

〈特集〉

高効率固液分離技術と二点 DO 制御技術を用いた省エネ型水処理技術

綿 引 綾一郎

前澤工業(株) 事業統括本部環境 R&D 推進室技術開発センター
 (〒 332-8556 埼玉県川口市仲町 5-11 E-mail: ryouichirou_watabiki@maezawa.co.jp)

概 要

本技術は前処理設備に高効率固液分離技術と無終端水路とした反応タンクに二点 DO 制御技術を採用することにより既存施設を増設することなく、安定的な高度処理と従来の高度処理技術より省エネルギー化を実現した。また、50,000 m³/日規模の処理場での FS を行い、本技術は従来技術(嫌気無酸素好気法)との比較により、建設費で約 18%、維持管理費で約 16%、消費電力量で約 40% の削減効果があることが試算された。

キーワード：高度処理、窒素除去、省エネ
 原稿受付 2017.4.27

EICA: 22(1) 22-25

1. はじめに

閉鎖性水域の水質改善を実現するためには、下水処理において富栄養化の原因となる窒素・りん除去を目的とした高度処理の導入が必要とされているが、実現には次のような課題が上げられている。

- ① 生物学的窒素除去法で多く実績のある循環式硝化脱窒法や生物学的りん除去も加えた嫌気無酸素好気法は反応タンクの滞留時間が標準活性汚泥法に比較して約 2 倍となり、建設コストが増大する。
- ② 高度処理は標準活性汚泥法に比較して硝化にかかる空気量の増加や循環水ポンプ等の付帯設備の増加に伴ない消費電力量が増加する。

本技術は、最初沈殿池に替わる前処理設備として高効率固液分離技術を採用するとともに、無終端水路とした反応タンクに二点 DO 制御技術を採用することで、標準活性汚泥法と同等な滞留時間で、従来の高度処理技術より省エネルギーでかつ窒素を安定的に除去する技術を開発した。本技術は平成 26 年に国土交通省の B-DASH 実証事業として採択され、国土技術政策総合研究所の委託研究として前澤工業(株)・(株)石垣・日本下水道事業団・埼玉県の共同研究体により埼玉県利根川右岸流域下水道 小山川水循環センターの 1 水路を改造し、平成 27 年 2 月～平成 28 年 3 月まで実証研究を行った。

2. 技術の概要

2.1 処理フロー

本技術(水処理方式の名称：高効率固液分離併用無終端水路式硝化脱窒法)の処理フローを Fig.1 に示す。本技術は高効率固液分離技術と二点 DO 制御技術の 2 つの要素技術の組合せにより構成されている。本技術の特徴としては次の 5 つが上げられる。

- ① 高度処理での処理時間の短縮
- ② 既存設備の活用による省コスト、省スペース化
- ③ 循環ポンプ設備、無酸素槽攪拌設備の削減と効率的な風量制御による省エネ化
- ④ 自動制御による安定した高度処理
- ⑤ 汚泥発生量の削減

2.2 高効率固液分離技術

本技術では、最初沈殿池の代替えとして高効率固液分離技術を用いた前処理設備(以下、前処理設備)を

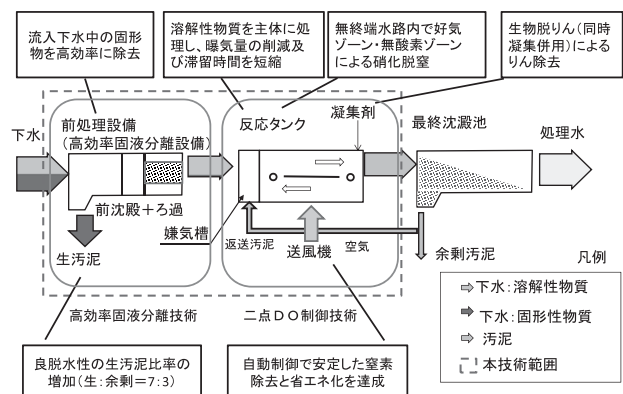


Fig. 1 本技術の処理フロー

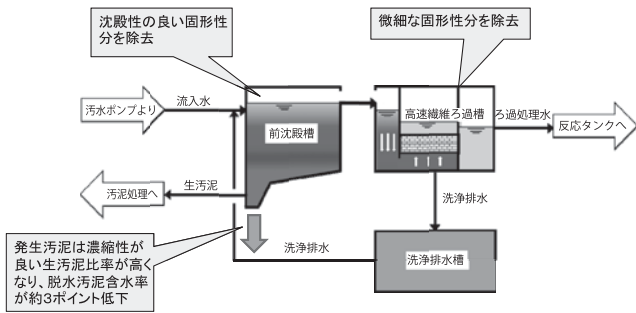


Fig. 2 前処理設備フロー

導入する。前処理設備は、前沈殿槽、高速繊維ろ過槽、洗浄排水槽から構成される (Fig. 2)。前処理設備への流入水は前沈殿槽にて沈降性の良い固形物を沈降分離し、次に高速繊維ろ過槽にて微細な固形物を除去したろ過処理水が反応タンクへ供給される。高速繊維ろ過槽では定期的にはろ材を洗浄し、洗浄した排水は洗浄排水槽で一時的に貯留し、洗浄排水ポンプにて前沈殿槽に送水し沈殿処理後、生汚泥として汚泥処理施設へ移送する。

前沈殿設備で安定的かつ効率的に固形性物質を除去することで、ろ過処理水 (反応タンク流入水) は溶解性物質主体となり、反応タンクでの滞留時間の短縮と曝気風量の削減が可能となる。流入水とろ過処理水の BOD の内訳を Fig. 3 に示す。

また、固形性物質が前沈殿設備で多く除去されることから生汚泥比率が高い汚泥が得られ、従来の高度処理に比べ脱水汚泥含水率が 3% 程度低減できることを確認している。

2.3 反応タンク設備

本技術では、反応タンクを無終端水路に改造し、送風機からの空気を散気する散気装置と循環流を起こす水流発生装置を設置し、二点 DO 制御技術により効率的で安定した窒素除去を行う。Fig. 4 に反応タンク設備の概要を示す。前処理設備により固形性有機物が大幅に除去され、全体の有機分が減少するため、反応タンク設備の処理対象が主に溶解性有機物となる。これにより曝気風量の削減と余剰汚泥量の減少により硝化に必要な A-SRT を確保しやすくなり、標準活性汚泥法と同等な滞留時間で窒素除去が可能となる。好気

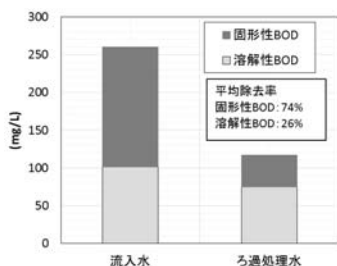


Fig. 3 流入水とろ過水の BOD の内訳

ゾーンで硝化された汚水がそのまま無酸素ゾーンに流入するため、高い循環比となり高い窒素除去が得られる。また、二点 DO 制御により流入負荷変動に対し、常に適切な曝気風量と循環水量 (水流発生装置回転数) の制御と、従来の高度処理で必要な無酸素攪拌設備と循環設備を水流発生装置が兼ねる働きを行うこと等から高い電力量の削減を可能にした。

2.4 二点 DO 制御技術

二点 DO 制御技術は散気装置に近い DO 計 (以下、DO 計 1) と好気ゾーンの末端にある DO 計 (以下、DO 計 2) を結んだ DO 勾配が常に一定範囲になるように曝気量と循環水量を制御する。二点 DO 制御技術の原理について、例として流入負荷が増加した場合の制御技術の概要を Fig. 5 に示す。流入負荷が高くなると消費する酸素量が増え、DO 計 1 及び DO 計 2 とともに値が下がる。DO 計 1 が下がると送風機からの曝気量を増やすことで DO を上げる。これと同時に DO 計 2 の DO 値を上げるように水流発生装置の回転数をあげることで循環水量を増やし、酸素を含んだ活性汚泥循環液を循環させることで好気ゾーンの回復をはかり、DO 勾配を通常時と同じ一定値に戻す制御が行われる。一方、流入負荷が減少した場合は、流入負

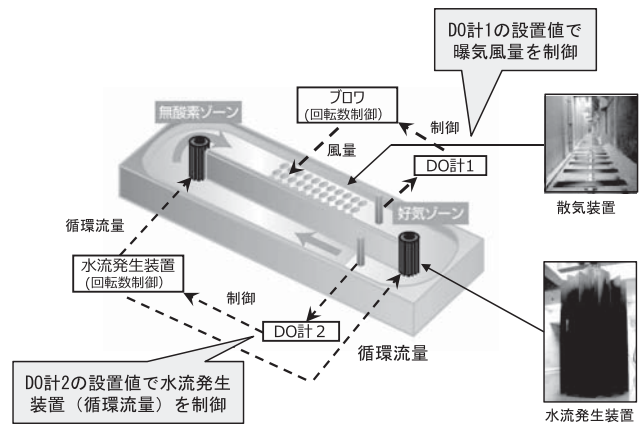


Fig. 4 反応タンク設備フロー

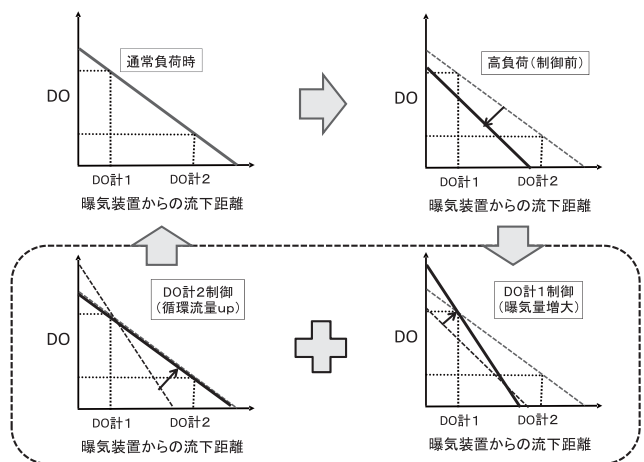


Fig. 5 二点 DO 制御技術の概要

Table 1 実証施設の水質結果 (単位: mg/L)

項目	流入原水	反応タンク流入水	最終沈殿池流出水
SS	205±109 (78~530)	44±7.9 (25~65)	2.1±1.8 (0~6.0)
T-BOD	246±112 (67~580)	118±27 (24~220)	8.4±2.8 (3.0~14.0)
T-N	34±8 (14~59)	26±4.3 (11~33)	4.3±1.4 (1.5~6.8)
T-P	5.1±1.7 (2.1~12.0)	3.7±0.8 (1.4~6.0)	0.34±0.30 (0~1.6)

上段: 平均値±標準偏差 下段: 最小値~最大値

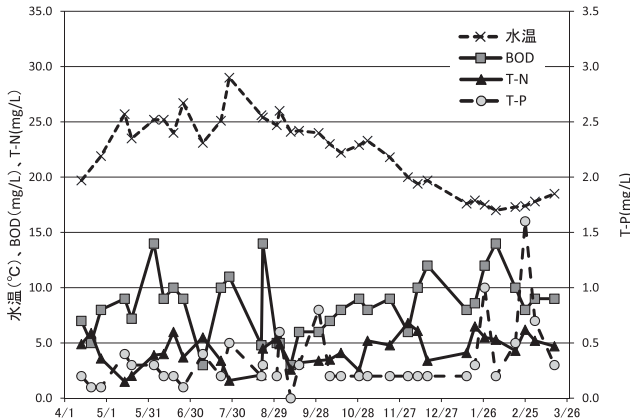


Fig. 6 年間の最終沈殿池流出水質

荷が増加した場合とは逆に上昇した DO 値を下げるように曝気量の減少と水流発生装置の回転数が減少し、DO 勾配を一定値となる制御が行われる。

2.5 技術の評価結果

本技術は、生物学的窒素・りん除去法であり、従来技術の嫌気無酸素好気法と同等以上の処理が可能な技術である。急速ろ過、凝集沈殿を伴わない本技術は BOD (mg/L) : 10 を超え 15 以下, T-N (mg/L) : 10 以下 T-P (mg/L) : 1 を超え 3 以下, の処理水質を満足することが国土交通省で行われた評価委員会で評価された。実証施設での流入原水, 反応タンク流入水及び処理水質の日間平均結果を Table 1 及び Fig. 6 に示す。

3. 導入検討の検討例

3.1 検討条件

本技術により標準活性汚泥法を高度処理化する検討事例を示す。比較する高度処理を嫌気無酸素好気法 (以下, 従来技術) とした。設定条件を Table 2, 設定水質を Table 3 に示す。反応タンク流入水質は前処理設備での固形性物質の除去率を実証研究結果から 70%, 従来技術の最初沈殿池の除去率を 50% として計算した。本技術は標準活性汚泥法の最初沈殿池及び反応タンク設備を改造することで高度処理化が可能であるが、従来技術では必要な A-SRT を確保するため、反応タンク容量が 16 時間となることから反応タンク

Table 2 設定条件

項目	本技術	従来技術
流入下水量	計画日最大汚水量 50,000 m ³ /日 (日平均及び冬期最大汚水量 40,000 m ³ /日)	
目標水質	BOD : 15 mg/L 以下, T-N : 12 mg/L 以下, T-P : 1.0 mg/L 以下	
改造範囲	既設の最初沈殿池及び反応タンクを改造。最終沈殿池は既設を流用。	既設と同規模の反応タンクを増設。

Table 3 設定水質

水質	流入原水 (mg/L)	反応タンク流入水質 (mg/L)	
		本技術	従来技術
SS	160	48	80
BOD	190	103	128
P-BOD (固形性 BOD)	125	38	63
S-BOD (溶解性 BOD)	65	65	65
T-N	35	29	31
P-N (固形性 T-N)	8	3	5

を増設することで対応するものとした。本技術と従来技術の土木形状を Fig. 7 に示す。

3.2 導入検討結果

(1) 建設費

建設費の比較を Fig. 8 に示す。本技術では土木建設費は安価であるが、機械・電気設備費では従来技術よりやや高くなっており、総計では約 18% の低減効果が示された。

(2) 維持管理費

維持管理費の比較を Fig. 9 に示す。本技術においては電力費が大幅に低減されている。汚泥処分費は本

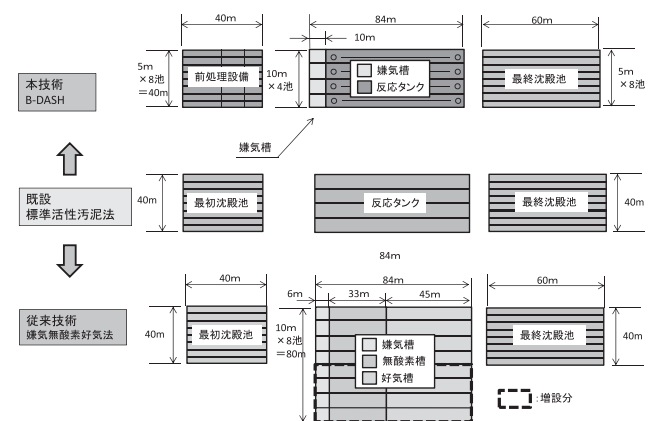


Fig. 7 本技術と従来技術の土木形状

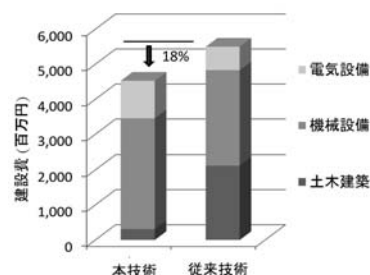


Fig. 8 建設費の比較

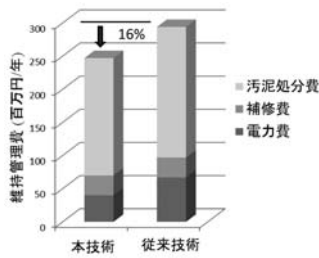


Fig. 9 維持管理費の比較

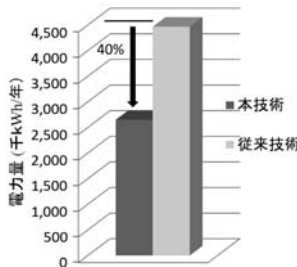


Fig. 10 消費電力量の比較

技術では余剰汚泥に比べて生汚泥の比率が高くなる効果から脱水汚泥の含水率低減効果 (約3%) を加えた。補修費は従来技術とほぼ同じであったが維持管理費全体では約16%の低減効果が示された。

(3) エネルギー使用量

エネルギー使用量の比較を Fig. 10 に示す。本技術及び従来技術ともエネルギーとして使用するものは電力であり、電力量の比較をエネルギー使用量の比較とした。本技術はエネルギー使用量が約40%と大幅に低減されている。この理由としては、本技術は従来技術に比べて無酸素攪拌設備や硝化液循環設備が不要であり、また反応タンク設備を増設することなく対応できるため設置台数が少なくなること、従来技術に比べて前処理設備での固形性物質除去効果及び二点 DO 制御による曝気量の最適制御による曝気量削減が可能なのが消費電力量の削減となっていると考えられる。

4. 計 画 設 計

4.1 施設計画の検討

本技術は従来の高度処理と同様に日最大汚水量、日平均汚水量、流入水質をもとに前処理設備、反応タンク設備を設計する。反応タンク設備は生物の活性化が低下する冬期のデータをもとに設計水温、設計水質、処理水量を定める。

4.2 前処理設備

前処理設備の設計は、高速繊維ろ過設備、前沈殿設備、洗浄排水設備の設計からなる。高速繊維ろ過設備はろ過速度を500 m/日としてろ過面積を算出する。逆洗工程中も運転可能なように高速繊維ろ過槽は2池以上の構成とする。前沈殿槽は計画日最大汚水量に対

して100 m³/(m²・日)程度とする。前処理設備は既設の最初沈殿池に比べろ過設備を設置するために水位を現況より0.6 m以上高く設定する必要があり、現況の水位状況や土木構造の改造等の適用条件を加味し設計水位を定める。

4.3 反応タンク設備

反応タンク設備の設計は、反応タンク設備のMLSS濃度、設計水温からA-SRTを設定し、反応タンク必要容量、好気ゾーン容量及び無酸素ゾーン容量を算出する。好気ゾーン及び無酸素ゾーンの算出は「下水道施設計画・設計指針と解説2009年版 日本下水道協会」の好気槽及び無酸素槽と同じ算出式で求められることを実証研究より確認している。反応タンク設備のMLSS濃度が高いほど硝化速度及び脱窒速度は上昇するが、余り高いと最終沈殿池の沈殿に影響するため、標準活性汚泥法から更新する場合は反応タンクMLSS濃度を2,000~2,500 mg/L程度に設定する。

4.4 計装制御システム

(1) 前処理設備

前処理設備では高速繊維ろ過設備の自動制御、ろ過水質監視及び前沈殿槽の水位監視を行うための計装制御システムを設置している。高速繊維ろ過設備はろ過工程、洗浄工程、及び待機工程からなり、ろ過槽流入部の調圧水槽水位計とろ過槽内部に設置した圧力計にてろ過損失水頭を計測し、ろ過槽の洗浄開始を制御する。

(2) 反応タンク設備

反応タンク設備では二点DO制御を行うためのDO計及び風量制御のための送風量計を用い、送風機からの曝気量と水流発生装置の回転数(循環水量)制御を行っている。DO計は交換部品が少なく、長期の使用にも安定し、水流の影響も受けない蛍光式の使用を原則としている。反応タンク設備の計装設備としては必須ではないが、推奨する計装設備としてアンモニア硝酸計、pH計を設置することで日常監視の運転指標として役立つものと考えている。

5. 普及展開にむけて

本技術の特長から現状は標準活性汚泥法で運転しているが、将来は高度処理化の計画となる処理場には、新たな池の増設を必要とせず建設費及び維持管理費で有利な本技術の導入効果が高いと考えている。既に高度処理を行っている処理場でも本技術導入による省エネ効果が高い。本技術の普及展開として各自治体に向けた説明会を予定している。平成29年3月に国土技術政策総合研究所でガイドラインとしてまとめられており、高度処理化を検討する際には活用頂きたい。