

亜臨界水処理（水熱処理）を用いた下水汚泥のエネルギー転換及び減容化に関する共同研究

前資源循環研究部 総括主任研究員
佐藤 博司



1 研究目的と体制

下水処理施設から排出される汚泥量は250万 t / 年（平成19年度乾燥重量ベース）を超過しており、汚泥の減量および資源回収できる処理技術が求められている。さらに地球環境保全の観点から従来のエネルギー消費型処理方法からの脱却も求められている。

本研究は、亜臨界水がもつ加水分解作用により下水汚泥を低分子化し、高温消化で減量するとともに、発生した消化ガスにより汚泥減量化プラントに必要な熱エネルギーを賄う汚泥減量化技術の確立を目指し、技術的事項について技術マニュアルとしてまとめることを目的とした。

本研究は、三菱長崎機工(株)、鹿島建設(株)および本機構の3者が共同で実施した。（平成21年4月～平成23年3月）



図-1 新技術プラントと下水処理場の関係

2 研究内容

2.1 技術の概要

本技術は、下水汚泥中に含まれる有機物を亜臨界水の加水分解作用により低分子化し、その処理液を高速・高温メタン発酵することで汚泥を減量するとともに、発生した消化ガスで汚泥減量化プラントの運転に必要な熱エネルギーを賄う。

2.1.1 亜臨界水とは

水の臨界点は374℃、22MPaであるが、臨界点よりも温度・圧力の低い水を亜臨界水という。亜臨界水は

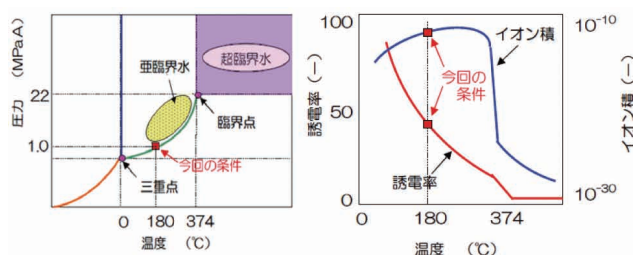


図-2 水の状態図

常温の水の300倍近いイオン積を持っているため、加水分解作用が強い。また誘電率も30から40と有機溶媒に近い値となり、油脂分の溶解作用が現れてくる。これらの特徴を利用して汚泥中の有機物を低分子化する。図-2に水の状態図を示す。

2.1.2 水熱反応器

水熱反応器は、熱交換器、気液分離器、循環ポンプ

で構成され、投入した汚泥が反応器内部を循環する構造である。高温消化槽で発生した消化ガスを燃料とするボイラからの加熱媒体と汚泥が熱交換器で熱交換し、汚泥を亜臨界水状態まで加熱する。反応器内部の汚泥を3m/秒で強制循環させることにより、閉塞が起きにくく、汚泥を安定に亜臨界水状態に維持することができる。

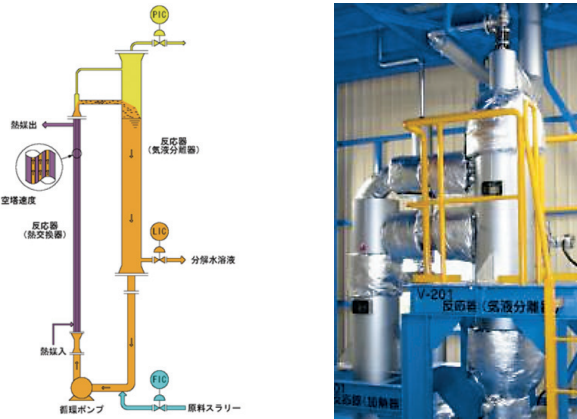


図-3 強制循環式反応器 写真-1 水熱反応器外観

2.1.3 高温消化槽

高温消化槽は、消化温度55℃、滞留日数5日の高温固定床式消化方式で、発酵槽内に微生物を高密度に保持できるように炭素繊維系の固定床担体が充填されている。



写真-2 消化槽外観

2.3 実証試験

2.3.1 実験プラントの概要

実証プラントは、長崎市西部下水処理場（処理能力68,400m³/日、日平均流入下水量48,200m³/日）内に建設し、平成21年5月中旬から実証試験を行った。実証プラントの外観を写真-3に示す。

初沈汚泥は重力濃縮され、余剰汚泥は加圧浮上濃縮されており、濃縮されたそれぞれの汚泥を別々に引き



写真-3 実証プラント外観

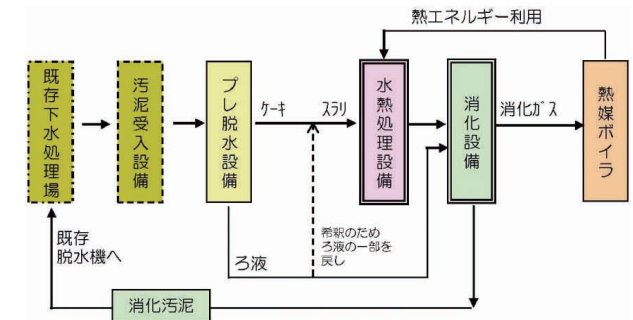


図-4 設備フロー

抜き、実証プラントに供給している。

濃縮生汚泥と濃縮余剰汚泥の濃縮混合汚泥を機械濃縮したのち水熱処理設備で処理し、その処理液とろ液を混合して消化する。設備フローを図-4に示す。

2.3.2 実証試験経過

2009年6月～12月に、運転条件を決定するための予備試験運転を行い、運転条件を確定した。

【運転条件】

- ①濃縮混合汚泥処理量 6m³/日
- ②水熱反応器への投入スラリー量 1.7m³/日
- ③反応器条件 (180℃, 1MPa)
- ④反応器への投入スラリーの固形物濃度 7%
- ⑤10日毎に1回2時間の水置換運転
- ⑥消化槽の運転条件：滞留日数5日, 55℃
- ⑦機械濃縮を無薬注入から薬注 (対SS1%)

この運転条件で、2010年1月～3月、7月～8月の期間で安定した連続運転を行うことができた。なお、4月～5月(中旬)は開放点検停止、5月～6月は再訓練期間である。

実証プラントのフローを図-5に示す。

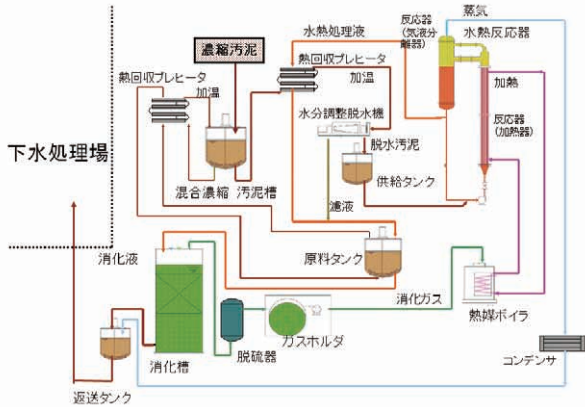


図-5 実証プラントフロー

3 実証試験結果

脱水汚泥は、SSベースで67%重量ベースで80%減量することができた。また汚泥減量化プラント運転に必要な熱エネルギーをすべて消化ガスで賄えることが確認できた。

3.1 汚泥減量化率

2010年夏試験における濃縮混合汚泥と高温消化槽からの消化液のSS濃度の変化を図-6に示す。2010年春試験から夏試験の平均汚泥減量化率は67%だった。

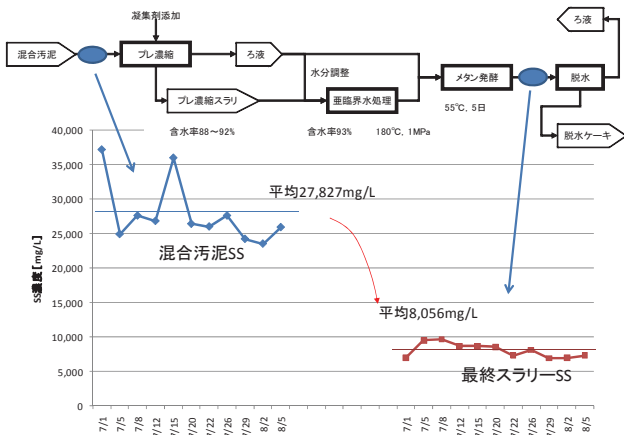


図-6 供給汚泥と最終スラリーのSS濃度変化

3.1.1 初沈汚泥中のセルロース類の影響

初沈汚泥にセルロース類と見られる繊維状の固形分が多量に見られた。減量化率が67%に留まった理由として、このセルロース類が水熱処理条件では可溶化されずそのまま消化槽に投入され、滞留日数5日では消化ガスに転換されないSSが残ったと考えられる。

3.1.2 脱水汚泥（重量ベース）の減量化率

汚泥を水熱処理することにより、消化汚泥の脱水性が改善され、脱水汚泥の含水率は65%程度になることが実証試験で確認された。

脱水汚泥の重量ベースでの汚泥減量化率を次式とする。従来の脱水処理による脱水ケーキの含水率を80%とすると、汚泥減量化率は80%となる。

$$\text{減量化率 (\%)} = 100 - \frac{\text{本技術による最終脱水固形分重量}}{\text{従来の脱水処理による脱水ケーキ重量}} \times 100$$

3.2 消化ガス発生量

消化ガス発生倍率は平均で11.6 (Nm³/汚泥-m³)で、外気温度が15℃のときに本プラントを運転するのに必要な消化ガス発生倍率（理論値）9.4 (Nm³/汚泥-m³)を上回った。このことから、本プラントで消費する熱エネルギーの全量を、発生した消化ガスで賄うことができることを確認できた。またメタン濃度も、平均64.5%と安定して推移し、良好な消化が維持されていた。

3.3 高温消化

2010年夏試験の有機脂肪酸濃度とアルカリ度は図-8に示す通り安定して推移していた。

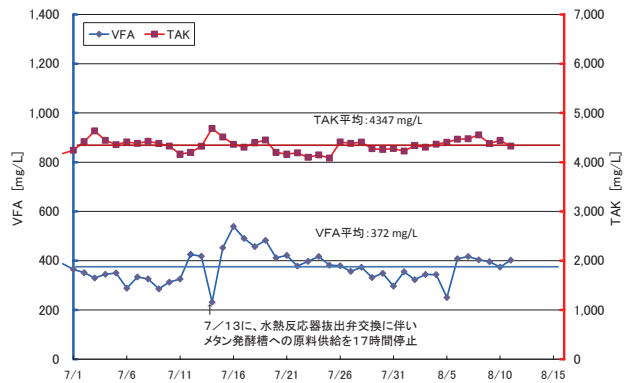


図-8 有機脂肪酸とアルカリ度の推移

4 消化汚泥の脱水性

本技術で処理された消化汚泥は、余剰汚泥等の細胞壁を水熱処理にて加水分解しているため、内部の細胞水等が分離して脱水性が改善される。

濃縮混合汚泥（濃縮生汚泥：濃縮余剰汚泥 = 1：1容積比）を本技術で処理した消化汚泥は、凝集剤添加

量は増えるものの、含水率65%まで脱水することができた。脱水汚泥の状態と脱水条件を図-9に示す。



【脱水条件】

脱水機	デカンタ (遠心力 2500G)
凝集剤	無機系：ポリ鉄 SS比 12.3%、TS比 7.6%
	高分子系：SS比 4.5%、TS比 2.8%
含水率	平均：65 wt%

図-9 水熱処理+消化を施した最終脱水ケーキ

5 返流水の性状

消化汚泥を表-2の条件1から条件3で示す凝集剤添加量で脱水したろ液の分析を行った。ポリ鉄12.3% (対SS)、高分子凝集剤4.5% (対SS) における脱水ろ液の全リン濃度は、15.1 (mg/L) であった。一方、全窒素濃度は、1,300 (mg/L) と高い数値であった。窒素分は、そのまま返流水として流入汚水で約100倍に希釈されたとしても、約6.6 (mg/L) の負荷増加となるので注意が必要である。

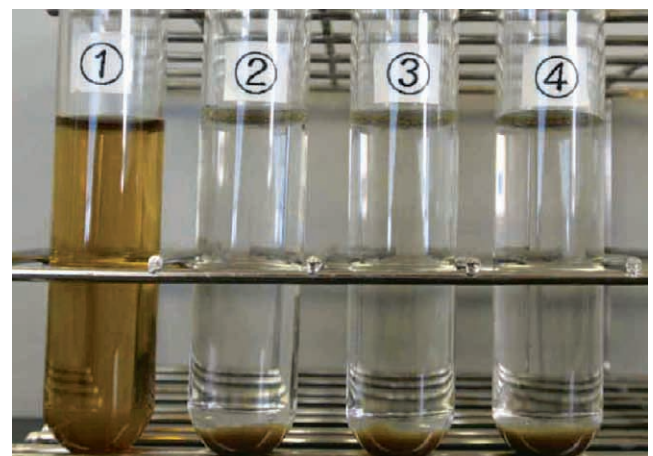
消化液の脱水ろ液の色度試験の結果を図-10に示す。④の色度は34であった。この値は2010年秋に分析した西部放流水の色度12を上回るが、「再生水利用に関する技術上の基準 修景用水適用基準 (色度40以下)」以下のレベルである。

6 閉塞対策

2009年末から10日間運転ごとに2時間程度の水置換運転した。実証運転中は、スケールによる閉塞は発生せず安定運転を維持することができた。

表-2 返流水分析結果

試料種別	実証プラント		
	条件1	条件2	条件3
<添加率> ポリ鉄 高分子凝集剤	対SS 12.3%	対SS 6.9%	対SS 3.3%
	4.5%	11.1%	6.7%
T-COD _{Cr}	3020	2940	2590
T-COD _{Mn}	1430	1280	1060
T-BOD	1240	1240	958
TS	5360	3780	3600
VS	4950	3140	2600
SS	143	124	170
VSS	134	116	110
全窒素	1300	1130	1280
アンモニア性窒素	1060	948	1040
全リン	15.1	77.4	220
リン酸態リン	11.2	75.7	210



①最終スラリー (消化液) の脱水濾液 ②既存処理場の活性汚泥液
③試料①を試料②で100倍に希釈したもの ④試料③を7時間曝気したもの

図-10 消化液の脱水ろ液の色度試験結果

2010年3月の開放点検時に若干のスケールが観測されたが、薬品洗浄 (過酸化水素系洗浄剤) で容易に剥離することができた。基本は水置換運転とし、スケールリングの状況によっては、薬品洗浄運転の併用も行っていくことで、水熱反応器のスケール付着や閉塞は防止できるものと考えている。

本研究では、既存下水処理場の実証プラントを設置して性能検証を行い、汚泥減量効果を検証した。本研究の成果として、汚泥削減技術の概要、設備の計画、設計、施工、維持管理に係わる技術的事項を技術マニュアルに取りまとめた。汚泥処分費や維持管理費の軽減を図る際の一助になれば幸いである。