

浄化槽用攪拌機内の流速分布に及ぼすガイドリング形状の影響

日大生産工（院） ○大竹 敦史 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，食料品分野，薬品分野など広範な分野で用いられ，重要な工程の一つとなっている¹⁾。近年では，排水処理分野などでバイオ技術が利用されており，バイオリアクタにおいて攪拌操作が注目を浴びている。しかし，種々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。そこで著者らは，ドラフトチューブ方式攪拌機を提案してきた。ドラフトチューブの特徴は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。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に槽内の流速分布の不均一性という欠点がある。過去の研究より，ドラフトチューブ外側の流速分布は槽上部にガイドリングを設置することで，ドラフトチューブ外側の流速を制御することができた²⁾。しかし，ドラフトチューブ内側の流速分布は不均一のままである。そこで本研究では，攪拌槽下部にガイドリングを設置し上部ガイドリングと組み合わせることでドラフトチューブ内壁近傍に適度な流れを導き，攪拌槽内の流速分布均一化を試みた。本報では，攪拌槽内の流速分布に及ぼすガイドリング形状の影響について得られた知見を述べる。

2. 実験装置

Fig.1 に実験装置の概要を示す。実験装置は攪拌装置部と測定部からなる。攪拌装置部は攪拌槽，ドラフトチューブ，上部ガイドリング，下部ガイドリング，アクリルパイプ，攪拌翼，天板，油圧リフト，可変速モータから構成される。

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，PC から構成される。

2.1. 攪拌装置部

Fig.2 にドラフトチューブ方式を採用した浄化槽を模擬した攪拌槽詳細を示す。攪拌槽は内径 240 mm，外径 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 の円筒形で黄銅製のバンドと金具で攪拌槽に固定した。攪拌槽上部の拡大図を Fig.3 に示す。微生物の担持を想定したアクリルパイプは内径 16.5 mm，外径 18 mm，高さ 300 mm の円筒形で攪拌槽内に隙間無く設置した。また，パイプには番号を付け，攪拌槽の中心から外側に向かって 1 番から 7 番とした。上部ガイドリングはアクリルパイプ上部の位置でパイプ番号 6 番と 7 番の間に設置し，ガイドリング高さは過去の研究において良好な結果が得られた 60 mm，65 mm のものを用いた。これ

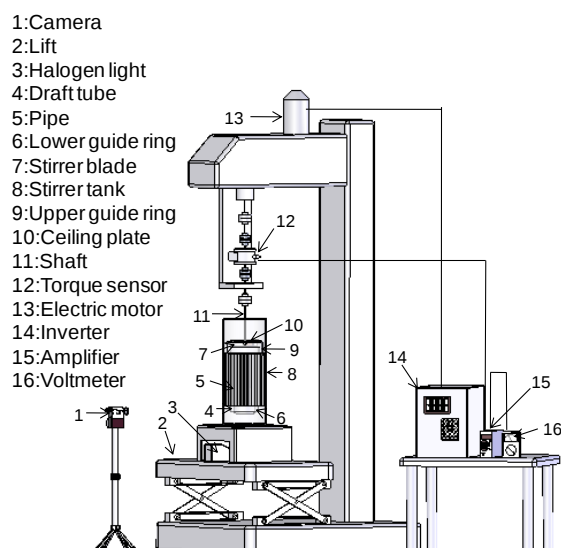


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

Shape Effect of Guide Ring on Flow Velocity Distribution in Stirrer for Septic Tank

Atsushi OOTAKE, Hiroshi YAMASAKI, Hiroshi NOMURA and Yasushige UJIIE

ら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 60 % , 約 80 % に相当する。また、Fig.4 に下部ガイドリングの詳細を示す。下部ガイドリングはパイプ下部の位置でパイプ番号 4 番と 5 番の間に設置し、高さは 40 mm , 50 mm , 60 mm のものを用いた。

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。攪拌翼が受ける反トルクを測定し、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、浄化槽用攪拌機にドラフトチューブ方式を採用し、下部ガイドリングを上部ガイドリングと組み合わせて設置した場合の槽内の流速分布および混合時間におよぼす効果に着目した。攪拌流体は水とし、実験パラメータは攪拌動力を採用している。水のような低粘度流体を扱う場合、動力は約 100 W/m^3 と言われている。本実験の攪拌水量は水位 480 mm (約 20 ℓ 程度) であり、動力はおおよそ 2 W 程度と見積もられる。よって、本研究では攪拌動力を 0.5 W , 1 W , 2 W とした。

3.1. 流速測定

Fig.5 に流速測定方法を示す。槽内にトレーサー粒子を投入し、光源であるハロゲンライトから鏡、アパーチャーを介して一本のパイプにのみ光を導き、トレーサー粒子の動向をビデオカメラにて撮影する。この手順で 1 番から 7 番までのパイプを撮影し、その映像により流速を測定する。以後の測定位置はアクリルパイプ番号で示す。

3.2. 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ボ法を採用し、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を行う。その後、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する。

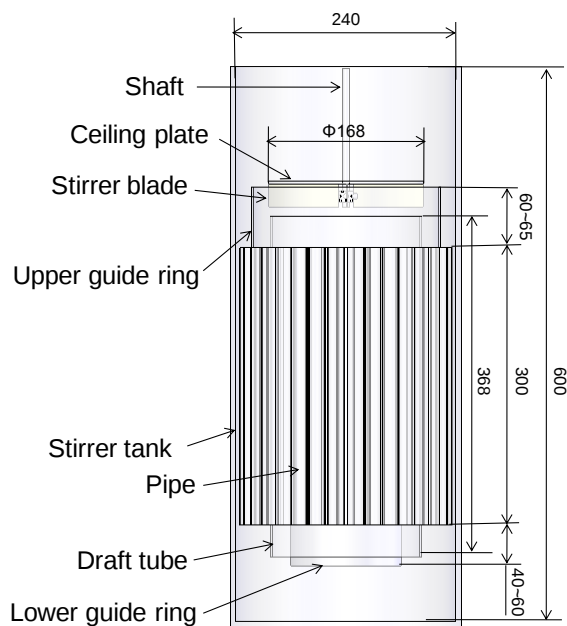


Fig.2 Detail of stirrer tank

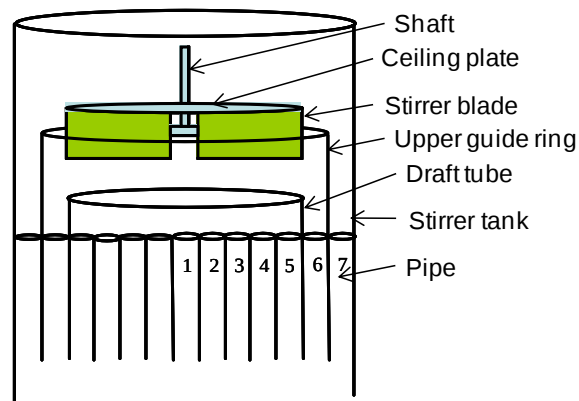


Fig.3 Extended figure of upper stirrer tank

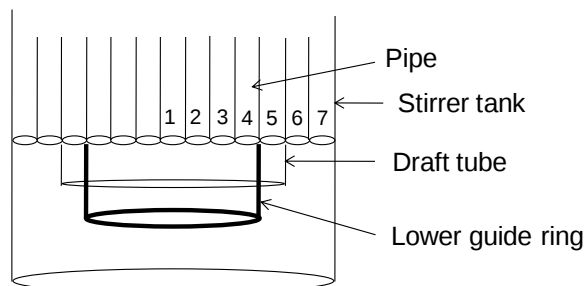


Fig.4 Extended figure of lower stirrer tank

3.3. 数値解析手法

以上の実験とともに、3 次元汎用熱流体解析ソフトウェア CHAM 社 PHOENICS Ver3.6.1 を使用して攪拌槽内の流動状況を調べ、実験結果と比較した。計算領域は本研究で用いる攪拌槽と同寸法とする。計算格子は三次元直交格子、乱流モデルは単純 $k-\epsilon$ モデル、タイムステップは 57.14 ms , 繰り返し回数は 50 回、計算格子数は

X, Y, Z 方向に 76, 76, 54 とした。

4. 実験結果及び考察

4.1. 流速測定

攪拌槽内にドラフトチューブ、パイプ及びフラットパドルを設置した場合の流速測定結果を Fig.6 に示す。これは基準となる条件である。この場合、ドラフトチューブ外側の領域の流速差が大きく、ドラフトチューブ内側では 5 番の流速が遅いことが確認できる。これらを解消し、槽内の流速分布を均一にするため上部及び下部ガイドリングを設置した。

PHOENICS による解析結果を Fig.7 に示す。Fig.7 (a)および(b) とともに攪拌槽内の一部を拡大した結果である。(a) は上部ガイドリング 65 mm , 下部ガイドリング 40 mm を設置の結果であり、(b) は上部ガイドリング 60 mm , 下部ガイドリング 40 mm を設置の結果である。(a) は 6 番の流速が増速し、5 番の流速も 4 番の流速に近づいていることがわかる。このことより上下にガイドリングを設置することが、流速分布均一化に有用であることが示唆された。また、(b) は(a) と異なり、5 番は増速しているが、6 番の流速が遅くなっている。これは上部ガイドリングの高さが少し低いため、6 番への流入量が少ないと考えられる。解析結果では上部ガイドリング 65 mm , 下部ガイドリング 40 mm の条件が最も良好な結果となった。

以上を考慮し、実験を行った。Fig.8 に実験における上部および下部ガイドリングを設置した場合の槽内の流速分布が均一に近くなった結果を示す。Fig.8 (a) は上部ガイドリング 65 mm , 下部ガイドリング 40 mm を設置の結果であり、(b) は上部ガイドリング 60 mm , 下部ガイドリング 40 mm を設置の結果である。Fig.8 (a) よりドラフトチューブ外側の流速はほぼ均一となっているが、ドラフトチューブ内側の流速は均一にならなかった。4 番, 5 番の流速はほぼ均一になったが、1 番～3 番の流速と比較すると明らかに遅いことが確認できる。Fig.8 (b) では 5 番の流速が速くなり、槽内の流速分布が最も均一に近くなる結果となった。(a) と(b) は上部ガイド

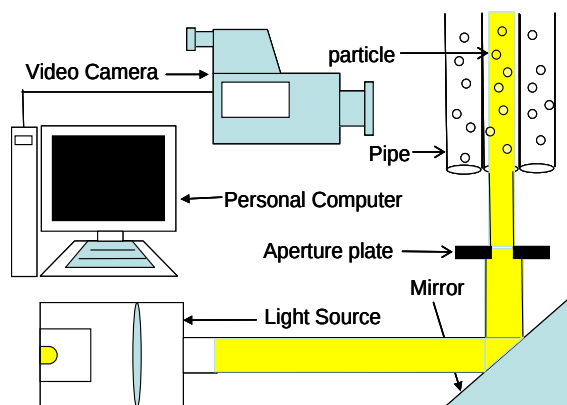


Fig.5 Schematic of flow velocity measurement

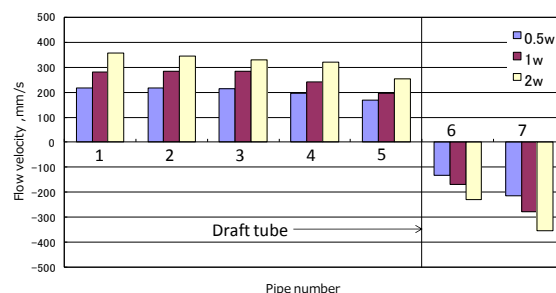
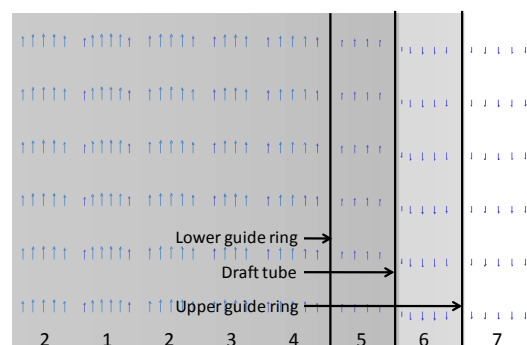
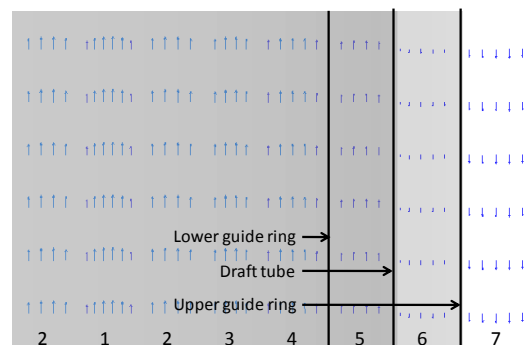


Fig.6 Flow velocity distribution of standard model



(a) Draft tube with upper guide ring of 65 mm height and lower guide ring of 40 mm height



(b) Draft tube with upper guide ring of 60 mm height and lower guide ring of 40 mm height

Fig.7 Analysis result of velocity distribution

リングの高さが違うだけだが、(b) の条件では槽内の流速分布がほぼ均一となった。これは上下のガイドリング高さのバランスによるものであ

ると考えられる。また、下部ガイドリング 60 mm を設置した場合、5 番の流速は速くなったが、4 番の流速が極端に遅くなった。これは下部ガイドリングの高さが高すぎたため、流体が 4 番にわずかししか流入せず 5 番により多くの流体が流入したと考えられる。下部ガイドリング 50 mm を設置した場合、5 番の流速は速くなったが、流速分布の均一化にはならなかった。上部ガイドリング 65 mm と組み合わせた結果、1 番～3 番と 4 番、5 番との間において流速差が生じる結果となった。以上の結果より、攪拌槽内の流速分布において、上部ガイドリング 60 mm と下部ガイドリング 40 mm を設置した場合が均一な流速分布に最も近い状態となった。したがって、下部ガイドリング 40 mm を設置の場合が 4 番への流体の流入を妨げることなしに、5 番へも流体を流入させることができる適切な高さであるといえる。これは、攪拌槽底面からドラフトチューブ下面までの高さの約 20 % に相当する。

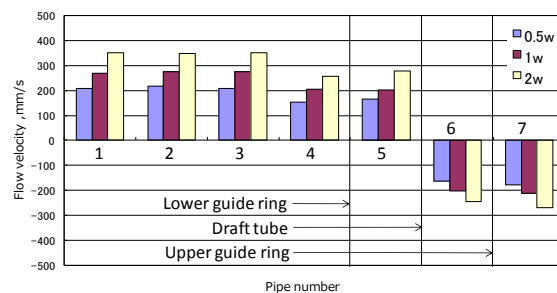
4.2. 混合時間測定

流速分布均一化に最も有効であった下部ガイドリング高さ 40 mm を一定として、上部ガイドリング高さを変更して混合時間を測定した結果を Fig.9 に示す。上部ガイドリングを設置しない場合に比べ、ガイドリングを設置した場合、わずかではあるが混合時間が短縮された。特に、実験で流速分布均一化に最も近づいた上部ガイドリング高さ 60 mm と組み合わせることで、最少な混合時間が得られた。この場合、全ての流路の流速が等しくなったため、混合が促進されて混合時間の短縮となったと考えられる。

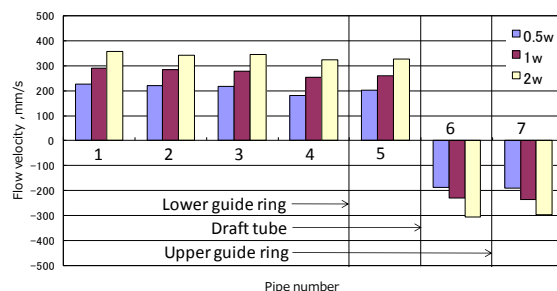
5. 結言

攪拌槽内の流速分布均一化を図るために、上部ガイドリングと下部ガイドリングを組み合わせた結果、以下の知見を得た。

- (1) 上部ガイドリングに下部ガイドリングを組み合わせるにより、均一な流速分布が生成された。また、本実験の範囲では上部ガイドリングは攪拌翼高さの約 60 %，下部ガイドリングは攪拌槽底面からドラフト



(a) Draft tube with upper guide ring of 65 mm height and lower guide ring of 40 mm height



(b) Draft tube with upper guide ring of 60 mm height and lower guide ring of 40 mm height

Fig.8 Experimental result of velocity distribution

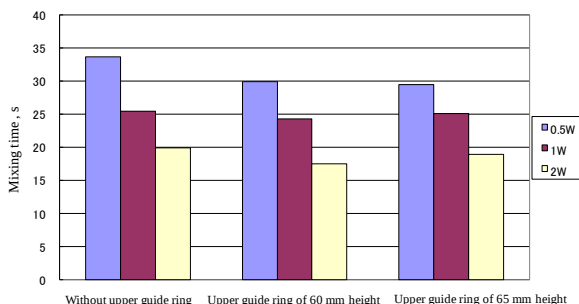


Fig.9 Effect of upper guide ring height on mixing time (lower guide ring height=40 mm)

チューブ下面までの高さの約 20 % に相当する高さであった。

- (2) 均一な流速分布を生成することは、混合時間の短縮に寄与することが示された。
- (3) 背高の浄化槽用攪拌機において、ドラフトチューブ方式の有用性が示唆された。

参考文献

- 1) 佐竹化学機械工業株式会社 攪拌技術 (1992)
- 2) 大竹, 山崎, 野村, 氏家 浄化槽用攪拌機内流れに及ぼすガイドリングの影響 日本機械学会 2008 年度年次大会講演論文集(2) (2008・8) P121-122