

# 鋼板製消化タンクによる下水汚泥エネルギー化

## Energy Production from Sewage Sludge by Using Steel Plate Digestion Tanks



川嶋 淳\*  
Jun Kawashima



三浦雅彦\*\*  
Masahiko Miura  
農学博士



榎本周一\*\*  
Shuichi Enomoto

従来、下水処理における消化タンクは、一般的にコンクリートで建設されてきたが、初期投資が高い、建設工期が長い等の課題があった。これに対して、他のバイオマス利活用施設において多数の実績がある鋼板製消化タンクは、これらの課題を解決する設備である。鋼板製消化タンクの下水汚泥消化への適用のため、財団法人下水道新技術推進機構との共同研究を実施した。実証実験設備における技術検証結果をもとに、「鋼板製消化タンク技術マニュアル」が発行された。本稿では、鋼板製消化タンク技術の詳細について報告する。

Digestion tanks in sewage treatment plants have been generally constructed by concrete. However, high construction cost and long construction period are required. On the other hand, steel plate digestion tanks are relatively inexpensive and require only short construction period. Therefore, it is considered a promising technology. The joint research with Japan Institute of Wastewater Engineering and Technology (JIWET) and Kobelco Eco-Solutions had been carried out to apply steel plate tanks to sewage sludge digestion. As the results of the joint research, “Technical Manual for Steel Plate Digestion Tank” was published in March 2013. This paper reports the verification results of a steel plate digestion tank.

### Key Words :

鋼板製消化タンク  
下水汚泥消化  
安価な建設費  
短い建設期間

Steel plate digestion tank  
Sewage sludge digestion  
Low construction cost  
Short construction period

### 【セールスポイント】

高機能鋼板製消化槽：

下水処理における、従来のコンクリート製消化タンクの課題である高い建設費や長い建設工期を解決する設備

### まえがき

近年、化石燃料の枯渇や地球温暖化防止のため温室効果ガス排出削減が課題となっており、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ている。

下水汚泥は、都市内における貴重なバイオマス資源であり、そこから発生する消化ガスはカーボン

ニュートラルなクリーンエネルギーである。このような下水汚泥の嫌気性消化は、汚泥の減量化を図りつつ、エネルギー回収が可能な重要プロセスとの位置付けへと転換期を迎えている。

従来、下水処理における消化タンクは、一般的にコンクリートで建設されてきたが、初期投資が高いこと、建設工期が長い等の課題があった。これに対

して、バイオマス利活用施設に多数の実績がある鋼板製消化タンクは、これらの課題を解決する設備である。

また、東日本大震災を背景とした自立型の再生エネルギー回収設備として、中小規模の下水処理場にも普及展開を見込める技術である。

下水汚泥処理に鋼板製消化タンクを適用するために、当社は財団法人下水道新技術推進機構（現、公益財団法人日本下水道新技術機構。以下、下水道機構という。）と2.5年間（2010年10月～2013年3月）の共同研究を実施し、その成果として技術マニュアル<sup>1)</sup>が発行された。

本技術マニュアルは、「鋼板製消化タンク技術」について、概要と特長を説明するとともに、導入の際の計画・設計・施工・試運転・維持管理の手順・留意点等を解説したものである。また、鋼板製消化タンクの実用化に向けて、千葉市南部浄化センターをフィールドにした実証施設での経済性、消化性能、エネルギー使用量の低減、タンク内部の可視化などの実験・研究を通じ、その有効性を記載している。<sup>2), 3), 4), 5)</sup>

## 1. 技術の特長

実証実験設備の外観を写真1に、フローを図1に示す。鋼板製消化タンク（750 m<sup>3</sup>）、インペラ式攪拌機、消化汚泥循環ポンプ、消化汚泥熱交換器から成る設備である。

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べ、次の特長を有している。

### 1.1 建設工期の短縮

コンクリート製消化タンクと比較して、建設工期を1/2以下に短縮可能である。



写真1 実証実験設備外観

1.2 建設費・ライフサイクルコスト（LCC）の低減  
コンクリート製消化タンクと比較して、概ね1/2以下に建設費（初期投資）低減が可能である。また、LCCは同等以下である。

### 1.3 保温性能

保温材としてポリスチレンフォームを採用することにより、外部放熱量がコンクリート製消化タンクと比較して同等以下である。

### 1.4 省エネルギー

インペラ式攪拌機の採用によって、消費電力がドラフトチューブ方式に比べ1/4以下に低減が可能である。また、1.0 Wm<sup>3</sup>の低動力で安定的な消化が可能である。

### 1.5 「見える化」技術の適用

センサー類、サイトグラス等の設置が容易かつ自由度が高く、内部状況の「見える化」により、運転状況の把握が可能である。

側面から超音波で堆積物の状況が測定でき、排出促進運転により堆積物を蓄積しない消化が可能である。

アンモニア濃度の連続測定を行うことによってアンモニア阻害の予防と早期対策が可能である（地域バイオマスとの共処理消化を想定）。

運転状態における流速測定が可能であり、実測値をシミュレーションに反映することで、消化タンク内部の流動攪拌状態を把握できる。

### 1.6 耐用年数

ビニルエステル樹脂系塗料による防食塗装で耐用年数20年以上との評価を受けている。

## 2. 実証研究内容

千葉市南部浄化センターに鋼板製消化槽（750 m<sup>3</sup>）を建設し、実証実験（実負荷運転：2011年12月～2013年3月）を行った。

### 2.1 実験方法

鋼板製消化タンクに機械濃縮汚泥を15 m<sup>3</sup>/d、重力濃縮汚泥を15 m<sup>3</sup>/d供給し、滞留日数25日、中温消化（消化温度37℃）を行った。

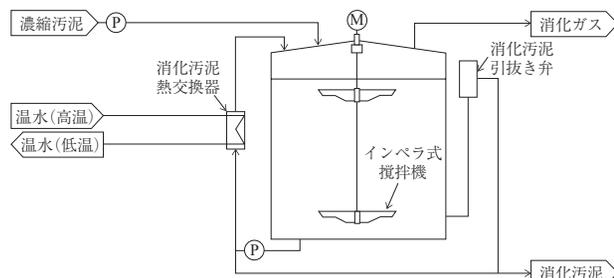


図1 実証実験設備フロー

表1 コンクリート製（卵形）と鋼板製消化タンクの建設工期比較

コンクリート製卵形タンク <容積：4 000 m<sup>3</sup>>…神鋼環境ソリューション・某市実績

		月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	所要日数	
土木工事			掘削・杭																				105	
本体工事	円錐部				→																		15	
	リング基礎				→																		36	
	側壁工					→																	115	
	管廊・ガスドーム							→																106
	防食塗装												→											50
機械工事															→								181	
電気工事																→								196
工事開始～完成			→																				592	

鋼板製消化タンク <容積：4 000 m<sup>3</sup>>…実証実験設備実績より見積り

		月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	所要日数	
土木工事			杭・配筋・基礎コン																					105
本体工事	工場製作		材料手配・板加工																					90
	現地組立・溶接				→																			75
	攪拌機取付								→															3
	塗装・保温										→													61
	機械工事																							60
電気工事																							60	
工事開始～完成			→																				273	

## 2.2 実証研究

### 2.2.1 建設工期の検証

実証実験設備の現地での建設工期は、基礎築造完了から70日間であった。この実績をもとにタンク容量4 000 m<sup>3</sup>規模で消化タンクの全体工期を比較した結果を表1に示す。コンクリート製卵形消化タンクの実績工期と比較して1/2以下となり、1年以下の工期に短縮できると試算された。これより、単年度予算の建設も可能であると考えられる。

工期短縮の主な理由としては、以下が挙げられる。

- ① 鋼板製消化タンクは機械設備工事としての一括発注が可能である。
- ② 鋼板製消化タンクは現地土木工事と鋼板製側板の工場製作を並行して進めることができる。
- ③ 鋼板製消化タンクは、地下工事がなく地表面に組立てるため、掘削、土留め、配筋、型枠の土木工事の負荷が低減できる。

### 2.2.2 建設費・LCCの検証

#### 2.2.2.1 消化タンク建設費（初期投資）比較

##### 1) 試算条件

- ① 消化タンク容量1 000 m<sup>3</sup>、2 000 m<sup>3</sup>、4 000 m<sup>3</sup>、6 000 m<sup>3</sup>の4ケースについてPC製（プレストレストコンクリート製、卵形）、RC製（PC製を含む鉄筋コンクリート製、形状混在）と鋼板製（円筒形）を比較した。
- ② 試算範囲は槽本体のみ（材工共、基礎工事含む）とし、機電（攪拌機等の付帯機器類）は含んでいない。
- ③ PC製（卵形）の建設費は、複数自治体の規模別建設費実績に基づく費用関数を作成して試算<sup>\*1</sup>。
- ④ RC製（形状混在）の建設費は、「バイオソリッド利活用マニュアル<sup>6)</sup>」の費用関数を用いて試算<sup>\*2</sup>した。

※1 実績は発注年度が異なるため、国土交通省

が開示している建設工事費デフレーターを用いて平成21年度価格へ補正を行った。

※2 消化タンク投入汚泥の固形物濃度を4%として「バイオソリッド利活用マニュアル」の汚泥消化処理費建設費（土木施設）の費用関数を用いた。なお、試算結果はPC製と同様に国土交通省が開示している建設工事費デフレーターを用いて平成21年度価格への補正を行った。

## 2) 試算結果

消化タンク建設費（初期投資）比較を図2に示す。

PC製（卵形）の建設費（初期投資）を100%としたときの鋼板製の建設費（初期投資）は46～54%の結果となり、概ね50%に低減できる。また、RC製（形状混在）と比較した場合も、ほぼ同様の結果が得られた。

### 2.2.2.2 消化タンク建設費（年価）比較

#### 1) 試算条件

試算する設備規模は、建設費（初期投資）と同様に消化タンク容量1000 m<sup>3</sup>、2000 m<sup>3</sup>、4000 m<sup>3</sup>、6000 m<sup>3</sup>とし、初期投資に以下に示す耐用年数に応じた係数を乗じて算出した。

$$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

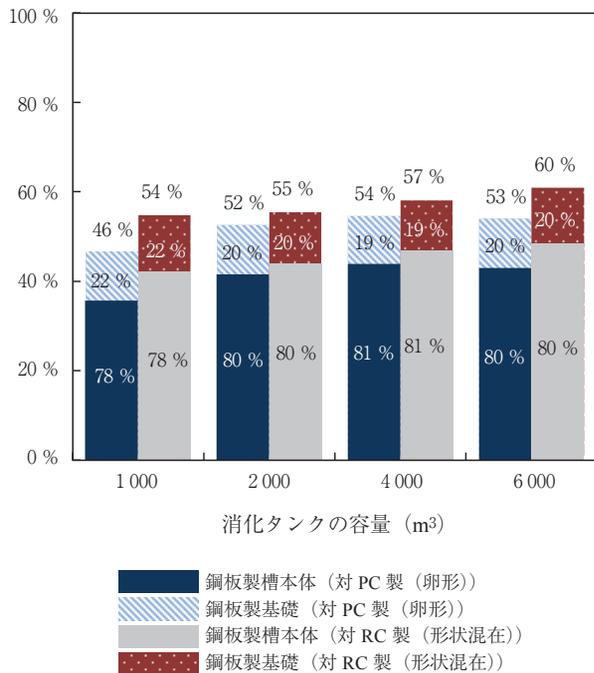


図2 消化タンク建設費（初期投資）比較  
（槽本体+基礎）

ここで、

$i$ ：利子率（=2.3%。「バイオソリッド利活用マニュアル」の計算例に準じた。）

$n$ ：耐用年数（コンクリート製（PC製、RC製）消化槽は45年、鋼板製消化槽本体は20年、同基礎部分は45年）

#### 2) 試算結果

消化タンク建設費（年価）比較を図3に示す。

鋼板製消化タンク建設費（年価）は、PC製（卵形）に比べ73～87%となり、13～27%の削減となった。また、RC製（形状混在）に比べ86～97%となり、同等以下となった。

### 2.2.2.3 LCC比較

#### 1) 試算条件

① 試算する設備規模は、消化タンク容量1000 m<sup>3</sup>、2000 m<sup>3</sup>、4000 m<sup>3</sup>、6000 m<sup>3</sup>とし、試算範囲はタンク本体（基礎工事含む）および機械設備とした。消化タンク本体の建設費年価は図3の試算条件による結果を使用した。加えて、機械設備（消化タンク本体以外）の建設費年価は「バイオソリッド利活用マニュアル」の費用関数によりPC製（卵形）、RC製（形状混在）、鋼板製で全て同額と試算して加算した。

② 維持管理費は「バイオソリッド利活用マニュアル」の費用関数により試算<sup>\*3</sup>した。加えて、PC

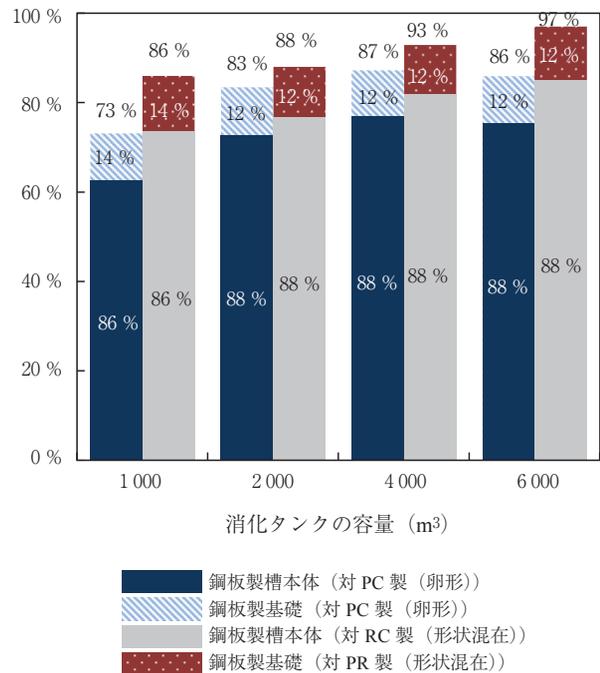


図3 消化タンク建設費（年価）比較  
（槽本体+基礎）

製（卵形）・RC製（形状混在）の維持管理費には10年に1回の防食塗装費<sup>\*4</sup>と浚渫費<sup>\*5</sup>を加算した。一方、鋼板製については前述したビニルエステル樹脂系塗料による防食塗装で20年以上の耐用年数を確保できるとの評価を受けていること、後述するインペラ式攪拌機の逆回転に同期した汚泥引抜きによる堆積物蓄積の抑制策を講じることで汚泥性状によっては20年の耐用年数において浚渫を不要にできることを踏まえて防食塗装費と浚渫費を不要とした。

※3 「バイオソリッド利活用マニュアル」の汚泥消化処理費2. 維持管理費の費用関数を用いて、RC製（形状混在）の建設費試算方法と同様の以下の汚泥性状で試算した。なお、試算結果は同様に国土交通省が開示している建設工事費デフレーター（平成15年度=97.6, 平成21年度=104.4）を用いて補正を行った。消化タンク投入汚泥性状：固形物濃度4%, 滞留日数25日

※4 内部防食の耐用年数は「国土交通省事務連絡 平成15年6月19日 国都下事第77号 [別表] 標準的耐用年数」に基づく10年だが、

※5 浚渫の実施時期に併せて実施する。なお、費用は業者見積による。

※5 浚渫の実施時期は「汚泥消化タンク改築・修繕技術資料（2007年3月）<sup>7)</sup>」のアンケート結果に基づき、建設から10年～19年目に1回行うものとした。なお、費用は業者見積による。

## 2) 試算結果

消化タンク LCC 比較を図4に示す。

鋼板製は汚泥性状によって、20年の耐用年数において防食塗装および浚渫が不要であり、PC製（卵形）に比べ86～89%となり、11～14%の削減となった。また、RC製（形状混在）に比べ88～92%となり、8～12%の削減となった。

### 2.2.3 保温性能検証

#### 2.2.3.1 鋼板製消化タンクの保温性能

実証試験設備の鋼板製消化タンクの保温材には厚さ80mmのポリスチレンフォームを使用した。その消化タンク側面材の保温性を、コンクリート製消化タンクの実績2例と比較した。

熱伝導率は「下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版<sup>8)</sup>」に準拠し表2の値を使用した。また、断熱層としての性能を比較するため、式(1)の熱伝導の項のみを合成した伝熱係数で比較した。

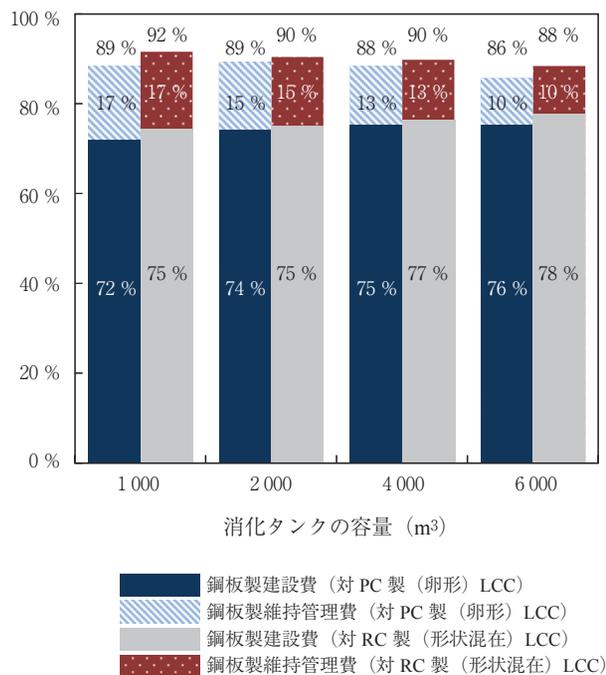


図4 消化タンク LCC 比較 (防食塗装, 浚渫含む)

表2 保温材の熱伝導率

項目	熱伝導率 {W/(m·K)}
鉄筋コンクリート	1.6
コンクリートブロック	1.2
空気	0.56
ポリスチレンフォーム	0.03

$$\frac{1}{K_i} = \frac{1}{h_1} + \sum_j \frac{\delta_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_2}$$

$K_i$ : 総括伝熱係数 {W/(m²·K)}

$h_1$ : 汚泥-タンク内面の熱伝達係数 {W/(m²·K)}

$h_2$ : タンク外壁-外気の熱伝達係数 {W/(m²·K)}

$\lambda_j$ :  $j$  番目の保温材の熱伝導率 {W/(m·K)}

$\delta_j$ :  $j$  番目の保温材厚み (m)

結果を表3に示す。コンクリート製消化タンクの2例では、1.14 W/(m²·K), 0.78 W/(m²·K) になるのに対して、鋼板製消化タンクの保温材では0.38 W/(m²·K) となり、それぞれのコンクリート製消化タンクに比べ、3.0倍、2.1倍保温性が優れている。保温材厚みを適切に設定することにより、保温性能の調節が可能である。

表3 消化タンク保温材の合成伝熱係数比較

消化タンク	側面材構成		合成した伝熱係数 {W/(m <sup>2</sup> ·K)}
鋼板製消化タンク (実証試験設備)	ポリスチレンフォーム	80 mm	0.38
コンクリート製消化タンク 1	鉄筋コンクリート ポリスチレンフォーム	600 mm 15 mm	1.14
コンクリート製消化タンク 2	鉄筋コンクリート 空 気 コンクリートブロック	700 mm 400 mm 150 mm	0.78

表4 放熱量計算条件 (千葉実証)

	外気温 (°C)	汚泥投入量 (m <sup>3</sup> /h)		原料汚泥平均温度 (°C)	消化汚泥の温度 (°C)
		重力濃縮汚泥	機械濃縮汚泥		
2012年 1月	4.4	0.625	0.625	16.9	36.8
2012年 2月	5.2	0.625	0.625	16.8	37.0

表5 外部放熱量の割合 (千葉実証)

	設計指針に基づく 計算値	実 証 試 験 結 果		
	外部放熱量 (Q <sub>2</sub> ) (kW)	所要熱量 (Q <sub>max</sub> ) (kW)	外部放熱量 (Q <sub>2</sub> +Q <sub>3</sub> ) (kW)	外部放熱割合 (%)
2012年 1月	11.0	32.7	4.0	12.1
2012年 2月	10.8	36.5	7.0	19.2



図5 鋼板製消化タンクの熱収支の推移 (千葉実証)

2.2.3.2 外部放熱量実績

「下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版」(社団法人 日本下水道協会)に準拠し、放熱量の計算を所要発生熱量が1年間で最大となる1月および2月について実施した。

計算条件を表4に示す。外気温は気象庁ホームページより、千葉市内での月ごとの平均気温を用いた。また、地中温度は外気温に等しいと仮定した。

外部放熱量の割合を表5に示す。試験により得られた外部放熱量は、設計指針に基づく20%の外部放熱割合よりも小さくなり、鋼板製消化タンクの保温性がコンクリート製消化タンクに比べて同等以上であることが確認された。

実証試験中の熱収支を図5に示す。7月から9月にかけての高温期は、外部からの加温によってタンクが加熱されるため、月間平均の放熱量よりも吸熱量が大きくなり、見かけ上の放熱量がない結果となった。

2.2.4 攪拌機性能および消化性能検証

2.2.4.1 攪拌機動力

インペラ式攪拌機の回転速度と動力投入密度を図6に示す。19 min<sup>-1</sup>および15 min<sup>-1</sup>の2条件で実証試験を実施した。回転速度15 min<sup>-1</sup>における動力投入密度は1.0 Wm<sup>-3</sup>であり、これは「汚泥消化タンク改築・修繕技術資料 2007年3月」(財団法人 下水道新技術推進機構)の動力情報から計算したスクリー式攪拌機の動力投入密度4.6 Wm<sup>-3</sup>に対して1/4以下であった。

## 2.2.4.2 消化性能

鋼板製消化タンクの運転を2011年12月から2013年3月まで継続した。攪拌機回転速度は2011年12月から2012年5月末までは $19 \text{ min}^{-1}$ 、それ以降は $15 \text{ min}^{-1}$ に設定した。消化性能の検証には、投入汚泥 VS 量当たりの積算ガス発生量を判断基準として適用した。実証試験期間における投入 VS 当たりのガス発生量推移を図7に示す。投入 VS 当たりのガス発生量は $501 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{t}$ であり、「下水道施設計画・設計指針と解説」記載の一般値（ $500\sim 600 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{t}$ ）の範囲内であった。これより、 $1.0 \text{ Wm}^{-3}$ での良好な消化を確認できた。

## 2.2.5 鋼板製消化タンク内部の「見える化」技術

### 2.2.5.1 堆積物測定技術

堆積物の最高位は、消化タンク壁面部から高出力型の超音波発振装置を用いて測定した。その他消化タンク内部については、上部から探触子を垂らして測定した。超音波による堆積物測定状況を写真2に、堆積物測定箇所を図8に示す。

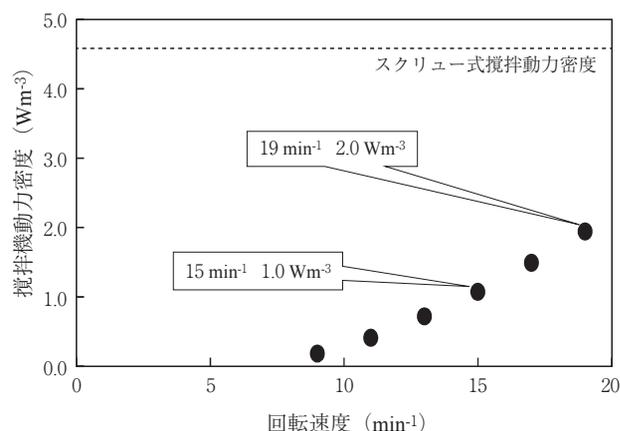


図6 鋼板製消化タンク攪拌機動力投入密度（千葉実証）

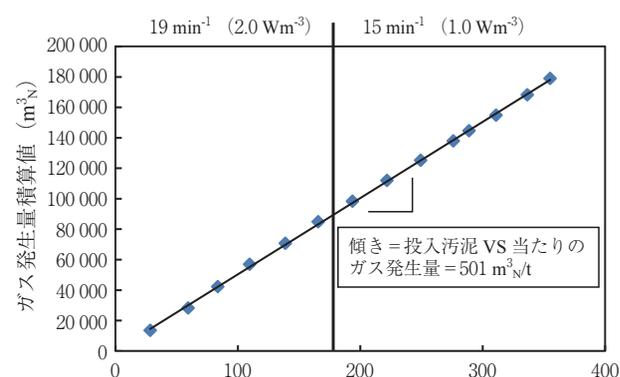


図7 投入汚泥 VS 当たりのガス発生量の推移（千葉実証）

超音波法では、運転を行いながら消化タンクを開放せずに測定できることが長所である。また通常、もっとも高い堆積物高さを検知できることから、堆積物状況からの浚渫タイミングの判定に有用な情報を得ることができる。

消化タンク内の堆積物量の推移を図9に示す。2011年12月から $19 \text{ min}^{-1}$ で消化運転を開始し、6カ月目まで堆積物量は上昇した。2012年5月末から回転数を $15 \text{ min}^{-1}$ に落とした後も同様に上昇し、堆積物蓄積の傾きに影響はなかった。最大値は2012年8月23日の数値であり、消化タンクの約2%容量に達した。

そこで、堆積物蓄積の抑制のために、攪拌機の逆回転と同期した消化液の引抜き運転を行った（図中No.2）。その結果、堆積物量が減少した。その後、攪拌機点検のための停止期間（図中No.3）、続いて



写真2 超音波による堆積物測定状況

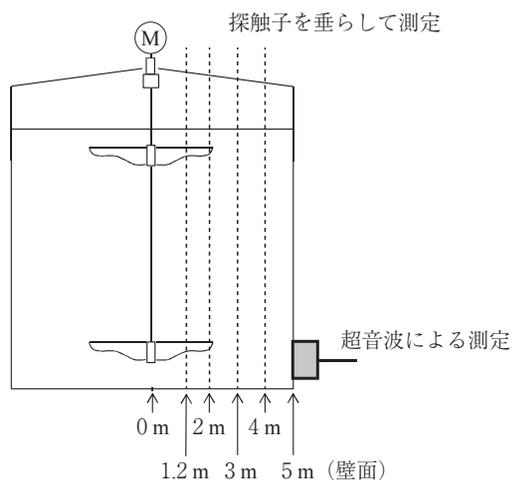


図8 鋼板製消化タンク内堆積物測定箇所

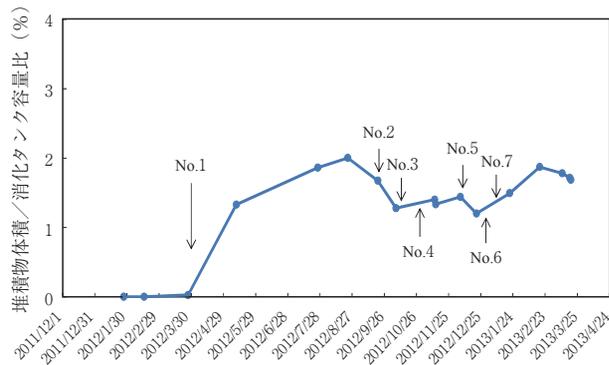


図9 鋼板製消化タンク内堆積物量の推移

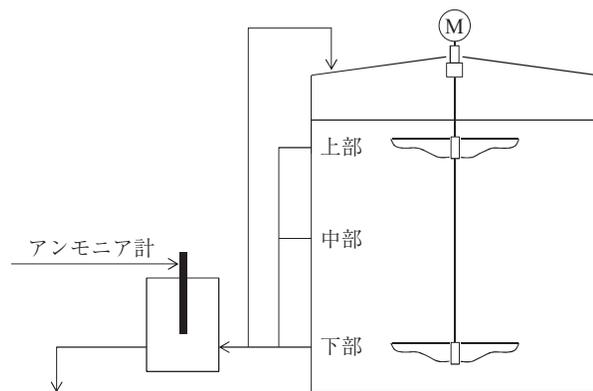


図10 アンモニア測定用循環ライン

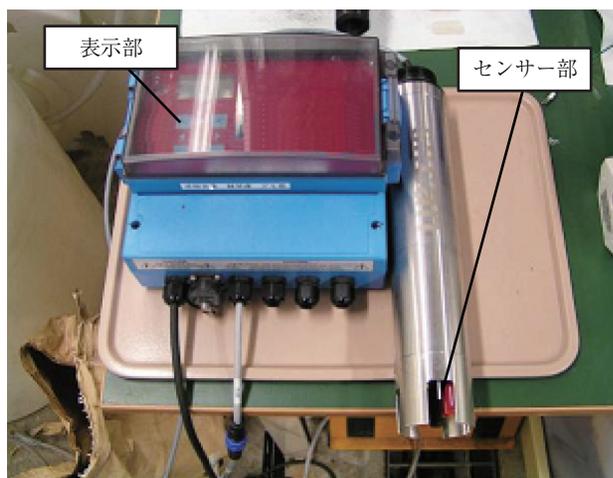


写真3 アンモニア濃度計

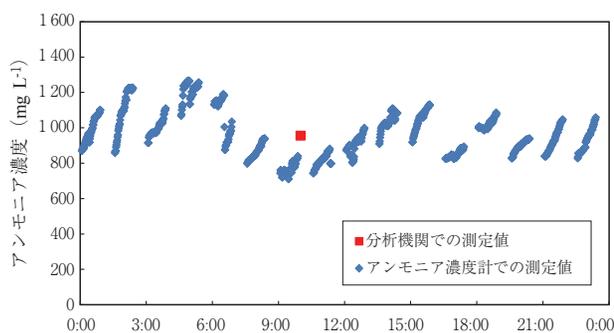


図11 アンモニア濃度計による NH<sub>4</sub>-N 測定値の変動

の正回転のみの期間（図中 No.4）では、再度堆積物量は上昇傾向を示した。その後逆回転の引抜き（図中 No.5）を行ったところ、再び堆積物量は低下した。図中 No.6で従来の運転に戻したところ、再度堆積物量が上昇した。図中 No.7以降、No.5と同様の運転を続けたところ、堆積物量は上昇後低下に転じた。以上の検証より、逆回転時に引抜き運転をした場合の堆積物量低下の再現性が確認できた。同運転方法を適用することで、堆積物蓄積を抑制する運転が可能と考える。なお、当社の同様の円筒型のバイオマス（家畜糞尿、生ごみ等の共処理）向け消化タンク実績では、5%が堆積物の許容基準である。

### 2.2.5.2 アンモニア濃度連続測定技術

下水汚泥と地域バイオマスの共処理消化を行う場合、地域バイオマスの種類によっては、アンモニア阻害が発生する可能性がある。アンモニア阻害を避けるためには、消化汚泥中のアンモニア濃度上昇の早期検出と阻害回避のため運転への反映を行うことが有効となる。これよりアンモニア濃度計を用いた

連続測定方法について実証実験を行った。

消化タンク内の消化汚泥中のアンモニア濃度はタンク内汚泥の循環ラインにイオン選択電極式のアンモニア性窒素測定装置を設置して測定する。アンモニア濃度計外観を写真3に、測定用の消化液循環ラインを図10に示す。

千葉実証設備でのアンモニア連続測定事例を図11に示す。分析機関での測定値は10時時点のデータであり、一日の運転中にアンモニア濃度は±30%の範囲で上下動した。アンモニア濃度変動の把握に利用可能であると考えられる。

### 2.2.5.3 流速測定技術

#### 2.2.5.3.1 流速測定方法

鋼板製消化タンク内の流速測定のために採用した3軸電磁流速センサーは、対象流体が水（河川水、海洋水等）で消化汚泥の測定実績がなかった。そこで、消化汚泥を充填した容器内にセンサーを挿入し、任意の設定速度で動かして、設定速度とセンサー指示値の相関を確認した。その結果、1.0 cm s<sup>-1</sup>から25 cm s<sup>-1</sup>の範囲において、センサー移動速度と指示値との間に高い正の相関が確認された。これよ

り、本流速センサーは、対象流体が消化汚泥においても正確な流速を測定できることが確認できた。

鋼板製消化タンク内の流速測定を行うため、挿入機（特許取得済、特許4892110）を試作し、流速測定を現地にて実施した。挿入機に3軸電磁流速センサーを装填し、挿入機を鋼板製消化タンク側面の流速測定用ノズルに取付け、センサーを運転状態のタンク内に挿入して流速を測定した。流速測定状況を写真4に示す。

### 2.2.5.3.2 流速測定結果のシミュレーション反映

鋼板製消化タンク内部の流動状況の把握を目的とした、有限要素モデルを用いた数値流体計算（CFD）シミュレーションを実施した。

千葉実証結果とシミュレーション結果の比較を表6に示す。流速については、攪拌機回転数15 min<sup>-1</sup>の運転後に鋼板製消化タンクを浚渫し、内部の堆積物状況を反映したシミュレーションを実施すること

で、実測値とシミュレーション結果の高い整合性が確認された。さらに計算の妥当性を確認するため、攪拌機の動力と吐出流量の比較を行った。攪拌機動力については、実証実験中もっとも小さな動力で運転している時で1.43 Wm<sup>-3</sup> (19 min<sup>-1</sup>)、0.80 Wm<sup>-3</sup> (15 min<sup>-1</sup>) となり、シミュレーションの計算値と近くなった。外乱の影響がなく理想的な状態で運転している時に、シミュレーションと整合性が取れると考えられる。吐出流量については、実測ができないので設計値（計算値）とシミュレーション結果の比較を行ったところ、19 min<sup>-1</sup>、15 min<sup>-1</sup>条件とも、高い整合性が確認できた。これらの結果より、流速測定結果を反映したシミュレーションにより、鋼板製消化タンク内の流動攪拌状態の評価が可能と考えられる。

### 2.2.6 防食塗装仕様検証

開発当初は、日本下水道事業団（JS）の一般仕様書で耐薬品部・水中部向け塗装と記載されているエポキシ樹脂系塗料を選定してJS、防食マニュアル<sup>9)</sup>で定められた加速試験（D種品質規格試験。合格した場合10年の耐用年数を確保できる塗装仕様とされている）を実施したが、不合格であった。そこで、メーカーヒアリングにより優れた耐酸性を有しているとの知見が得られたビニルエステル樹脂系塗料を選定して塗装仕様を見直した。加速試験結果を表7に示す。中温消化向け仕様は、公的試験機関によるD種品質規格試験に合格した。また、当該試験における評価項目の1つである硫黄侵入深さが検出限界未満であったことから、技術マニュアルにおいて20年の耐用年数を確保できるとの評価を受けている。



写真4 流速測定状況

表6 流速・動力・吐出流量の比較（千葉実証）

	回転数	設計値 <sup>※2</sup>	実測値 <sup>※3</sup>	シミュレーション
測定点 <sup>※1</sup> における流速 (cm s <sup>-1</sup> )	19 min <sup>-1</sup>	—	6.2	13.3
	15 min <sup>-1</sup>	—	5.7	4.2
攪拌機動力 (Wm <sup>-3</sup> )	19 min <sup>-1</sup>	1.99	2.17~1.43	1.32
	15 min <sup>-1</sup>	0.98	1.05~0.80	0.61
吐出流量（下段翼） (m <sup>3</sup> min <sup>-1</sup> )	19 min <sup>-1</sup>	129.0	—	120.3
	15 min <sup>-1</sup>	101.8	—	97.4

※1 流速測定点は底部・タンク壁より50 cmの位置

※2 動力  $P = \rho \cdot k_p \cdot N^3 \cdot D^5$

吐出流量  $Q = k_q \cdot N \cdot D^3$

※3 攪拌機消費電力と性能曲線より算出

$\rho$ : 密度,  $k_p$ : 動力係数

$k_q$ : 吐出係数,  $N$ : 回転数,  $D$ : 翼径

表7 防食塗装試験結果（中温消化向け仕様）

	中温消化（30-40℃）	基準値
塗装仕様	ガラスフレーク入りビニルエステル樹脂系塗料	—
結果	○（全て合格。D種規格を満足し、10年間の耐用年数を確保できる）	—
1. 接着性	○（結果：4.6 N mm <sup>-2</sup> ）	1.5 N mm <sup>-2</sup> 以上
2. 透水性	○（結果：0.05 g）	0.15 g 以下
3. 耐酸性	○（結果：膨れ、割れ、軟化、溶出を認めない。）	10 % 硫酸水溶液に常温で60日間浸漬しても被覆に膨れ、割れ、軟化、溶出が無いこと。
4. 硫黄侵入深さ	○（結果：硫黄侵入深さは2μm未滿、侵入深さ/設計厚さは0%） 10年の防食性を評価するための10 % 硫酸水溶液120日間浸漬で硫黄侵入深さは検出限界未滿であったため、下水道機構「鋼板製消化タンク技術マニュアル」では20年の耐用年数を確保できるとの評価を受けた。	10 % 硫酸水溶液に常温で120日間浸漬した時の硫黄侵入深さが設計厚さに対して5 % 以下であること、かつ、100 μm 以下であること。

## むすび

日本国内約2 000ヶ所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ヶ所であり、消化設備の普及は進んでいない状況である。一方、今後下水汚泥の嫌気性消化法は、創エネルギーの観点からますます重要視されていくことが予想される。鋼板製消化タンクは従来のコンクリート製消化タンクの課題を解決し、将来のニーズや動向に合わせて柔軟な更新・改築を可能とする設備として普及が期待される。実証試験で得られた知見を反映して、高度な運転管理を可能とする鋼板製消化タンクの普及展開に向けて今後も鋭意努力する所存である。

### [参考文献]

- 1) 下水道新技術推進機構 鋼板製消化タンク技術マニュアル —2013年3月—
- 2) 福沢敬三, 石田貴, 川嶋淳「鋼板製消化タンクによる下水汚泥エネルギー化へのアプローチ ～実証研究

中間報告～」第49回下水道研究発表会講演集（2012）pp.742-744

- 3) 福沢敬三, 石田貴, 落修一, 小川裕正, 三浦雅彦, 川嶋淳「鋼板製消化タンクによる下水汚泥エネルギー化へのアプローチ」第50回下水道研究発表会講演集（2013）pp.928-930
- 4) 石田貴「鋼板製消化タンク技術マニュアルの概要」月刊下水道 Vol.36, No.6（2013年5月）pp.79-83
- 5) 石田貴「下水汚泥リサイクルをめぐる新技術の開発動向と新たな取り組み」月刊下水道 Vol.36, No.14（2013年12月）pp.6-9
- 6) 国土交通省都市・地域整備局下水道部, 日本下水道協会 バイオソリッド利活用基本計画（下水汚泥処理総合計画）策定マニュアル 平成16年3月（2004年3月）
- 7) 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）
- 8) 日本下水道協会 下水道施設計画・設計指針と解説 後編 2009年版
- 9) 日本下水道事業団 下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル 平成24年4月

\*技術開発センター 水・汚泥技術開発部 汚泥処理室 \*\*技術開発センター 水・汚泥技術開発部 水処理室