

矢作川浄化センターにおける鋼板製消化槽の運転状況

Introduction of Our First Commercial Steel Plate Digester Tank Installed in Yahagigawa Sewage-Treatment Center, Aichi Prefecture, and it's Operation Conditions

—当社鋼板製消化槽 1号機建設および稼働—



中嶋雄大*
Yuta Nakajima



小久江仁志*
Hitoshi Kogue

従来、下水処理場の消化槽はコンクリートで建設されているが、当社では2010年より経済性、施工性、機能性に優れた鋼板製消化槽を開発してきた。そして、全国初となる実機1号機を愛知県矢作川浄化センターに建設し、2016年10月に定格運用を開始してからこれまで安定した運転を継続している。消化槽の立上げには従来、消化汚泥を種汚泥として用いる方法が一般的であるが、本設備では種汚泥を用いず、余剰汚泥のみを用いた立上げを実施した。本報では矢作川浄化センターに納入した設備の概要、種汚泥を用いない消化槽の立上げ方法およびこれまでの運転状況について報告する。

Digestion tanks at sewage treatment plants have been generally constructed by concrete, however Kobelco Eco-Solutions has been developing steel plate digestion tanks that are superior in cost-performance, constructability and functionality since 2010. We constructed the first commercial plant of practical scale in Japan at the Yahagigawa Sewage Treatment Center of Aichi Prefecture in October 2016, and it has operated stably to date. In general, it is common to use seed sludge (such as digested sludge from other treatment plants) to start up digestion tanks, but this time, we forewent that and started up the digestive tanks using only waste sludge. This paper gives an overview of the plant and reports our start-up method and the operating performance of the Yahagigawa Sewage Treatment Center.

Key Words :

鋼板製消化槽	Steel plate digestion tank
下水汚泥消化	Sewage sludge digestion
汚泥減量化	Reduction of sludge
立上げ	Start up
余剰汚泥	Waste sludge

【セールスポイント】

- ・コンクリート製に比べ、鋼板製消化槽は建設費が低く、建設期間も短い。
- ・ノズル設置の自由度が高く、内部の可視化が可能。
- ・種汚泥を用いない消化槽の立上げ方法の採用により、場内に種汚泥が無い下水処理場でも、他処理場からの種汚泥搬送コストを掛けることなく立上げが可能となる。

まえがき

下水汚泥は、人類が生活する上で必ず発生するものであり、バイオマス資源として利活用することで化石燃料の使用量削減や地球温暖化防止に寄与することができるため、有効利用の促進が期待されている。下水処理施設において汚泥消化プロセスの導入により、汚泥減量化とともにカーボンニュートラルな消化ガスを生成し、利用を見込むことができる。

矢作川浄化センターでは水処理施設で発生する汚泥を濃縮、脱水、焼却の処理を経て、焼却灰として場外へ搬出していた。近年の流入水量の伸びに伴う発生汚泥量の増加に老朽化した1号焼却炉の廃炉が重なり、焼却炉設備の能力不足が課題となっていた。このような背景のもと、汚泥を減量化する汚泥消化施設の導入が決定され、導入初期の全体計画の4分の1（8分の1×2系列）に鋼板製消化槽が採用された。なお、建設費の低減、工程の短縮¹⁾、可視化による運転支援等の優位性、設備計画の見直しが見込みが採用理由として挙げられる。

当社は2016年10月に8分の1×1系列分の消化設備の建設・立上げを完了した。本報ではこの設備の概要および消化槽の立上げからこれまでの運転状況について報告する。

1. 設備概要

1.1 設計条件

当社が矢作川浄化センターに納入した消化設備の各設計条件および消化ガスの利用方法を表1に示す。

1.2 設備構成

図1に概略の処理フロー、写真1に消化槽の外観を示す。既存の濃縮汚泥の一部を新設した消化設備へ送泥し、消化処理した汚泥は既存の脱水設備を経

て焼却炉で処理される。消化槽で発生した消化ガスは焼却炉の補助燃料として有効利用し、さらに焼却炉で発生する温度の高い洗煙排水の熱量を消化槽の加温に活用するエネルギーリサイクルシステムとなっている。消化設備は以下の設備から構成されている。

① 消化槽設備

消化槽設備は鋼板製消化槽および内部汚泥の攪拌を行う消化槽攪拌機（写真2）で構成されている。

消化槽は内径21 m、高さ19.5 m、容量5 800 m³の鋼板製で、腐食雰囲気である消化槽内はコンクリート製消化槽と同等の品質規格を満たす防食塗装を施している。消化槽は微生物の働きを活性化させるため、中温域（35℃）に維持するが、消化槽外面をポリスチレンフォームで保温することで放熱量を全体必要加温熱量の15%程度とコンクリート製消化槽の20%より低く抑えている。

鋼板製消化槽ではノズル設置の自由度が高い特徴を活かし、維持管理が容易なように汚泥サンプリング用ノズルの複数設置や、側面および屋根部に覗き窓を取付け、目視で内部を確認できる構造としている。また、引抜配管中のMAP（リン酸マグネシウムアンモニウム）発生による閉塞を考慮し、引抜用のノズルを槽下部に複数設置している。

従来のコンクリート製消化槽では堆積物により、槽の有効容量が減少することが問題となっている。鋼板製消化槽は槽外から堆積物の高さを測定できることもその特長であり、適切な浚渫時期の把握を可能としている。加えて攪拌機の運転と組合せて運転することにより、堆積物を蓄積しない運転を可能としている。

表1 設備概要

消化対象汚泥	生汚泥	汚泥量 [m ³ /d] 汚泥濃度 [%] 固形物量 [t-DS/d]	163 3 4.96
	余剰汚泥	汚泥量 [m ³ /d] 汚泥濃度 [%] 固形物量 [t-DS/d]	125 4 4.99
	合計 (消化対象汚泥)	汚泥量 [m ³ /d] 汚泥濃度 [%] 有機分率 [%]	290 3.4 84
消化方式 消化日数 消化槽型式 加温方式 加温熱源 発生ガスの利用	中温一段消化（汚泥温度35℃） 20日 全溶接円筒形 鋼板製消化槽 間接加温 焼却炉の洗煙排水+ヒートポンプ 脱硫・貯留後、主に焼却炉の補助燃料として使用		

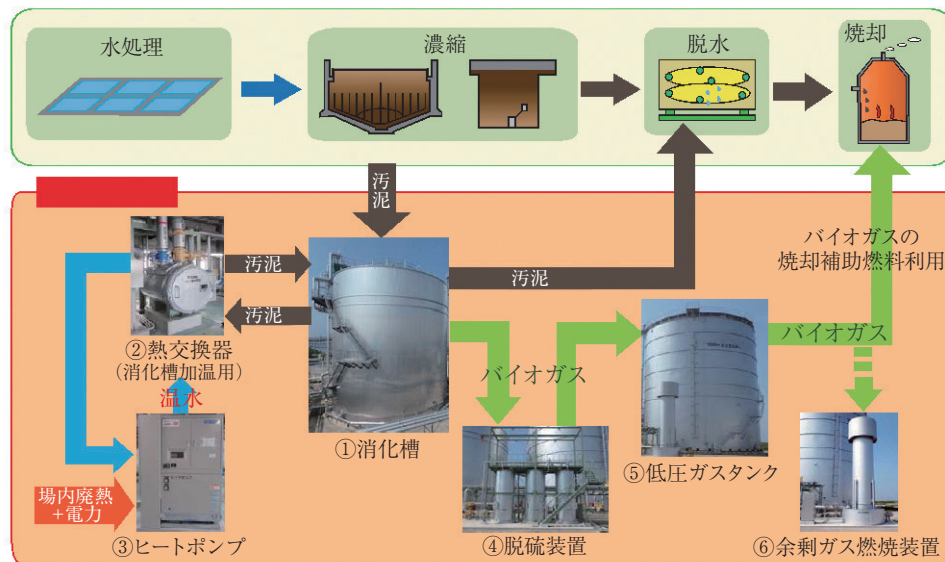


図1 概略処理フロー



写真1 鋼板製消化槽 (左) (右はガスタンク)

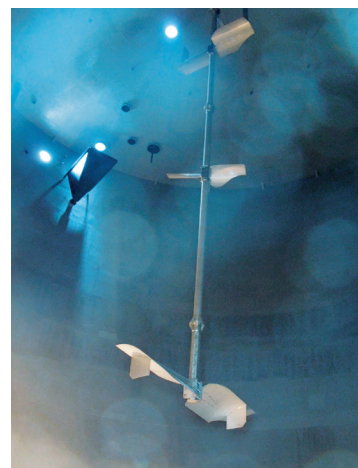


写真2 消化槽攪拌機

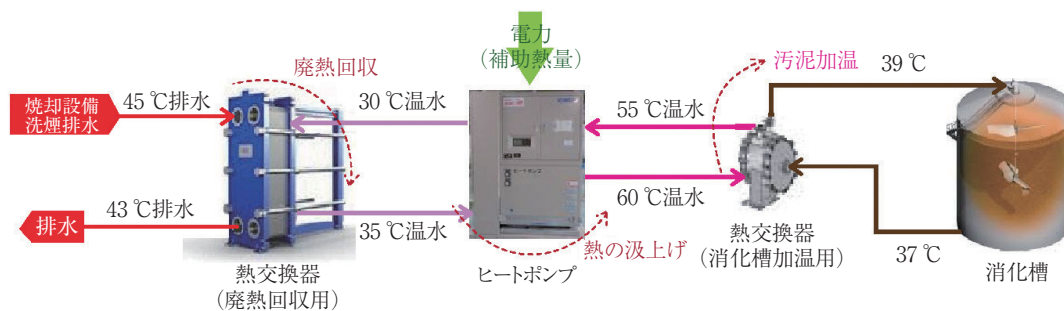


図2 加温設備フロー

消化槽攪拌機は低動力のインペラ式攪拌機で、大型のインペラを 10 min^{-1} 程度の低速で回転させることで下降流を発生させ、槽内を混合攪拌する。投入する汚泥にはし渣が含まれるため、インペラへの絡付きが懸念されるが、定期的に逆回転を行うことでそれを防止している。また、逆回転動作により生じ

る槽中央での上昇流により、底面の堆積物が中央に寄ることで、槽中央部に設置した汚泥引抜管から堆積物を引抜くことができる。

② 加温設備

加温設備フローを図2に示す。加温設備は2種類の熱交換器、ヒートポンプ等で構成されている。

従来消化槽の加温熱量の供給には消化ガスまたは重油を燃料としたボイラを用いるのが一般的である。本設備では、その熱源として、従来使われていなかった焼却炉の洗煙排水を利用している。洗煙排水の熱量をプレート式熱交換器で間接的に回収し、ヒートポンプによりその熱量を高温側温水に供給する。ここで電力を補助燃料として必要とするが、それは供給する熱量の1/6に留まる。消化槽内の汚泥は、スパイラル式熱交換器で高温温水と間接的な熱交換で熱供給を受け、槽内部の温度を一定に保っている。

なお、ヒートポンプを用いた加温設備は平成23年度下水道革新的技術実証事業（B-DASH, 国土交通省）の実証研究における当社成果の一つであり、一定の評価²⁾がなされている技術であり、鋼板製消化槽とともに初めて導入されたものである。

2. 消化槽の立上げ

2.1 立上げ方法の検討

従来消化槽の立上げには、場内もしくは他処理場の消化汚泥を種汚泥として消化槽容量の半分程度を投入した上で馴養し、徐々に汚泥投入量を増加して段階的に負荷を上げることが一般的である。矢作川浄化センターでは、愛知県内で種汚泥として1日あたりに調達できる消化汚泥は、必要量2 900 m³に対し53 m³/dと少ない。運搬費用と馴養準備までに必要とする日数を勘案した結果、種汚泥を用いた立上げ方法は困難と判断し、種汚泥を用いない立上げ方法の採用に至った。

2.2 種汚泥無しでの立上げ方法

立上げ時の運転条件を表2に示す。種汚泥を用いない立上げ方法のため、消化槽内にメタン生成菌を育成させる必要がある。一般的に、種汚泥を用いない方法³⁾として、アルカリ剤を用いる方法があるが、薬品費や投入の作業／設備が必要となる。本設備では小林ら⁴⁾の知見に基づき、初期投入汚泥として余剰汚泥を用い、槽内の汚泥濃度を1.5 %程度とすることによりVFA（有機酸）の蓄積を抑制する方法

で立上げを行った。本手法では、VFAの蓄積に伴うpHの低下によって生じるメタン生成菌の活性が低下することを防止できるため、アルカリ剤を使用せずに消化槽の立上げが可能となる。

消化槽内を嫌気状態にするため、槽内を窒素で置換した後、消化槽内の汚泥濃度が約1.5 %となるように余剰汚泥を投入し、馴養を開始した。馴養期間中は加温・攪拌のみの回分式運転により、メタン生成菌を馴致し、馴養完了の目安となるVFA濃度が500 mg/L以下となるまで継続した。馴養完了後はHRT（消化日数）=100日となるよう生汚泥および余剰汚泥の投入を開始した。汚泥の投入後は消化ガス発生量、pH、VFA等の分析により、立上げ状況の管理を行った。その後、段階的にHRT=50日、30日と負荷を上昇させ、最終的に定格負荷HRT=20日の運転を開始し、立上げを完了した。

なお、今回の立上げ方法の採用に先立ち、事前に矢作川浄化センターの実汚泥を用いたラボ試験により本手法を検証しているが、実設備での立上げ達成はこれが初めてとなる。

2.3 立上げ状況

2016年7月5日の立上げ開始以降における汚泥投入量、消化ガス発生量、pH、VFA、消化ガス中のメタン濃度を図3に示す。

40日の馴養期間中において、初期段階では菌の馴養に従い、有機物が分解され、消化ガスの発生が確認されたが、後半には消化ガス発生量は低下し、汚泥再投入まで停滞した。段階負荷調整時における消化ガス発生量の目安は定格負荷時の理論消化ガス発生量4 000～5 000 m³_N/d程度からHRT=100日：800～1 000 m³_N/d、HRT=50日：1 600～2 000 m³_N/d、HRT=30日：2 650～3 300 m³_N/d程度と計算される。実際の消化ガス発生量は、HRT=100日で850 m³_N/d程度、HRT=50日で2 000 m³_N/d程度、HRT=30日で2 700 m³_N/d程度、定格負荷では3 900 m³_N/d程度と、おおむね計算通りの消化ガスの発生が確認された。なお、期間中汚泥投入量および消化ガス発生量が低

表2 立上げ時の運転条件

摘 要	馴養期間	段階負荷①	段階負荷②	段階負荷③
期 間	7/5～8/16	8/17～31	9/1～26	9/27～10/11
HRT	—	100日	50日	30日
運 転 方 法	加温・攪拌	加温・攪拌・汚泥投入		
目 的	メタン生成菌を増殖させる	段階的に負荷を上昇させる		

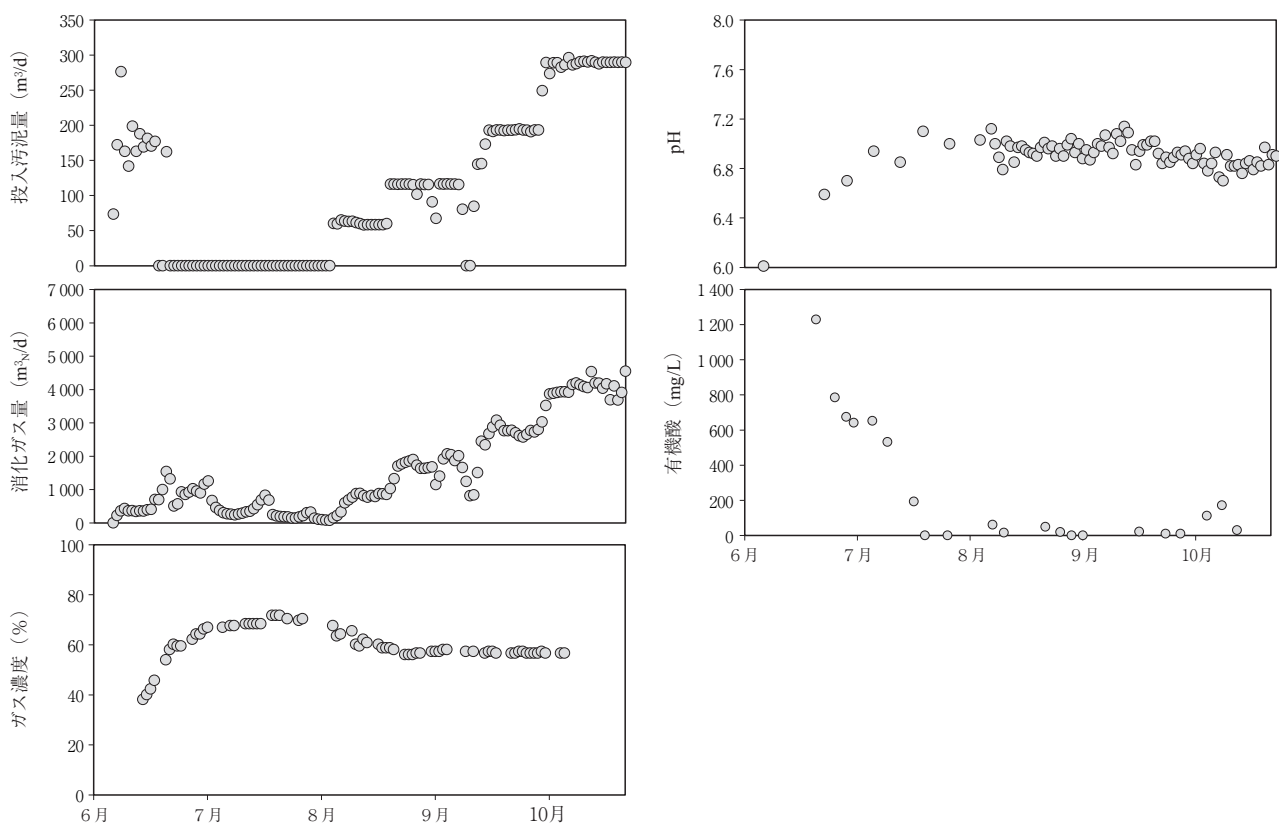


図3 立上げ時の運転状況

下している期間があるが、これは消化槽上部のスカム発生に伴い、投入停止等の対策を実施したためである。

pHはもっとも確認が容易な管理パラメータとして挙げられる。立上げ開始初期は5.7と低い値であったが、馴養に伴い7.2程度まで上昇し、段階的な負荷調整期間中も大きな低下は無く、中性域の6.8～7.2の範囲で推移し、概ね7.0前後となっていた。pH低下の要因となるVFAは馴養開始後1200 mg/L程度と高い値であったが、期間の経過とともに分解が進み、馴養期間の後半では検出下限(10 mg/L)以下まで低下した。負荷を上昇させた直後は、若干VFAの蓄積がみられたが、いずれもその後低下しており、投入負荷に対応したメタン生成菌の育成が順調に進んだものと考えられる。

消化ガス中のメタン濃度は馴養期間中70%程度まで上昇したが、段階負荷調整の経過とともに一般的な60%程度に安定した。以降、メタン濃度の急激な低下はなく、ここからも消化阻害の発生はなかったと確認できる。

以上のように、種汚泥を用いずに馴養を行い、立上げ完了に至るまでpHの低下、VFAの蓄積、メタン濃度の低下は無く、約3ヶ月で安定した消化槽の

定格運転に到達した。今回の実設備での実績は、消化設備を初めて導入するときに直面する初期の課題を払拭するものとして評価できるものと考えられる。

3. 運用開始後の運転状況

運用開始後の汚泥投入量、消化ガス発生量、ガス発生量原単位、消化率、固形物削減量、pH、堆積物高さを図4に示す。

消化ガス発生量は運用開始以降、運用上の都合により消化槽への汚泥投入を停止していた期間を除き2900～6000(平均4300) m³_N/dと計画値通りとなった。また、ガス発生量原単位は370～740(平均490) m³_N/t-VTSと、一般的な500～600 m³_N/t-VTSより低い領域もあるが、これは余剰汚泥投入比率を上げて運転していたことが影響したものと考えられる。

消化率は投入汚泥中の有機物がガス化および液化する割合であり、消化状態の良否判定に用いられる。運用後の消化率は40.8～58.8(平均49.8)%となっており、正常な消化状態の目安である40～60%程度を維持している³⁾。pHは6.8～7.3(平均7.1)程度で推移し、運用開始後も有機酸の蓄積等による消化阻害は発生せず、安定した運転を継続している。

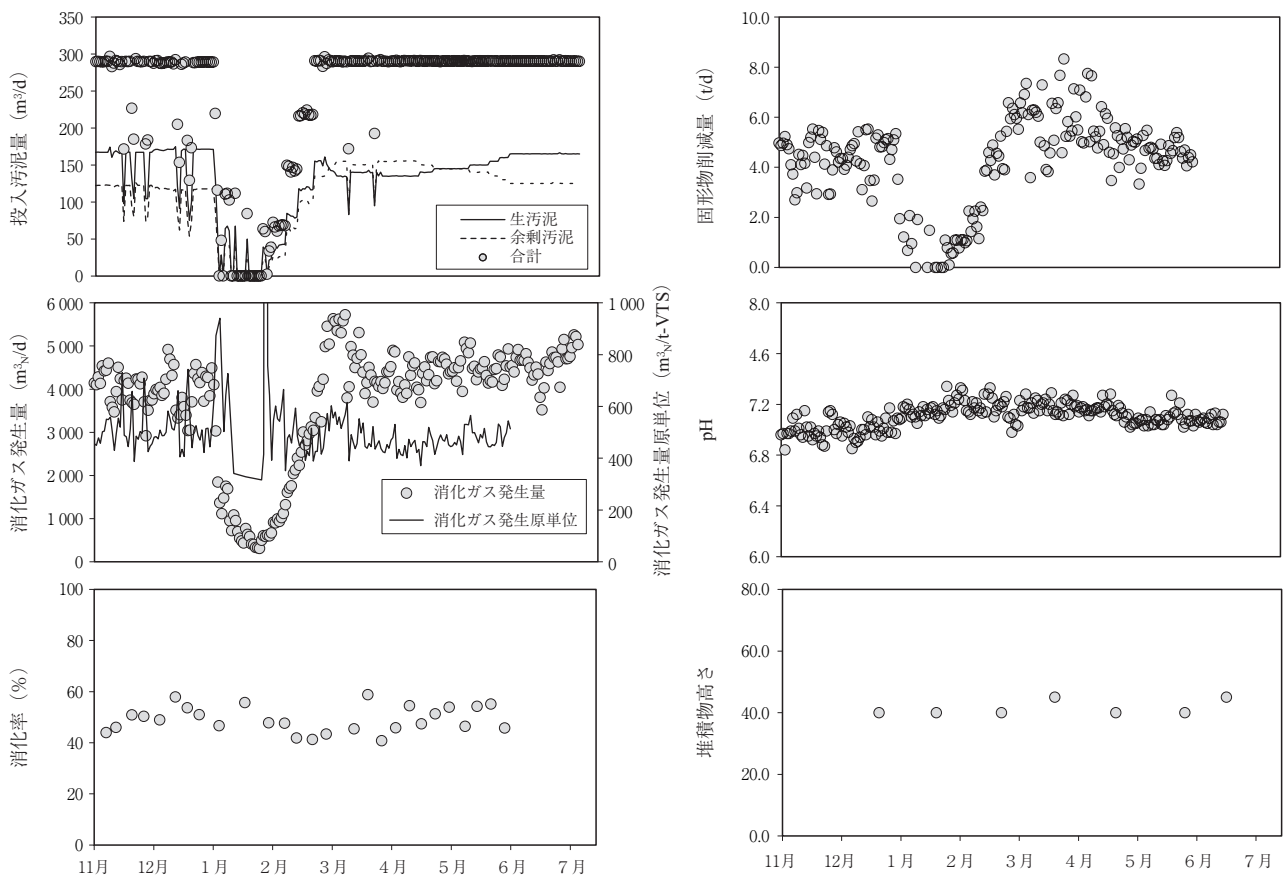


図4 運用開始後の運転状況

消化ガスは3号焼却炉の補助燃料として使用しており、3月以降、2号焼却炉での燃料使用量と比較し、平均で約9割を消化ガスで賄っている。固形物削減量は2.6~8.3(平均5.0)t/dの範囲で推移しており、計画上の固形物削減量4.141t/dを上回り、それぞれ本設備の主たる導入目的を十分満足する結果が得られていると評価される。

運用を開始して7ヶ月間、消化槽底部での堆積物高さを確認しているが、汚泥投入後初期に40~50cm程度の堆積が確認されてからは運転期間の経過による変化は無い。従い、堆積物は流速の遅い箇所に堆積したのみで、蓄積していないものと考えられる。過去の当社実証試験では、堆積物は槽の中心部がもっとも高くなっていたことから、本設備でも同様に攪拌翼直下部の流動が遅い箇所に、円すい状に砂などが堆積しているものと想定される。なお、超音波による測定のため、堆積物の形状を特定することは不可能であるが、一様に堆積していると仮定しても全体の2%程度であり、消化性能に影響はない。

以上より、本消化設備は運用開始以降も安定した運転を継続できている。

むすび

国内の下水処理場のうち、汚泥消化設備を導入しているのは約300カ所であり、消化設備の普及は進んでいない状況である。東日本大震災以降、再生可能エネルギーの普及は喫緊の課題であり、下水処理場におけるバイオマスの有効活用は促進されることが予想される。鋼板製消化槽はバイオマス資源の利活用に向けた一助となる設備であり、矢作川浄化センターで得られた様々な知見を反映し、鋼板製消化槽の普及・拡大に向け鋭意努力していく所存である。

【参考文献】

- 1) 川嶋淳, 三浦雅彦, 榎本修一, 「鋼板製消化タンクによる下水汚泥エネルギー化」神鋼環境ソリューション技報, Vol 10 No.2 (2013/2)
- 2) B-DASH プロジェクト No.2 「バイオガスを活用した効果的な再生可能エネルギー生産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) (2013年7月)
- 3) 下水道新技術推進機構 汚泥消化タンク改築・修繕技術資料 (2007年3月)
- 4) 小林拓朗, 安田大介, 李玉友, 久保田健吾, 原田秀樹, 岡庭良安, 「余剰活性汚泥の嫌気性自己分解によるメタン発酵スタートアップ方法及びその過程における微生物群集構造の変化」水環境学会誌, Vol 31, No.9, pp.525-532 (2008)