

# ダウンサイジング可能な水処理技術の実用化

栗田貴宣・石川剛士・山下洋正

## 1. はじめに

人口減少に伴う下水処理場への流入水量減少により、使用料収入の減少や処理単価の増加等の問題が生じ、下水道事業経営に悪影響を及ぼしている。このため、改築更新時に流入水量に応じて施設規模の縮小（ダウンサイジング）が可能かつ、ライフサイクルコスト（以下「LCC」という。）・エネルギーが削減可能な技術が求められている。

本稿では、中小規模の下水処理場の経営健全化に貢献する技術として平成28・29年度の2年間にわたり「下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）」として実証研究を行ってきた「ダウンサイジング可能な水処理技術」（2件）の実証研究の成果について報告する。

## 2. 特殊繊維担体を用いた余剰汚泥削減型水処理技術実証研究

### 2.1 技術概要及び目的

比較的大規模な下水処理場の水処理を対象とした省エネルギーに関する技術開発は進んでいるが、小規模処理場で主に採用される循環水路に曝気装置を組み込んだオキシデーションディッチ法（OD法）は処理プロセスが異なるため、これまでの実証成果を活用することが困難である。そこで、本実証研究では、小規模下水処理場において改築時の導入が可能なOD法代替技術の実証を目的とした。処理水質の目標値は、生物化学的酸素要求量（BOD）が処理水年間最大濃度で15mg/L以下であることと設定した。また、OD法と比較して、水処理過程で汚泥を一定に保つために引き抜く汚泥（以下「余剰汚泥」という。）の削減効果が60%以上であること、LCC削減効果が30%以上であることと設定した。

### 2.2 実証施設

土木構造物が施工済みで機械設備が未設置の系

列を有する辰野水処理センター（長野県上伊那郡辰野町）において実証試験を行った。実証規模は日最大水量2,500m<sup>3</sup>/日（日平均水量約1,700m<sup>3</sup>/日）を想定し、多段式接触酸化法を採用した。処理能力が同等で既に供給が開始されている系列を対照系列とし、実証系列では、OD槽内を分水槽、反応槽、混和槽に分割した上で、反応槽を12段に区切り、各段に担体ユニットを設置した（図-1）。担体には表面積が大きく微生物が付着しやすい端面形状を有する「特殊繊維担体」を用い、それらをユニット内で適切な空間が確保できるように充填することで旋回流を形成させ、汚泥肥大化を抑制、閉塞を防ぐ構造とした。後段の槽へ行くに従って担体に付着する原生動物、後生動物の存在量が増加し、食物連鎖によって余剰汚泥量が減少する。余剰汚泥量の大幅な削減により、汚泥処理設備のダウンサイジングが可能となる。水質を担保すると同時に汚泥の剥離を防ぐために適切な曝気風量調整が必要であるため、1～4槽は溶存酸素濃度（DO）値を1～4mg/Lに設定し、有機物の効率的な除去を行った。また、5～12槽では2～6mg/Lに設定し、原生動物及び後生動物に必要な酸素供給を行った。低水温時等において、担体からの汚泥剥離により浮遊物質（SS）の流出濃度が増加する可能性があるため、最終沈殿池による固液分離を行なうと共に、反応槽後段の混和槽に凝集剤添加設備を設置した。反応槽における水理学的滞留時間（HRT）は24～32hとし、BOD

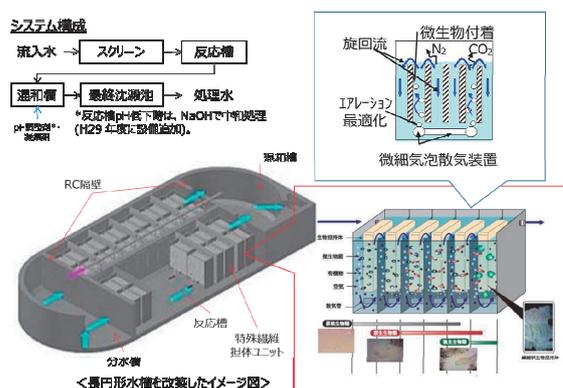


図-1 特殊繊維担体を用いた余剰汚泥削減型水処理システム構成

の容積負荷は約0.2kg-BOD/(m<sup>3</sup>・日)を上限として運転した。

### 2.3 実証結果

#### (1) 水処理性能

図-2に流入水（スクリーン処理水）及び処理水BODの経時変化を示す。流量を下げた条件での立上げ運転期間において、流入負荷の増加に伴いアンモニアが処理水中に残存した。硝化促進のため曝気風量調整を行ったが、水温が15℃を下回ったため硝化が不安定となり、処理水中T-BODが不安定となった。4月以降において反応槽の水温が15℃以上となった後は安定して処理が進むことを確認した。立上げ運転後の評価期間（2017/7/24～2018/2/15）における流入水BODは約100～200mg/Lで推移しているのに対し、実証系列処理水のT-BODは1.4～15mg/Lの範囲であり、冬季の低水温条件を含めて目標値15mg/L以下を満足することが確認できた。

#### (2) 余剰汚泥削減効果

余剰汚泥量から対照系列に対する余剰汚泥削減率を求めた結果、年間平均汚泥量削減率は55%であり、目標値をわずかに下回る結果となったが、余剰汚泥の沈降性は良好であり、濃縮性に問題はないことが確認できた。さらに脱水ケーキの含水率が対照系列と比較して0.5～2%程度低く、汚泥削減効果だけでなく、汚泥処理性の向上も確認できた。

#### (3) LCC削減効果

図-3に日最大水量2,500m<sup>3</sup>/日の既存OD法1池を実証技術に改築した場合のLCC削減率を示す（図4の①に相当）。建設費について、水処理設備は従来法と比較して30%程度高価となるが、汚泥削減効果により汚泥設備が縮小されるため、建

設費全体では4%割高にとどまった。また、維持管理費は、電力費については曝気によるコストが増大する一方で、汚泥削減効果によって汚泥処分費が減少するとともに人件費が削減され、維持管理費全体では14%安価となった。

上記と同様に異なる処理規模や系列数の改築を行う場合について評価を行った（図-4）。建設費及び維持管理費からLCC削減効果を試算すると、削減率は最大で21.6%となり、規模が小さい処理場の改築ほどLCC削減率が高くなることを確認した。

#### (4) 温室効果ガス発生量

生物反応槽から発生するCH<sub>4</sub>及びN<sub>2</sub>O、運転実績における電力消費量、薬品使用量、汚泥発生量よりそれぞれの項目の温室効果ガス発生量の寄与量を試算したところ、従来技術と比較して実証技術の方が36～45%増加する結果となった。これは実証技術において曝気に必要な電力が大ききことが要因であり、より最適な曝気量の制御が必要であることが明らかとなった。

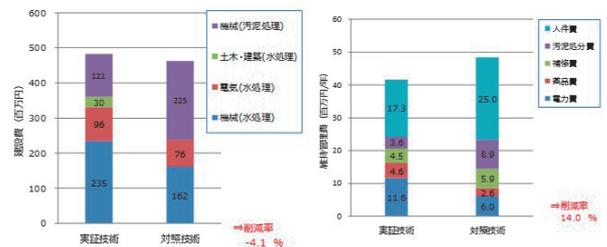


図-3 建設費及び維持管理費削減効果

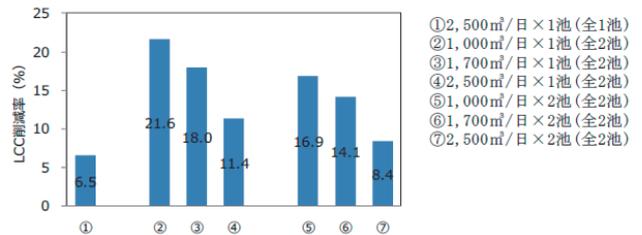


図-4 LCC削減率ケーススタディ結果

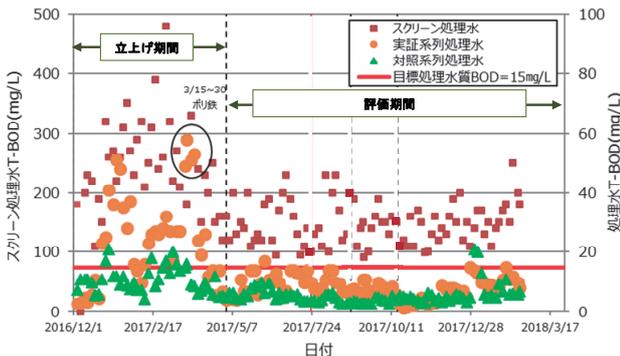


図-2 スクリーン処理水（流入水）及び処理水BODの経時変化

## 3. DHSシステムを用いた水量変動追従型水処理技術実証研究

### 3.1 技術概要及び目的

本技術は、スポンジ状担体を充填した「DHS※ろ床」（※DHS：Down-flow Hanging Sponge）と移動床式の「生物膜ろ過施設」を組合せたもの（図-5参照）であり、最初沈殿池を経た下水を



よび洗浄時間の調整が若干必要であるものの、それらは流入汚水の水温帯により切り替える単純な運転が可能(表-1)であることを確認した。このことにより、週2日の巡回監視で維持管理が可能となり、常駐管理が必要な標準法と比べて維持管理の容易性が向上する。

表-1 水温帯ごとの運転調整

| 流入汚水温度 |      | 15~20℃    | 20~30℃        |
|--------|------|-----------|---------------|
| DHSろ床  | 通気量  | 日平均汚水量×6倍 |               |
| 生物膜ろ過  | 送気量  | 流入水量×2倍   | 流入水量×2.5~3.0倍 |
| 施設     | 洗浄時間 | 30分/(基・日) | 90~120分/(基・日) |

(5) LCC及び温室効果ガス排出量の削減効果

本技術の導入効果について、従来技術(標準法)との比較により効果の検証を行った。3,000m<sup>3</sup>/日の処理場を1,000m<sup>3</sup>/日にダウンサイジング更新(既存土木躯体を活用)するという設定では、更新時にLCCが37%、温室効果ガス(以下「GHG」という。)排出量が76%の削減効果があると試算された(図-8)。

また、更新後15年間で流入水量が20%減少

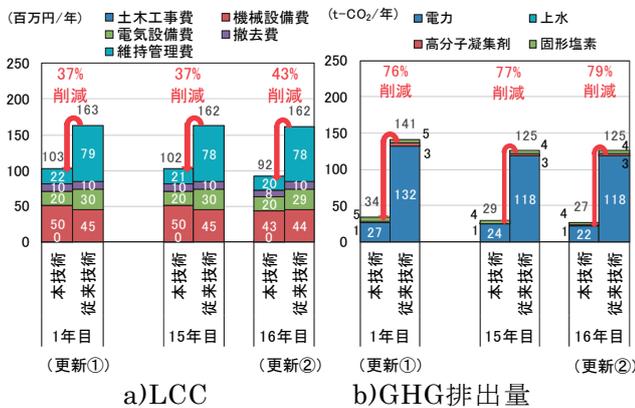


図-8 LCC及びGHGの削減効果

(640m<sup>3</sup>/日)する場合(16年後に施設能力を800m<sup>3</sup>/日にダウンサイジング)、従来技術に比べて16年目の時点でLCCが43%、GHG排出量が79%削減され、水量減少が進むほど削減効果が大きくなることが明らかとなった。

4. まとめ

実証研究の結果、2件の新技術はともに、流入水量に応じてダウンサイジングが可能で安定した処理水質を得ることができ、かつ、従来技術に比べてLCC・エネルギーを削減できることが試算された。今後、これらの技術を全国の下水処理場へ導入するためのガイドラインを作成・周知し、普及展開を促進する。

謝辞

本実証研究は、国土交通省「下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)」のもと、国総研の委託研究「特殊繊維担体を用いた余剰汚泥削減型水処理技術実証研究」として株式会社IHI環境エンジニアリング、帝人フロンティア株式会社、日本下水道事業団、辰野町共同研究体により、また、委託研究「DHSシステムを用いた水量変動追従型水処理技術実証研究」として三機工業(株)、東北大学、香川高等専門学校、高知工業高等専門学校、日本下水道事業団、須崎市共同研究体によりそれぞれ実施されました。実施いただきました共同研究体の関係者各位、貴重なご意見をいただきました有識者及び地方公共団体の下水道事業担当者各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 株式会社エヌ・ティー・エス：排水・汚水処理技術集成、pp.76~81、2007

栗田貴宣



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 研究官、博士(工学)  
Dr.Takanori AWATA

石川剛士



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 研究官  
Takeshi ISHIKAWA

山下洋正



研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室長、現 地方共同法人日本下水道事業団技術戦略部上席調査役 兼 技術開発企画課長  
Hiromasa YAMASHITA