

省エネ型深槽曝気技術 (B-DASHプロジェクト)



中町 和雄

前澤工業(株)・日本下水道事業団・埼玉県共同研究体
前澤工業(株) 環境ソリューション事業部下水技術部長

本稿では国土交通省が実施する下水道革新的技術実証事業(B-DASH プロジェクト)で実証研究中(R7.2月現在)の「省エネ型深槽曝気技術」について紹介します。本研究は、前澤工業(株)・日本下水道事業団・埼玉県共同研究体が埼玉県荒川右岸流域下水道新河岸川水循環センターを実証フィールドとして令和4年度から実規模実証を実施しているものです。

1. 下水処理場における省エネの必要性

下水道施設は大量の電力を消費するため、更なるエネルギーの削減が要請されています。令和3年度版下水道統計によりますと、国内の下水処理場における消費電力量の合計は年間6,304千kWh/年で、電力単価20円/kWhとすると約1.2兆円に相当します。そのうち48%が水処理で使用された電力量となります。特に、消費電力の大半を占める反応タンクにおける消費電力量の削減は喫緊の課題となっています。

2. 反応タンクの省エネ化

反応タンクで消費される電力で最も大きな割合を占めるのは送風機の動力ですが、送風機の動力を決定する主な因子は送風量、吐出圧力、断熱効率の3つです。以下に、それぞれの因子と影響を与えるパラメーターについて説明します。

(1) 送風量

送風機の動力は送風量に比例します。送風量は活性汚泥の必要酸素量に比例し散気装置の酸素移動効

率に反比例します。必要酸素量が一定の場合、酸素移動効率が高いほど送風量は少なくなり動力も削減されます。酸素移動効率に影響を与える主なパラメーターは以下の通りです。

①気泡径

気泡径が小さいほど単位体積当たりの表面積が増加し(気泡径が1/2の場合、単位体積当たりの表面積は4倍になります)、気泡の上昇速度も低下するので、酸素移動効率は増加します。近年では気泡径約1mm程度、清水中での酸素移動効率30%程度の低圧損型メンブレン式散気装置^{*1}が全国の下水処理場に普及しています。

②エアレーション方式

散気装置を使ったエアレーション方式には、反応タンクの片側に配置する旋回流式と、反応タンク全体に均等に配置する全面エアレーション式があります(図-1)。全面エアレーション式の方が槽全体に酸素を供給することができ、気泡の滞留時間も長くなるため酸素移動効率は増加します。

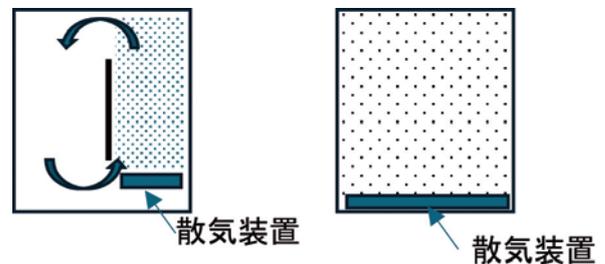


図-1 旋回流式(左)と全面エアレーション式(右)

③散気水深

散気水深は水面から散気装置の設置高さまでの距離を表し、標準活性汚泥法では5m程度が一般的です。散気水深が大きいほど水圧により曝気空気中の酸素分圧が増加し気体の溶解度が高まる(ヘンリーの法則)こと、気泡の滞留時間が長くなること

などから酸素移動効率は増加します。

(2) 吐出圧力

送風機の動力は吐出圧力と正の相関があります。したがって、低圧損型メンブレン式散気装置の導入や、水処理系列毎に送風機を分散配置する個別送風方式とし送風機を反応タンク近傍に設置することによる配管圧損の削減などは送風機動力の低減に寄与します。一方、吐出圧力の大部分をしめる固定抵抗は散気水深による静圧のため、散気水深が増大すると単位送風量当たりの動力は増加します。

(3) 断熱効率

送風機自体のエネルギー効率を表す指標で、JIS規格に定められており、理論断熱動力を実際の動力で割って計算します。近年導入が進みつつある各種の省エネ型送風機^{※2}は断熱効率が高く、導入により動力の低減が可能です。

3. 深槽式反応タンクとは

活性汚泥法の反応タンクは有効水深5m程度が一般的ですが、一部の下水処理場には有効水深10m程度の深槽式反応タンクが設置されています。人口密集地の狭隘な下水処理場や高度処理化に伴い反応タンク容積の増加が必要な場合などでの採用が多いです。深槽式反応タンクでは、水深5m程度の浅い場所に散気装置を設置して旋回流式(図-2左)でエアレーションを行うのが一般的です。

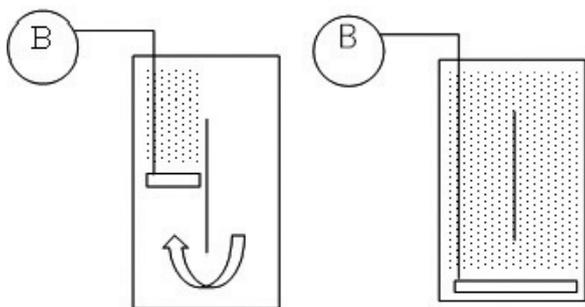


図-2 深槽旋回流式(左:従来技術)と深槽全面エアレーション式(右:実証技術)

令和3年度版下水道統計によると、有効水深7m以上の反応タンクを深槽と定義した場合、標準活性汚泥法およびその変法(OD法除く)を採用している825処理場のうち16%にあたる136処理場で深槽式反応タンクを有しています。一方、規模の大きな処理場が多く、処理水量ベースでは全体の35%を占めるため、深槽式反応タンクの省エネ化は下水道施設における省エネ化に効果的であると考えられます。

4. 本技術の着眼点

深槽式反応タンクでは、水深が深いにもかかわらず浅いところでエアレーションを行う効率の悪い旋回流式を採用しており、送風した空気中の酸素の30%程度しか水中に溶解しないことから、動力の削減余地があるのではないかと考えました。具体的には、深槽全面エアレーション(図-2右)を行えば酸素移動効率がアップ(送風量の削減)して消費電力量の削減ができるのではないかとというシンプルなアイデアを考えました。

5. 省エネ型深槽曝気技術開発の道のり

しかし、深槽全面エアレーションを実現するのは簡単なことではありませんでした。

ここでは、B-DASHプロジェクトを開始する以前に当社が独自に取り組んだ開発の経緯について説明します。

アイデア着想時、散気水深10m程度の深い水深まで大量の空気を送風する高圧の送風機は、下水処理場で実用化されておらず、水深10mでの酸素移動効率を測定した散気装置もありませんでした。過去の文献^{※3}を調べると、深槽でのエアレーションにより水中に溶解した気体(主に窒素ガス)が最終沈殿池で水圧の減少により過飽和となった分が再気泡化し活性汚泥を浮上させる(固液分離障害)こともわかりました。

そこで順を追ってこれらの課題を解決することとし、まず吐出圧力100kPa以上に対応する高圧対応送風機の実用化に取組み、その省エネ性について(公財)日本下水道新技術機構より評価を受けました。次に、国土技術政策総合研究所の深水深タンク(有効水深10m、図-3左)を借用し、上記送風機と低圧損型メンブレン式散気装置の組合せによる深槽全面エアレーションを行い^{※4}、その清水における散気装置の性能について(公財)日本下水道新技術機構より評価を受けました。

さらには、埼玉県荒川右岸流域下水道新河岸川水循環センター(現有処理能力697,900m³/d)内に、鋼板製水槽(幅2m、長さ2.5m、高さ11m、実容積約50m³、図-3右)を設置し、最初沈殿池流出水を用いた実負荷パイロット実験を実施しました。ここで、汚泥の浮上対策、消費電力量の削減効果、および処理水質などの確認を行い、実規模への

スケールアップのための知見を得ることができました^{※5}。その後、令和4年度のB-DASHプロジェクトに応募し採択され、現在に至っています。



図-3 清水実験 (左)、実負荷実験 (右)



図-5 深槽式反応タンク底部に設置した散気装置



図-6 高圧対応送風機

6. B-DASH プロジェクトの概要

(1) 実証フィールド

実負荷パイロット実験を実施した新河岸川水循環センターの5系(現有処理能力140,000m³/d)に令和4年度に実証設備を設置し、令和5年9月に実証運転を開始しました。5系は水深12m、4系統(各2水路)からなり、処理方式は凝集剤添加循環式硝化脱窒法です。また、同一の反応タンク形状・水量・水質・運転条件で比較を行うため、実証系(5-2系)に隣接する5-1系を対照系として設定しました。

(2) 実証施設

実証設備の基本フローを図-4に示します。

反応タンク好気槽(第4槽~第7槽)の床上0.5m(散気水深11.5m)の全面に低圧損型メンブレン式散気装置を設置し(図-5)、吐出圧力120kPaの高圧対応送風機(図-6)で散気装置に空気を送り込みます。

深槽での曝気により過剰に溶解した窒素ガスが最終沈殿池で再気泡化して汚泥に付着し固液分離障害を起こすことを防ぐため、最終区画(第8槽)で散気水深5mの旋回流方式で曝気を行い、過飽和窒素ガスを大気中に放散する脱気操作を行います(図

-4参照)。なお、第1~第3槽は無酸素槽であり、特に改造は行っていません。

(3) 開発目標

本技術の開発目標は消費電力量および建設費を各々10%削減(水深10m、処理能力100千m³/日の標準活性汚泥法に本技術を導入した場合)、処理水質や汚泥沈降性は従来技術と同等としています。

(4) 実証データ

ここでは令和5年度までに得られた実証データについて途中経過を報告します。実証系の送風量は対照系と比べて37%削減され、消費電力量は12%削減されました。処理水質はBOD、SS、T-Pは実証系、対照系とも同程度で良好な水質が得られました。一方、T-Nは実証系の方が平均で約1mg/L高い結果となりました。対照系の好気槽の底部が無酸素状態となり同時硝化脱窒が生じている可能性があります。

実証系(2池)と対照系(2池)は改造箇所を除き実証系と同一の構造・処理方法

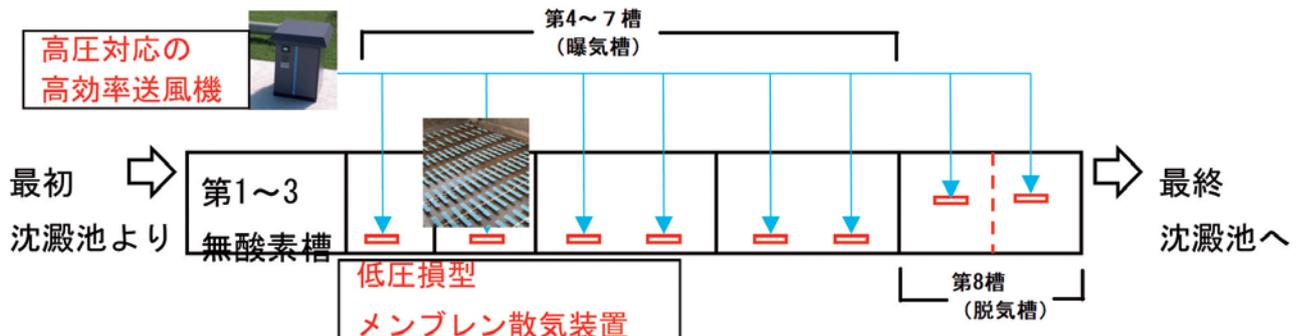


図-4 実証設備フロー

固液分離障害の対策については脱気操作前では汚泥が浮上しましたが、脱気操作後の汚泥は浮上せず、脱気槽での脱気操作の効果を確認しました（図-7）。

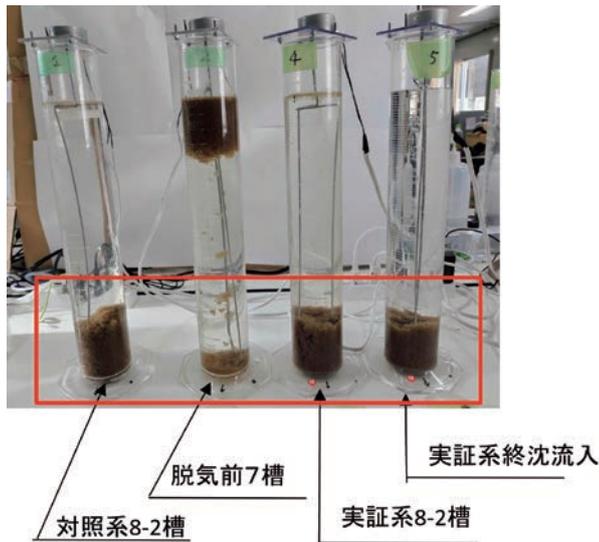


図-7 沈降試験の状況

<注記※>

- ※1 公益財団法人 日本下水道新技術機構：低圧損型メンブレン式散気装置の導入マニュアル、2019年3月
- ※2 公益財団法人 日本下水道新技術機構：下水処理場における省エネ型送風機の導入促進に関する技術資料、2023年12月
- ※3 藤井秀夫、奥野長晴、福田寛允：ディープエアレーションタンクの実用化（I）、下水道協会誌、Vol.11、No.118、pp24-33、1974
- ※4 福浦清、中町和雄：メンブレン散気装置の底部設置による深槽曝気システムの清水実験、第56回下水道研究発表会講演集、pp1004-1006、2019
- ※5 福浦清、グェンタンフォン、中町和雄：メンブレン散気装置の底部設置による深槽曝気システムの実負荷実験、第57回下水道研究発表会講演集、pp838-840、2020

7. 今後の展望

今後は、実証研究成果を基に本技術の導入ガイドラインを作成し、これらを活用して国内外への普及展開を行っていくとともに、同フィールドでの自主研究を継続しさらなる技術の改良に取り組む予定です。

