

エネルギー回収を目的とした
嫌気性消化プロセスの評価に関する
報告書

平成24年3月

日本下水道事業団 技術評価委員会

審議の経過

平成22年 11月26日 第61回技術評価委員会

平成22年 12月22日 第1回エネルギー回収を目的とした
嫌気性消化プロセス専門委員会

平成23年 5月12日 第2回エネルギー回収を目的とした
嫌気性消化プロセス専門委員会

平成23年 9月12日 第3回エネルギー回収を目的とした
嫌気性消化プロセス専門委員会

平成23年12月21日 第4回エネルギー回収を目的とした
嫌気性消化プロセス専門委員会

平成24年 3月1日 第5回エネルギー回収を目的とした
嫌気性消化プロセス専門委員会

平成24年 3月29日 第63回技術評価委員会

委員の構成

(平成 24 年 3 月 29 日現在)

技術評価委員会

会 長	東洋大学常勤理事	松尾 友矩
委 員	北海道大学大学院工学研究院環境創生工学部門 水代謝システム分野 教授	高橋 正宏
〃	京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 水環境工学分野教授	津野 洋
〃	東京大学大学院新領域創成科学研究科 環境学研究系社会文化環境学専攻教授	味埜 俊
〃	国土交通省水管理・国土保全局下水道部長	岡久 宏史
〃	国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部長	堀江 信之
〃	東京都下水道局技監	小川 健一
〃	大阪市建設局理事	福井 聡
〃	埼玉県下水道局長	池田 秀生
〃	社団法人日本下水道協会理事	佐伯 謹吾
旧委員	国土交通省都市・地域整備局下水道部長	松井 正樹
〃	国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部長	清水 俊昭
〃	大阪市建設局理事	前田 邦典
〃	埼玉県都市整備部下水道課長	酒巻 和彦

(旧委員の所属職名は委員委嘱当時のもの)

エネルギー回収を目的とした嫌気性消化プロセス

専門委員会

委員長	日本大学大学院総合科学研究科環境科学専攻教授	野池 達也
委員	国土交通省水管理・国土保全局下水道部 下水道企画課下水道国際・技術調整官	白崎 亮
〃	独立行政法人土木研究所材料資源研究グループ リサイクルチーム上席研究員	内田 勉
〃	北九州市立大学国際環境工学部 エネルギー循環科学科教授	安井 英斉
〃	東北大学大学院環境科学研究科准教授	李 玉友
〃	神戸市建設局下水道河川部計画課長	山地 健二
〃	熊本県土木部道路都市局下水環境課長	軸丸 英顕
旧委員	独立行政法人土木研究所材料資源研究グループ リサイクルチーム上席研究員	岡本 誠一郎
〃	熊本県土木部下水環境課長	西田 浩

(旧委員の所属職名は委員委嘱当時のもの)

目 次

(技術評価の経緯)	1
(技術評価の目的)	2
(評価対象技術)	2
(評価の範囲)	3
(投入基質および処理技術の特徴)	10
(施設設計上の留意事項)	17
(運転管理上の留意事項)	22
(導入効果)	26

(技術評価の経緯)

嫌気性消化プロセスは、従来、汚泥の減量化、性状安定化、病原菌の死滅を主な目的として、我が国の下水処理場（約 2,200 箇所）のうち、現在、約 300 箇所
の下水処理場で導入されてきている。しかしながら、嫌気性消化の過程で発生する
メタンガスを主成分とした消化ガスは、消化ガス発電燃料や都市ガス代替利用など
有効利用を図っている下水処理場はあるものの、多くの処理場では消化タンクの加
温用熱源や一部焼却炉補助燃料などとして使用される以外は、余剰消化ガスとして
燃焼廃棄されてきた。また、嫌気性消化プロセスに係る体系化された技術情報、導
入効果が確認できる基礎資料が不足していること等から、中小規模処理場を中心に
嫌気性消化プロセスの導入が進んでいないことが課題とされている。

近年では地球温暖化問題が契機となり、省エネルギー対策の強化を図ることを
目的とした省エネ法の改正や、エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の
利用及び化石エネルギー原料の有効な利用を促進することを目的としたエネルギ
ー供給高度化法が制定され、わが国全体として省エネ・創エネ対策が求められてい
る。

下水道事業においても、「下水道ビジョン2100」の中で、下水道の有する資
源回収・供給機能を積極的に活かして、下水処理場のエネルギー自立、地球温暖化
防止等に貢献する「資源のみち」の創出が盛り込まれた。このような状況の下、汚
泥資源の更なるエネルギー利用が求められるようになり、消化ガスとしてエネルギ
ーを回収できる嫌気性消化プロセスが再度脚光を浴びるようになった。その結果、
嫌気性消化プロセスにおいて効率的に消化ガスを発生させるためのさまざまな研
究および技術開発が進められおり、エネルギー回収施設としての嫌気性消化プロセ
ス導入および消化ガスの有効利用を検討する自治体が増加しつつある。

嫌気性消化プロセスにおける効率的な消化ガス発生手法が確立されると、エネ

ルギー回収型嫌気性消化プロセスの導入促進や、既存の嫌気性消化プロセスにおける更なる消化ガス発生量の増加などを図ることが可能となる。

以上のような背景から、平成 22 年 11 月、日本下水道事業団（JS）理事長より技術評価委員会へ諮問があり、エネルギー回収を目的とした嫌気性消化プロセスについて技術評価を行うこととなった。

なお、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災を原因とする原子力発電所事故の影響により、日本全国で電力を中心としたエネルギー需要が逼迫しており、低炭素社会の実現および循環型社会の形成に向けた再生可能エネルギーに対する期待が高まっている。このような中、下水汚泥のような有機性廃棄物からのエネルギー回収および有効利用は、以前にも増してその必要性が求められている。

（技術評価の目的）

前述の経緯から、JS などが実施した嫌気性消化に係る実験結果および下水処理場における維持管理データを体系的に整理することにより、エネルギー回収を目的とした嫌気性消化プロセスのエネルギー回収効果や特徴を明確にすると同時に、下水道事業へ適用する場合の設計や運転管理上の留意事項を提示することを、本技術評価の目的とする。

（評価対象技術）

1. 嫌気性消化タンク投入対象基質

本評価の対象とする嫌気性消化タンク投入基質は、最初沈殿池において発生する初沈汚泥（初沈濃縮汚泥）、最終沈殿池において発生する余剰汚泥（余剰濃縮汚泥）、初沈汚泥と余剰汚泥を混合した混合汚泥（混合濃縮汚泥）および外部受け入れバイオマスとする。なお、外部受け入れバイオマスについては生ごみ（学校給食センタ

一残渣)を対象としているため、バイオマスの種類によって、別途、性状特性を検討する必要がある。また、余剰汚泥については、標準活性汚泥法において発生する余剰活性汚泥を評価対象としており、水処理プロセスにおける汚泥滞留時間(SRT)が長い高度処理法などにおいて発生する余剰汚泥については、別途、検討する必要がある。

2. 評価対象システム

本評価では、嫌気性消化タンクへの投入基質のほか、嫌気性消化システムとして、従来型の中温消化、高温消化に加え、JS と民間企業の共同研究により開発された以下のシステムとする。

- (1) メタウォーター株式会社との共同研究により開発された担体充填型高速メタン発酵システム
- (2) 三菱化工機株式会社との共同研究により開発された熱改質高効率嫌気性消化システム

(評価の範囲)

本技術評価では、下水道事業における嫌気性消化システムに投入される基質性状特性および従来型の中温・高温消化システムにおける消化特性を対象とし、担体充填型高速メタン発酵システム、汚泥熱改質システムにおける嫌気性消化特性およびエネルギー回収効果と留意事項を評価の範囲とする。

1. 嫌気性消化タンク投入基質性状特性

本技術評価では、初沈汚泥、余剰汚泥、混合汚泥、生ごみを対象として、BOD、SS 濃度、全窒素 (T-N) 濃度、アンモニア性窒素 (NH₄-N) 濃度、全リン (T-P)

濃度、有機分率（VS/TS 比、固形物（TS）量に対する有機物（VS）量の割合）、VS 組成などの違いにより、投入基質の性状特性を明らかにする。

2. 中温消化・高温消化システムにおける消化特性

2. 1 嫌気性消化の特徴

嫌気性消化では、多種類の嫌気性細菌が関与して投入基質に含まれる高分子の有機物（炭水化物、蛋白質および脂質等）が段階的に低分子化、液化およびガス化される。嫌気性細菌による有機物の分解過程は、その働きによって酸性発酵期（第1期）、酸性減退期（第2期）およびアルカリ性発酵期（第3期）に分けられる。

嫌气的条件においては、まず第1期において酸生成細菌と呼ばれる嫌気性菌群（偏性嫌気性細菌群も存在）の作用で有機物が加水分解され、酢酸、プロピオン酸および酪酸等の揮発性低級脂肪酸等（以下揮発性有機酸とする）が生成される。したがって pH が 5.0~6.0 まで急激に低下し、腐敗臭が発生する。第2期では揮発性有機酸や窒素有機化合物の分解が始まり、二酸化炭素、メタン、窒素、水素等の少量のガス発生とともに硫化水素およびメルカプタン等が発生するため、不快臭が発生する。この時期には、揮発性有機酸の分解が始まるため、pH が 6.0~6.5 に達する。

その後第3期であるアルカリ性発酵期において、低分子化された有機物が偏性嫌気性細菌であるメタン生成細菌によりメタンおよび二酸化炭素に分解される。この時期には、揮発性有機酸のほとんどが分解されるため、pH は 7.5 以上に上昇する。

このように、嫌気性消化では3つの段階を経て分解されるが、消化タンクには基質が連続的に投入されるため、消化タンクの中で各プロセスが同時に進行し、平衡状態が保たれていることになる。

偏性嫌気性細菌であるメタン生成細菌の活動には最適な温度帯があり、温度帯に

よって反応速度が異なる。本技術評価では、中温消化システム（消化温度：35～37℃、消化日数：20～30日）、および高温消化システム（消化温度：50～55℃、消化日数：10～15日）における消化特性およびエネルギー回収効果を対象とする。

2. 2 適用対象投入基質

中温および高温消化システムにおける適用対象投入基質は、初沈汚泥、余剰汚泥、混合汚泥および生ごみとする。

2. 3 評価対象施設および項目

本技術評価では、消化設備、消化ガス貯留設備を含む中温消化システムおよび高温消化システムで、エネルギー回収を目的とした嫌気性消化プロセスを新規設置する処理場、または既に消化タンクを有する処理場うち、エネルギー回収型嫌気性消化プロセスを検討する処理場を対象とする。

評価対象項目は、消化汚泥の脱水特性、返流水質特性、エネルギー回収効果、投入基質の違いによるVS分解特性および消化ガス発生特性とする。

3. 担体充填型高速メタン発酵システム

3. 1 対象施設

本技術評価では、図1に示す生ごみの前処理設備、消化設備および消化ガス貯留設備を含む消化システムを対象とし、本技術の適用先は、原則として新規に消化タンクを設置または消化タンクを建替え更新する処理場とする。

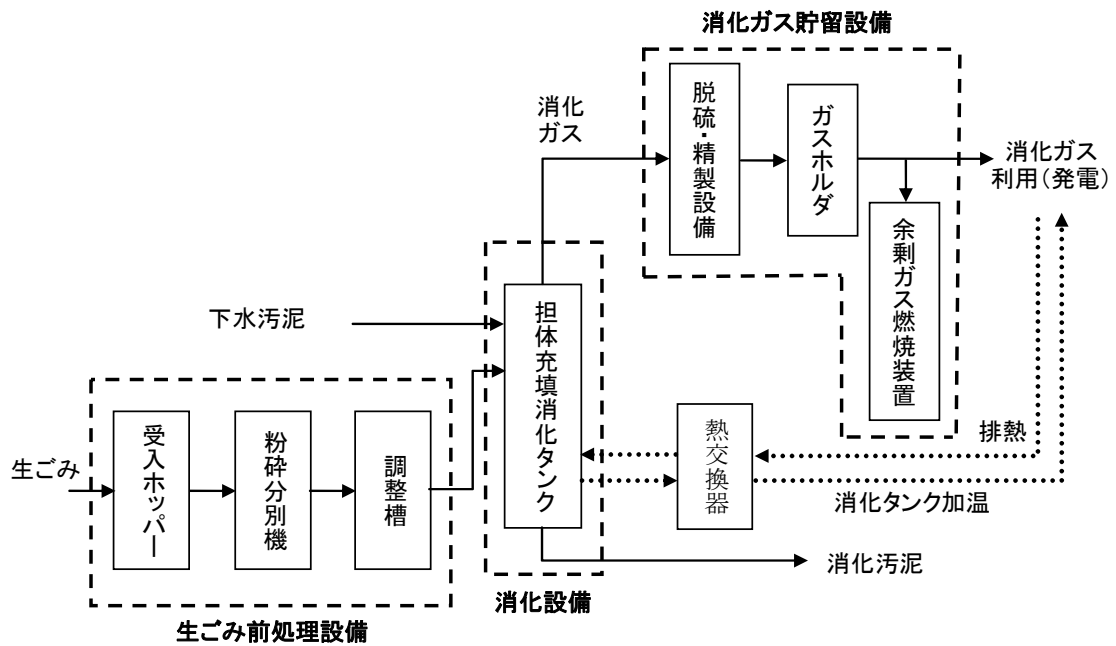


図1 担体充填型高速メタン発酵システムフロー図

3. 2 システム構成

下水処理場に担体充填型高速メタン発酵システムを導入した場合の基本フローを図2に示す。本消化システムは、受け入れた生ごみを粉碎・分別し、水を添加してスラリー状とする生ごみ前処理設備、下水汚泥と生ごみスラリーを嫌気性消化させバイオガスを生成する消化設備、生成した消化ガスの浄化処理および貯留を行う消化ガス貯留設備から構成されている。

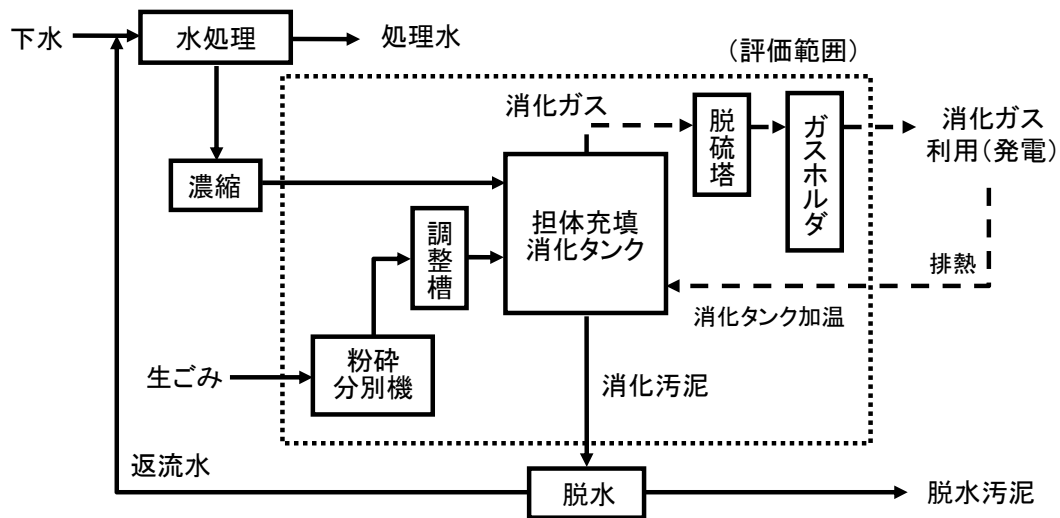


図2 下水処理場における担体充填型高速メタン発酵システム基本フロー図

(1) 生ごみ前処理設備

- ① 生ごみ前処理設備は、受け入れた生ごみを一時貯留する受入ホッパー、粉碎分別機および生ごみの希釈と一時貯留を行う調整槽から構成される。
- ② 粉碎分別機において、生ごみを 10mm 程度まで粉碎するとともに、プラスチックや金属などの発酵不適物を分別する。
- ③ 調整槽は、粉碎された生ごみの希釈とスラリー化と流量調整の目的で設置する。

(2) 消化設備

不織布固定床担体を設置した消化タンクに、下水汚泥または、下水汚泥と生ごみを投入して、消化ガスを生成させる。消化方式は高温消化であり、消化タンクを 55℃程度に加温をして消化を進行させる。

(3) 消化ガス貯留設備

消化ガス貯留設備は、消化ガス中に含まれる微量の硫黄系成分を除去するための脱硫塔、シロキサン類を除去するための精製塔、消化ガスの一時貯留を行うガスホルダおよび余剰消化ガスを燃焼処理する余剰ガス燃焼装置から構成さ

れる。

3. 3 適用対象とする汚泥と外部受入バイオマス

本技術の適用対象汚泥は、生活系排水主体の処理場から発生する下水汚泥とする。

また、適用対象とする外部から受け入れるバイオマスは、家庭および事業所から発生する生ごみとする。生ごみ以外のバイオマスを下水汚泥と混合処理する場合は、別途検討が必要である。

4. 熱改質高効率嫌気性消化システム

4. 1 対象施設

本技術の適用先は、新規に中温消化方式の消化タンクが設置される下水処理場、または既に消化タンクが設置され高効率化の改造を検討する下水処理場とする。高温消化方式については、別途検討が必要である。

本技術評価では、図3に示す消化設備、脱水設備および熱改質設備を含む消化プロセスを対象とする。

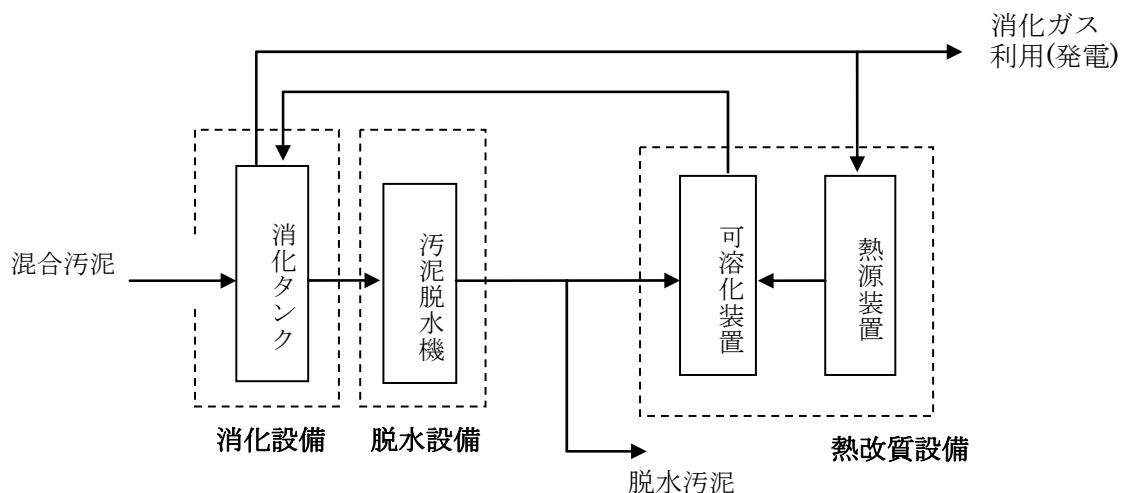


図3 熱改質高効率嫌気性消化システムフロー図

4. 2 システム構成

下水処理場に熱改質高効率嫌気性消化システムを導入した場合の基本フローを図4に示す。熱改質高効率嫌気性消化システムは、下水の混合汚泥および可溶化汚泥を嫌気消化させ消化ガスを生成する消化設備、消化汚泥を脱水する脱水設備および脱水された消化汚泥を熱改質する熱改質設備で構成される。従来の嫌気性消化設備において加温設備に替えて熱改質設備を付加した構成である。生ごみ投入も可能であるが、本評価では対象外とする。

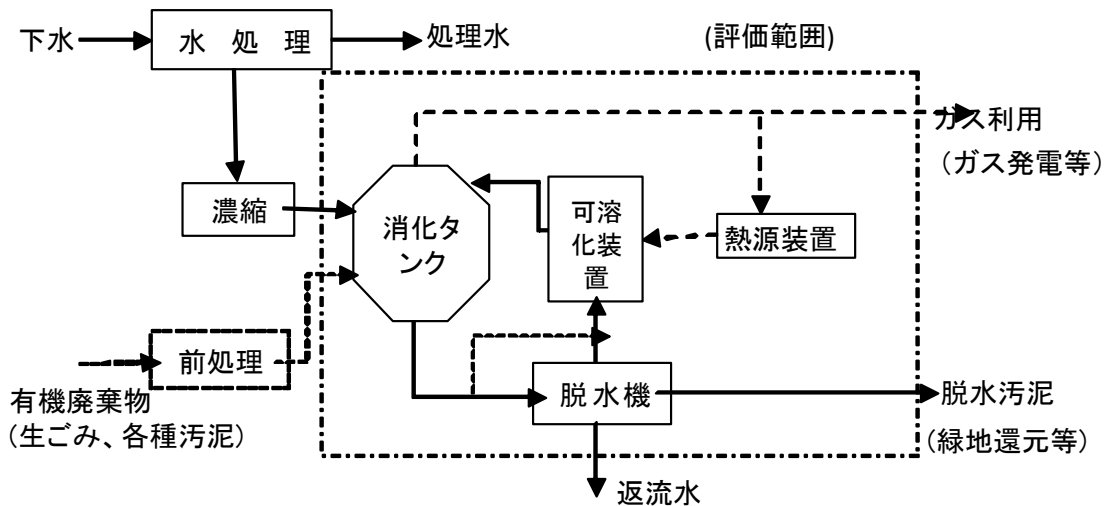


図4 下水処理場における熱改質高効率嫌気性消化システム基本フロー図

(1) 消化設備

消化タンクに混合汚泥と可溶化タンクで可溶化された可溶化汚泥を投入して、消化タンクにおいて汚泥を分解し、消化ガスを発生させる。消化方式は中温消化方式を基本としており、消化タンクを35～40℃程度に加温をして消化を進める。

(2) 脱水設備

消化汚泥を脱水する設備である。脱水された脱水汚泥は所定量を可溶化装置に圧送し、残りは系外へ送泥される。

(3) 熱改質設備

熱改質設備は、可溶化装置、熱源装置および脱水汚泥供給ポンプなどで構成される。

熱源装置は汚泥の改質を行うのに必要な水蒸気を供給する装置で、消化ガスを利用した蒸気ボイラ、ガス発電機の廃熱を利用した廃熱ボイラなどがある。

可溶化タンク内の汚泥は0.5～0.7MPaの圧力下で、160～170℃で処理される。

可溶化装置への投入は脱水汚泥のみを対象とする場合と、脱水汚泥と消化汚泥を併用して投入する方式がある。

4. 3 適用対象とする汚泥

本技術の処理対象とする汚泥は、生活系排水主体の下水処理場から発生する汚泥を嫌気性消化して消化タンクから排出される消化汚泥とする。外部から受け入れるバイオマスを下水汚泥と混合処理する場合は、別途検討が必要である。

(投入基質および処理技術の特徴)

1. 嫌気性消化タンク投入基質の性状特性および中温消化・高温消化における消化特性

1. 1 初沈汚泥

本技術評価で分析した初沈汚泥性状の平均値はVS/TS比が88%と高く、T-N含有率が4.5%・TS、T-P含有率が1.1%・TSと低い。VSは炭水化物を主成分としており、短時間で嫌気分解が進むことから、エネルギー回収を目的とした嫌気性消化プロセスの基質として適している。但し、最初沈殿池内や重力濃縮タンクなどで長時間貯留すると汚泥の発酵が嫌気性消化タンク投入前に進行するため、沈殿池からの速やかな引抜き、機械濃縮などによる滞留時間の短い濃縮方法が望ましい。また、VS分解率、ガス発生量の変動が大きく、嫌気性消化タンクにおける負荷変動に留

意する必要がある。

1. 2 余剰汚泥

本技術評価で分析した余剰汚泥性状の平均値は VS/TS 比が 81%とやや低く、T-N 含有率が 7.8%-TS、T-P 含有率が 2.5%-TS と高い。VS は微生物細胞など難分解性セルロースやタンパク質を主成分としており、分解に時間を要する基質である。一方で汚泥性状は安定しており、消化率およびガス発生量の変動は小さい。但し、余剰汚泥を消化することにより嫌気性消化タンク内のアンモニア性窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$) 濃度が上昇し、消化阻害が発生する可能性があるため、留意が必要である。

1. 3 混合汚泥

混合汚泥は、初沈汚泥と余剰汚泥の混合比率で汚泥の性状特性および嫌気性消化特性を推測することが可能である。

1. 4 生ごみ

本技術評価で分析した生ごみ(学校給食残渣)性状の平均値は、VS/TS 比が 93%と高い。VS は炭水化物および脂質を主成分としており、短時間で消化されることからエネルギー回収を目的とした嫌気性消化プロセスの基質として適している。但し、長時間保管すると生ごみの発酵が嫌気性消化タンク投入前に進行するため、臭気発生を抑制するとともに、消化タンク投入前に発生する消化ガスを嫌気性消化タンク内において回収するために、嫌気性消化タンク投入前の保管期間をできるだけ短くすることが望ましい。また、生ごみはその種類により大きく性状が異なるため、下水汚泥と混合消化する場合は基質となる生ごみの性状および消化特性を十分に把握する必要がある。

1. 5 脱水性

脱水汚泥の含水率は、消化汚泥の場合、未消化汚泥に比べ通常 2～5 ポイント程

度高い。但し、脱水前の汚泥性状、脱水機種によって脱水性能が異なるため、個別に確認する必要がある。

1. 6 返流水質および放流水質

消化汚泥の脱水により生じる返流水（脱水ろ液）の水質は、未消化汚泥の脱水による返流水に比べて BOD、SS 濃度および T-P 濃度については、同等もしくはそれ以下である。一方で T-N、特に $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度については未消化汚泥の返流水に比べて高くなる。

放流水質は、水処理の方式によって異なるものの、一般的には T-N 濃度は嫌気性消化プロセスの導入により高くなり、BOD、SS 濃度および T-P 濃度は嫌気性消化プロセスを導入しない場合と比べて同等である。

1. 7 投入基質毎の消化特性

嫌気性消化タンクへの投入基質の有機物成分のうち、主として炭水化物が分解されることから、炭水化物を多く含有する初沈汚泥、生ごみなどの消化効率は高く、タンパク質を主成分とする余剰汚泥の消化効率は低い。各基質の消化効率は基質性状、嫌気性消化システムの運転条件により異なるものの、消化日数および消化温度などの維持管理条件に合わせた連続試験により推測することが可能である。

本技術評価における実験結果では、消化日数 14 日、消化温度 51°C の条件で、初沈汚泥の消化特性平均値として VS 分解率 56%、消化ガス発生量 $550 \text{ Nm}^3/\text{t-VS}$ 、余剰汚泥の消化特性の平均値として VS 分解率 43%、消化ガス発生量 $370 \text{ Nm}^3/\text{t-VS}$ である。

混合基質の消化特性は、連続試験により得られた各基質の消化効率と混合比率により概ね推測することが可能である。

1. 8 中温および高温消化の特性

高温消化は中温消化に比べ比較的短い消化日数で処理が行われ、施設がコンパクト

ト化できることから、一部の下水処理場で採用されている。

高温消化では加温に要するエネルギーが大きくなりやすいことから、エネルギー回収を目的とする嫌気性消化においては、投入バイオマスの種類に留意するとともに、消化タンクに投入する基質濃度を高くした高濃度投入や消化汚泥から熱回収し消化タンク加温用熱源を賄う熱回収プロセスの導入など、投入エネルギー低減の検討が必要となる。

2. 担体充填型高速メタン発酵システム

2. 1 システムの特徴

担体充填型高速メタン発酵システムは、発酵に係る細菌を消化タンクに充填された担体表面に固定化、高濃度保持することにより、高負荷処理、安定した消化を実現するシステムであり、以下に示すような特徴を有している。

(1) 担体充填（担体充填率（％）＝担体総容積（担体内空隙部分を含む）/消化タンク有効容積×100）により消化タンク内の SRT を長くできるため、従来システムの半分以下の短い消化日数（HRT：初沈汚泥の場合および生ごみと汚泥の混合消化の場合 5 日、混合汚泥の消化の場合 10 日）、においても安定した消化が可能である。

(2) 自動発酵制御（NH₄-N 濃度制御、投入負荷量制御）により安定発酵と運転員の負荷軽減が可能である。

① 発酵槽内 NH₄-N 濃度制御

消化の阻害要因となる NH₄-N 濃度を適切な範囲（2000mg/L 以下）に制御するため、電気伝導率の計測値から槽内の NH₄-N 濃度を推定し、阻害値を越えないように、希釈水を自動投入する。

② 投入負荷量制御

過負荷投入を防止するため、消化ガス量の計測値を基に、菌の増殖速度を考慮して、原料投入可能量を自動計算する。

この制御方法により、定格運転時の投入負荷変動時、運転開始時や長期停止後に負荷を迅速に増加させ、速やかに定格処理量での運転を実現することができる。

2. 2 処理機能

消化プロセスの基礎実験、実証実験結果に基づく処理機能上の特徴は以下のとおりである。

- (1) 担体充填率を上げることで担体の表面積が増加し、VS 分解率の向上が期待できる。本評価の基礎実験では、初沈汚泥を基質とし、HRT 4 日および担体充填率 15% 条件の処理において、担体なしの処理と比較して VS 分解率は 4 ポイント程度増加する。
- (2) 初沈汚泥 (TS 濃度=3.6%、VS/TS 比=83.6%) を対象とした場合、本評価の実証実験では、HRT 5 日 (有機物負荷量: 6.0kgVS/m³/d) の処理条件で、VS 分解率 57%、投入 VS 当りの消化ガス発生量 500Nm³/t-VS である。
- (3) 混合汚泥 (TS 濃度=2.9%、VS/TS 比=86.3%) を対象とした場合、本評価の実証実験では、HRT10 日 (有機物負荷量: 2.5kgVS/m³/d) の処理条件で、VS 分解率 55%、投入 VS 当りの消化ガス発生量 540Nm³/t-VS である。
- (4) 下水汚泥に生ごみを混合することで、消化ガスの発生量を増大させることができ、その際の VS 分解率および消化ガス発生量は下水汚泥と生ごみの混合割合によって変化する。
- (5) 初沈汚泥と生ごみの混合物 (TS 比率=初沈汚泥 1.0 : 生ごみ 1.0、TS 濃度=4.3%および VS/TS 比=89.6%) を対象とした場合、本評価の実証実験では、HRT 5 日 (有機物負荷量: 7.7kgVS/m³/d) の処理条件で、VS 分解率 68%、投入 VS 当りの消化ガス発生量 620Nm³/t-VS である。初沈汚泥と生

ごみの混合物 (TS 比率=初沈汚泥 1 : 生ごみ 1.5、TS 濃度=5.5%および VS=82.3%) を対象とした場合、HRT 5 日 (有機物負荷量 : 9.1kgVS/m³/d) の処理条件で、VS 分解率 71%、投入 VS 当りの消化ガス発生量 650Nm³/t-VS である。

(6) 混合汚泥と生ごみの混合物 (TS 比率=混合汚泥 1.0 : 生ごみ 0.6、TS 濃度=3.6%および VS/TS 比=88.8%) を対象とした場合、本評価の実証実験では、HRT 5 日 (有機物負荷量 : 6.4kgVS/m³/d) の処理条件で、VS 分解率 60%、投入 VS 当りの消化ガス発生量 590Nm³/t-VS である。混合汚泥と生ごみの混合物 (TS 比率=混合汚泥 1.0 : 生ごみ 0.9、TS 濃度=4.4%および VS/TS 比=90.5%) を対象とした場合、HRT 5 日 (有機物負荷量 : 8.0kgVS/m³/d) の処理条件で、VS 分解率 61%、投入 VS 当りの消化ガス発生量 610Nm³/t-VS である。

(7) 負荷変動については、一定の条件で対応可能である。実証実験では、消化タンクへの投入負荷を 70%~125%の範囲で週単位、日単位の負荷変動運転および生ごみを通常の 2 倍量 (TS 比率=汚泥 1.0 : 生ごみ 2.0) を 24 時間投入する運転を行い、いずれも安定発酵が可能であることを確認している。

(8) 消化プロセスの立上げ期間は、初期種汚泥の濃度により異なるが、本評価の実証実験実績 (種汚泥 TS 濃度 0.2%の場合) では 3 週間程度である。

3. 熱改質高効率嫌気性消化システム

3. 1 システムの特徴

熱改質高効率嫌気性消化システムは、嫌気性消化設備の消化タンクから排出される消化汚泥を脱水して、所定量の脱水汚泥を可溶化装置に圧送し、消化ガスの一部、または、排熱を利用して生成した水蒸気を吹き込み、160~170°Cおよび 0.5~

0.7MPa の飽和水蒸気圧下で消化汚泥の改質（水熱反応）を行う。熱改質された汚泥は消化タンクに返送され、再消化を行うとともに可溶化汚泥の保有熱量で消化タンクの加温を行う。

消化タンク投入原汚泥固形分量 (kg) に対する可溶化装置投入固形分量(kg)の比率を可溶化投入率と呼び、重要な運転管理指標となる。

従来の嫌気性消化では、投入汚泥中の有機分のうち約 50%が分解し、残りは未分解汚泥として排出されている。この分解されにくい消化汚泥を水熱反応により微生物により分解されやすい汚泥に改質して再消化することにより、さらに有機物が分解され、消化ガス量が増加し、汚泥量が減少する。

可溶化タンクの加熱方式は、水蒸気直接吹き込みとしている。これにより、間接加熱方式に見られる焦げ付き、スケーリングなどのトラブルを防ぐとともに水蒸気凝縮水の希釈により流動性が増し、可溶化効率も良くなる。

可溶化熱量と消化タンク加温熱量をバランスさせて熱可溶化した汚泥を消化タンクに戻すことで、新たな熱エネルギーを使用せず、可溶化汚泥が保有する熱エネルギーで消化タンクを加温することができる。

3. 2 処理機能

下水汚泥を対象とした消化プロセスの基礎実験、および実証実験結果に基づく処理機能上の特徴は以下の通りである。

- (1) 熱改質の基礎実験（回分試験）結果では、初沈汚泥ではほとんど効果はみられず、余剰汚泥ではガス発生量が約 3 割増加した。消化汚泥を熱改質することで、VS 分解率が向上し、ガス発生量は熱改質しない消化汚泥の約 3 倍に増加した。
- (2) 従来の嫌気性消化（消化日数 30 日、有機物負荷量 1.1kgVS/m³/d、投入 VS 当たりガス発生量 450Nm³/t-VS）と比べると、熱改質高効率嫌気性消化シス

テム（投入汚泥に対して消化日数 15 日、有機物負荷量 2.2、kgVS/m³/d）により、投入 VS 当りガス発生量は、可溶化投入率 0.7 において、600Nm³/t-VS 程度、可溶化投入率 0.5 において 550Nm³/t-VS 程度となる。

- (3) VS 分解率は、従来の嫌気性消化で 55%程度するとき、可溶化投入率 0.7 において 70%程度、可溶化投入率 0.5 において 65%程度である。
- (4) 可溶化処理によって、汚泥が改質され脱水性が向上し、遠心脱水機の場合、可溶化しない場合に比べて汚泥含水率が 5～7 ポイント程度低下する。
- (5) 汚泥固形分減量と脱水汚泥含水率低下の効果で、脱水汚泥量は、従来嫌気性消化方式に比べて 1/2～2/3 程度に減量される。

(施設設計上の留意事項)

1. 一般事項

1. 1 投入基質

(1) 初沈汚泥

- ① 初沈汚泥は余剰汚泥に比べて易分解性の有機物を多く含有しているため、メタン発酵特性が良く、エネルギー回収効果が高いことから、できるだけ最初沈殿池において、初沈汚泥として有機物を捕捉することが望ましい。但し、水処理プロセスにおいて窒素除去を行っている場合、最初沈殿池における有機物の捕捉率が高まることにより、脱窒工程に必要な炭素源が不足することがあるため、水処理施設反応タンクにおける C/N 比に留意する必要がある。
- ② 初沈汚泥は、特に気温の高い夏季において、短時間でメタン発酵が進むことから、最初沈殿池から速やかに引抜くとともに、濃縮プロセスにおいて滞留時間の短い機械濃縮導入などの検討が望ましい。

(2) 余剰汚泥

- ① 余剰汚泥は汚泥性状が安定しており、消化率およびガス発生量の変動が小さい。一方で、余剰汚泥に含まれる有機物は微生物細胞など難分解性セルロースやタンパク質を主成分としており、分解に時間を要する基質であるため、初沈汚泥に比べてエネルギー回収効果が低い。
- ② 余剰汚泥を消化することにより嫌気性消化タンク内の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が上昇し、消化阻害が発生する可能性があるため、余剰汚泥を単独で消化する場合は留意が必要である。

(3) 生ごみ

- ① 生ごみはメタン発酵によるエネルギー回収効果が高いバイオマスであり、下水処理場において受け入れることで消化ガス発生量の増収効果が期待できる。
- ② 生ごみは、特に気温の高い夏季において、短時間でメタン発酵が進むことから、消化タンク投入前の貯留期間が短くなるような設計が望ましい。
- ③ 生ごみの収集車は臭気が発生するため、車両の搬入時間や動線などを慎重に検討する必要がある。
- ④ 収集されてくる生ごみの中に異物、特に金属類や石などが混入していると、後段の分別破碎の段階で設備の停止、機能低下および破損を招く可能性があるため、排出者である住民や事業者に対し、分別排出の徹底を図る必要がある。

1. 2 嫌気性消化システム

- (1) 下水汚泥や生ごみの性状および分解特性が不明である場合や、生ごみ以外のバイオマスを受け入れる場合には、事前に試験を行い、分解特性、運転条件およびガス発生量などを確認する必要がある。
- (2) 設備の設計に際しては、汚泥発生量、生ごみを受け入れる場合は生ごみの発生量および性状の把握を行うとともに、事前の試験で得られた分解特性、ガ

ス発生量を基に消化日数を設定する。

(3) 消化タンクの加温設備を設ける。ガス発電設備を有する場合は、排熱を熱交換し加温に利用する。

2. 担体充填型高速メタン発酵システム

本システムについては、一般的な嫌気性消化システムの留意事項に加え、以下の項目について留意する必要がある。

2. 1 生ごみ前処理設備

- (1) 生ごみを 10mm 程度まで粉砕し、プラスチックや金属などの発酵不適物を分別する機能を有する設備とする。
- (2) 粉砕された生ごみの希釈、スラリー化および流量調整を行うため、調整槽を設ける。
- (3) 生ごみスラリーは酸性の液性状となるため、配管や調整槽など、腐食を考慮した材質を選定する必要がある。
- (4) 生ごみ受け入れ、粉砕分別および異物の一時貯留などで臭気が発生するため、設置場所においては、臭気対策を施す必要がある。

2. 2 消化設備

- (1) 消化タンクの消化日数は、生ごみとの混合条件で5日程度を原則とするが、混合汚泥を消化する場合は、10日程度とする。VS分解特性、およびガス発生特性については、実際に投入する汚泥や生ごみを用いて、調査実験で確かめる必要がある。
- (2) 消化タンクの材質は鋼製を原則とする。また、1基当たりの最大容量は1,000m³を原則とする。消化タンク内は嫌氣的雰囲気であり、通常腐食は進行しないが、空気と接触すると腐食が進行する恐れがあるため、担体交換な

- どでタンクを開放する場合、開放時間は可能な限り短くすることが望ましい。
- (3) 消化タンクに投入する初沈汚泥には毛髪類および種子類などが含まれることもあるため、これらの夾雑物をスクリーンなどで前処理することが望ましい。
 - (4) 消化タンクの攪拌は、外部ポンプを用いた消化液循環による攪拌とドラフトチューブ方式による攪拌(ドラフトチューブ内はガス攪拌、または機械攪拌)を併用した方式とする。また、消化汚泥の排出は、堆積物を溜まりにくくするため、消化タンク下部からのポンプ排出とする。
 - (5) 消化タンクに充填する担体は、不織布製の固定床担体で、消化汚泥の縦方向の流れを妨げない構造のものを選定する。また、加水分解に対して耐性を持つ材質を選定する。担体の充填率を高くすることにより、分解性能が向上するが、消化タンク内の攪拌や閉塞防止を考慮して担体充填率 15%以下とする。
 - (6) 消化タンクに充填する担体の設置について、担体の交換を前提とした取り付け方法とし、運転時や保守・点検のための消化汚泥引抜き時にも脱落しない強度に基づき設計する。また、タンク内での閉塞を防止するため、各担体間の消化液の流路が確保できるように、担体間の接触がない配置とする。

3. 熱改質高効率嫌気性消化システム

3. 1 一般事項

- (1) 汚泥減量率およびガス発生率は、可溶化投入率の影響を受ける。可溶化投入率が高くなれば、消化ガス発生量増収効果、汚泥減量効果および脱水性改善効果が高くなるが、消化タンク汚泥濃度や可溶化のためのコストが上昇する。また、返流水の COD_{Mn} や T-N 濃度なども上昇し、水処理施設への影響が大

きくなるため、総合的に判断して適切な可溶化投入率を決定する。

(2) 可溶化投入率は、一般的には 0.4～0.7 の範囲とする。

3. 2 熱改質設備

(1) 可溶化タンクの条件は、運転温度 160～170℃および運転圧力 0.5～0.7MPa、滞留時間は汚泥および水蒸気凝縮水量に対し 30 分を基本とする。

(2) 可溶化タンクは、第 1 種圧力容器に該当するため、設計に当たっては法規に従って行う。

(3) 熱源装置は、消化ガス利用の蒸気ボイラを基本とするが、消化ガスを利用してガス発電する場合で、その排熱が利用可能な場合は排熱を利用する。また、焼却炉余剰水蒸気など恒常的に使用できる熱源が存在する場合は、その利用を考慮する。

(4) 可溶化装置およびこれに接続する配管類は、汚泥の閉塞などを考慮し、水蒸気、水および消化汚泥などで洗浄が行えるよう考慮する。

(5) 可溶化装置は、出来るだけ汚泥脱水機の近くに設置し、配管圧損および熱損失を少なくするように計画する。

3. 3 消化タンク

(1) 消化タンクの消化日数は、熱改質により VS 分解が促進されて消化され易くなるため 15 日程度に短縮できる。既設消化タンクに本技術を導入し消化タンク容量に余裕が生じた場合は、生ごみなど下水汚泥以外のバイオマスの受け入れも可能となる。

(2) 消化タンク汚泥濃度は、可溶化投入率などによって異なるが 3.0～3.8%程度に高くなるため、消化タンクの攪拌装置は機械攪拌を基本とする。

3. 4 その他

(1) 汚泥の分解率向上により、通常の嫌気性消化方式に比べ返流水の水質が上昇

するため、水処理方式にもよるが処理水の水質は COD_{Mn} で $0\sim 1.5\text{mg/L}$ 、 T-N 濃度で $0\sim 5\text{mg/L}$ 程度上昇する場合がある。放流水に水質規制がある地域に導入する場合は、規制値と放流水質の両面から、可溶化投入率の設定およびアナモックス窒素除去設備などの設置を検討する必要がある。

- (2) 本消化システムでは下水汚泥以外に、し尿浄化槽汚泥や生ごみなどの他のバイオマスとの混合処理をすることも可能であるが、 VS 分解率やガス発生量などについては、別途検討する必要がある。

(運転管理上の留意事項)

1. 一般事項

1. 1 投入基質

(1) 汚泥性状と投入汚泥量

pH 、固形物濃度、有機分などを適宜測定し、投入汚泥性状や有機物負荷が適正かどうか把握した上で、可能な限り初沈汚泥の投入割合を多くする。初沈汚泥の場合、最初沈殿池からの引抜き頻度向上など消化タンク投入前の滞留時間を短縮することにより、 $5\sim 15\%$ 程度のガス発生量増収効果が期待できる。

(2) 生ごみ性状と投入量

生ごみを受け入れる場合、 pH 、固形物濃度および有機分などを適宜測定し、性状や有機物負荷が適正かどうか把握した上で、可能な限り生ごみの投入量を増やす。

1. 2 嫌気性消化システム

(1) pH

消化タンク内の pH を連続計測し、適正範囲 ($7.0\sim 8.0$) にあるか把握する。範囲以下の場合は過負荷による揮発性有機酸の蓄積、適正範囲以上の場合はやアンモニア性窒素の蓄積が原因であることが考えられ、これらの測定を行って対処する必

要がある。

(2) 揮発性有機酸濃度

消化汚泥の揮発性有機酸濃度を適宜測定し、適正（1,000mg/L 以下）かどうか把握する。消化阻害の懸念（揮発性有機酸蓄積により pH が適正範囲を下回る場合）がある場合は、投入汚泥量の抑制などを検討する。

(3) アルカリ度

消化汚泥のアルカリ度を適宜測定し、適正かどうか把握する。アルカリ度が低下すると、緩衝作用が低下するため、pH 低下のリスクが高まる。

(4) 固形物濃度

消化タンク内の固形物濃度を適宜測定し、投入汚泥の固形物濃度と併せて固形物収支を把握する。消化タンク内の固形物濃度が増加すると、攪拌不良のリスクが高まる。

(5) VS/TS 比

投入基質、消化汚泥の VS/TS 比を適宜測定し、VS 分解率を把握する。VS 分解率が通常時に比べて低下傾向を示した場合は、消化阻害が進行している可能性がある。

(6) 消化ガス発生量

消化ガス発生量を連続計測し、消化状態の良否を把握する。消化ガス発生量が通常時に比べて低下傾向を示した場合は、消化阻害が進行している可能性がある。

(7) 消化ガス組成

消化ガス中のメタン、二酸化炭素および硫化水素などの濃度を測定し、適正な組成か把握する。メタン濃度が低下傾向を示した場合（55%以下）は、消化阻害が進行している可能性がある。また、硫化水素濃度は、脱硫設備の維持管理（脱硫剤交換時期検討など）に利用する。

2. 担体充填型高速メタン発酵システム

本システムの運転管理については、一般的な嫌気性消化システムの留意事項に加え、以下の事項にも留意する必要がある。

2. 1 生ごみ前処理設備

(1) 粉碎分別機

腐食を防止するため、粉碎分別機の運転終了後は、水道水などによる内部の洗浄を行うことが望ましい。

(2) 生ごみ希釈率

消化タンクのアンモニア性窒素濃度を測定し、適正（2,000mg/L 以下）かどうか把握する。消化阻害の懸念がある場合は、生ごみ希釈率を増加させる。

2. 2 消化設備

(1) 基質投入負荷量

投入基質の固形物濃度、有機分を適宜測定し、有機物負荷が適正（本実証試験の場合、11kgVS/m³/d 以下）かどうか把握する。

(2) 温度

担体閉塞による攪拌不良を把握するため、消化タンク内の温度（上下方向など複数個所）を連続計測する。タンク内に温度差がある場合は、攪拌設備の異常や担体閉塞が考えられる。

3. 熱改質高効率嫌気性消化システム

本技術の内、消化設備、脱水設備に関する運転管理は、従来方式と同じ考え方である。熱改質設備の運転は、①ガス発生量、②汚泥発生量、③消化タンク汚泥濃度、④脱水汚泥含水率、⑤返流水水質などが、所定範囲となるよう下記項目により総合

的に管理する。

(1) 運転管理指標

定常時の運転管理は、可溶化タンクの圧力(温度)を管理指標として行う。

(2) 汚泥濃度

投入汚泥濃度、消化汚泥濃度、および脱水汚泥含水率は、月2回程度の分析を行い管理する。可溶化汚泥濃度は必要に応じて行う。

(3) 可溶化タンク圧力(温度)

可溶化タンクの圧力(温度)を適正範囲に維持するため、可溶化タンクに取り付けた圧力センサで圧力を検出し、可溶化タンク頂部の圧力調節弁を自動開閉して調節する。

(4) 可溶化時間

可溶化時間は、投入汚泥量から可溶化タンクレベルを決定し、可溶化タンクに取り付けたレベルセンサで検出して可溶化汚泥吐出弁を自動開閉して調節する。

(5) 可溶化投入率

設定された可溶化投入率となるように後述の消化タンクの温度制御を考慮して、可溶化タンクに圧入する脱水汚泥量および消化汚泥量を管理する。

(6) 消化タンク温度

消化タンク温度の管理は、概ね35～40℃の範囲とする。

脱水汚泥のみを可溶化する方式では、可溶化汚泥による消化タンクの供給熱量がほぼ一定となるため、消化タンクの温度が35℃以上にならない場合は、水蒸気を直接消化タンクに吹き込むなどで温度調整を行い、消化タンクの温度が40℃以上となる場合は、可溶化汚泥投入量を減らす、または可溶化汚泥を冷却するなどの対応を行う。

また、脱水汚泥と消化汚泥を併用して可溶化する方式では、消化タンクの温度

が 35℃以上にならない場合は、脱水汚泥量と消化汚泥量の混合割合において、固形分濃度の低い消化汚泥量の割合を上げることによって可溶化汚泥量を増やし、消化タンクの加温量を増やす。また、消化タンクの温度が 40℃以上となる場合は、逆の操作をする。

(7) その他

① 長期運転停止時

長期運転停止する場合は、可溶化タンクおよび接続配管内の汚泥が冷えて固まるので、可溶化タンクおよび配管内への汚泥残留を防ぐために洗浄を行う。

② 可溶化装置運転休止時の対応

定期検査など可溶化装置の運転を休止する場合、消化タンクの加温は蒸気ボイラなどを利用したバイパス運転で対応する。

(導入効果)

1. 一般的な嫌気性消化システム（投入基質：混合汚泥）

1. 1 バイオマスエネルギー回収効果

バイオマスエネルギー回収効果は、消化ガスとして、5 万 m³/日規模の下水処理場で 3,990m³/日～4,880m³/日（都市ガス相当 2,180m³/日～2,660m³/日）、10 万 m³/日規模の下水処理場で 7,980m³/日～9,750m³/日（都市ガス相当 4,350m³/日～5,320m³/日）が期待できる。

1. 2 電力自給率

回収されたバイオマスエネルギーを発電燃料とした場合の電力自給率は、脱水プロセスまでを有する標準的な下水処理場で、5 万 m³/日規模の下水処理場で 49%、10 万 m³/日規模の下水処理場で 56%が期待できる。

1. 3 温室効果ガス排出量削減効果

温室効果ガス排出量削減効果は 5 万 m³/日規模の下水処理場で 1,830t-CO₂/年、10 万 m³/日規模の下水処理場で 3,660t-CO₂/年が期待できる。

1. 4 留意事項

導入効果の変動要因としては、i) 投入汚泥の種類・性状、ii) 初沈汚泥の貯留状況、iii) 初沈汚泥と余剰汚泥の混合割合、iv) 消化日数および消化温度、v) 季節変動、vi) 発電設備の仕様、vii) 攪拌方式などの消化タンク仕様、viii) 下水処理場における電力消費量、ix) 脱水汚泥処分費などがある。

2. 担体充填型高速メタン発酵システム

(投入基質：初沈汚泥、または初沈汚泥と生ごみの混合 (TS の混合割合 1 : 1))

2. 1 バイオマスエネルギー回収効果

(1) 初沈汚泥を投入基質とした場合

バイオマスエネルギー回収効果は、消化ガスとして、2 万 m³/日規模の下水処理場で 1,110m³/日～1,350m³/日 (都市ガス相当 610m³/日～740m³/日)、5 万 m³/日規模の下水処理場で 2,760m³/日～3,370m³/日 (都市ガス相当 1,510m³/日～1,840m³/日) が期待できる。

(2) 初沈汚泥と生ごみを投入基質 (TS の混合割合 1 : 1) とした場合

バイオマスエネルギー回収効果は 2 万 m³/日規模の下水処理場で 2,880m³/日～3,520m³/日 (都市ガス相当 1,570m³/日～1,920m³/日)、5 万 m³/日規模の下水処理場で 7,210m³/日～8,810m³/日 (都市ガス相当 3,930m³/日～4,810m³/日) が期待できる。

2. 2 電力自給率

(1) 初沈汚泥を投入基質とした場合

回収されたバイオマスエネルギーを発電燃料とした場合の電力自給率は、脱水プロセスまでを有する標準的な下水処理場で、2 万m³/日規模の下水処理場で 21%、5 万m³/日規模の下水処理場で 25%が期待できる。

(2) 初沈汚泥と生ごみを投入基質とした場合 (TS の混合割合 1 : 1)

回収されたバイオマスエネルギーを発電燃料とした場合の電力自給率は、脱水プロセスまでを有する標準的な下水処理場で、2 万m³/日規模の下水処理場で 71%、5 万m³/日規模の下水処理場で 86%が期待できる。

2. 3 温室効果ガス排出量削減効果

(1) 初沈汚泥を投入基質とした場合

温室効果ガス排出量削減効果は 2 万m³/日規模の下水処理場で 370t-CO₂/年、5 万m³/日規模の下水処理場で 930t-CO₂/年が期待できる。

(2) 初沈汚泥と生ごみを投入基質とした場合 (TS の混合割合 1 : 1)

温室効果ガス排出量削減効果は 2 万m³/日規模の下水処理場で 1,320t-CO₂/年、5 万m³/日規模の下水処理場で 3,300t-CO₂/年が期待できる。

2. 4 建設費および維持管理費

(1) 初沈汚泥を投入基質とした場合

担体充填型高速メタン発酵システムに係る建設費は 2 万m³/日規模の下水処理場で 6.0 億円、5 万m³/日規模の下水処理場で 11.7 億円と試算される。また、維持管理費（電力費、補修費、薬品費、人件費）は 2 万m³/日規模の下水処理場 19 百万円/年、5 万m³/日規模の下水処理場で 36 百万円/年と試算される。

(2) 初沈汚泥と生ごみを投入基質とした場合 (TS の混合割合 1 : 1)

担体充填型高速メタン発酵システムに係る建設費は 2 万m³/日規模の下水処理場で 9.7 億円、5 万m³/日規模の下水処理場で 17.9 億円と試算される。

また、維持管理費（電力費、補修費、薬品費、人件費）は2万m³/日規模の下水処理場で32百万円/年、5万m³/日規模の下水処理場で59百万円/年と試算される。

2. 5 留意事項

初沈汚泥のみを投入基質とした場合、混合汚泥に比べて投入基質量が少ないため、消化ガス発生総量としては少なくなるものの、消化日数の短縮によるイニシャルコストの低減、投入 VS 当たりの消化ガス発生量の増加による効率的な発電システムの構築が可能となることから、コスト縮減効果が期待できる。

生ごみを投入する場合、生ごみ処分費の削減効果も見込める。導入効果および導入効果コストの変動要因としては、1. 4で挙げた要因以外に i) 生ごみの性状、ii) 生ごみの混合割合、iii) 生ごみ量の日間および季節変動、iv) 生ごみ処分費などがある。

3. 熱改質高効率嫌気性消化システム

（投入基質：混合汚泥、既存嫌気性消化システムに追加する場合）

3. 1 バイオマスエネルギー回収効果

バイオマスエネルギー回収効果は、消化ガスとして、5万m³/日規模の下水処理場で4,900m³/日～5,990m³/日（都市ガス相当2,670m³/日～3,270m³/日）、10万m³/日規模の下水処理場で9,810m³/日～11,990m³/日（都市ガス相当5,350m³/日～6,540m³/日）が期待できる。

3. 2 電力自給率

回収されたバイオマスエネルギーを発電燃料とした場合の電力自給率は、脱水プロセスまでを有する標準的な下水処理場で、5万m³/日規模の下水処

理場で 54%、10 万 m³/日規模の下水処理場で 62%が期待できる。

3. 3 温室効果ガス排出量削減効果

温室効果ガス排出量削減効果は 5 万 m³/日規模の下水処理場で 2,000t-CO₂/年、10 万 m³/日規模の下水処理場で 4,000t-CO₂/年が期待できる。

3. 4 建設費および維持管理費

既存嫌気性消化システムに本技術を追加する場合の建設費は 5 万 m³/日規模の下水処理場で 4.3 億円、10 万 m³/日規模の下水処理場で 5.8 億円と試算される。また、維持管理費（熱可溶化タンクおよび付帯設備に係る電力費、補修費、人件費）は 5 万 m³/日規模の下水処理場で 14 百万円/年、10 万 m³/日規模の処理場で 21 百万円/年と試算される。

また、一般的な嫌気性消化システムと比べると、脱水汚泥量が 1/2～2/3 程度に減量されることによる、焼却システムなど後段の汚泥処理プロセスまたは脱水汚泥処分に係るコスト縮減効果が見込める。

3. 5 留意事項

導入効果および導入効果コストの変動要因としては、1. 4 で挙げた要因以外に i) 汚泥可溶化率、ii) 汚泥可溶化熱源供給方法などがある。