基礎・固有調査研究【C-3】

汚泥処理の広域化、地域バイオマスの活用等によるバイオマス利活用促進（平成 29 年度～令和 3 年度）

報告書

令和4年3月

日本下水道事業団
技術戦略部

はじめに

日本下水道事業団（JS）では、2017（平成 29）年度から 2021（令和 3）年度までの 5 ヶ年度を計画期間とする第 5 次中期経営計画に定める JS の 2 つの役割、すなわち「下水道ソリューションパートナーとしての総合的支援」、「下水道ナショナルセンターとしての機能発揮」を着実に果たしていくため、JS 自らの財源を確保し、安定的かつ継続的に調査研究を実施し、地方公共団体に成果を還元することを目的として、2018 年 1 月に策定した「基礎・固有調査研究の中期計画」（計画期間：同上）に則り、14 テーマの調査研究を進めて参りました。

本報告書は、これらのうち、人口減少対応や省エネ化・脱炭素化などの時代の要請に対して技術の進化を図る「固有調査研究（コア技術）」の一環として実施した「汚泥処理の広域化、地域バイオマスの活用等によるバイオマス利活用促進」に関する調査研究成果を取りまとめたものです。

本調査研究では、地域バイオマスの活用などによるバイオマス利活用促進に関する調査、メタン発酵シミュレーションモデルの構築、鋼板製消化タンクの事後評価調査などを行いました。

本報告書が地方公共団体の皆さまの下水道事業の遂行の一助になりますとともに、下水道事業全体の発展に寄与することを期待するものです。

なお、本調査研究は、三宅晴夫（2018 年度）、桑嶋知哉（2019～20 年度）、新川祐二（2021 年度）の指導の下、島田正夫（2018～21 年度）、林梓（2018 年度）、碓井次郎（2019 年度）、井上善之（2019～20 年度）、熊越瑛（2019～21 年度）、小倉一輝（2020 年度）、村岡正季（2021 年度）、鈴木博子（2021 年度）が担当しました。

2022 年 3 月

技術戦略部長　橋本 敏一

【C-3】汚泥処理の広域化、地域バイオマスの活用等によるバイオマス利活用促進
（平成 29 年度～令和 3 年度）
報告書

－ 目次 －

第１章　研究の概要 1-1
１．１　研究の背景および位置づけ 1-1
１．２　研究の目的 1-1
１．３　実施項目および工程 1-2
１．４　報告書の構成 1-2
第２章　下水処理場の水処理運転管理と汚泥の嫌気性消化特性に関する検討 2-1
２．１　検討の概要 2-1
２．２　メタン発酵のメカニズムと汚泥の基本性状 2-2
２．３　初沈汚泥と余剰汚泥のメタン発酵性 2-4
２．４　検討結果および考察 2-7
２．５　主たる成果 2-8
第３章　嫌気性消化施設の導入、地域バイオマス受け入れにおける処理場マスバランスの検討 3-1
３．１　検討の概要 3-1
３．２　シミュレーションモデルを用いた検討 3-2
３．３　マスバランス実態調査 3-7
３．４　マスバランス検討における簡易な計算ツールの構築 3-19
３．５　主たる成果 3-21
第４章　各種地域バイオマスの嫌気性消化特性に関する調査 4-1
４．１　検討の概要 4-1
４．２　有機物濃度指標の課題 4-1
４．３　各種バイオマスの基本性状 4-3
４．４　各種バイオマスのメタン発酵性 4-6
４．５　各種バイオマスのメタン発酵原料としての特性 4-9
４．６　まとめ 4-10
第５章　下水処理場における地域バイオマス受け入れの影響調査 5-1
５．１　調査の概要 5-1
５．２　調査の内容及び目的 5-1
５．３　調査方法 5-1
５．４　検討結果および考察 5-3

５．５　主たる成果.....5-9
第６章　鋼板製消化設備の事後評価調査（新技術フォローアップ）.....6-1
６．１　調査の概要.....6-1
６．２　調査の目的及び内容.....6-3
６．３　調査方法.....6-4
６．４　調査結果および考察.....6-5
６．５　主たる成果.....6-35
第７章　成果および課題.....7-1
７．１　下水処理場の水処理運転管理と汚泥の嫌気性消化特性に関する検討.....7-1
７．２　嫌気性消化施設の導入、地域バイオマス受け入れにおける処理場マスバランスの検討.....7-1
７．３　各種地域バイオマスの嫌気性消化特性に関する調査.....7-2
７．４　下水処理場における地域バイオマス受け入れの影響調査.....7-3
７．５　鋼板製消化設備の事後評価調査（新技術フォローアップ）.....7-3

参考文献

成果公表リスト

謝辞

第１章　　研究の概要

１．１　　研究の背景および位置づけ

人口減少社会の到来に伴い、下水道事業においては下水処理場への流入量の減少に対して柔軟な下水処理を行う必要がある。また、施設の老朽化による改築のために膨大な費用がかかり、事業体の財政の圧迫が懸念される。こうした背景のもと、持続可能な下水道事業を実現するため、下水道事業の広域化・共同化計画の策定が要請され、施設の統廃合を含めた効率的な下水道事業の実施が求められている。

効率的な下水道事業の実施にあたっては、汚泥処理の集約化による効率化・最適化を図るとともに、それぞれの下水処理場の特性に応じた地域バイオマスの受け入れなどにより下水道資源利用を最大化する下水処理システムを構築する必要がある。

１．２　　研究の目的

本研究では、下水処理場での運転管理方法による嫌気性消化特性の違いや、地域バイオマスを受け入れる際の導入効果や処理施設への影響、近年導入が進んでいる鋼板製消化タンクに関する調査を行い、現状の問題点、解決すべき課題を抽出し、それらに対する検討や検討における留意点を明確にすることで、汚泥資源の集約化や地域バイオマスの受入れによる下水汚泥の資源・エネルギー利活用の促進に資することを目的とする。

１．３　　実施項目および工程

実施項目および工程を表１－１に示す。実施項目は、「下水処理場の運転管理と汚泥の嫌気性消化特性に関する検討」「嫌気性消化施設の導入、地域バイオマス受け入れにおける処理場マスバランスの検討」「各種地域バイオマスの嫌気性消化特性に関する調査」「地域バイオマス受け入れの最適手法の調査」「鋼板製消化設備事後調査（新技術フォローアップ)」である。

表１－１ 実施項目および工程

実施項目	H29	H30	H31/R1	R2	R3
①下水処理場の運転管理と汚泥の嫌気性消化特性に関する検討					
②嫌気性消化施設の導入、地域バイオマス受け入れにおける処理場マスバランスの検討					
③各種地域バイオマスの嫌気性消化特性に関する調査					
④地域バイオマス受け入れの最適手法の調査					
⑤鋼板製消化設備事後調査（新技術フォローアップ)					
⑥成果とりまとめ					

１．４　　報告書の構成

本報告書は調査実施項目に従い、以下の構成でとりまとめた。

第１章　研究の概要
第２章　下水処理場の運転管理と汚泥の嫌気性消化特性に関する検討
第３章　嫌気性消化施設の導入、地域バイオマス受け入れにおける処理場マスバランスの検討
第４章　各種地域バイオマスの嫌気性消化特性に関する調査
第５章　地域バイオマス受け入れの最適手法の調査
第６章　鋼板製消化設備の事後評価調査（新技術フォローアップ）
第７章　成果および課題

第２章　　下水処理場の水処理運転管理と汚泥の嫌気性消化特性に関する検討

２．１　　検討の概要

下水処理場には BOD や SS といった汚濁指標で平均的に 150～200mg/L 程度のバイオマスが毎日流入している。これらのバイオマスは水処理施設での浄化工程副産物として最初沈殿池汚泥や余剰汚泥の形で発生し、嫌気性消化施設を有する処理場では濃縮されたのち消化タンクに投入され嫌気性微生物の働きで分解ガス化される。この時発生する消化ガスは再生可能エネルギー資源として利用できることから世界的に注目され、嫌気性消化施設の導入が世界的に進められている。

我が国では約 280 カ所程度の下水処理場で嫌気性消化設備が導入されているが、図２－1 に示すように流入下水量 1 万 m^3 当たりのガス発生量は 199m^3 以下～1000 m^3 以上まで大きな差がみられる。この違いが発生する要因としては流入下水の有機物（BOD、SS）濃度や嫌気性消化施設の運転条件（消化温度、消化日数など）にも関係するが、水処理施設の運転管理に起因することが最も大きい。

処理場に流入するバイオマス（有機性物質）から効率的に消化ガスとして回収する処理場の運転管理手法について検討した。

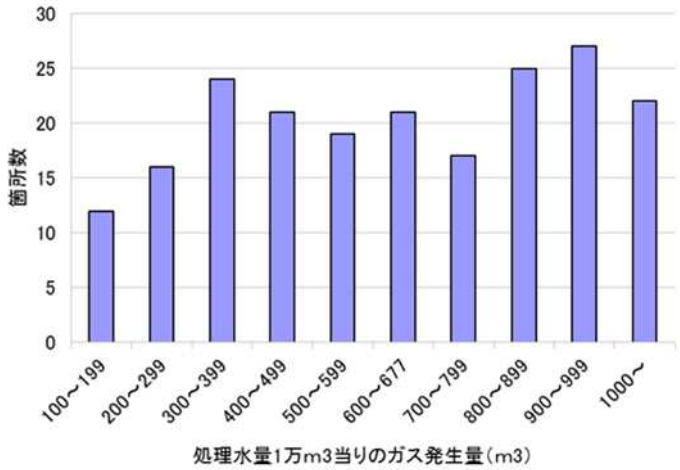


図２－1　処理水量 1 万 m^3 当たりのガス発生量の実態

２．２　　メタン発酵のメカニズムと汚泥の基本性状

２．２．１　　メタン発酵の基本メカニズム

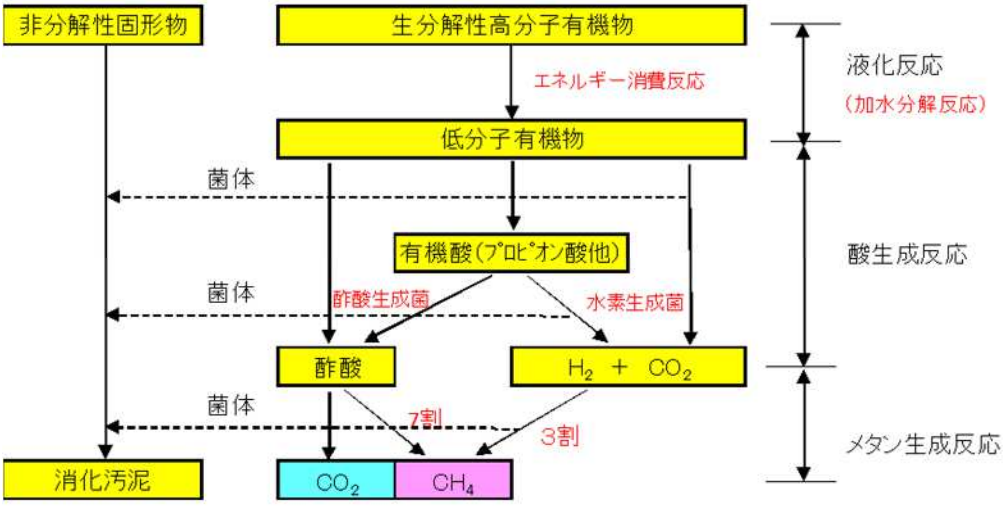


図 2－2　メタン発酵のメカニズム

「嫌気性消化」と表現するのは下水道とし尿処理の分野のみで、他のバイオマス処理分野、エネルギー回収を目的とする場合などは「メタン発酵」又は「バイオガス化」と呼ばれているが基本的には同じものである。

図 2－2 にメタン発酵の基本メカニズムを示した。バイオマス（有機性物質）の全てがメタン発酵の対象となるわけではなく、有機物のうち液化反応（加水分解反応）されるもののみが対象となる。液化反応により低分子化された有機物は酸生成菌の働きでプロピオン酸等の有機酸になり、さらに酢酸や H_2 にまで変化する。これらを酸生成反応（酸発酵）と呼ぶが俗にいう「腐敗現象」のことである。

酸生成反応で生成した酢酸や H_2 はメタン生成菌の働きでメタンガス CH_4 や炭酸ガス CO_2 にまで分解される。全メタンガス生成量のうち酢酸経由が 7 割、H_2 経由が 3 割程度といわれている。

酢酸生成菌は増殖速度が大きく（倍化時間：数時間～1 日程度）外的要因の変化にも強いが、メタン生成菌は増殖速度が小さく（倍化時間：3～7 日程度）外的要因の変化にも弱い。安定したメタン発酵を行うにはメタン菌の安定した活動環境を確保することが最も重要となる。

2．2．2　　処理場で発生する汚泥の基本性状

一般的な下水処理場で発生する汚泥には大きく分けて、図 2－3 に示すように最初沈殿池で発生する初沈汚泥と最終沈殿池から発生する余剰汚泥がある。処理場の運転管理方法によっても異なるが全発生量のうち固形物ベースで初沈汚泥が 6～7 割、余剰汚泥が 3～4 割程度である。

水処理で硝化脱窒などの高度処理運転を行っているところでは初沈汚泥の一部を反応タンク嫌気槽部に投入したり、あらかじめ最初沈殿池をバイパスして下水中の有機分を脱窒素反応における炭素源として利用しているところもある。このような処理場では初沈汚泥の発生量は少なくなる。

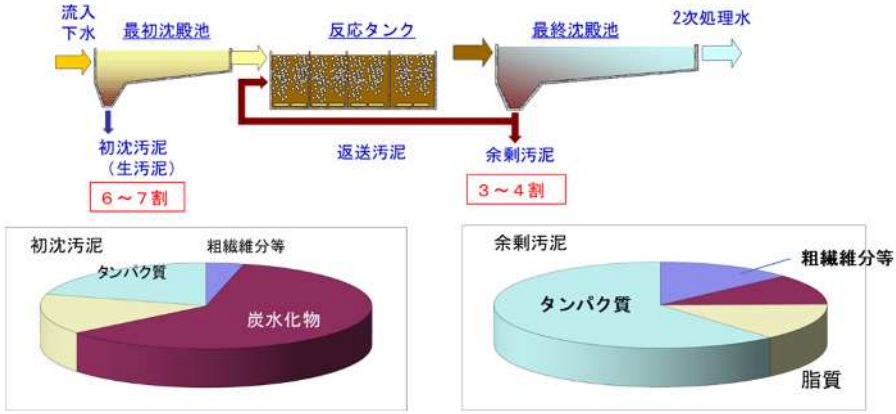


図 2－3　初沈汚泥と余剰汚泥の発生割合と成分組成

初沈汚泥と余剰汚泥の有機分組成は大きくことなり、初沈汚泥は炭水化物が主体のため生物分解を受けやすく、メタン発酵に適している。一方、余剰汚泥は活性汚泥微生物に起因するタンパク質主体の汚泥で、加水分解性がやや低いためメタン発酵性は低いが窒素、リンの含有量が高く肥料原料に適した汚泥といえる。

表 2－1　初沈汚泥と余剰汚泥のメタン発酵試験結果の一例

処理場名	初沈汚泥				余剰汚泥				備考
	pH	有機分率	ガス発生量	VS分解率	pH	有機分率	ガス発生量	VS分解率	
	—	%	m3/ t -VS	%	—	%	m3/ t -VS	%	
埼玉県N水再生センター	5.8	91.4	653	68.7	6.4	82.0	249	38.8	硝化促進運転
岡山県K浄化センター	—	83.9	553	67.1	—	77.2	362	37.9	多段ステップ法
高知県T浄化センター	5.9	93.1	635	58.8	6.5	86.4	344	30.8	疑似嫌気好気法
滋賀県K浄化センター	4.5	90.3	653	63.5	6.4	77.1	—	—	高度処理法
宮城県M浄化センター	5.6	91.1	719	—	6.6	76.9	393	—	硝化抑制運転
栃木県M水処理センター	6.1	92.3	771	—	6.5	83.0	247	—	硝化促進運転

表 2－1 は、過去日本下水道事業団（JS）で初沈汚泥と余剰汚泥のメタン発酵試験を行った試験結果の一例である。投入 VS 当たりのガス発生量は、初沈汚泥の場合 550～770 m^3/t-VS、余剰汚泥では 250～400 m^3/t-VS となっており、VS 分解率も初沈汚泥では 60～70%程度、余剰汚泥では 30～40%程度となっている。初沈汚泥は余剰汚泥に比べ極めてメタン発酵性の高い汚泥であることがわかる。

２．３　　初沈汚泥と余剰汚泥のメタン発酵性

２．３．１　　初沈汚泥の管理とメタン発酵性

表２－１に示したように初沈汚泥の投入 VS 当り平均的ガス発生量は 650 m^3/t-VS であるが 550～770 m^3/t-VS と処理場によって大きな差がみられる。この要因の一つとして図２－４に示すように最初沈殿池と重力濃縮槽の運転管理法の違いが考えられる。

最初沈殿池からの汚泥引き抜きは一つのポンプで複数の池を順次、間欠的に引き抜くのが一般的で、流入下水量に対する初沈汚泥引き抜き量（引き抜き率）は約 1.5%程度である。処理場によっては濃縮プロセスへの負荷量を低減するため最初沈殿池での汚泥の貯めこみにより少しでも濃度の高い汚泥を引き抜くような運転を行っている。

また、初沈汚泥の濃縮プロセスとしては重力濃縮法が一般的であるが、後段の汚泥処理プロセスへの負荷量低減を目標に少しでも高濃度の汚泥で引き抜くよう長時間（12 時間以上）貯めこみ運転を行っている箇所が多い。

前述したように初沈汚泥は炭水化物主体の分解性の高い汚泥であり、最初沈殿池汚泥ホッパーや重力濃縮槽での長時間の滞留時間内に加水分解反応及び酸発酵が始まり、生成した有機酸が分離液とともに返流水負荷として水処理プロセスに戻ることになる。結果的にメタン発酵性の低い汚泥成分のみが消化槽に投入されることとなる。

初沈汚泥の高いメタン発酵ポテンシャルを最大に引き出すには、図２－４に示すよう最初沈殿池や重力濃縮槽での必要以上の長時間貯めこみを避けることが重要となる。

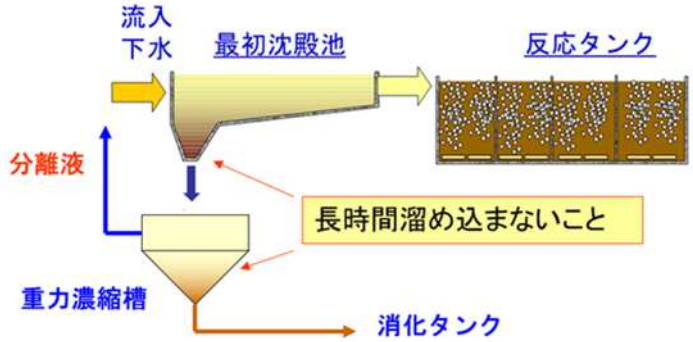


図２－４　メタン発酵性から見た初沈汚泥の管理

ちなみに、表２－１に示す栃木県Ｍ水処理センターでは初沈汚泥の引き抜き率は 3.7%と高く、重力濃縮槽（滞留時間：1.5 時間）→機械濃縮（常圧浮上濃縮）→消化槽に送られている。投入 VS 当たりのガス発生量が 770 m^3/t-VS（計算値）は生ごみのメタン発酵性に匹敵する高い値となっている。

メタン発酵を行っている処理場のガス発生量の季節変動を調べると多くの処理場において、程度に差はあるが夏季に少なく冬季に増加している。水温の高い夏季は沈殿池や重力濃縮槽において汚泥の加水分解と酸発酵が進み、結果的にメタン発酵性の低い汚

泥が消化槽に投入されるためと考えられる。図 2－5 に示すように、初沈汚泥の引き抜き率が 3.7%と高く、重力濃縮（貯留時間 1.5hr）を経て機械濃縮後速やかに消化槽に投入している栃木県 M 水処理センターではガス発生量の季節変動は小さく、年間を通じて安定したガス発生がみられる。

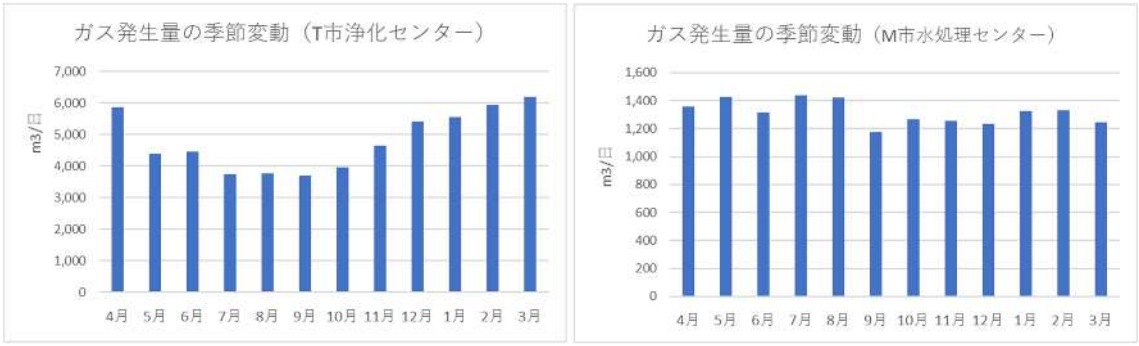


図 2－5 ガス発生量の季節変動が一般的な処理場（左）と変動の小さい処理場（右）の例

2．3．2　　水処理反応タンクの管理と余剰汚泥のメタン発酵性

表 2－1 に示すように余剰汚泥の投入 VS 当りガス発生量は 250～400m³/t-VS となっている。余剰汚泥は基本的に微生物の集合体であり、それ自体は生きている限り加水分解を受けないためメタン発酵にはつながらない。余剰汚泥は水処理反応タンク内でタンクに流入する BOD 成分を餌に増殖した微生物体の一部である。活性汚泥微生物は BOD 成分を細胞表面に吸着した後、可溶化酵素の働きで溶解性分として細胞内に取り込みそれをエネルギー源として維持活動・増殖を行う。細胞内に取り込んだ有機分の一部は細胞内脂肪として蓄えられる。細胞内脂肪の量は反応タンクに流入する BOD 量と反応タンク内微生物量（MLSS 濃度×反応タンク容量）の割合、つまり BOD-SS 負荷量（F/M とも表現する）に関係する（図 2－6 及び図 2－7 参照）。

図 2－6　水処理施設における微生物量 SS（MLSS）とエサの量（BOD）の概念図

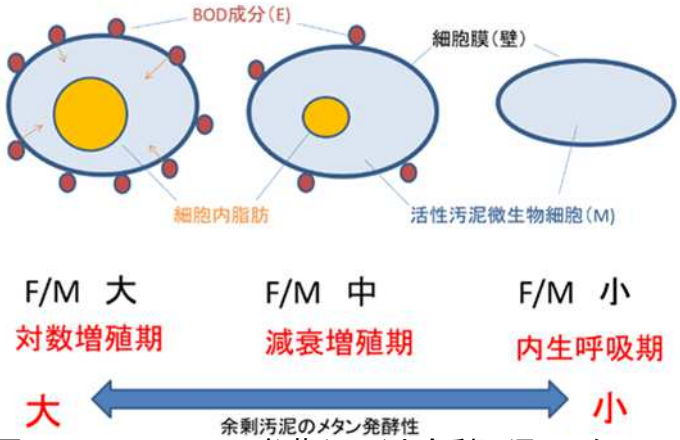


図 2－7　BOD－SS 負荷（F/M）と余剰汚泥のメタン発酵性

細胞内脂肪はメタン発酵の基質となることから、この含有量が高い余剰汚泥程、すなわち BOS-SS 負荷の高い条件で運転を行っている処理場（標準活性汚泥法の場合 0.20～0.40kg/kg 日）の余剰汚泥は比較的メタン発酵性が高い。一方、循環式硝化脱窒法で運転を行っているような低 BOD-SS 負荷（0.05～0.10kg/kg 日）処理場の余剰汚泥はメタン発酵性が低い。オキシデーションディッチ法（OD 法）や標準活性汚泥法でも硝化促進運転を行っている処理場の汚泥も同様に低い。

放流水の窒素濃度規制は受けていないが処理の安定性を目的に硝化促進運転を行っている箇所（表 2－1 の栃木県 M 水処理センターなど）でも、余剰汚泥の投入 VS 当りガス発生量は 200～250m³/t-VS 程度と低い。OD 法では低 BOS-SS 負荷（0.02～0.05kg/kg 日程度）で運転管理されるため、OD 法の汚泥の投入 VS 当りガス発生量は 150～200m³/t-VS と極めて低い。

２．４　　検討結果および考察

初沈汚泥は炭水化物主体の分解性の高い汚泥であり、最初沈殿池汚泥ホッパーや重力濃縮槽での長時間の滞留時間内に加水分解反応及び酸発酵が始まり、生成した有機酸が分離液とともに返流水負荷として水処理プロセスに戻ることになる。結果的にメタン発酵性の低い汚泥成分のみが消化槽に投入されることとなるため、初沈汚泥の高いメタン発酵ポテンシャルを最大に発揮するには、最初沈殿池や重力濃縮槽での必要以上の長時間貯めこみを避けることが重要となる。

表 2－2 は、水処理施設反応タンク BOD-SS 負荷の異なる 2 カ所の処理場で採取した余剰汚泥のメタン発酵試験結果である。

宮城県 M 浄化センターは硝化抑制運転を行っており BOD-SS 負荷は平均 0.20kg/kg 日で、余剰汚泥の投入 VS 当りガス発生量は 393m^3/t-VS と高い。

一方栃木県 M 水処理センターでは硝化促進運転を採用しており BOD-SS 負荷は 0.10kg/kg 日と低い。余剰汚泥の投入 VS 当りのガス発生量は 245m^3/t -VS と相対的に低い値となっている。

汚泥からのバイオガスとしてのエネルギー回収を高めるうえでは、反応タンクにおける BOD-SS 負荷は必要以上に小さくしないことが重要となる。

表 2－2　反応タンクの BOD-SS 運転と余剰汚泥のメタン発酵性

	MLSS	HRT	BOD/SS	VS 当りガス量	備考
	mg/L	hr	kg/kg 日	m^3/t-VS	
宮城県M浄化センター	1,440	7.7	0.20	393	硝化抑制運転
栃木県M水処理センター	1,950	13.3	0.10	245	硝化促進運転

２．５　　主たる成果

下水処理場には人間が生活を続ける限り枯渇の恐れがない貴重な再生可能バイオマス資源が流入しているが、そのエネルギーポテンシャルは処理場で消費する電力エネルギーの 2～3 倍にも相当する。これら処理場に流入してくるバイオマス資源を効率的に回収しメタン発酵によりエネルギー転換を図るためには、水処理施設における運転管理において以下の点に注意することが重要であることを明かにした。

（１）　最初沈殿池汚泥の管理

最初沈殿池にて沈降分離した汚泥は速やかに引き抜き濃縮工程に送る。重力濃縮槽でも長時間の滞留は避け腐敗（酸発酵）する前に消化槽に投入する。特に水温の高い夏季には留意する。

最初沈殿池における汚泥の回収率を高めるためには流入下水へのポリ鉄などの凝集剤添加も効果的である。重力濃縮に代え機械濃縮を採用することも検討に値する。

（２）　余剰汚泥の管理

余剰汚泥のメタン発酵性は反応タンクの BOD-SS 負荷に大きく左右される。放流水の窒素規制を受けていなくても処理の安定性の面から反応タンクで硝化促進運転（BOD-SS の低負荷）を行っている箇所もあるが、再検討することが望まれる。

第３章　嫌気性消化施設の導入、地域バイオマス受け入れにおける処理場マスバランスの検討

３．１　検討の概要

地球温暖化対策や持続性のある社会経済活動への転換を目的に下水汚泥や地域未利用バイオマスの積極的な活用が叫ばれていることから、従来嫌気性消化を採用していなかった下水処理場では消化施設の導入や、既に消化施設を有する下水処理場では近隣の未利用バイオマスを下水処理場に受け入れて下水汚泥との混合メタン発酵を検討するケースの増加が予測される。

下水処理場に新たに嫌気性消化施設の導入や、地域バイオマスを受け入れて混合メタン発酵を行うことでバイオガスとしてのエネルギー回収利用が可能となる一方で、消化残渣である汚泥発生量の減量あるいは増加、消化脱水ろ液としての水処理施設への返流水負荷増などが懸念される。

そこで、下水処理場に新たに嫌気性消化システムを導入する場合や、既設嫌気性消化システムに地域バイオマスを受け入れた場合に生じる、バイオガス発生量、汚泥発生量、返流水負荷量をあらかじめ試算できるシュミレーションシステムを構築することを目的として検討を行った。

３．２　　シミュレーションモデルを用いた検討

３．２．１　　検討の概要

下水処理場に地域バイオマスを受け入れ、下水汚泥との混合メタン発酵を行った場合の汚泥処理機能及び水処理機能への影響を推測するためのシミュレーションモデル（活性汚泥モデル＋汚泥処理モデル）構築の検討を行った。

使用ソフトには世界的に実績のある BioWin を用いた。大分県 H 浄化センター（日平均流入下水量　16,500m³/日：標準活性汚泥法）を検討の対象モデル施設とし、当該浄化センターに何種類かの地域バイオマスを受け入れた場合の放流水質への影響、汚泥発生量、バイオガス発生量等を試算した。

シミュレーションにおけるインプット条件、アウトプットのイメージを図 3－1 に示した。

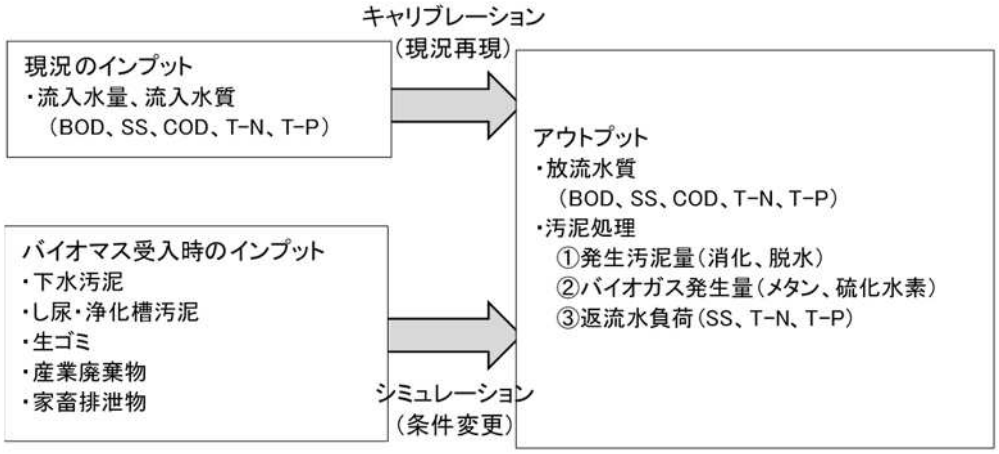


図 3－1　シミュレーションのインプット、アウトプットのイメージ図

３．２．２　　プロセスモデルの構築とキャリブレーション（現況）

構築したシミュレーションのためのプロセスモデルを図 3－2 に示した。シミュレーションではプロセスモデルで使用する各種パラメータ値・設計負荷の調整によるキャリブレーションを実施し、プロセスモデルごとの処理水質・汚泥処理量・固形物量・消化ガス発生量等に関し一定の再現性を確保できたことを確認し、現況モデルを構築した。

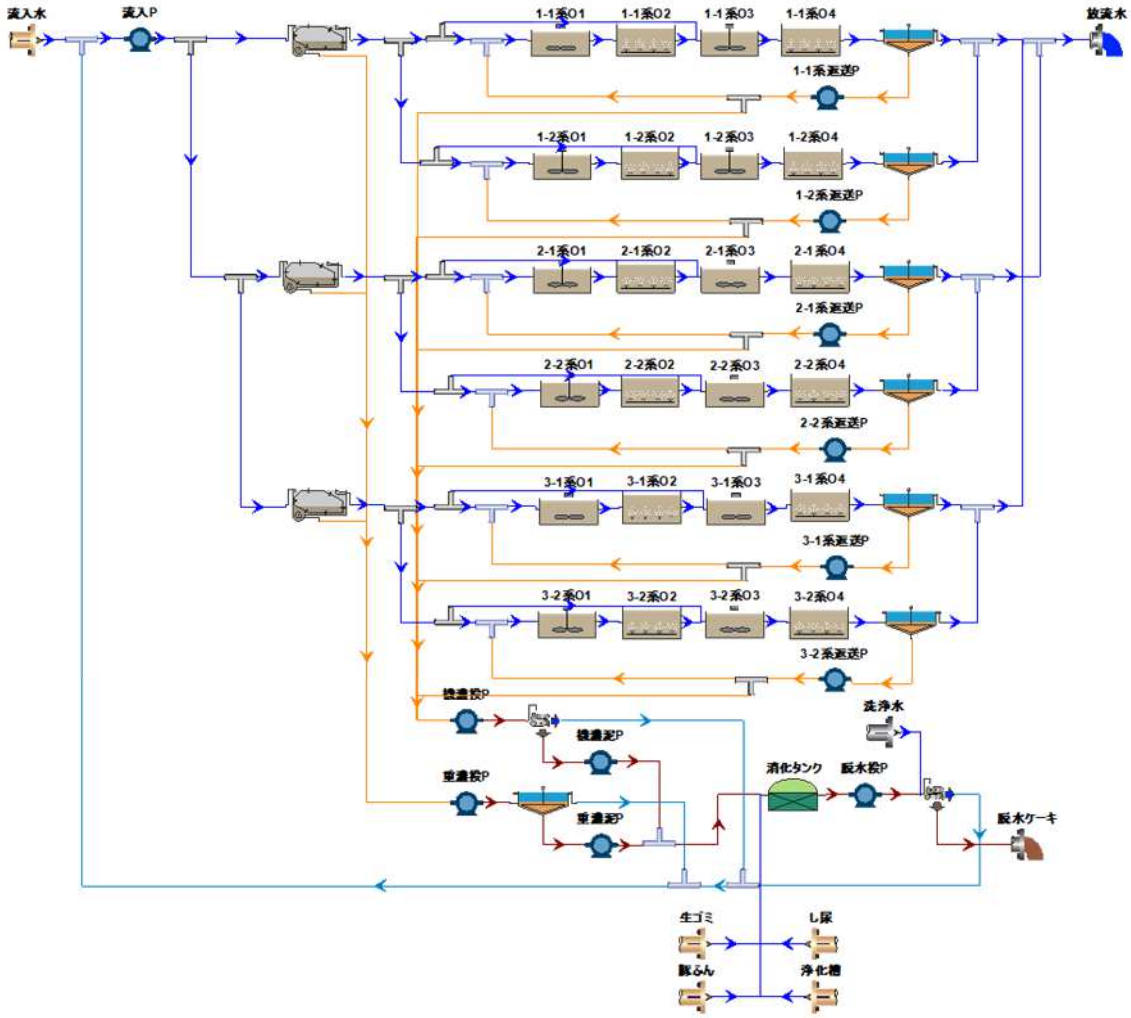


図 3－2　構築したシミュレーションプロセスモデル

3．2．3　　シミュレーションモデルによる計算結果と課題

図 3－3 に、活性汚泥モデル計算結果をもとに作成した現況マスバランスシートを示した。また、図 3－4 に当該処理場に生ごみ 16m³/日、豚ふん尿 21m³/日を受け入れた場合のモデル計算結果によるマスバランスシート事例を示した。

マスバランスシミュレーションでは現況のインプットデータに対しモデル計算結果のアウトプットが現状データに合致するようキャリブレーション（パラメーターの調整）が最も重要となる。いったん構築すれば様々なインプット条件の変更に対し処理水質や汚泥発生量等結果が容易に求められる。

しかし、これらシミュレーション結果の妥当性の評価が困難なことが課題としてあげられる。

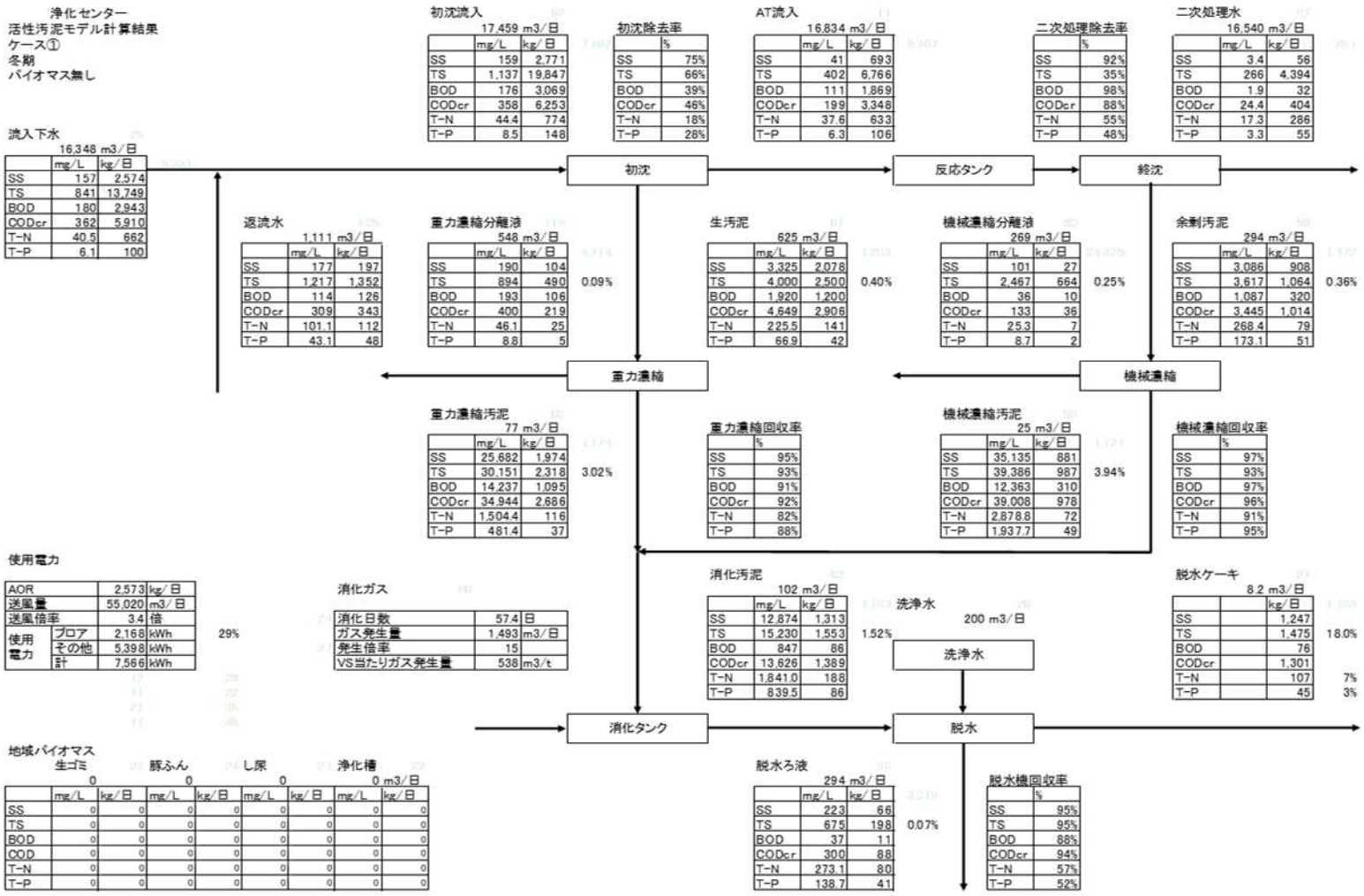


図 3－3 マスバランスの計算結果（現況：バイオマス受け入れ無し）

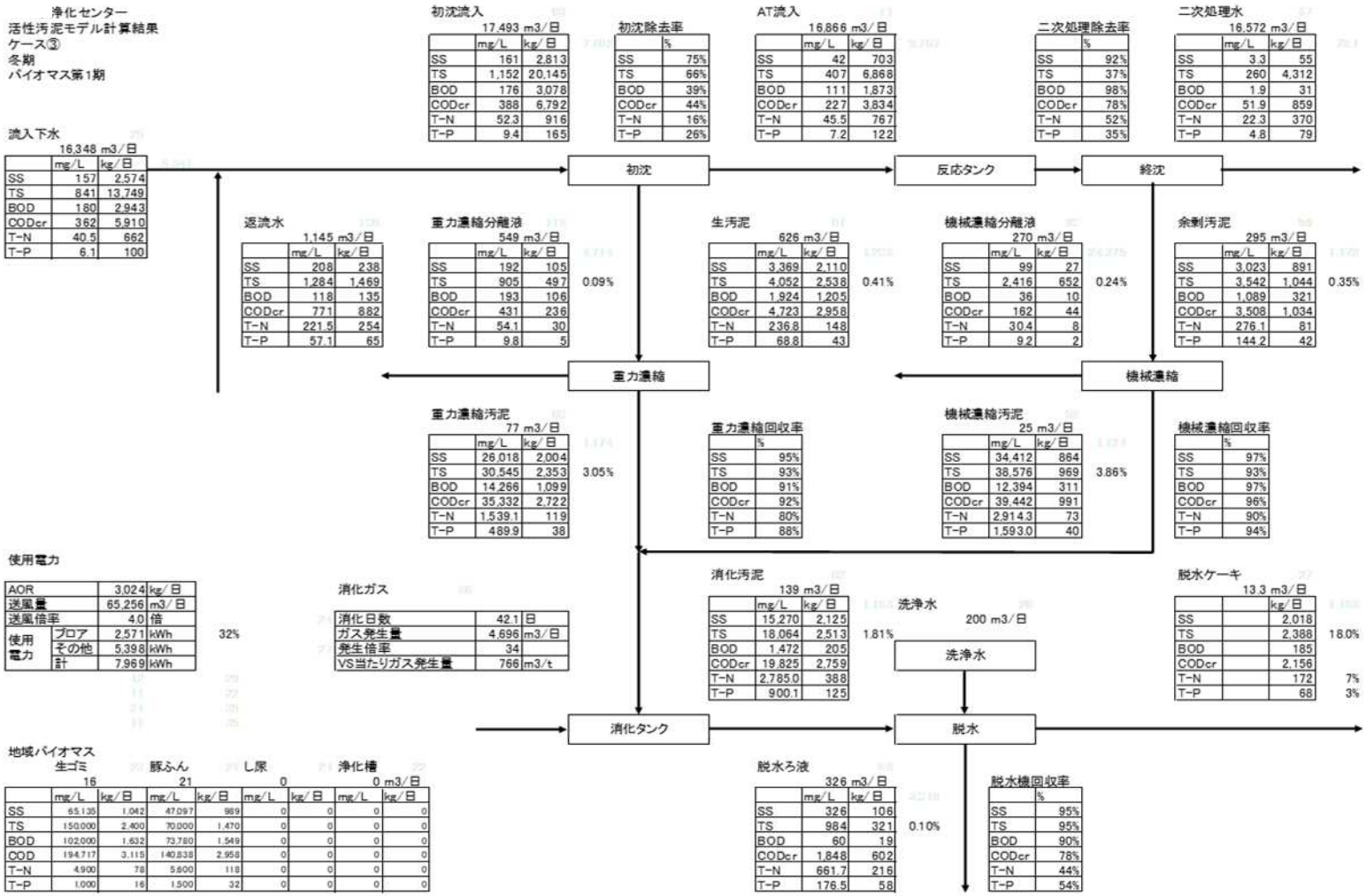


図 3−4　バイオマス受け入れた時のマスバランスシートの事例

３．２．４　シミュレーション結果の妥当性の検証

シミュレーションモデルで試算した結果が実際の運転結果にどの程度整合しているかを確認するため、最近新たに嫌気性消化プロセスを導入した埼玉県 M 水循環センターを対象に検証を行った。

嫌気性消化施設導入前の 3 年間の運転管理データをもとにキャリブレーションを行い、シミュレーションモデルを構築した。このモデルで嫌気性消化工程を導入後の処理水質、汚泥発生量等の予測結果と、実際に嫌気性消化プロセス稼働後の運転管理データとの整合性を調査した。処理水質等を中心にモデル計算値と実際の運転管理測定値等に不整合が見られた。（詳細データは非掲載）

この不整合の要因は消化槽導入前の運転管理データをもとに行ったキャリブレーションにあると考えられた。精度の高い予測を行うには実際の処理場マスバランスを正確に反映したキャリブレーションを行うことが最も重要である。処理場維持管理データが必ずしも処理場の代表的平均値を示しているとは限らない可能性があり、維持管理データを絶対視してキャリブレーションを行うことは単なる数字合わせゲームになることが懸念される。

信頼性の高いシミュレーションモデルの構築とモデル計算による将来予測を行うためには、処理場の現状のマスバランスを正確に把握することが基本となる。

３．３　　マスバランス実態調査

３．３．１　　マスバランス現地調査

下水処理場に新たに嫌気性消化施設を導入する場合や地域バイオマスを受け入れて混合メタン発酵を行う場合、当該処理場のマスバランス（有機物、窒素、リンなど収支）がどう変化するかを知る必要がある。そこで処理方式の異なる 4 か所の下水処理場（表 3－1）の協力を得てマスバランス実態調査を実施した。

表 3－1　マスバランス実態調査の対象とした処理場の概要

処理場名	処理場規模、水処理、汚泥処理方式	処理場の特徴
栃木県K浄化センター	流入水量：25,600m3/日 水処理方式：標準活性汚泥法 汚泥処理：濃縮＋嫌気性消化＋脱水	・消化ガス発電で電力創エネ率70％
静岡県B浄化センター	流入水量：35,500　m3/日 水処理方式：標準活性汚泥法 汚泥処理：濃縮＋脱水＋焼却	・生脱水＋焼却処理の処理場
北海道E終末処理場	流入水量：27,700　m3/日 水処理方式：標準活性汚泥法 汚泥処理：濃縮＋嫌気性消化＋脱水	・地域未利用バイオマス（し尿、生ごみ）を受け入れ消化ガス発電により電力創エネ率100％を達成している
栃木県M水処理センター	流入水量：14,500 m3/日 水処理方式：標準活性汚泥法 汚泥処理：濃縮＋嫌気性消化＋脱水	・水処理で硝化促進運転 ・初沈汚泥と余剰汚泥との混合機械濃縮

表 3－2～表 3－5 に、各処理場マスバランス調査における水質等分析結果を、図 3－5～図 3－8 に、分析結果等を基に作成したマスバランスを示した。

いずれの処理場においても各施設間におけるマスバランス（固形物収支）が完全に一致することは少ないが、各施設における固形物回収率や汚泥処理施設からの返流水負荷等、処理場全体のマスバランスが把握できる。

表 3−2 栃木県 K 浄化センターマスバランス調査における水質等分析結果

浄化センターマスバランス検討水質分析業務（全体まとめ） 1回目：R2年10月29日（木） 2回目：R2年12月7日（月） 3回目：R3年1月14日（木） 20210210

	単位	①流入下水				②初沈流入水				③エアタン流入水				④処理水				⑤初沈引抜汚泥				⑥重力濃縮分離液				⑦重力濃縮汚泥			
		1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均
流量	m3/日	—	—	—	25,600	—	—	—	27,600	—	—	—	26,600	—	—	—	25,700	—	—	—	950	—	—	—	823	—	—	—	128
pH	—	7.0	7.1	—	7.1	7.2	7.3	—	7.25	7.2	7.3	—	7.25	7.1	7.2	—	7.2	6.1	6.6	—	6.4	6.6	6.7	—	6.7	4.8	5.1	—	5.0
アルカリ度	mg/L	155	138	—	147	205	200	—	203	130	180	—	155	100	110	—	105	—	—	—	—	235	176	—	206	—	—	—	—
有機酸	mg/L	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	26.3	29	—	28	14.6	20.9	—	17.8	35.5	37.0	—	36.3
TS	mg/L	270	520	448	413	390	515	324	410	200	286	292	259	276	222	249	249	7,880	6,280	—	7,080	310	250	288	283	27,500	24,500	20,300	24,100
VS	mg/L	240	325	—	283	280	330	—	305	110	156	—	133	—	—	—	—	7,440	5,660	—	6,550	190	195	—	193	24,700	22,900	—	23,800
SS	mg/L	116	220	—	168	119	250	—	185	26	34.4	—	30.2	2	2.8	—	2.4	5,430	5,300	—	5,365	109	98	—	103	18,600	23,200	—	20,900
VSS	mg/L	50	174	—	112	63	180	—	122	11.0	18.0	—	14.5	—	—	—	—	3,760	4,200	—	3,980	70	44	—	57	13,000	19,300	—	16,150
CODcr	mg/L	552	502	399	484	220	533	396	383	229	169	100	166	24.0	25.0	—	24.5	13,300	9,100	—	11,200	598	435	299	444	41,600	42,200	31,200	38,333
sol−CODcr	mg/L	133	106	—	120	104	112	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	377	152	—	265	5,800	3,430	—	4,615
BOD	mg/L	188	203	—	196	71.4	231	—	151	47.3	88.4	—	67.9	10.6	13.6	—	12.1	—	—	—	—	305	246	—	276	—	—	—	—
sol−BOD	mg/L	73.7	62.8	—	68	59.8	63.2	—	61.5	35.4	46.2	—	40.8	—	—	—	—	—	—	—	—	52.8	168	—	110	—	—	—	—
CODMn	mg/L	137	138	—	138	77	132	—	104.5	51.6	57.1	—	54.4	9	10	—	10	—	—	—	—	131	112	—	122	—	—	—	—
T−N	mg/L	38.8	47.3	53.7	46.6	53.8	57.3	55	55.4	45.0	47.4	46.2	46.2	22.1	23.7	25.4	23.7	471	281	—	376	58.8	58.3	52.4	56.5	1,610	1,200	979	1,263
sol−T−N	mg/L	30.7	36.8	—	33.8	44.0	52.8	—	48.4	40.7	43.8	—	42.3	19.7	22.6	—	21.2	77.0	73.5	—	75.3	48.5	49.4	—	49.0	142	173	—	158
NH4−N	mg/L	24.4	28.4	—	26.4	36.4	44.2	—	40.3	37.4	36.7	—	37.1	21.2	20.1	—	20.7	41.5	67.3	—	54.4	39.9	41.0	—	40.5	190	150	—	170
NO3−N	mg/L	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.2	0.6	—	0.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
T−P	mg/L	4.3	5.0	4.9	4.7	7.8	7.3	7.7	7.6	5.2	5.4	7.5	6.0	2.3	1.2	2.6	2.0	70.5	44.2	—	57.4	12.0	11.0	8.5	10.5	214	174	130	173
sol−T−P	mg/L	2.7	3.0	—	2.9	5.9	5.9	—	5.9	4.5	4.7	—	4.6	—	—	—	—	19.5	18.3	—	18.9	10.6	9.7	—	10.2	49.7	53.7	—	51.7
PO4−P	mg/L	2.5	2.3	—	2.4	5.8	5.2	—	5.5	4.5	4.2	—	4.35	2.1	1.1		1.6	20.4	15.9	—	18.2	10.8	9.3	—	10.1	12.1	53.6	—	32.9
ffCODcr	mg/L	—	58	—	58	—	—	—	—	—	59.3	—	59.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

	単位	⑧余剰引抜汚泥				⑨機械濃縮分離液				⑩機械濃縮汚泥				⑪消化槽投入汚泥				⑫脱水機投入汚泥				⑬脱水分離液				⑮脱水汚泥				
		1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均	単位	1回目	2回目	3回目	平均
流量	m3/日	—	—	—	310	—	—	—	260	—	—	—	46	—	—	—	174	—	—	—	167	—	—	—	200	t/日	—	—	—	8.81
pH	—	6.6	6.8	—	6.7	6.9	6.9	—	6.9	6.2	6.2	—	6.2	5.3	5.4	—	5.4	—	—	—	—	7.8	7.9	—	7.9		—	—	—	—
アルカリ度	mg/L	—		—		115	112	—	114	—	—	—	—	430	550	—	490	—	—	—	—	2,860	2,950	—	2,905		—	—	—	—
有機酸	mg/L	34.3	27	—	30.7	12.6	21	—	16.8	33.9	34.2	—	34.1	25.5	29	—	27.3	29.1	32.9		31.0	25.1	27	—	26.1		—	—	—	—
TS	mg/L	4,060	4,920	4,570	4,517	506	600	340	482	26,500	28,600	35,700	30,267	22,200	24,000	22,400	22,867	11,500	11,100	11,000	11,200	860	1,030	1,040	977	%	20.0	17.9	17.4	18.4
VS	mg/L	3,780	4,220	—	4000	246	270	—	258	23,300	24,700	—	24,000	16,900	22,100	—	19,500	9,300	9,080	—	9,190	400	420	—	410	%TS	77.1	84.7	—	80.9
SS	mg/L	3,800	4,320	—	4060	191	90	—	140	21,300	23,200	—	22,250	20,600	19,100	—	19,850	10,800	9,300	—	10,050	27.5	52.5	—	40		—	—	—	—
VSS	mg/L	2,490	3,400	—	2945	83	56	—	70	15,800	16,400	—	16,100	18,700	15,400	—	17,050	10,200	8,300	—	9,250	19.9	43	—	31.5		—	—	—	—
CODcr	mg/L	6,680	6,480	6,320	6,493	310	368	315	331	44,400	37,900	41,600	41,300	41,300	39,600	30,600	37,167	19,400	13,400	13,700	15,500	296	297	354	316		—	—	—	—
sol−CODcr	mg/L	158	64	—	111	26	49	—	38	2,100	2,830	—	2,465	8,300	5,810	—	7,055	329	302	—	316	219	210	—	215		—	—	—	—
BOD	mg/L	—	—	—	—	230	283	—	257	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	34	18.6	—	26.3		—	—	—	—
sol−BOD	mg/L	—	—	—	—	19	7.6	—	13.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	32.9	17.4	—	25.2		—	—	—	—
CODMn	mg/L	—	—	—	—	128	122	—	125	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	152	145	—	149		—	—	—	—
T−N	mg/L	406	417	358	394	36.6	37.3	43.9	39.267	3,200	2,410	2,190	2600	2,160	1,550	1,130	1,613	1,820	1,680	1,700	1,733	900	880	931	904	%	1.35	1.45	1.36	1.39
sol−T−N	mg/L	35.8	33.6	—	34.7	23.9	22.3	—	23.1	141	88.3	—	115	428	403	—	416	882	890	—	886	864	800	—	832		—	—	—	—
NH4−N	mg/L	26.2	38	—	32.1	16.6	19	—	17.8	165	129	—	147	213	338	—	276	1,000	992	—	996	664	767	—	716		—	—	—	—
T−P	mg/L	119	106	119	115	22.1	25.8	21.8	23.233	759	615	940	771	446	388	273	369	276	227	328	277	131	133	169	144	mg/kg	8,000	7,770	7,890	7,887
sol−T−P	mg/L	61.4	68.6	—	65.00	19.1	20.5	—	19.8	305	300	—	303	219	218	—	219	149	153	—	151	119	125	—	122		—	—	—	—
PO4−P	mg/L	48.8	50.8	—	49.8	19.1	19	—	19.1	247	236	—	242	149	204	—	177	264	227	—	246	129	131	—	130		—	—	—	—
ffCODcr	mg/L	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—

220228

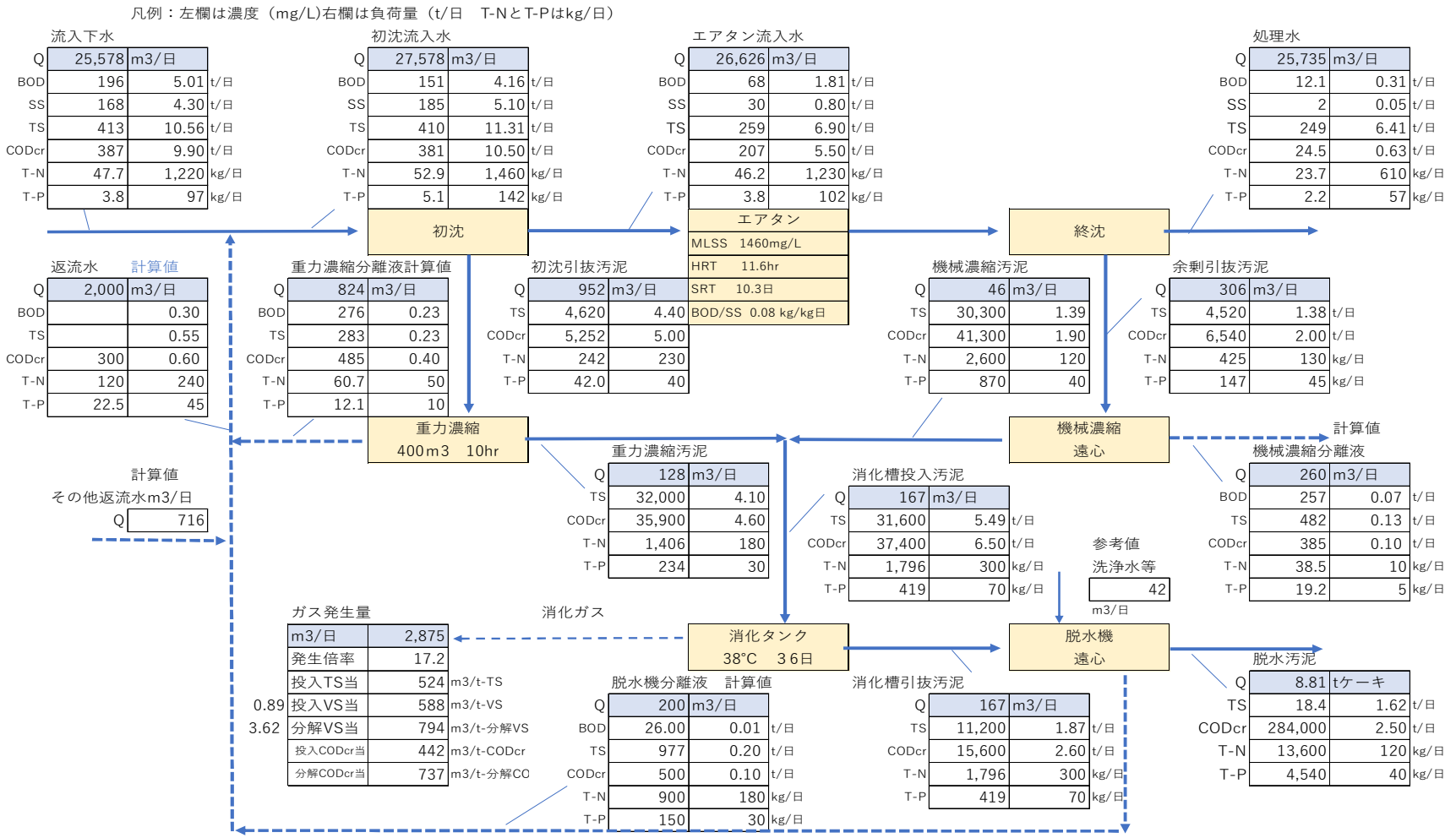


図 3−5　栃木県 K 浄化センターのマスバランス

表 3－3　静岡県 B 浄化センターマスバランス調査における水質等分析結果

浄化センターマスバランス水質調査結果（総括）　　第1回：R2年9月29日（火）　　第2回：R2年11月17日（火）　　第3回：R3年1月13日（水）　　20220228

	単位	①流入下水				②初沈流入水				③エアタン流入水				④処理水				⑤初沈引抜き汚泥				⑥重力濃縮分離液				⑦重力濃縮汚泥			
		第1回	第2回	第3回	平均	第1回	第2回	第3回	平均	第1回	第2回	第3回	平均	第1回	第2回	第3回	平均	第1回	第2回	第3回	平均	第1回	第2回	第3回	平均	第1回	第2回	第3回	平均
水量	m3/日	36,179	35,070	35,386	35,545	39,030	37,780	38,110	38,307	37,759	36,551	36,732	37,014	39,400	38,620	40,900	39,640	1,271	1,229	1,378	1,293	1,091	1,049	1,203	1,114	180	180	175	178
pH	—	7.3	7.2	—	7.3	7.3	7.2	—	7.3	7.2	7.2	—	7.2	6.9	—	—	6.9	7.2	6.2	—	6.7	6.5	6.5	—	6.5	5.0	4.9	—	5.0
アルカリ度	mg/L	190	180	—	185	180	190	—	185	140	170	—	155	63	—	—	63	—	—	—	—	140	—	—	140	—	—	—	—
有機酸	mg/L	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	<50	480		480	<50	—	—	—	—	—	—	—
TS	mg/L	530	570	790	630	470	560	540	523	320	360	340	340	240	170	270	227	560	5,200	17,000	7,587	560	890	570	673	28,000	34,000	37,000	33,000
VS	mg/L	340	290	—	315	270	310	—	290	130	140	—	135	—	—	—	—	350	4,600	—	2,475	350	—	—	350	27,000	—	—	27,000
SS	mg/L	140	140	200	160	140	160	230	177	43	36	36	38	2	1	—	1.5	240	3,600	15,000	6,280	100	260	150	170	29,000	30,000	31,000	30,000
VSS	mg/L	120	110	—	115	110	150	—	130	28	30	—	29	—	—	—	—	200	2,900	—	1,550	89	—	—	89	25,000	—	—	25,000
CODcr	mg/L	320	440	420	393	330	390	430	383	160	200	170	177	19	24	27	23	450	6,300	17,000	7,917	540	610	650	600	38,000	36,000	33,000	35,667
sol-CODcr	mg/L	110	170	—	140	120	160	160	147	86	140	99	108	—	—	—	—	99	320	—	210	180	—	—	180	2,000	—	—	2,000
BOD	mg/L	140	150	310	200	110	140	200	150	49	62	54	55	2.5	2	—	2.3	—	—	—	—	200	300	300	267	—	—	—	—
sol-BOD	mg/L	35	35	—	35	31	35	—	33	19	19	—	19	—	—	—	—	—	—	—	—	63	—	—	63	—	—	—	—
CODMn	mg/L	92	120	—	106	70	120	—	95	48	60	—	54	8.8	9.9	—	9.4	—	—	—	—	150	180	—	165	—	—	—	—
T-N	mg/L	48.9	48.6	56.7	51	43.2	48.1	50.5	47.3	29.8	35.3	28.3	31.1	5.87	6.53	8.95	7.12	52.7	255	431	246	48.1	63.1	51.8	54.3	1,110	1470	1,820	1,467
sol-T-N	mg/L	35.5	31.5	—	34	37.5	29.3		33.4	25	26	—	25.5	5.84	—	—	5.84	29.5	36.2	—	32.9	29.2	23.6	—	26.4	83.8	59.6	—	71.7
NH4-N	mg/L	30.8	31.0	34.8	32.2	29.4	29.5	33.2	30.7	21.6	24.4	20.1	22.0	0.16	0.31	—	0.24	28.1	46	—	37.1	25.3	27.3	29.8	27.5	54.3	62.1	—	58.2
NO3-N	mg/L	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4.63	5.07	—	4.85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
T-P	mg/L	5.55	4.65	13.5	7.9	5.36	4.62	8.74	6.24	4.67	3.43	2.95	3.68	1.69	1.38	2.44	1.84	7.13	46.7	84.2	46.0	8.77	8.94	7.21	8.31	213	218	231	221
sol-T-P	mg/L	3.75	2.40		3.1	3.91	2.39		3.15	3.70	3.05	—	3.38	—	—	—	—	4.08	5.8	—	4.9	4.86	2.88		3.87	31.1	22.4	—	26.8
PO4-P	mg/L	3.36	2.07	11.7	5.7	3.67	2.07	7.08	4.27	3.47	3.00	1.98	2.82	1.57	1.20	—	1.39	3.51	6.42	23.5	11.1	4.73	3.99	4.25	4.32	35.3	34.9	45.2	38.5
ffCOD	mg/L	—	78	—	78	—	—	—	—	—	48	—	48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

	単位	⑧余剰引抜き汚泥				⑨機械濃縮分離液				⑩機械濃縮汚泥				⑫脱水機投入汚泥				⑬脱水分離液				単位	⑮脱水汚泥				⑯焼却灰			⑰廃珪砂
		第1回	第2回	第3回	平均	第1回	第2回	第3回	平均	第1回	第2回	第3回	平均	第1回	第2回	第3回	平均	第1回	第2回	第3回	平均		第1回	第2回	第3回	平均	第1回	第2回	平均	（第3回）
水量	m3/日	523	458	508	496	469	406	463	446	53.9	52.3	45.4	50.5	230	259	258	249	205	228	229	221	t/日	24.9	30.6	29.1	28.2	0.63	0.58	0.61	—
pH	—	6.6	6.5	—	6.6	6.9	7.0	—	7.0	5.8	6.3	—	6.1	—	5.2	—	5.2	6.6	5.6	—	6.1		—	—	—	—	—	—	—	—
アルカリ度	mg/L	—	—	—	—	73	—	—	73	—	—	—	—	—	—	—	—	340	—	—	340		—	—	—	—	—	—	—	—
有機酸	mg/L	<50	68	—	68	<50	88	—	88	100	890		495.0	1,400	2,800	—	2,100	1,000	1,000	2,200	1,400		—	—	—	—	—	—	—	—
TS	mg/L	5,500	5,900	6,500	5,967	360	330	330	340	43,000	36,000	78,000	52,333	28,000	34,000	33,000	31,667	3,700	3,400	—	3,550	%	23.3	23.1	23.3	23.2	99.5	99.8	99.7	100
VS	mg/L	4,600	—	—	4,600	150	—	—	150	37,000	—	—	37,000	25,000	30,000		27,500	2,700	2,400	—	2,550	%TS	91.8	87.0	—	89.3	—	—	—	—
SS	mg/L	4,500	5,900	6,100	5,500	110	31	80	74	34,000	35,000	60,000	43,000	25,000	33,000	29,000	29,000	1,400	1,400	990	1,263		—	—	—	—	—	—	—	—
VSS	mg/L	3,700	—	—	3,700	88	—	—	88	33,000	—	—	33,000	23,000	—	—	23,000	1,000	—	—	1,000		—	—	—	—	—	—	—	—
CODcr	mg/L	6,200	7,500	7,000	6,900	140	40	120	100	39,000	50,000	40,000	43,000	32,000	40,000	37,000	36,333	5,000	4,400	3,000	4,133		—	—	—	—	—	—	—	—
sol-CODcr	mg/L	41	—	—	41	14	—	—	14	240	—	—	240.0	3,200	—	—	3,200	1,900	—	—	1,900		—	—	—	—	—	—	—	—
BOD	mg/L	—	—	—	—	93	29	50	57	—	—	—	—	—	—	—	—	3,900	2400	2800	3,033		—	—	—	—	—	—	—	—
sol-BOD	mg/L	—	—	—	—	<0.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,500	1,200	—	1,350		—	—	—	—	—	—	—	—
CODMn	mg/L	—	—	—	—	65	19	—	42	—	—	—	—	—	—	—	—	1,200	800	—	1,000		—	—	—	—	—	—	—	—
T-N	mg/L	846	572	555	658	16.2	8.87	14.8	13	3,930	3,560	2,860	3,450	1,990	2,000	1920	1,970	371	329	247	316	mg/kg	12,600	12,600	12,400	12,533	498	344	421.00	—
sol-T-N	mg/L	8.89	7.22	—	8.06	3.75	4.5		4.1	131	78.3	—	104.7	243	207	—	225	178	151	—	165		—	—	—	—	—	—	—	—
NH4-N	mg/L	11.2	13.4	—	12.3	1.43	2.07	1.54	1.68	111	155	—	133.0	206	198	261	222	138	118	110	122		—	—	—	—	—	—	—	—
NO3-N	mg/L	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—	—	—
T-P	mg/L	170	188	139	166	16.0	12.2	6.0	11.4	1330	1020	949	1,099.7	477	838	360	558	204	135	200	180	mg/kg	2,590	2,320	2,250	2,387	131,000	118,000	124,500	107,000
sol-T-P	mg/L	49.0	41.9		45	12.4	11.5	—	12.0	384	322	—	353.0	219	143	—	181	180	111	—	146		—	—	—	—	—	—	—	—
PO4-P	mg/L	48.1	35.1	33.3	39	11.8	11.3	5.07	9.4	664	342	309	438.3	237	159	125	174	175	105	87.9	123		—	—	—	—	—	—	—	—
ffCOD	mg/L	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—									

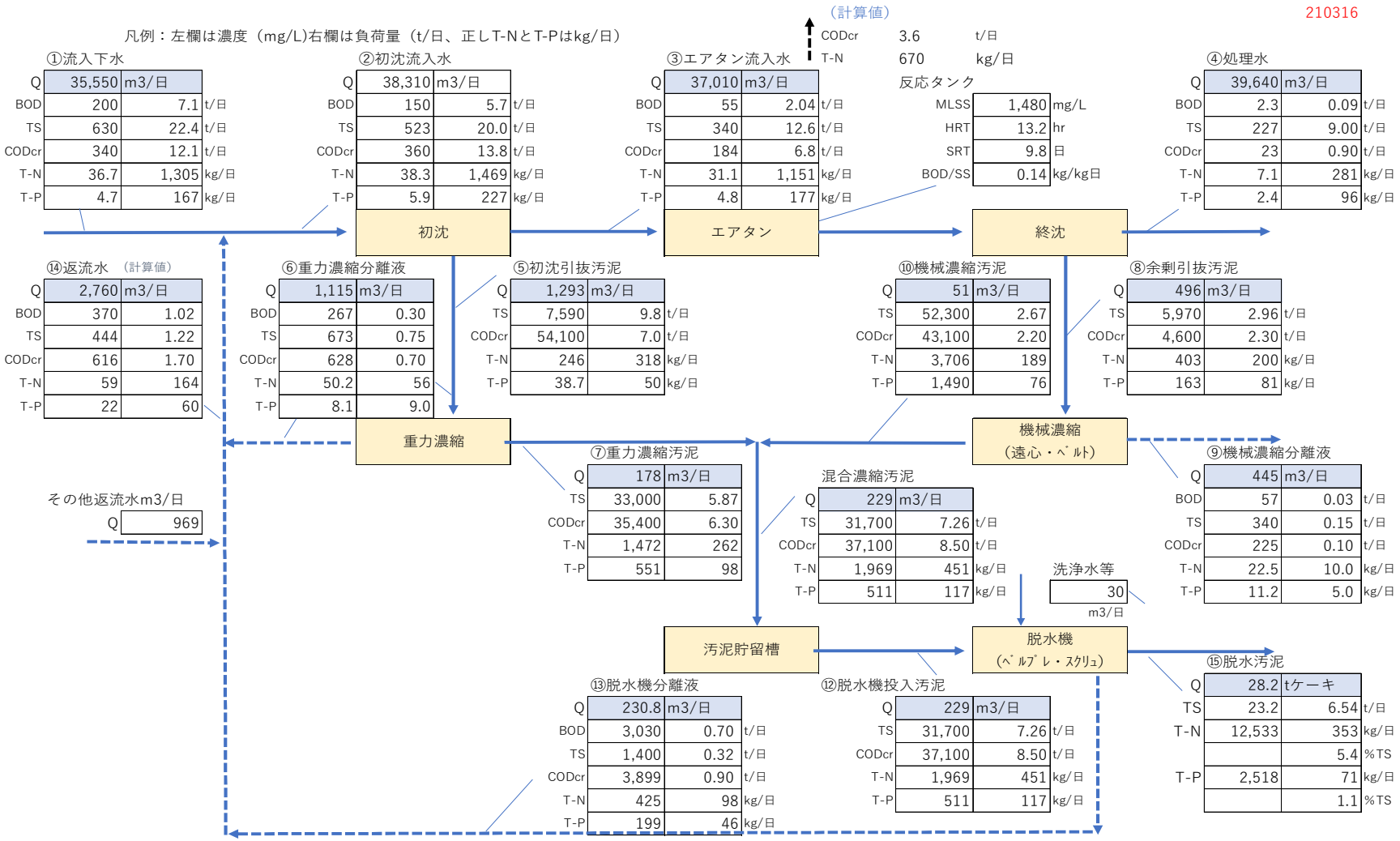


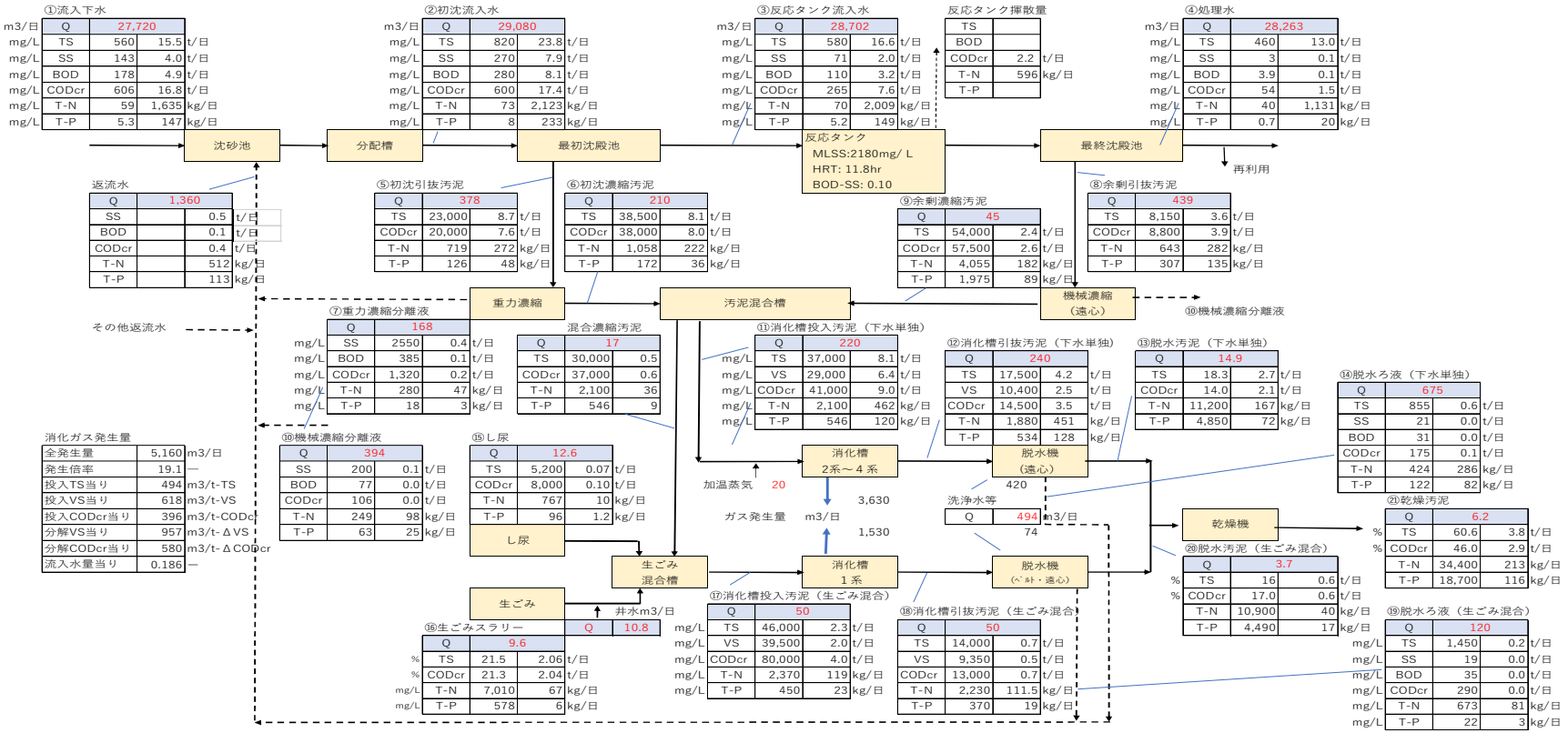
図 3−6　静岡県 B 浄化センターのマスバランス

表 3－4　北海道 E 終末処理場マスバランス調査における水質等分析結果

終末処理場マスバランス検討に係る水質等分析結果速報値（第1回調査　:7月14日　第2回調査：10月19日）

	単位	①流入下水			②初沈流入水			③反応タンク流入水			④処理水			⑤初沈引抜汚泥			⑥初沈濃縮汚泥			⑦重力濃縮分離液			⑧余剰引抜汚泥			⑨余剰濃縮汚泥			⑩機械濃縮分離液			⑪消化槽投入汚泥（下水汚泥単独）		
		第1回	第2回	平均	第1回	第2回	平均	第1回	第2回	平均	第1回	第2回	平均	第1回	第2回	平均	第1回	第2回	平均	第1回	第2回	平均	第1回	第2回	平均	第1回	第2回	平均	第1回	第2回	平均	第1回	第2回	平均
流量	m3/日	－	－	27,720	－	－	29,080	－	－	28,702	－	－	28,263	－	－	378	－	－	210	－	－	168	－	－	439	－	－	45	－	－	394	－	－	220
pH	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	5.0	6.2	5.6	4.8	5.5	5.2	6.1	6.7	6.4	6.5	6.6	6.6	6.0	6.2	6.1	7.9	7.1	7.5	5.1	5.9	5.5
アルカリ度	mg/L	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	250	290	270	－	－	－	－	－	－	1,400	230	815	420	550	485
有機酸	mg/L	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	2,200	550	1,375	3,400	1,300	2,350	290	64	177	140	130	135	3,000	1,100	2,050	<50	<50	－	3,600	1,700	2,650
TS	mg/L	500	620	560	860	780	820	550	610	580	450	470	460	35,000	11,000	23,000	48,000	29,000	38,500	4,000	1,100	2,550	7,700	8,600	8,150	57,000	51,000	54,000	920	940	930	46,000	28,000	37,000
VS	mg/L	260	360	310	450	440	445	210	240	225	92	130	111	27,000	9,500	18,250	36,000	25,000	30,500	3,300	610	1,955	5,800	7,100	6,450	44,000	42,000	43,000	270	480	375	35,000	23,000	29,000
SS	mg/L	65	220	142.5	250	290	270	87	54	71	4	2	3	31,000	9,300	20,150	42,000	27,000	34,500	650	360	505	7,100	7,200	7,150	50,000	44,000	47,000	100	300	200	33,000	27,000	30,000
COD c r	mg/L	280	550	415	700	550	625	270	260	265	53	55	54	29,000	11,000	20,000	54,000	22,000	38,000	1,700	940	1,320	8,000	9,600	8,800	62,000	53,000	57,500	220	400	310	48,000	34,000	41,000
sol-CODcr	mg/L	170	150	160	320	110	215	160	110	135	41	41	41	－	－	－	－	－	－	580	380	480	－	－	－	－	－	－	140	71	106	－	－	－
BOD	mg/L	95	260	178	360	200	280	110	110	110	3.8	4.0	3.9	－	－	－	－	－	－	390	380	385	－	－	－	－	－	－	33	120	77	－	－	－
sol-BOD	mg/L	48	55	52	180	42	111	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
CODM n	mg/L	89	100	95	170	170	170	86	84	85	18	19	19	9,200	3,300	6,250	8,600	10,000	9,300	390	170	280	2,100	2,900	2,500	19,000	15,000	17,000	100	120	110	15,000	11,000	13,000
T-N	mg/L	62.1	56.3	59	69.5	101	85	73	67.9	70	39.7	39.4	40	987	450	719	1,490	625	1,058	113	77.8	95	617	668	643	4,110	4,000	4,055	422	75.8	249	2,130	1,900	2,015
NH4-N	mg/L	40.4	38.6	40	45.1	77.1	61	65.3	53.9	60	36.8	36.4	37	80.5	68.3	74	66.1	71.4	69	53.0	48.0	51	81.5	66.2	74	409	256	333	384	37.3	211	263	181	222
T-P	mg/L	4.96	5.56	5.3	8.08	17.5	12.8	10.9	9.6	10.3	0.56	0.79	0.7	171	81.7	126	216	128	172	18.1	18.4	18	245	368	307	1,850	2,100	1,975	83.3	42.3	63	503	626	565
sol-T-P	mg/L	2.62	4.11	3.4	6.74	13.1	9.9	8.86	7.38	8.1	0.28	0.51	0.4	38.6	21.4	30	27.7	22.5	25	13.1	9.08	11	186	121	154	869	398	634	63.9	23.3	44	257	317	287
PO4-P	mg/L	2.99	2.91	3.0	7.43	13.5	10.5	9.02	8.00	8.5	0.42	0.49	0.5	79.6	25.3	52	64.7	15.6	40	13.4	8.81	11	171	111	141	374	488	431	73.5	22.2	48	373	382	378

	単位	⑫消化槽引抜汚泥（下水単独）			⑭脱水ろ液（下水単独）			⑮し尿			⑯生ごみスラリー			⑰消化槽投入汚泥（生ごみ混合）			⑱消化槽引抜汚泥（生ごみ混合）			⑲脱水ろ液（生ごみ混合）					単位	⑬脱水汚泥（下水単独）			⑳脱水汚泥（生ごみ混合）			㉑乾燥汚泥		
		第1回	第2回	平均	第1回	第2回	平均	第1回	第2回	平均	第1回	第2回	平均	第1回	第2回	平均	第1回	第2回	平均	第1回	第2回	平均				第1回	第2回	平均	第1回	第2回	平均	第1回	第2回	平均
流量	m3/日	－	－	240	－	－	675	－	－	12.6	－	－	9.6	－	－	50	－	－	50	－	－	120			－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
pH	－	7.2	7.2	7.2	7.7	7.7	7.7	5.9	6.5	6.2	4.3	4.5	4.4	3.9	3.8	3.9	7.7	7.5	7.6	8.1	8.1	8.1			－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
アルカリ度	mg/L	3,600	3,500	3,550	－	－	－	1,100	1,200	1,150	欠測	欠測	－	欠測	欠測	－	6,700	6,200	6,450	－	－	－			－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
有機酸	mg/L	<50	<50	<50	－	－	－	2,800	1,600	2,200	3700	4600	4,150	3,500	2,200	2,850	<50	<50	<50	－	－	－			－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
TS	mg/L	20,000	15,000	17,500	800	910	855	7,200	3,200	5,200	267,000	160,000	213,500	50,000	42,000	46,000	15,000	13,000	14,000	1,600	1,300	1,450			%	19.3	17.3	18.3	16.2	15.7	16.0	62.3	58.9	60.6
VS	mg/L	11,000	9,800	10,400	260	290	275	5,400	2,600	4,000	253,700	144,640.0	199,170	42,000	37,000	39,500	9,400	9,300	9,350	370	280	325			%TS	63.6	73.8	68.7	72.2	73.6	72.9	63.5	65.6	64.6
SS	mg/L	13,000	11,000	12,000	19	22	20.5	3,700	500	2,100	85,000	56,000	70,500	32,000	24,000	28,000	9,700	9,000	9,350	19	19	19			－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
COD c r	mg/L	16,000	13,000	14,500	180	170	175	12,000	4,000	8,000	235,000	190,000	212,500	88,000	72,000	80,000	13,000	13,000	13,000	310	270	290			mg/L	140,000	140,000	140,000	140,000	200,000	170,000.0	460,000	460,000	460,000
sol-CODcr	mg/L	360	320	340	150	160	155	3,500	2,600	3,050	95,000	78,000	86,500	23,000	18,000	20,500	1,200	720	960	260	230	245			－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
BOD	mg/L	－	－	－	28	34	31	－	2,700	2,700	－	100,000	100,000	－	－	－	－	－	－	30	39	35			－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
sol-BOD	mg/L	－	－	－	－	－	－	－	1,700	1,700	－	52,000	52,000	－	－	－	－	－	－	－	－	－			－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
CODM n	mg/L	5,300	4,700	5,000	65	65	65	2,100	530	1,315	85,000	78,000	81,500	19,000	19,000	19,000	4,700	5,700	5,200	110	93	102			－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
T-N	mg/L	2,100	1,660	1,880	432	416	424	1,010	524	767	8,800	5,210	7,005	2,670	2,060	2,365	2,260	2,190	2,225	746	600	673			mg/kg	11,400	11,000	11,200	11,200	10,600	10,900.0	34,200	34,600	34,400
NH4-N	mg/L	870	895	883	411	379	395	601	403	502	540	289	415	435	269	352	1,340	1,440	1,390	609	526	568			－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
T-P	mg/L	460	607	534	124	119	121.5	96.2	96.4	96.3	825	331	578	522	382	452	355	380	368	17.8	26	21.9			mg/kg	4,800	4,900	4,850	4,720	4,260	4,490.0	18,400	19,000	18,700
sol-T-P	mg/L	215	229	222	75.4	109	92.2	53.9	47.3	50.6	725	243	484	360	61.6	211	11.2	42.4	26.8	12.9	8.56	10.7			－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
PO4-P	mg/L	449	435	442	94.6	112	103.3	72.5	50.9	61.7	497	301	399	243	225	234	283	275	279	17	24.9	21.0			－	－	－	－	－	－	－	－	－	－



メタンガス発生特性の比較

	単位	下水単独	生ごみ混合	全体
全発生量	m3/日	3,630	1,530	5,160
発生倍率	—	16.5	30.6	19
投入TS当り	m3/t-TS	446	665	494
投入VS当り	m3/t-VS	569	775	618
投入CODcr当り	m3/t-CODcr	402	383	396
分解VS当り	m3/t-ΔVS	935	1,015	957
分解CODcr当り	m3/t-ΔCODcr	655	457	580
流入水量当り	m3/m3	0.131	0.055	0.186

図 3－7　北海道 E 終末処理場におけるマスバランス

表 3－5　栃木県 M 水処理センターマスバランス調査における水質等分析結果

水処理センターマスバランス検討水質分析結果　1回目：R3年7月7日（水）　2回目：R3年10月6日（水）　3回目：R3年12月8日（水）　20220118

	単位	①流入下水				②初沈流入水				③エアタン流入水				④処理水				⑤初沈引抜汚泥				⑥混合重力濃縮分離液				⑦混合重力濃縮汚泥			
		1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均
流量	m3/日	—	—	—	14,580	—	—	—	15,580	—	—	—	15,020	—	—	—	14,770	—	—	—	562	—	—	—	376	—	—	—	428
pH	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.1	6.3	5.8	6.1	6.9	6.9	6.8	6.9	4.4	5.9	6.2	5.5
アルカリ度	mg/L	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	230	217	245	230.7	134	142	128	135	174	169	169	170.67
有機酸	mg/L	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	466	353	673	497.3	43.7	14.2	36.7	31.5	469	311	499	426
TS	mg/L	445	348	190	328	500	404	270	391	345	328	226	300	235	172	228	212	12,900	3,880	15,800	10,860	330	340	204	291	5,420	4,220	4,710	4,783
VS	mg/L	230	244	50	175	275	236	80	197	135	108	100	114	50	60	38	49	12,000	3,580	14,600	10,060	135	116	132	128	4,560	3,680	4,150	4,130
SS	mg/L	174	154	116	148	196	174	126	165	52	42	39	44	2	2	3	2	11,700	3,400	14,900	10,000	56	60	55	57	5,370	3,400	4,670	4,480
CODcr	mg/L	436	519	246	400	534	440	289	421	258	227	128	204	12.0	12.6	16.5	13.7	15,400	3,660	22,500	13,853	192	188	134	171.33	7,000	6,830	7,800	7,210
sol-CODcr	mg/L	200	190	80	157	152	189	70	137	134	152	67	118	—	—	—	—	—	—	—	—	83	92	88	87.7	—	—	—	—
BOD	mg/L	151	131	134	139	182	177	197	185	82	99	84	88	4	9	7	7	6,230	2,480	7,440	5,383	107	160	105	124	1,960	3,060	3,910	2,977
sol-BOD	mg/L	63	81	33	59	46	82	35	54	56	63	35	51	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CODMn	mg/L	118	131	78.1	109	131	135	93.6	120	84	81.9	56.9	74.3	8	7.1	7.9	7.7	—	—	—	—	59.6	55.2	55.4	56.7	—	—	—	—
T-N	mg/L	37.2	31.4	21.5	30.0	56.5	49.6	40.8	49	34.0	34.9	29.3	32.7	6.5	10.8	11.0	9.4	375	146	702	408	17.2	25.0	19.0	20.4	289	285	571	382
sol-T-N	mg/L	26.3	29.2	16.2	23.9	47.1	46.0	36.0	43.0	28.8	33.2	25.3	29.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NH4-N	mg/L	24.5	26.3	12.9	21.2	42.7	44.4	31.6	39.6	28.6	29.1	19.4	25.7	<0.1	1.3	0.8	1.1	73.6	58.5	28.1	53.4	13.2	18.2	15.0	15.467	36.4	41.5	62.9	47
NO3-N	mg/L	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.5	8.8	7.8	7.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
T-P	mg/L	2.7	3.2	2.4	2.8	4.6	5.1	3.9	4.5	3.5	4.0	3.1	3.5	0.3	0.5	0.4	0.4	53.4	20.1	153	75.5	7.8	10.9	6.5	8.4	72.8	67.2	162	101
sol-T-P	mg/L	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
PO4-P	mg/L	2.1	2.4	1.2	1.9	3.4	4.1	2.3	3.3	3.1	3.7	2.3	3.0	0.3	0.5	0.3	0.4	18	6.3	26.9	17.1	7.0	9.7	6.3	7.6667	37.7	46.7	64.9	50
Mg	mg/L	—	—	4	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	23	23
sol-Mg	mg/L	—	—	4	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17	17

	単位	⑧余剰引抜汚泥				⑨混合機械濃縮分離液				⑩混合機械濃縮汚泥（消化槽投入汚泥）				⑪脱水機投入汚泥（消化汚泥）				⑫脱水機分離液（遠心ポリ鉄添加）							⑭脱水汚泥				
		1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均				単位	1回目	2回目	3回目	平均
流量	m3/日	—	—	—	245	—	—	—	383	—	—	—	67	—	—	—	56	—	—	—	55				—	—	—	—	—
pH	—	6.6	6.5	6.4	6.5	6.7	6.7	6.8	6.7	5.4	5.3	5.6	5.4	7.4	7.6	7.5	7.5	7.9	8.0	7.8	7.9				—	—	—	—	—
アルカリ度	mg/L	140	169	126	145	132	153	148	144	484	602	656	580.7	4,870	4,510	4,210	4,530	—	—	—	—				—	—	—	—	—
有機酸	mg/L	206	29	11.8	82	56.1	12.6	14.2	28	505	2,660	1570	1,578	232	19.6	25.5	92	—	—	—	—				—	—	—	—	—
TS	mg/L	5,040	5,700	4,050	4,930	700	440	350	497	39,800	37,100	37,400	38,100	16,200	16,600	15,600	16,133	2,280	2,080	2,670	2,343				%	15.2	15.9	15.3	15.5
VS	mg/L	4,220	4,680	3,380	4,093	420	164	130	238	36,400	34,000	34,000	34,800	12,300	13,000	12,200	12,500	1,640	1,530	1,840	1,670				%TS	76.9	76.6	77.5	77.0
SS	mg/L	4,830	5,200	3,770	4,600	460	80	158	233	37,400	28,300	33,200	32,967	14,500	14,500	12,500	13,833	384	166	920	490				—	—	—	—	—
CODcr	mg/L	6,300	7,220	5,480	6,333	736	238	327	434	54,200	58,300	53,100	55,200	18,200	17,900	16,000	17,367	860	790	1,590	1,080				%wet	23.2	15.9	16.3	18.5
sol-CODcr	mg/L	—	—	—	—	102	83	68	84	—	—	—	—	—	—	—	—	458	437	325	407				%TS	153	100	107	119
BOD	mg/L	1,690	2880	2,810	2,460	182	111	184	159	14,800	26,100	14,600	18,500	4,910	912	742	2,188	112	133	109	118				—	—	—	—	—
CODMn	mg/L	—	—	—	—	183	78.4	82.3	114.6	—	—	—	—	—	—	—	—	386	297	539	407				—	—	—	—	—
T-N	mg/L	395	395	466	419	27.2	23.5	15.1	21.9	2,350	2,160	3,320	2,610	2,380	1,970	3,180	2,510	859	1,080	1,020	986				%wet	1.02	1.17	1.08	1.09
sol-T-N	mg/L	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				%TS	6.7	7.4	7.1	7.0
NH4-N	mg/L	8.6	17.5	19.9	15	8.6	15.2	4.7	9.5	247	318	488	351	1,270	1,140	2,130	1,513	822	906	958	895				—	—	—	—	—
NO3-N	mg/L	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				—	—	—	—	—
T-P	mg/L	121	216	247	195	31	34.1	22.7	29.3	318	246	734	433	362	273	1,380	672	20	23.5	36.9	26.8				mg/kgwet	4,040	8,000	7,960	6,667
sol-T-P	mg/L	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				%TS	2.7	5.0	5.2	4.3
PO4-P	mg/L	57.1	84.5	118	87	27.1	33.3	20.6	27.0	132	155	286	191	216	253	523	331	17.7	21.2	34.4	24.4				—	—	—	—	—
Mg	mg/L	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	89	89	—	—	35	35				mg/kgwet	—	—	4,360	4,360
sol-Mg	mg/L	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	6	—	—	29	29				%TS	—	—	2.85	—

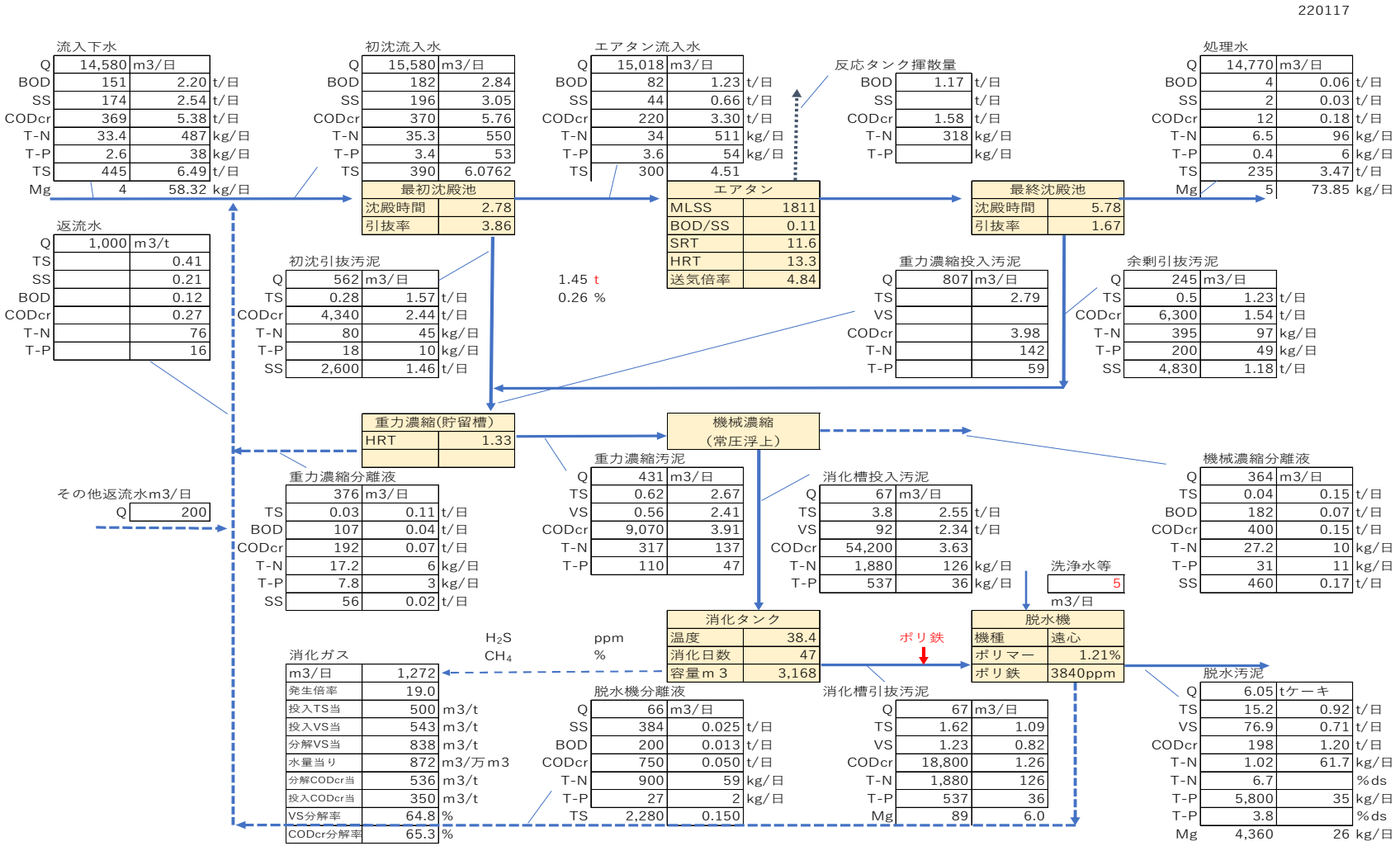


図 3−8　栃木県 M 水処理センターにおけるマスバランス

3．3．2　　現況マスバランス検討における留意点

4 か所の処理場におけるマスバランス現地調査の結果、運転管理データの解析・整理において以下の課題、留意点が明らかとなった。

（1）　各処理施設における水質･水量等データの時間変動

処理場内の下流側（処理水、消化汚泥、脱水汚泥）では水量・濃度の時間変動は相対的に小さくスポット採取試料の分析値でも信頼性は高いが、上流側（流入下水、最初沈殿池）における水量や濃度の時間変動が大きく、スポット採取の分析値が当該処理場の代表的平均値である信頼性は低い。

図 3－9 に示すように、通常の処理場では 7：00～11：00 頃の水質時間変動が大きい（規模が大きい処理場程ピークは遅く現れる傾向がある）。日常試験では 9：00 前後に採水しているところが多いが、採水時間のわずかなズレが分析結果の大きな違いとなりやすい。

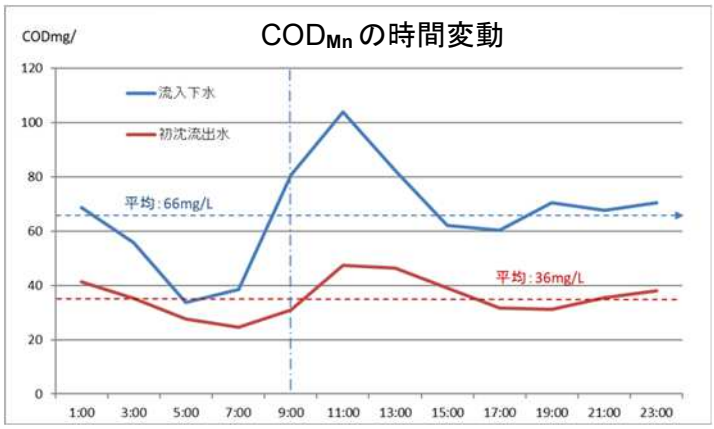


図 3－9　流入下水、初沈流出水の水質時間変動の事例

また、流入下水と最初沈殿池出口では時間的なラグタイムがある。仮に 9 時に採取した最初沈殿池流出水は処理場に 6 時から 7 時に流入した下水であり、同時刻に採取した試料の水質濃度差が最初沈殿池での除去量にはならないことに留意が必要である。最初沈殿池における固形物収支を正確に把握するには 24 時間試験データを用いることが望まれる。

（2）　沈殿池、重力濃縮槽における引抜き汚泥濃度

最初沈殿池や重力濃縮槽から汚泥を引き抜くために、汚泥ポンプを一定時間ごとに数分間の間欠運転することが一般的である。

図 3－10 に示すように引抜開始後の時間経過とともに引抜き汚泥濃度は大きく低下する。各処理場ごとにポンプ運転開始後 30 秒後に採取するなどのルールを作成

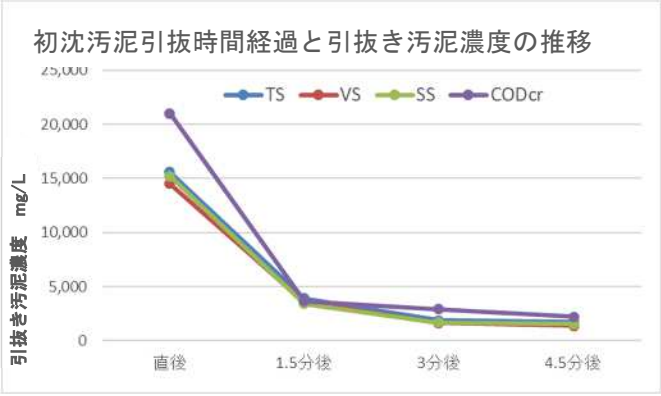


図 3－10　初沈汚泥引抜時間経過と引抜き汚泥濃度

して試料採取および分析を行っているのが一般的であるが、引き抜き時間中に 1 回のスポット採取では大きな誤差の要因となるため注意が必要となる。

（３） 脱水ろ液による返流水負荷

場内マスバランスの検討では水量×濃度の負荷量でデータを整理する必要がある。脱水ろ液による返流水負荷は大部分が溶解性分であり、そのまま水処理反応タンクへの負荷量の増加となるため慎重に検討する必要があるが、脱水機の機種によって洗浄水量が大きく異なる。遠心脱水機のように稼働中、洗浄水量がほとんどゼロの場合もあればベルトプレス脱水機では脱水投入汚泥量の数倍の洗浄水を必要とする。高分子凝集剤も 0.2%程度に希釈溶解して添加するため無視はできない。脱水ろ液の負荷量算定では濃度分析とともに水量の正確な把握が重要となる。

また、脱水ろ液の返流水は濃縮工程の分離液とともに沈砂池施設などの処理場の上流部に戻されることが多いが、最初沈殿池等におけるマスバランス調査のデータ解析においては脱水機運転の有無も考慮して試験試料の採取やデータ整理を行う必要がある。

（４） 腐敗したバイオマスの有機物濃度

初沈汚泥や生ごみ等は加水分解性が早く（特に水温の高い夏季）酢酸等揮発性有機酸になりやすい。このような腐敗の進んだ試料の TS や VS の分析において 105℃の乾燥途中で一部が揮散するため実際の有機物量より小さく測定されることがある。焼酎かすなどのアルコール分のおおいバイオマスにおいても同様である。このような試料の有機物量指標としては揮発性有機分を含めて測定できる CODcr が適している。

（５） 最初沈殿池におけるマスバランス

表 3－6 に、今回のマスバランス現地調査（各箇所 2～3 回実施）の結果得られた最初沈殿池における SS、BOD、COD、T-N、T-P の除去率を示した。

表 3－6 最初沈殿池におけるマスバランス（除去率）の調査結果

項目	箇所名	初沈入口 mg/L		初沈出口 mg/L		除去率 %	設計指針標準値
		平均	範囲	平均	範囲	（回収率）	
SS	栃木県K浄化エンター	185	119 - 250	30	26 - 24	83.8	40～60%
	静岡県B浄化センター	177	140 - 230	38	36 - 43	78.5	
	北海道E終末処理場	270	250 - 290	71	54 - 87	73.7	
	栃木県M水処理センター	165	126 - 196	44	39 - 52	73.3	
	平均					77.3	
BOD	栃木県K浄化エンター	151	71 - 231	68	47 - 88	55.0	30～50%
	静岡県B浄化センター	150	110 - 200	55	49 - 62	63.3	
	北海道E終末処理場	280	200 - 360	110	110 - 110	60.7	
	栃木県M水処理センター	185	177 - 139	88	82 - 99	52.4	
	平均					57.9	
CODcr	栃木県K浄化エンター	383	220 - 33	166	100 - 229	56.7	（COD_{Mn}） 30～50%
	静岡県B浄化センター	383	330 - 430	177	160 - 200	53.8	
	北海道E終末処理場	625	550 - 700	265	260 - 270	57.6	
	栃木県M水処理センター	421	289 - 534	204	128 - 258	51.5	
	平均					54.9	
T-N	栃木県K浄化エンター	55	54 - 57	46	45 - 47	16.4	
	静岡県B浄化センター	47	43 - 51	31	28 - 35	34.0	
	北海道E終末処理場	85	70 - 101	70	68 - 73	17.6	
	栃木県M水処理センター	49	41 - 57	33	29 - 35	32.7	
	平均					25.2	
T-P	栃木県K浄化エンター	7.6	7.3 - 7.8	6.0	5.2 - 7.5	21.1	
	静岡県B浄化センター	6.2	4.6 - 8.7	3.7	3.0 - 4.7	40.3	
	北海道E終末処理場	12.8	8.1 - 17.5	10.3	9.6 - 10.9	19.5	
	栃木県M水処理センター	4.5	3.9 - 5.1	3.5	3.1 - 4.0	22.2	
	平均					25.8	

BOD、COD の除去率は「下水道施設計画・設計指針と解説 [1)]」（以下、設計指針）に示されている標準値 30～50%に対し、今回の調査結果ではいずれも 50～60%とやや高い値であった。T-N、T-P についてはいずれも 20～30%程度の除去率であった。窒素やリンは流入下水中では溶解性分として存在している割合が BOD 成分に比べ高いためと推測できる。

注目されるのは SS の除去率で、設計指針では 40～60%が標準とされているが、今回の調査結果ではいずれの箇所でも 70～80%と高い結果であった。流入下水中全固形分（TS）は 350～500mg/L 程度であるが有機分の約 9 割は浮遊性物質として存在し、無機分の約 9 割は溶解成分として存在する。最初沈殿池で回収される SS 分の大部分が有機分であることを示し、バイオマス資源として回収するうえで最初沈殿池における SS 回収率は大きな意味を有している。

３．４　　マスバランス検討における簡易な計算ツールの構築

シミュレーションモデルを活用したマスバランス検討においては特殊なシミュレーションソフトが必要になるとともに、構築したモデルの正確なキャリブレーションを行うために熟練した技術者と処理場全体の精度の高い現況マスバランスの作成が必要となる。

単に嫌気性消化施設を新規に導入したり、地域バイオマスを受け入れ下水汚泥との混合消化を行う場合のガスの発生量、汚泥の発生量、脱水ろ液による返流水負荷量を推察するだけであれば消化槽廻りのマスバランスを検討するのみで可能である。そこで今回は市販の表計算ソフト（エクセル）を用いた計算ツールの作成を行った。

計算ツールの基本的考え方は以下の通りである。

① バイオガス発生量の算出方法の検討

各種バイオマス（汚泥含む）の投入有機物量当たりガス発生量と投入量より算出する。

② 汚泥発生量の算出方法の検討

各種バイオマスの有機物分解率、脱水汚泥含水率をもとに算出する。

③ 返流水負荷量の算出方法の検討

各種バイオマスの消化汚泥脱水ろ液の有機物（BOD、CODcr)、T-N、T-P 濃度をもとに算出する。

下水汚泥や地域バイオマスの標準的な投入有機物量当たりのガス発生量や汚泥発生量などの数値を計算ソフトに組み込んでいるため汚泥やバイオマスの消化槽への投入量を入力するのみで、ガス発生量の増減量、脱水汚泥の発生量の増減量、脱水ろ液による負荷量が求められる。図 3－11 にその計算事例を示した。

標準的な数値（デフォルト値）は簡単に変更ができるので、それらを適宜調整することでより正確な推測も可能である。

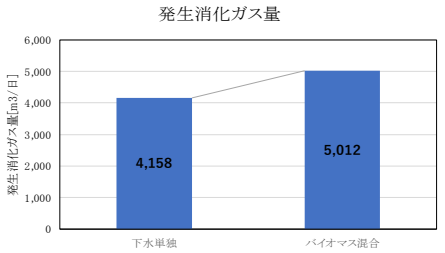
項目			単位	数量	デフォルト	備考
①消化ガス発生量	濃縮汚泥	重力(初沈)	(m3/日)	178	−	入力
		機械(余剰)	(m3/日)	51	−	入力
		混合	(m3/日)	229	−	計算
	固形物濃度	重力(初沈)	(%)	3.1	3.1	デフォルト値
		機械(余剰)	(%)	4.4	4.4	デフォルト値
		混合	(%)	3.4	−	計算
	固形物量	重力(初沈)	(t/日)	5.5	−	計算
		機械(余剰)	(t/日)	2.2	−	計算
		混合	(t/日)	7.7	−	計算
	有機物濃度	重力(初沈)	(V-TS%)	88	88	デフォルト値
		機械(余剰)	(V-TS%)	84	84	デフォルト値
		混合	(V-TS%)	86	−	計算
	有機物量	重力(初沈)	(VS-t/日)	4.8	−	計算
		機械(余剰)	(VS-t/日)	1.8	−	計算
		混合	(VS-t/日)	6.6	−	計算
	発生消化ガス原単位	重力(初沈)	(m3/VS-t)	720	720	デフォルト値
		機械(余剰)	(m3/VS-t)	390	390	デフォルト値
		混合	(m3/VS-t)	630	−	計算
	発生消化ガス量	重力(初沈)	(m3/日)	3456	−	計算
		機械(余剰)	(m3/日)	702	−	計算
		混合	(m3/日)	4158	−	計算
	バイオマス混	合計	(m3/日)	5012	−	計算
②脱水ケーキ発生量	消化	有機物分解率	(%)	60	60	デフォルト値
		汚泥量	(m3/日)	229	−	引用
		固形物量	(t/日)	3.7	−	計算
		汚泥濃度	(%)	1.6	−	計算
	バイオマス混合消化汚泥		(t/日)	4.2	−	計算
	脱水ケーキ	回収率	(%)	59	59	デフォルト値
		含水率	(%)	76.8	−	入力
		ケーキ量	(m3/日)	9.5	−	計算
		固形物量	(t/日)	2.2	−	計算
	脱水ケーキ＋バイオマス混合	回収率	(%)	66	66	デフォルト値
		含水率	(%)	76.8	−	引用
		ケーキ量	(m3/日)	12.1	−	計算
		固形物量	(t/日)	2.8	−	計算
③返流水負荷	濃縮汚泥TSあたり	CODcr	(−)	1.17	−	計算
		T-N	(%)	5.19	−	計算
		T-P	(%)	1.00	−	計算
	濃縮汚泥負荷量	CODcr	(t/日)	9.009	−	計算
		T-N	(t/日)	0.4	−	計算
		T-P	(t/日)	0.077	−	計算
	溶出率	CODcr	(%)	0.61	通常:0.61 ポリ鉄:1.79	デフォルト値
		T-N	(%)	40.41	通常:40.41 ポリ鉄:35.55	デフォルト値
		T-P	(%)	30.64	通常:30.64 ポリ鉄:4.67	デフォルト値
	返流水量		(m3/日)	219.5	−	計算
	返流水負荷	CODcr	(t/日)	0.05	−	計算
		T-N	(t/日)	0.16	−	計算
		T-P	(t/日)	0.02	−	計算
	バイオマス混合返流水負荷	CODcr	(t/日)	0.06	−	計算
		T-N	(t/日)	0.18	−	計算
		T-P	(t/日)	0.02	−	計算

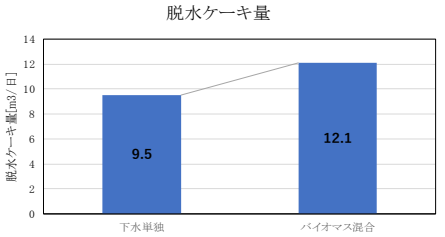
項目		単位	数量	デフォルト	備考
その他バイオマス	生ごみ	(m3/日)	15.2	−	入力
	し尿	(m3/日)	15.2	−	入力
	浄化槽汚泥	(m3/日)	15.2	−	入力
その他バイオマス固形物濃度	生ごみ	(%)	7.51	7.51	デフォルト値
	し尿	(%)	0.52	0.52	デフォルト値
	浄化槽汚泥	(%)	1.26	1.26	デフォルト値
その他バイオマス固形物量	生ごみ	(t/日)	1.1	−	計算
	し尿	(t/日)	0.1	−	計算
	浄化槽汚泥	(t/日)	0.2	−	計算
その他バイオマス有機物濃度	生ごみ	(V-TS%)	88	88	デフォルト値
	し尿	(V-TS%)	77	77	デフォルト値
	浄化槽汚泥	(V-TS%)	78	78	デフォルト値
その他バイオマス有機物量	生ごみ	(VS-t/日)	1	−	計算
	し尿	(VS-t/日)	0.1	−	計算
	浄化槽汚泥	(VS-t/日)	0.2	−	計算
発生消化ガス原単位	生ごみ	(m3/VS-t)	738	738	デフォルト値
	し尿	(m3/VS-t)	500	500	デフォルト値
	浄化槽汚泥	(m3/VS-t)	330	330	デフォルト値
発生消化ガス量	生ごみ	(m3/日)	738	−	計算
	し尿	(m3/日)	50	−	計算
	浄化槽汚泥	(m3/日)	66	−	計算

項目		単位	数量	デフォルト	備考
消化	有機物分解率	(%)	−	−	計算
	汚泥量	(m3/日)	45.6	−	引用
	固形物量	(t/日)	0.5	−	計算
	汚泥濃度	(%)	1.1	−	計算

項目		単位	数量	デフォルト	備考
有機物分解率	生ごみ	(%)	79.7	79.7	デフォルト値
	し尿	(%)	48	48	デフォルト値
	浄化槽汚泥	(%)	38.8	38.8	デフォルト値

項目		単位	数量	デフォルト	備考
投入TSあたり生ごみ	CODcr	(%)	1.87	1.87	デフォルト値
	T-N	(%)	4.76	4.76	デフォルト値
	T-P	(%)	0.74	0.74	デフォルト値
投入TSあたりし尿	CODcr	(%)	1.42	1.42	デフォルト値
	T-N	(%)	14.55	14.55	デフォルト値
	T-P	(%)	2.46	2.46	デフォルト値
投入TSあたり浄化槽汚泥	CODcr	(−)	1.65	1.65	デフォルト値
	T-N	(%)	6.5	6.5	デフォルト値
	T-P	(%)	1.22	1.22	デフォルト値
バイオマス負荷量	CODcr	(t/日)	2.529	−	計算
	T-N	(t/日)	0.080	−	計算
	T-P	(t/日)	0.013	−	計算
バイオマス溶出率	CODcr	(%)	0.35	0.35	デフォルト値
	T-N	(%)	26.86	26.86	デフォルト値
	T-P	(%)	4.43	4.43	デフォルト値
バイオマス単独返流水負荷	CODcr	(t/日)	0.01	−	計算
	T-N	(t/日)	0.02	−	計算
	T-P	(t/日)	0	−	計算





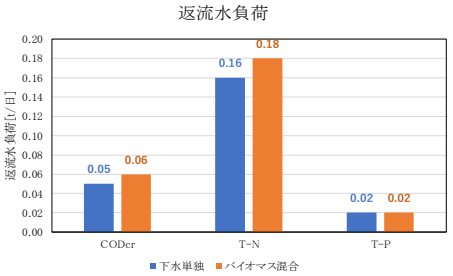


図 3－11　市販の表計算ソフトを用いた簡易なマスバランス検討ツールの計算事例

３．５　　主たる成果

下水処理場に新たにメタン発酵施設の導入や、地域バイオマスを受け入れて下水汚泥との混合メタン発酵を行う場合、ガス発生量の増減、脱水汚泥量の増減、脱水ろ液による水処理施設への影響（マスバランスの変化）を推測する手法について検討を行ってきた結果、以下のことが明らかになった。

３．５．１　　シミュレーションモデルによる適用性の検討

・処理水質の予測も含めたシミュレーションの実施においては、正確な現状マスバランスデータを基に構築モデルのキャリブレーションを行うことが重要と考えられた。
・また現状を正確に反映するモデル構築には数多くのパラメータ調整が必要であり、モデル構築に関し豊富な経験が必要となる。

３．５．２　　マスバランス検討における留意点

・処理場のマスバランス検討では上流側（流入下水、最初沈殿池など）ほど水量と水質の時間変動が大きく、スポット採取のデータではその取扱いに注意が必要である。
・沈殿池や重力濃縮槽からの引き抜き汚泥もサンプリングのタイミングで濃度が大きく変化するので注意が必要である。
・脱水ろ液による返流水負荷の検討においては、脱水機種によって凝集剤希釈液量や洗浄水量に大きな差があるので留意が必要である。

３．５．３　　簡易な計算ツールの検討

・市販の表計算ソフト（エクセル）を用いて、地域バイオマスの受け入れによるガス発生量の増減、脱水汚泥量の増減、脱水ろ液による返流水負荷を推測可能な簡易な計算ツールを構築した。

第４章　　各種地域バイオマスの嫌気性消化特性に関する調査

４．１　　検討の概要

バイオマス（生物資源）にも色々あるが、すべてのバイオマスがメタン発酵の原料となるものではない。一般的には加水分解性の高い有機物、すなわち人間の食料・家畜の飼料となるものがメタン発酵原料となる。

また、下水汚泥など同じバイオマスでも初沈汚泥や余剰汚泥では基本性状が大きく異なり、また余剰汚泥でも施設の運転条件によっても異なる。各バイオマスのメタン発酵性を定量的に把握するには個々にメタン発酵試験を行うことが必要となる。

これまで JS で行った下水汚泥を中心とする各種バイオマスの試験結果をもとに、その基本性状、メタン発酵性について整理した。

４．２　　有機物濃度指標の課題

バイオマス資源の有効利用検討において、そのバイオマスの含水率とともに有機物濃度（含有量）を知ることは最も重要となる。有機物濃度の指標としては液体では BOD や COD_{Mn}、CODcr が使われることもあるが、半固形状バイオマスでは VS（強熱減量）や CODcr が広く使われている。CODcr は有機物をクロム酸で酸化分解したときの酸素消費量で示すもので、有機成分の 9 割以上を補足するとされている。

図 4－1 に、ある処理場のバイオマス有効利用調査時に分析した、各種汚泥や地域バイオマスの CODcr と VS の関係を示した。CODcr/VS の値は概ね 1.5 前後であるが、バイオマスによっては大きく異なっているものがある。この違いの要因としてはいくつか考えられるが、一番は VS の測定原理に起因するためで、揮発成分を多く含む場合 VS を濃度指標とすることに留意が必要である。

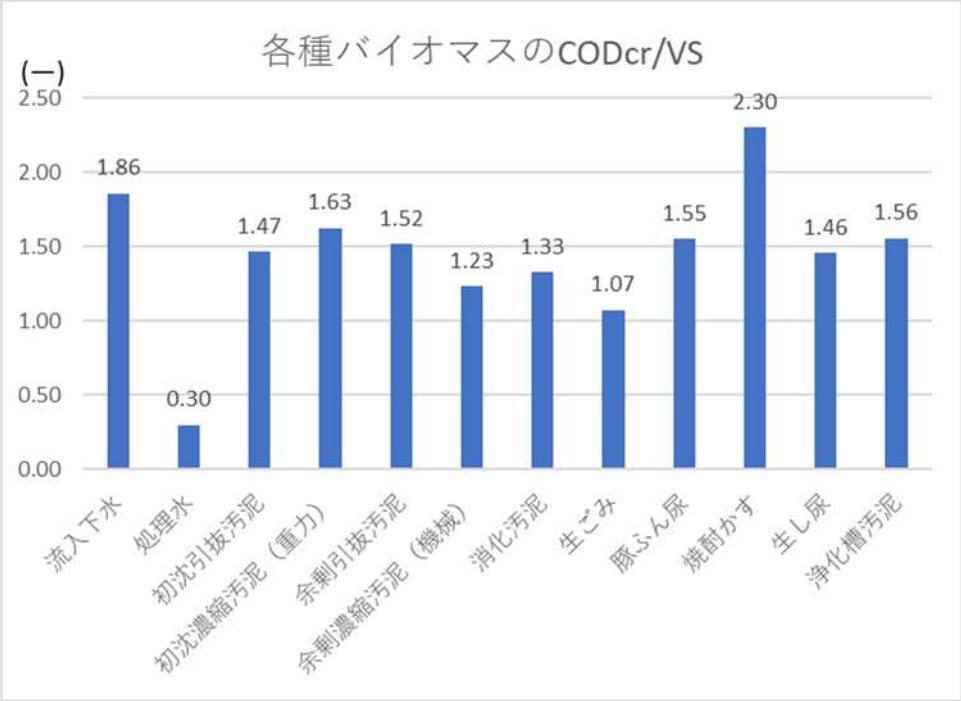


図 4－1　各種バイオマスの CODcr と VS(強熱減量)の関係事例

試料を蒸発乾固し 105～110℃で 2 時間加熱乾燥したときに残留する物質を固形物濃度又は蒸発残留物（TS）と表現し、通常、（湿潤）試料に対する重量百分率で表す。蒸発した水分の質量を重量百分率で表すのが含水率である。蒸発残留物を 600±25℃で 1 時間強熱灰化したとき、残留するものを強熱残留物、減量したものを強熱減量と呼び蒸発残留物（TS）に対する強熱減量の重量百分率（%）が VS である。

強熱減量（VS）は通常有機物質の含有量指標として用いられるが、以下のような課題がある。

① 試料中に揮発性有機酸やアルコール等が含まれる場合、105～110℃で 2 時間加熱乾燥過程で揮散するため蒸発残留物（TS）自体が低く測定される。

② 600±25℃での強熱灰化時に、有機物質以外に無機の水酸化物（水酸化カルシウムなど）の一部も減量する。

一般的に比較的新鮮な試料の CODcr/VS の値は 1.3 前後、腐敗の進んだ試料では 1.6～1.8 程度の場合が多い。図 4－1 において処理水の CODcr/VS が 0.3 と極端に低いのは上記②によるもので、焼酎かすの CODcr/VS が 2.3 と高いのは上記①に起因するためと推察できる。

4．3　　各種バイオマスの基本性状

4．3．1　　固形物濃度

図 4－2 に、過年度 JS で調査した主なバイオマスの固形物濃度（TS）を示した。

生し尿や浄化槽汚泥は一般的に搬入濃度が 0.5～1.2%と低いため、消化槽に投入する場合は熱エネルギー収支の面から機械濃縮等によりあらかじめ 4～5%程度に濃縮することが望まれる。

一方生ごみや焼酎かす、コーヒーかすのように半固形分状で搬入されるものはポンプ搬送が可能なレベルまで加水希釈する必要がある。

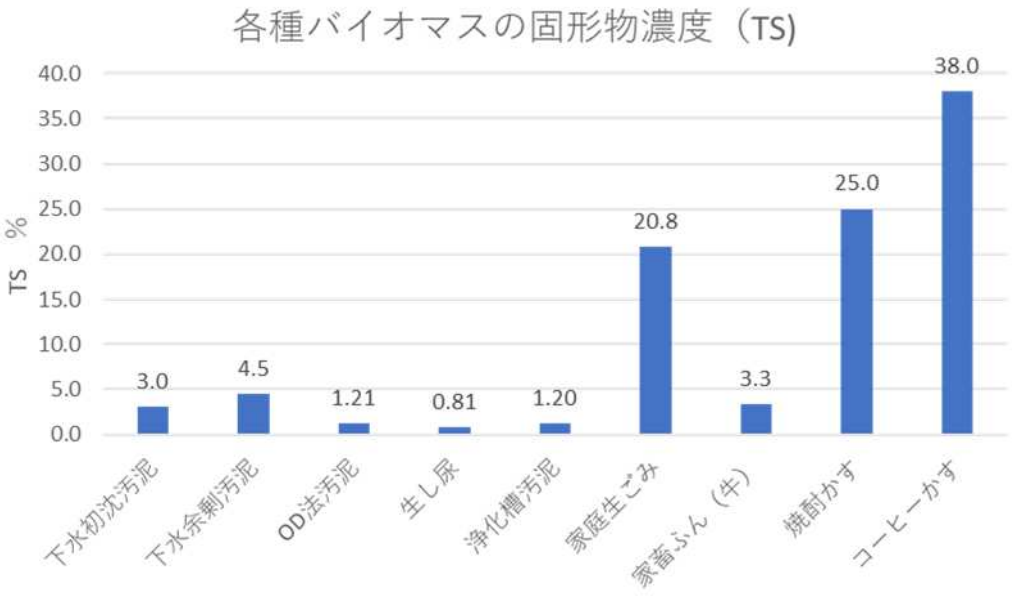


図 4－2　各種バイオマスの固形物濃度

4．3．2　　窒素、リン含有量

図 4－3 に各種バイオマスに含まれる窒素含有率を、図 4－4 にリン含有率を示した。

バイオマス固形物中の窒素やリンの含有率はバイオマスの種類によって大きく異なる。窒素含有率は下水汚泥で 5%前後、生し尿、浄化槽汚泥家畜ふんでは 10%前後に対し、焼酎かすなど食品系バイオマスでは相対的に低い。

初沈汚泥のリン含有率は 0.6%で生ごみと同等であるが、余剰汚泥やし尿中のリン含有率は 1.2～1.8%と高い。

窒素含有率やリン含有率の高いバイオマスを長時間メタン発酵させるほど、脱水ろ液中のそれらの濃度も高くなる傾向にあり、水処理プロセスへの返流水負荷の増加となったり、MAP 発生量が多くなるため注意が必要である。放流水に対する窒素濃度規

制の厳しい箇所では、余剰汚泥をメタン発酵対象から外し、初沈汚泥のみをメタン発酵対象とすることも考えられる。初沈汚泥のみを対象とする場合でも全汚泥を対象とする場合の 7～8 割のガス量は確保可能である。

なお、一部の生ごみや焼酎かすなどの窒素やリン含有率の低いバイオマスのみでは栄養バランス的にメタン発酵が困難な場合があるが、下水汚泥の混合によりこれらの問題が解決できることが多い。

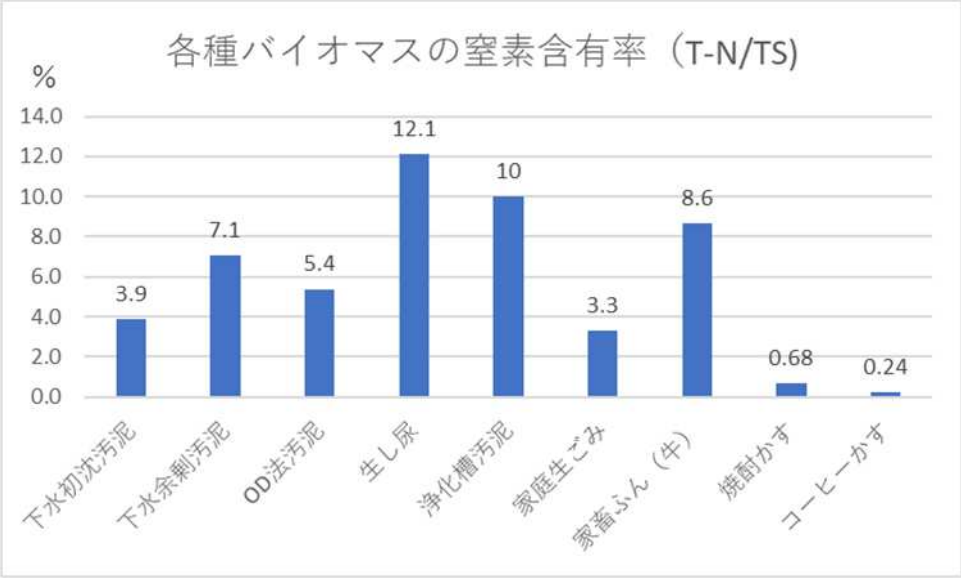


図 4－3　各種バイオマスの窒素含有率

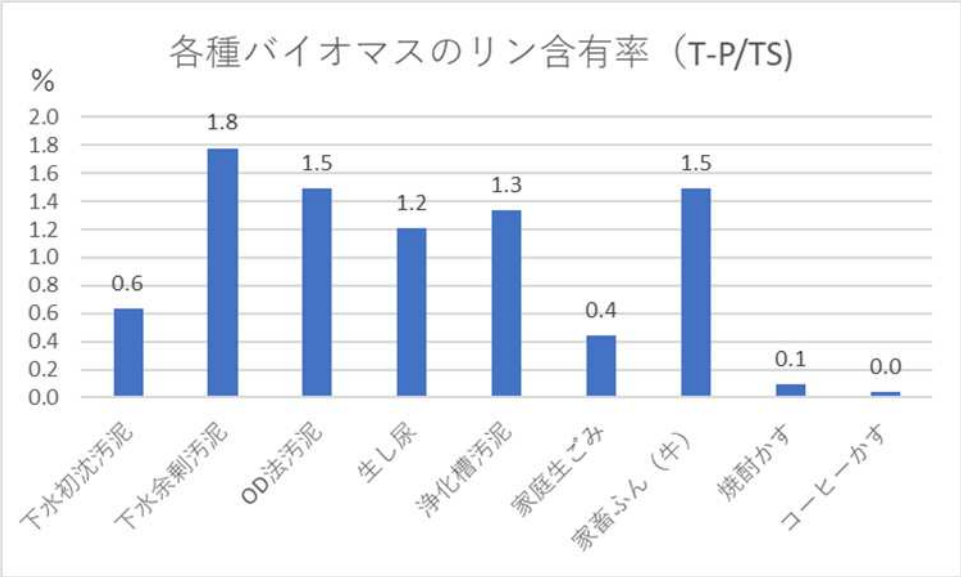


図 4－4　各種バイオマスのリン含有率

４．３．３　　各種バイオマスの成分組成

図 4－5 に、過年度 JS で調査した各種バイオマスの成分組成を示した。

初沈汚泥や生ごみは炭水化物が 50%以上を占め脂質の比率も相対的に高いためメタン発酵性の高いバイオマスに分類される。余剰汚泥は浄化槽汚泥と組成は似ており、生きているバイオマス（活性汚泥微生物）主体のため加水分解性が低く、メタン発酵性は高くない。

生し尿や浄化槽汚泥は搬入濃度（TS）が 0.5～1.2%程度と低く灰分（無機分）も相対的に高いため、メタン発酵性原料価値としてはやや低いバイオマスである。

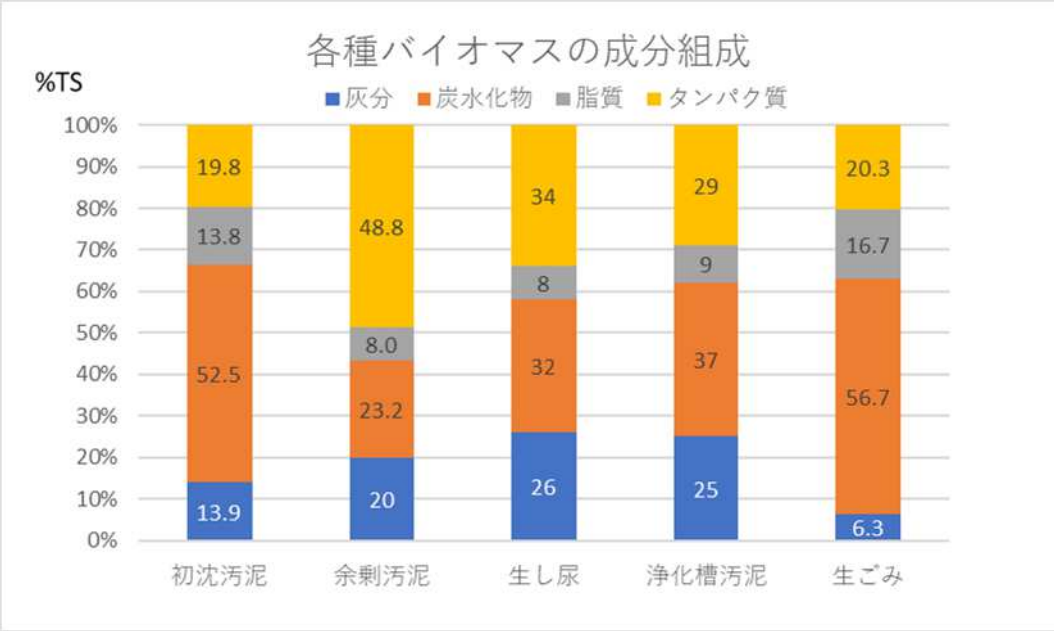


図 4－5　各種バイオマスの成分組成

４．４　　各種バイオマスのメタン発酵性

４．４．１　　各種バイオマスのメタン発酵性

図 4－6 は、過年度 JS で実施したメタン発酵試験で得られたデータを基に作成した各種バイオマスのメタン発酵性を示したものである。

一般に有機分分解率が高いバイオマスほど投入 VS あたりのガス発生量が大きくなる。焼酎かすなどアルコールを多く含むバイオマスでは見かけ上の VS が小さく測定される結果、投入 VS 当りガス量が 1200～1500m³/t-VS となる場合がある。このようなバイオマスについては VS を指標とすることが不適当であり、注意が必要となる。

有機物の一般的な分解 VS 量当りのガス発生量は 850～1000 m³/t-分解 VS 程度である。

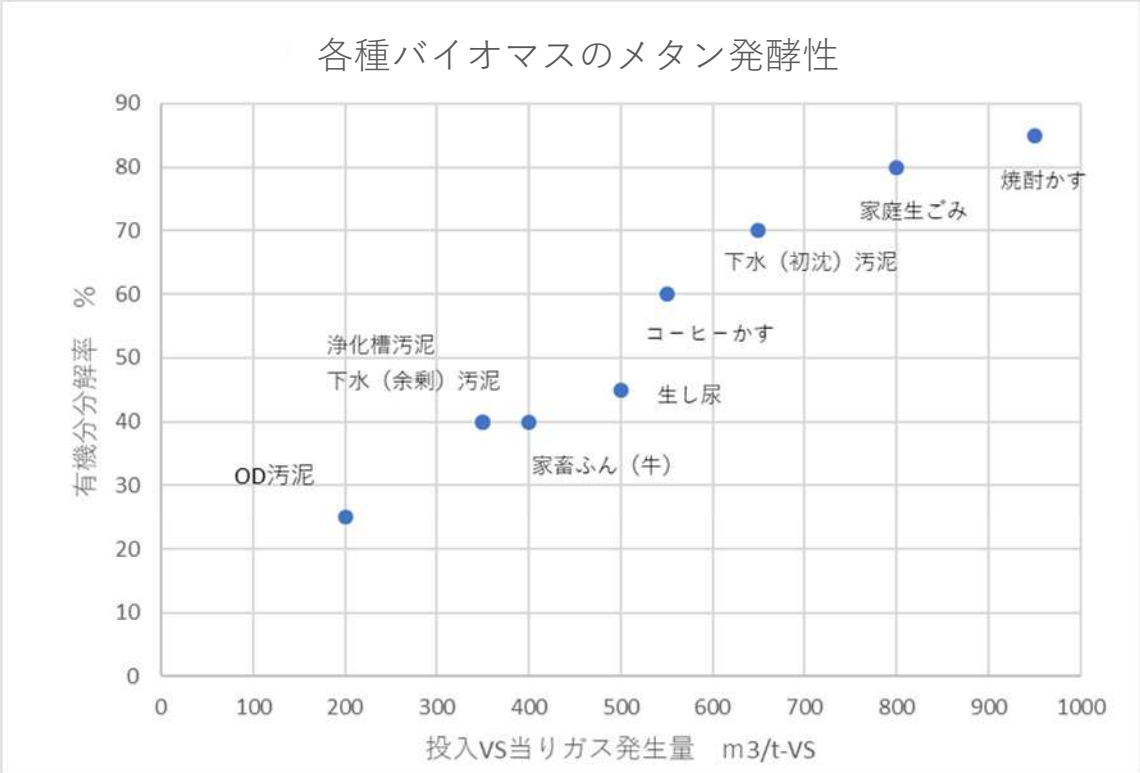


図 4－6　各種バイオマスのメタン発酵性（ガス発生量と有機分分解率）

４．４．２　　加水分解性の低いバイオマス

図 4－7 は、各種バイオマスを対象とした回分式メタン発酵試験結果の一つである。試験試料の投入固形物濃度に違いがあるため累積ガス発生量の絶対値は無視し、時間経過と累積ガス発生量の推移を比較する。

多くのバイオマスは試験開始後、約 100 時間（3～5 日）程度で全体の 9 割以上の分解ガス化が完了するが、コーヒーかすにおいては 400 時間（15～20 日）を過ぎてもガス発生が継続していることがわかる。コーヒーかすは下水汚泥や他の食品廃棄物に比べ加水分解性が低いため、長時間をかけて分解ガス化が進行する。下水処理場で近年広く採用されている単段式完全混合型の消化槽では、コーヒーかすのような加水分解性の低いバイオマスは未分解の状態でウォッシュアウトされる割合が高くなるため、投入量当たりのガス発生量は大きく低下する場合があるので注意が必要となる。

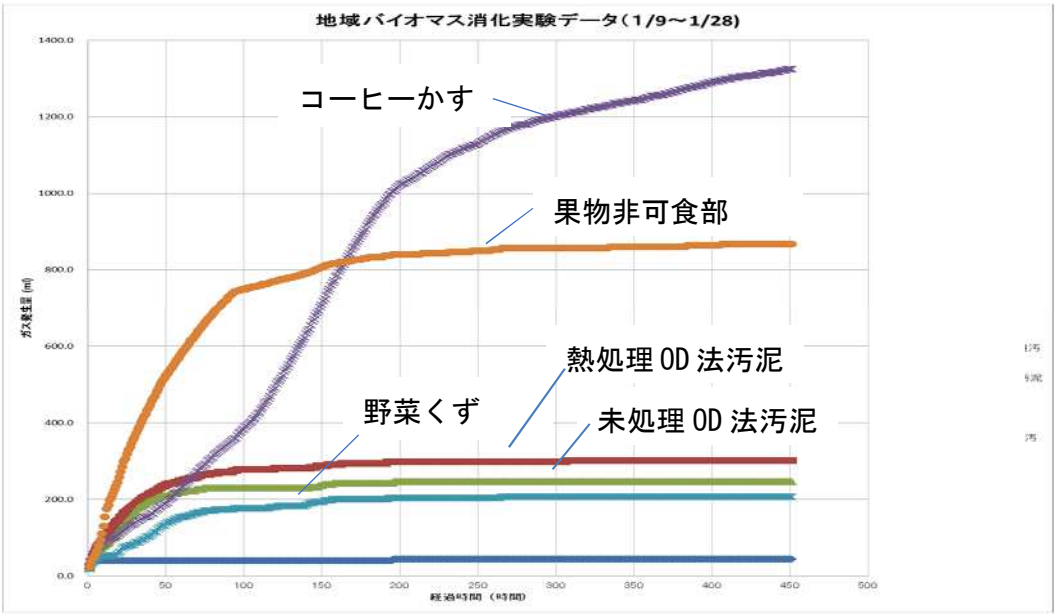


図 4－7　各種バイオマスのメタン発酵性

4．4．3　　熱改質等によるメタン発酵性の改善

図 4－8 に、OD 法汚泥を対象としたセミバッチ式回分式メタン発酵試験（汚泥を間欠で複数回に分けて投入する回分試験法）結果の一例を示した。日当たりのガス発生量は汚泥投入日やその後数日間は高いが、徐々に少なくなっていく。OD 法汚泥の大部分は活性汚泥微生物の集合物であり、その微生物が生きている限り加水分解は進まないため、初沈汚泥等に比べメタン発酵性は極めて低い（２．３．２ 水処理反応タンクの管理と余剰汚泥のメタン発酵性　参照）。このような汚泥も熱改質（170℃・30 分間）処理することでメタン発酵性を改善することが可能である。

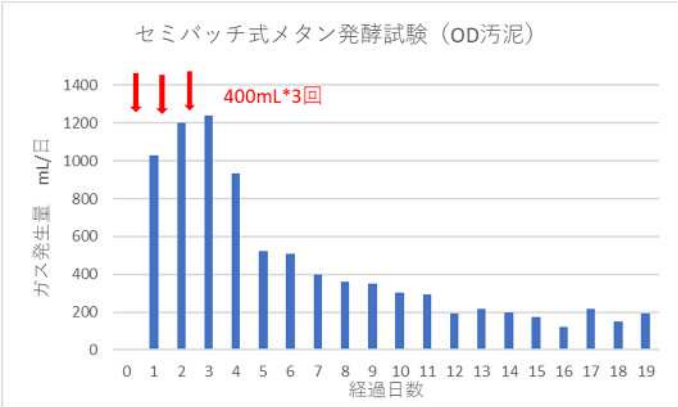


図 4－8　OD 法汚泥のメタン発酵試験結果の事例

図 4－9 に、OD 法汚泥の熱改質改善効果確認試験の一例を示した。投入 VS 当たりガス発生量が 215mL/g-VS であったものが 254mL/g-VS にまで約 2 割改善された。なお、熱改質処理では汚泥のメタン発酵性の改善効果以外に、汚泥の脱水性改善にも大きな効果を有することが確認されている。

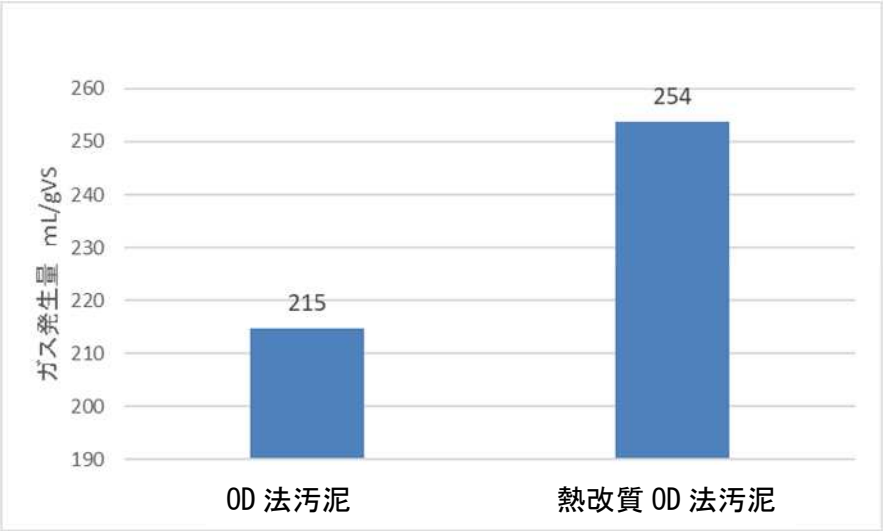


図 4－9　熱改質処理による OD 法汚泥のメタン発酵性改善事例

４．５　　各種バイオマスのメタン発酵原料としての特性

表 4－1 に、各種バイオマスのメタン発酵原料としての特性を示した。地域バイオマスを下水処理場に受け入れ、下水汚泥との混合メタン発酵を検討する場合はこれらの特性を十分に理解して進めるべきである。

表 4－1　各種バイオマスのメタン発酵原料としての特性

バイオマスの種類	メタン発酵原料としての特性
下水初沈汚泥	・生ごみ並みに分解ガス化率が高い
	・加水分解（腐敗）が進みやすいため、速やかに濃縮し発酵槽へ投入する必要がある
下水余剰汚泥	・水処理反応タンクの運転条件（BOD-SS負荷等）によってメタン発酵性に差が出る
	・余剰汚泥の投入によりアルカリ度の補給が行われ、メタン発酵が安定する
OD法汚泥	・メタン発酵性が低く、一般的にはメタン発酵原料としては不適である
	・反応タンク（ディッチ）のBOD-SS負荷を高めることで、メタン発酵性を多少は改善できる
生し尿	・下水道の整備や合併浄化槽の普及で減少傾向にある
	・簡易水洗の普及で従来の生し尿に比べ濃度が低くなっている
	・単位有機物量当たりのガス発生量は下水汚泥（混合生）と同程度である
浄化槽汚泥	・基本性状（成分組成）、メタン発酵特性は下水余剰汚泥と同程度である
	・搬入濃度（TS)が一般に1%以下と低いため、消化槽投入前に濃縮処理が望まれる
家庭生ごみ	・メタン発酵性（分解ガス化率）は下水初沈汚泥より高い
	・バイオマス資源としての発生量は下水汚泥と同等に安定している
	・お盆や正月休み明けに搬入量が急増するため、その対策が必要である
家畜ふん尿（牛）	・メタン発酵性は牛種によって異なる（高濃度飼料である乳牛ふん尿は草食中心の肉牛の糞に比べメタン発酵性が高い）
	・糞尿を分離し、ふんは堆肥化し、尿はメタン発酵処理するのが一般的
焼酎かす	・8%程度のアルコール分をふくみ、メタン発酵性が高い
	・濃度指標としてはVS（強熱減量）よりCODcrによる管理が望ましい
コーヒーかす	・有機分率がほぼ100%と高く、窒素やりんの含有率も低い
	・加水分解性が低い（分解ガス化に時間を要す）ため、単段消化では分解ガス化率が低くなる
	・メタン発酵原料以外にコンポスト原料としての価値も高い

４．６　　まとめ

４．６．１　　有機物濃度の指標

バイオマスの有機物含有濃度指標としては一般に VS（強熱減量）が広く用いられているが、低濃度バイオマスやアルコール・揮発性有機酸を多く含む場合は指標として適さない場合がある。そのため、このような性質のバイオマスでは CODcr が比較的安定した有機物指標とみなせる。CODcr/VS は一般的に 1.5 程度で、新鮮なバイオマスでは 1.3 前後、腐敗の進んだバイオマスでは 1.6～1.8 程度の場合が多い。

４．６．２　　有機物濃度と窒素、リン含有量

各種バイオマス中には多かれ少なかれ炭素化合物とともに窒素、リンが数%含まれている。メタン発酵過程でタンパク質等の有機分の分解に応じて消化液中に窒素（特にアンモニア）が溶出し水処理プロセスへの返流水負荷の増加となったり、消化槽内でのアンモニア阻害発生の要因にもなるため、窒素含有量の高いバイオマスの受け入れにおいては注意が必要となる。また、リン含有量の高い有機物の場合は MAP 発生量が多くなりやすい。

放流先の窒素の排出規制が厳しい場合などは、下水の余剰汚泥をメタン発酵から外し、初沈汚泥のみをメタン発酵の対象とすることも考えられる。

４．６．３　　メタン発酵性

バイオマスの全てがメタン発酵原料となるものではない。加水分解性が高く一般に人間の食糧、動物の飼料となるバイオマスが高いメタン発酵性を有する。

下水汚泥では初沈汚泥のメタン発酵性は生ごみ並みに高いが、余剰汚泥や OD 法汚泥のような活性汚泥主体のバイオマスは加水分解されないためメタン発酵性は低い。これらメタン発酵性の低い汚泥も熱改質処理（170℃、30 分間）等によりある程度改善（10～30%）できる場合がある。

４．６．４　　バイオマス資源化利用上の留意点

メタン発酵原料としては生ごみや焼酎かすなどメタン発酵性の高いバイオマスが有利である。生し尿や浄化槽汚泥は下水汚泥並みのメタン発酵性を有するが、一般に搬入濃度が TS として 0.4～1.2%と低いため、加温熱エネルギー収支の面より消化槽投入前に濃縮工程を行うことが望まれる。

第５章　　下水処理場における地域バイオマス受け入れの影響調査

５．１　　調査の概要

本調査は、既に地域バイオマスを受け入れている処理場の事例分析を行い、計画・設計段階の留意事項をとりまとめるものである。

なお、本章の地域バイオマスは、し尿・浄化槽汚泥及び集落排水汚泥を示す。

５．２　　調査の内容及び目的

下水道事業が抱える人・モノ・カネの課題の解決策の一つとして、汚水処理の広域化・共同化が進められており、し尿・浄化槽汚泥や集落排水汚泥の下水処理場での集約処理は、下水道事業の効率化を目的に今後も増加することが予想される。他方、2050 年カーボンニュートラルの政策目標が掲げられ、下水道分野での創エネが注目されている。下水処理場における創エネ技術としてメタン発酵が広く採用されており、下水汚泥に加えて地域で発生するバイオマスを受け入れて処理することで、さらなるエネルギー回収や地域脱炭素への貢献が期待される。

このような背景の下、昨今の JS の業務では、下水処理場における地域バイオマスの受け入れ検討を行う案件が増えている。下水処理場で地域バイオマスを受け入れる場合、その影響を計画・設計段階で把握しておくことが、供用開始後の効率的な運用や不具合・トラブルの防止につながる。

そこで本調査では、地域バイオマス受け入れに向けた計画・設計段階の留意事項の整理を目的に、既に地域バイオマスを受け入れている処理場の事例分析を実施した。具体には、対象処理場へのヒアリング調査を実施して、地域バイオマス受け入れ前の検討状況や受け入れ後の運用・課題などを確認するとともに、対象処理場の水質分析と容量計算により、地域バイオマス受け入れの定量的な影響評価を試みた。

５．３　　調査方法

５．３．１　　ヒアリング調査

実際に地域バイオマスを受け入れている処理場において、受け入れに伴う水処理、汚泥処理への影響をヒアリング調査により確認した。調査対象は、地域バイオマスの種類、処理場の規模や処理法の異なる 5 処理場（表 5－1）とし、表 5－2 の項目についてヒアリングを行った。

表 5－1 調査対象処理場

処理場	水処理方法	汚泥処理方法	現有処理能力（m^3/日）	受け入れバイオマス
A	標準法	重力濃縮－消化－脱水	8,064	し尿 浄化槽汚泥
B	OD 法	重力濃縮－脱水	2,200	し尿 浄化槽汚泥
C	標準法	重力濃縮－脱水	12,800	集落排水汚泥
D	OD 法	重力濃縮－脱水	4,875	し尿 浄化槽汚泥
E	標準法	重力･機械濃縮－消化－脱水	12,000	集落排水汚泥

表 5－2 ヒアリング項目

地域バイオマス	➢ 地域バイオマスの受け入れ状況について ➢ 受け入れのための事前検討について
地域バイオマス受け入れの影響	➢ 地域バイオマス受け入れによる運転上、維持管理上の影響 ➢ 地域バイオマス受け入れによるトラブル・不具合等

5．3．2　容量計算を用いた影響評価

前項でヒアリング調査を実施した処理場において、容量計算を用いて地域バイオマス受け入れの影響評価を実施した。容量計算には、各処理場の日常運転データに加えて、受け入れバイオマスや汚泥処理返流水等の水質分析結果等を用いた（表 5－3～表 5－5）。

表 5－3 地域バイオマスの量及び水質

処理場	汚泥種	地域バイオマス量（m^3/日）			地域バイオマス水質			
					BOD		SS	
		事業計画	実績平均	実績最大	事業計画	実績	事業計画	実績
A	し尿	40	17.55	46.77	11,000	－	14,000	9,400
	浄化槽汚泥	16	16.01	55.10	3,500	－	7,800	4,500
	Z処理場汚泥	－	10.80	17.80	－	－	－	2,010
B	し尿･浄化槽汚泥	130	57.3	94.1	－	4,590	747	5,093
C	集落排水汚泥	10	30.93	32.07	－	―	－	2,820
D	し尿･浄化槽汚泥	5.042	27.04	44.25	10,000	―	15,000	―
E	集落排水汚泥	3.1	15.76	20.41	－	－	－	1,630

表 5－4 脱水処理返流水の水質

単位：mg/L

処理場	BOD	S-BOD	T-N	DT-N	備考
A	470	310	980	750	水質分析結果
B	200	130	81	32	水質分析結果
C	1,400	1,100	160	100	水質分析結果
D	200	130	81	32	B処理場水質採用
E	470	310	980	750	A処理場水質採用

表 5－5 濃縮脱離液の水質（T-N）

（B-DASH プロジェクト No3 固定床型アナモックスプロセスによる高効率窒素除去技術導入ガイドライン(案),P56, P196））

機械濃縮 （mg/L）	重力濃縮 （mg/L）
60	112

5．4　検討結果および考察

5．4．1　ヒアリング調査

実際に地域バイオマスを受け入れている処理場において、受け入れに伴う水処理、汚泥処理への影響等についてヒアリング調査を実施した（表 5－6、表 5－7、表 5－8）。

表 5－6 各処理場の地域バイオマス受け入れ状況

処理場	受け入れ先	受け入れバイオマス	前処理	受け入れ頻度	受け入れの背景	各処理場の受け入れ条件
A	消化タンク（汚泥貯留槽）	し尿 浄化槽汚泥	し渣除去	5 回/週	し尿処理施設の老朽化	地域バイオマスの受け入れ量は、汚泥量ベースでは下水：し尿＝5：1 程度のイメージである。し尿は受け入れ槽で受け入れ、し渣の除去を行ってから濃縮汚泥と混合している。
B	流入（分配槽）	し尿 浄化槽汚泥	2-10 倍希釈 し渣除去	5-6 回/週	し尿処理施設の老朽化	受け入れ量は、受け入れ可能量/下水流入量で 1.5%程度になるようにしている。
C	脱水機（汚泥貯留槽）	集落排水汚泥	し渣除去	1 回以下/週	濃縮汚泥運搬費の低減	複数施設からの地域バイオマス受け入れに対し、搬入日が重ならないように調整している。また、脱水機の許容処理量に応じて受け入れ量を調整している。農集排処理施設から、次に搬出予定の汚泥性状等の情報を共有してもらっている。
D	流入（分配槽）	し尿 浄化槽汚泥	し渣除去	4-5 回以下/月	広域処理による効率化	共同脱水での受け入れを検討していたが、脱水性が異なることから水処理系での受け入れとした。地域バイオマス貯留槽を曝気して、腐敗の防止を行っている。
E	濃縮機（汚泥貯留槽）	集落排水汚泥	し渣除去	1 回/月	広域処理による効率化	搬入事業者の都合で、地域バイオマスの受け入れが月 1 回にまとめて行われている。また、バキューム車を浄化槽汚泥の引抜と共用しているため、浄化槽で使われている接触ろ材が混入することがある。

表 5－7　バイオマス受け入れの事前検討と実際の運用

（赤枠着色部は詳細を表 5－8 に示す。）

処理場	事前検討		実際の運用		
	実施した事前検討	事前に想定された影響	運転・維持管理上の影響	想定外の影響	トラブル・不具合事例
A	・活性汚泥モデルを利用した水処理への影響。 ・色度上昇の対応（放流先水域の色度規制があるため）。	・固形物量の増加。 ・色度の対策のため、消化槽の直接投入とした。	・脱水汚泥量の増加。	・MAP の発生量が多い。	・脱水機ろ液管の MAP による閉塞。
B	・計画処理水量の検討（し尿・浄化槽汚泥と流入下水量の割合等）。 ・施設容量の検討（投入量の予測等）。 ・受け入れ方式の検討（水処理系、汚泥処理系）。	なし	・曝気量の増加。	・曝気のコントロールや地域バイオマスの投入方法の調整等に半年以上を要した。	・スクリーンユニットくし歯の破損。 ・破砕機の摩耗。 ・夾雑物による閉塞。 ・受け入れ槽でし尿・浄化槽汚泥を貯留した際に、汚泥が上下に分離し、上面に硬い層ができる。
C	・農集排汚泥投入による脱水性の検討。 ・凝集剤のビーカー試験。 ・反応槽への影響調査。	なし	・脱水性の影響。	・農集汚泥投入により脱水性に影響する。	・脱水機の目詰まり。
D	なし	なし	なし	なし	なし
E	不明	不明	・消化タンクが加温式でないため、冬場のメタン発酵が安定しない。	・地域バイオマスの受け入れが月 1 回まとめて行われているため、一時的に処理能力以上の流入となる。	・水処理では固液分離障害や pH への影響、汚泥処理では発泡が発生する。

表 5－8 各処理場の運用状況

処理場	対象処理場での運用状況
A	消化槽への直接投入のため、水処理には影響は出ていない。しかし、汚泥処理系では地域バイオマスの受け入れ当初から MAP の析出が顕著となり、脱水ろ液配管の更新が必要となった。そのため、ポリ硫酸第二鉄を、脱水前の汚泥に通常の 1.5 倍程度添加して MAP の発生抑制を図っている。
B	計画上の 1 日受け入れ量を、バキューム搬入時の数分～数十分で投入するため、BOD 負荷が一時的に増加し、曝気量が急増することがある。
C	汚泥処理系での受け入れのため、曝気量への影響はほとんど無い。汚泥処理では、脱水性の悪化が予想されたため、設計段階で農集排汚泥と濃縮汚泥の許容混合比をビーカー試験により確認し、受け入れ後の実運転で微調整を行った。そのため、混合比の調整段階では薬品費が増加していたが、現在はほぼ計画通りで運用できている。
D	地域バイオマスの受け入れ頻度が少ないため、曝気量への影響はほとんど無い。農集排汚泥の受け入れのために整備した撹拌機、除塵機、ポンプ等の運転に要する電力費の増加程度で収まっている。
E	搬入事業者の都合で、地域バイオマスの受け入れが月 1 回まとめて行われているため、一時的に処理能力以上の流入となり運転に苦慮することがある。水処理では固液分離障害や pH への影響があり、曝気量や MLSS の調整が難しい。汚泥処理では、農集排汚泥投入後 2～3 日程度で発泡があり、解消までに 2～3 週間要することがある。また、無加温消化を実施しているため、冬季に消化槽内の温度低下に伴う消化不良が見られた。

5．4．2　容量計算を用いた影響評価

ヒアリング結果から、地域バイオマスの受け入れ状況と維持管理への影響が確認できたことから、実際の受け入れ条件における水処理、汚泥処理への影響について、容量計算により定量的な評価を試みた。

（1）水処理への影響

地域バイオマスを水処理の前段（流入）で受け入れている B、D 処理場において、日最大汚水量（m^3/日）の計画値と地域バイオマス受け入れ量（m^3/日）の各計画値を用いた容量計算を行ったところ、反応タンクの必要酸素量にほとんど影響が無い結果となった（表 5－9）。一方で、実運用に近いケースとして、日平均汚水量の実績値と地域バイオマス受け入れ量の実績値を用いた容量計算では、実際の流入水量が少ないため十分な希釈効果が得られず、返流水負荷の増加も相まって、両処理場とも反応タンクの必要酸素量が計画値に比べて 1 割以上増加していた。しかし、B 処理場のヒアリング調査ではバキューム搬入による一時的（瞬間的）な負荷増大が課題となっており、D 処理場では水処理への影響はほとんど認識されていなかった。

汚泥処理で地域バイオマスを受け入れている A、C、E 処理場のうち、C 処理場と E 処理場の容量計算では、計画値又は実績値のどちらを用いても水処理の影響はほとんど

無い結果であった。また、A 処理場では返流水のアンモニア負荷が高く、計画値を用いた容量計算に比べて、実績値では水処理の必要酸素量が 2 割近く増加した。しかし、各処理場のヒアリング調査では、A、C 処理場の水処理の影響は認識されておらず、E 処理場のヒアリング調査では、水処理における曝気量や MLSS の調整に苦慮している状況が確認できた。

したがって、計画値を用いた容量計算では、特に地域バイオマスを水処理の前段で受け入れる場合に、水処理への影響が過小評価される可能性がある。また、実績値を使用した場合でも、１日の受け入れ量をバキューム搬入時の数分～数十分で投入する実態を再現することは困難である。そのため、容量計算のみでは地域バイオマス受け入れによる水処理への影響を的確に評価することは困難と考えられた。

表 5－9　地域バイオマス受け入れによる水処理への影響
（左：計画値を基に算出、右：実績値を基に算出）

処理場	処理方式	受入バイオマス	受入先	地域バイオマス受入有無	返流水への影響		必要酸素量
					返流水量（m^3/日）	返流水負荷（kg/日）	（kgO_2/日）
A	標準法	し尿 浄化槽汚泥	消化タンク （汚泥貯留槽）	有①	221	259	3,946
				無②	164	255	3,743
				増加率（①/②）	135%	101%	**105%**
B	OD法	し尿 浄化槽汚泥	流入 （分配槽）	有①	82	92	1,852
				無②	70	71	1,796
				増加率（①/②）	117%	120%	**103%**
C	標準法	集落排水汚泥	脱水機 （汚泥貯留槽）	有①	399	450	3,212
				無②	388	431	3,197
				増加率（①/②）	103%	104%	100%
D	OD法	し尿 浄化槽汚泥	流入 （分配槽）	有①	211	155	3,719
				無②	199	151	3,681
				増加率（①/②）	106%	103%	**101%**
E	標準法	集落排水汚泥	濃縮機 （汚泥貯留槽）	有①	220	491	4,014
				無②	217	485	4,004
				増加率（①/②）	101%	101%	100%

地域バイオマス受入有無	返流水への影響		必要酸素量
	返流水量（m^3/日）	返流水負荷（kg/日）	（kgO_2/日）
有①	224	215	3,047
無②	101	158	2,603
増加率（①/②）	220%	136%	**117%**
有①	114	121	1,995
無②	58	63	1,723
増加率（①/②）	197%	192%	**116%**
有①	408	456	2,865
無②	370	400	2,828
増加率（①/②）	110%	114%	101%
有①	213	155	3,489
無②	104	73	3,158
増加率（①/②）	205%	212%	**110%**
有①	159	352	2,900
無②	137	307	2,857
増加率（①/②）	116%	115%	102%

（２）汚泥処理への影響

計画値及び実績値を用いた汚泥処理系の容量計算を行ったところ、水処理への影響と同様に計画値では過小評価される傾向にあり、A 及び D 処理場では、地域バイオマス受け入れによる負荷の増加率が約 2 倍となった（表 5－10）。また、ヒアリング調査では汚泥処理への影響はほとんど無い又は想定の範囲内との回答であったものの、A 処理場では想定外の MAP の生成が、E 処理場では消化の不安定化や発泡現象が起こることが確認された。したがって、地域バイオマスを汚泥処理で受け入れる場合においても、容量計算のみで汚泥処理への影響を評価することは困難であると考えられた。

表 5－10　地域バイオマス受け入れによる汚泥処理への影響
（左：計画値を基に算出、右：実績値を基に算出）

処理場	受入バイオマス	受入先	地域バイオマス受入有無	重力濃縮 固形物負荷 (kg/m²/日)	機械濃縮 運転時間 (hr/日)	消化タンク 必要容量 (m³)	汚泥脱水機 処理能力 (m³/hr)	重力濃縮 固形物負荷 (kg/m²/日)	機械濃縮 運転時間 (hr/日)	消化タンク 必要容量 (m³)	汚泥脱水機 処理能力 (m³/hr)
A	し尿浄化槽汚泥	消化タンク（汚泥貯留槽）	有①	41.4	－	3,540	23.3	33.8	－	4,586	30.4
			無②	41.3	－	1,860	12.2	25.6	－	1,170	7.7
			増加率(①/②)	100%	－	**190%**	**191%**	**132%**	－	**392%**	**395%**
B	し尿浄化槽汚泥	流入（分配槽）	有①	34.6	－	－	8.2	48.6	－	－	11.7
			無②	29.9	－	－	7.2	24.7	－	－	5.8
			増加率(①/②)	**116%**	－	－	**114%**	**197%**	－	－	**202%**
C	集落排水汚泥	脱水機（汚泥貯留槽）	有①	29.3	－	－	26.0	27.7	－	－	29.0
			無②	29.0	－	－	23.6	26.9	－	－	22.0
			増加率(①/②)	101%	－	－	**110%**	103%	－	－	**132%**
D	し尿浄化槽汚泥	流入（分配槽）	有①	19.2	－	－	15.2	19.4	－	－	15.3
			無②	18.1	－	－	14.2	9.4	－	－	7.5
			増加率(①/②)	**106%**	－	－	**107%**	**205%**	－	－	**204%**
E	集落排水汚泥	濃縮機（汚泥貯留槽）	有①	30.8	8.1	2,010.0	15.3	19.9	6.1	1,500	11.4
			無②	30.7	7.9	1,980.0	15.1	19.4	5.0	1,260	9.6
			増加率(①/②)	100%	**102%**	**102%**	**101%**	103%	**122%**	**119%**	**119%**

5．5　　主たる成果

地域バイオマス受け入れによる水処理や汚泥処理への影響をヒアリングにより調査し、容量計算を用いた定量的な影響評価を試みたが、容量計算のみで水処理や汚泥処理への影響を的確に評価することは困難であると考えられた。したがって、既に地域バイオマスを受け入れている処理場の運転実績等を基にチェックリストを作成し、容量計算と併せて、地域バイオマスの受け入れ検討を行うことが有効と考えられた。表 5－11 にチェックリストの素案を示すが、今後も項目を拡充させることが望ましい。

表 5－11 地域バイオマス受け入れの事前検討チェックリスト案（計画・設計段階の留意事項）

留意事項	調査対象処理場の事例を踏まえた対応（案）
処理場への影響の事前確認と受け入れ場所の選定	➢ 実績値や今後の流入量の変動を考慮した地域バイオマス受け入れ許容量の検討。 ➢ 活性汚泥モデル等による詳細な影響評価。 ➢ バキューム搬入による一時的（瞬間的）な負荷増大を考慮して各施設の最大負荷を確認。 ➢ 地域バイオマス受け入れの影響を試験投入等で事前調査。
地域バイオマス受け入れ量の平準化	➢ 具体的な搬入スケジュールの確認。 ➢ 受け入れ調整槽等の設置の検討。 ➢ 平準化が困難な場合は、一時的（瞬間的）な負荷増大を考慮した各施設の最大負荷の確認とその対策の検討。
地域バイオマスの性状の確認（腐敗や異物混入の防止）	➢ 具体的な搬入スケジュールの確認。（再掲） ➢ 地域バイオマス搬出元での曝気や夾雑物除去等の前処理の検討。 ➢ 受け入れ時の前処理増強の検討。 ➢ バキューム車の運用状況の確認・洗浄等の要請。
その他	➢ （脱水機前段で受け入れる場合）ビーカー試験等による凝集剤添加条件の確認。 ➢ （消化を行っている場合）現状の MAP 析出状況及び水質調査結果等による MAP 発生可能性の確認。

第６章　　鋼板製消化設備の事後評価調査（新技術フォローアップ）

６．１　　調査の概要

６．１．１　　調査の背景

嫌気性消化法は、汚泥の減容化・安定処理として従来から導入されているが、近年では汚泥から消化ガスとしてエネルギーを取り出し発電利用することのできる創エネ技術として注目されている。令和元年度末時点で、バイオガス発電を実施している下水処理場は全国で 118 箇所あるが、全国で発生している下水汚泥のうち、バイオガス利用されているものは、発生汚泥固形物量のうち 16%程度に留まる。脱炭素社会の実現に向けて、下水汚泥のバイオガス利用の取組みが、今後更に進むと考えられる。

図 6－1 に示すように我が国の下水処理場での嫌気性消化法は 1960 年ごろから普及しているが、コンクリート製消化タンクの耐用年数は 45 年であることから、今後は老朽化が進行し、施設の更新の需要が高まることが予想される。（汚泥消化タンク改築・修繕技術資料[2]より）

また、図 6－2、平成 30 年度の下水道統計[3]を基に、流入水量別の嫌気性消化タンクの導入実績の有無を整理したものである。中規模（処理能力一万 m³/日）以上の下水処理場でも、全国の 292 箇所で嫌気性消化タンクが未導入であり、今後の新設の需要も高まると予想される。

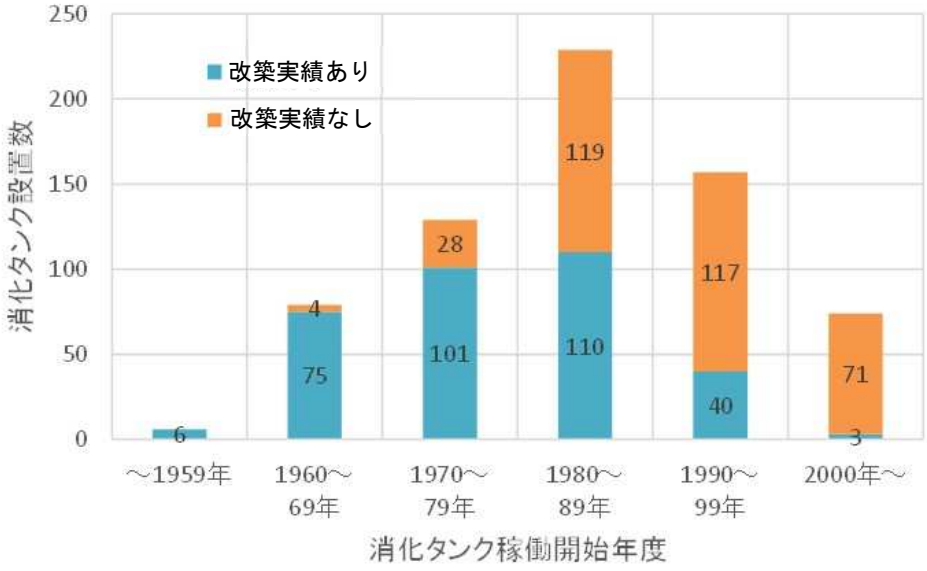


図 6－1　消化タンク稼働開始年度ごとの改築状況
（汚泥消化タンク改築・修繕　技術資料より引用、一部改変）

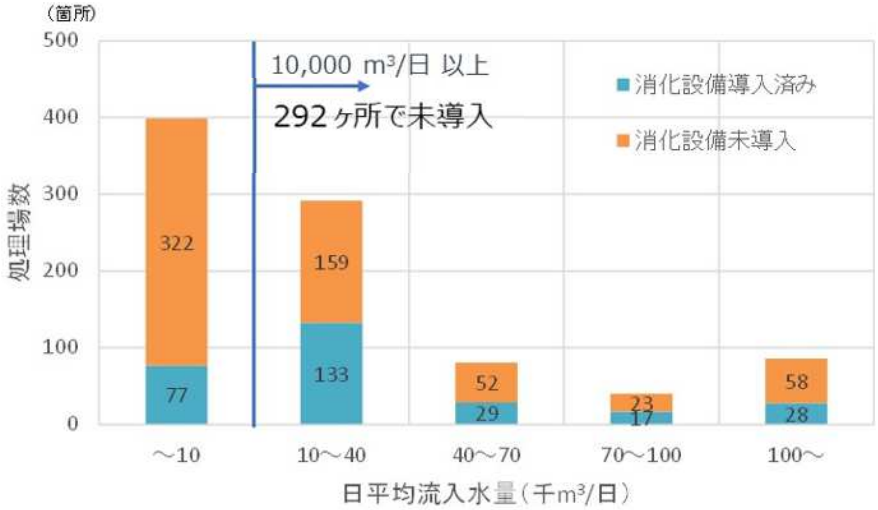


図 6－2 処理場規模別の消化設備導入状況（OD 法除く）
（平成 30 年度下水道統計より）

一方で、近年の 10 年間で、嫌気性消化法を導入している下水処理場の数は、ほぼ横ばいであり、普及が進んでいない（図 6－3）。嫌気性消化タンクは、従来はコンクリート躯体で築造しているが、施工日数が掛かる事やライフサイクルコストが高い等といった課題があった。こうした背景を受けて、日本下水道事業団では新技術導入制度に基づき、鋼板製消化タンクをはじめとした嫌気性消化に係る技術開発を行ってきた。

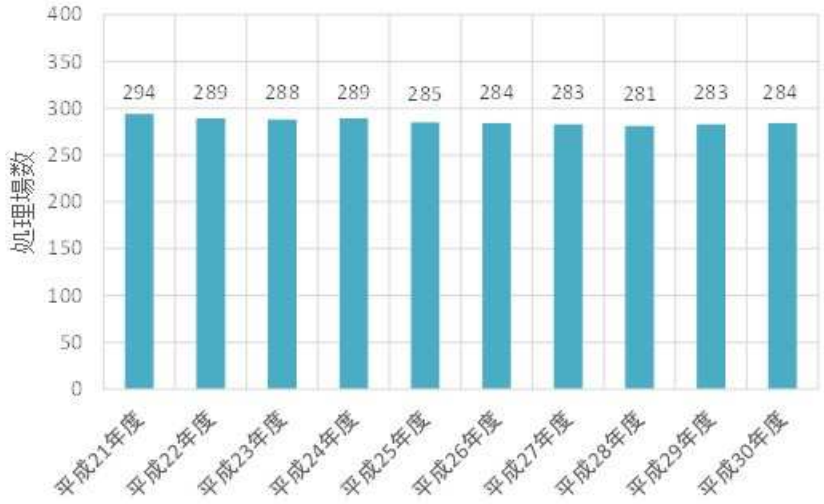


図 6－3 消化設備のある処理場数の推移
（平成 21～30 年度下水道統計より）

令和 4 年 3 月時点において、JS 新技術導入制度で選定された鋼板製消化タンクは、「下部コーン型鋼板製消化タンク」、「パッケージ型鋼板製消化タンク」、「4 分割ピット式鋼板製消化タンク」、「噴射ノズル式鋼板製消化タンク」の 4 種類がある。各技術とも鋼板で製作されており、ライフサイクルコストや施工期間の短縮を図っている。また、各技術の違いとして、タンク底部での砂分等の堆積を抑制する機構や、各種センサ類を用いて運転の最適化（見える化）を図る、等の特徴を有している。

6．1．2　　調査の対象

従来のコンクリート製消化タンクは、建設工期が長いことや LCC の縮減等の課題があった。鋼板製消化タンクは、これらの課題の解決を図ることが可能であり、近年、その導入実績が増加しつつある。

鋼板製消化タンクは令和 4 年 3 月までに 5 か所で 11 基が導入されている。（表 6－1）

表 6－1　鋼板製消化タンクの導入実績　※実験・実証設備を除く

処理場 No.	採用技術	タンク容量 (m^3/基)	数量 (基)	竣工 (年)
1	パッケージ型鋼板製消化タンク	5,800	1	2016
2	その他（選定新技術外）	5,000	2	2017
3	パッケージ型鋼板製消化タンク	5,000	3	2019
4	パッケージ型鋼板製消化タンク	3,200	1	2019
5	下部コーン型鋼板製消化タンク	9,000	4	2021

今回は、表 6－1 の No1 のパッケージ型鋼板製消化タンク及び No5 の下部コーン型鋼板製消化タンクを対象に、消化性能などの確認を行う事後評価調査（新技術フォローアップ）を実施した。

6．2　　調査の目的及び内容

6．2．1　　調査の目的

JS 新技術導入制度において選定された鋼板製消化タンクの性能や機能が実施設において適正に発揮されていることを確認することにより、更なる普及拡大につなげることを目的とした。

6．2．2　調査の内容

鋼板製消化タンクの性能として下記の各項目について調査を行った。

＜消化性能に関する事項＞

・投入有機物量当たりの消化ガス発生量
・消化率
・消化ガス組成

＜設計、建設に関する事項＞

・建設現場工期
・撹拌機消費電力の低減
・エネルギー効率に関する性能指標（交付要件）
・タンク内面腐食への対策

＜運転支援に関する事項＞

・タンク内堆積物発生への対策
・タンク気相部発泡対策
・リン酸マグネシウムアンモニウム（MAP）発生への対策

6．3　調査方法

6．3．1　データの整理

設計・施工時の情報や調査対象の下水処理場の維持管理者や工事施工業者より提供を受けた鋼板製消化タンク設備の各種運転データを整理した。

パッケージ型鋼板製消化タンクについては、供用開始から 5 年を経過したことからこれまでのデータを、下部コーン型鋼板製消化タンクの調査は試運転～立上げ時のデータをそれぞれ整理した。

6．3．2　現地調査

調査対象の下水処理場にて撹拌機の稼働状況、タンク下部の堆積状況、内部防食の劣化状況等について現地調査を行った。

6．3．3　ヒアリング

調査対象の下水処理場での運用状況や不具合等の有無についてヒアリングを行った。

6．4　　調査結果および考察

6．4．1　　消化性能に関する事項

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同等の消化性能を有するとされる。今回調査では、一般的な消化性能として日本下水道協会「下水道施設計画・設計指針と解説 [1)]」（以下、設計指針）等に示される性能と鋼板製消化タンクの運転実績を比較した。

（1）　投入有機物量当たりの消化ガス発生量

パッケージ型鋼板製消化タンク及び下部コーン型鋼板製消化タンクについて、投入有機物量当たりの消化ガス発生量の確認を行い、設計指針に示される性能と比較を行った。

①　パッケージ型鋼板製消化タンク

投入有機物量当たりの消化ガス発生量（消化ガス発生量原単位）の実績データを図 6－4、図 6－5 に示す。

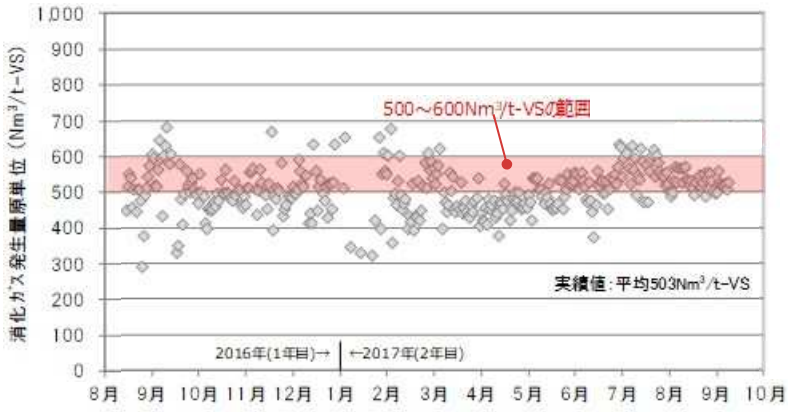


図 6－4　投入有機物量当たりの消化ガス発生量（2016 年～2017 年）

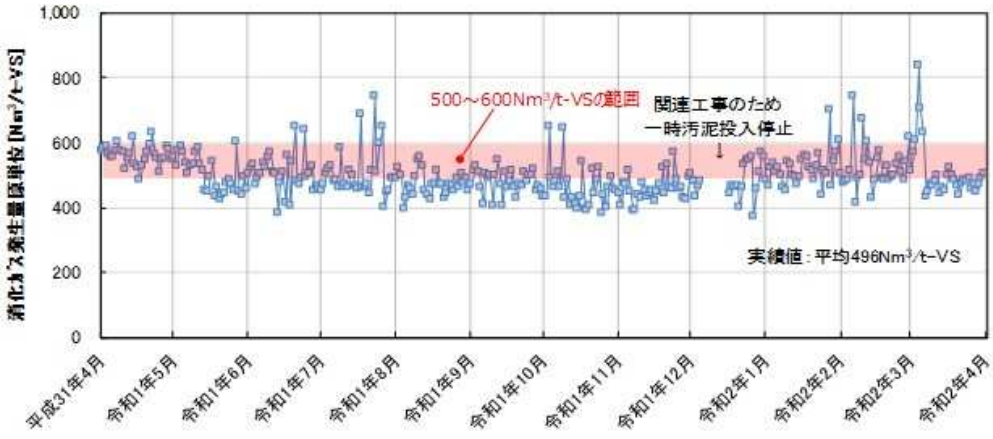


図 6－5　投入有機物量当たりの消化ガス発生量（2019 年度）

投入有機物量当たりの消化ガス発生量は約 500 Nm^3/t-VS であった。設計指針に消化性能として示される 500～600Nm^3/t-VS の下限側となっているが、一般的な範疇であることが確認された。

また、供用開始後、投入有機物量当たりの消化ガス発生量の著しい低下などはなく、年間を通じて消化性能を維持できているものと判断できた。

② 下部コーン型鋼板製消化タンク

下部コーン型鋼板製消化タンクについては、投入有機物量当たりの消化ガス発生量の算出に必要な消化タンク投入汚泥を直接計測することができなかったため、日常の手分析データである消化汚泥（循環汚泥）の TS 濃度を用いて消化汚泥固形物量を推算し、投入有機物量当たりの消化ガス発生量を算出した。

消化ガス発生量を図 6－6 に示す。

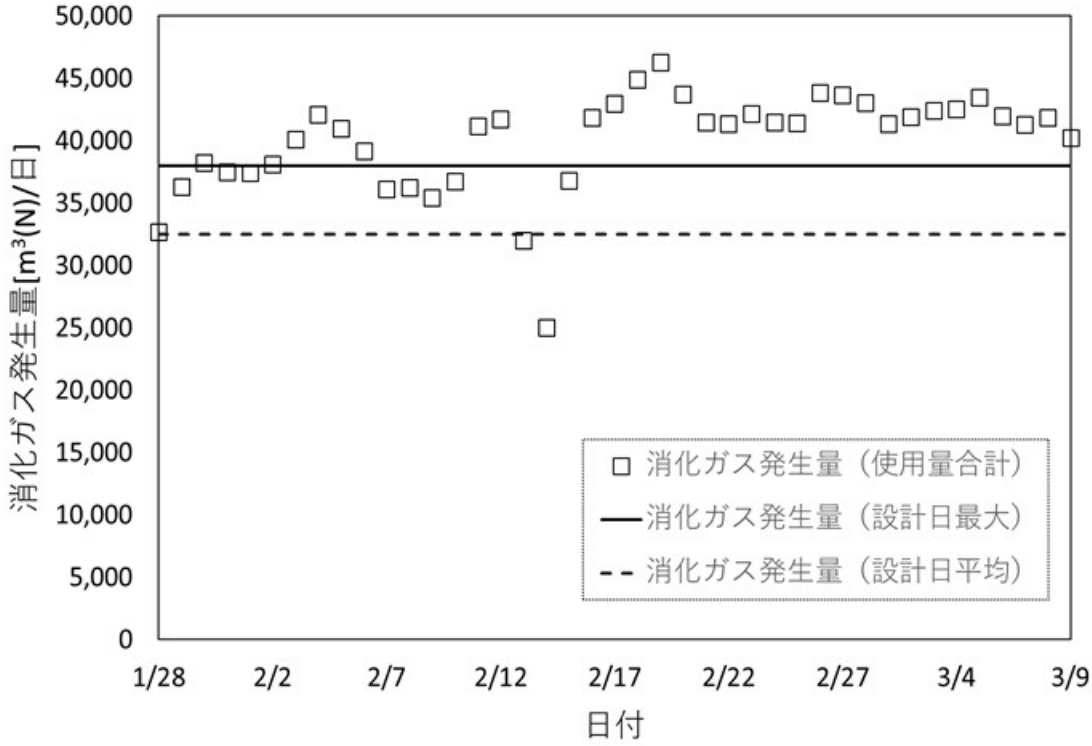


図 6－6 消化ガス発生量の推移

使用量合計：39,979[m^3(N)/日]（期間平均）
設計日最大：38,017[m^3(N)/日]
設計日平均：32,523[m^3(N)/日]

現場都合により解析期間内に汚泥処理設備停止や消化タンクのバイパス（脱水設備への直送）などが行われたが、図 6－6 に示すように、設計日最大を超える量の消化ガスが得られた。

次に、消化汚泥固形物量を消化汚泥流量と消化汚泥 TS 濃度（分析値）の積で計算した。消化汚泥 TS 濃度は 1 日 2 回、各号消化タンクの消化汚泥を採取し分析した。推算された消化汚泥固形物量を図 6－7 に示す。

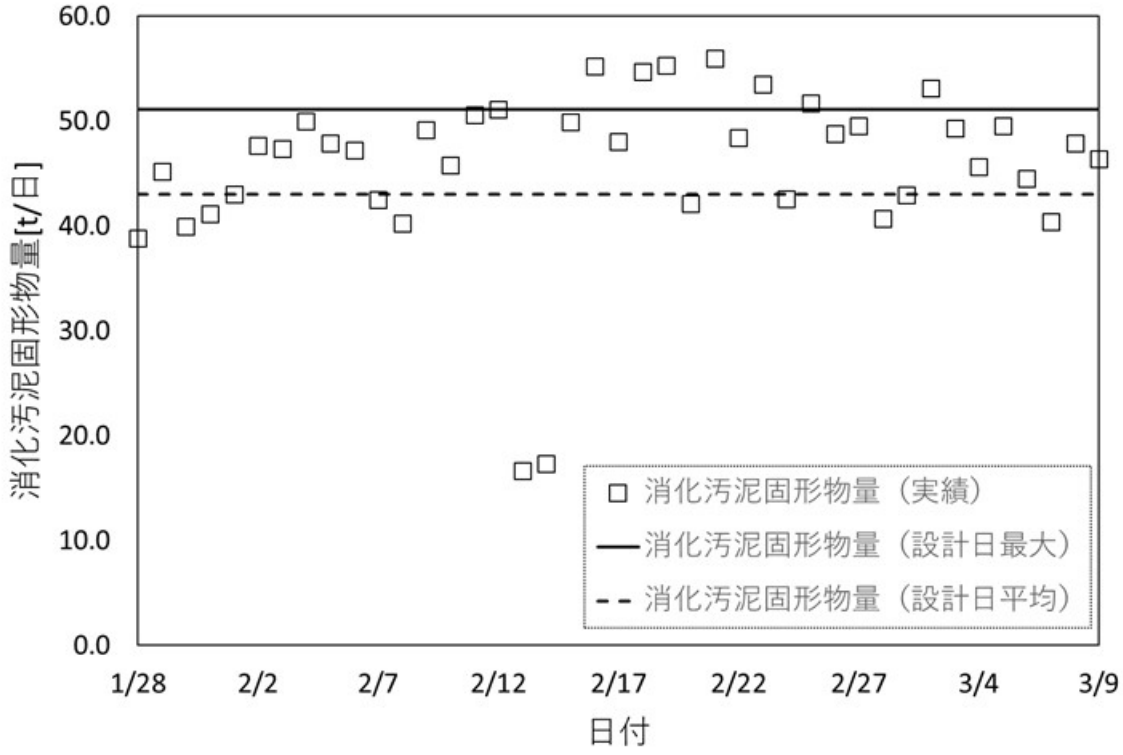


図 6－7 消化汚泥固形物量の推移

消化汚泥量：45.8[t/日]（1～4 号消化タンク排出合計の期間平均）
設計日最大：51.1[t/日]
設計日平均：43.0[t/日]

（投入有機物量あたりの消化ガス発生量）

＝ 39,979[Nm³/日] ÷｛ 45.8[t-TS/日] × 76.7[VS/TS]* ÷（ 1 － 53.8[%]† ）｝

消化ガス発生量　消化汚泥量　消化汚泥 VTS　消化率

＝ 526[Nm³/t-VS]

消化ガス発生量、消化汚泥有機物量、消化率を用いて投入有機物量当たりの消化ガス発生量を算出した結果、526Nm³/t-VS となり、設計指針に消化性能として示される 500～600Nm³/t-VS の範疇であることが確認された。

---

* ６．４．１（２）の②消化率の表 6－2 より、平均値のデータを使用した。
† ６．４．１（２）の②消化率より、データを使用した。

（２） 消化率

パッケージ型鋼板製消化タンク及び下部コーン型鋼板製消化タンクについて、消化率の確認を行い、設計指針に示される性能と比較を行った。

① パッケージ型鋼板製消化タンク

消化率の実績データを図 6－8、図 6－9 に示す。

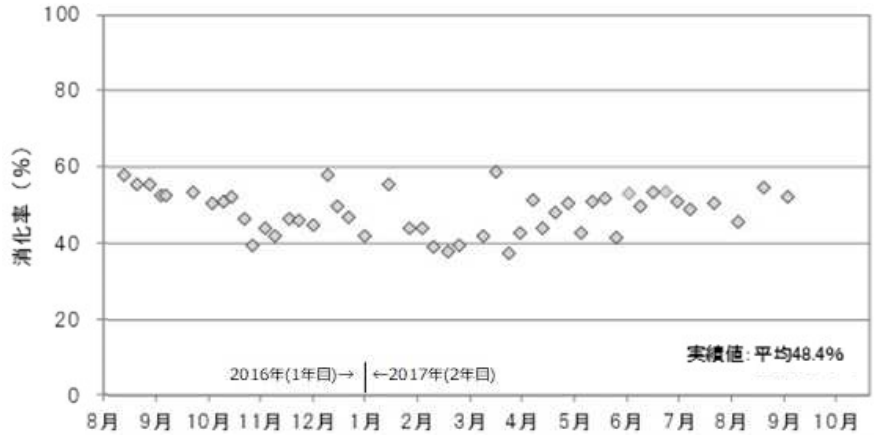


図 6－8 消化率（2016 年～2017 年）

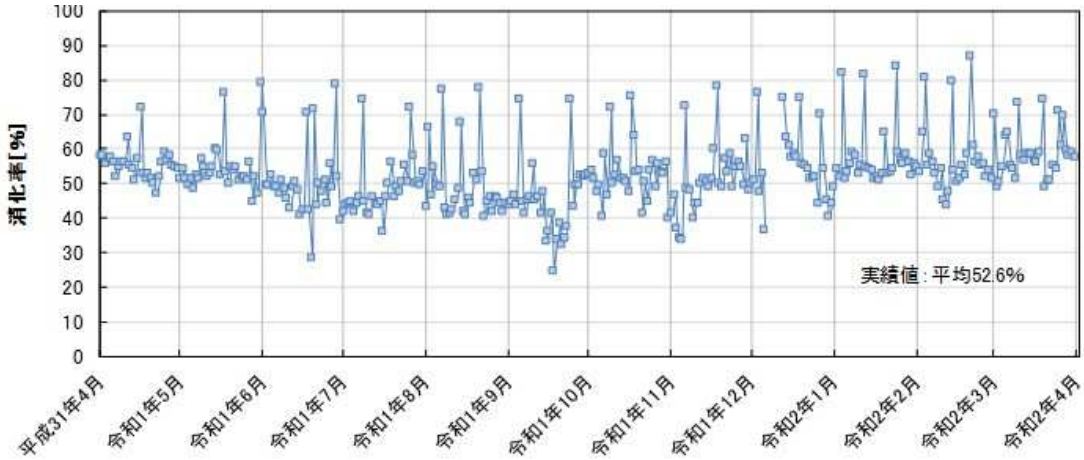


図 6－9 消化率（2019 年度）

消化率は主に 40～60%の範囲で変動していたが、時折 70%を超える値や 30%を下回る値などのばらつきが見られた。これは、消化率の算出に用いた投入汚泥の VS が変動した影響である。

平均の消化率は 50%前後となり、設計指針に消化率として示される約 50%程度と同程度の値であることから、一般的な範疇であることが確認された。

また、供用開始後、消化率の著しい低下などはなく、年間を通じて消化性能を維持できているものと判断できた。

② 下部コーン型鋼板製消化タンク

下部コーン型鋼板製消化タンクについては、消化率の算出に必要な消化タンク投入汚泥の固形物量を直接計測することができなかったため、汚泥濃縮設備の推算条件から投入汚泥の VS/TS を推算し、投入汚泥と消化汚泥の VS/TS から消化率を算出した。

投入汚泥と消化汚泥の VS/TS データを表 6－2 に示す。

表 6－2 一般汚泥試験データ（VS/TS）

[%]

	1/31	2/7	2/14	2/21	2/28	平均
初沈濃縮汚泥	91.7	92.1	91.6	90.4	83.4	89.8
余剰濃縮汚泥	84.0	82.8	83.4	83.8	83.1	83.4
消化汚泥（1 号消化タンク）	75.3	76.1	76.3	77.0	76.2	76.7
消化汚泥（2 号消化タンク）	75.8	76.1	76.1	77.3	82.1	
消化汚泥（3 号消化タンク）	75.2	74.9	76.4	79.0	78.8	
消化汚泥（4 号消化タンク）	74.6	74.7	76.1	80.0	76.2	

表６－３に示す推算条件で投入汚泥 VS/TS を推算すると、

表 6－3 推算条件

項目	内容
初沈濃縮汚泥濃度（設定）	8%
余剰濃縮汚泥濃度（設定）	4%
体積比＝初沈濃縮：余剰濃縮（設定）	1：1

投入汚泥 VS/TS

（ 89.8% × 8% ＋ 83.4% × 4% ）÷ （ 8% × 1 ＋ 4% × 1 ） ＝ 87.7%

消化率の算出式

$$\mathrm{D} = 1 - \frac{(1 - C_V^i) \cdot C_V^o}{C_V^i \cdot (1 - C_V^o)}$$

ここで、

D：消化率

C_V^i：投入汚泥の有機物濃度[-]

C_V^o：消化汚泥の有機物濃度[-]

（消化率）

＝ 1 – {（ 1 – 87.7% ）× 76.7%} ÷ { 87.7% ×（ 1 – 76.7% ）}

＝ 53.8% ＞ 50%（設計指針参考値）

投入汚泥と消化汚泥の VS/TS から算出した消化率は、設計指針に示される性能である約 50%を上回ることが確認された。

（３） 消化ガス組成

パッケージ型鋼板製消化タンク及び下部コーン型鋼板製消化タンクについて、消化ガス組成の確認を行い、設計指針に示される性能と比較を行った。

① パッケージ型鋼板製消化タンク

消化ガス組成（メタン濃度、硫化水素濃度）の実績データを図 6－10、図 6－11 に示す。

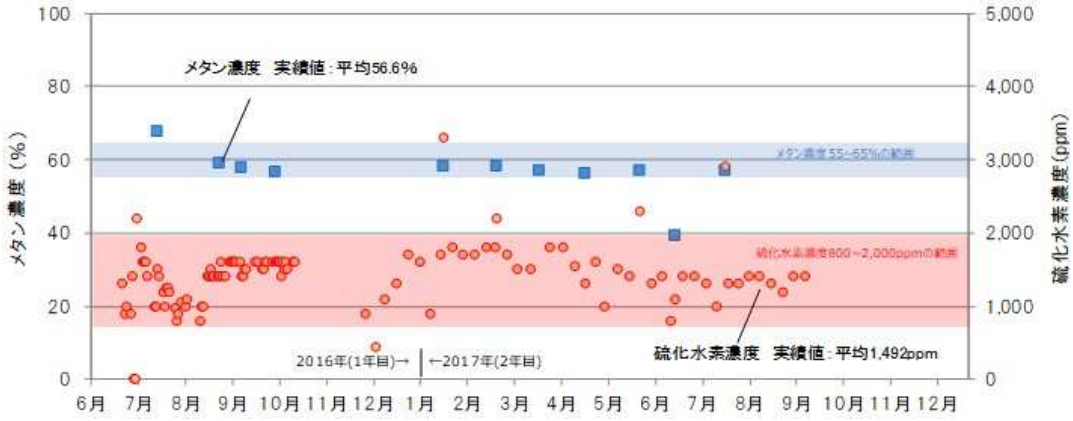


図 6－10 消化ガス組成（2016 年～2017 年）

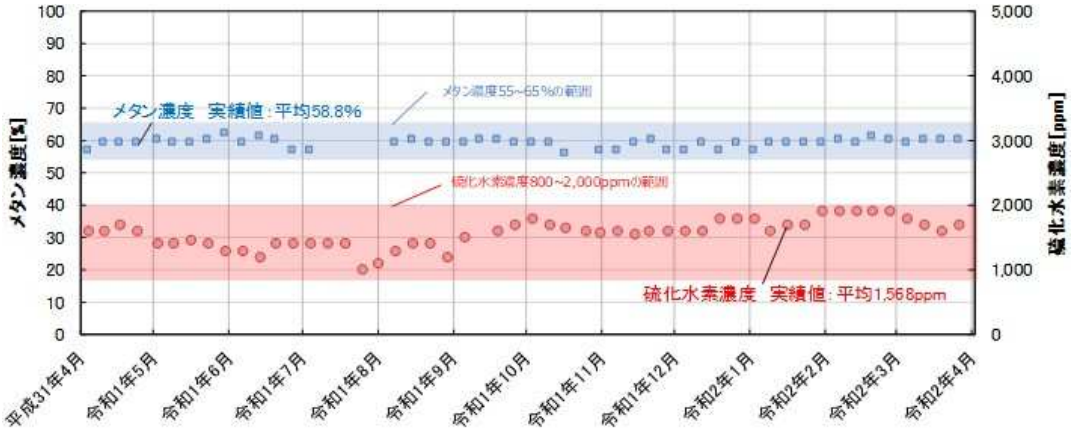


図 6－11 消化ガス組成（2019 年度）

メタン濃度は 55～65%程度で変動しており、その平均値は、2016 年～2017 年で 57%。2019 年は 59%であった。設計指針 [1]に示される指標としてはメタン濃度 60～65%と示されており少し低い結果となった。なお、「汚泥消化タンク改築・修繕技術資料 [2]」におけるアンケート（以下、新技術機構の処理場へのアンケート）では、回答のあった 85%

以上の下水処理場で消化ガスメタン濃度は 55%以上と示されている。以上から、今回調査した消化ガス中メタン濃度は、一般的な範疇であることが確認された。

また、供用開始後、消化ガス組成の著しい変動はなく、年間を通じて消化性能を維持できているものと判断できた。

② 下部コーン型鋼板製消化タンク

下部コーン型鋼板製消化タンクについては、消化ガスのメタン濃度を直接計測することができなかったため、ハンディタイプのガスモニタで消化ガスの二酸化炭素濃度を計測し、二酸化炭素とメタンの濃度の合計を 100%と仮定*してメタン濃度を算出した。

一般的には消化ガス中には、水素や窒素も 0～5%程度含まれるため、実際にはメタン濃度は算出した濃度より 0～5%程度低いことが考えられる。

図 6－12 に消化ガス組成の推移を示す。

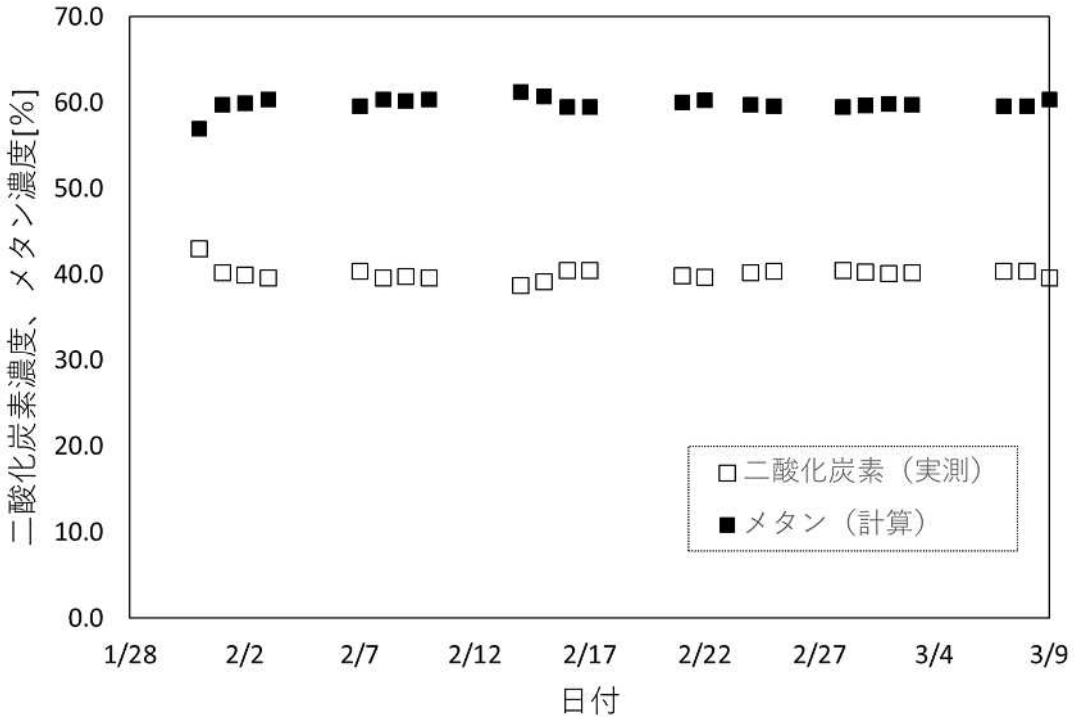


図 6－12 消化組成の推移

二酸化炭素濃度：実測値（Geotech 社製 GA5000 ガスモニタ）
期間内平均 39.9%

メタン濃度　　：100%補正値（＝100%－二酸化炭素濃度）
期間内平均 60.1%

* 設計指針では、消化ガス組成はメタンが 60～65%、二酸化炭素が 33～35%、水素 0～2%、窒素 0～3%、硫化水素 0.02～0.08%が一般的とされている。（%は体積比）

以上より、算出されたメタン濃度は 60%程度となり、消化ガス中に含まれる水素や窒素の一般的な濃度を考慮すべきところはあるが、今回調査した消化ガス中メタン濃度は、一般的な範疇であることが確認された。

6．4．2　設計、建設に関する事項

（1） 建設現場工期

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工期が短いことが特長とされる。パッケージ型鋼板製消化タンクの建設工期及び下部コーン型鋼板製消化タンクの建設現場工期について確認を行った。

今回調査を行ったパッケージ型鋼板製消化タンクの工事は、消化タンク 1 基を対象とし、土木工事を含めた DBO 発注で行われたのに対し、下部コーン型鋼板製消化タンクの工事は、消化タンク 4 基を対象とし、土木工事と機械工事が別の発注であったこと等、条件が異なっており単純に比較できるものではないが、調査結果の一例として示す。

① パッケージ型鋼板製消化タンク

表 6－4 に新技術選定時におけるコンクリート製消化タンクと鋼板製消化タンクの建設工期を示す。

表 6－4 コンクリート製消化タンクと鋼板製消化タンクの建設工期

JS 新技術選定時、容量 4,000m³ のコンクリート製消化タンク建設工期は実績にて 20 カ月、一方で鋼板製消化タンクの建設工期は 9 カ月と推算していた。対象下水処理場の鋼板製消化タンク（容量 5,800m³）の建設実績は、工事記録より消化タンク土木杭打設工事着手から消化タンク建設・試運転着手（消化タンク水張）までの建設期間が 8.5 カ月であったことから、コンクリート製消化タンクの建設工期に比べて、建設工期を大幅に短縮出来たと言える。このように同規模のコンクリート製消化タンクに対して工期を短縮できていることが確認できた。また、容量 4,000m³ の鋼板製消化タンクの推算建設工期が妥当であることが確認された。

② 下部コーン型鋼板製消化タンク

表 6－5 に計画時の建設現場工期、表 6－6 に実績の建設現場工期を示す。（土木工事は別の発注であったため、汚泥消化タンク機械設備工事の現場施工期間のみ）

表 6－5 鋼板製消化タンクの建設現場工期（計画）

	着手	完了	工期[月]	2019 年			2020 年			
				4	7	10	1	4	7	10
4 号消化タンク	2019 年 4 月中旬	2020 年 6 月末	14.5							
2 号消化タンク	2019 年 5 月中旬	2020 年 8 月上旬	14.5							
1 号消化タンク	2019 年 9 月下旬	2020 年 11 月上旬	14.5							
3 号消化タンク	2019 年 10 月下旬	2020 年 12 月上旬	13.5							

表 6－6 鋼板製消化タンクの建設現場工期（実績）

	着手	完了	工期[月]	2019 年			2020 年			
				4	7	10	1	4	7	10
4 号消化タンク	2019 年 4 月中旬	2020 年 12 月末	20.5							
2 号消化タンク	2019 年 5 月中旬	2020 年 12 月末	19.5							
1 号消化タンク	2019 年 10 月初旬	2020 年 12 月末	15.0							
3 号消化タンク	2019 年 11 月初旬	2020 年 12 月末	14.0							

・他工事との干渉等に伴う休工を含む

・試運転等の作業を工期末に集中して実施

対象下水処理場での建設現場工期は計画では 4 槽で 19.5 ヶ月、1 槽で 13.5～14.5 ヶ月、実績としては、4 槽で 20.5 ヶ月、1 槽で 12～20.5 ヶ月であった。

ただし、現場都合により合計 2 ヶ月間の休工があったため、3 号消化タンクの実質工期は 14 ヶ月－2 ヶ月＝12 ヶ月であった。よって、最短の建設現場工期は、最短で 1 槽あたり実質 12 ヶ月であったことが確認された。

JS 新技術選定時、9,000m³ タンクの建設現場工期（機械設備工事所掌）は、1 槽あたり 13 ヶ月と推算していたのに対し、12 ヶ月で建設現場工期が完了したことが確認された。また、容量 9,000m³ の鋼板製消化タンクの推算建設工期が妥当であることも確認された。

（２） 撹拌機消費電力の低減

鋼板製消化タンクはインペラ式撹拌機を採用することにより、低動力で撹拌することが可能とされている。

本調査では、パッケージ型鋼板製消化タンクについては動力投入密度（W/m³）を調査し、攪拌機の低動力化について確認を行った。また、消化タンク下部側面の流速測定を行い、流速シミュレーション結果と比較を行うことで槽内流速が適切に保たれていることを併せて確認した。一方、下部コーン型鋼板製消化タンクについてはインペラ式攪拌機の電動機定格出力と従来技術としてスクリュー式撹拌機の電動機定格出力と比較することで、省電力化が図れているかを確認した。

①　パッケージ型鋼板製消化タンク

パッケージ型鋼板製消化タンクは撹拌に適した平坦なタンク底面並びにインペラ式撹拌機を採用することにより、低動力で撹拌することが可能とされている。（図 6－13）

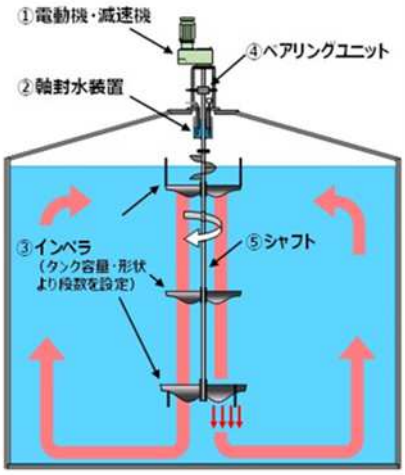


図 6－13　インペラ式撹拌機の概略図

今回調査では、外付式の電力計を用いてインペラ式撹拌機の撹拌動力の連続測定を 3 日間行った。測定した攪拌動力の経時変化を図 6－14 に示す。

また、製作者の過去の自主点検において測定した、撹拌動力と消化タンク内汚泥濃度の相関図に今回の測定した結果を合わせてプロットした結果を図 6－15 に示す。

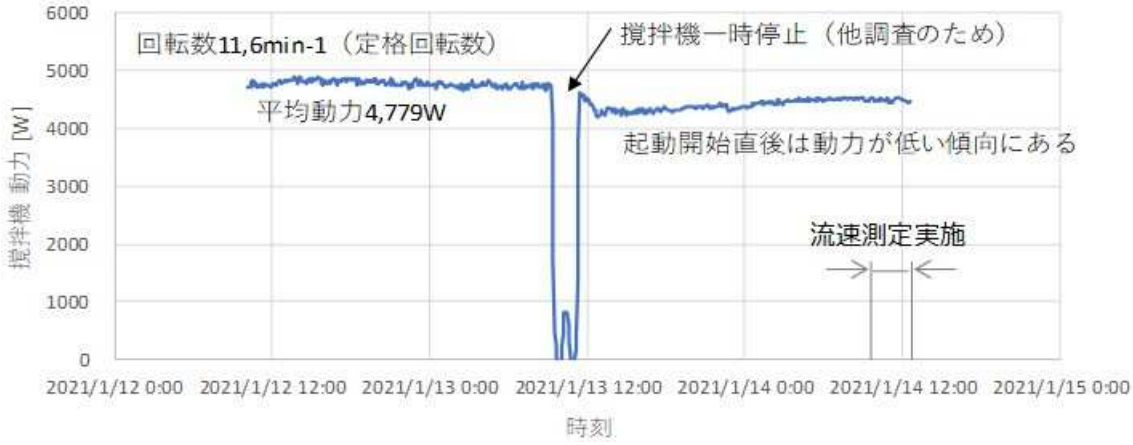


図 6－14　インペラ式撹拌機動力測定結果（2021 年 1 月）

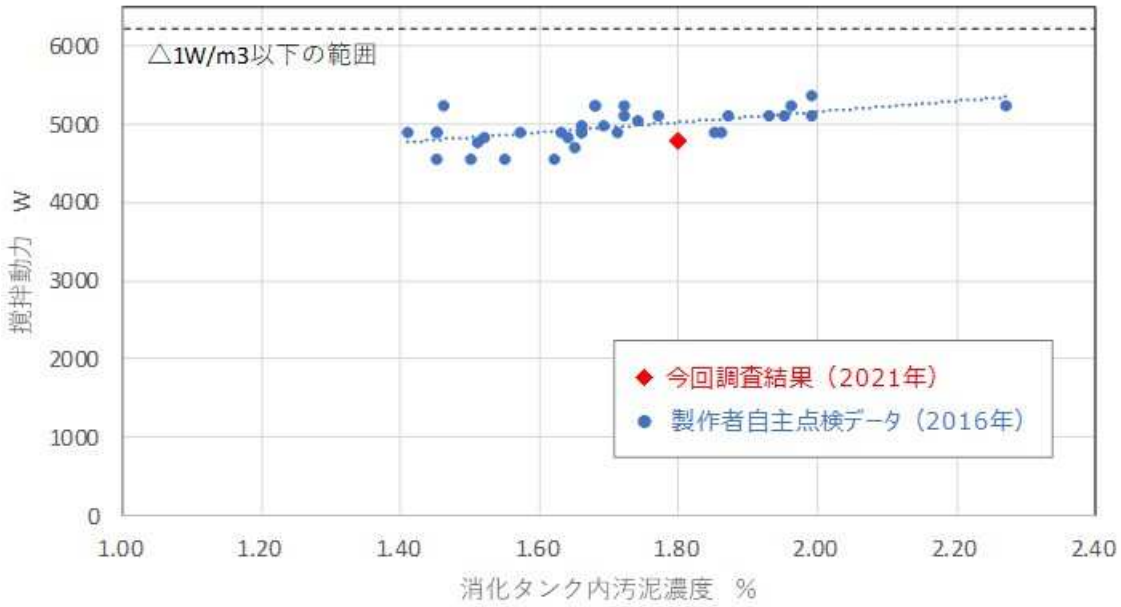


図 6－15　インペラ式撹拌機定格回転数 11.6min^{-1} における
撹拌動力と消化タンク内汚泥濃度の相関

図 6－14 より、インペラ式撹拌機の撹拌動力の測定の結果、平均動力は 4,779W であった。なお、測定期間中に他の調査のため攪拌機を一時停止し、その後再起動したが、再起動後は攪拌動力が低い*傾向にあるため、一時停止前の動力から平均値を算出した。

図 6－15 より、インペラ式撹拌機定格回転数（11.6min^{-1}）おいて、消化タンク内の汚泥濃度の変動に対しても、攪拌動力の一指標となる動力投入密度 1W/m^3 以下を満足していることを確認した。なお、同図からは同じ回転数においても、槽内汚泥濃度の変動で撹拌動力に影響を与えていることが分かる。

また、槽内底部流速の測定を外付式の電磁式流速計を用いて鋼板製消化タンク側面に設けられた流速測定用ノズルに流速計を挿入することで行った。測定は比較的流速が小さい壁面付近で行った。測定点は 3 か所であり、測定位置は壁内面より 50cm の距離で計測を行った。（図 6－16）槽内底部流速を測定した結果を表 6－7 及び図 6－17 に示す。

* 撹拌機の起動開始直後は、低速の回転数から開始して、定格の回転数に至るまで時間を要するため、動力が低くなる傾向にある。

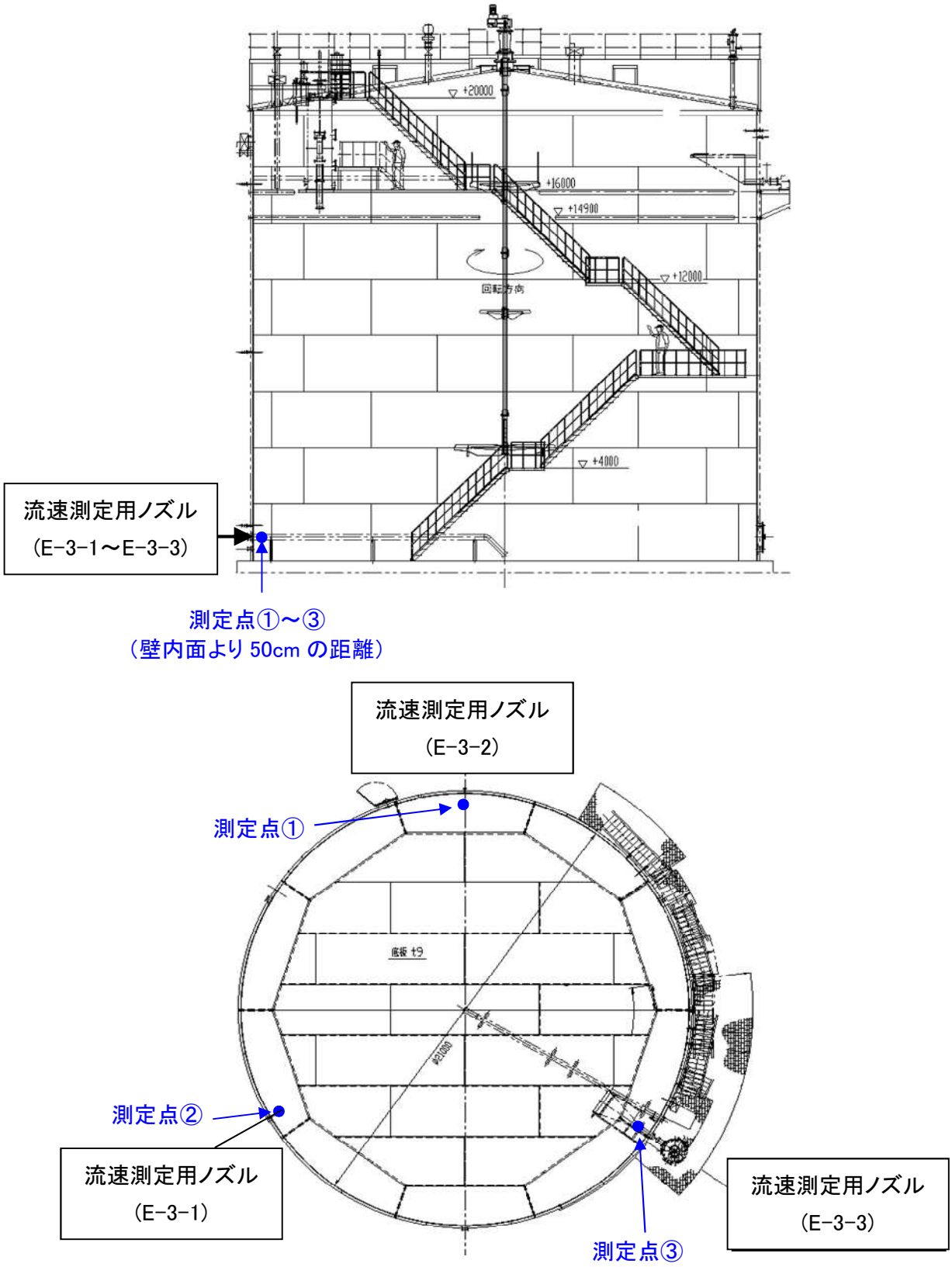


図 6－16　鋼板製消化タンク槽内底部流速測定位置

表 6－7　鋼板製消化タンク槽内底部流速測定結果

測定日	消化槽内	槽内汚泥 TS濃度 (%)	撹拌回転数 (min^{-1})	測定点	流速平均値 (cm/s)
2021/1/14 （今回調査）	消化汚泥 通常運転	1.8	11.6	①	9.1
				②	8.0
				③	8.7

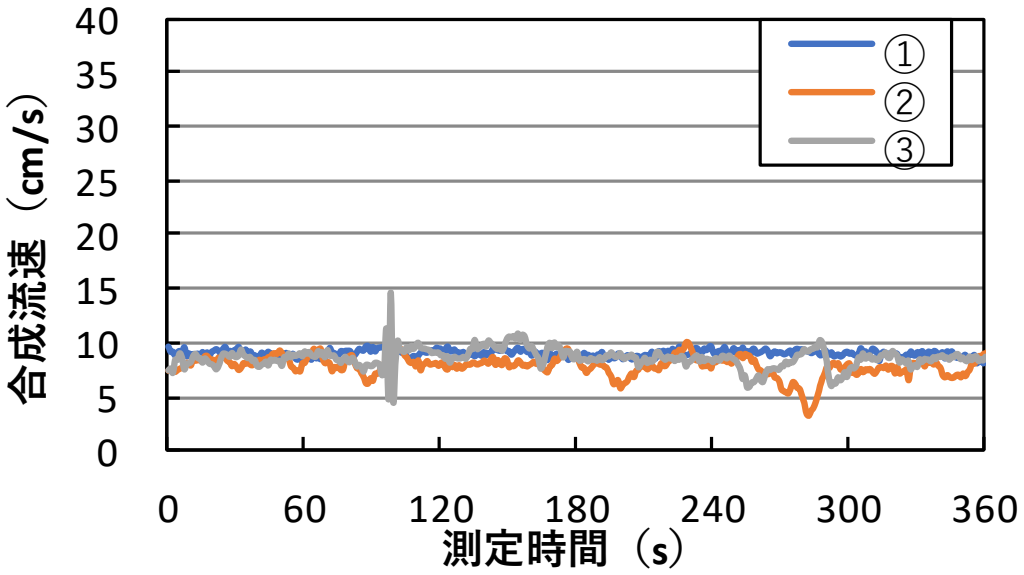


図 6－17　鋼板製消化タンク槽内底部流速測定結果

測定点における流速平均値は、8.0～9.1cm/秒であり、壁付近の測定点においても流動が確保できていることが確認できた。また、建設時の撹拌流速シミュレーション結果（図 6－18）の該当部流速範囲 6～10cm/秒に対しておよそ整合が取れた結果であった。また、本流速測定結果とシミュレーション結果から、底板中央は壁面付近よりは流速が大きくなることが予想され、底面の中央から大部分において堆積が進行しない指標とされる流速 10cm/秒程度を確保できていることが予想された。（鋼板製消化タンクの実証結果から、底面積の 80%程度が流速 10cm/秒程度あれば堆積が進行しないものとされる）

（６．４．３に示す堆積物高さ測定結果より堆積の進行が見られないことからも、撹拌流速シミュレーションの有効性は高いと評価できる。）

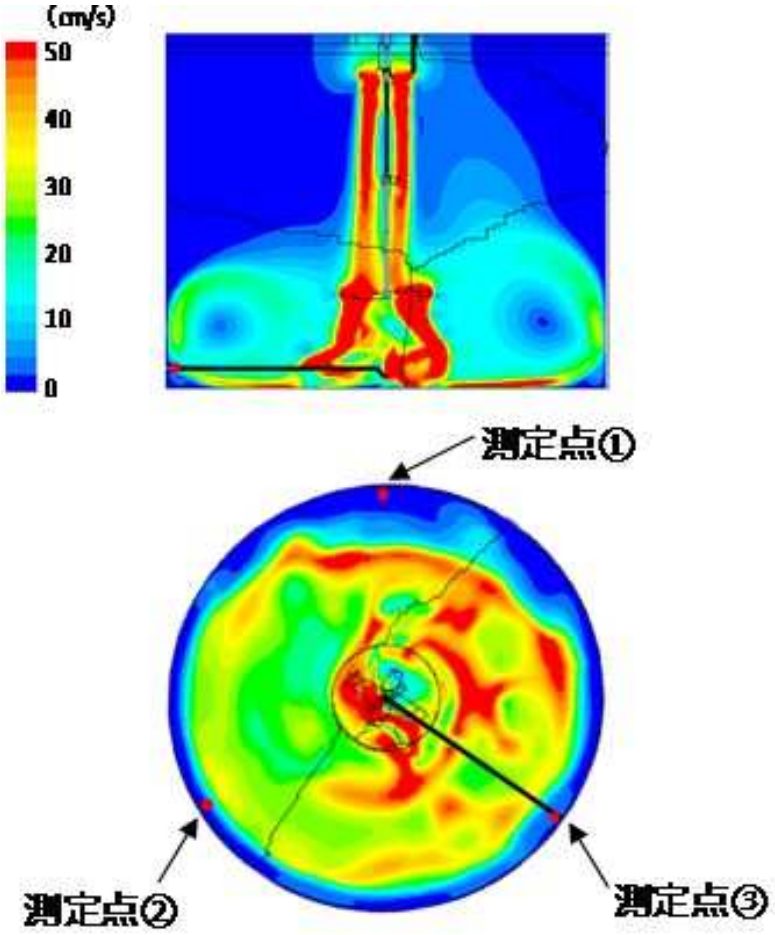


図 6－18　建設時の撹拌流速シミュレーション結果

消化性能が維持されており、槽内流速が確保されていると予想される中で、低動力（動力投入密度 1W/m³ 以下）で運転できているインペラ式撹拌機は、低動力で運転できることが確認できた。

② 下部コーン型鋼板製消化タンク

インペラ式攪拌機の採用により、従来のコンクリート製消化タンクに設置されるドラフトチューブタイプの攪拌機と比較して攪拌機の消費動力が大幅に低減されるとともに、攪拌効率が高いため、汚泥循環ポンプによる攪拌のアシストが不要となることからも、消費電力が低減される。

また、下部コーン構造の採用により沈降物の堆積が抑制され、タンク側壁内面に設置する消化汚泥温度計の信頼性が向上することから、温度計の測定値を用いた汚泥循環ポンプの自動制御運転の最適化が可能となる（図 6－19）。これは、消化設備全体に占める汚泥循環ポンプの消費動力の割合が最も高いため、加温用設備（汚泥循環ポンプ、温水ポンプ、温水器）の稼動を汚泥加温時に限定させることにより、消化設備全体の消費動力が最小化されるためである。

図 6－19　自動制御運転

調査対象の下水処理場における 9,000m³ の消化タンク撹拌機の電動機定格出力は 15kW であった。消化汚泥が通常濃度（TS3%未満）の場合は、動力投入密度の目安が 1W/m³－タンク容積であり、電動機定格出力は 11kW が適切となるが、調査対象の下水処理場に納入された設備は高濃度（TS3.0～3.5%）の消化汚泥対応であるため、電動機定格出力は通常濃度対応よりも大きい。

コンクリート製消化タンクでの実績例としては、9,000m³ 卵形消化タンクで採用されたスクリュー式撹拌機の電動機定格出力 45.4kW（45kW＋0.4kW）が挙げられる。

下部コーン型鋼板製消化タンクの撹拌機電動機定格出力はコンクリート製消化タンクに設置されるドラフトチューブタイプの撹拌機と比較して大幅な省電力化が図れていることが確認された。

（３） エネルギー効率に関する性能指標（交付要件）

パッケージ型鋼板製消化タンク及び下部コーン型鋼板製消化タンクは、国土交通省通達「下水道事業におけるエネルギー効率に優れた技術の導入について」（平成 29 年国水下事第 38 号[4]）に適合した技術であるとされている。分解 VS 当たりの年間消費電力量について実績値を用いた試算を行い、性能指標値を満足しているか確認を行った。

① パッケージ型鋼板製消化タンク

今回調査した動力計測値等を用いて年間消費電力量を試算した結果を表 6－8 に示す。

表 6－8 パッケージ型鋼板製消化タンク設備の年間消費電力量試算

機器名称	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
	運転台数	電動機出力	稼動時間	定格電流もしくは動力	今回調査における電流値もしくは動力計測値	負荷率	電力量 ①×②×③×⑥
	台	kW	hr/年			⑤÷④	kWh/年
鋼板製消化槽 ※1	1	–	–	–	–	–	–
消化槽撹拌機	1	7.5	8760	7500W	4779W	0.60	39,420
汚泥循環ポンプ	1	11	8760	20A	15.5A	0.78	75,161
温水循環ポンプ	1	5.5	8760	10.2A	8A	0.78	37,580
熱交換器 ※2	1	–	–	–	–	–	–
消化汚泥貯留槽撹拌機	2	5.5	8760	12A	5A	0.42	40,471
消化汚泥移送ポンプ ※3	1	3.7	0	–	–	–	–
						計	192,632

※1：槽本体としては動力を持たない。

※2：熱交換器本体としては動力を持たない。

※3：自然流下で移送するため原則運転していない。

ここで、2019 年度実績データより、

・年間消化タンク投入汚泥量：3500.7 [t-DS]

・投入汚泥有機物含有率　　：87.1 [%]（年間平均）

・消化率　　：52.6 [%]（年間平均）

年間の分解 VS 量は、

＝ 3500.7 [t-DS] × 87.1 [%]／100 × 52.6 [%]／100

≒ 1603.8 [t-VS 分解/年]

よって、分解 VS 量当たりの消費電力量は、

＝ 192,632 [kWh/年] ÷ 1603.8 [t-VS 分解/年]

≒ 120 [kWh/t-VS 分解] ＜ 280 [kWh/t-VS 分解]（国水下事第 38 号）

以上より、消化タンク全体の消費電力量実績は分解 VS 当たり 120 [kWh/t-VS 分解]であり、国土交通省が国水下事第 38 号に定めるエネルギー性能指標 280 [kWh/t-VS 分解]を十分に満足していた。

② 下部コーン型鋼板製消化タンク

今回調査にて、日当たりの消費電力量を試算した結果を表 6－9 に示す。

表 6－9 下部コーン型鋼板製消化タンク設備の消費電力量試算

機器名称	運転台数 [台]	電動機出力 [kW]	稼働時間 [hr/日]	負荷率 [－]	消費電力量 [kWh/日]
鋼板製消化槽	4	－	－	－	－
消化槽撹拌機	4	15	24	0.7	1,008
汚泥循環ポンプ	4	11	16.1	0.7	496
汚泥破砕機	4	5.5	16.1	0.7	248
温水循環ポンプ	1	7.5	16.1	0.7	85
熱交換器	4	－	－	－	－
消化汚泥貯留槽撹拌機 ※1	2	22	24	0.7	739
消化汚泥移送ポンプ	1	15	3	0.7	32
合計	－	－	－	－	2,607

※1：国水下事第 38 号表－９から推算

濃縮汚泥固形物量

表－９ ：4.88[t/日平均]

設計：80.2［t/日平均］

必要定格出力

2.2［kW/台］÷ 4.88［t/日］× 80.2［t/日］÷ 2［台］＝ 18.1［kW/台］

→ 22［kW/台］

日当たりの分解 VS 量

＝ 37.2[t-VS 分解/日]（設計日平均）

よって、分解 VS 量当たりの消費電力量は、

＝ 2,607[kWh/日]÷37.2[t-VS 分解/日]

＝ 70.1 [kWh/t-VS 分解] ＜ 280 [kWh/t-VS 分解]（国水下事第 38 号）

以上より、消化タンク全体の消費電力量実績は分解 VS 当たり 70.1 [kWh/t-VS 分解]であり、国土交通省が国水下事第 38 号に定めるエネルギー性能指標 280 [kWh/t-VS 分解]を十分に満足していた。

（4） タンク内面腐食への対策

タンク内面の腐食対策として、鋼板製消化タンクの内面には防食塗装を施工することとなっており、塗装仕様として気相部がD種相当、液相部がA種相当（下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食マニュアル[5]）と定めている。これに加えてパッケージ型鋼板製消化タンクでは、消化タンク内面の防食塗装の劣化状況の把握するため、防食塗装が施された塗装状況確認用のフランジ蓋の設置やタンク外部から側壁等への超音波板厚測定により腐食状況の定量的な評価が可能としている。本調査では、パッケージ型鋼板製消化タンクのフランジ蓋の膜厚測定、及び消化タンク本体の板厚測定を実施することで防食の劣化状況について確認を行った。なお、下部コーン型鋼板製消化タンクでは、試運転時の調査であったこともあり、指定された防食塗装がその通りに施工が行われたことを確認した。

① パッケージ型鋼板製消化タンク

本技術では、タンク内面の腐食状況を定量的に評価が可能とされており、その手法として塗装状況確認用フランジ蓋内面の防食塗装の膜厚測定及び鋼板製消化タンク本体の板厚測定を挙げている。

・塗装状況確認用フランジ蓋内面防食塗装の膜厚測定

鋼板製消化タンク天井部の確認口に設置された塗装状況確認用のフランジ蓋の防食塗装（気相部）の外観確認及び膜厚計による膜厚測定を実施した（図 6－20）。

図 6－20 鋼板製消化タンク天井部確認口および塗装状況確認用フランジ蓋

今回調査並びに製作者の過去自主点検における塗装状況確認用フランジ蓋の防食塗装の膜厚測定結果を次の表 6－10 及び図 6－21 に示す。

表 6－10 フランジ蓋防食塗装膜厚測定結果

単位：μm

	測定日		
	2016/6/16 （1 年目）	2017/12/21 （2 年目）	2021/1/12 （6 年目）
フランジ蓋内面 防食塗装膜厚	2,400 (±0%)	2,481 (+3%)	2,220 (-8%)
備考	・製作者自主測定 ・汚泥投入開始前	・製作者自主測定	・今回調査

()内のパーセントは 1 年目からの変化率を示す。

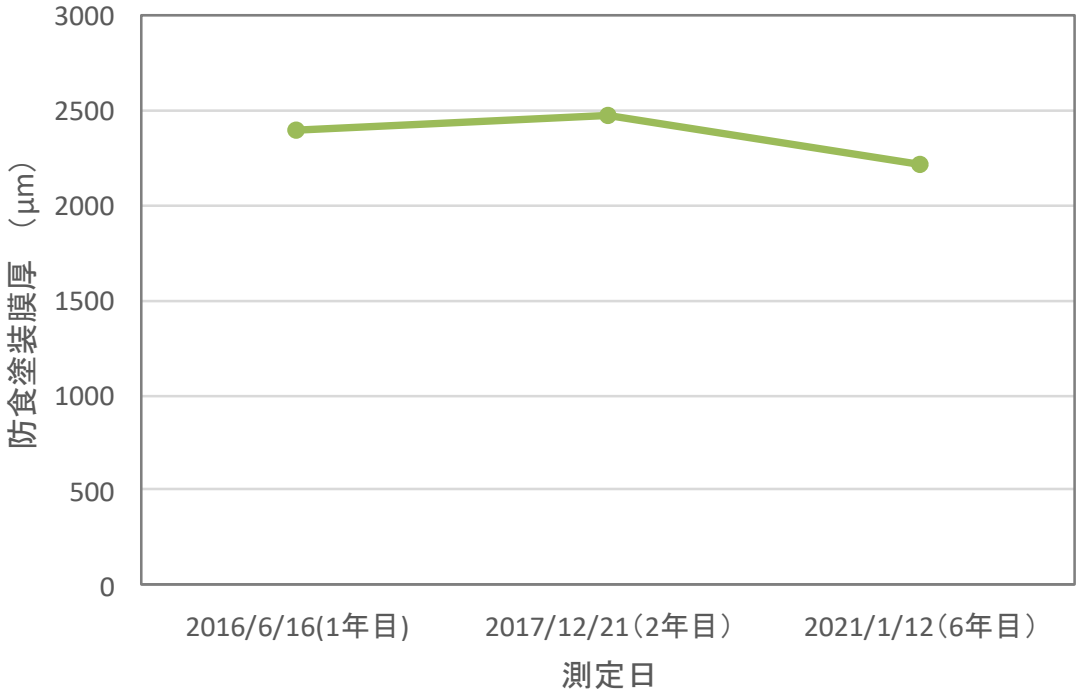


図 6－21 フランジ蓋の防食塗装の膜厚測定結果

フランジ蓋内面の防食塗装の外観確認では、防食塗装面に割れ・剥がれ・膨れ等の異常は見られなかった。経年にて膜厚の測定値に若干の減少が見られるが、防食塗装の仕様における保証期間 10 年を十分に満足する程度の変動であった。

今回確認した外観確認や膜厚測定結果から、タンク内面の防食塗装（気相部 D 種）に著しい劣化が無いことが確認された。ただし、防食塗装の劣化は硫黄浸入深さ等、膜厚以外の要素も影響するため、防食塗装の劣化状況のより詳細な評価には詳細な分析が必要である。

・鋼板製消化タンク本体の板厚測定

鋼板製消化タンク本体について、今回の調査にて超音波肉厚測定器による板厚測定を実施した。板厚測定位置を図 6－22 に、板厚測定結果を次の表 6－11 に示す。

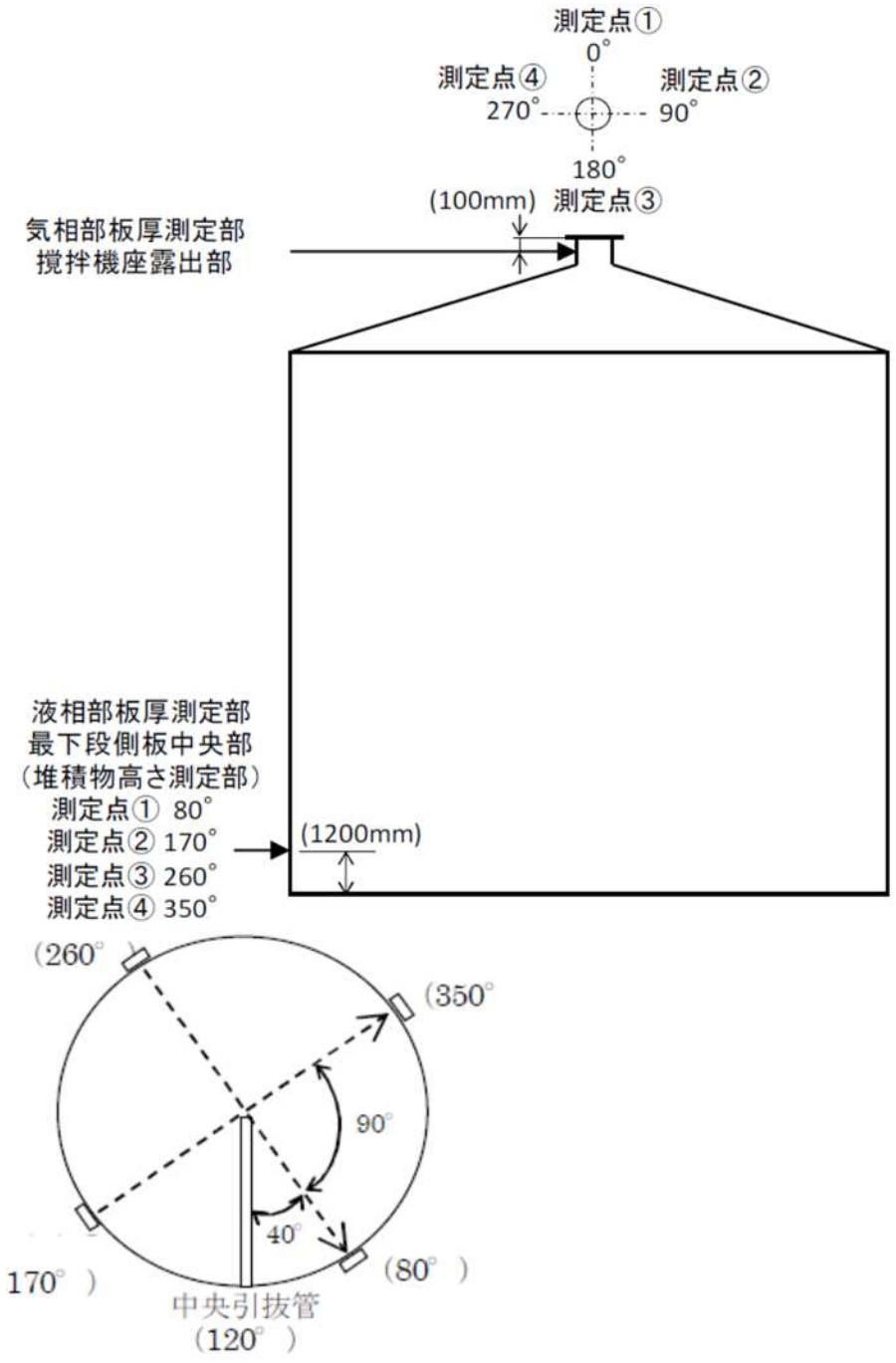


図 6－22 板厚測定位置

表 6－11 鋼板製消化タンク板厚測定結果

鋼板製消化タンク本体板厚		材料搬入時の寸法	必要厚さ	測定日2021/1/12（6年目）
気相部	測定点①	12.7mm STPY400 700A規格より	11.43mm以上 JISB8501鋼製石油貯槽の構造に基づくノズル規格の負の許容差とする。	13.03mm (+3%)
	測定点②			12.62mm (-1%)
	測定点③			12.90mm (+2%)
	測定点④			12.55mm (-1%)
液相部	測定点①	20.8mm 検査成績書より	17.25mm以上 JISB8501鋼製石油貯槽の構造に基づく構造計算書より強度上必要板厚とする。	20.18mm (-3%)
	測定点②			20.07mm (-4%)
	測定点③			20.06mm (-4%)
	測定点④			20.15mm (-3%)

()内のパーセントは材料搬入時の寸法からの変化率を示す。

材料搬入時の寸法と比較して測定値に若干の変動が見られるが、槽内防食を施していること、数%程度の測定誤差を考慮すると減肉はないものと判断できる。

今回の板厚測定結果から、タンク内面の板厚の状況を定量的に評価できることが確認された。より正確な劣化度の診断（必要厚さを満足すること）は、今後、数年おきに同様の板厚測定を実施し傾向を把握することで可能である。

② 下部コーン型鋼板製消化タンク

タンク内面防食塗装は、気相部が D 種相当、液相部が A 種相当である。

供用開始から時間が経っていないことから評価の対象外としたが、「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」の通り、施工が行われたことを確認した。

6．4．3　運転支援に関する事項

（1） タンク内堆積物発生への対策

パッケージ型鋼板製消化タンクには、堆積物による消化タンク有効容量の低下を防止するために、超音波センサによる堆積物高さの測定及び堆積物排出運転を実施する機能がある。今回調査では超音波センサを用いて堆積物高さを実際に測定し、さらに堆積物の堆積形態を推測する検証として、鋼板製消化タンクの屋上部の確認口から錘を下げ堆積物高さの測定を行うことにより堆積形態を予想し、超音波センサによる堆積物高さ測定で運用上管理できるかの確認を行った。また、堆積物排出運転の運転状況についてもヒアリングを行った。

一方、下部コーン型鋼板製消化タンクは、タンク内で沈降物が発生した場合、下部コーン構造によってタンク底部中央に誘導・集約され、タンク外部へ向かって設置された汚泥水平引抜き配管から消化汚泥と共に槽外へ効率的に排出する機能を持っており、定期的に下部引き抜きを実施する運用を推奨している。今回調査では下部引き抜きによる堆積物排出機能の運用状況について確認を行った。

① パッケージ型鋼板製消化タンク

・超音波センサによる堆積物高さの測定

今回調査並びに製作者の過去自主点検において、超音波センサによる堆積物高さの測定を行った。堆積物高さの測定結果を表 6－12 に、測定した堆積物高さから計算した消化タンクの有効容量を図 6－23 に示す。なお、堆積物量及び消化タンクの有効容量は、安全側の考えとして、水平方向に一律に堆積しているものと仮定して試算した。

表 6－12　堆積物測定結果（超音波センサ）

測定日	堆積物高さ測定結果（側面超音波測定）	堆積物量（計算値）※1	消化槽有効容量（計算値）※2	堆積物の比率（計算値）※3	備　考
	[cm]	[m3]	[m3]	[%]	
2016/5/26	0	0	6,089	0.0	清水での測定結果
2016/12/22	50	173	5,916	2.8	運用状態（自主測定）
2017/1/20	45	156	5,933	2.6	同上
2017/2/22	45	156	5,933	2.6	同上
2017/3/21	50	173	5,916	2.8	同上
2017/4/21	45	156	5,933	2.6	同上
2017/5/26	45	156	5,933	2.6	同上
2017/6/16	45	156	5,933	2.6	同上
2017/7/19	45	156	5,933	2.6	同上
2017/8/25	30	104	5,985	1.7	同上
2017/9/20	30	104	5,985	1.7	同上
2017/10/12	30	104	5,985	1.7	同上
2017/11/15	40	139	5,950	2.3	同上
2017/12/21	30	104	5,985	1.7	同上
2018/1/18	35	121	5,968	2.0	同上
2018/2/15	45	156	5,933	2.6	同上
2018/3/27	30	104	5,985	1.7	運用状態（自主測定）
2021/1/13	35	121	5,968	2.0	運用状態（今回調査）

※1：堆積物が水平方向に一律に堆積しているものと仮定して計算

※2：消化槽有効容量＝消化槽 NorWL における幾何学的体積 6,089m^3－堆積物量（計算値）

※3：堆積物の比率＝堆積物量（計算値）÷消化槽 NorWL における幾何学的体積 6,089m^3

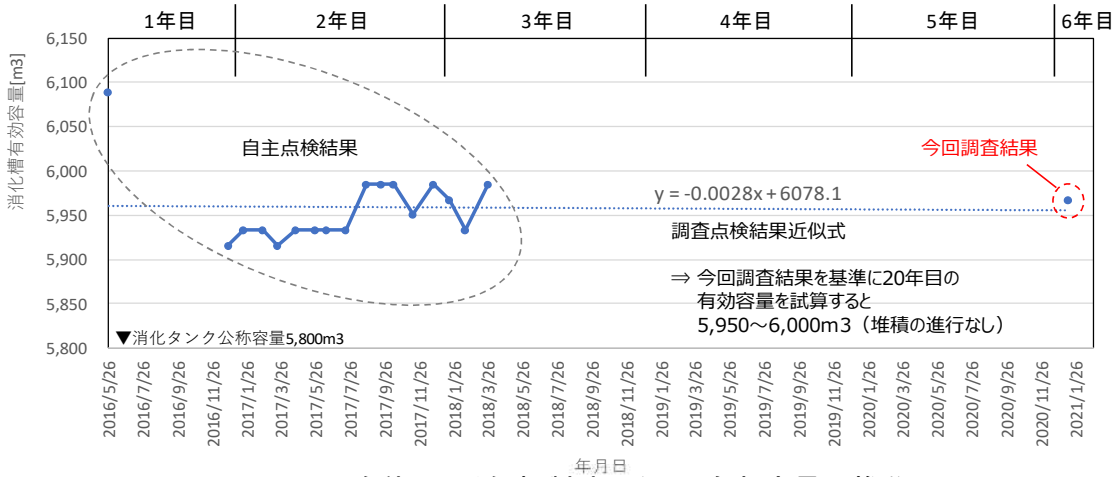


図 6－23　堆積による鋼板製消化タンク有効容量の推移

消化タンクには多少の堆積は見られたが、対象の消化タンクの公称の有効容量である 5,800m^3 を確保できていた。

・錘による堆積物高さの測定

堆積形態を推測する検証として、鋼板製消化タンクの屋上部点検口（水封式）から錘を下げ、縦方向から堆積物高さの測定を行った。（図 6－24）

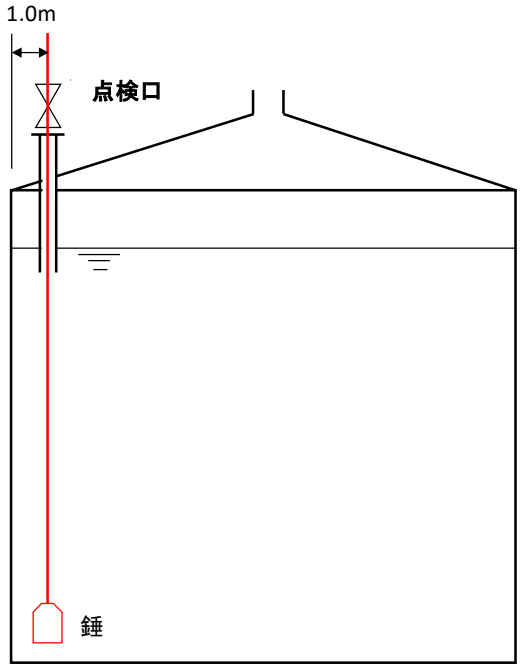


図 6－24　錘による堆積物高さ測定位置（消化タンク立断面）

測定結果を表 6－13 に示す。測定位置において、堆積物高さは 3.0cm であった。

超音波センサによる堆積物測定結果も踏まえると、図 6－25 の赤色及び薄赤色着色部に示すような、底面全体に 3.0cm（錘による堆積物高さ測定結果）の堆積があり、堆積しやすい底面の隅及び底部配管サポート基部には 35cm（超音波センサによる今回堆積物高さ測定結果）の堆積があるような堆積形態と予想される。

表 6－13　堆積物測定結果（錘）

測定日	堆積物高さ測定結果（錘）
	[cm]
2021/1/13	3.0

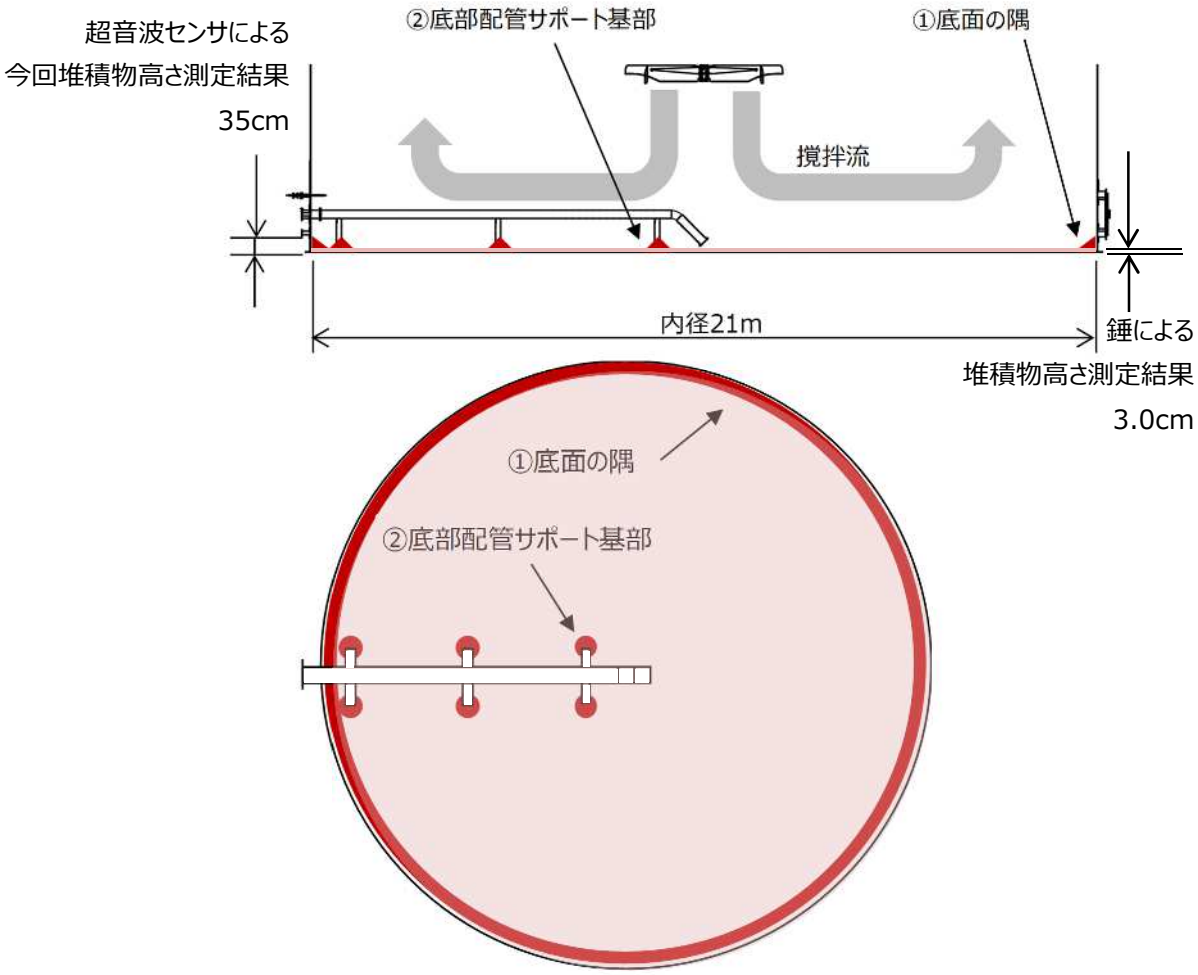


図 6－25　予想される堆積形態（消化タンク立断面・平断面）
赤色及び薄赤色着色箇所が堆積物

以上から、運用においては超音波センサによる側面方向からの堆積物高さ測定で管理できるものと判断できる。

・堆積物排出運転の実績

対象下水処理場の鋼板製消化タンクでは、消化タンク撹拌機逆転時、タンク中心に向かう流れの力を利用して堆積物を集積し、底部引抜管より堆積物を消化汚泥引抜ポンプにて強制的に引き抜く機能を有している。（図 6－26）

ヒアリングによると堆積物排出運転は対象の下水処理場では実施されていなかった。調査時点では、堆積の著しい進行がないため問題ないものと判断できる。

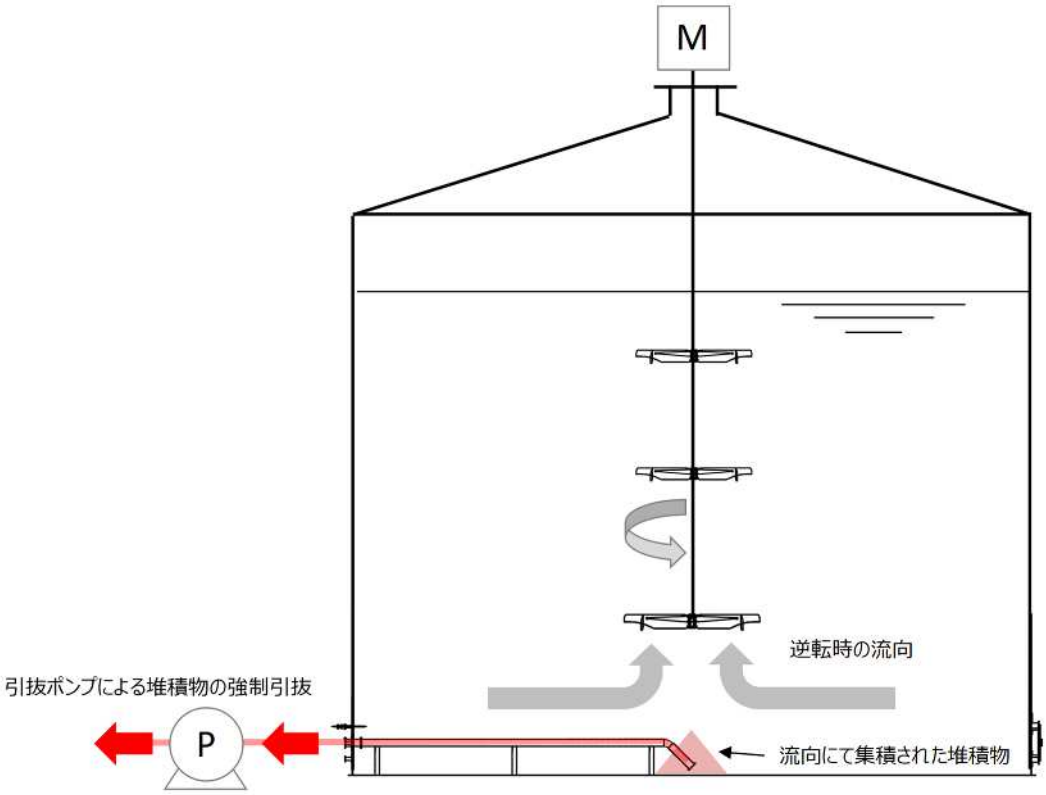


図 6－26　堆積物排出運転のイメージ図

②下部コーン型鋼板製消化タンク

対象下水処理場では現在、消化汚泥貯留槽の容量が小さいこともあり引抜弁の応答性を考慮して、現地メンテナンス業者の判断で下部引き抜きの機能を使用していなかった。

（２）　タンク気相部発泡対策

パッケージ型鋼板製消化タンクには、異常な発泡の早期確認・処置を目的に、覗き窓及び発泡検知器による発泡の検知と、初期対応として発泡検知器と連動した消泡散水を行う機能がある。今回の現地調査で、覗き窓から槽内の目視確認が可能かを確認した。また、発泡検知の警報と連動して消泡散水が作動しているかを確認した。

下部コーン型鋼板製消化タンクは、スカム・発泡については、インペラ式撹拌機に複数段設置された羽根のうち、最上段の羽根が生み出す下降流にスカムを巻き込むことにより、発生が抑制される機構を有している。スカム・発泡が発生した場合には、タンク上部に設けるセンサで検知すると共に、タンク上部からの散水、消泡剤の注入、タンク側面（オーバーフロー管）からの排出で対応する機能を持つ。今回調査では、試運転時でのタンク内部気相部に設けた散水ノズルの動作確認について確認した。合わせて、オーバーフロー管からのスカムの排出機能の作動実績を確認した。

① パッケージ型鋼板製消化タンク

・覗き窓及び発泡検知器による発泡の検知

対象下水処理場の鋼板製消化タンクでは、消化タンク側面液面付近および天井面（採光用）に槽内を目視するための覗き窓を設けている（図 6－27）。

現地調査にて 2021 年（6 年目）においても覗き窓から槽内を目視できることを確認した（図 6－28）。

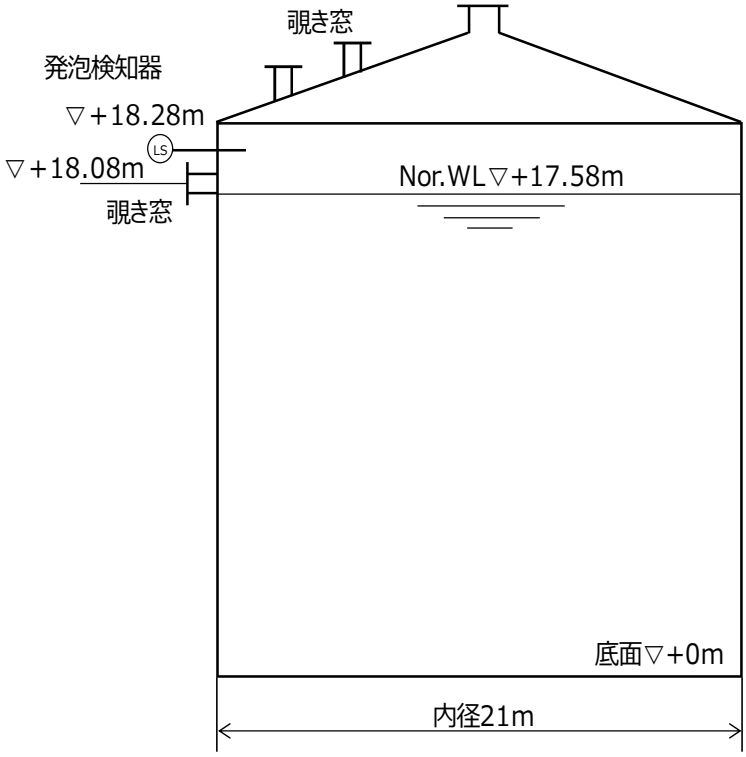


図 6－27　覗き窓及び発泡検知器配置図（消化タンク立断面）

図 6－28　鋼板製消化タンク側面覗き窓

・発泡検知器と連動した消泡散水

今回調査にて、警報履歴で発泡検知器が作動していることを確認した。また、監視装置の記録から、警報を発報した後、消泡散水が連動作動していることを確認した。

② 下部コーン型鋼板製消化タンク

タンク内部気相部に設けた散水ノズル及び洗浄水配管に設置された消泡剤の注入が可能なノズルが正常に動作することを試運転にて確認した。

また、オーバーフロー管からのスカムの排出機能の作動実績を確認したところ、これまでに発泡やスカム蓄積が確認されたことがなく作動実績もなかった。

（3） リン酸マグネシウムアンモニウム（MAP）発生への対策

パッケージ型鋼板製消化タンクでは、リン酸マグネシウムアンモニウム（以下、MAP）による消化汚泥引抜配管の閉塞に起因した運転停止の防止のため、消化汚泥引抜配管の複数設置を行うこととしている。今回調査では、図面の確認及び現地調査にて消化汚泥引抜配管が複数設置されているかを確認した。また、ヒアリングによりMAP が原因による消化汚泥引抜配管の閉塞がないかを確認した。

下部コーン型鋼板製消化タンクでは、オーバーフロー管を、バルブの開閉操作により薬品を貯められる閉回路の形成が容易な構造とし、MAP 発生時には速やかに薬品浸漬することで対応できるようにしている。今回調査にて、バルブの開閉で薬品を貯められる回路を形成し、薬品を注入できる構造となっているかを確認した。

① パッケージ型鋼板製消化タンク

・消化汚泥引抜配管の複数設置

対象下水処理場の鋼板製消化タンクでは、図面を確認した結果（図 6－29)、消化汚泥引抜配管を複数設置していることを確認した。

また、現地調査にて消化汚泥引抜配管を複数設置していることを確認した。（図 6－30）

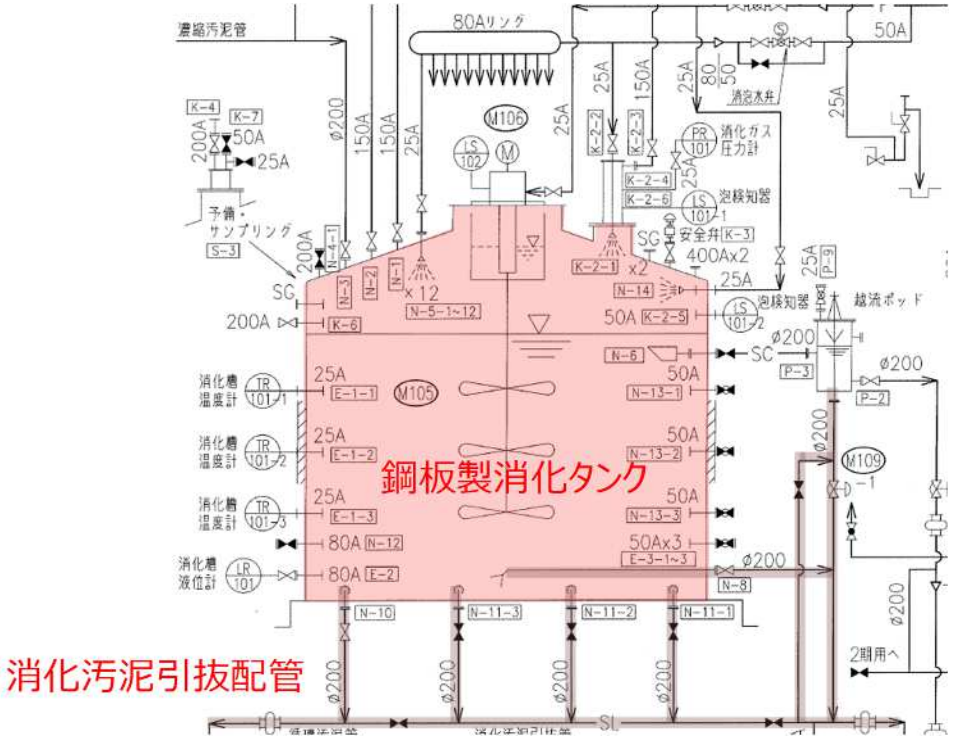


図 6－29 鋼板製消化タンク図面（フローシートより）

図 6－30 現地調査写真

・MAP に関するヒアリング

対象の下水処理場では、過去、MAP が原因による消化汚泥引抜配管の閉塞はなかったことをヒアリングにて確認した。また、図 6－31 に示すように対象下水処理場の消化汚泥引抜配管の配管内部の写真からも、MAP が原因による閉塞が起きていないことを確認した。

消化汚泥引抜配管　外観

消化汚泥引抜配管　配管内部

図 6－31　消化汚泥引抜配管写真（2017 年（2 年目））
※対象下水処理場より受領

② 下部コーン型鋼板製消化タンク

MAP 析出事例が多く報告されているオーバーフロー管 [6),7)]を、バルブの開閉操作により薬品を貯められる閉回路の形成が容易な構造とし、MAP 発生時には速やかに薬品浸漬することで対応できるようにしている。

今回調査にて、バルブの開閉で薬品を貯められる回路を形成し、薬品（クエン酸など）を注入できる構造となっていることを確認した。（図 6－32 参照）

なお、これまでに MAP 析出が確認されたことはない。

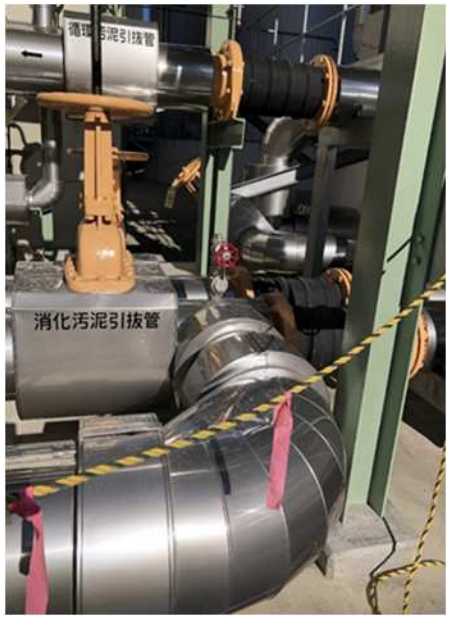


図 6－32　薬品注入口

６．５　　主たる成果

６．５．１　　消化性能に関する事項

パッケージ型鋼板製消化タンク及び下部コーン型鋼板製消化タンクについて、投入有機物量当たりの消化ガス発生量、消化率及び消化ガス組成について確認を行い、設計指針等に示される性能と比較を行った。

- 投入有機物量当たりの消化ガス発生量については、両技術とも設計指針に示されている値[500～600Nm3/t-投入VS]に対して一般的な性能の範疇と概ね同等であることを確認した。
- 消化率については、両技術とも設計指針に示されている値[約 50%]に対して一般的な性能の範疇と同等であることを確認した。
- 消化ガス組成については、両技術とも設計指針 [1)]に示されているメタン濃度[60～65%]と比べると少し低い結果となったが、新技術機構の処理場へのアンケート結果を踏まえ、一般的な性能の範疇と概ね同等であることを確認した。

６．５．２　　設計、建設に関する事項

パッケージ型鋼板製消化タンク及び下部コーン型鋼板製消化タンクについて、建設現場工期、撹拌機消費電力、エネルギー効率に関する性能指標（交付要件）、タンク内面腐食対策について確認を行い、各技術の特徴や性能比較を行った。

- 建設現場工期については、従来のコンクリート製消化タンクと比較して建設工期の大幅な短縮が可能であることを確認した。
- 撹拌機消費電力については、両技術ともにインペラ式撹拌機を採用により、撹拌機の動力投入密度は 1W/m3 以下で運転が行われていた。また、従来技術であるスクリュー式撹拌機との比較において省電力化が図れていることを確認した。
- エネルギー効率に関する性能指標（交付要件）については、国土交通省通達で示されている指標値：280kWh/t-VS 分解に対して両技術ともに適合可能であることを確認した。今回の試算結果ではパッケージ型消化タンクで 120 kWh/t-VS 分解、下部コーン型鋼板製消化タンクで 70.1 kWh/t-VS 分解となった。
- タンク内面腐食への対策については、パッケージ型鋼板製消化タンクでは外観確認や膜厚測定結果から、タンク内面の防食塗装（気相部 D 種）に著しい劣化が無いことを確認した。下部コーン型鋼板製消化タンクは、供用開始から時間が経っ

ていないことから「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」の通りに施工が行われたことを確認した。

6.5.3　運転支援に関する事項

パッケージ型鋼板製消化タンク及び下部コーン型鋼板製消化タンクについて、タンク内堆積物発生への対策、タンク気相部発泡対策、MAP 発生への対策について確認を行い、各技術の機能や性能が発揮できるか確認を行った。

- タンク内堆積物発生への対策については、パッケージ型鋼板製消化タンクでは、超音波センサやタンク屋上部の点検口から錘を下げてタンク内の堆積形態を予想した。測定結果からは、タンク底面全体に 3 ㎝程度の堆積があり、堆積しやすい底部側壁付近や配管サポート基部で 35 ㎝程度の堆積形態があると予想された。本技術には撹拌機の逆転運転による堆積物排出運転を実施する機能があるが、維持管理者へのヒアリングからは堆積物排出運転は実施されていなかった。下部コーン型鋼板製消化タンクでは、供用開始から時間が経っていないことから堆積状況の調査は行っていない。本技術にはタンク内で沈降物が発生した場合、下部コーン構造によって堆積物はタンク底部中央に誘導・集約され汚泥引抜配管から消化汚泥と共に槽外へ効率的に排出する機能を持っている。今回調査では下部引抜きの機能は使用されていないことを確認した。

- タンク気相部発泡対策については、パッケージ型鋼板製消化タンクでは、覗き窓及び発泡検知器による発泡の検知と発泡検知器と連動した消泡散水を行う機能を備えている。今回調査で、覗き窓から槽内の目視確認が可能であることや、これらの消泡機能が正常に作動していることを確認した。下部コーン型鋼板製消化タンクでは、スカム・発泡が発生した場合には、センサで検知すると共に、タンク上部からの散水、消泡剤の注入、タンク側面（オーバーフロー管）からの排出で対応する機能を備えている。今回調査では、これらの機能が正常に作動可能であることを確認した。また、これまでに発泡やスカム蓄積が確認されたことがなく、作動した実績もなかった。

- MAP 発生への対策については、パッケージ型鋼板製消化タンクでは、MAP による配管閉塞による運転停止の防止のため、消化汚泥引抜配管の複数設置を行うこととしている。今回調査では、図面の確認及び現地調査にて消化汚泥引抜配管が複数設置されていることを確認した。また、維持管理者のヒアリングにより MAP が原因による消化汚泥引抜配管の閉塞が発生していないことを確認した。下部コーン型鋼板製消化タンクでは、オーバーフロー管をバルブの開閉操作により薬品を貯められる閉回路の形成が容易な構造とし、MAP 発生時には速やかに薬品浸

漬することで対応できることとしている。今回調査で、バルブの開閉で薬品を貯められる回路を形成し、薬品を注入できる構造となっていることを確認した。また、調査対象の処理場では、調査時点では MAP が原因による配管閉塞が発生していないことも確認した。

第７章　　成果および課題

本研究により、広域化・共同化や施設の統廃合等に対応した、地域バイオマスの受け入れや汚泥処理の集約化、下水汚泥のバイオガス化等の下水汚泥の資源利用技術の実用化を進めるうえで必要な検討や検討における留意点を明らかにした。また、検討に資するツールの開発や、技術の性能発揮状況の確認なども確認した。

７．１　　下水処理場の水処理運転管理と汚泥の嫌気性消化特性に関する検討

下水処理場に流入するバイオマスのメタン発酵によるエネルギー転換をより効率的に行うための、水処理施設における運転管理上の注意点を明らかにした。

- 最初沈殿池汚泥の管理に関して、最初沈殿池汚泥は速やかに引き抜くこと、重力濃縮汚泥も長時間の滞留は避け腐敗（酸発酵）する前に消化槽に投入することが重要である。特に水温の高い夏季には留意が必要である。また、最初沈殿池における汚泥の回収率を高めるために、流入下水へのポリ鉄などの凝集剤添加や、重力濃縮に代え機械濃縮を採用することも効果的である。
- 余剰汚泥の管理については、余剰汚泥のメタン発酵性は反応タンクの BOD-SS 負荷に大きく左右される。反応タンクで硝化促進運転（BOD-SS の低負荷）を行っている箇所などは、再検討することが望まれる。

７．２　　嫌気性消化施設の導入、地域バイオマス受け入れにおける処理場マスバランスの検討

下水処理場に地域バイオマスを受け入れ、メタン発酵を行った場合の水処理施設及び汚泥処理施設への影響を推測するためのシュミレーションモデルの構築を目的として検討を行った。

- 処理水質の予測も含めたシミュレーションの実施においては、正確な現状マスバランスデータを基に構築モデルのキャリブレーションを行うことが重要と考えられた。モデル構築には数多くのパラメータ調整が必要であり、豊富な経験が必要となる。
- 処理場のマスバランス検討では、上流側（流入下水、初沈廻り）ほど水量と水質の時間変動が大きく、スポット採取のデータではその取扱いに注意が必要である。沈殿池や重力濃縮槽からの引き抜き汚泥もサンプリングのタイミングで濃度が

大きく変化するので注意が必要である。脱水ろ液による返流水負荷の検討においては、脱水機種によって凝集剤希釈液量や洗浄水量に大きな差があるので留意が必要である。

・ 市販の表計算ソフト（エクセル）を用いて、地域バイオマスの受け入れによるガス発生量の増減、脱水汚泥量の増減、脱水ろ液による返流水負荷を推測可能な簡易な計算ツールを構築した。

7．3　　各種地域バイオマスの嫌気性消化特性に関する調査

バイオマスにも色々あるが、すべてのバイオマスがメタン発酵の原料となるものではなく、一般的には加水分解性の高い有機物、すなわち人間の食料・家畜の飼料となるものがメタン発酵原料となる。

また、下水汚泥など同じバイオマスでも初沈汚泥や余剰汚泥では基本性状が大きく異なり、また余剰汚泥でも施設の運転条件によっても異なる。各バイオマスのメタン発酵性を定量的に把握するには個々にメタン発酵試験を行うことが必要となる。

本調査では、これまで JS で行った下水汚泥を中心とする各種バイオマスの試験結果をもとに、その基本性状、メタン発酵性について整理した。

・ バイオマスの有機物含有濃度指標としては一般に VS（強熱減量）が広く用いられているが、低濃度バイオマスやアルコール・揮発性有機酸を多く含む場合は指標として適さない場合がある。そのため、このような性質のバイオマスでは CODcr が比較的安定した有機物指標とみなせる。

・ メタン発酵過程でタンパク質等の有機分の分解に応じて消化液中に窒素（特にアンモニア）が溶出し水処理プロセスへの返流水負荷の増加となったり、消化槽内でのアンモニア阻害発生の要因にもなるため、窒素含有量の高いバイオマスの受け入れにおいては注意が必要となる。放流先の窒素の排出規制が厳しい場合などは、下水の余剰汚泥をメタン発酵から外し、初沈汚泥のみをメタン発酵の対象とすることも考えられる。

・ 一般に人間の食糧、動物の飼料となるバイオマスは加水分解性が高く、高いメタン発酵性を有する。下水汚泥では初沈汚泥のメタン発酵性は生ごみ並みに高いが、余剰汚泥や OD 法汚泥のような活性汚泥主体のバイオマスは加水分解されないためメタン発酵性は低い。これらメタン発酵性の低い汚泥も熱改質処理（170℃、30 分間）等によりある程度改善（10～30%）できる場合がある。

・ メタン発酵原料としては生ごみや焼酎かすなどメタン発酵性の高いバイオマス

が有利である。生し尿や浄化槽汚泥は下水汚泥並みのメタン発酵性を有するが、一般に搬入濃度が低いため、加温熱エネルギー収支の面より消化槽投入前に濃縮工程を行うことが望まれる。

7．4　　下水処理場における地域バイオマス受け入れの影響調査

地域バイオマス受け入れに向けた計画・設計段階の留意事項の整理を目的に、既に地域バイオマスを受け入れている処理場へのヒアリング調査を実施し、地域バイオマス受け入れ前の検討状況や受け入れ後の運用・課題などを確認するとともに、対象処理場の水質分析と容量計算により、地域バイオマス受け入れの定量的な影響評価を試みた。

- 地域バイオマス受け入れによる水処理や汚泥処理への影響をヒアリングにより調査し、容量計算を用いた定量的な影響評価を試みたが、容量計算のみで実態を再現することは困難であった。このことから、地域バイオマス受け入れにおける事前の影響評価手法としては、既に地域バイオマスを受け入れている処理場の運転実績等を基にチェックリストを作成し、容量計算と併せて検討を行うことが有効である。
- 本調査により作成したチェックリストにおいて、施設の能力や負荷、脱水性などについての確認内容ごとに、対応策をまとめた。
- 容量計算やチェックリストは、今回の調査対象である 5 処理場の事例に基づくものであるため、引き続き他処理場の事例を踏まえて有効性を検証するとともに、チェックリストの項目を拡充させることが望ましい。

7．5　　鋼板製消化設備の事後評価調査（新技術フォローアップ）

新たに嫌気性消化を導入する施設において、従来のコンクリート製の消化タンクと比較して、建設工期が短く、ライフサイクルコストの縮減や維持管理性の向上が期待できる鋼板製消化タンクの開発や実施設への導入が増えている。

本調査では、JS 新技術導入制度で選定された鋼板製消化タンクで実施設での供用開始がされている「パッケージ型鋼板製消化タンク」と「下部コーン型鋼板製消化タンク」を調査対象とし、消化性能や各機能が適正に発揮されていることを確認した。

- 消化性能に関する事項（投入有機物量当たりの消化ガス発生量、消化率、消化ガ

ス組成）について、維持管理データや試運転データを整理し、設計指針等 [1),2)]に示される一般的な消化性能と同等の消化性能が発揮されていることを確認した。

- 設計、建設に関する事項（建設工期、撹拌機消費電力、エネルギー効率に関する性能指標（交付要件)、タンク内面腐食対策）について実績や実態を確認し、鋼板製消化タンクの特長や性能が発揮できていることを確認した。

- 運転支援に関する事項（タンク内堆積物発生への対策、タンク気相部発泡対策、MAP 発生への対策）について実態や機能の使用状況確認を行い、各技術の性能や機能が発揮できる状態にあることを確認した。

- 今回はパッケージ型鋼板製消化タンク及び下部コーン型鋼板製消化タンクについて、それぞれ 1 か所の下水処理場の調査結果をまとめたが、今後の課題として他機場の鋼板製消化タンクにおいても同様な事後評価調査を行い、消化性能の評価だけでなく、嫌気性消化プロセスの維持管理性の向上にもつながる調査（フォローアップ）を行うこととする。また、現時点では供用後の年数が最長でも 5 年程度であり、年数の経過した時点でのデータも引き続き取得していく。

【参考文献】

1) 日本下水道協会：下水道施設計画･設計指針と解説 －2019 年版－、日本下水道協会、2019

2) 下水道新技術推進機構：消化タンク改築・修繕技術資料、2007

3) 日本下水道協会：平成 21～30 年度下水道統計、2012～2021

4) 国水下事第 38 号：下水道事業におけるエネルギー効率に優れた技術の導入について、平成 29 年 9 月 15 日

5) 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、2017

6) 荒巻　祐二：第 50 回下水道研究発表会講演集、pp.1003-1005、2013

7) 日本下水道協会：再生と利用、Vol.36、No.134、pp.50-53、2012

【謝辞】

本業務の実施に当り、ヒアリングにご協力頂いた民間企業の関係者各位に深く感謝いたします。

Copyright 2022 by Japan Sewage Works Agency
All rights reserved. No parts of this report may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without written permission of Japan Sewage Works Agency.

この報告書に関する全ての権利は、日本下水道事業団にあります。本報告書の全部又は一部の転載、複製には、日本下水道事業団の文書による許可が必要です。

汚泥処理の広域化、地域バイオマスの活用等によるバイオマス利活用促進
（平成 29 年度～令和 3 年度）
報告書

令和４年３月

編集・発行　**日本下水道事業団 技術戦略部**
〒113-0034　東京都文京区湯島 2 丁目 31 番 27 号
湯島台ビル
電話　(03)6361-7849