

水処理施設における超高効率固液分離技術

宮田 篤

1. はじめに

昭和40年代頃までに下水道整備に着手した大都市等では雨水と汚水を合わせて排除する「合流式下水道」が採用されている。合流式下水道は、都市化の急速な進展に対応していち早く下水道を整備できる手法であるが、晴天時汚水量1Qのみを二次処理（生物処理）する方式となっている。従って、雨天時には雨水の混ざった下水が収集され、1Qを超過するため、その超過分は雨水吐き口やポンプ場から公共用水域に直接放流されたり、処理場の最初沈殿池で簡易沈殿して消毒・放流されるしくみとなっていた。特に雨天時初期には「ファーストフラッシュ」と呼ばれる高汚濁水が公共用水域に流出する可能性があり、近年まで大きな社会問題となっていた。

本超高効率固液分離技術（以下、本技術と称する）は、雨天時における「合流改善」を目的に大量の下水を効率的に処理する技術として開発され、その成果は2005年3月に国交省技術開発プロジェクトSPIRIT21技術資料としてまとめられた¹⁾。処理対象は、下水処理場における晴天時汚水量1Q超過分の雨天時下水であり、「簡易処理の高度化技術」である。

その後2003年度からは大阪市との共同研究により、最初沈殿池の代替として常時活用（以下、「初沈代替」と称する）する固液分離技術として技術開発を進めた。本適用方法においては、本技術により生成するろ過水は生物反応槽に流入する。

その後本技術は、下水中の有機物をバイオマス源として効率的に回収できることから、消化、発電技術と組み合わせて下水処理場全体の創エネ効果を創出する目的で、2011年度より下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）として、国土交通省国土技術政策総合研究所からの委託研

究「超高効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメントシステムに関する技術実証研究」として技術開発を進めた。本技術は最初沈殿池よりも多くの生汚泥が固液分離回収でき、余剰汚泥の発生が少となる。これにより消化・発電と組み合わせて処理場全体のエネルギー回収をより向上させる実証結果が得られた²⁾。

2. 原理

処理原理は、浮上ろ材による「上向ろ過」である。ろ過と洗浄の原理を図1に示す。ろ過槽は、浮上ろ材とそれを押さえる上部スクリーン、高速洗浄装置から構成される。浮上ろ材は凸凹のある形状で、空隙率を高め、汚濁物を効率的に捕捉できる形状に特徴がある。

高速ろ過槽では、流入下水（汚水と称する）が調圧槽に越流・流入したのち、高速ろ過槽下部から流入する。ろ過が進行すると、図1（左）のろ材層下部の赤で示す汚濁物により、ろ材層下部が目詰まりしてくる。その場合は流入側の水位（調圧槽水位）が上昇するため、これを検知してろ材洗浄を実施する。洗浄は、下部の洗浄排水弁を開くことで、槽上部に溜めていた処理水（ろ過水）が水位差で下向きに逆流することでろ材が洗浄される。なお本技術は、ろ過損失水頭を低く（4 kPa（40 cm）～8 kPa（80 cm）程度）抑えることにより既存施設の水位勾配の中で設置することが可能である。本技術を既存最初沈殿池に適用した場合のイメージを図2に示す。



Intensive Solid-liquid Separation Technology for Wastewater Treatment Plant
 Atsushi MIYATA
 1989年 京都大学大学院工学研究科衛生工学専攻修了
 現在 メタウォーター（株）事業戦略本部事業企画部 技師長
 連絡先：〒101-0041 東京都千代田区神田須田町1-25 JR神田万世橋ビル
 E-mail miyata-atsushi@metawater.co.jp

2020年5月20日受理

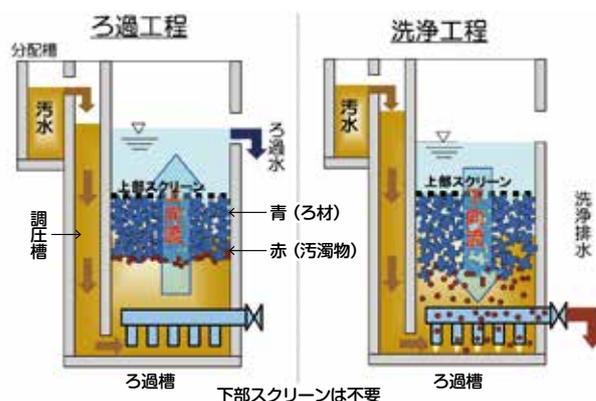


図1 ろ過と洗浄の原理

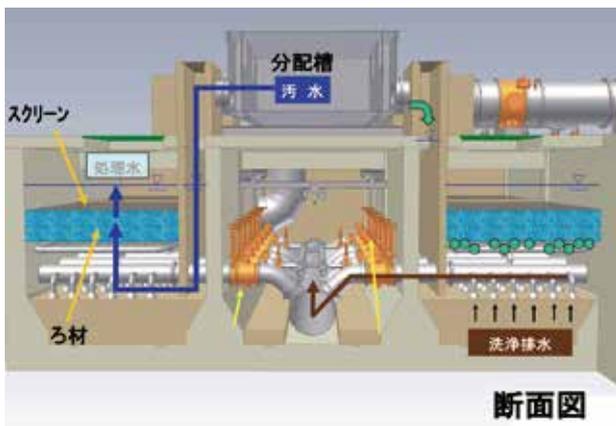


図2 既存最初沈殿池を改造して設置した高速ろ過施設

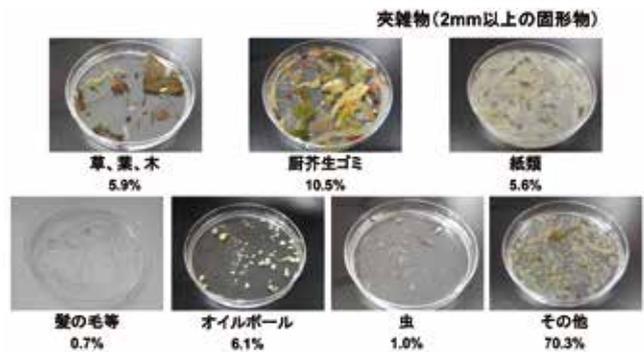
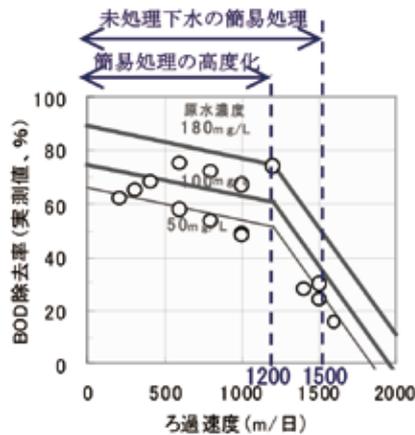
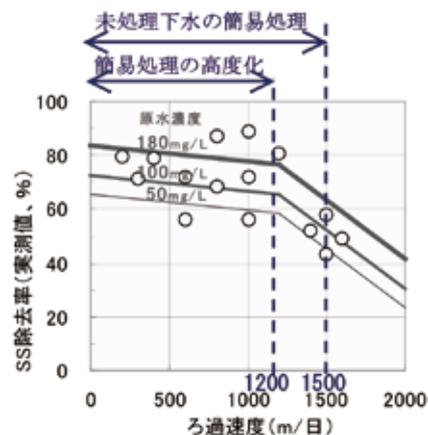


図4 雨天時下水(合流式)で除去できた夾雑物一例



(ろ過速度 A : $0 \leq A \leq 1200$ m/日)
 $BOD \text{ 除去率}(\%) = -0.0121A + 0.182B + 56.9$
 (ろ過速度 A : $1200 \leq A \leq 1500$ m/日)
 $BOD \text{ 除去率}(\%) = -0.0804A + 0.182B + 138.9$
 A : ろ過速度[m/日] B : 原水濃度[mg/L]



(ろ過速度 A : $0 \leq A \leq 1200$ m/日)
 $SS \text{ 除去率}(\%) = -0.0057A + 0.140B + 58.4$
 (ろ過速度 A : $1200 \leq A \leq 1500$ m/日)
 $SS \text{ 除去率}(\%) = -0.0438A + 0.140B + 104.1$
 A : ろ過速度[m/日] B : 原水濃度[mg/L]

図3 雨天時下水におけるろ過速度とSS, BOD除去率との関係¹⁾

3. 処理性能

本技術は、凝集剤等の薬剤なしで夾雑物、SS、BOD（主としてSS由来のBOD）を除去する。

3.1 合流改善適用の場合¹⁾

ろ過速度は雨天時下水水量に応じて0～1,500 m/日の範囲内で設定する。ろ過速度1,000 m/日は、最初沈殿池の水面積負荷50 m/日と比較すると20倍の速さである。

ろ過速度とSS除去率、ろ過速度とBOD除去率の関係を図3に示す¹⁾。1,200 m/日まではBOD、SSの除去率が比較的高く「簡易処理の高度化」に適用できる範囲である。また1,200 m/日を超え、1,500 m/日までの範囲では、BOD、SSの除去率は低くなるが、図4に示すような夾雑物(2mm以上の固形物)の除去率は100%であり、「未処理下水の簡易処理」としての適用に有効である。

3.2 初沈代替適用の場合²⁾

ろ過速度は、晴天時汚水量1Qに対する最大ろ過速度が250～500 m/日の範囲内となるよう設定する。ろ過速度は

250 m/日の場合、最初沈殿池の水面積負荷50 m/日と比較すると5倍の速さに相当する。

晴天時汚水における晴天時下水におけるSS除去性、SS除去と浮遊性BOD除去の関係を図5-1、図5-2に示す²⁾。

図5-1に示すように晴天時汚水は原水濃度が高いほどSS除去率が高く、ろ過速度が低いほどSS除去率が高くなる傾向となる。また図5-2に示すようにSS除去と浮遊性BODの各除去には緩やかであるが相関が見られる。溶解性成分は本技術ではほとんど除去されないことが分かっている。これらの結果より、原水中のSS割合が多いほどBOD除去性が高まると考えられる。本結果は、合流式下水処理場での処理結果であり、下水処理場流入水質により除去性に差が生じる。

平均的に見ると本下水処理場では、最初沈殿池におけるSS除去率が58%、BOD除去率が38%であったが、本技術ではSS除去率が70%、BOD除去率が47%程度であった²⁾。

反応槽への流入は、ろ過水に後述する図7に示す洗浄排水一次濃縮後の上澄水が付加されるため、両者の合計が反応槽負荷となることに留意する必要がある。

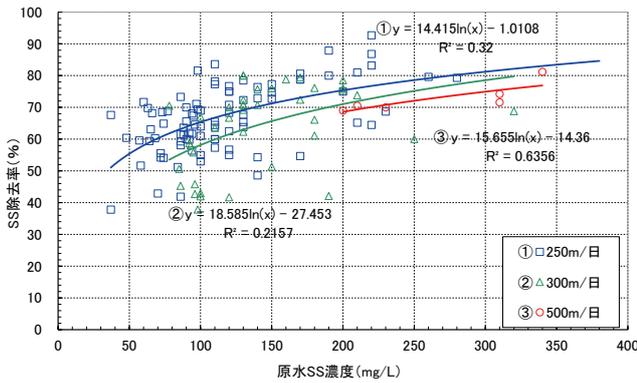


図5-1 晴天時下水におけるSS除去性

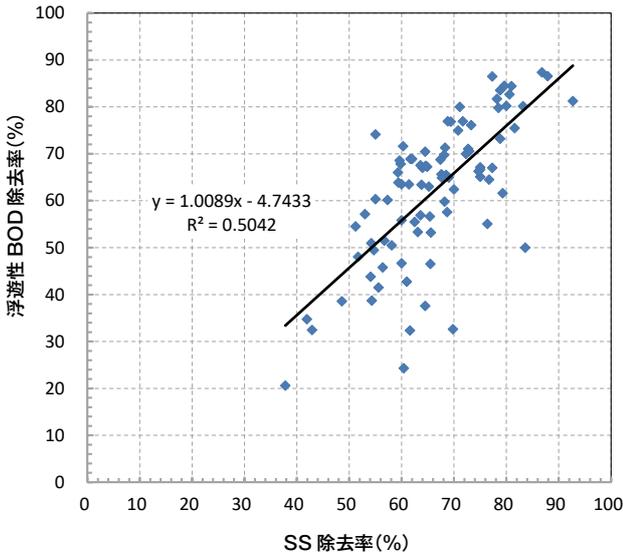


図5-2 SS除去と浮遊性BOD除去の関係

4. 処理フロー

4.1 雨天時のみの合流改善適用の場合

本技術の処理フローを図6に示す。処理対象は1Q超過分～nQ(nは自治体により異なる、Qは晴天時汚水量、雨天時の汚水量増加分)となる¹⁾。

本図に示すように、ろ過槽から排水される洗浄排水(SSで500～1000 mg/L程度)を受ける洗浄排水槽が必要となる。洗浄排水槽に溜まった洗浄排水は別の最初沈殿池に送られ、1Qの下水とともに沈殿処理される。最初沈殿池は1Qに対し水面積負荷50 m³/日を標準として設計されるが、合流式下水道の昭和40年代の最初沈殿池は、水面積負荷25～50 m³/日で広めに設計されていた。そのため本技術は、その余裕分の最初沈殿池を改造して導入することができる。現在国内30箇所以上の下水処理場において、本処理フローにて導入されている。

4.2 初沈代替適用の場合

本技術を最初沈殿池の代替として設置した場合の処理フローを図7に示す²⁾。処理対象は1Q(Qは晴天時汚水量)であり、ろ過槽、洗浄排水槽、一次濃縮槽が配置される。

本技術から出る洗浄排水は洗浄排水槽にて受けたのち、

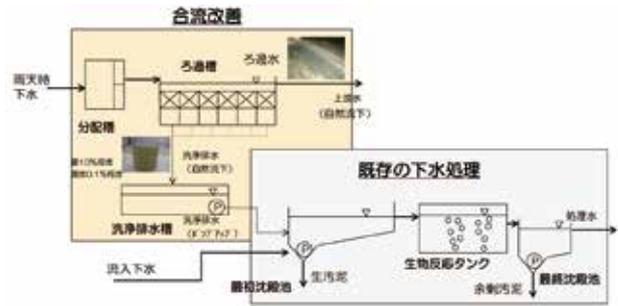


図6 雨天時合流改善のフロー

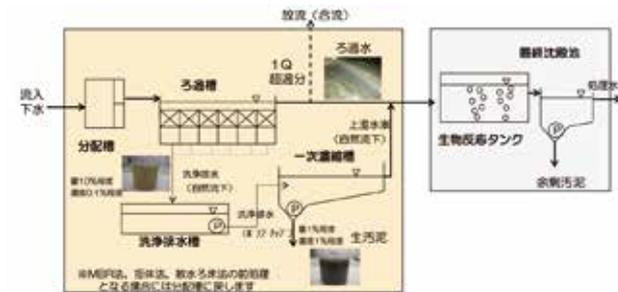


図7 最初沈殿池代替のフロー

一次濃縮槽に送られ、1% (= 10,000 mg/L) 程度の生汚泥として濃縮される。一方、一次濃縮の過程で生成する上澄水はろ過水とともに生物反応タンクに送られる。反応槽への負荷としては、ろ過水と上澄水の和を考慮する。なお、一次濃縮槽については最初沈殿池設備をそのまま活用できる。

本適用では、分・合流式両方の適用が可能であり、一次処理の省スペース化が期待できる。合流式では雨天時汚水量を含めて高速ろ過処理をおこない、1Q以上は高度な簡易処理水として放流する合流改善も可能である。

現在国内では分・合流式合わせて4都市6下水処理場で導入されている(建設中も含む)。

5. 本技術の効果

本技術は、下水処理場の種々の課題に対し様々な適用事例ができてきている。

5.1 下水処理場統合時の合流改善時のメリット

下水処理場を統合する場合の活用例を図8に示す。現在では老朽化してきた下水処理場を統合する機会が多くなってきている。その際、統合される側の処理場は処理機能のないポンプ場に更新され、合流式の場合には雨天時増分の下水が処理できなくなる。そのため、統合する下水処理場に送水せねばならず、送水に係る費用(管きょ費、電力量)が多くなる。この場合、本技術を濃縮装置として活用することで、濃い1Q相当分の下水を送水して、コスト縮減をおこなうことができる^{3,4)}。

5.2 一次処理の省スペース化と有効利用

本技術は、ろ過速度が沈殿に要する水面積負荷と比較し5倍であることから、洗浄排水や一次濃縮の諸スペースを加えた全体システムとしても省スペース化が可能である⁵⁾。

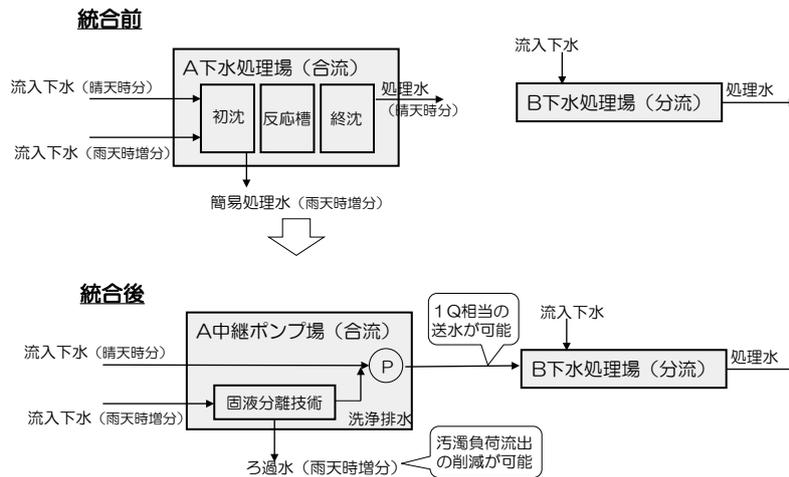
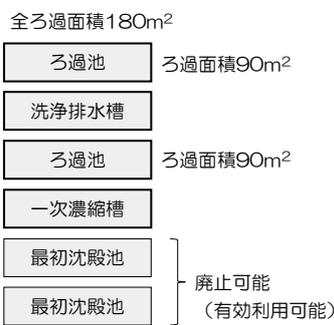


図8 下水処理場を統合する場合の適用方法

既存最初沈殿池



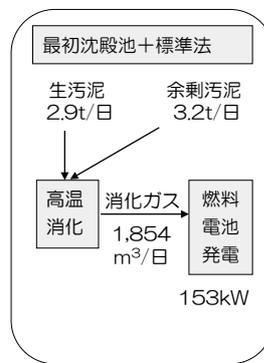
本技術導入後



<検討条件>
 想定規模 : 日最大45,000m³/日
 初沈水面積負荷 : 50m²/日
 本技術ろ過速度 : 250m²/日

図9 一次処理の省スペース化

従来システム



本技術適用後

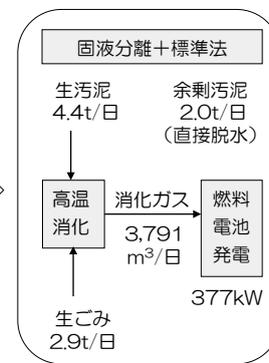


図10 下水処理場の創エネ向上

図9に示すように従来6池で運用していたスペースを、例えばろ過池としては2池、洗浄排水槽と一次濃縮槽を加えても4池(従来の最初沈殿池4池分)で済むことになる。これにより、少ない池数で施設を運用していくことが可能になる。

また昨今では、分流式下水処理場でも雨天時浸入水が増え、下水水量が増えてしまうという問題も顕在化しており、一時的に貯留しておく池などが必要とされてきており⁶⁾、本技術導入により余剰となった最初沈殿池を有効に活用することができる。

5.3 創エネ効果

本技術を適用した場合の処理場全体の創エネ効果(効果試算)を図10に示す。本技術の適用により生汚泥回収量が増加し、余剰汚泥が減少する。本図では消化されやすい生汚泥に加え、生ごみ(食品残渣)も合わせて消化することにより、発電量を大きくする試算結果を示している²⁾。

6. おわりに

高齢化や人口減少という時代変化の中で、下水処理場も

柔軟に施設更新をしていかなければならない。本技術は、下水等の汚水処理において効率的に固液分離できる基本的な技術である。

本稿では示せなかったが最近ではMembrane Bioreactor, 担体法, 担体型散水ろ床法⁷⁾等の省スペースや省エネ型の新技術が開発されているが、いずれも前段での夾雑物除去が望ましい技術であり、本技術と組み合わせると、様々な相乗効果が生まれると考えている。

今後は、下水を含む汚水処理に対して、種々の適用を図り、時代のニーズに応えていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省下水道技術開発プロジェクト(SPIRIT21)委員会:合流式下水道の改善に関する技術開発「雨天時高速下水処理システム(簡易処理の高度化・未処理下水の簡易処理)に係る技術資料」,平成17年3月
- 2) 超高効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメントシステム導入ガイドライン(案),国土交通省国土技術政策総合研究所資料 第736号,2013年7月
- 3) 日本下水道新聞:高速ろ過技術の合流改善計画手法と有効な適用方法(試案),第47回懸賞論文下水道部門,平成17年1月1日
- 4) 盛岡市上下水道局HP:盛岡市雨水高速処理施設~雨天時合流改善対策~
- 5) 国土交通省下水道部HP:秋田臨海処理センターにおける超高効率固液分離技術の採用について,下水道事業における広域化・官民連携・革新的技術(B-DASH)に関する説明会(下水道キャラバン),平成30年10月29日
- 6) 国土交通省下水道部:雨天時浸入水対策ガイドライン(案),令和2年1月
- 7) 無曝気循環式水処理技術導入ガイドライン(案),国土交通省国土技術政策総合研究所資料 第951号,2017年2月