

浄化槽用攪拌機内における流速分布の均一化

日大生産工 (院) ○佐々木 順一 日大生産工 山崎 博司
日大生産工 野村 浩司 日大生産工 氏家 康成

1. 緒言

攪拌操作は、化学工業分野をはじめ、食料品分野、薬品分野の他さまざまな分野での製造工程の一過程として広く用いられてきた¹⁾。近年では、注目をあびているバイオリアクタにおいても用いられるなど、用途は多岐にわたる。現在、この攪拌操作が抱える問題として、一つ目にプラント設置面積の制約が挙げられる。設置面積を保ちつつ攪拌容量を増やすために攪拌槽高さが増大の傾向にある。つまり攪拌槽直径に対して攪拌槽高さが非常に高くなってきている。二つ目に攪拌翼のせん断力の問題がある。近年、微生物を取り扱うバイオリアクタ用として用いられる攪拌装置では、攪拌翼のせん断力が強すぎると微生物の死滅を招く危険がある。以上の問題に対して従来型の攪拌装置では対応が困難になってきている。そこで本研究では、ドラフトチューブ方式を提案した。ドラフトチューブの最大の特徴は、攪拌槽内にドラフトチューブと呼ばれる筒を設置するだけの簡単な構造にも関わらず、攪拌槽内に循環流を生成できることである。このため、背の高い攪拌装置の場合でも比較的安価な設置コストで十分な攪拌性能を発揮できる。また、従来型の攪拌装置と同一攪拌動力の場合、従来型の攪拌装置より低せん断力で攪拌できるという利点も持つ²⁾。本研究では、バイオリアクタの一種である浄化槽用攪拌装置に着目し、ドラフトチューブ方式を採用することで高い性能を発揮できると考えた。しかし、ドラフトチューブ方式には攪拌時の攪拌槽内における流速分布の不均一性という欠点がある。それはドラフトチューブと攪拌槽の間の領域において攪拌翼の吐出流により攪拌槽壁に近い領域の流速は速く、ドラフトチューブ外壁に近い領域の流速は遅くなる現象である。バイオリアクタのような微生物を担持する攪拌装置の場合、流れが滞る領域では仕事が成されないために攪拌装置の性能低下につながる。そこで、本研究では、ドラフトチューブと攪拌槽の間にガイドリングを設置することで攪拌槽内の流速分布を均一に

することを試みた。本報では、流速分布の均一化について得られた知見を述べる。

2. 実験装置

図1に実験装置の概要を示す。実験装置は攪拌部と測定部から成る。攪拌部は攪拌槽、ドラフトチューブ、ガイドリング、パイプ、天板、攪拌翼、可変速モータ、リフトから構成される。測定部はひずみゲージ式トルクセンサ、ひずみアンプ、電圧計、ハロゲンライト、ビデオカメラから構成される。

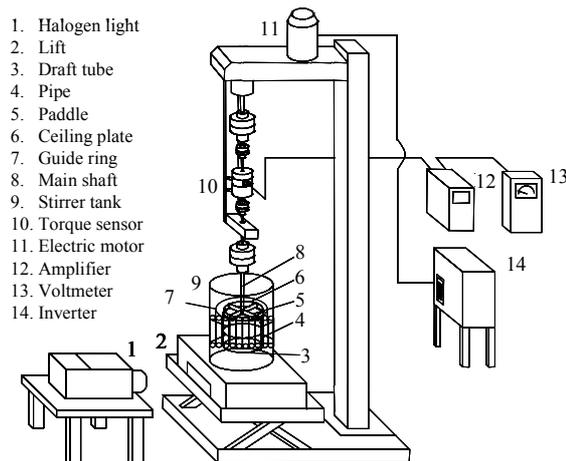


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus.

2.1 攪拌部

攪拌部の詳細を図2に、攪拌翼周辺の拡大図を図3に示す。攪拌槽は内径 240 mm 外形 250 mm 高さ 600 mm の円筒形、ドラフトチューブは内径 159 mm 外径 165 mm 長さ 368 mm の円筒形のもので、黄銅製のバンドと金具で攪拌槽に固定した。ガイドリングはドラフトチューブ外壁と攪拌槽壁のちょうど中央の位置に設置できるように内径 182.3 mm 外径 183.8 mm で、高さ h はパイプ上端から 55 mm, 60 mm, 65 mm, 70 mm の四種

を使用した。微生物担体を模擬したパイプは内径 16.5 mm 外径 18 mm 高さ 300 mm の円筒形のものを使用し、攪拌槽内に 126 本隙間無く設置した。天板は厚さ 3 mm、ドラフトチューブ径と同径で攪拌翼上部に接するように固定する。なお攪拌槽、ドラフトチューブ、ガイドリング、天板、パイプは攪拌特性を評価しやすいようアクリル材を使用した。モータは 3 相 4 極誘導モータで出力 1.5 kW のものをインバータ制御により回転速度を変化させた。

2.2 測定部

ひずみゲージ式トルクセンサは攪拌動力を測定するために用いた。攪拌翼が受けるトルクをトルクセンサにより測定し、そのトルクにより攪拌動力を算出する。ハロゲンライト、ビデオカメラ、PC は流速測定に用いる。本研究では、光学的手法を用いて流速測定を行う。

3. 実験方法

本実験では、混合特性の評価として混合時間の測定、攪拌槽内の流動特性を評価するために流速測定を行う。また、各実験の予備実験として攪拌動力測定を行う。

3.1 実験準備

3.2 攪拌動力測定

本実験では、実験パラメータとして攪拌動力を採用している。一般的に水のような低粘度流体を扱う場合の攪拌動力は、約 100 W/m^3 と言われている。本実験の攪拌水量は 20 L 強であり、およそ 2 W 程度と見積もられる。よって、本実験では攪拌動力を 0.5 W、1 W、2 W とした。回転する攪拌翼が受けたトルクをひずみゲージ式トルクセンサにより測定する。測定したトルクとそのときの回転速度より攪拌動力を算出する。攪拌動力が 0.5 W、1 W、2 W となる回転速度を求める。

3.3 流速測定

流速測定の手法を図 4 に示す。光源であるハロゲンライトの光を凸レンズにより平行光とした後に鏡、アパーチャを介して一本のパイプへ光を導く。光が導かれたパイプ内をトレーサー粒子が通過する様子をビデオカメラにより撮影する。撮影された映像を PC に取り込み、パイプを通過する時間を測定する。測定した通過時間より流速を算出する。測定位置は、図 3 に示すように攪拌槽の中心から攪拌槽の外側に向かって直線上に並んだ 7 本のアクリルパイプとした。アクリルパイプにはそれぞれ攪拌槽の中心から外側に向かってアクリルパイプ番号 1 ~ 7 と設定した。以後、測定位置はアクリルパイプ番号で示す。

3.4 混合時間測定

混合時間は一般的に用いられているヨウ素ハイポ法を採用し、目視で評価した。まずヨウ素と流体が均一に混合するまで攪拌する。その後、攪拌槽にでんぷんを入れ、色をより濃くする。完全にヨウ素が攪拌された後、チオ硫酸ナトリウムを入れ着色が完全に無色透明になるまでの時間を計る。混合時間は、チオ硫酸ナトリウムを投入してから液体が無色透明になるまでの時間となる。

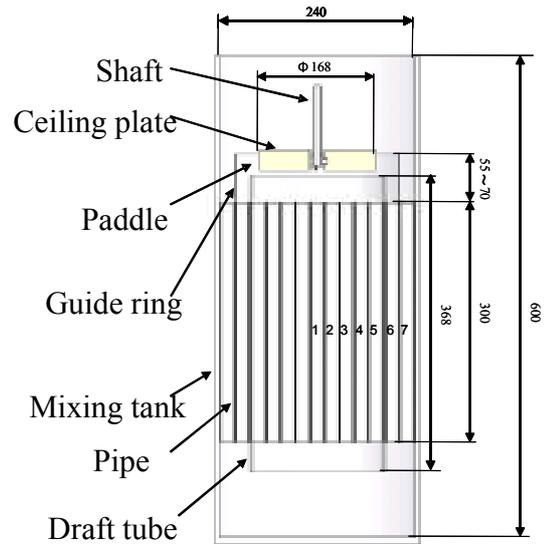


Fig.2 Part of stirrer.

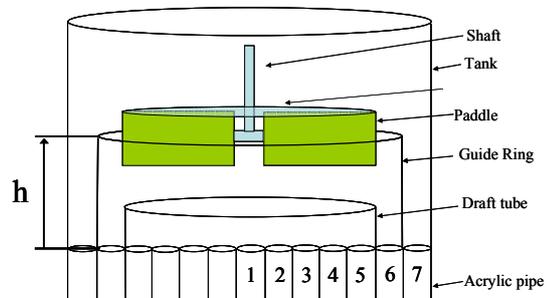


Fig.3 Schematic of stirrer around paddle.

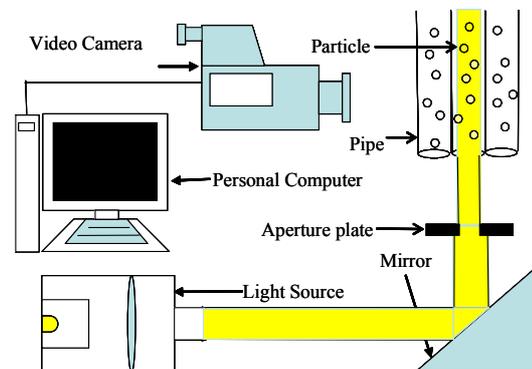


Fig.4 Schematic of flow velocity measurement.

4. 実験結果および考察

4.1 攪拌動力測定

攪拌動力に対する攪拌翼の回転速度を図 5 に示す。図 5 から、すべての条件における攪拌動力が 0.5 W になる攪拌翼の回転速度は 59 ~ 63 rpm , 1 W では 77 ~ 82 rpm , 2 W では 98 ~ 105 rpm となることがわかる。この結果より、ガイドリングを設置することによる攪拌動力への影響は小さいと考えられるが、ガイドリングの高さが高くなるにつれ攪拌翼の回転速度が上がっていることが読み取れる。これは、ガイドリング高さが高くなるにつれて、攪拌翼による旋回吐出流量が減少していくため同一攪拌動力の場合は、回転速度が上がると考えられる。

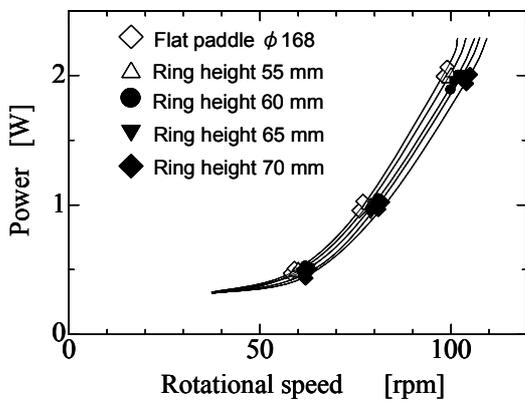


Fig.5 The relation between rotational speed and power.

4.2 流速測定

図 6 (a) , (b) , (c) , (d) , (e) に流速測定結果を示す。図 4 (a) はガイドリングを設置していない状態における流速分布である。図 6 (b) , (c) , (d) , (e) は高さ 55 mm , 60 mm , 65 mm , 70 mm のガイドリングを設置した状態における流速分布となる。高さ 55 mm , 60 mm , 65 mm , 70 mm のガイドリングを設置した条件では、それぞれガイドリング上部が攪拌翼高さの約 40 % , 約 60 % , 約 80 % , 約 100 % に達する。ガイドリングを設置しない条件では、パイプ番号 1 番から 5 番まではほぼ流速が均一であるのに対し、6 番と 7 番の流速差が歴然である。本研究の課題もここにある。攪拌翼が流体を吐出する際に、遠心力の影響で外側の 7 番の流速が速くなり、相対的に 6 番の流速が遅くなる。このため、7 番への流量を減らし、強制的に 6 番

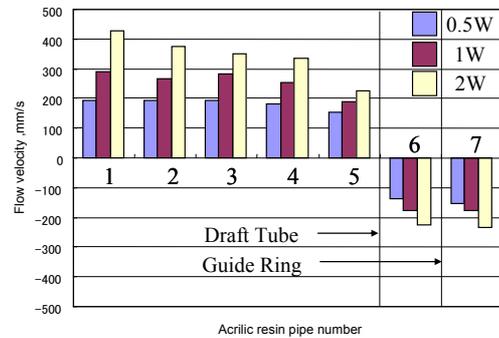


Fig.6 (c) Flat paddle φ 168 mm ring height 60 mm.

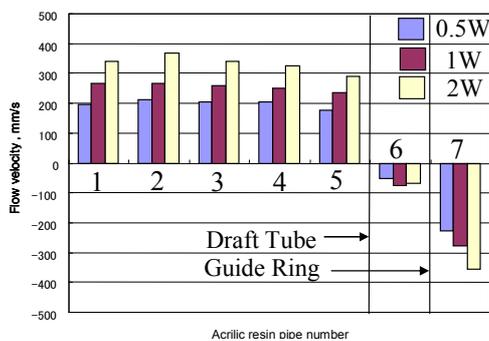


Fig.6 (a) Flat paddle φ 168 mm.

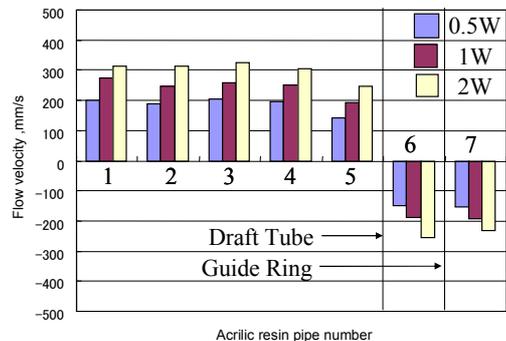


Fig.6 (d) Flat paddle φ 168 mm ring height 65 mm.

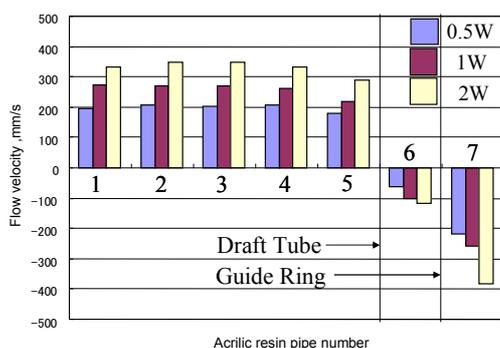


Fig.6 (b) Flat paddle φ 168 mm ring height 55 mm.

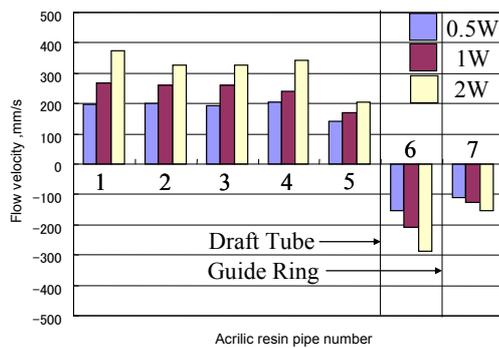


Fig.6 (e) Flat paddle φ 168 mm ring height 70 mm.

の流量を増やす機構としてガイドリングを考案した。図 6 (b) に示した、高さ 55 mm を設置した場合、6 番と 7 番の流速差は短縮されなかった。高さ 55 mm では、依然として 6 番より 7 番へ流れ込む流量が多いと考えられる。図 6 (c) , (d) の高さ 60 mm と高さ 65 mm を設置した場合は、6 番 と 7 番の流速がほぼ等しくなった。しかし、高さ 60 mm を設置した場合、ドラフトチューブ内部の流速が均一でない結果となった。これはガイドリングが内部の流れに影響を与えたと考えられる。図 6 (d) の高さ 70 mm を設置した場合は、7 番より 6 番の流速が速くなった。これは、ガイドリングの上部が攪拌翼高さの 100 % に達し、7 番より 6 番に流体が流れ込んだためと考えられる。また、ドラフトチューブ内の流速分布にも影響を及ぼす結果となった。以上の結果より、ガイドリング高さが攪拌翼高さの約 80 % にあたる相対的な寸法がめやすになると考えられる。

4.3 数値シミュレーション

本研究では、英国 CHAM 社製熱流体解析ソフト PHOENICS を用いて、攪拌槽内における流れの解析を行った。高さ 65 mm のガイドリングを設置した解析結果を図 7 に示す。数値シミュレーションによる流速分布の解析結果は、実験で得られた流速分布とほぼ一致し、全域で均一な流速分布を示す結果となった。今後は、数値シミュレーションを用いてさらに有効な流速分布の均一化の手法を見いだすことが課題である。

4.4 混合時間測定

混合時間の測定結果を図 8 に示す。ガイドリングを設置しない場合と高さ 55 mm , 60 mm , 65 mm , 70 mm のガイドリングを設置した場合の混合時間を各攪拌動力ごとに示した。ガイドリングを設置しない条件と高さ 55 mm のガイドリングを設置した条件では混合時間に変化は見られなかった。これは、高さ 55 mm のガイドリングを設置した条件では、パイプ番号 6 番の領域における流速が、ガイドリングを設置しない条件とほぼ変わらないためだと考えられる。6 番の領域にほとんど流動が無いため混合が促進されない。それに対して、高さ 60 mm , 65 mm , 70 mm のガイドリングを設置した条件では、設置しない条件と比べると僅かではあるが混合時間が短縮された。混合時間が短縮された要因として、パイプ番号 6 番と 7 番の流速が均一になったことが考えられる。6 番の領域に流動を起こしたことにより混合が促進されたため混合時間が短縮されたと考えられる。

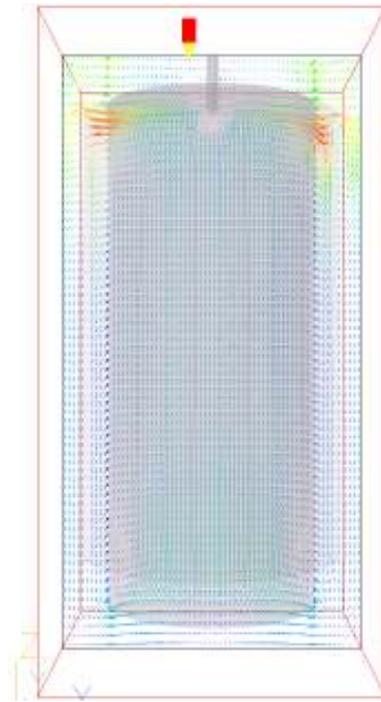


Fig.7 Result of simulation.

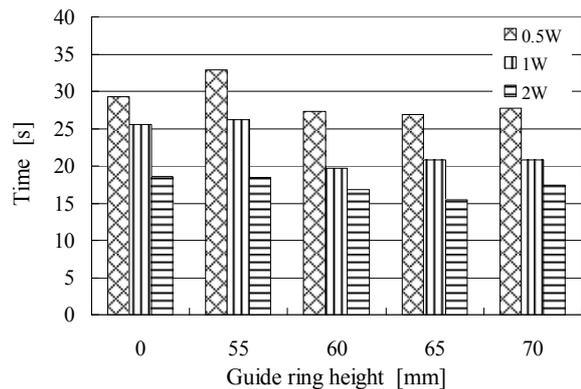


Fig.8 Mixing time.

5. 結論

攪拌槽内の流速分布を均一にするために、ガイドリングを設置し実験を行った結果、以下の知見を得た。

- (1) ガイドリングを設置することにより、攪拌槽内の流速分布を均一にすることができた。
- (2) 攪拌槽内の流速分布を均一にすることで、混合時間が短縮された。
- (3) 浄化槽用攪拌機にも、ドラフトチューブ方式を応用できることが示唆された。

参考文献

- 1) 佐竹化学工業株式会社 攪拌技術 (1992)
- 2) 佐々木, 大岡, 山崎, 野村, 氏家 ドラフトチューブを用いた新方式攪拌機の提案 日本機械学会 第十三期総会講演会講演論文集 (2007・3) P121-122