

<解説>

DHS システムを用いた水量変動追従型 水処理技術における処理性能

山崎 慎一^{*1}, 松本 祐典^{*2}, 長野 晃弘^{*2}, 多川 正^{*3}, 原田 秀樹^{*4},
大村達夫^{*4}, 西村 公志^{*5}, 橋本 敏一^{*6}, 石川 剛士^{*7}

Treatment performance of Innovative Sewage Treatment System by DHS-MBBF

Shinichi YAMAZAKI^{*1}, Yusuke MATSUMOTO^{*2}, Akihiro NAGANO^{*2}, Tadashi TAGAWA^{*3},
Hideki HARADA^{*4}, Tatsuo OHMURA^{*4}, Koji NISHIMURA^{*5}, Toshikazu HASHIMOTO^{*6}
and Takeshi ISHIKAWA^{*7}

Abstract

There is problem of a decrease of sewage inflow by population decline in operation and maintenance of sewage treatment plants. Therefore, it is necessary to develop an innovative technology that can flexibly change treatment capacity depending on inflow rate. Thus, we developed Down-flow Hanging Sponge (DHS) filter – Moving Bed Biological Filter (MBBF) system which is possible as an alternative technique of Conventional Activated Sludge process, and demonstrates in Susaki, Kochi. This paper showed results of the treatment performance and the saving effect of electricity consumption by the DHS-MBBF demonstration experiment.

Key Words : Sewage treatment, Down-flow Hanging Sponge (DHS), Moving Bed Biological Filter (MBBF)

1. はじめに

下水道事業においては、将来的な人口減少による下水処理場への汚水流入量の減少、それに伴う下水道使用料収入の減少等が課題の一つとなっている。そこで、①流入水量減少にあわせた柔軟な処理規模の縮減、②流入水量減少に追従したライフサイクルコストの縮減という性能を具備する、ダウンサイジング可能な水処理技術が求められている。筆者らは、国土交通省国土技術政策総合研究所の平成 28 年度下水道革新的技術実証事業 (B-DASH プロジェクト) において、標準活性汚泥法 (以下、「標準法」と称す) 代替のダウンサイジング可能な水処理技術として、「DHS システムを用いた水量変動追従型水処理技術」 (以下、「本技術」と称す) を提案し、採択され、須崎市終末処理場 (高知県須崎市) において実規模での実証研究が平成 29 年 1 月より開始された。本解説では、これまで筆者らが各種学会等^{1)~4)}で報告してきた B-DASH プロジェクトにおける本技術の特徴を説明し、実規模実証実験での処理性能及び運転コストの削減効果について紹介する。

*1 高知工業高等専門学校 ソーシャルデザイン工学科

〒783-8508 高知県南国市物部乙 200-1

*2 三機工業株式会社 R&D センター 環境システム開発部

〒242-0007 神奈川県大和市中央林間 7-10-1

*3 香川高等専門学校 建設環境工学科

〒761-8058 香川県高松市勅使町 355

*4 東北大学 未来科学技術共同研究センター

〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻青葉 6-6-10

*5 須崎市 建設課

〒785-8601 高知県須崎市山手町 1-7

*6 日本下水道事業団 (現国土技術政策総合研究所)

〒113-0034 東京都文京区湯島 2-31-27 湯島台ビル 3F

*7 国土技術政策総合研究所 下水道研究部

〒305-0804 茨城県つくば市旭 1

2. 本技術の構成および特長

本技術と標準法の処理フロー比較を **Fig. 1** に示す。本技術は標準法代替の水処理技術であり、最初沈殿池越流水（以下、「初沈越流水」という）を対象とする。従来の反応タンクに代えて「スポンジ状担体を充填した DHS（DHS：Down-flow Hanging Sponge、下降流スポンジ状担体）ろ床」（以下、「DHS ろ床」と称す）と、その後段に、「移動床式の生物膜ろ過施設」（以下、「生物膜ろ過施設」と称す）を設けている。

DHS ろ床の詳細を **Fig. 2** に示す。DHS ろ床は約 20 年前に東北大学の原田教授が考案したものであり、汚水がスポンジ状担体（スポンジが円筒形格子状フレームに入ったもの）に供給されるとき、空気中から排水中に酸素が効率的に供給され、スポンジ内部に固定された生物により排水中の有機物やアンモニアが酸化分解される。また、有機物を分解して生成される汚泥は、スポンジ内部での非常に長い滞留時間によって自己消化を生じ、汚泥発生量が少ないという特徴がある。このように DHS ろ床は、保水性の優れたスポンジ状担体を使用して無曝気で生物処理を行うものであり、省エネルギー、汚泥発生量が少ない、運転管理が容易などの利点からインドなどの発展途上国での下水処理法として約 10 年前から実用化が進行しており^{5) 6)}、現在では下水以外の各種排水処理への適用も試みられている⁷⁾。

生物膜ろ過施設の詳細を **Fig. 3** に示す。生物膜ろ過施設は好気性処理とろ過の両方の機能を持った処理方式である。アンスラサイトを担体とし、リアクター下部より空気を供給し、上部より汚水を供給して生物処理層で向流接触させる。担体の表面に生成された生物膜によって有機物やアンモニアを酸化する生物処理の

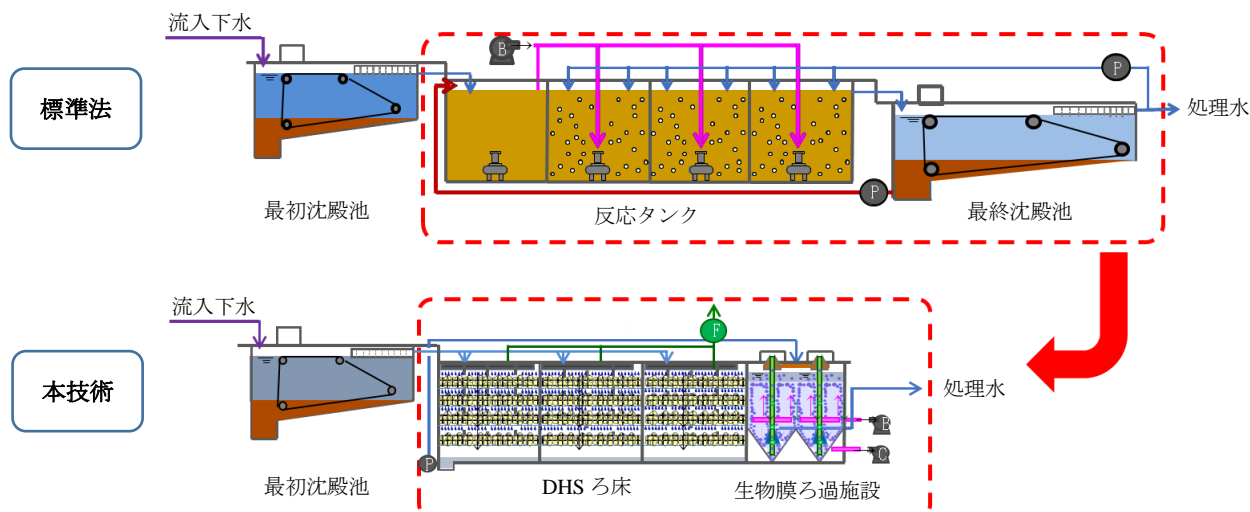


Fig. 1 標準活性汚泥法と本技術の処理フロー¹⁾

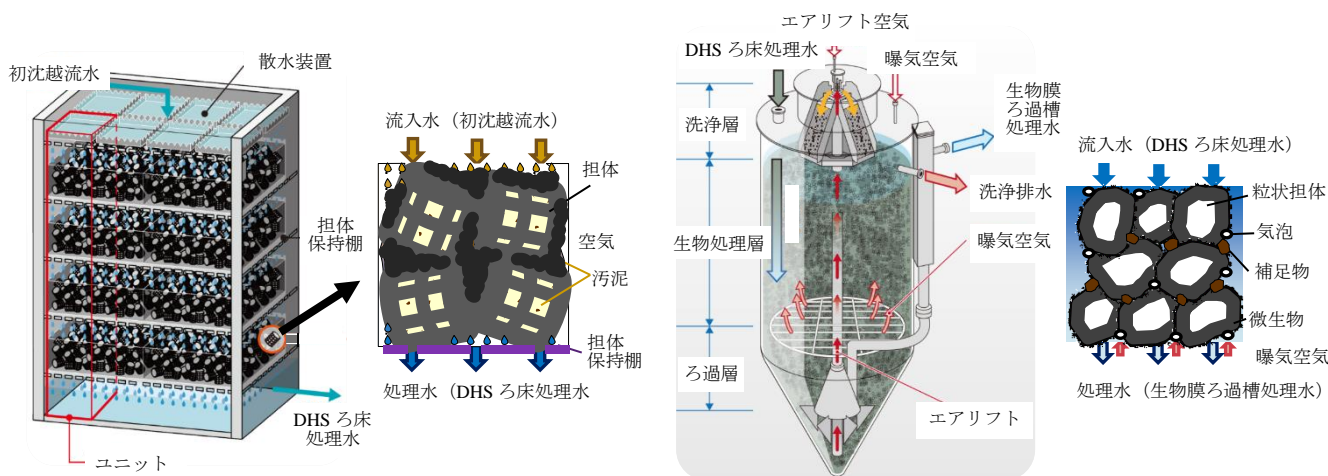


Fig. 2 DHS ろ床の概要

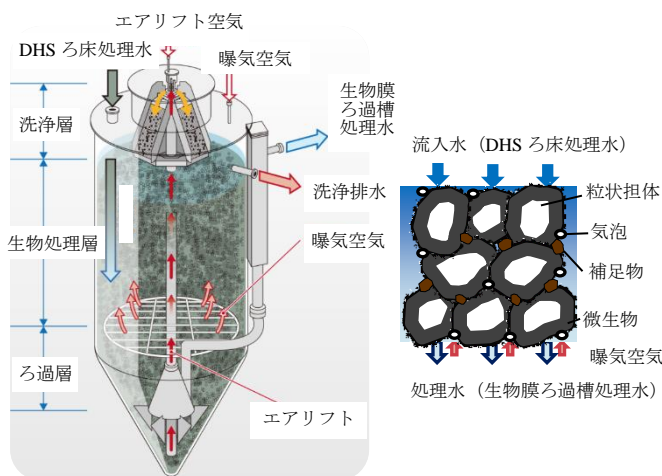


Fig. 3 生物膜ろ過施設の概要

働きと、担体の空隙に固形物や懸濁物質を捕捉して除去するろ過の働きを併せ持っている。これまでは下水の二次処理（生物処理）に用いられてきたが、DHSろ床との組合せにより、放流水質を安定させる仕上げ処理としての効果を果たしている。また、担体のエアリフト洗浄を処理と同時に進行することができるため、担体洗浄による運転停止時間がなく連続処理が可能である。

このDHSろ床と生物膜ろ過施設を組み合わせた本技術は、ライフサイクルコスト（LCC）が標準法と比較して安価であること、DHSろ床ユニットを減らすことで処理規模のダウンサイジングが容易であり、流入水量に追従してLCCのさらなる縮減が期待できること、高度な技術が不要で標準法と比較して維持管理が容易なこと、流入水量が減少しても安定した処理性能を発揮できること、標準法から本技術への設備更新時では既存の躯体を活用できること、などの特徴を有している。

3. 須崎市終末処理場の実証実験の概要

3.1 設備概要

須崎市終末処理場（高知県須崎市）の標準活性汚泥処理設備と本技術の実証実験設備の処理規模をTable 1に示す。平成27年度における須崎市終末処理場の日平均流入汚水量は約400m³/日と、現有処理能力である1,800m³/日（最初沈殿池未稼働、反応タンク1/2稼働）を大きく下回っていた。そのため実証実験設備の処理能力は、須崎市終末処理場に流入する全量処理が可能な日最大汚水量500m³/日とした。平成29年1月5日から運転を開始し、全量処理を行うまでの立ち上げ期間は1ヶ月とした。

実証実験設備の外観をFig. 4に、施設全体の処理工程をFig. 5に示す。本実証施設は、既存躯体の耐震性の都合上、いずれも鋼板製として屋外に設置した。流入下水はマンホールポンプで最初沈殿池に送られ、初沈越流水はDHSろ床、生物膜ろ過施設の順に処理される。初沈汚泥は重

Table 1 須崎市終末処理場の標準活性汚泥法設備と実証実験設備の処理規模

処理場名	須崎市終末処理場	
処理方法	標準活性汚泥法	DHS+生物膜ろ過施設
供用開始年月	平成7年10月	平成29年1月5日
立上げ期間	—	1ヶ月
日最大処理能力	1,800m ³ /日	500m ³ /日
現状流入水量	約400m ³ /日（平成27年度日平均）	

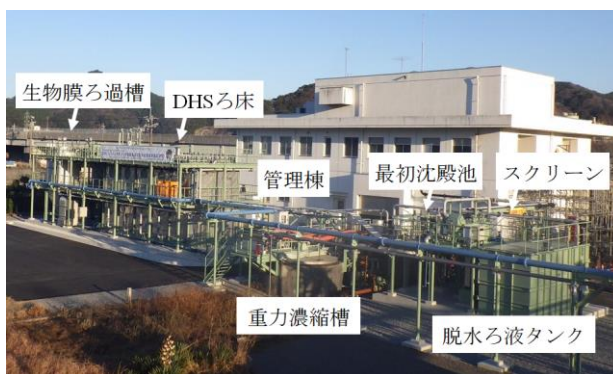


Fig. 4 実証実験設備の外観

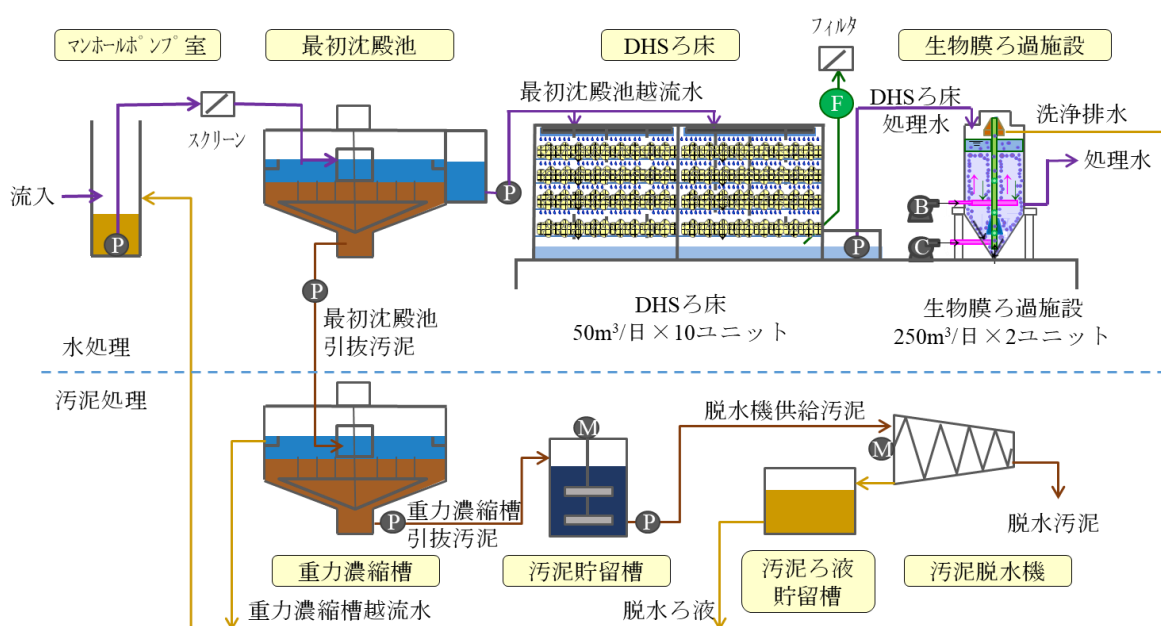


Fig. 5 施設全体の処理工程

力濃縮槽，汚泥貯留槽を経て汚泥脱水機で脱水されて，場外で処分される。脱水ろ液，生物膜ろ過施設の洗浄排水，重力濃縮槽越流水はマンホールポンプ室に返送される。

実証実験設備の仕様を **Table 2** に示す。最初沈殿池は最大水面積負荷を $5.2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ とした。DHS ろ床は $2\text{m}^{\text{W}} \times 2\text{m}^{\text{L}} \times 0.78\text{m}^{\text{H}} \times 4$ 段を 10 ユニットで構成しており，スポンジ総容積は 64m^3 ，スポンジ負荷は最大 $7.8\text{m}^3/\text{m}^3\text{-sponge} \cdot \text{日}$ とした。生物膜ろ過施設はろ過面積 6m^2 を 2 ユニットで構成した。この DHS ろ床および生物膜ろ過施設は，将来的に流入水量が減少した場合には処理規模の縮減を可能にしている。

平成 29 年 4 月 1 日から平成 30 年 2 月 8 日における実証実験設備への流入条件を **Table 3** に示す。年間平均の流入水量は設計値 $500\text{m}^3/\text{日}$ に対して $359 \text{ m}^3/\text{日}$ ，T-BOD 濃度は 190mg/L に対して 138 mg/L ，SS 濃度は 160mg/L に対して 163 mg/L ，平均水温は 22°C であった。

Table 2 実証実験設備仕様¹⁾

最初沈殿池	水面積	9.6 m^2
	最大水面積負荷	$5.2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$
DHS ろ床	担体保持棚段数	4 段
	担体総積高さ	3 m
	スポンジ総容積	64 m^3
	ろ床面積	40 m^2
	区画数	10 ユニット
生物膜ろ過施設	ろ過面積	12 m^2 ($6 \text{ m}^2 \times 2$ ユニット)
	ろ材高さ	2 m

Table 3 平成 29 年度の実証実験設備への流入条件¹⁾
(平成 29 年 4 月 1 日～平成 30 年 2 月 8 日)

項目	平均 (最小～最大)	設計値
流入水量 ($\text{m}^3/\text{日}$)	359 (201～627)	$500 \text{ m}^3/\text{日}$ (日最大)
T-BOD (mg/L)	138 (72～257)	190 mg/L
SS (mg/L)	163 (15～397)	160 mg/L
水温 ($^\circ\text{C}$)	22 (16～28)	—

3.2 実証実験結果の概要

平成 29 年度における実証実験設備の処理温度，T-BOD の変化を **Fig. 6** に示す¹⁾。流入下水（初沈越流水）の水温は $16 \sim 28^\circ\text{C}$ で推移しており，生物膜ろ過処理水の T-BOD は活性が低下する冬季においても目標値である 15mg/L 以下を達成し，清澄な処理水を維持することができている。

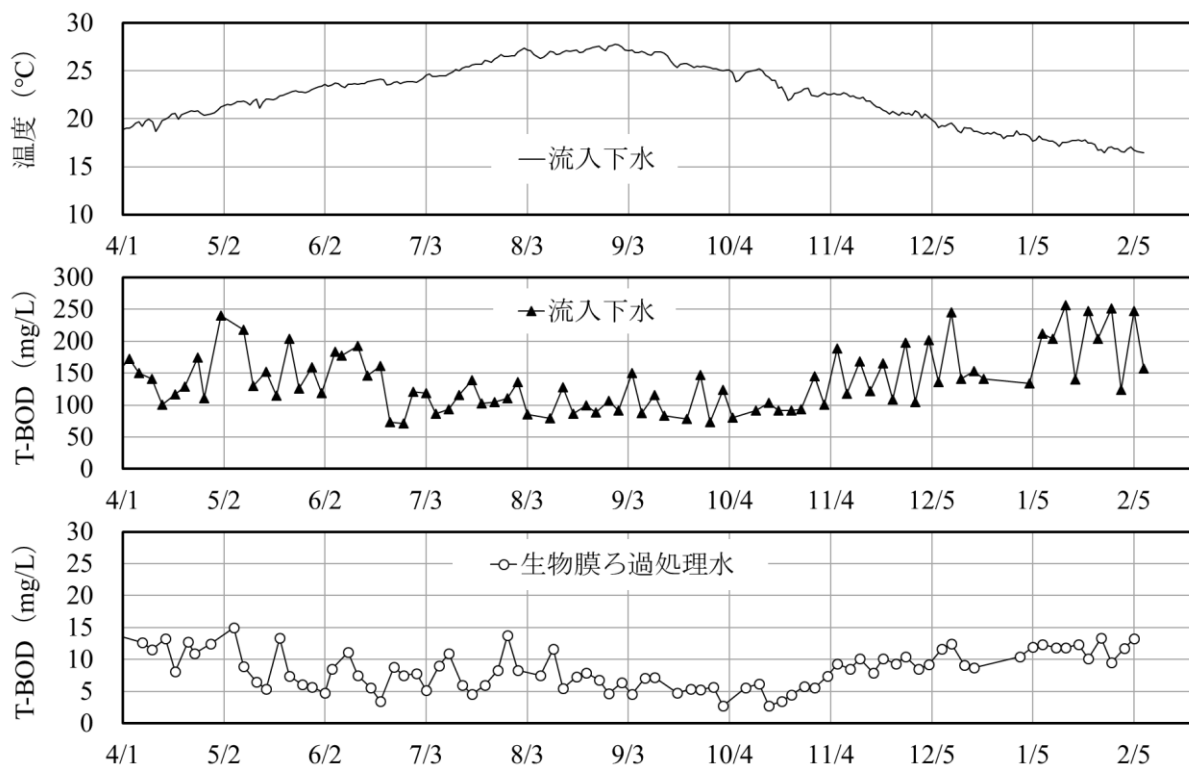


Fig. 6 平成 29 年度における処理温度と処理水質¹⁾

DHSろ床担体の汚泥付着量の変化を Fig. 7 に示す⁴⁾。汚泥付着量は、毎月1回、各段から担体を3個ずつ採取し、それらのスポンジから汚泥を全て洗い出してSSを測定し、スポンジ容量当たりで換算したものである。1月の運転開始から汚泥付着量は右肩上がりで見られ、5月11日以降は15~40 gSS/cm³-sponge程度の汚泥が安定的に保持された。このスポンジ状担体に汚泥が一定量保持されたことが、結果として処理水質の安定化に寄与したと考えられる。

須崎市終末処理場における本技術導入前後の水処理電力(揚水設備を含む)原単位の比較を Fig. 8 に示す。導入前(標準法)の原単位は、平成27年度における各機器運転時間と電動機出力を乗じたものを平均処理水量(372m³/日)で除して算出した。導入後(本技術)は、平成29年8月31日、冬季の平成30年2月4日における各機器運転時間に電流値と電圧を乗じたものを、各々の日平均処理水量(396m³/日、321m³/日)で除して算出した。本技術の導入によって水処理設備に使用していた電力は大幅に減少し、揚水設備を含む電力原単位は日平均で81%(冬季日平均でも76%)削減された。

本技術導入前後の処理水量と水処理電力(揚水設備を含む)原単位の関係を Fig. 9 に示す¹⁾。導入前の原単位は平成21~28年までの各月水処理使用電力量を各月処理水量で除して算出し、導入後は平成29年4月1日から30年1月31日の各月水処理使用電力量を各月処理水量で除して算出した。日平均処理水量400m³/日での導入前後の電力原単位を比較すると、本技術は標準法に対して72%の削減効果を得た。また、日平均処理水量が400m³/日以下に減少した場合、本技術の電力原単位の増加は標準法に比べて小さいことが分かる。

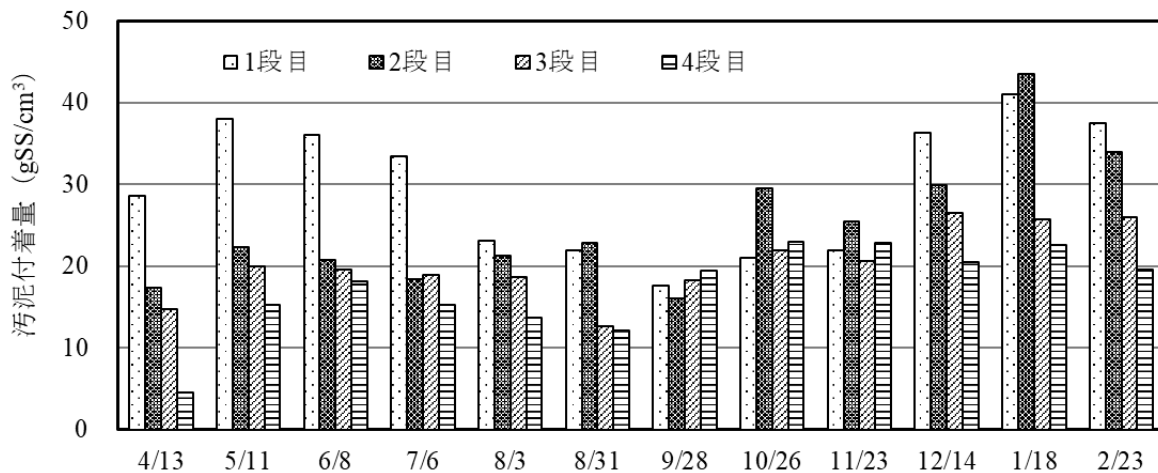


Fig. 7 平成29年度におけるDHSろ床担体の汚泥付着量の変化⁴⁾

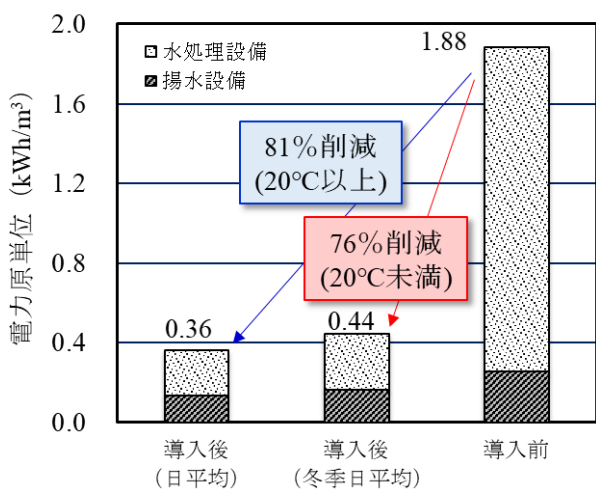


Fig. 8 導入前後の水処理電力原単位の比較

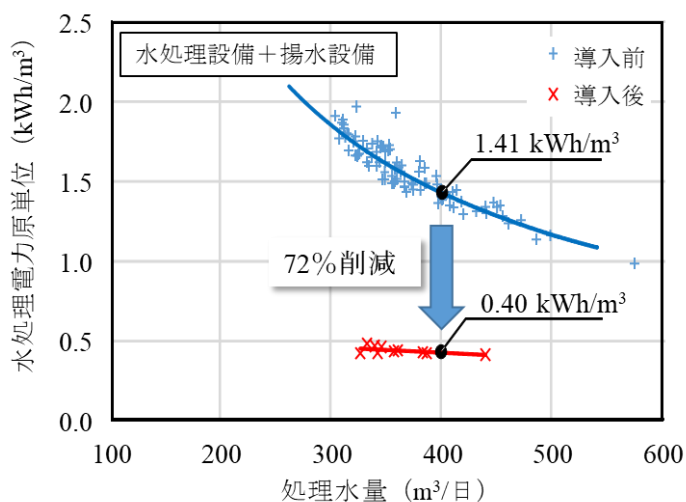


Fig. 9 処理水量と水処理電力原単位の関係¹⁾

4. おわりに

標準活性汚泥法を代替するダウンサイジングが可能な水処理技術として、「DHS システムを用いた水量変動追従型水処理技術」が須崎市終末処理場において実規模での実証実験が行われた。平成 29 年度の実証実験で得られた成果の概要を下記にまとめて紹介する。

- 1) 初沈越流水の水温は年間を通じて 16～28℃で変化したが、生物膜ろ過処理水の T-BOD は 15mg/L 以下を安定的に維持した。また、DHS ろ床担体の汚泥付着量は 15～40 gSS/cm³-sponge 程度の汚泥が保持され、処理水質の安定化に寄与していると考えられた。
- 2) 揚水設備を含む水処理設備の電力原単位は実証実験設備の導入により大幅に減少し、施設全体の電力は日平均で 72%に削減された。また、本技術は流入水量が減少しても電力原単位はさほど増加しないことも確認された。

参考・引用文献

- 1) 松枝孝, 松本祐典, 長野晃弘, 原田秀樹, 大村達夫, 多川 正, 山崎慎一, 橋本敏一, 西村公志, 石川剛士 (2018), DHS システムを用いた水量変動追従型水処理技術の実規模実証と導入効果, 下水道研究発表会講演集, Vol.55, pp.1004-1006
- 2) 松本祐典, 長野晃弘, 田中信宏, 原田秀樹, 大村達夫, 多川 正, 山崎慎一, 橋本敏一, 西村公志, 石川剛士 (2018), DHS システムを用いた水量変動追従型水処理技術の設計因子に関する検討, 下水道研究発表会講演集, Vol.55, pp.1007-1009
- 3) 清水克祐, 橋本敏一, 長野晃弘, 原田秀樹, 大村達夫, 多川 正, 山崎慎一, 西村公志, 石川剛士 (2018), DHS システムを用いた水量変動追従型水処理技術の汚泥発生量削減効果について, 下水道研究発表会講演集, Vol.55, pp.1010-1012
- 4) 山崎慎一, 福島樹希, 長野晃弘, 松枝 孝, 田中信宏, 多川 正, 原田秀樹, 大村達夫, 西村公志, 橋本敏一, 石川剛士 (2018), 生物膜ろ過併用 DHS ろ床法の処理水質とろ床内汚泥付着量の調査, 第 24 回土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, VII-8
- 5) 原田秀樹, 大橋晶良, 小野寺 崇, 大久保 努, 桐島佳宏, 上村茂樹 (2005), 日本とインドの国際協力によるエネルギー最小消費型下水処理技術の開発, 水利科学, No.285, pp.1-17
- 6) 大久保努, 原田秀樹, 小野寺 崇, 上村茂樹, 山口隆司, 大橋晶良 (2008), 開発途上国のためのエネルギー最小消費型下水処理技術の開発－実規模 DHS リアクターの有機物処理特性評価－, 土木学会論文集 G, Vol.64, No.2, pp.187-195
- 7) 大久保努, 山田真義, 角野晴彦, 多川 正, 山内正仁, 山崎慎一, 上村茂樹, 荒木信夫 (2012), 高専間と産官学の連携による新規排水処理技術‘DHS’の開発, 環境技術, Vol.41, No.11, pp.19-22