

調査・研究報告書

第15号

ハイブリッド水処理システムによる小規模下水処理実証実験

平成30年3月

公益財団法人千葉県下水道公社



1. はじめに

千葉県下水道公社では、平成4年3月に設立以来、下水道に関する普及啓発事業、調査研究事業、技術者養成事業、管理受託事業、建設受託事業等を実施しています。また、下水道技術が複雑化・多様化している現在、調査研究事業を充実・強化するため、各種の教育機関や研究機関をはじめとした下水道に係る団体との共同研究に取り組んでいます。その中で、低コスト、省エネルギーが期待される下水処理システムの実証試験結果について紹介します。

国内における汚水処理人口普及率は平成30年度末において91.4%に達しています。しかし、その状況は大都市と中小市町村で大きな格差が見られ、特に人口5万人未満の市町村の汚水処理人口普及率は80.3%にとどまっており、未だ約1,100万人が汚水処理施設を利用できない状況です。そのため未整備地域の解消に向けた取組みが急務ですが、下水道事業においては、厳しい財政によるコスト縮減、環境保全の面から温室効果ガスの排出抑制という課題もあります。

このような状況下において、特に人口密度が低い地域に適する小規模対応の水処理システムには、省エネルギー、容易な維持管理、高度な技術を必要としないなどの特性が要求されます。

今回、このような特性を有するハイブリッド処理システムについて東京理科大学と三機工業株式会社から実負荷による実証試験の提案があり、千葉県、当公社を含めた4者にて共同研究を実施しました。

2. ハイブリッド処理システム

ハイブリッドシステムとは、生物反応槽の前段に凝集沈殿設備を配したものを云います。図1に示すようにハイブリッドシステムでは、物理化学的凝集沈殿によって従来法における最初沈殿池では除去不可能な比較的粒径の小さい汚濁物質が排除されるため、後段の生物処理への有機物負荷が小さくなり、より効率的な水処理が期待できます。

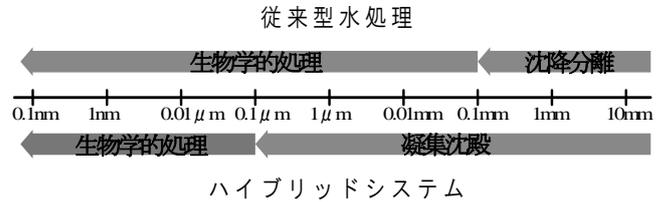


図1 粒子径分布

本研究では、凝集沈殿設備としてJMS（噴流攪拌固液分離槽）、生物処理としてMBB（移動床式生物ろ過法）からなるハイブリッドシステムを採用しました。システム実証試験の主たる仕様・運転条件を表1、またフローを図2、全景を写真1に示します。

JMS（噴流攪拌固液分離槽）	
使用凝集剤	ポリシリカ鉄(9mgFe/L)
総滞留時間	2.6～3.7時間
沈降部水面積負荷	22～32m ² /日
MBB（移動床式生物ろ過法）	
担体	アンセラサイト(5mm)
寸法	φ0.8m×3.4mH
通水速度	20～30m ² /日
好気部滞留時間	0.67～1.0時間
気液比	2.1～4.6

表1 ハイブリッドシステム仕様・運転条件

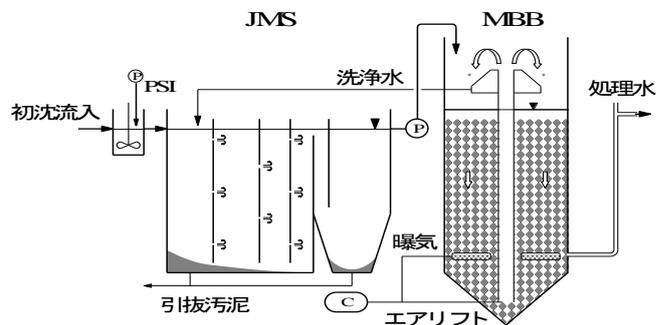


図2 ハイブリッドシステムフロー



写真1 ハイブリッドシステム全景

JMSでは凝集剤としてPSI(ポリシリカ鉄)を使用し、噴流によりフロキュレーションを行うため緩速攪拌装置が不要となり、動力が削減されます。また、生物膜ろ過は生物反応と固液分離を一つの槽で行うことから小スペース、且つ汚泥処理が不要となります。さらにMBBではエアリフト機構によりろ床洗浄を行うため、機械構造がシンプルです。このようにJMS、MBBともに機械装置として小規模処理設備に適しています。

3-1. 実証試験結果(SS・BOD・T-P)

実証試験結果として、SS・BODの処理結果をそれぞれ図3、図4に示します。従来法である活性汚泥システムの3割程度の滞留時間で、MBB処理水のSSは、ほぼ10 mg/L以下、BODは10~20 mg/Lを安定して維持することができました。また、リン除去についてもPSIを添加することで処理水T-Pが概ね1.0 mg/L以下を得ることを確認しています。(図5)ただし、窒素除については、滞留時間が短いため十分な硝化は困難であり、構造的にも循環ができないため高度な窒素除去はできませんでした。

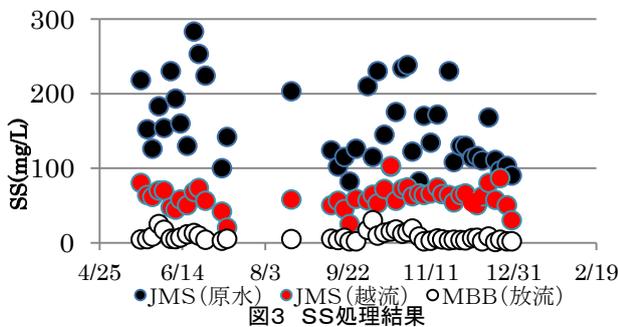


図3 SS処理結果

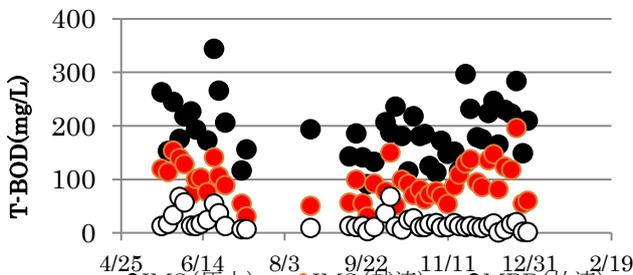


図4 BOD処理結果

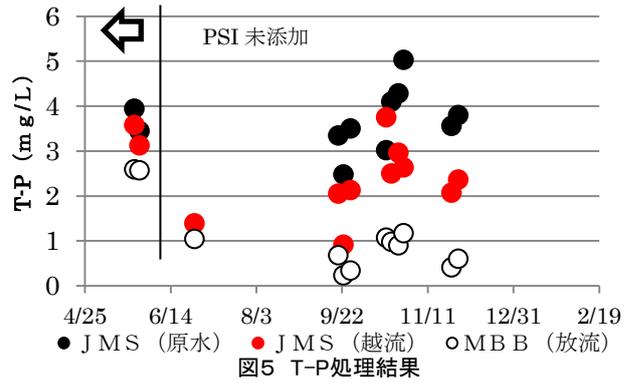
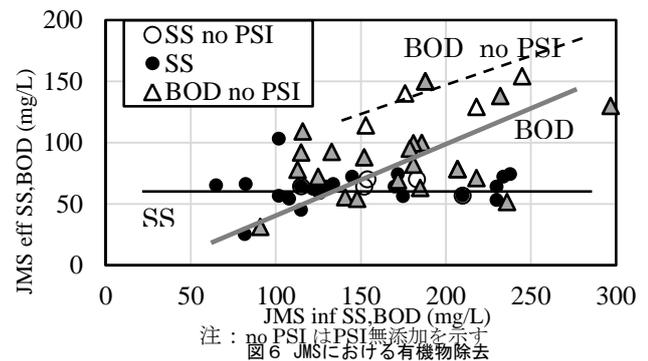


図5 T-P処理結果

3-2. 実証試験結果(有機物除去特性)

このシステムにおける有機物除去特性として、図6・図7にそれぞれ、JMS、MBBにおける定流量負荷(通水速度: LV 20, 30 m/日)時のSS、BODの挙動を示しました。まずJMSでは図6に見るように、流入SS濃度に関わらず流出SS濃度はほぼ一定であるのに対して、BODについては流入濃度に応じてその流出濃度が高くなっています。すなわち、JMSにおける凝集剤添加は粒子状有機物除去よりは、コロイド・溶解性有機物の排除を促しているものと言えます。一方、MBBについては図6に見るように、S-BOD除去率がT-BODの除去率に依存していないことが解ります。このように、溶解性有機物の除去はMBBのろ過器としての固液分離機能に関わらず発現されていることから、液相中から生物膜への移行と考えられます。



注: no PSIはPSI無添加を示す
図6 JMSにおける有機物除去

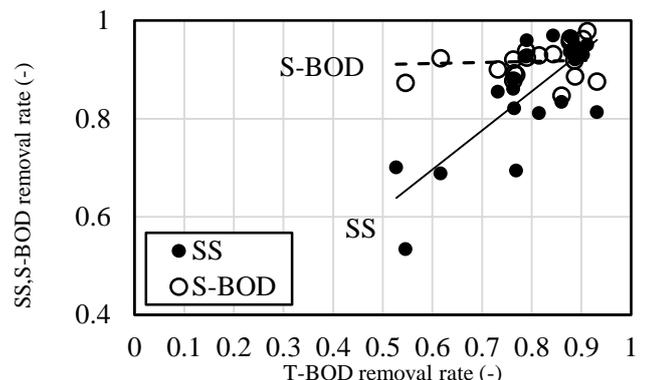


図7 MBBにおける有機物除去

3-3. 実証試験結果(有機物除去時間)

次に MBB の深さ方向の有機物分布を見ることで、溶解性有機物の除去過程を調査しました。LV : 20 m/日時における、ろ層表層から 500mm ピッチで MBB 内部の DOC (溶存有機態炭素) を調べましたが、図 8 では深度の代わりに当該深度までの流下時間 (HRT) としました。この図に見るように、好気部末端深度 (2 m = HRT: 68 分) において DOC はほぼ最小となります。しかしながら、MBB の LV : 30 m/日を想定した場合、好気部末端までの HRT がほぼ 47 分となることから、図 8 からは、それ以上の LV において MBB の処理水は急速に悪化することが予想されます。この様に MBB では 60 分程度と言う高速な溶解性有機物除去性能が得られるものの、一定以下の HRT、すなわち一定以上の LV の場合、その処理水質が急速に悪化すると考えられます。

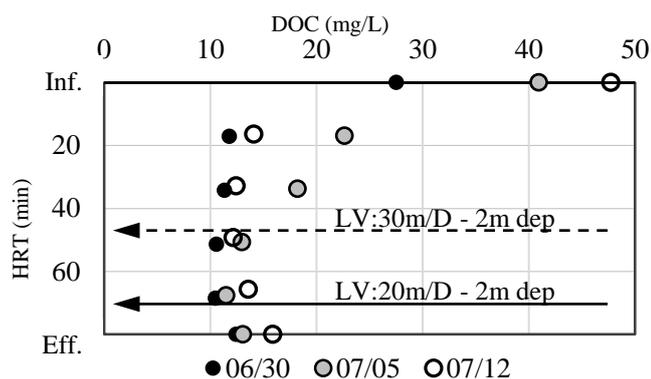


図 8 MBBにおけるDOCプロフィール

3-4 実証試験結果(流入負荷変動)

小規模下水道では、中・大規模下水道に比べて 1 日における流入量変動が大きくなります。そこで実証試験においても、[最大ピーク時流入量/日平均流入量] が 2 程度となるような流入量変動運転を行いました。(図 9) 但し、この際の MBB の日平均 LV は 18 m/日であり、この時の MBB における BOD 除去特性を図 10 に示します。

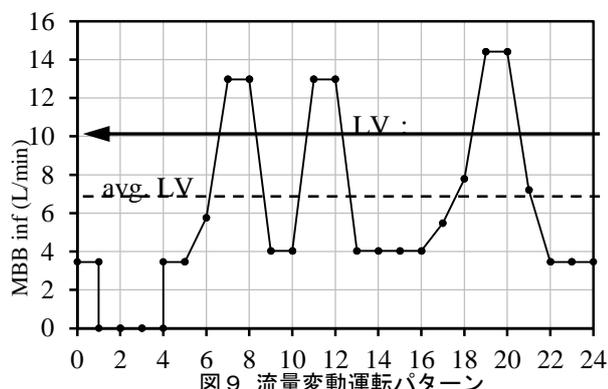


図 9 流量変動運転パターン

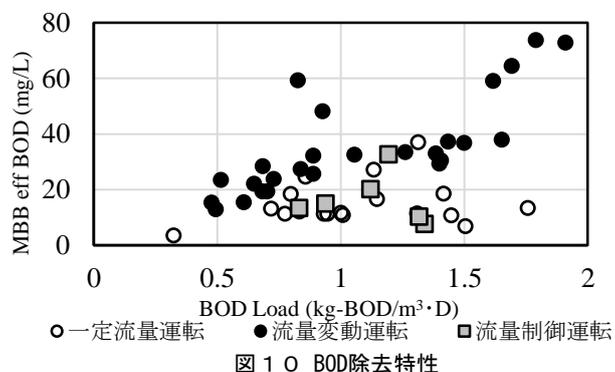


図 10 BOD除去特性

図 10 に見るように、MBB に対して一定流入量時においては LV : 30 m/日でも処理水 BOD 濃度が平均 15 mg/L 程度以下を期待できますが、流入量変動時においては、BOD 容積負荷が約 0.6 kg-BOD/m³・日以下を維持しないと処理水 BOD 濃度 20 mg/L 以下を得ることができませんでした。この主たる原因として、図 9 に示した様に、流入量ピーク時においては LV が 30 m/日を遙かに超えていたことが推定され、またこの様な時間帯においては流入有機物自体も高濃度であったことも大きな要因と考えられます。

そこで、このハイブリッド処理システムの適応が小規模下水道であることを考慮し、図 11 に示す流入量制御法案を設計し、処理特性を確認しました。(図 10 併記) この制御では、2 台の同仕様の汚水供給ポンプをそれぞれ一定流量で吐出させ、2 台同時運転時において MBB の LV を 30 m/日以下とし、このことにより一定有効貯留量以上の流量調整槽を具備することで、2 段階の水位制御のみでこの制御運転が容易に可能となります。その結果、改めて図 10 に示すように、日平均 LV が 20 m/日程度と小さくはなるものの、ほぼ一定流入量時と同等の BOD 除去性能を確認しました。

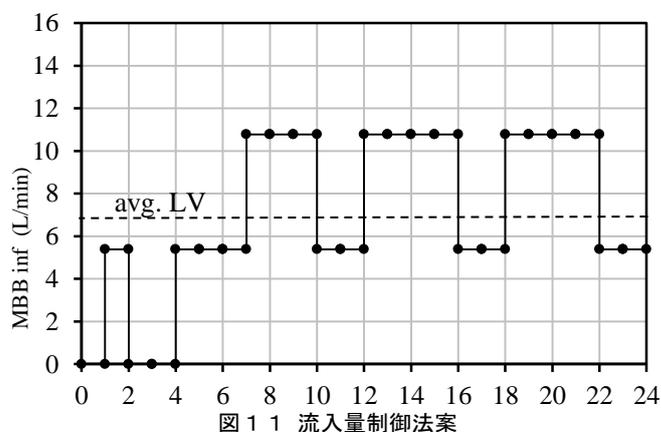


図 11 流入量制御法案

4. まとめ

ハイブリッドシステムでは、標準的な活性汚泥法に

において生物処理に供されるべき有機物の一部を前段の JMS によって除去するため、生物酸化に必要な酸素供給量が削減され省エネルギーとなります。好気性ろ床である MBB は生物反応槽自体が固液分離装置であるため、汚泥管理が不要となり設備維持管理が容易です。

また、最終的に有機物除去性能を担保するのは MBB ですが、粒子状有機物はろ過による固液分離によって、溶解性有機物は生物膜への移行によって液相中から排除されます。ろ過による固液分離は、洗浄排水比によってその性能を容易に制御できると共に極めて高速であり、溶解性有機物の生物膜への移行も 60 分前後と速やかに完了することが確認され、JMS と MBB との組合せがこの除去メカニズムを極めて合理的に体现していることを確認できました。

このように JMS と MBB からなるハイブリッドシステムは、今後必要とされる小規模対応の水処理設備に適していると考えます。

最後に本共同研究の成果が汚水処理に携わる多くの方々の参考になれば幸いです。

<参考文献>

Aerobic Biological Filtration and Role of Biofilm in the Filter, Mimura.K ,et.al. IWA Specialist Conference - Advances in particle science and separation, pp411-418, 2014