

# 浄化槽用攪拌機の速度分布に及ぼす翼形状の影響

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をはじめ、薬品、食料品の他あらゆる分野で製造工程の一部として広く利用されてきた<sup>1)</sup>。近年では廃水処理作業においても、攪拌操作が極めて重要な工程となっている。また、プラント設置面積の節約から、直径に対して高さが増大している傾向にあり、従来形の単純な攪拌装置では対応が困難になってきている。廃水処理浄化槽に用いられる攪拌機でも、同様の問題を抱えているが、この場合はさらに次の問題が付加される。浄化槽では一般に微生物を担持する多孔質材料が用いられるが、多孔質物体が粒子状の場合は廃水と共に攪拌層内を循環し、攪拌翼との衝突あるいは粒子同士の衝突によって損傷を受け、寿命の短縮を招く。一方、多孔質物体が管状の場合は、攪拌層全体に配置され、攪拌翼による剪断損傷の不安はなくなるが、管路抵抗の増大や流路の制限によって効率の良い攪拌動作が妨げられる。理想的な攪拌機を考えるならば、低動力で低剪断力にも係わらず、攪拌時間が短く、背高の攪拌層でも十分な攪拌流量が得られ、かつ、攪拌層内の流速分布が一樣(滞留する流体が無い)な装置ということになる。従来常識では、相当に矛盾した要求を並べたように感じられるが、これらに対応すべく、著者らはドラフトチューブを採用した新形攪拌装置を提案してきた<sup>2)</sup>。既報では、従来形攪拌機と比較して、ドラフトチューブ形では背高攪拌層への対応性および攪拌時間の短縮などの優位性を報告しているが、本報では、管状形微生物担体を持つ浄化槽用攪拌機を対象として、槽内速度分布に与える攪拌翼形状の影響について報告する。

## 2. 実験装置

図1に実験装置の概要を示す。実験装置は大きく分類すると攪拌部と測定部に分けられる。攪拌部は攪拌槽、ドラフトチューブ、パイプ、天板、攪拌翼、可変速モータ、リフトから成る。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、PCから構成される。

### 2.1 攪拌部

攪拌部の詳細を図2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。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、天板、パイプは攪拌特性を評価しやすいようアクリル材

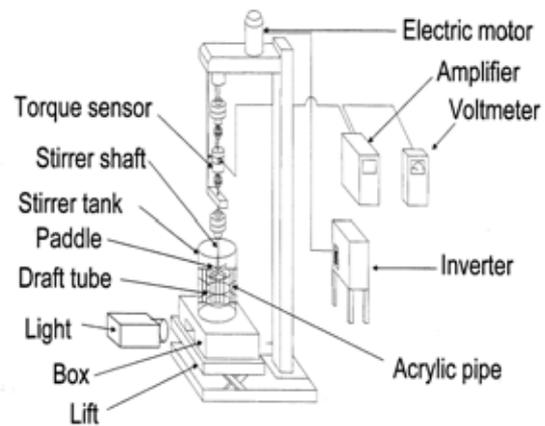


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

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る。攪拌翼を図 3 に示す。黄銅製であり、ドラフトチューブと同径まではフラットで、ドラフトチューブと攪拌槽の間の上部にあたる部分を可変とし下向きの流速を増加するよう工夫した。リフトは攪拌翼とドラフトチューブの間隔を調整するために使用する。

## 2.2 測定部

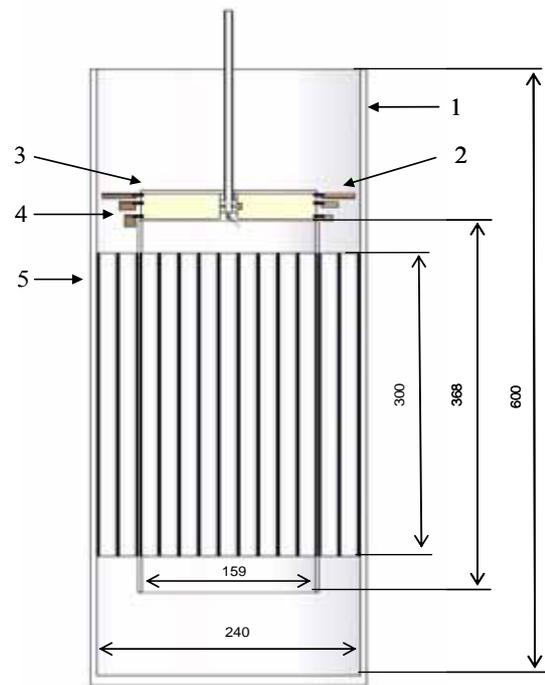
攪拌動力測定は、ひずみゲージ式トルクセンサを用いた。流速測定手法の概要を図 4 に示す。流速測定では、ハロゲンライト、ビデオカメラ、PC を用いレーザー粒子の移動速度を求めた。

## 3. 実験方法

本研究では、実験パラメータに攪拌動力を採用した。水のような低粘度流体を扱う場合、攪拌動力は、約  $100 \text{ W/m}^3$  と言われている。本実験の攪拌水量は水位 480 mm で 20 L 強であり、おおよそ 2 W 程度と見積もられる。この場合、攪拌トルクは極めて小さく、軸受け等の摩擦抵抗を無視できない。そのため、攪拌装置を空転させ、装置の軸受け抵抗のトルクを予め測定し、攪拌実験時の実測トルクから差し引いた値を攪拌トルクとした。

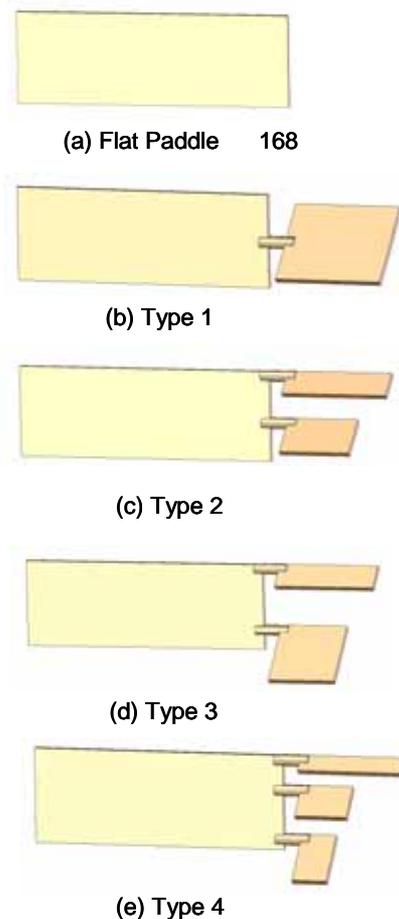
実験手順は、攪拌槽に規定量の水をためて、攪拌翼の種類、攪拌軸の回転速度など、実験の各パラメータを設定した後、攪拌軸を回転させ流体を攪拌する。本研究では攪拌動力を 0.5 W、1 W、2 W とし、混合速度および流速分布を比較した。

混合速度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。最初に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色が完全に無色透明になるまでの時間を計る。チオ硫酸ナトリウムの入れ方により大きく混合時間が変わるために一定時間で均一にチオ硫酸ナトリウムを投入できる装置を製作・使用した。



1: tank 2: Draft tube 3: Ceiling plate  
4: Agitation blade 5: Pipe

Fig. 2 Part of agitation.



(e) Type 4

Fig. 3 Agitation blade.

流速測定は光が導かれたアクリルパイプのみがビデオカメラに映るよう実験は暗室で行った。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、鏡により反射させ、攪拌槽の下部からアクリルパイプへ導いた。流速はビデオカメラによりポリプロピレン粒子が移動した一定距離を時間で除して算出した。測定位置は、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。

#### 4. 実験結果および考察

種々の攪拌翼の混合時間、流速を比較するにあたり、全ての条件で一定の攪拌動力で比較するために攪拌動力に対する回転速度を調べた結果を図 5 に示す。図 5 から、0.5 W になるときの回転速度は 55 ~ 63 rpm、1 W では 70 ~ 82 rpm、2 W では 92 ~ 104 rpm になることがわかる。回転速度の違いは、攪拌翼の端の形状が異なるため、攪拌トルクが変化したためである。この中で、フラットパドルは翼面積が最小のため、回転速度は最大となっている。

図 6 に流速測定結果を示す。図 6 (a) (b) (c) (d) (e) はそれぞれ攪拌翼形状 Flat Paddle  $\phi 168$  mm, Type1, Type2, Type3, Type4 とした場合のアクリルパイプ番号に対する流速を示す。副変数として攪拌動力を用いた。流速は鉛直上方を正とし、下方を負とした。この場合、ドラフトチューブはアクリルパイプ番号 5 番と 6 番の間に設置されている。図 6 (a) より、攪拌流体はドラフトチューブ内側では、鉛直上方に流れ、流速はほぼ一定であることがわかる。0.5 W、1 W、2 W を比較すると動力が大きくなるにつれ、流速は速くなっている。ドラフトチューブ外側では、下方に流れており、外側の流速が速くなっていることがわかる。これは、流体が攪拌翼により遠心方向に吐出されているためアクリルパイプ 6 番より外側の 7 番に多く流れこむため

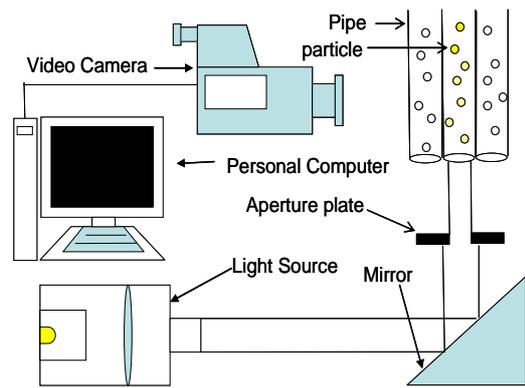


Fig. 4 Schematic of flow velocity measurement

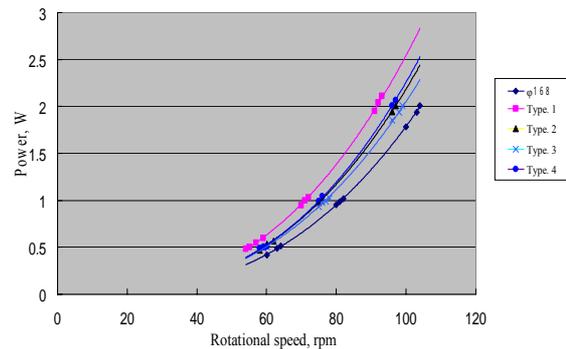


Fig. 5 The relation between rotational speed and

ある。本研究の課題はここにある。攪拌翼の形状を変化させることにより浄化用攪拌槽内に一樣流を作り出すことができると考えた。図 6 (b) の場合は攪拌翼のパイプ番号 6 番、7 番の上部にあたる部分を 45° 傾けることで、6 番、7 番に一樣な流れを作り出すことを試みた。1 番から 5 番の流速はほぼ一定になったが、6 番の流速に比べて 7 番の流速が速くなった。これは、流速の鉛直下向き成分より遠心方向成分の方が大きいため、流体が 6 番より 7 番に流れ込むためだと考えられる。図 6 (c) の場合は、パイプ番号 7 番の流速を遅くすることができると考え、攪拌翼のパイプ番号 6 番の上部にあたる部分の面積を減らした。図 6 (b) と(c) を比べると、6 番の流速は速くなったが、6 番と 7 番の速度差は歴然である。これも、流速の鉛直下向き成分より遠心方向成分の方が大きいためであることと、パイプ番号 6 番上部でよどみ領域があるためだと考えられる。図 6 (d) は、パイプ番号 6 番上部のよどみ領域を無くすために、その上部にあ

る攪拌翼の面積を増やし、よどみ領域を生成しない形状にした。図 6 (d) を見ると、6 番の流速は図 6 .(c) とさほど差はないが、7 番の流速が遅くなり 6 番と 7 番の速度差が小さくなった。図 6 .(e) では、さらに 6 番と 7 番の速度差を小さくするため、6 番上部にあたる攪拌翼の面積をさらに増やし、7 番上部にあたる面積をさらに減らした。図 6 .(e) を見ると、パイプ番号 6 番と 7 番の速度差はかなり小さくなった。

攪拌翼形状 Flat Paddle φ168 mm ,Type1 , Type2 , Type3 , Type4 に対する混合時間測定の結果を図 .7 に示す。Flat Paddle が最小となり混合時間だけを評価するなら最良となる。しかし、図 5 より、Flat Paddle は他の攪拌翼と同じ攪拌動力の場合、回転速度が速く、他の翼形状の場合よりせん断力が大きいことが考えられる。微生物を取り扱う浄化槽用攪拌機の場合、せん断力は小さい方が好ましいため、Flat Paddle が最良とは言い難い。その他では、いずれの翼形状でも大きな差は認められないが、Type4 が僅かではあるが短縮されている傾向であることがわかる。よどみ領域を無くしたことが混合時間の短縮につながった。このことから、攪拌槽内において均等な流速分布を作り出すことが混合時間の短縮に寄与すると考えられる。

## 5. 結論

攪拌翼形状を変えて流速測定、混合時間測定を行った結果、以下の知見を得た。

- 1) パイプ番号 6 番上部にあたる攪拌翼の面積を増やし、7 番上部にあたる面積を減らすことで 6 番、7 番の速度差が短縮される。
- 2) パイプ番号 6 番上部のよどみ領域を無くすることで 6 番、7 番の速度差が短縮される。
- 3) ドラフトチューブを採用した攪拌装置が排水処理浄化槽用にも有用であることがわかった。

## 参考文献

- 1) 佐竹化学工業株式会社 1992 攪拌技術
- 2) 大岡・山崎・野村・氏家 2005 学術講演会 機械部会 講演概要

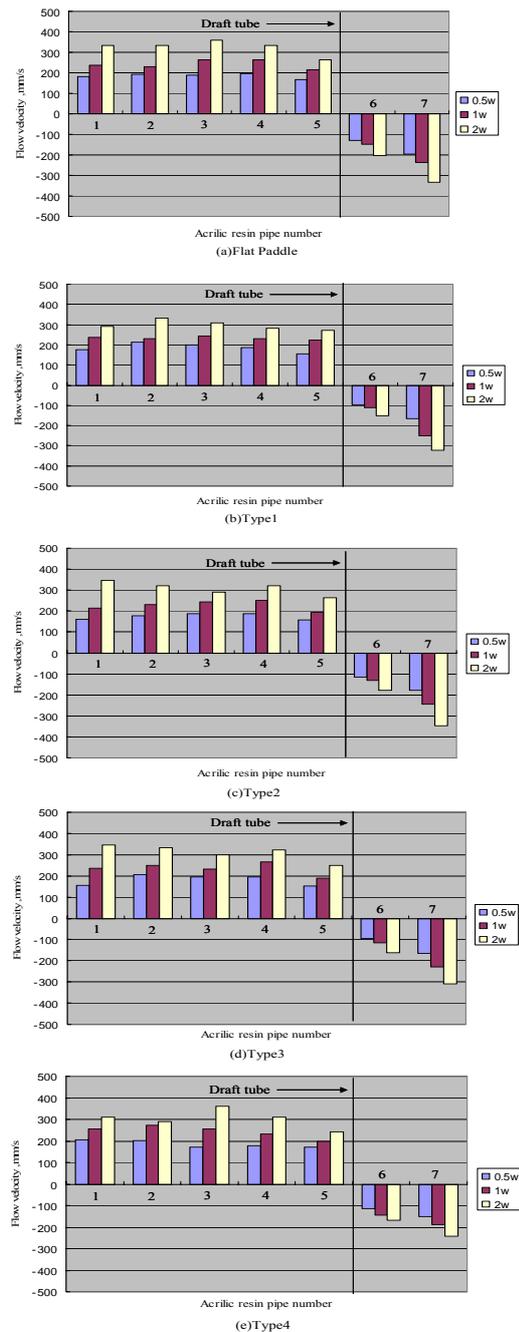


Fig. 6 Flow velocity distribution.

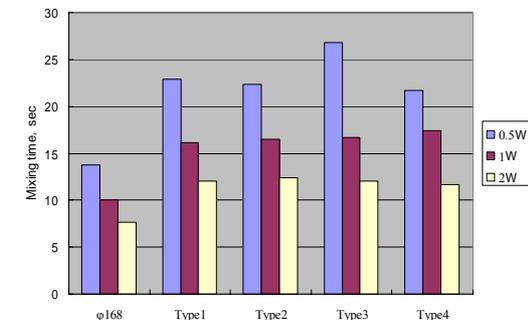


Fig. 7 Mixing time for agitation blades.