

# 双曲面形攪拌機 PABIO Mix I 型（高効率）の建設技術審査証明取得

## High Efficiency Type I PABIO Mix Hyperboloid Mixer Obtains Construction Technology Review and Certification



長谷川健太\*  
Kenta Hasegawa



一色圭佑\*  
Keisuke Isshiki  
工学博士



井尻智之\*  
Tomoyuki Ijiri  
技術士（上下水道部門）



林 広高\*  
Hiroataka Hayashi

PABIO Mix は双曲面形状をした低動力で維持管理性に優れた攪拌機で、下水処理場の反応タンクの攪拌に使用される。本装置は、攪拌に必要な動力が小さく、設置やメンテナンスが容易なことが評価され、2011年に攪拌翼が一体構造のI型の建設技術審査証明を取得している。2018年には、開口部の大きさに制限のある既設反応タンクに設置可能な、攪拌翼が分割構造のII型の建設技術審査証明を追加で取得している。

今回、I型の攪拌翼形状を改良して、攪拌効率を向上させた「I型（高効率）」を実用化し、その建設技術審査証明を取得したので、紹介する。

The PABIO Mix is a hyperboloid mixer for mixing reaction tanks at sewage treatment plants. The product is recognized for requiring low power to mix fluids and being easy to install and maintain. In 2011, Type I, which has a single-body structure obtained Construction Technology Review and Certification. Similarly, Construction Technology Review and Certification was obtained in 2018 for a Type II, which has a split structure and can be installed in existing reaction tanks that only have a small opening.

In this article, we introduce a new high efficiency Type I, which is more efficient than the original Type I owing to an improved impeller structure, and the contents of its Construction Technology Review and Certification.

### Key Words :

下 水 処 理	Sewage treatment
高 度 処 理	Advanced sewage treatment
攪 拌 機	Mixer
低 動 力	Low power

### 【セールスポイント】

- ・特徴的な双曲面形状の低動力攪拌機である。
- ・高効率型では従来型に比べ、さらに低動力で反応タンクの攪拌ができる。
- ・駆動装置がタンク上部にあるため、保守・点検が容易である。

## まえがき

近年、閉鎖性水域のさらなる水質改善や処理水の再利用のため、下水の高度処理化が進められている。下水道法では閉鎖性水域の水質環境基準の達成のため、流域別下水道整備総合計画等に、終末処理場ごとに放流水に含まれる窒素やリンの削減目標および削減方法を定めることが義務付けられている。このことから、高度処理化の流れはさらに加速するものと考えられる。また、地方公共団体等の事業活動にともなう温室効果ガス排出量の中でも大きな割合を占めている下水道事業についてはCO<sub>2</sub>の削減が求められており、低動力な水処理機器のニーズは高まっている。

そのような背景のなか、当社は下水処理場の反応タンク（嫌気槽・無酸素槽）用機器として、低動力で維持管理性に優れる双曲面形攪拌機 PABIO Mix を保有し、下水処理の低動力化に貢献してきた。PABIO Mix には、攪拌翼が一体型である I 型に加え、開口部の大きさに制限のある既設反応タンクにも設置できる、分割型（II 型）がある。今回、低動力ニーズの高まりに応じ、I 型の攪拌翼形状を改良し攪

拌効率を向上させた、I 型（高効率）を開発し、建設技術審査証明を取得した。

## 1. 用途

PABIO Mix は反応タンク（嫌気槽、無酸素槽）の活性汚泥混合液を混合・攪拌する攪拌機であり、水深 7 m 以下の標準槽と、7 m を超える深槽のどちらの攪拌にも用いられる。

## 2. 構造・仕様

### 2.1 装置の概要

本装置の構成は、主に駆動装置、シャフト、攪拌翼であり、I 型、I 型（高効率）、II 型の全てで共通である。装置構成を図 1、2 に示す。

#### 2.1.1 駆動装置

駆動装置は、水上部に設置されており維持管理が容易である。据付は、駆動装置ベースプレートと架台の間に防振装置を設置する。防振装置は、始動時の衝撃吸収と、運転時の振動吸収を行うためのものである。

#### 2.1.2 シャフト

シャフトは、ステンレス製で優れた耐食性と耐久性を有する。シャフトと攪拌翼の接続はフラン

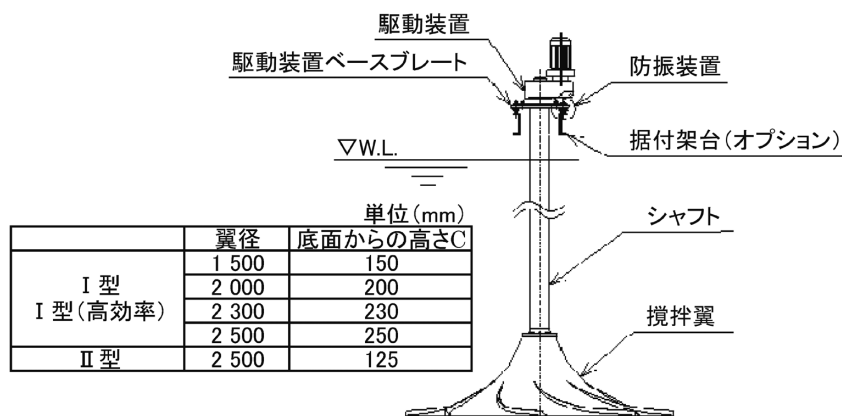


図 1 装置構成（標準槽）

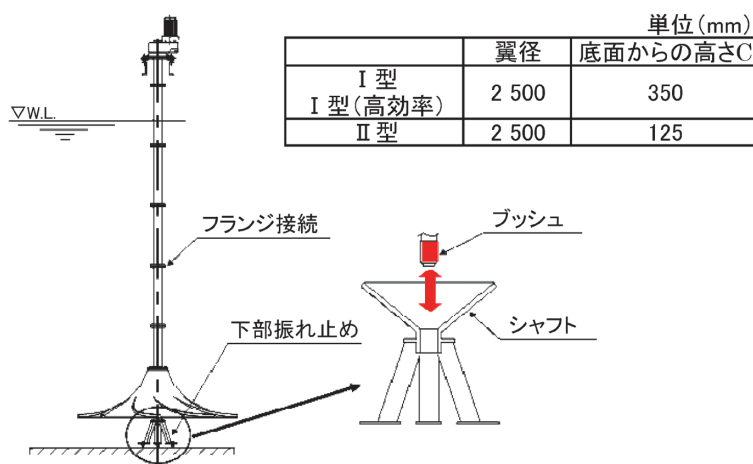


図 2 装置構成（深槽）

ジ接続である。深槽の場合は、シャフトが長い  
ため、フランジ接続にてシャフトを分割する。

### 2.1.3 攪拌翼

攪拌翼は、FRP 製で一体型の I 型・I 型（高効率）  
とジシクロペンタジエン（DCPD）製で分割型の  
II 型の 2 種類があり、いずれも優れた耐食性と耐  
久性を有する（表 1）。翼形状は双曲面形で、翼上  
面には突起が設けられている。翼の回転により、  
この突起が水に外向きの力を与え、攪拌翼に沿っ  
た流れを加速する（図 3）。反応タンク内の攪拌に  
おいて、底部流速 0.1 m/s 以上を確保することは、  
活性汚泥の沈殿を防止するために必要不可欠であ  
る。双曲面形状は、効率よく槽底部に回転方向の  
流れを生成させる。さらに、PABIO Mix は槽底部  
での低速回転により底部流速を確保できるため、  
必要な攪拌動力が小さくなる。攪拌動力は下記の  
式<sup>1)</sup>によって計算される。

$$P \div K \times \rho \times n^3 \times d^5$$

ここに、P : 攪拌動力 [W]

K : 定数 [-]

$\rho$  : 液密度 [kg/m<sup>3</sup>]

n : 回転数 [sec<sup>-1</sup>]

d : 攪拌翼径 [m]

回転方向に応じて翼上部の突起が時計回り  
と反時計回りの 2 種類の攪拌翼があり、攪拌機と流  
入流出口の位置関係に応じて使い分ける。

#### 1) I 型, I 型（高効率）

一体型で FRP 製の攪拌翼である。土木開口が大  
きい場合に用いる。攪拌翼の大きさ（直径）は、  
1 500 mm, 2 000 mm, 2 300 mm, 2 500 mm の 4  
種類があり水槽条件に応じて使い分ける。

なお、審査は直径 2 500 mm の攪拌翼にて実施し、  
確認したものである。

#### 2) II 型

分割型で DCPD 製の攪拌翼である。分割搬入し  
て槽内で組み立てられるため、土木開口が小さく  
槽内への搬入が困難な場合に用いる。攪拌翼の大  
きさ（直径）は、2 500 mm の 1 種類である。

### 3. I 型（高効率）の攪拌性能（標準槽）

攪拌性能（標準槽）の確認方法としては、実測  
と流体解析によって行う。流体解析には CFD  
（Computational Fluid Dynamics : 数値流体力学）解  
析を用いる。まず、実稼働中の D 浄化センターの  
設備において、底部流速が 0.1 m/s 以上であること  
を確認する。次に、この設備をモデルとして流体  
解析を行い、流速測定結果と流体解析の結果を比  
較することで、精度の確認を行う。さらに、開発  
目標の条件で流体解析を行い、底部流速が 0.1 m/s  
以上であることを確認する。

#### 3.1 実測による確認

実測を行う D 浄化センターの測定水槽形状（縦  
横比 1 : 1.6, 水深 6.6 m, 容量 600 m<sup>3</sup>）と測定点  
を図 4 に示す。底部流速が 0.1 m/s 以上であること  
を確認するとともに、MLSS 濃度の深さ方向分布  
を測定し、均一性を確認する。

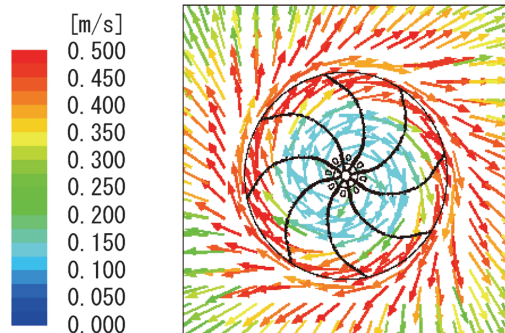


図 3 ベクトル線図

表 1 I 型, II 型, I 型（高効率）の比較

装置構成		I 型	II 型 同一 (図 1, 図 2 参照)	I 型（高効率）
攪拌翼	外観			
	構造	一体型	分割型（8 分割）	一体型
	材質	FRP	DCPD (シャフト取合部 FRP)	FRP
	翼径 (mm)	$\phi$ 1500, $\phi$ 2000 $\phi$ 2300, $\phi$ 2500	$\phi$ 2500	$\phi$ 1500, $\phi$ 2000 $\phi$ 2300, $\phi$ 2500

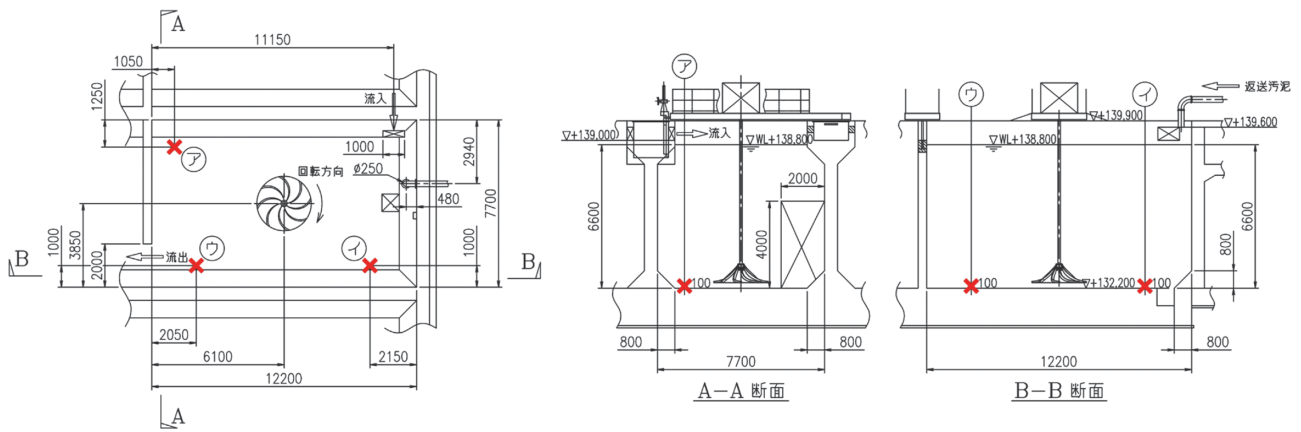


図4 D浄化センター 測定水槽形状および測定点

表2 流体解析入力条件

		ケース1	ケース2	
槽寸法	幅	m	7.7	5.3
	長	m	12.2	16
	水深	m	6.59	6
槽縦横比	—	1:1.6	1:3	
槽容量	m <sup>3</sup>	600	488	
流入量	m <sup>3</sup> /hr	449	0	
返送汚泥量	m <sup>3</sup> /hr	383	0	
MLSS濃度	mg/L	2 000※	5 000	
粘度	mPa・s	4.1	10.2	
密度	kg/m <sup>3</sup>	1 001	1 002	
攪拌機回転数	min <sup>-1</sup>	13	14	
備考		精度確認 (D浄化センターの 実測値を基に設定)	開発目標 (最大長辺長さ 最大槽容量 最大縦横比 最大槽水深)	

※D浄化センターのMLSS濃度実測値は変動があるため、実測値に近い値である2 000 mg/Lを入力条件に採用した。MLSS濃度が実測値範囲の場合においても、密度は表2と同じ値となる。

### 3.1.1 底部流速

#### 1) 測定方法

底部流速は、3次元電磁流速計で実測する。流速測定は、各測定箇所について、1秒間隔で5分間記録する。記録した3成分の流速データ (V<sub>xt</sub>, V<sub>yt</sub>, V<sub>zt</sub>) の1秒ごとの合成流速の5分間平均値Vが0.1 m/s以上であることを確認する。

$$\text{合成流速: } V(\text{m/s}) = \frac{\sum_{t=0}^{300} \sqrt{V_{xt}^2 + V_{yt}^2 + V_{zt}^2}}{300}$$

攪拌機の回転数は13 min<sup>-1</sup>とする。

#### 2) 測定箇所

図4に示す㊦, ㊧, ㊨の3箇所を底部より100 mm上の流速を測定する。

### 3.1.2 攪拌動力密度

#### 1) 測定方法

攪拌動力密度は、クランプ式電力計を用いて消費電力を測定し、水槽容量で除して算出する。測定は、電動機1次側の電源ケーブルに電力計を設置して、消費電力量を1秒間隔で1分間記録し、1分間平均値を水槽容量で除して攪拌動力密度を算出し、2 W/m<sup>3</sup>以下であることを確認する。

#### 2) 測定箇所

攪拌機の電動機1次側を測定する。

### 3.1.3 MLSS濃度

#### 1) 測定方法

MLSS濃度は、汚泥濃度計を用いて測定する。測定は、10秒間隔で1分間記録し、各地点の1分

間平均値に大きな差がないことを確認して、均一攪拌されていることを確認する。

## 2) 測定箇所

図4に示す㉗, ㉘, ㉙の3箇所で、それぞれ底部より200 mm, 1 100 mm, 2 600 mm, 4 100 mm, 5 600 mmのMLSS濃度測定を行う。

## 3.2 流体解析による確認

### 3.2.1 流体解析の精度確認(ケース1)

流体解析の精度を確認するため、D浄化センターの実測結果と解析結果の比較を行う。流体解析入力条件を表2に示す。

### 3.2.2 開発目標条件における攪拌性能の確認(ケース2)

開発目標条件において流体解析を行い、攪拌動力密度  $2 \text{ W/m}^3$  以下で底部流速が  $0.1 \text{ m/s}$  以上となることを確認する。流体解析入力条件を表2に、開発目標条件の水槽モデルを図5に示す。

開発目標条件の流体解析は流入流出のない条件とする。これは流入流出による流れが加算されることによって本攪拌機の攪拌性能指標である底部流速を過大評価する可能性があるためである。実際の槽では流入流出による流れが生じるが、攪拌機が発生させる流れと打ち消し合わないよう攪拌機の回転方向および攪拌翼上部の突起の向きを決定する。

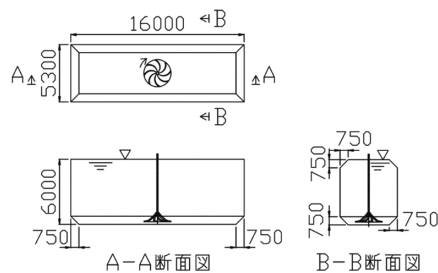


図5 開発目標条件の水槽モデル(ケース2)

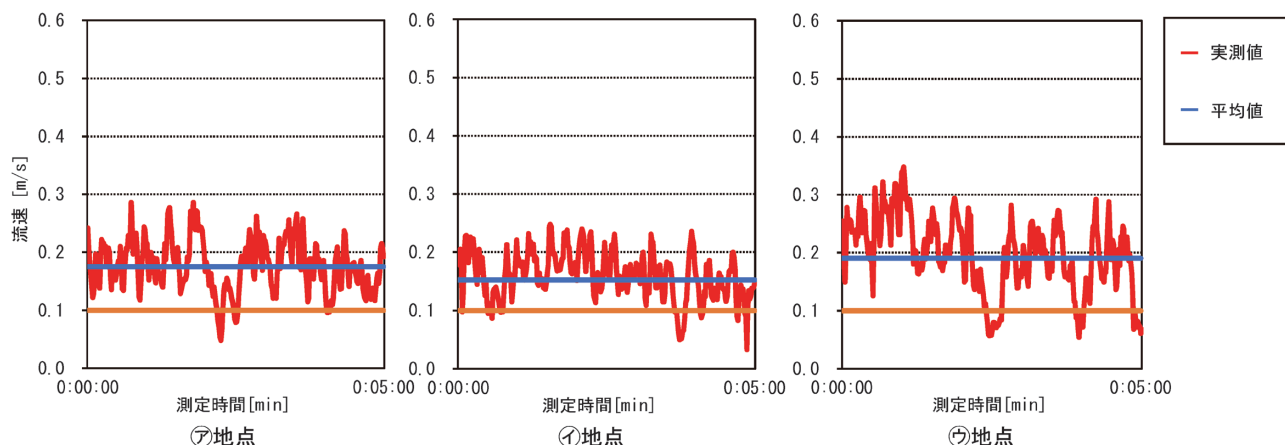


図6 底部流速測定結果(連続データ)

## 3.3 試験結果

### 3.3.1 実測による確認結果

D浄化センターにおける実測での試験結果を以下に示す。

#### 1) 底部流速測定結果

底部流速の測定結果を図6に示す。㉗, ㉘, ㉙の各地点において、平均流速は  $0.1 \text{ m/s}$  以上となったため、底部流速が  $0.1 \text{ m/s}$  以上であることを確認した。

#### 2) 攪拌動力密度結果

消費電力測定結果および攪拌動力密度算出結果を、表3に示す。この結果より、攪拌動力密度は  $2 \text{ W/m}^3$  以下であることを確認した。

#### 3) MLSS濃度測定結果

MLSS濃度測定結果を図7に示す。㉗, ㉘, ㉙の各地点において、深さ方向にMLSSの偏りは見られないため、反応タンク内が均一に攪拌されていることを確認した。また、MLSS濃度が  $5 000 \text{ mg/L}$  以下であることを確認した。

### 3.3.2 流体解析による確認結果

#### 1) 流体解析の精度確認結果

㉗地点における流速の実測値(2回)と流体解析結果の比較を図8に、流体解析による底部流速の平面分布を図9に示す。流体解析結果では各地点の流速が色分けにより示されている。

図8から、流速実測値と流体解析値の線形は近似しており、流体解析値に比べて実測値は安全側となるため、流体解析による性能評価は問題ないことを確認した。

表3 攪拌動力密度測定結果

消費電力 (W)	水槽容量 ( $\text{m}^3$ )	攪拌動力密度 ( $\text{W/m}^3$ )
575	600	0.96

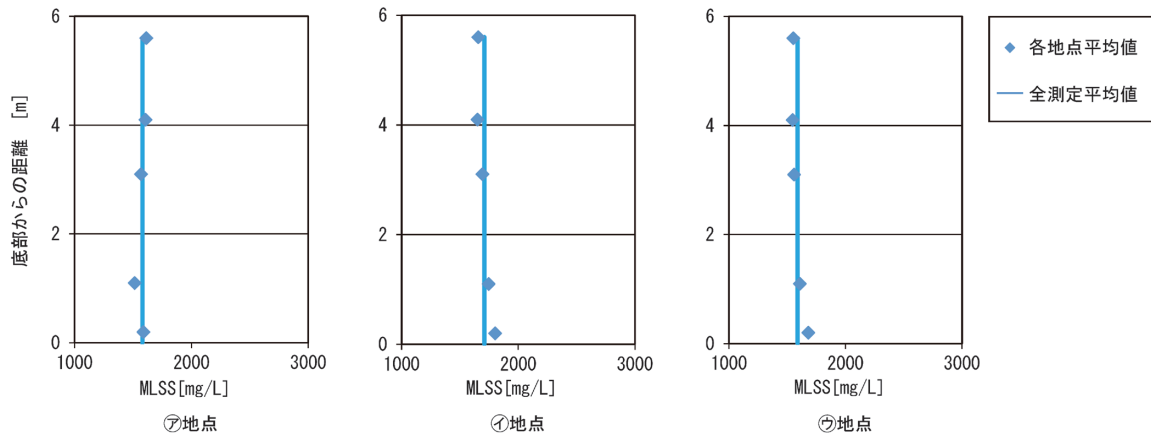


図7 MLSS 濃度測定結果

また、底部流速の実測値と解析値がおおむね一致しており、流体解析の精度に問題がないことを確認した。

開発目標条件（ケース2）における流体解析結果を図10に示す。図10より、中央の攪拌機から距離が離れるほど低い流速となっているが、最も低くなる槽の四隅において底部流速が0.1 m/s 以上と

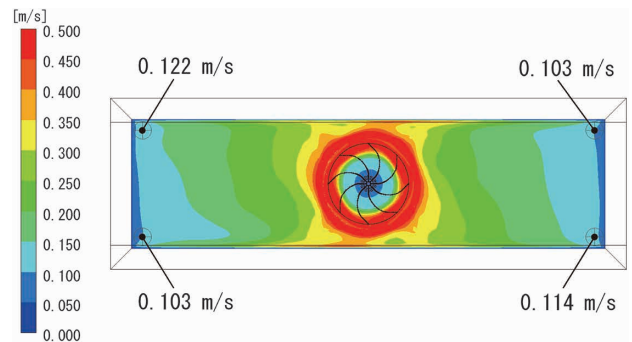


図10 開発目標条件（ケース2）における流体解析結果（底部から100 mm 高さにおける平均流速）

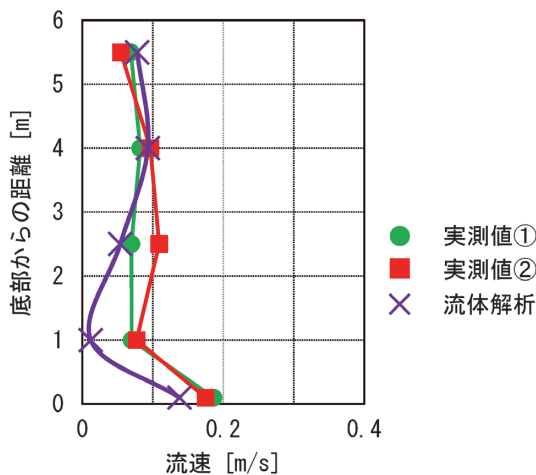


図8 底部流速の実測値と流体解析結果の比較

なることを確認した。この結果から、開発目標条件において、底部流速が0.1 m/s 以上であることを確認した。

#### 4. I 型（高効率）の攪拌性能（深槽）

##### 4.1 審査方法

I 型（高効率）の深槽における攪拌性能を、流体解析により確認する。流体解析は、「3. I 型（高効率）の攪拌性能（標準槽）」で使用したモデルと同じモデルを使用する。図11に示す水槽形状に対して流体解析を行い、攪拌動力密度  $2 \text{ W/m}^3$  以下で底部流速が0.1 m/s 以上となることを確認する。流体解析入力条件を表4に示す。

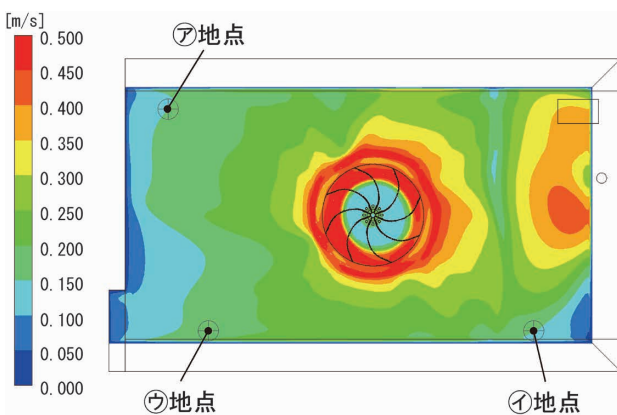


図9 D 浄化センターの条件（ケース1）における流体解析結果（底部から100 mm 高さにおける平均流速）

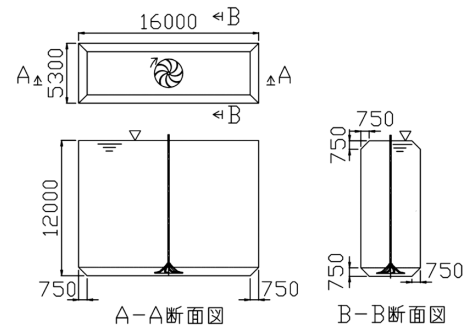


図11 開発目標条件の水槽モデル（ケース1）

表4 流体解析入力条件（深槽）

			ケース 1
槽寸法	幅	m	5.3
	長	m	16
	水深	m	12
槽縦横比	—		1:3
槽容量	m <sup>3</sup>		997
流入量	m <sup>3</sup> /hr		0
返送汚泥量	m <sup>3</sup> /hr		0
MLSS濃度	mg/L		5 000
粘度	mPa·s		10.2
密度	kg/m <sup>3</sup>		1 002
攪拌機回転数	min <sup>-1</sup>		17
備考	開発目標 最大長辺長さ 最大槽容量 最大槽水深 最大縦横比		

## 4.2 試験結果

開発目標条件（ケース1）における流体解析結果について、図12に示す。図10と同様に、図12でも中央の攪拌機から最も離れた、槽の四隅において底部流速が0.1 m/s以上であることを確認した。

この結果から、開発目標条件において、底部流速が0.1 m/s以上であることを確認した。

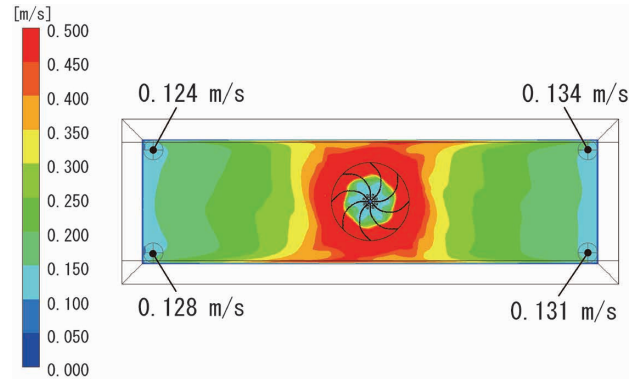


図12 開発目標条件(ケース1)における流体解析結果(底部から100 mm 高さにおける平均流速)

## むすび

PABIO Mix の従来型である I 型の攪拌翼形状を改良して攪拌効率を向上させた I 型（高効率）を開発し、建設技術審査証明を取得した。I 型（高効率）は開発目標条件（表2, ケース2および表4, ケース1）において、底部流速0.1 m/s以上、攪拌動力密度 2 W/m<sup>3</sup>以下、MLSS 濃度5 000 mg/L以下を満たす機器である。

今後、I 型（高効率）の性能を活かし、下水処理における高度処理と省エネ化に貢献していきたい。

### [参考文献]

- 1) 永田進治：新化学工学講座，攪拌機の所要動力，日刊工業新聞社（1957），p33