

〈特集〉

無曝気循環式水処理技術

宮田 篤¹⁾, 藤原 拓²⁾, 明神 晃³⁾, 橋本 敏一⁴⁾¹⁾メタウォーター(株) 事業戦略本部 事業企画部
(〒101-0041 東京都千代田区神田須田町1-25 E-mail: miyata-atsushi@metawater.co.jp)²⁾高知大学 教育研究部自然科学系農学部門
(〒783-8502 高知県南国市物部乙200 E-mail: fujiwarat@kochi-u.ac.jp)³⁾高知市 上下水道局下水道施設管理課
(〒780-0801 高知県高知市小倉町5-25 E-mail: kc-241000@city.kochi.lg.jp)⁴⁾日本下水道事業団 技術戦略部
(〒113-0034 東京都文京区湯島2-31-27 E-mail: Hashimotot@jswa.go.jp)

概要

標準活性汚泥法（標準法）代替となる無曝気で下水処理できる省エネ型水処理技術を開発、実証した。処理水質は夏季～冬季を通じてBOD15 mg/L以下を安定して達成した。また電力消費量原単位は標準法の約半分の0.105 kWh/m³程度となり、発生汚泥量も標準法より低減した。

キーワード：下水処理，無曝気，前段ろ過施設，散水担体ろ床，最終ろ過施設

原稿受付 2017.5.16

EICA: 22(1) 17-21

1. はじめに

東日本大震災以降の電力事情の悪化や温室効果ガス発生量抑制のニーズから、日本の下水道においても省エネ型技術が急速に求められるようになってきている。

全国の下水道事業における電力消費量は、水処理に最も多くの電力が消費され、その割合は50%を超えている。これはほぼ全ての水処理方式が曝気動力を要しているためである。

水処理方式別では、標準活性汚泥法（以下、標準法という）を採用している下水処理場数はオキシデーションディッチ（OD）法に次ぐ2番目であるが、標準法は中大規模の処理場が多いため処理水量では75%以上を占め、トップとなっている。

無曝気循環式水処理技術（以下、本技術という）は、散水ろ床法の原理を活用・改善し、曝気動力を必要としない技術でありながら、処理水質面で標準法と同程度となるように高めた点が特徴となっている。本技術は、日本（流入下水の水温15℃以上）だけでなく、温暖で電力事情が悪い東南アジア等の海外でも新たに普及が期待できる技術である。

本技術は、2014年度に国土交通省の行う下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）の採択を受け、2014～2015年度に国土交通省国土技術政策総合研究所（国総研）の委託研究により、高知市下知水再生センターにて実規模実証（日最大6,750 m³/日）が行われた。

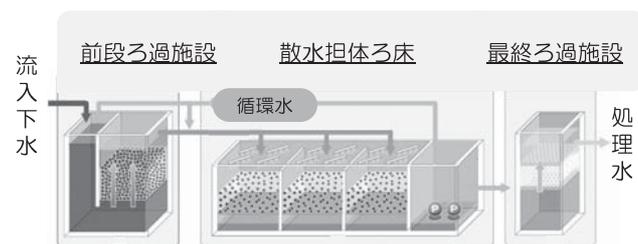
その結果、電力消費量は標準法から半減できることや、発生汚泥量も少ないといった特長が実証された。これらの実証成果に基づき、国総研において本技術の導入ガイドライン（案）¹⁾が取りまとめられ、平成29年3月に発刊されている。

本報では、導入ガイドライン（案）でまとめられた成果を紹介する。なお、必要に応じてガイドライン（案）の章、節、§番号を付した。

2. 技術概要（§8～§10）

Fig. 1に本技術の処理フローを示す。本技術は前段ろ過施設、散水担体ろ床、最終ろ過施設の3つの主要な施設から構成される。従来の散水ろ床法では、最初沈殿池、散水ろ床、最終沈殿池から構成されるが、本技術では、そのいずれにも改善が加えられている。

なお、これらの各施設の洗浄により発生する洗浄排水を濃縮する一次濃縮施設を別途設ける。

Fig. 1 Total system flow²⁾

2.1 前段ろ過施設

前段ろ過施設では、夾雑物、浮遊物質（SS）由来の固形性BOD等を除去するとともに、散水担体ろ床からの循環水の溶存酸素を用いて溶解性BODの一部も除去する。これにより、散水担体ろ床の流入BOD負荷を軽減することで、処理の安定化を図っている。また、前段ろ過施設で夾雑物が除去されるため、散水担体ろ床での散水ノズルの目詰まりを防ぐことができる。

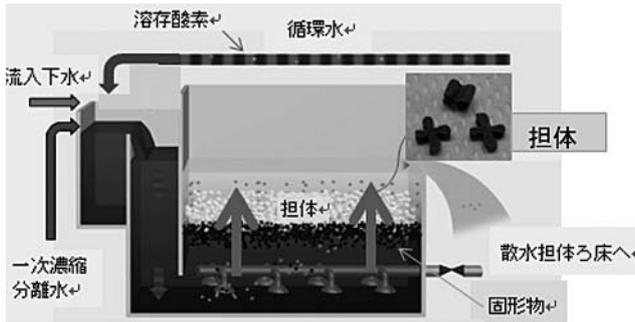


Fig. 2 Pre-filtration system

2.2 散水担体ろ床

散水担体ろ床では、前段ろ過施設流出水と循環水（散水担体ろ床流出水）が混合され、担体に散水される。ここでは自然大気圧下での気液接触により酸素が供給され、担体に付着した微生物がその酸素を用いて有機物を分解・除去する。

本技術では従来の散水ろ床の礫（れき）を細かな樹脂製担体に替えることにより、処理効率を高め、設備規模の縮小化を図っている。

また、担体の比重を調整することで空気洗浄や浸漬洗浄を可能とし、担体閉塞の防止や、ろ床バエの発生抑制を図っている。

散水担体ろ床からの処理水の循環は、従来の散水ろ床法（高速散水ろ床）でも行われていたことではあるが、本技術でもこれを取り入れ、処理水質の安定化と向上を実現している。

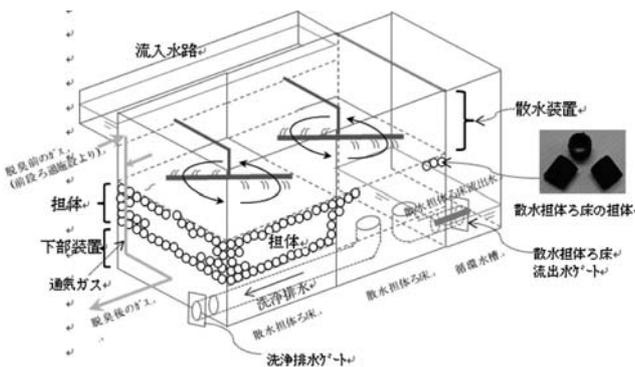


Fig. 3 Trickling filter using carriers

また、常に一定量の通気を行うことで、四季を通じての安定した酸素供給と水温低下防止を図るとともに、十分な散水と接触時間を確保することから担体に生息させた硫黄酸化細菌による生物脱臭も行う。

なお、通気抵抗は200 mmAq程度であり、通気のための電力は、曝気ブロウと比較して極少（1/10以下）である。またこの通気は、下部からの負圧吸引であり、担体層内に下向流を生じさせる。これにより施設上部での臭気漏れを防ぎつつ、ろ床内で生物脱臭処理も行い、処理後の通気ガスを下部から排出する。

2.3 最終ろ過施設

散水担体ろ床からの流出水には、担体から剥離した微細な固形物が含まれる。

最終ろ過施設は、従来の最終沈殿池では除去が困難であったこの微細固形物を、小型円筒型ろ材により水面積を増加させて沈殿効果により効率的に除去する。なお、下部に沈降する汚泥もあるため、下部からも沈殿汚泥（剥離沈殿汚泥）の引抜を行う。

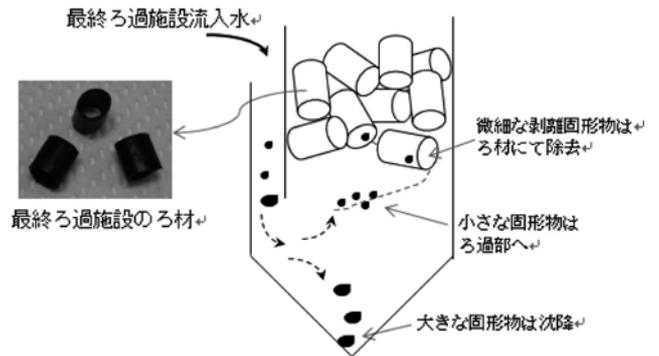


Fig. 4 Final filtration system

3. 特 長（§7および第3章）

本技術の特長を以下に示す。

① 使用電力量の削減

使用電力量原単位は、0.105 kWh/m³であり、標準法（0.222 kWh/m³）より半減する。

② 維持管理費の低減（汚泥発生量削減等）

電力費、薬品費等、補修・点検費、汚泥処分費の合計として標準法よりも36%程度削減する。この4項目では汚泥処分費の削減効果が大きい（汚泥処分費単価1.6万円/tonと仮定した場合）。

③ 建設費の抑制、縮減

既設標準法躯体を活用して設置できるため、建設費を縮減することが可能である。具体的には、最初沈殿池を前段ろ過施設・一次濃縮施設、反応タンクを散水担体ろ床、最終沈殿池を最終ろ過施設に改造する。新

設の場合は、最終ろ過施設の規模縮小効果により、土木を含む建設費として26%削減（土木単価は8万円/空m³と仮定した場合）できる。

④ 安定した処理水質

年間を通してBOD15 mg/Lを安定して下回る処理水質となる。実証結果として年間32回（1回は1日12回のコンポジットサンプル）の単純平均で6.0 mg/L（標準偏差2.0 mg/L）であった。

⑤ 時代のニーズ変化への様々な対応

本技術は下水道事業経営面においては、上記の電力消費量低減、汚泥処分費低減の効果がある。

本技術の電力消費の大部分が揚水動力によるため、水量減に応じて電力使用量をリニアに減少させていくことが可能であり、自治体の人口減少に伴う水量減少に柔軟に対応できる。

資源化・創エネ面では、エネルギー価値の高い生汚泥の割合が増加することにより、脱水、消化、焼却等において効率化が図られる。

環境・地球温暖化面においては、省エネ化に伴う効果が期待できる。合わせて散水担体ろ床における生物脱臭機能により薬品使用量の削減などが期待できる。

設備更新時には既存土木躯体の活用、土木施設も更新する場合には施設規模の縮小が期待できる。

4. 導入効果 (第3章)

実証試験結果に基づく、ケーススタディーを実施し、建設費と維持管理費について、本技術の導入効果の検討を行った。なお、ケーススタディーは、処理能力（日最大）50,000 m³/日規模の標準法の既設土木躯体（設備未設置）に本技術または標準法の設備を導入する場合を想定した。

試算条件をTable 1に示す。建設費は日最大水量、維持管理費は日平均水量に対して算出した。

Table 1 Calculation conditions

		本技術	標準法
水量 (m ³ /日)	日最大	50,000	
	日平均	40,000	
流入水質 (mg/L)	BOD	200 (溶解性BOD80)	
	SS	180	
施設諸元	1 施設	(前段ろ過施設)ろ過速度 200 m/日 (対流入下水)	(最初沈殿池)水面積負荷 50 (m ³ /(m ² ・日))
	2 施設	(散水担体ろ床)BOD容積負荷 1.6 kgBOD/(m ³ ・日)	(反応タンク)HRT 8 hr BOD-SS負荷 0.2 kgBOD/(kgMLSS・日)
	3 施設	(最終ろ過施設)ろ過速度 150 m/日 (対流入下水)	(最終沈殿池)水面積負荷 50 (m ³ /(m ² ・日))

4.1 建設費

建設費の試算結果をTable 2に示す。なお、本技術については、仕切り壁の設置等、土木躯体の改造工事も含まれる。

建設費は、標準法の設備を導入する場合と比較して、若干の縮減に留まる結果となった。

Table 2 Construction cost

項目	単位	本技術	標準法	削減率 (%)
建設費	億円	37.2	39.2	5
建設費年価	百万円/年	279	312	10

4.2 維持管理費

維持管理費の試算結果をTable 3に示す。本検討では、電力費算定にあたり、循環ポンプの原水槽への高低差を6.2 m、送水ポンプ（循環水槽から最終ろ過施設への揚水用）の水位差を3.6 mと仮定した。また、本技術では、前段ろ過施設でのろ過損失水頭分の確保が必要であるため、標準法の最初沈殿池への流入水位と比較して、前段ろ過施設への流入水位は1.5 m高いものと仮定した。なお、これらの仮定値は、実際には既存施設の水位関係等により相違する。

本技術の維持管理費は、標準法と比較して36%の削減と試算された。

Table 3 Maintenance cost

項目	単位	本技術	標準法	削減率 (%)
電力費 ^{*1}	百万円/年	23	49	53
薬品費等 ^{*2}	百万円/年	0	13	100
補修・点検費 ^{*3}	百万円/年	28	46	39
汚泥処分費	百万円/年	146	200	27
合計	百万円/年	197	312	36

*1 電力単価 15円/kWh, *2 水処理脱臭, *3 機器費の2%

5. 適用条件 (§ 11)

計画放流水質がBODで10 mg/Lを超え、15 mg/L以下の区分である下水処理場に適用する。

窒素・りん除去を目的とする高度処理施設に本技術を単独で適用することはできない。

本技術は、水処理施設の新設または増設、ならびに標準法等の既存施設の改造に適用することができる。ただし、既存施設の構造によっては、改造が困難な場合がある。

なお、流入下水の温度が15℃を下回る地域への適用は、十分な検討が必要である。実証施設では、最低月の月平均が17℃、日平均の最低が14℃台（時間平均は12℃台まで低下）となったが、処理性能への影響はなかった。

6. 技術の特色

本技術は、自然大気下での気液接触により酸素供給を行う省エネ性の高い散水ろ床法の原理を活かしつつ、従来の散水ろ床法の諸課題を解決・改良したものであり、特筆すべき特色がいくつか生まれた。それらを以下にまとめる。

6.1 安定した処理性能 (§ 7)

本技術は、処理性能を標準法と同等レベルにまで高めている。**Fig. 5**に実証試験における流入水質および処理水質の推移を示す。

実証期間を通じて処理水質は、BOD15 mg/L 以下(平均処理水質 6.0 mg/L, 標準偏差 2.0)で安定していた。

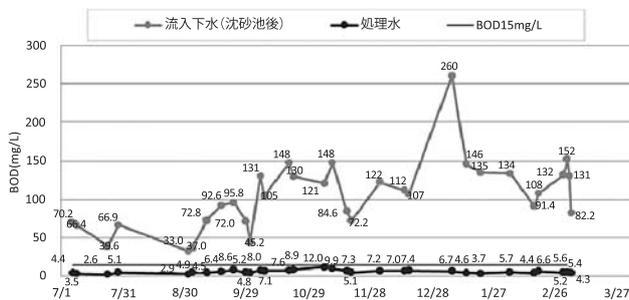


Fig. 5 Changes of BOD in influent and treated water²⁾

6.2 環境面 (§ 49)

本技術は、散水担体ろ床においても、定期的な洗浄を実施する。これは、担体閉塞の防止とともに、従来より散水ろ床法がろ床バエの発生により敬遠されてきた経緯を考慮し、できる限りろ床バエの発生も抑制するように改善したものである。

なお、本技術では散水担体ろ床は、脱臭等の考慮もあり覆蓋しているため、発生するろ床バエは直ちに系外に出るものではないが、発生自体をなるべく減らすことを目的としている。

具体的には、ろ床バエの卵から蛹を経て成虫になるまでのライフサイクルが25℃の高温期に15日程度である³⁾ことを考慮し、夏季には1回/週程度の散水担体ろ床の空気洗浄を行うこととした。

Fig. 6の調査期間に示すように「洗浄無し」と「洗浄あり」を比較すると、「洗浄あり」の場合のろ床バエの個体数は、少なくなっている。

6.3 運転管理面 (§ 44~ § 48)

標準法では、反応タンクでのMLSS濃度や最終沈殿池での汚泥沈降性について、日々の確認が必要であったが、本技術は生物膜法であるため、これらの管理が不要である。

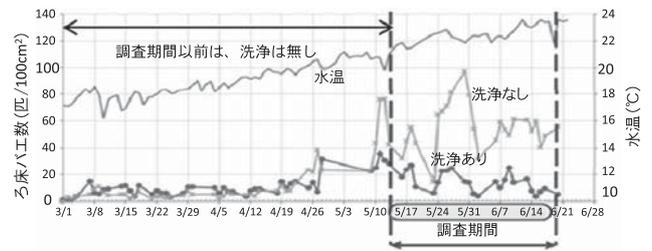


Fig. 6 Cleaning method of trickling filter using carriers and the number of flies generated

Table 4に示す通り、本技術では、従来の散水ろ床法に対して、運転管理面での改善を図っている。また**Table 5**に示す通り、導入する下水処理場の状況に応じて基本運転条件を設定することとしている。このようにして自動運転を可能としているが、安定した処理水質の確保のため、処理状況等についての状態監視は必要である。

Table 4 Improvement of operation (§ 45~ § 47)

	従来散水ろ床からの改善点
前段ろ過施設	夾雑物や大きなSSを除去しているため、散水担体ろ床の散水ノズルの目詰まりを防止できる。
散水担体ろ床	自動の洗浄機能を設けることで、ろ床バエやろ床目詰まりを防止している。
最終ろ過施設	ろ床からの細かな剥離汚泥をろ過で確実に除去できるようにしている。

Table 5 Basic operational conditions

項目	設定例
洗浄方法	前段ろ過施設……1回/(30分~2hr) 散水担体ろ床……1回/1週(夏季)~2週(冬季) 最終ろ過施設……1回/日
循環水の循環率	日平均水量に対して 春季・夏季・秋季……100% 冬季……200%
通気量	散水担体ろ床：日平均水量に対して、6倍

7. 今後の普及展開に向けた取組み

標準法が100年の歴史を有するのに対して、本技術はようやく実証研究を完了した段階である。本技術は、標準法と比較して、省エネ・省コストの効果が見込まれ、わが国の下水道事業が抱える様々な課題を解決できる可能性を有している。

今後は、高知市下知水再生センターに設置した実証施設にて技術のいっそうのレベルアップを図り、また国内外の様々な地域で、種々の流入下水に対して、より適切な計画・設計ができるよう技術的知見も拡充しながら、普及展開に努めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) B-DASH プロジェクト No.12「無曝気循環式水処理技術導入ガイドライン (案)」国土技術政策総合研究所資料第951号, 平成29年2月
- 2) 星川珠莉: 無曝気循環式水処理技術による省エネルギー化, 水環境学会誌 Vol.40, No.3 (2017)
- 3) 森原修, 安江安宣: 「オオチョウバエの発育に及ぼす温度の影響」, 農学研究 59: 81-86 (1981)