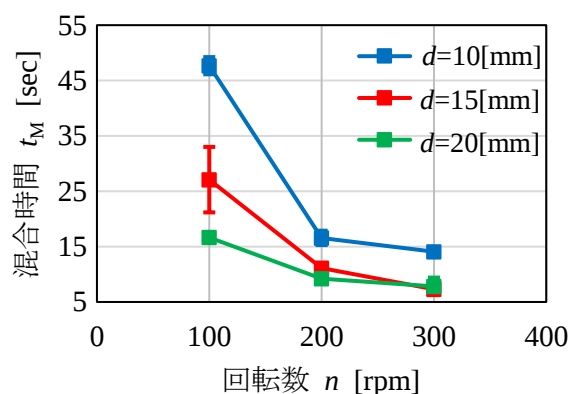


図 3 孔寸法の異なる羽根なし攪拌機の t_M - n 線図

吐出口付近の水平方向流速 v_x の経時変化を図 4 に示す。図 4 のグラフから、 v_x が大きな値を示す箇所が複数存在することが確認できる。この v_x が大きな値を示す周期は、計測範囲を吐出口が通過する周期と一致している。このことから、大きな値を示した時の v_x を吐出流速と判断した。吐出流速には大きなばらつきがあることから、他の羽根なし攪拌機と比較するた

めに三回転間の吐出流速の平均値を算出した。

孔寸法の異なる三種類の羽根なし攪拌機の吐出流速の平均値を比較したところ、どの回転数においても $\pm 13\%$ の誤差範囲にあった。この結果から、孔寸法の大きさの違いは羽根なし攪拌機の吐出流速に対して、大きな影響を与えないことが考えられる。

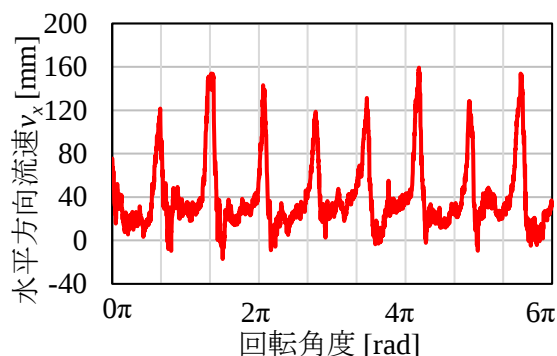


図 4 吐出口付近の流速 v_x の経時変化
($d=15$ mm, $n=200$ rpm)

孔寸法の異なる羽根なし攪拌機の吐出流量と回転数の関係を図 5 に示す。吐出流量 Q は吐出流速に吐出口の断面積を掛けることで算出した。 Q は孔寸法 d および回転数 n が大きくなるにつれ、増加することが確認できた。

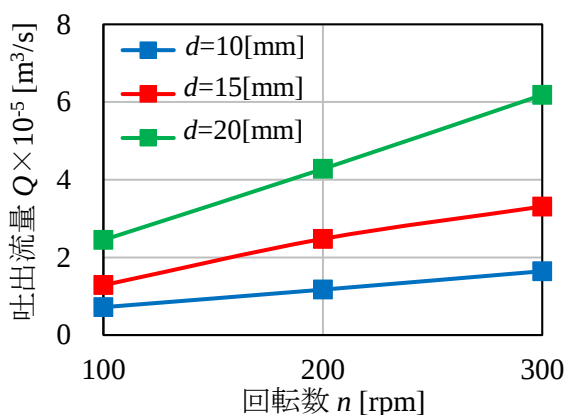


図 5 孔寸法の異なる羽根なし攪拌機の吐出流量と回転数の関係

4. 結言

本研究では、穴寸法の異なる羽根なし攪拌機の混合時間の計測および吐出口付近の速度分布計測を行うことで、羽根なし攪拌機の孔寸法が攪拌性能 (混合性能や吐出流量) に与える影響について確認することができた。

「参考文献」

- [1] 化学工学会編, 最新 ミキシング技術の基礎と応用, 三恵社, 2010, p.28
- [2] 特開 2011-5349, 攪拌用回転体および攪拌装置