

1. 開発経緯

1.1 開発の趣旨

近年、下水高度処理において省エネ性と維持管理性に優れた嫌気槽用攪拌機のニーズが高まっている。従来機(水中攪拌機等)は、下水処理に多くのエネルギーを要しており、駆動部が水中部にあるため、保守管理が容易でない等の問題があった。加えて都市部では、好気槽を改築して嫌気用攪拌機を設置することが多く、土木躯体改築期間と撤去コストを要するため、高度処理化の支障となっていた。

本装置は、このような従来の課題を解決する省エネ性と維持管理性および施工性に優れた独自に考案された駆動部槽上型複翼式縦軸攪拌機である。必要な攪拌動力密度は 1 W/m^3 以下であり、従来機の $3\sim 10\text{ W/m}^3$ から大幅な省エネ化を実現している。1000 m^3 水槽の場合、設備償却期間15年間の電力費は200万円(従来機600~2000万円)であり、経済性に優れ、かつ温暖化ガス(CO_2)発生量が、従来機から60~90%削減可能であり、環境負荷低減効果も高い。また、保守維持管理も容易で、従来の水中攪拌機で必要であった2~3年毎のオーバーホールは5年毎でよく、また反応槽の水抜きをせずに、水中攪拌翼の点検が容易にできる。さらに、設置に際して土木改造工事が不要であることから、土木改造コスト及び産廃発生はゼロであり、また、稼働処理設備の工事停止期間を通常3ヶ月間短縮可能である。下水処理施設の高機能化(N、P規制)拡充が望まれる中、今後の改築更新工事において、省エネ性と環境負荷を最小とできる、時代のニーズに応える環境装置である。

1.2 開発目標

既存の下水処理設備等の深槽・標準槽への適用を前提に、以下の開発目標をたて、商品化を達成した。

① 省エネ性

反応タンク底部全域において、滞泥防止に必要な底部流速 0.1 m/s 以上が攪拌動力密度 1.0 W/m^3 以下で得られること。

(適用水深12 m以下、槽容量2000 m^3 以下の反応槽)

② 保守・点検性

日常点検やオーバーホールに関する点検が容易であること。水抜きしなくても攪

拌翼の点検が可能であること。

③ 施工性

更新工事で既存バツフルプレート、散気装置設置梁等の土木躯体を撤去せずに設置が可能であり、底部流速 0.1 m/s 以上が得られること。

1.3 開発経緯

- 2007.3 : 下水処理設備 嫌気槽用攪拌機開発着手
(佐竹化学機械工業(株)共同)
基礎試験(下水向け最適翼の開発)開始
- 2008.5 : 実証試験開始
※2010.3月試験終了まで 連続23ヶ月運転
- 2008.12~2009.2 : 深槽改築更新用途で4台初納入
2008.12 初号機(2台)納入 運転開始
2009.2 2号機(2台)納入 運転開始
- 2009.5 : (財)下水道新技術推進機構 建設技術審査証明 申請
- 2009.7 : 3号機(2台)納入 運転開始
- 2010.2 : 4号機(2台)納入 運転開始
- 2010.3 : (財)下水道新技術推進機構 建設技術審査証明 取得
- 2010.8 : 5号機(4台)納入予定
- 2012.2 : 6号機(6台)納入予定

2. 装置説明

2.1 装置の概要

下水処理の高度化用途の嫌気・無酸素槽用の攪拌機のニーズが高まってきており、数 100 から数 1000 m³ クラスの大容量水槽（水深 5～12 m）を効率的に攪拌できる、下水処理に適した攪拌機が望まれている。本装置は、求められる以下の要件を全て満足する新規開発の攪拌機である。

- ① 大中都市の 2000 m³ 以下、水深 12 m 深槽にも適用可能な、省エネ性に優れた攪拌機であること。
- ② 日常点検・オイル交換が槽上で実施可能で、オーバーホールのための長期間の設備停止が不要であること。
- ③ インペラへのし渣の絡みつきが少なく、また下水処理機能を停止することなく（水抜きせずに）インペラの点検が可能であること。
- ④ 改築更新時に既設土木躯体の改造・撤去工事が不要であること。

本装置は、以上の条件を満たす新規に開発した特殊な複翼により、低動力・低回転で強い旋回流を発生させ、槽底全面をすみずみまで流動化する。写真 2-1、写真 2-2 に攪拌装置の本体設置例を示す。

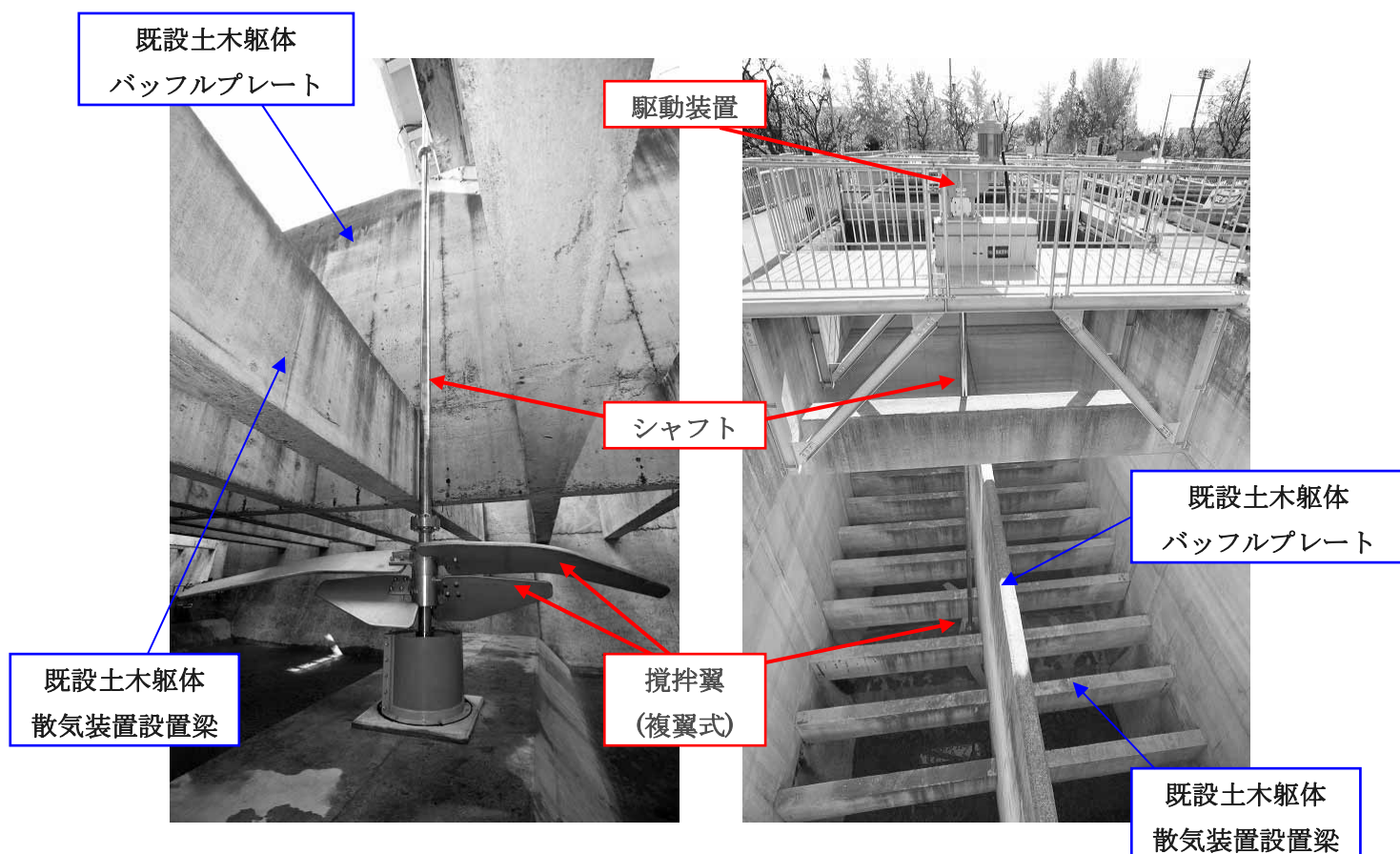


写真 2-1. 攪拌機設置例 (1/2)

写真 2-2. 攪拌機設置例 (2/2)

【特殊複翼】

従来機種の攪拌翼は単翼であり、通常、攪拌翼直下は負圧となるため、攪拌が不十分となり、汚泥の堆積や、スカム発生の要因となっていた。本装置では、大型の上部インペラで放射状の大吐出流量を発生させるとともに、上部インペラと取付角度を変えた下部の小型インペラで下向き水流を発生させ、攪拌翼直下も停滞することなく、槽底全域で 10 cm/s 以上の流速を確保している。また、回転速度が 15 rpm 程度と低速であり、上部翼形状が先端に行くにつれて後退したブーメラン形状となっているため、従来の高回転(数百 rpm)軸流型攪拌機で発生した、ひも状のし渣の絡みつきや、異物(空き缶、木片)の噛み込みによるトラブルの発生が起こりにくい構造である。

高い省エネ性を確保するために、インペラ径・インペラ形状・インペラ取付角度・インペラ取付位置(槽底部からの離間距離)・インペラ回転速度等について、流体解析を用いて最適化を図っている。最適化により、10~20 rpm の低速回転でも槽底部全域で 10 cm/s 以上の流速を確保でき、攪拌動力密度 1.0 W/m^3 以下の低動力で十分な攪拌性能が得られる。なお、各種槽寸法・形状に対応できるように、最適形状の攪拌機 8 機種を標準ラインナップしている。流体解析結果の一例を図 2-1 に示す。

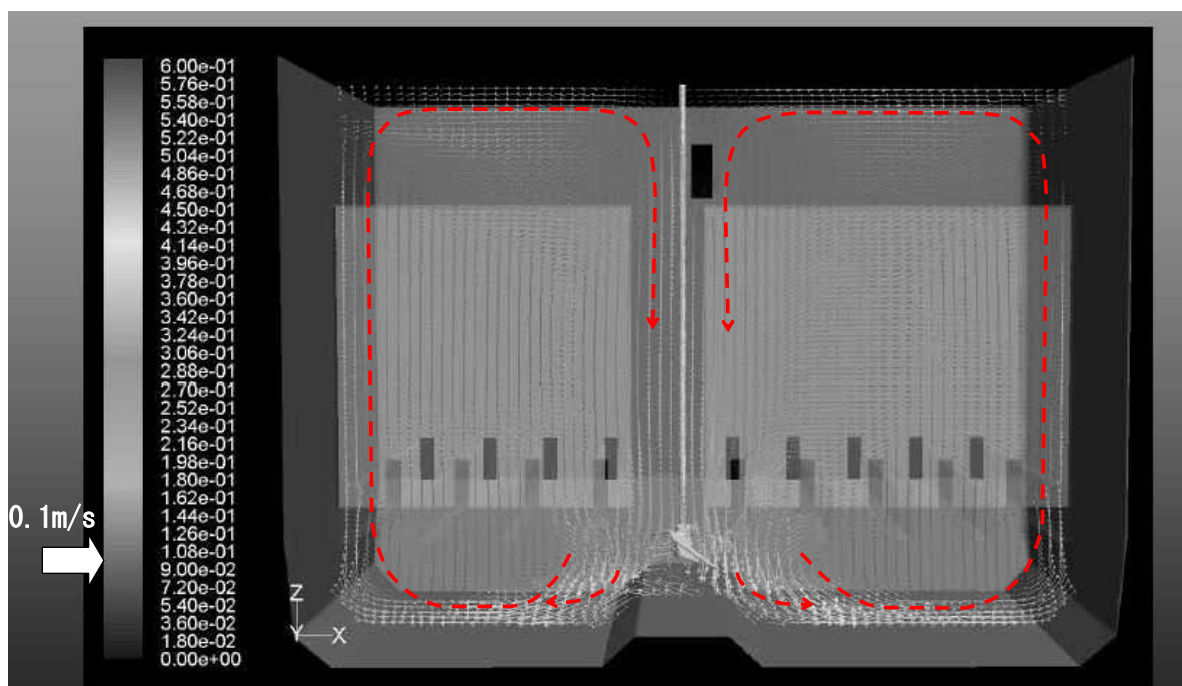


図 2-1. 流体解析結果一例

【分割構造】

本装置のインペラは、シャフトにボルト・ナットで接合されているため、4枚の翼は、それぞれ分割取外しが可能である。このため1 m²の開口があれば設置可能で、取り付けのために床開口を広げる必要は無い。また、シャフトもフランジ分割としているため、屋内で攪拌機上部吊高さの制約がある場合も、有効高さ以下に分割し、攪拌機の設置、取り出しが容易にできる従来機に無い特長を有する。

【施工適性】

都市部では、改築更新時期を迎えており、生物反応槽好気槽を嫌気槽に改築して攪拌機を適用することが多い。生物反応槽好気槽の場合、既設土木の散気装置設置梁およびバッフルプレートと槽底部のクリアランスは2 m程度である。既設土木躯体を改築せずに攪拌機を適用する場合、この空間にインペラを設置する必要がある。

本装置は、インペラを槽底部空間に設置することで最大の攪拌能力を発揮する。既設土木の散気装置設置梁およびバッフルプレートなどの障害物があっても設置でき、所定の性能を発揮する。従来は、水槽内部の既設土木構造物を全て撤去しないとインペラが干渉し、攪拌に支障があったが、本装置は、既設土木構造物を撤去する必要が無く、工事コスト、工事期間を大幅に削減できる特長を有する。

2.2 装置の適用範囲

本攪拌機の適用範囲を以下に示す。

MLSS 濃度	:	5,000 mg/L 以下
槽容量	:	2,000 m ³ 以下
水深	:	12 m 以下
槽縦横比	:	1 : 2.5
適用対象池	:	反応槽（嫌気槽・無酸素槽）

※既存のバッフルプレート・散気装置設置梁を残した反応槽を含む。

3. 成果

3.1 攪拌性能

反応タンク内の汚泥沈降防止のためには、反応タンク内底部流速について 0.1 m/s 以上確保する必要がある。この流速を確保するために必要となる攪拌装置投入電力量を槽容量で除した数値が攪拌動力密度である。攪拌動力密度が小さいほど、使用する電力が小さくなり、経済的にも、CO₂削減等の環境負荷低減に関しても優れたものとなる。

反応タンク内底部流速 0.1 m/s 以上を確保するために必要な攪拌動力密度一覧を表 3-1 に示す。本装置の必要な攪拌動力密度は、深槽・標準槽ともに 1.0 W/m³ 以下であり、従来機の攪拌動力密度 3~10 W/m³ から大幅な省エネ化を実現している。この結果、使用する電力が小さくなり、電力費コストを抑制し、CO₂削減等の環境負荷低減に大きく貢献する。

表 3-1. 攪拌動力密度 比較結果

	用途	装置名称	攪拌動力密度 [W/m ³]	備考
底部流速 0.1m 以上確保に必要な 攪拌動力密度	標準槽 (水深~ 6m)	複翼式縦軸攪拌機 (META)	1 以下	平成 21 年度建設技術審査証明 (2010.3 月 取得)
		水中エアレータ (A 社)	約 6~10	カタログ値
		ドラフトチューブ式攪拌機 (B 社)	約 2~4	カタログ値
		曲面形攪拌機 (C 社)	約 3~5	カタログ値
		旋回式水中攪拌機 (D 社)	約 4	平成 14 年度建設技術審査証明より
		縦軸攪拌機 (E 社)	約 3~4	平成 16 年度建設技術審査証明 及び試運転実績より
		縦軸攪拌機 (F 社)	約 2~3	平成 18 年度建設技術審査証明より
	深槽 (水深 6m ~12m)	複翼式縦軸攪拌機 (META)	1 以下	平成 21 年度建設技術審査証明 (2010.3 月 取得)
		水中エアレータ (A 社)	約 6~10	カタログ値
		ドラフトチューブ式攪拌機 (B 社)	約 2~4	カタログ値
		曲面形攪拌機 (C 社)	約 3~5	カタログ値
		旋回式水中攪拌機 (D 社)	約 4	平成 14 年度建設技術審査証明より
		縦軸攪拌機 (E 社)	約 3~4	平成 16 年度建設技術審査証明 及び試運転実績より
		縦軸攪拌機 (F 社)	約 2~3	平成 18 年度建設技術審査証明より

3.2 特許の有無

本攪拌機に関する特許を出願。

3.3 維持管理性

本装置は、駆動装置が槽上にあるため、水中電動機を有する場合に必要な点検項目は全て省略可能である。そのため、日常点検が容易であり、さらにオーバーホールに要する労力や時間が削減可能である。

また、据付および攪拌翼の点検作業は容易であり、点検に際しては、槽内の水を抜かなくても、攪拌機を段階的に吊上げていくことにより、攪拌翼の点検が可能である。点検後は、段階的にシャフトを接続していき、再設置が容易に実施可能である。なお、攪拌翼点検を行う場合、水抜きが必要であると、時間、労力がかかり、かつ下水処理を停止しなければならない。そのため、し渣等が攪拌機に絡む等で点検する必要が生じた場合、水抜き無しで点検が可能であることは、運転管理において大きな利点となる。

本攪拌機と従来技術の点検項目の内容と頻度を表3-2に示す。表内の○印はユーザー点検項目、●印はメーカーオーバーホール時に点検を行い、交換作業をする項目を示す。

本技術では、減速機、下部振れ止めのオーバーホール頻度は、5年毎を目安としている。なお、深槽の場合は、下部振れ止めが付属するため(標準槽不要)、振れ止めの点検時は水抜きを行う必要がある。その他の点検においては、水抜き不要である。

従来技術の水中攪拌機においては、点検毎に水中部より吊り出す必要があり、シール部分は3年毎に交換を要する。

表3-2. 本技術の点検項目の内容と頻度

機種	項目		毎日	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年	11年	12年	13年	14年	15年			
本攪拌機	日常点検	電流値、異音、振動	○																		
		減速機オイルレベル	○																		
	年点検	本体	減速機オイル交換		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			減速機オーバーホール						●					●						●	
			電動機ベアリング											●							●
			振れ止め(深槽のみ)							●				●							●
従来水中攪拌機	日常点検	電流値、異音、振動	○																		
		水中ミキサーケーブル損傷	○																		
	年点検	水中ミキサー(水中電動機)	オイル交換		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			駆動部ベアリング				●			●			●			●				●	
			シール部品(メカニカルシール・パッキン・Oリング)				●			●			●			●				●	
			ケーブル点検		○	○	●	○	○	●	○	○	●	○	○	●	○	○	○	○	●

3.4 経済性

実設備(8.4 m^W × 17.1 m^L × 9.0 m^H(水深) 槽容量約 1300 m³)における従来機種(水中攪拌機)との維持管理コスト比較結果を表 3-3 に示す。攪拌に必要な電力量が抑制されることにより、電力代は、従来機種(水中攪拌機)の 15 %程度まで抑制することが可能である。また、維持管理項目が少なく、オーバーホール頻度が 5 年(従来 3 年)となることにより、維持管理費も従来機種(水中攪拌機)の 40 %程度まで抑制することが可能である。

表 3-3. 本攪拌機と従来機種の維持管理コスト比較

	本攪拌機	従来機種 (水中攪拌機)
電動機出力	2.2 kW	15.0 kW
15 年間電気代※	450 万円	3,000 万円
15 年間維持管理費	400 万円 (5 年毎定期点検)	1,000 万円 (3 年毎オーバーホール)
15 年間費用合計	850 万円	4,000 万円
定期点検	5 年目、10 年目	3、6、9、12 年目
駆動部の点検	槽上で点検整備可能	水中から槽上へ吊上げ整備

※ 電力単価=15 円/kWh で算出

3.5 将来性(既存設備との代替、普及の可能性等)

都市部では、今後の改築更新工事において、生物反応槽好気槽を改築して攪拌機を適用することが多く、このような場合、土木躯体改築期間と建設コストがかかる課題があった。

本装置は、更新工事で既存バッフルプレート、散気装置設置梁等の土木躯体を撤去せずに設置が可能であることから、土木改築コストおよび産廃発生はゼロであり、また、3ヶ月の工期短縮が可能である。一例として、土木改築更新無しで設置した本攪拌機の設置例(B処理場)について、攪拌機据付図(概略)を図3-1、据付状況を写真3-1、写真3-2、据付時の工程を表3-4に示す。

水処理設備の高機能化(N、P規制)が望まれる中、大都市部を主体とした今後の改築更新工事において、省エネ性と環境負荷を最小とできる、時代のニーズに応える環境装置である。老朽化した下水処理場の多くが、都市部を中心に改築更新時期を迎えており、今後、普及が多く進展することが期待される。

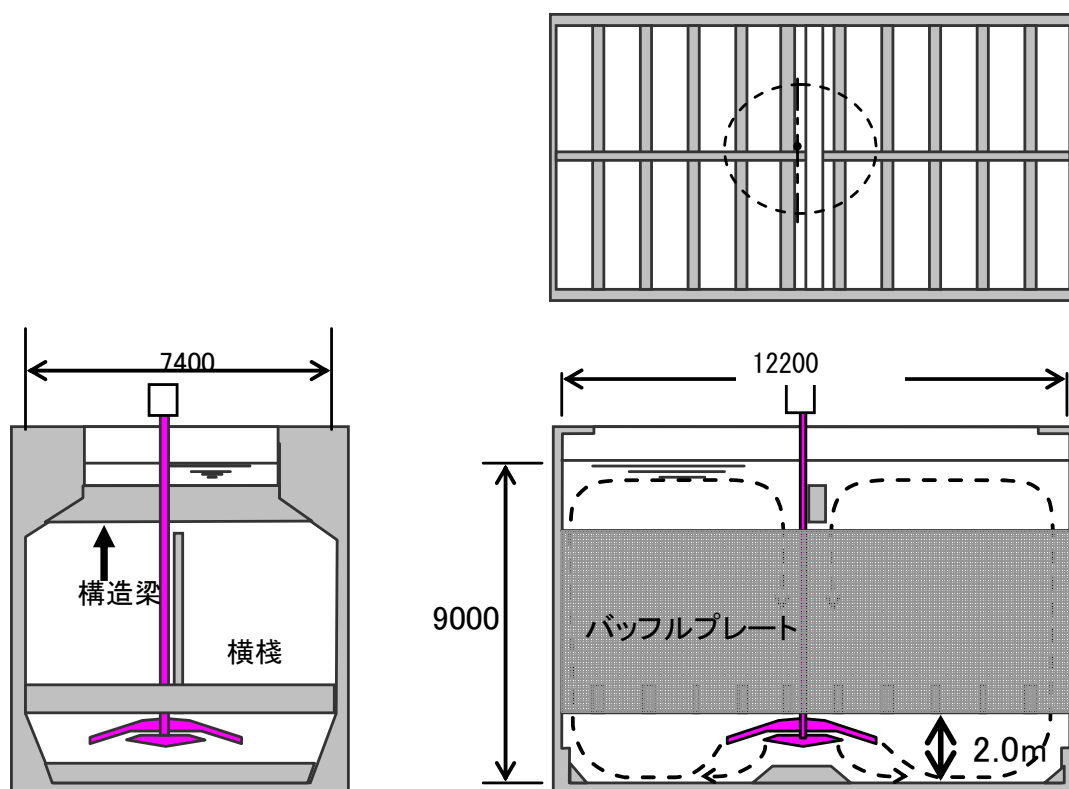


図 3-1. B処理場攪拌機据付図(概略)



写真 3-1. 攪拌機設置状況(1)



写真 3-2. 攪拌機設置状況(2)

表 3-4. B 処理場 攪拌機設置工程表

		1池目更新工事							2池目更新工事							
月数		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	x 契約															
	設計															
	工場製作															
	撤去工事															
	据付工事															
	試運転															
	池切替 ●															
	水抜清掃															
	撤去工事															
	据付工事															
	試運転															
		<p>複翼式縦軸攪拌機:標準12ヶ月以内</p> <p>B処理場工期:11ヶ月間工期にて建設</p>											工期短縮			

3.6 独創性(先進性、類似装置等)

生物反応槽嫌気槽・無酸素槽に用いられる攪拌装置は、維持管理性の観点から、従来の主流機種である水中攪拌機から、近年、駆動部が槽上部に設置された縦軸攪拌機が主流になりつつある。縦軸攪拌機の中で、本攪拌機の独創性(先進性)を示す主な項目を以下に示す。

① 改築更新時に土木躯体改造工事が不要

本装置は、改築更新時、既設バツフルプレート・梁等を撤去せずに攪拌機の設置が可能である(3.5 将来性 参照)。従来の攪拌機は、改築更新用途で設置する場合、槽内撤去・改造が必要不可避であったが、本装置では土木躯体の撤去改造工事が不要である。

② 省エネルギー

本装置は、特殊な複翼式攪拌翼を槽下部でゆるやかに回転させることで、汚泥沈降防止のために必要な0.1 m/s以上の底部流速を攪拌動力密度1.0 W/m³以下という低動力で確保することが可能である。本動力は、類似縦軸攪拌装置の中でもトップクラスであり、高い省エネ性能を有する。

③ 設置・点検が容易

本装置は、シャフト及び攪拌翼が分割構造であるため、狭い開口(1 m²程度)で設置可能である。また、槽内の水抜き無しで、攪拌翼点検が可能である。

④ 通常運転状況下におけるスカム抑制効果

スカム発生の1つの原因となるのが、攪拌翼直下が流動化しないことによる腐敗汚泥の浮上と考えられる。本装置は、特殊な複翼式攪拌翼により、攪拌翼直下の流速も確保されており、汚泥が溜まりにくいいため、腐敗汚泥の浮上無く、スカム発生を抑制している。また、槽内全域を強い旋回流により流動化しており、水面では軸芯に向かう流れが生じているため、スカムが池壁面に分散せず、池中央に集まり、さらに軸廻りの下降流により、スカムが分散し、スカム発生を抑制する効果がある。

3.7 今後の規制に対する対応策

① 環境負荷としてのCO₂排出量削減効果

地球温暖化防止のための、温室効果ガス削減方針として、政府は1990年比で2020年までに温室効果ガスであるCO₂発生量を25%削減することを目指すと表明した。温室効果ガス削減に関する規制は、より厳しいものとなっている。

下水処理設備においても、今後、より環境負荷低減効果の高い装置の導入が進むと考えられる。本装置は、攪拌動力密度1.0 W/m³以下であり、従来機種と比べて必要電力量が大きく削減できることから、温室効果ガス削減のために、有効な装置である。

地球温暖化ガス(CO₂)の排出抑制効果の一例として、実設備(8.4 m^W × 17.1 m^L × 9.0 m^H(水深) 槽容量約1300 m³)における従来機種(水中攪拌機)とのCO₂排出量比較結果を表3-5に示す。従来機種と比較し、約15%程度までCO₂発生量を抑制することが可能である。

表 3-5. 地球温暖化ガス(CO₂)排出抑制効果

	本攪拌機	従来機種 (水中攪拌機)
攪拌動力密度	1.0 W/m ³ 以下	約12 W/m ³
年間電力量	19,272 kWh/年	131,400 kWh/年
年間CO ₂ 発生量	0.384 kgCO ₂ /kWh × 19,272 kWh/年 = 7.4 ton/年	0.384 kgCO ₂ /kWh × 131,400 kWh/年 = 50.5 ton/年

② 廃棄物削減への寄与

本装置は、改築更新時、既設バッフルプレート・梁等を撤去せずに攪拌機の設置が可能である。そのため、改築更新時のコンクリート等の産廃発生量はゼロである。廃棄物発生量を大幅に削減することが可能である。

4. 応用分野

水処理設備の高機能化(N、P規制)が望まれる中、水処理方式としてA₂O法や多段ステップ法を用いた高度処理方式が、大都市部を主体に採用されつつある。

本装置は、下水処理の高機能化に必要な嫌気槽や無酸素槽の攪拌用途として開発されたものであるが、バイオガスの発生装置である消化槽の攪拌機としても、本攪拌機を適用することにより、大幅な動力低減効果が得られるものとする。