

鋼板製消化タンク 1 号機の運転実績および性能評価

Operation and performance evaluation of our first commercial steel plate digestion tank for sewage



井上智行*
Tomoyuki Inoue



齋藤典久*
Norihisa Saito



鈴木一弘*
Kazuhiro Suzuki

従来、下水処理場における消化タンクはコンクリートで建設されてきたが、当社ではより経済性、施工性、機能性に優れた鋼板製消化タンクを開発し、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た。実機 1 号機は2016年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。今回、鋼板製消化タンク 1 号機の運転実績および諸性能（消化性能、省エネルギー性、機能性等）について追跡調査した結果、所定の性能を満足することを確認した。

The digestion tanks in sewage treatment plants are generally constructed using concrete; however, Kobelco Eco-Solutions developed a steel plate digestion tank that is superior in terms of economy, constructability, and functionality. We constructed the first commercial plant at the Yahagigawa Sewage Treatment Center in the Aichi Prefecture in October 2016. Up to the moment of writing, the plant is in stable operation. In this study, we evaluated the operation results and various performance criteria (digestive performance, energy savings, and functionality) of our first commercial steel plate digestion tank and confirmed that they satisfied the predetermined performance.

Key Words :

鋼板製消化タンク
下水汚泥のエネルギー利用
温室効果ガスの削減

Steel plate digestion tank
Energy utilization of sewage sludge
Reduction of greenhouse gas emissions

【セールスポイント】

- ・鋼板製消化タンクは下水汚泥エネルギー化による温室効果ガス削減に有効、かつ、従来のコンクリート製消化タンクに比べ建設費が低く建設期間も短いため導入ハードルを下げる技術である。
- ・省エネルギー性に優れ、沈砂などの堆積進行がなく機能面でも優れた製品である。

まえがき

近年、地球温暖化防止のため温室効果ガス排出量削減が世界共通の課題となり、再生可能でカーボンニュートラルなバイオマスエネルギーの利用が促進される中、下水汚泥は都市から生じる集約型の安定した再生可能エネルギー資源として注目されている。消化は下水汚泥減容化ならびに再生可能エネルギーであ

るバイオガス（消化ガス）を創出するプロセスであり、鋼板製消化タンクは従来のコンクリート製消化タンクと比較して、建設費・ライフサイクルコストなどに優れる技術として開発された製品である。今回、愛知県矢作川浄化センターに建設した鋼板製消化タンク 1 号機の運転実績について追跡調査を行い、諸性能について所定の性能を満足することを確認

*環境エンジニアリング事業本部 水環境技術本部 資源循環技術部

表1 設備概要・設計条件

消化対象汚泥	生 汚 泥	汚 泥 量 [m ³ /d]	163
		汚泥濃度 [%]	3
		固形物量 [t-DS/d]	4.96
	余 剰 汚 泥	汚 泥 量 [m ³ /d]	125
		汚泥濃度 [%]	4
		固形物量 [t-DS/d]	4.99
	合 計 (消化対象汚泥)	汚 泥 量 [m ³ /d]	290
		汚泥濃度 [%]	3.4
		有機分率 [%]	84
消 化 方 式	中温1段消化（汚泥温度35℃）		
消 化 日 数	20日		
消化タンク型式	全溶接円筒形 鋼板製消化タンク 公称容量 5 800 m ³ ×1基		
加 温 方 式	間接加温		
加 温 熱 源	焼却炉の洗煙排水+ヒートポンプ		
バイオガス利用	脱硫後、焼却炉の補助燃料として使用		

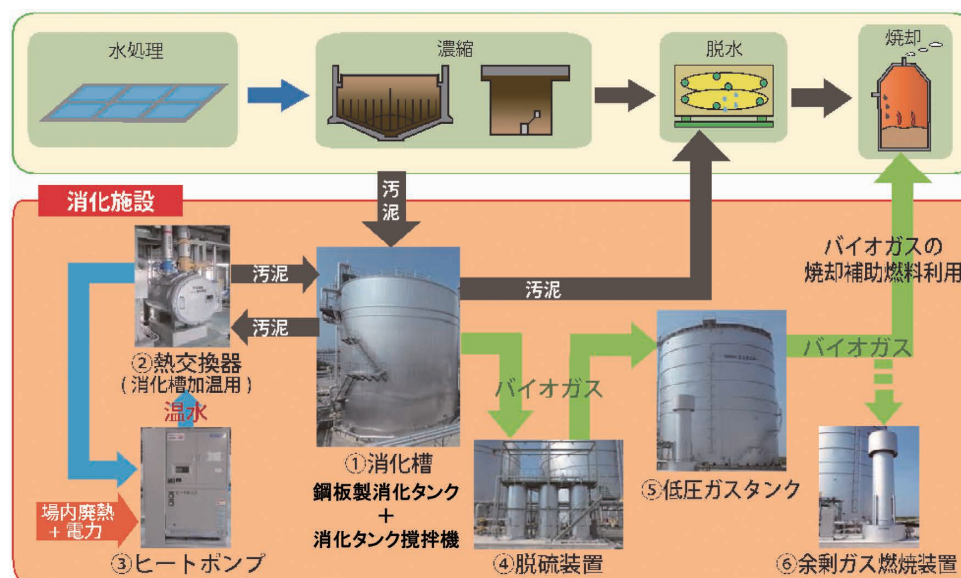


図1 概略汚泥処理フロー

認した結果を示す。

1. 設備と建設の概要

1.1 設計条件

当社が愛知県矢作川浄化センターに納入した鋼板製消化タンク1号機を含む消化設備の各設計条件およびバイオガスの利用方法を表1に示す。

1.2 設備構成

図1に概略汚泥処理フローを示す。既存の濃縮汚泥の一部を本消化設備へ送泥し、消化した汚泥は既存の脱水設備を経て焼却炉で処理される。鋼板製消化タンクで発生したバイオガスは、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エネルギーをヒートポンプにて回収し、鋼板製消化タンクの加温熱源として利用する。

鋼板製消化タンクはタンク本体とタンク内汚泥を攪拌する消化タンク攪拌機で構成される。タンク本体は内径21 m、高さ19.5 m、公称容量5 800 m³で、

腐食雰囲気であるタンク内には防食塗装を施している。

従来の消化タンクでは経年使用で生じる、消化タンク内の沈砂などの堆積により有効容量が減少し、消化性能が低下することが課題の一つである。鋼板製消化タンクでは攪拌機運転とタンク内汚泥の排出を組み合わせることにより、堆積物を蓄積しない運転を可能とする。¹⁾ 加えて、タンク外から超音波式センサを用いることで堆積高さを測定でき、適切な浚渫時期の把握も可能とする。

消化タンク攪拌機はインペラ式機械攪拌機で、大型インペラを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、タンク内を低動力で攪拌する。

加温設備はヒートポンプと熱交換器から構成される。消化タンクの加温熱源にはバイオガスおよび重油を燃料としたボイラを用いるのが一般的であるが、本設備では従来使われていなかった焼却炉の洗

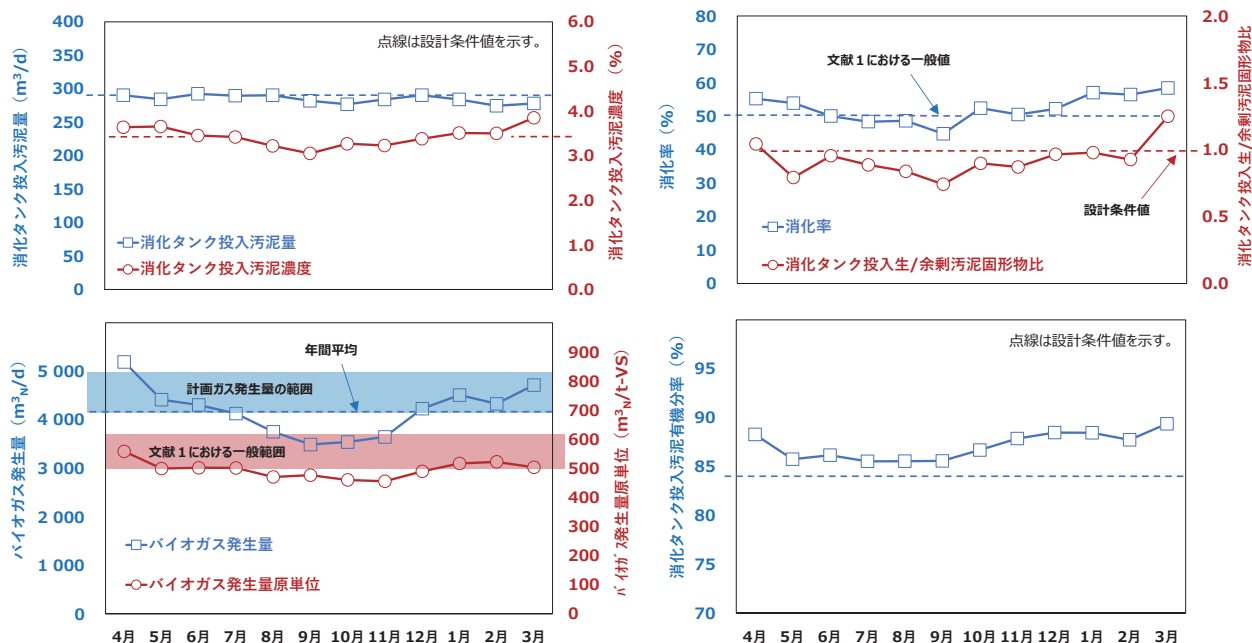


図2 鋼板製消化タンク1号機の運転実績 (2019年度、各月で日平均化しプロット)

煙排水を利用する。熱交換器を介してヒートポンプにて洗煙排水の熱エネルギーを回収し、温水として消化タンク加温用の熱交換器に供給する。ここで電力を補助熱源として必要とするが、それは供給する熱量の6分の1程度に留まる。国土交通省通知における「下水道事業におけるエネルギー効率に優れた技術」²⁾では、「消化槽を加温する場合のヒートポンプ」の性能指標として「エネルギー消費効率COP2.7以上(水温20℃※処理水等)」とあるが、本ヒートポンプは熱源が異なるため単純比較はできないものの、最小加熱COP3.44と性能指標と同等以上の性能を有する。

1.3 鋼板製消化タンクの建設

鋼板製消化タンクの現地建設期間は、土木杭打設から試運転開始まで約8.5カ月であった。これは同規模のコンクリート製消化タンクの建設期間実績が約19カ月である³⁾のに対して十分に短いと言える。

1.4 消化タンクの立上げ

消化タンクの立上げは、場内もしくは近隣の下水処理場から消化汚泥を運搬し、種汚泥として消化タンク馴養に用いるのが一般的であるが、本設備では種汚泥の調達が困難であったため、種汚泥を用いず場内汚泥から消化タンク立上げを行う手段を当社として初めて採用し、立上げ達成に至った。⁴⁾

2. 運転実績と性能評価

2.1 消化設備の運転実績

図2に鋼板製消化タンク1号機の運転実績を示す。消化タンクに投入された汚泥量・濃度・有機分率はおおむね設計条件(最大値)に近く、年間を通

じて高負荷での運転を継続していることが示される。

バイオガス発生量は年間で比較的大きな変動が見られる。平均ガス発生量としては下限付近であるものの、計画ガス発生量の範囲内に収まっている。バイオガス発生量原単位は500 m³_N/t-VS前後と、一般的な500~600 m³_N/t-VS(文献⁵⁾)と比較して低い傾向にある。これらバイオガス発生量および原単位については、消化タンク投入生/余剰汚泥固形物比が低い(バイオガス化し易い生汚泥の消化タンクへの投入比率が低い)ためであると考察される。

消化率は投入汚泥中の有機物が分解される割合であり、消化タンク運用の良否判定指標となる。時期にもよるが、一般的な消化率である50%程度⁵⁾を維持している。

バイオガス発生量、消化率および消化タンク投入生/余剰汚泥固形物比は季節変動の影響を受けることが一般に知られている。特に夏季は外気温と下水処理場への流入水温が高く、消化タンクに汚泥を投入するまでに有機物の分解が進行し、消化に悪影響(バイオガス発生量および消化率の低下)を及ぼす。今回の運転実績においても同様の傾向が見られる。

2.2 性能評価①(バイオガス発生等消化性能)

運転実績より、下水汚泥エネルギー化の観点からバイオガス発生および消化率に係る指標データを抽出・整理した結果を図3に示す。前述のとおりバイオガス発生量に影響する因子として消化タンク投入生/余剰汚泥固形物比に着目し、バイオガス発生量原単位との相関を整理した(図3(a)、本来、有機物量で整理するべきであるが、結果に大きな差がな

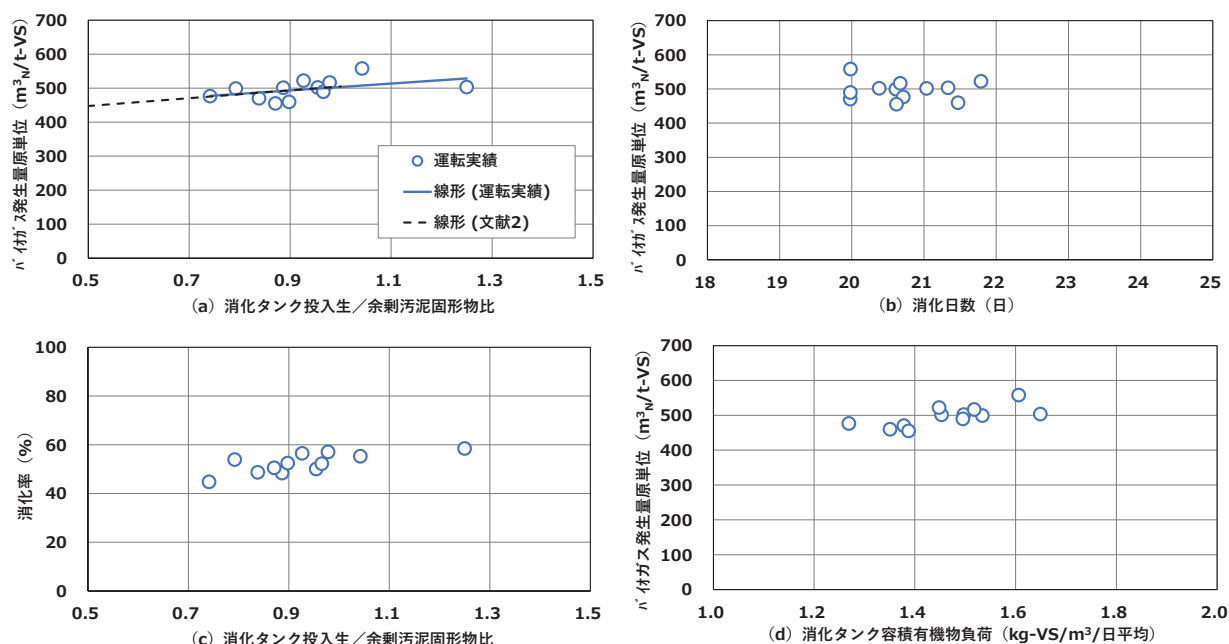


図3 バイオガス発生量原単位および消化率に係る指標データ

いことから、ここではデータ採取の容易な固形物量とする)。文献⁶⁾では消化タンクに投入する生汚泥と余剰汚泥量の比によって得られるバイオガス発生量原単位は異なることが示されている。その代表値を線形図示しているが、今回、運転実績から得られた近似線と合致する。このことから、運転実績におけるバイオガス発生量原単位は、文献⁵⁾における一般的な範囲と比べると低いが、消化タンク投入生/余剰汚泥固形物比で見ると妥当であると判断できる。

図3 (b) に、消化日数とバイオガス発生量原単位の相関を示す。消化日数が不十分であるとバイオガス発生量原単位の低下が見られることが一般に知られるが、本結果では最短20日の消化日数で十分に消化されていることが示唆される。

図3 (c) に、消化タンク投入生/余剰汚泥固形物比と消化率の相関を示す。バイオガス発生量原単位における傾向と同様に、生汚泥の比率が高いほど消化率が高い傾向にある。

図3 (d) に、消化タンク容積有機物負荷とバイオガス発生量原単位の相関を示す。容積有機物負荷は消化タンクの汚泥投入負荷を示す指標で、上限付近ではバイオガス発生量原単位と負の相関があることが知られているが、今回の結果では負の相関が見られないことから、運転にある程度余裕があることが示唆される。

これらの結果より、銅板製消化タンク1号機は安定的に消化性能を十分発揮していると判断される。また、設備が安定している状態においては、消化タ

ンク投入汚泥量と、生/余剰汚泥固形物比より求められるバイオガス発生量原単位で、バイオガス発生量がある程度予想可能であることが示唆される。

2.3 性能評価②（その他諸性能）

図4 に銅板製消化タンク1号機の諸性能検証データを示す。

攪拌動力は消化タンク内濃度（粘性）に影響を受けるため汚泥濃度が高いほど上昇するが、攪拌機設計条件（当社で設定した低動力の指標として、バイオガス発生量・消化率が従来同等、かつ、単位容積当たりの攪拌動力密度1 W/m³）を満足している（図4 (a)）。

本機では、試験片を設けて消化タンク内に曝すことで防食塗装の劣化を定量的に評価している。防食塗装試験片の膜厚測定結果（図4 (b)）より膜厚の経年減少が見られるものの、消化タンク本体の標準耐用年数として定めた20年間（消化タンク内部補修を行う場合、35年以上の運用も可能とする）に対して膜厚を十分確保できるものと判断される。

消化タンク内底部における堆積高さは運用開始初期から増加していない（図4 (c)）。また、有効容量も十分確保されており、消化性能に悪影響は見られないことから健全な状態を維持している。

消化タンク本体の板厚は防食塗装を施しているため、素材時の厚さから有意な減少は見られない（図4 (d)）。経年劣化に関しては、サンプル数が少なく現時点における経過評価となるが、大きな改修なく標準耐用年数を満足するものと判断できる。

「下水道事業におけるエネルギー効率に優れた技

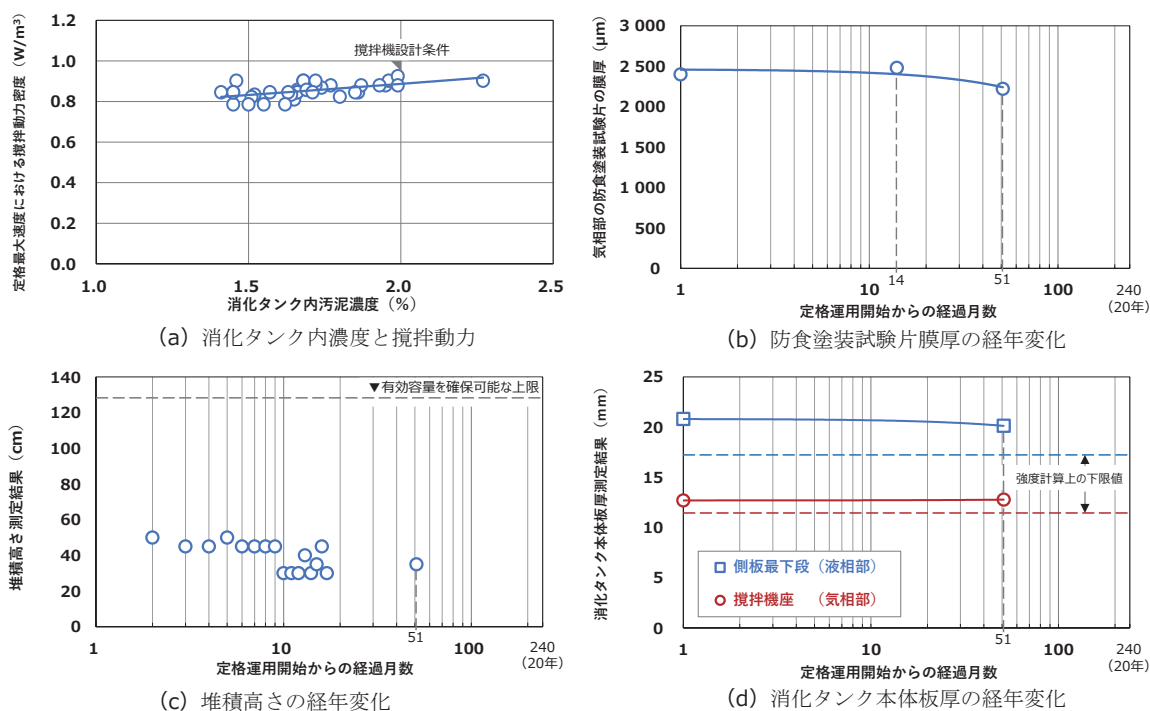


図4 鋼板製消化タンク1号機の諸性能検証データ

術」²⁾では消化タンクの性能指標として「分解有機物量あたり消費電力280 kWh/t-分解 VS」とあるが、表2に示すとおり、本設備の実績における消費電力は約120 kWh/t-分解 VS と、性能指標を十分に満足する、エネルギー効率に非常に優れた技術と言える。

2.4 後段設備への影響

消化プロセスを経た汚泥は脱水性が悪化すると一般に知られるが、本設備については場内発生汚泥の4分の1程度を処理するに留まるため、後段の脱水・焼却設備へ支障をきたす悪影響は見られないと運営管理事業者より聞いている。

2.5 課題

バイオガス発生量および消化率など消化性能に問題は無いものの、消化タンク内液面にスカムが生じている。発生したスカムは、運転管理で対応（鋼板製消化タンク本体に設置されたスカム排出ノズルよ

り排出）している。そのため、運転継続に大きな支障はないが、より容易な管理に向け、スカム発生要因の調査および抑制に取り組んでいる。

むすび

消化は下水汚泥エネルギー利用の核となり得る汚泥処理プロセスであり、カーボンニュートラルな下水処理を実現する上で今後ますます重要性が上がって行くものと予想される。鋼板製消化タンクは消化プロセスの導入ハードルを下げる設備・技術であり、当社製品のみならず、ひとつのジャンルとして市場を醸成しつつある。今回得られた知見を踏まえ、鋼板製消化タンク技術の発展・拡大に向け更なる鋭意努力を行う所存である。

最後に、矢作川浄化センターの運転データをご提供頂いた愛知県様に深く感謝致します。また、本調査の一部は、地方共同法人 日本下水道事業団の調査の一環として実施しています。

【参考文献】

- 1) 特許第5412598号
- 2) 国水事第38号
- 3) 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 (2014/2)
- 4) 中嶋雄大, 小久江仁志, 「矢作川浄化センターにおける鋼板製消化槽の運転状況」神鋼環境ソリューション技報, Vol 14 No.1 (2017/9)
- 5) 日本下水道協会 下水道施設計画・設計指針と解説 後編 2019年版 pp.482, 498
- 6) 野池達也編著「メタン発酵」技報堂出版 (2009)

表2 分解有機物量あたりの消費電力試算

2019年度消化設備の運転実績より年間分解有機物量 1 600 t-分解 VS/年

機器名称	①	②	③	④	⑤
	運転 台数	電動機 出力	稼動時間 (想定)	負荷率 (実測値)	電力量 ①×②×③×④
鋼板製消化タンク	1	—	—	—	—
消化タンク撹拌機	1	7.5	8 760	0.60	39 420
汚泥循環ポンプ	1	11	8 760	0.78	75 161
温水循環ポンプ	1	5.5	8 760	0.78	37 580
熱交換器	1	—	—	—	—
消化汚泥貯留槽撹拌機	2	5.5	8 760	0.42	40 471
消化汚泥移送ポンプ	1	3.7	0(否常用)	—	—

計 192 632kWh/年

↓
分解有機物量あたりの消費電力試算値 120 kWh/t-分解 VS < 性能指標値 280