

# 汚泥助燃剤化および MAP 回収の 両立可能な脱水システムの開発

Development of Dehydration System for Both Lowering Water Content and Recovering Struvite MAP



田邊 佑輔	Yusuke Tanabe	①
船石 圭介	Keisuke Funaiishi	②
館野 覚俊	Akitoshi Tateno	①
山口 滋	Shigeru Yamaguchi	①

## あらまし

当社は、し尿処理施設における汚泥助燃剤化とリン回収の両立可能なシステム開発を目的に実証試験を行った。その結果、①し尿混合割合19.2～51.9%の範囲の搬入物に対して、高分子凝集剤を2.5%対TS程度注入で脱水し、汚泥助燃剤化（脱水ケーキ含水率70%以下）が可能であること、②搬入物中のし尿混合割合が約20%の場合に脱水ろ液のPO<sub>4</sub>-P濃度が30mg/L程度であり、MAP（Magnesium Ammonium Phosphate）回収が可能であることを確認した。これらの結果から、前処理行程に脱水機を配置した汚泥助燃剤化とMAP回収の資源化設備を具備するし尿処理システムを確立した。本システムは、公的な第三者評価として一般財団法人日本環境衛生センターより性能評価報告書を受領した。

## Abstract

Hitachi Zosen conducted pilot tests toward developing a dehydration system for night soil treatment facilities capable of both lowering water content and recovering phosphorus. The study confirmed that 1) received slurry with a night soil mixture of 19.2%–51.9% can be dewatered to below 70% water content with the addition of a polymer flocculation agent of 2.5% for TS, and 2) struvite can be recovered from separated water with a PO<sub>4</sub>-P concentration of about 30 mg/L on condition that the night soil mixture is over 20%. As a result, we established a night soil treatment systems equipped with a dehydrator in the pretreatment process for both lowering water content and recovering struvite. The system's performance has been evaluated by the Japan Environmental Sanitation Center.

## 1. 緒言

従来、し尿処理施設は汲み取りし尿および浄化槽汚泥の衛生的な処理を目的として建設されてきたが、循環型社会形成を目指す動きの中で資源化機能を持つ必要が生じた。この動きを受けて環境省では1997年度からは、資源化設備を有するし尿処理施設を汚泥再生処理センターとする交付金制度を導入し、積極的な資源回収に取り組んでいる。

一方、し尿処理施設の建設、維持管理などの運営を行うのは、市町村などの地方自治体であるが、そのほとんどは厳しい財務状況下にあり、多くの自治体は、し尿処理施設の建設にあたって交付金制度の活用を要望す

る。交付金を活用するには、資源化設備を有する汚泥再生処理センターとする必要があるため、各自治体はそれぞれの適応する資源化設備を選択することになる。交付対象となる資源化設備には、メタン発酵、炭化、堆肥化、リン回収（HAP：Hydroxyapatite、MAP）などの様々なメニューがあるが、中でも汚泥助燃剤化設備が採用されることが多く、顧客に高く評価されていることが分かる（図1）<sup>1)</sup>。

汚泥助燃剤化技術とは、脱水汚泥をごみ焼却施設で他の一般ごみと混焼可能なレベルまで低含水率化する技術であり、汚泥含水率70%以下まで脱水することが条件である。この技術は、し尿処理施設だけでなく、ごみ焼却施設も含めた一連の汚泥処分における全体的な燃料使用量を低減することを目的としている。汚泥助燃剤化設備が多く採用されているのは、自治体が保有するごみ焼却施設の余剰能力を活かした汚泥処分の省エネルギー化を可能にするためと推測される。

① 環境事業本部 開発センター

② 環境事業本部 水処理技術部 技術士(上下水道)

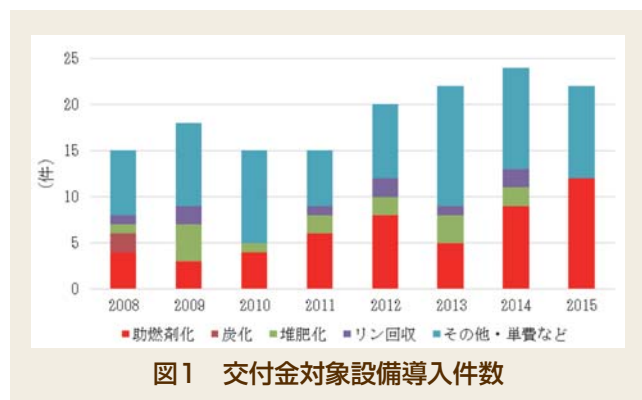


図1 交付金対象設備導入件数

また、同じく交付金対象の資源化設備である炭化や堆肥化は、脱水汚泥を原料とする技術であるため、汚泥助燃剤化技術の適用が可能である。一般的に炭化(堆肥化)設備投入時の脱水汚泥の含水率が低ければ、炭化(堆肥化)に必要な加温エネルギーが少なく済み、設備の小型化、運営費削減が可能となる。実際に、当社も今回の報告と異なる方式の助燃剤化脱水技術を炭化設備や堆肥化設備の一次側設備として導入しており、汚泥助燃剤化設備だけでなく、炭化設備や堆肥化設備への利用も含めた技術導入が今後も予想できる。

汚泥再生処理センターを取り巻く環境の変化として、し尿および浄化槽汚泥の搬入割合の変化がある。近年は、水洗化率の上昇に伴って、図2に示すように浄化槽汚泥の搬入割合が増加しており、今後もこの傾向が続くと見込まれる<sup>2)</sup>。一般的に、浄化槽汚泥はし尿と比較して、SS性成分(SS:Suspended Solids)が高い傾向がある。従って、浄化槽汚泥搬入割合の高い施設では、処理工程の初期段階で固液分離(前脱水)を行い、予め、SSを除去することで後段の処理工程の負荷を低減することが可能となる。

また、浄化槽は戸別管理であるため、浄化槽汚泥の

性状は、均一ではなくばらつきが大きいという特徴がある。従って、前脱水方式の採用によって、搬入物性状の変動を軽減することも可能で、運転管理の安定性も向上する。

これらの状況から、各プラントメーカーは汚泥助燃剤化設備を組み込んだ前脱水型処理システムの開発を行い、商品化している。

当社では、今までの汚泥助燃剤化システムに更なる価値を付加したシステムの構築が必要であると考え、付加技術として既に下水分野で商品化し、導入実績のあるMAP回収装置「フォスニックス®」に着目した。

フォスニックス®は、排水中のリン酸性リン(以下、 $PO_4\text{-P}$ とする)およびアンモニア(以下、 $NH_4\text{-N}$ とする)にマグネシウムを添加した上で、晶析反応により回収する。

この晶析反応の原料のうち、 $NH_4\text{-N}$ は、未処理のし尿および浄化槽汚泥の中に十分に含まれている。当社では、過去の開発で、 $NH_4\text{-N}$ が十分に存在し、かつ、pHを高く制御する条件において、 $PO_4\text{-P}$ 濃度 $30\text{mg/L} \sim 100\text{mg/L}$ の範囲のMAP回収試験を実施しており、 $30\text{mg/L}$ 以上の $PO_4\text{-P}$ 濃度があれば、運転制御によりMAP回収可能であることを確認している。

これまでの汚泥助燃剤化設備では、低含水率化のために無機凝集剤と高分子凝集剤の2液を用いた脱水が主流であった。

しかし、 $PO_4\text{-P}$ は無機凝集剤と反応すると、不溶化するため、MAP回収が困難となる。MAP回収設備との併用のためには、脱水ろ液中に $PO_4\text{-P}$ を残す必要があり、無機凝集剤を使用しない、高分子凝集剤1液の脱水が条件となる。

そこで、今回は汚泥助燃化ならびにMAP回収の併用を目的とし、高分子凝集剤1液で汚泥含水率70%以下に脱水可能な運転条件の確立を目指して試験を行った結果を

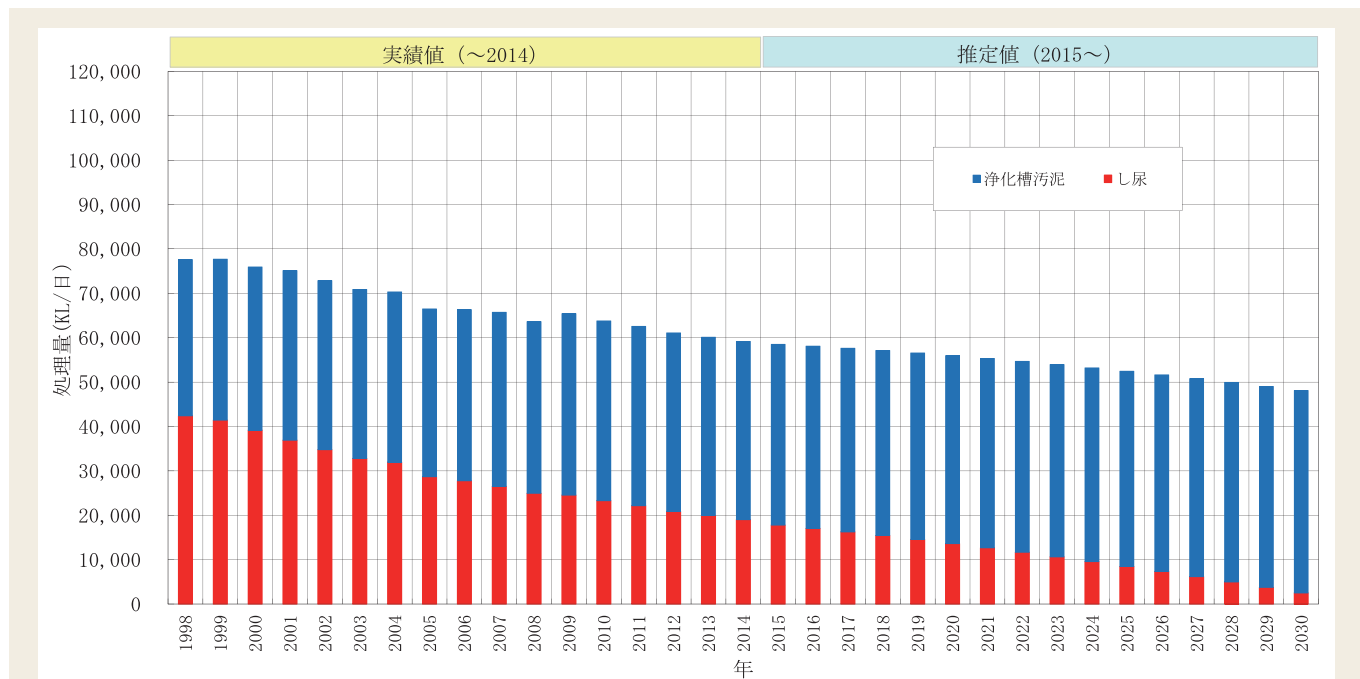


図2 し尿および浄化槽汚泥の処理量推移

報告する<sup>3),4)</sup>。

また、近年は建設コスト低減のために、前脱水後のろ液を下水道に排除する方式を採用する自治体が増加している。しかし、下水道に排除するためには、基準値まで放流水質を低減する必要がある。一方、下水道への排除には、水量に応じた費用が必要であるため、希釈倍率の低減も望まれている。

今回は、脱水ろ液に一定の生物処理を行うことで下水道排除時の希釈倍率を低減し、下水道排除費用を抑制することを目的とした生物処理試験の結果も併せて報告する。

## 2. 試験概要

### 2.1 目的

(1) **脱水試験** 除渣前のし渣を含んだし尿、浄化槽汚泥および試験装置の生物処理工程から生じた余剰汚泥の一部、あるいは全ての混合物を対象として、脱水性能試験を行い、汚泥含水率が70%以下、かつ脱水ろ液中の $PO_4\text{-P}$ 濃度が $30\text{mg/L}$ 以上となる条件を検証することを目的とした。

(2) **生物処理試験** 下水道放流を前提として、前脱水後のろ液を脱窒素槽、硝化槽、沈殿槽による生物処理を行い、低希釈で下水道放流できる条件を検証することを目的とした。

2.2 **試験期間** 2016年1月から2016年9月まで実施した。

2.3 **試験場所** 愛知県西尾市浄化センター内に試験装置を設置し、実験を行った。

## 3. 試験フロー

3.1 **脱水試験** 性能試験に用いた設備概略フローを図3に示す。また、実際に使用した試験設備を図4、5に示す。し尿および浄化槽汚泥は、浄化センターの前処理設備の計量槽一次側配管を分岐し、前処理設備稼働時に必要量を試験設備の中継槽に移送した。

余剰汚泥は、試験設備の反応槽から定期的に取り出した汚泥を一旦、余剰汚泥槽に貯留後、中継槽に移送した。

し尿および浄化槽汚泥の混合割合は、近年の搬入比率を想定し、し尿混合割合40%を標準負荷として、20%(低負荷)から60%(高負荷)まで20%ずつ任意で変化させ、低負荷側からRUN1～3とした。生物処理工程で生じる余剰汚泥は、容量として概ね中継槽内液(脱水原汚泥)全体の15%以下とした。

し尿などの中継槽への移送は、試験当日の朝に実施し、実際の運転条件に近い新鮮な搬入物を利用した。

3.2 **生物処理試験** 脱水分離液槽に貯留した脱水ろ液を原水として、脱窒素槽へ定量的に供給した。脱窒素槽から硝化槽、沈殿槽へは自然流下で通水した。硝化槽内液は循環ポンプにて脱窒素槽へ返送した。沈

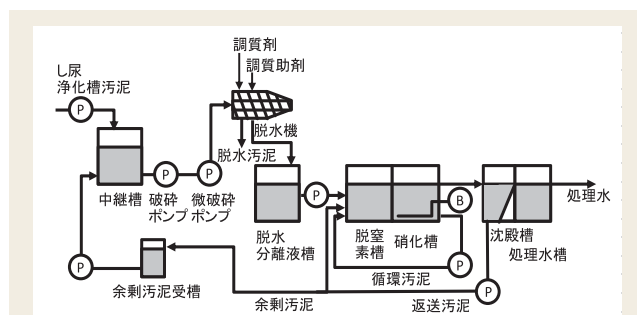


図3 試験設備概略フロー



図4 遠心脱水機(左)と制御盤



図5 脱水分離液槽(奥)と硝化脱窒素槽

殿槽の上澄水は処理水槽に貯留し、既存施設に移送した。沈殿槽下部の濃縮汚泥は、返送汚泥ポンプにて一部を脱窒素槽へ返送し、残りは、余剰汚泥受槽に貯留した。貯留後は脱水試験に合わせて必要量を中継槽に移送した。

## 4. 試験方法

### 4.1 脱水試験

(1) **試験条件** し尿、浄化槽汚泥および余剰汚泥の比率を調整し(表1)、低負荷(RUN1)、標準負荷(RUN2)、高負荷(RUN3)の3条件で試験を実施した。

表1 各RUNの搬入物条件(平均値)

項目	(単位)	RUN1	RUN2	RUN3
し尿	(%)	19.2	36.9	51.9
浄化槽汚泥	(%)	67.5	53.1	33.4
余剰汚泥	(%)	13.3	10.0	12.0

(2) サンプル条件 供給汚泥、脱水ケーキおよび脱水ろ液のサンプリングは、運転条件設定後20分程度経過し、性状が安定した後に行った。

(3) 分析 本試験に係る一般的な分析は、下水道試験方法、JIS K0102などの公定法に従い、社内ならびに外部委託（日本検査株式会社）にて実施した。

また、現地にてろ紙ろ過法によるSS測定ならびに繊維状物測定を実施し、汚泥性状を把握した上で、運転条件を設定した。

#### 4.2 生物処理試験

(1) 試験条件 4.1の脱水試験で得たる液を原水として、低負荷（RUN1）、標準負荷（RUN2）、高負荷（RUN3）の3条件で生物処理を実施した。

(2) 分析 4.1と同様に、下水道試験方法、JIS K0102などの公定法に従い、社内ならびに外部委託（日本検査株式会社）にて実施した。

## 5. 結果

### 5.1 前脱水試験結果

5.1.1 供給汚泥性状 し尿混合割合ごとのSSおよび溶解性成分濃度を棒グラフで示す（図6）。なお、溶解性成分はTS（Total Solids）とSSの差とした。し尿混合割合が高くなるごとに、固形物と溶解性成分の割合（SS/TS）が、低くなることを確認した。

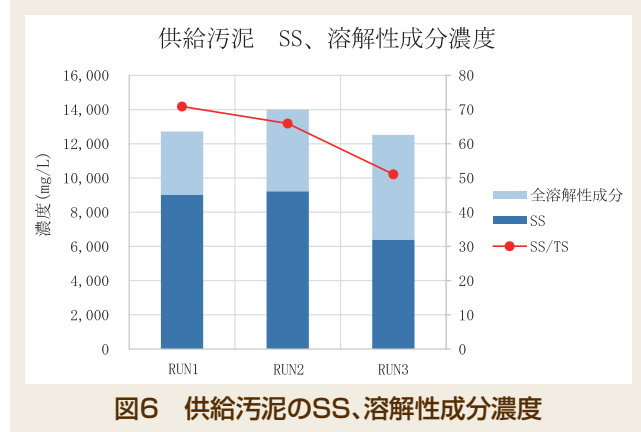


図6 供給汚泥のSS、溶解性成分濃度

### 5.1.2 汚泥脱水（含水率および薬品注入率）

表2に脱水試験の運転条件ならびに汚泥含水率を示す。なお、いずれも平均値である。

汚泥含水率はRUN1～3で、それぞれ66.1、68.0、65.7%と、いずれも70%以下であり、汚泥助燃剤化の条件（70%以下）を達成した。

薬品注入率の結果を図7に示す。薬品注入率は、対TS換算で2.2～2.5%の範囲であり、し尿混合割合に関わらず同程度であった。対SS換算では、3.6～4.7%であり、し尿混合割合が高くなるほど、薬品注入率が高くなった。これらの結果から、薬品注入率は本試験のし尿混合割合（19.2～51.9%）の範囲では、TS濃度に対して2.5%程度で良好な脱水が可能であることを確認した。

汚泥含水率およびSS回収率の結果を図8に示す。SS回収率は、RUN1,2で95%以上であったが、RUN3では

表2 各脱水試験の運転結果

項目	(単位)	RUN1	RUN2	RUN3
汚泥含水率	(%)	66.1	68.0	65.7
汚泥供給量	(m <sup>3</sup> /時)	3.8	3.3	3.5
固形物量	(kg-ds/時)	31.0	30.2	27.5
薬品注入率	(%対TS)	2.2	2.3	2.5
	(%対SS)	3.6	3.6	4.7
SS回収率	(%)	97.4	97.1	89.4

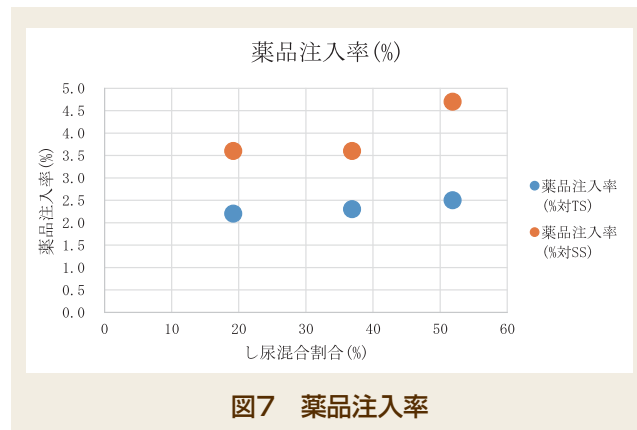


図7 薬品注入率

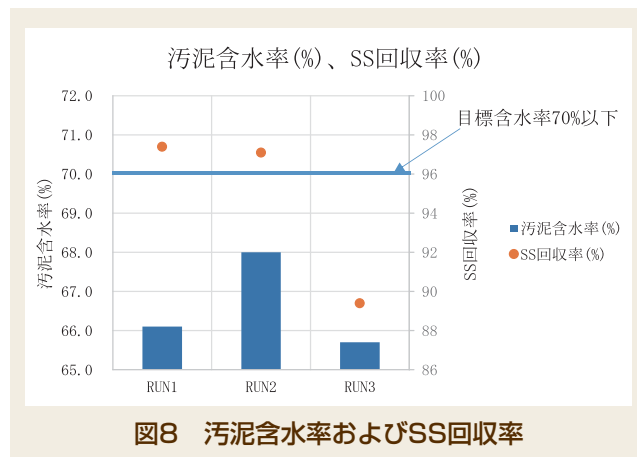


図8 汚泥含水率およびSS回収率

89.4%と低い値であった。

### 5.1.3 脱水前後の性状比較

脱水前後の水質変化を評価するために、供給汚泥と脱水ろ液の水質を比較した（表3、図9、10）。なお、窒素（Nitrogen:以下Nとする）の溶解性成分はNH<sub>4</sub>-Nとした。リン（Phosphorus:以下Pとする）の溶解性成分はPO<sub>4</sub>-Pとし、それぞれを棒グラフで積み上げた。また、SS性成分は全成分と溶解性成分の差とした。

(1) 供給汚泥性状 NおよびPではし尿割合に応じて全成分が高くなる傾向を確認した。また、溶解性成分も同様に、し尿混合割合が高くなるのに応じて高い数値を示した。

(2) 脱水ろ液性状 全成分の多くが溶解性成分であった。溶解性成分濃度が高いし尿の混合割合が高くなるほど、いずれの水質項目も高い数値となる傾向が認められた。

(3) SS性成分および溶解性成分の特徴 各項目の全成分に対するSS性成分、溶解性成分の割合をプロットすると、し尿混合割合との相関がより明確になっ

た(図11)。また、各項目のSS性成分濃度と全成分濃度の比をし尿混合割合でプロットすると、SS/TSと同様、し尿混合割合と相関があり、溶解性成分濃度がし尿割合に強く影響を受けていることを確認した。

**5.1.4 NおよびPの除去率と濃度** 脱水前後の各項目の除去率を図12に示す。全体的にSS性成分(○)の除去率は高く、溶解性成分(◇)の除去率は低いことを確認した。

表3に示す結果より、高分子凝集剤1液の脱水では、溶解性のN、P成分はほとんど残留することを確認した。

そのため、供給汚泥に $PO_4\text{-P}$ が含まれていれば、脱水ろ液中から $PO_4\text{-P}$ をMAPとして回収可能であることが分かった。

RUN1、2、3の $PO_4\text{-P}$ 濃度は、それぞれ29、68、85mg/Lであり、概ねMAP回収可能な $PO_4\text{-P}$ 濃度(30mg/L)以上であることが認められた。

なお、MAP生成に必要なN:Pのモル比は1:1である。RUN1では、 $NH_4\text{-N}$ 濃度は394mg/Lであった。 $PO_4\text{-P}$ 濃度29mg/Lと比較するとモル比で62倍以上であり、十分な濃度であることも確認した。

表3 供給汚泥、脱水ろ液の性状

項目	供給汚泥 (mg/L)			脱水ろ液 (mg/L)			
	RUN1	RUN2	RUN3	RUN1	RUN2	RUN3	
N	SS性	728	624	751	99	181	384
	溶解性	407	684	965	394	651	922
	合計	1135	1308	1716	493	832	1306
P	SS性	148	141	139	9	17	51
	溶解性	38	73	92	29	68	85
	合計	186	214	231	38	85	136

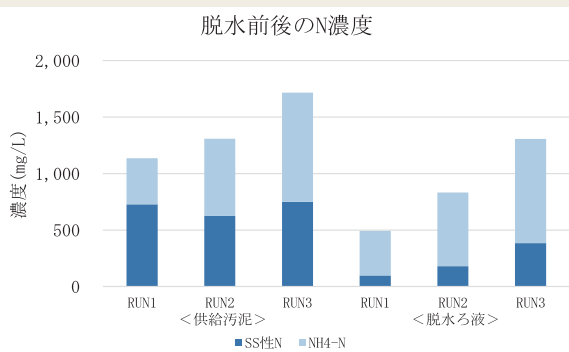


図9 脱水前後のN濃度

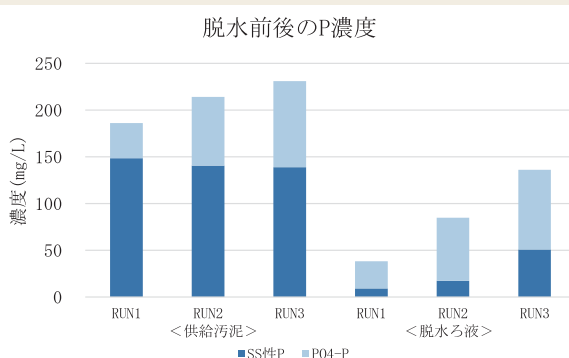


図10 脱水前後のP濃度

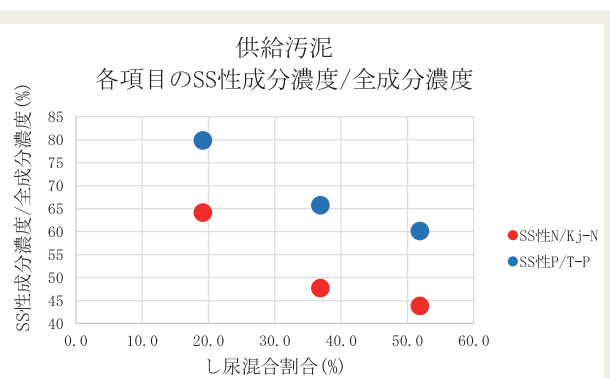


図11 供給汚泥のSS性成分濃度/全成分濃度

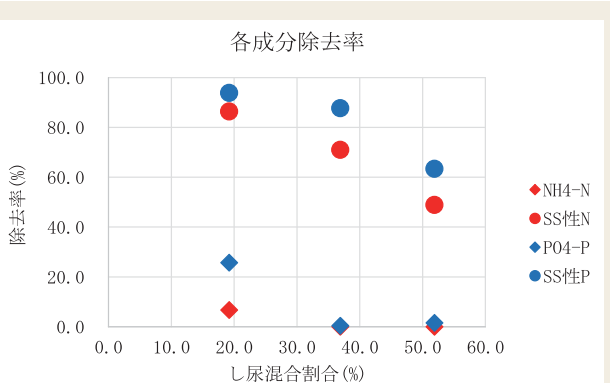


図12 各成分除去率

## 5.2 生物処理試験結果

**5.2.1 処理水質** 各RUNの処理水質を表4に示す。また、T-NとT-Pの処理水質および除去率を図13、14に示す。

RUN1～3の各条件で合計188日間の連続運転を行い、BODおよびSSの数値が、いずれも下水道排除基準を大きく下回ることを確認した。T-NおよびT-PはRUN1(低負荷)、RUN2(標準負荷)では、下水道排除基準と同程度であったが、RUN3(高負荷)の処理水は、これを大きく上回り、希釈が必要であることが分かった。

表4 各RUNの処理水質

項目	(単位)	RUN1	RUN2	RUN3	下水道排除基準
BOD	(mg/L)	72	94	163	< 600
SS	(mg/L)	39	124	167	< 600
T-N	(mg/L)	210	192	768	< 240
T-P	(mg/L)	26	38	111	< 32

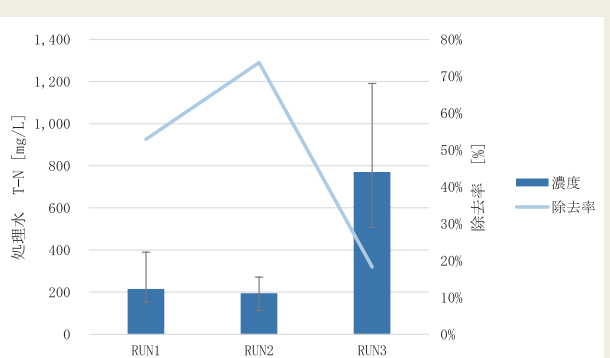


図13 生物処理水のT-N濃度と除去率

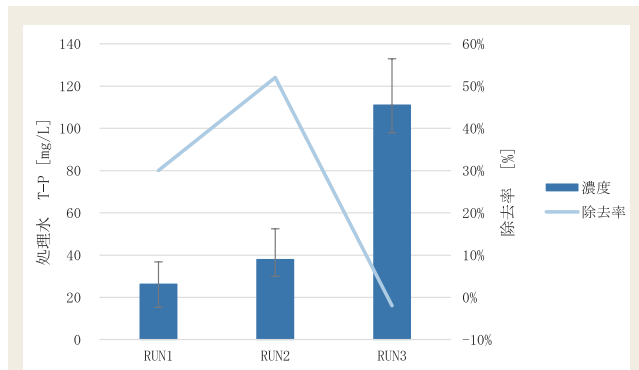


図14 生物処理水のT-P濃度と除去率

**5.2.2 希釈倍率** 各RUNの処理水を下水道に排除するために処理水質を下水道排除基準で除した数値を表5に示す。

し尿混合割合が低いRUN1は無希釈、RUN2は、1.2倍、高負荷のRUN3は、3.5倍の希釈が必要であることが分かった。T-N、T-Pなど、負荷条件による濃度変動に対応できるように希釈装置を設ける必要はあるが、適切な希釈を行うことで、下水道への排除ができることを確認できた。

表5 下水放流時の希釈率

項目	(単位)	RUN1	RUN2	RUN3
pH	(-)	-	-	-
BOD	(mg/L)	< 1	< 1	< 1
SS	(mg/L)	< 1	< 1	< 1
T-N	(mg/L)	< 1	< 1	3.2
T-P	(mg/L)	< 1	1.2	3.5

## 6. 結 言

本開発の脱水試験は汚泥助燃剤化とMAP回収のための $PO_4\text{-P}$ の残存の両立を目的として試験を行った。

汚泥助燃剤化のために、TSに対して一定比率の高分子凝集剤を添加することで、し尿混合割合(19.2～51.9%)の範囲内で安定的に汚泥含水率70%以下の結果が得られることを確認した。

また、脱水時の薬品注入を高分子凝集剤1液とするこで、本試験の範囲において、供給汚泥中の $PO_4\text{-P}$ の多くが脱水ろ液中に残存することが分かった。本試験の範囲においては、し尿混合割合約20%の場合に $PO_4\text{-P}$ 濃度が30mg/L程度であり、脱水ろ液からのMAP回収可能であることを確認した。

生物処理試験については、負荷条件の影響を受けるもののBOD、SS、T-N、T-Pの一定の除去率が得られることを確認した。低負荷条件と標準負荷条件では、リン濃度

を除いた全ての水質項目で希釈せずに下水道に排除することができる平均濃度が得られ、高負荷条件としても適切な希釈を行うことで下水道へ排除できることを確認した。

本システムは、2017年3月一般財団法人日本環境衛生センターより性能調査報告書「浄化槽汚泥混入比率の高いし尿に対応した前脱水型高負荷脱窒素処理システム(沈降分離方式)」を取得した。

本システムの特徴は、浄化槽汚泥混入比率の高いし尿に対応したシステムであり、前処理工程に脱水機を配置し、脱水ケーキの含水率を70%以下にして「助燃剤」利用と「MAP」回収の資源化設備を具備できる。

下水道の普及とともに収集し尿、浄化槽汚泥が減少している自治体においては、下水道施設と連携した下水道放流システムが採用され、今後も増加が予想される。今回開発した沈降分離方式システムで各自治体の需要に対応した提案をしたいと考える。

### 【謝辞】

本開発は、西尾市浄化センター様のご協力により実施した。関係者の皆様に深く感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 環境省;廃棄物処理技術情報 統計一覽(平成26年度)
- 2) 工業新報社;工業新報 3054～3791号
- 3) 一般財団法人日本環境衛生センター;浄化槽汚泥混入比率の高いし尿に対応した前脱水型膜分離高負荷脱窒素処理システム性能調査報告書(2017)
- 4) 一般財団法人日本環境衛生センター;浄化槽汚泥混入比率の高いし尿に対応した前脱水型高負荷脱窒素処理システム(沈降分離方式)性能調査報告書(2017)

### 【文責者連絡先】

Hitz日立造船(株) 環境事業本部  
開発センター  
田邊佑輔  
Tel: 0774-71-8745 Fax: 0774-71-8746  
e-mail: tanabe\_y@hitachizosen.co.jp

Hitachi Zosen Corporation  
Environment Business Headquarters  
Business & Product Development Division  
Yusuke Tanabe  
Tel: +81-774-71-8745 Fax: +81-774-71-8746  
e-mail: tanabe\_y@hitachizosen.co.jp



田邊 佑 輔



船石 圭 介



館野 覚 俊



山口 滋