

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1092

December 2019

B-DASH プロジェクト No. 26

高効率消化システムによる地産地消エネルギー活用技術
導入ガイドライン（案）

下水道研究部 下水処理研究室

B-DASH Project No.26

Guideline for introducing a Technology for Local Energy Production with high-efficiency Anaerobic Digestion System.

Wastewater and Sludge Management Division

Water Quality Control Department

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

B-DASHプロジェクト No.26

高効率消化システムによる地産地消エネルギー活用技術 導入ガイドライン(案)

下水道研究部 下水処理研究室

B-DASH Project No.26

Guideline for introducing a Technology for Local Energy Production with high-efficiency Anaerobic Digestion System

Wastewater and Sludge Management Division

Water Quality Control Department

概要

本ガイドラインは、特に中小規模の下水処理場におけるバイオガスの有効利用の促進を目指し、下水道革新的技術の一つである「高効率消化システムによる地産地消エネルギー活用技術」について、下水道事業者が導入検討する際に参考にできる資料として策定したものである。

キーワード : バイオガス、消化槽、熱可溶化、SOFC、エネルギー創出

Synopsis

This guideline for introducing a technology for local energy production with high-efficiency anaerobic digestion system promotes the effective use of biogas in small and medium-sized wastewater treatment plants and supports sewage works administrator for introduction.

Key Words : biogas, digester, thermal hydrolysis, SOFC, energy creation

執筆担当者一覧

国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 室長 ……田嶋 淳

前 国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 室長 ……山下 洋正

前 国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 主任研究官 ……太田 太一

国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 研究官 ……松橋 学

はじめに

我が国の下水道は、国民生活に不可欠な社会資本として整備が進められており、下水道処理人口普及率は79.3%（平成30年度）となっている。下水道の普及が公衆衛生の向上や公共用水域の水質保全に貢献する一方で、大量に発生する下水の処理には大きな電力を必要とし、大量の電力を消費する事業の一つとなっている。また、下水や汚泥の処理に伴い温室効果ガスが排出され、地方公共団体の公共事業の中でも大きな温室効果ガス排出源となっている。今後、下水道の未普及地域の解消や高度処理化など、さらなる温室効果ガス排出量の増加が見込まれ、地球温暖化防止に一定の役割を果たそうとする我が国において、その削減が急がれる状況となっている。このような状況を背景に、下水汚泥や下水の持つエネルギー資源としてのポテンシャルに期待が高まっており、省エネ・省資源の取り組みに加えて、積極的にこれら資源を有効活用し、再生可能エネルギーを創出する取組が始まっている。

平成26年7月に策定された「新下水道ビジョン」（国土交通省水管理・国土保全局下水道部、公益社団法人日本下水道協会）では、有機物、栄養塩類を除去対象物質でなく資源として捉え、革新的な技術・システム等を導入し、他バイオマスも集約することで、下水処理場を水・資源・エネルギーの集約・自立・供給拠点化することが打ち出されている。また、平成27年度の下水道法改正で、下水道管理者は、「発生汚泥等が燃料又は肥料として再生利用されるよう努めなければならない」とする規定が新設された。さらに、「新下水道ビジョン加速戦略」（平成29年8月 国土交通省水管理・国土保全局下水道部）でも、下水道による付加価値向上の重要性が示されている。しかし、実際の資源としての活用は未だ低い水準にあり、優れた新技術が開発されても実績が少ないなどの理由で普及展開が進まない状況である。

国土交通省下水道部が平成23年度から開始している「下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト※）」では、国土技術政策総合研究所下水道研究部が実証研究の実施機関となり、それぞれのビジョンを実現可能な技術について実証研究を実施し技術導入ガイドラインを策定することで、優れた革新的技術の実証や新技術の普及展開、普及による下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー等の創出を実現し、併せて本邦企業による水ビジネスの海外展開の支援を図っている。

本ガイドラインで示す「高効率消化システムによる地産地消エネルギー活用技術」は、下水処理場における嫌気性消化プロセスに高効率な消化システムを適用することでエネルギーとして未利用のバイオマスを活用し、嫌気性消化設備の導入が困難であった中小規模の処理場においても低コストで導入可能とする革新的技術であり、実証研究においてもその有効性が確認された。

本ガイドラインは、国土技術政策総合研究所委託研究（高効率消化システムによる地産地消エネルギー活用技術の実用化に関する実証研究 受託者：三菱化工機（株）・国立大学法人九州大学・日本下水道事業団・唐津市共同研究体共同研究体 実施期間：平成29~30年度）において実施した成果を踏まえ、下水道事業者が本革新的技術の導入を検討する際に参考にできる資料として作成したものであり、この優れた技術が全国そして海外にも普及されることを強く願うものである。

技術選定から実証研究施設の設置、実運転による実証を踏まえたガイドラインの策定までを2年間という短期間でまとめるにあたり、大変なご尽力をいただいた下水道革新的技術実証事業評価委員会の委員各位、及びガイドラインに対する意見聴取にご協力いただいた下水道事業者の各位をはじめ、実証研究に精力的に取り組まれた研究体各位等全ての関係者に深く感謝申し上げます。

※B-DASH プロジェクト：Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project

国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究部長 岡本 誠一郎

目 次

第1章 総 則

第1節 目的	1
§1 目的	1
第2節 ガイドラインの適用範囲	4
§2 ガイドラインの適用範囲	4
第3節 ガイドラインの構成	5
§3 ガイドラインの構成	5
第4節 用語の定義	7
§4 用語の定義	7

第2章 技術の概要と評価

第1節 技術の概要	9
§5 システム全体の目的	9
§6 システム全体の概要と特徴	10
§7 無動力攪拌式消化槽の概要と特徴	13
§8 高効率加温設備（可溶化装置）の概要と特徴	15
§9 固体酸化物形燃料電池(SOFC)の概要と特徴	19
第2節 技術の適用条件	23
§10 適用条件及び推奨条件	23
§11 導入シナリオ	26
第3節 実証研究に基づく評価の概要	28
§12 技術の評価項目	28
§13 技術の評価結果	34

第3章 導入検討

第1節 導入検討手順	38
§14 導入検討手順	38
§15 基礎調査	40
§16 導入効果の検討	42
§17 導入判断	48

第4章 計画・設計

第1節 導入計画	49
§ 18 計画の手順	49
§ 19 基本条件の設定	50
§ 20 基本計算	53
§ 21 施設計画の検討	58
§ 22 導入効果の検証	61
§ 23 導入計画の策定	62
第2節 施設設計	63
§ 24 無動力攪拌式消化槽の設計	63
§ 25 高効率加温設備の設計	66
§ 26 固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の設計	69
§ 27 外部汚泥・地域バイオマス受入設備の設計	71
§ 28 ユーティリティ設備の設計	72
§ 29 安全対策と環境対策	73

第5章 維持管理

第1節 システム全体の維持管理の要点	74
§ 30 システム全体の維持管理の要点	74
第2節 運転管理	75
§ 31 運転管理	75
第3節 保守点検	80
§ 32 保守点検	80
第4節 緊急時の対応	85
§ 33 緊急時の対応と対策	85

資 料 編

I. 実証試験.....	87
II. 簡易算定式.....	119
III. 参考資料.....	133
IV. 日平均水量 30,000m ³ の処理場検討例.....	143
V. 加温設備更新に関する総費用(年価換算値)の縮減効果.....	155
VI. 消化設備新設に関する総費用(年価換算値)の縮減効果.....	160
VII. 機器仕様書.....	166
VIII. 問い合わせ先.....	176

第1章 総則

第1節 目的

§1 目的

本ガイドラインは、下水道事業における大幅なコスト縮減や省エネルギー・創エネルギー効果の増大に寄与するため、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）の革新的技術の1つである「高効率消化システムによる地産地消エネルギー活用技術」（以下、「本技術」とする）について、実証研究の成果を踏まえて、技術の概要、導入検討、計画・設計及び維持管理などに関する技術的事項について明らかにし、もって導入の促進に資することを目的とする。

【解説】

下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）は、新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業における資源回収、省エネルギー・創エネルギー効果やコスト縮減を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、国土交通省が実施しているものである。

B-DASH プロジェクト全体の概要は、図 1-1 に示すとおりである。各実証事業においては、国土技術政策総合研究所からの委託研究として、実証研究を実施している。

平成 23 年度は、①水処理における固液分離技術（高度処理を除く）、②バイオガス回収技術、③バイオガス精製技術、④バイオガス発電技術に係る革新的技術を含むシステムについて公募を行い、2 件の実証研究を採択・実施し、ガイドライン案を策定した。

平成 24 年度は、⑤下水汚泥固形燃料化技術、⑥下水熱利用技術（未処理下水の熱利用に限る）、⑦栄養塩（窒素）除去技術（水処理に係る技術は除く）、⑧栄養塩（りん）除去技術（水処理に係る技術は除く。回収技術を含むことは可）に係る革新的技術について公募を行い、5 件の実証研究を採択・実施し、ガイドライン案を策定した。

平成 25 年度は、⑨下水汚泥バイオマス発電システム技術（低含水率化技術、エネルギー回収技術、エネルギー変換技術を組み合わせたシステム技術）、⑩管きょマネジメント技術に係る革新的技術について公募を行い、5 件の実証研究を採択・実施し、ガイドライン案を策定した。

平成 26 年度は、⑪下水汚泥から水素を創出する創エネ技術、⑫既存施設を活用した省エネ型水処理技術（標準活性汚泥法代替技術・高度処理代替技術）、⑬ICT による既存施設を活用した戦略的水処理管理技術、⑭既存施設を活用した ICT による都市浸水対策機能向上技術に係る革新的技術について公募を行い、6 件の実証研究を採択・実施し、ガイドライン案を策定した。

平成 27 年度は、⑮複数の下水処理場からバイオガスを効率的に集約・活用する技術、

⑩バイオガスから CO2 を分離・回収・活用する技術、⑪設備劣化診断技術、⑫都市域における局所的集中豪雨に対する降雨及び浸水予測技術、⑬下水管路に起因する道路陥没の兆候を検知可能な技術、⑭下水処理水の再生利用技術に係る革新的技術について公募を行い、9 件の実証研究を採択・実施し、⑮⑯⑰についてガイドライン案を策定した。

平成 28 年度は、⑱中小規模処理場を対象とした下水汚泥の有効利用技術、⑲ダウンサイジング可能な水処理技術に係る革新的技術について公募を行い、4 件の実証研究を採択・実施し、ガイドライン案を策定した。

平成 29 年度は、⑳汚泥消化技術を用いた地産地消型エネルギーシステムの構築に向けた低コストなバイオマス活用技術、㉑省エネ社会の実現に向けた低コストな地球温暖化対策型汚泥焼却技術、㉒既設改造で省エネ・低コストに処理能力（量・質）を向上する技術に係る革新的技術について公募を行い、3 件の実証研究を採択・実施した。

平成 30 年度は、㉓ICT を活用した効率的な下水道施設（処理場・ポンプ場）管理に関する技術、㉔ICT を活用した効率的な管路マネジメント技術、㉕高純度ガス精製・バイオガス利用等による効率的エネルギー化技術、㉖他の熱源よりも低コストに融雪できる下水熱利用技術に係る革新的技術について公募を行い、7 件の実証研究を採択・実施している。

平成 31 年度（令和元年度）は、㉗ICT 活用スマートオペレーションによる省スペース・省エネ型高度処理技術、㉘クラウドや AI 技術を活用した効率的なマンホールポンプ管理技術、㉙AI データ解析による効率的な管内異常検知技術について公募を行い、4 件の実証研究を採択・実施している。

本技術は、㉚に係る革新的技術であり、実証研究のとりまとめにあたっては、専門的知識を有する有識者及び実務に精通した地方公共団体の下水道事業者より意見を聴取したうえで、学識経験者で構成される「下水道革新的技術実証事業評価委員会」（以下、「評価委員会」とする。（<http://www.nilim.go.jp/lab/ecg/bdash/bdash.htm>））の評価を受け、十分な成果が得られたと評価された。本ガイドラインは、下水道事業における大幅な省エネルギー・創エネルギー効果やコスト縮減を実現するため、評価委員会で評価された本技術の実証研究の成果を踏まえ、本技術の導入の促進に資することを目的として、国土技術政策総合研究所において策定するものである。このため、本ガイドラインでは、地方公共団体などの下水道事業者が本技術の導入を検討する際に参考にできるように、技術の概要と評価、導入検討、計画・設計及び維持管理などに関する技術的事項についてとりまとめている。

なお、本ガイドラインについても、実証研究の成果と同様に、専門的知識を有する有識者及び実務に精通した地方公共団体の下水道事業者より意見を聴取のうえ、評価委員会の評価を受け、了承されたものである。

B-DASH実規模実証の全体像

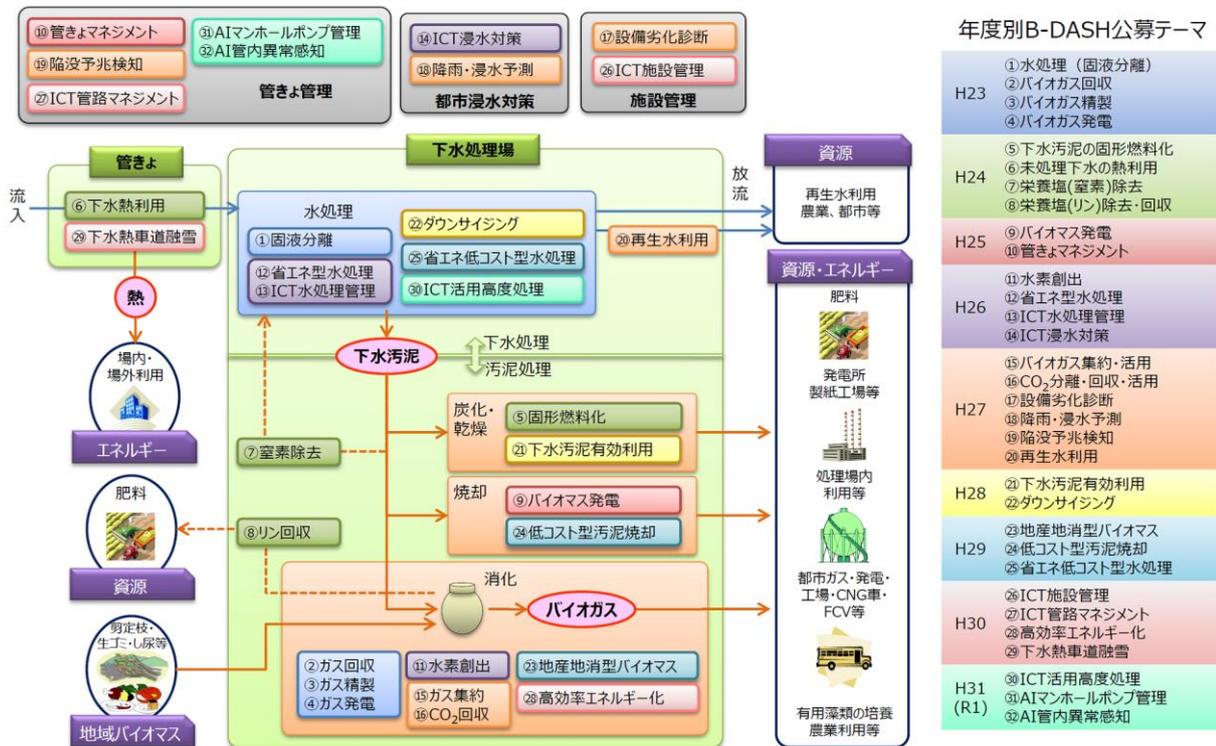


図 1-1 下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）の概要（全体）

第2節 ガイドラインの適用範囲

§2 ガイドラインの適用範囲

本ガイドラインは、下水道施設を対象とした本技術の導入検討、計画・設計及び維持管理に適用する。

【解説】

本ガイドラインは、下水道施設の新・増設あるいは既存施設・設備の更新に際して、本技術の導入を促進することを目的として、本技術の導入検討、計画・設計、維持管理の参考となるようにとりまとめたものである。

本技術のシステム全体を同時にまたは段階的に導入する場合、または、一部の要素技術のみを導入する場合にも本ガイドラインは適応される。

本ガイドラインは、地方公共団体などの下水道事業者及び関連する民間企業などに利用されることを想定して策定している。

第3節 ガイドラインの構成

§3 ガイドラインの構成

本ガイドラインは、総則、技術の概要と評価、導入検討、計画・設計、維持管理及び資料編から構成される。

【解 説】

本ガイドラインは、図 1-2 に示す構成から成る。

各章の概要は、以下に示す通りである。

(1) 第1章 総則

本章では、目的、ガイドラインの適用範囲、ガイドラインの構成、用語の定義について記述する。

(2) 第2章 技術の概要と評価

本章では、本技術の目的、概要、特徴、適用条件、導入シナリオについて示す。また、実証研究で得られた成果に基づく本技術の評価結果を示す。

(3) 第3章 導入検討

本章では、本技術の導入を検討する際に必要な手順、手法を示すとともに、導入効果の検討例を示す。

(4) 第4章 計画・設計

本章では、導入検討の結果として、本技術の導入効果が期待できると判断された場合に、導入に向けてより具体的に計画設計を行うための手法について示す。

(5) 第5章 維持管理

本章では、本技術を導入した場合において、下水道管理者などが実施すべき具体的な維持管理の内容について示す。

その他、資料編として、実証研究結果、簡易算定式、問い合わせ先などに関する資料を示す。

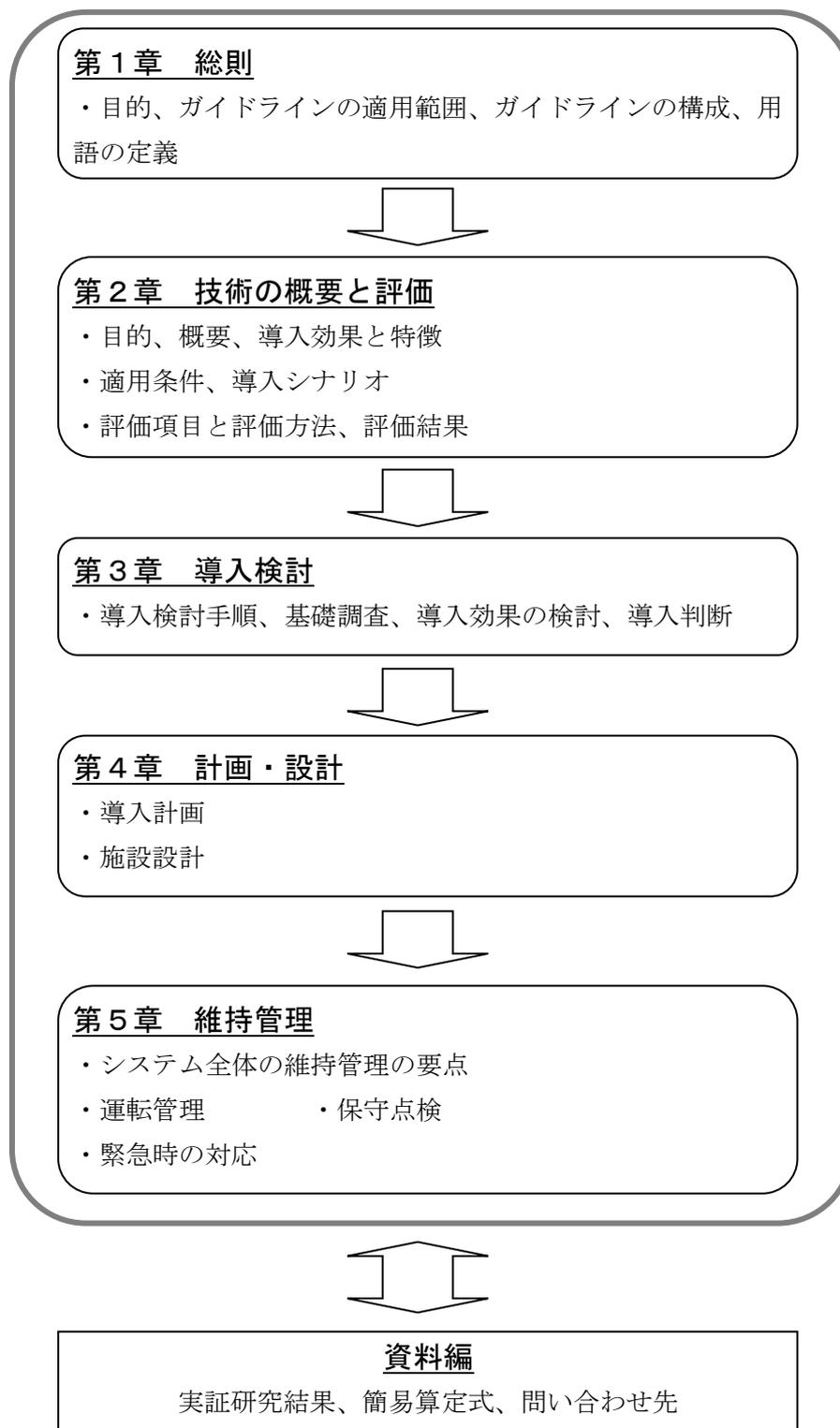


図 1-2 本ガイドラインの構成

第4節 用語の定義

§4 用語の定義

本ガイドラインで取り扱う用語は、以下のように定義する。なお、下水道施設の基本的な用語に関しては「下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版」(公益社団法人日本下水道協会)、「下水道用語集 2000年版」(公益社団法人日本下水道協会)に準拠する。

(1) 無動力攪拌式消化槽

無動力攪拌式消化槽とは、発生するバイオガスの圧力を利用して消化槽内に水頭差を発生させ、その水頭差により消化槽内を攪拌する方式の消化槽のこと。従来の機械攪拌、ガス攪拌などと比較して機械的な動力を用いないため攪拌動力が大幅に削減できる。

(2) 高効率加温設備

高効率加温設備は、新たなエネルギーを使用せずに消化槽の加温と消化脱水汚泥の一部を熱可溶化して再消化し、バイオガス発生量の増加、脱水汚泥の含水率低下および最終的に排出汚泥量を削減するための設備である。

(3) 熱可溶化

熱可溶化とは、160～170℃、0.5～0.7MPa による熱加水分解作用を利用して汚泥を熱改質することである。熱改質とは、消化汚泥の細胞壁の一部を分解し、固形分を低分子化することである。

(4) 可溶化装置

可溶化装置は、高効率加温設備を構成する主要装置で脱水汚泥と水蒸気を圧入して、汚泥を熱可溶化するための装置である。

(5) 固体酸化物形燃料電池 (SOFC)

固体酸化物形燃料電池とは英語で Solid Oxide Fuel Cell (略して SOFC) と称し、燃料電池の一種である。燃料電池は、水素などの燃料から電気を作る装置のことで本技術ではバイオガス中のメタンを原料として水素を生成する。燃料電池は下水処理場で多く採用されているガスエンジンによるガス発電と比較して発電効率が高い、排気ガスがクリーンであるなどの特徴がある。燃料電池は電解質の種類によって、4種に分類され、SOFCはその一種である。SOFCは他の燃料電池と比較して発電効率が高い、金属触媒が不要、廃熱温度が高いなどの特長がある。

(6) 可溶化投入率

可溶化投入率とは、消化槽へ投入する濃縮汚泥 TS 量に対する可溶化タンクへ投入する汚泥 TS 量の割合のこと。可溶化投入率は、性能を決定する設計・操作因子である。可溶化投入率が大きくなればバイオガス量が増え、汚泥はより減量し、脱水性もよくなるが、可溶化コスト、消化汚泥濃度、返流水質も上昇するので総合的に判断して決定する必要がある。

(7) 消化率(VS 分解率)

消化率とは消化槽において分解される VS 量の割合である。可溶化のない従来の消化率は、消化率計算式で算出するが、本技術では可溶化汚泥が循環し、外部汚泥、地域バイオマスも受け入れる場合があるので一般式が適用できない。本技術においては次の計算式で算出する。

$$\text{消化率} = 1 - \frac{\text{消化汚泥 VS 量} - \text{可溶化投入消化汚泥 VS 量}}{\text{濃縮汚泥 VS 量} + \text{外部汚泥 VS 量} + \text{地域バイオマス VS 量}}$$

(8) 地域バイオマス

地域バイオマスは、広義では下水汚泥を除く地域のバイオマス全体を指すが、本ガイドラインでは、生ごみ、家畜排せつ物、剪定枝、食品残渣など地域から発生するバイオマスのことを指す。地域バイオマスは一般的には前処理を行った後、直接消化槽に投入する。

(9) 外部汚泥

外部汚泥とは、し尿・浄化槽汚泥、集排汚泥、OD 汚泥など生活排水系汚泥のことを指す。受入脱水汚泥は、一般的には可溶化装置に投入して可溶化処理した後、消化槽に投入する。

(10) スパイラル熱交

2 枚の伝熱板をスパイラル状に巻いた構造の熱交換器で、伝熱面積が大きく小型化が可能な熱交換器である。従来技術における中温消化設備においては、消化タンク内部の汚泥を温水と熱交換することによって消化槽を加温させる設備の構成機器となっている。

(11) 発酵不適物

生分解性に乏しく、メタン発酵には適さない物質である。食品廃棄物を収集してメタン発酵を行う場合に、廃棄物中の袋、包装等が該当する。

第2章 技術の概要と評価

第1節 技術の概要

§5 システム全体の目的

本システムは、下水処理場における嫌気性消化プロセスに高効率な消化システムを適用することでエネルギーとして未利用のバイオマスを活用し、嫌気性消化設備の導入が困難であった中小規模の処理場においても低コストで導入可能にすることを目的とする。

【解説】

下水汚泥は、人の生活に付随して常時一定の質・量で安定して発生するバイオマスである。また、下水道が集約型のインフラであることから、人口が集中する需要地ほどバイオマスを大量に回収できるシステムであることなどバイオマスの有効利用に適した特徴を持っている。このためバイオマスを資源として積極的に位置づけ、エネルギー利活用を推進していくことが期待されている。また、地球温暖化対策の面からも下水処理場の省エネルギー化やエネルギー回収が求められている。

下水汚泥のエネルギー利活用技術として、これまでに嫌気性消化により発生するバイオガスの利活用技術や下水汚泥の固形燃料化技術が実用化されている。しかし、下水汚泥中のバイオマス利用について、エネルギー利用が22%、緑農地利用が約10%（平成29年度）に留まっており、今後さらなるバイオマスの利用が求められている。

上記観点から、嫌気性消化設備の導入が求められているにも関わらず、中小規模の処理場では、経済面での事業性の問題等の観点から、導入が進まない状況である。

本システムは無動力攪拌式消化槽、高効率加温設備（可溶化装置）、固体酸化物形燃料電池（SOFC）を組合せた高効率消化システムにより、従来の嫌気性消化方式と比較して、排出汚泥量の削減、創エネルギー量増加、省エネルギー化の効果により、全体の総費用（年価換算値）縮減、温室効果ガス量削減を目的とする。

また、周辺地域の地域バイオマス、小規模処理場の脱水汚泥を受入れる中規模の下水処理場を核とした集約的なシステムとすることによって、排出汚泥量の削減、創エネルギー量増加の効果がより高くなる。

上記技術の導入により、嫌気性消化設備の導入が困難であった中小規模の処理場においても導入可能な、下水処理場のエネルギー拠点化も視野にいたしたシステムの構築を目的とする。

§6 システム全体の概要と特徴

本システムは、消化槽内に機械的攪拌装置を用いない無動力攪拌式消化槽、消化脱水汚泥及び外部汚泥を熱可溶化しながら消化槽の加温を行う高効率加温設備及びバイオガスを用いて高い発電効率で発電する固体酸化物形燃料電池（SOFC）の要素技術から構成され、これに外部汚泥や地域バイオマスを集約処理するシステムである。

【解説】

（1）システムの概要

本システムは、従来の嫌気性消化処理方式を高効率化するもので、消化槽内に機械的攪拌装置を用いない無動力攪拌式消化槽、消化汚泥及び外部汚泥を熱可溶化しながら消化槽の加温を行う高効率加温設備およびバイオガスを用いて高い発電効率で発電する固体酸化物形燃料電池（SOFC）から構成される。

本システムのフローを図2-1に示す。下水処理場の水処理工程から排出される濃縮混合汚泥を無動力攪拌式消化槽で嫌気性消化処理する。消化汚泥は脱水機にて脱水し、一部はそのまま排出汚泥として排出する。残りは高効率加温設備に送り、水蒸気で加熱し高温高压下において熱可溶化を行う。熱可溶化された可溶化消化汚泥は消化槽に返送し、その保有熱で消化槽を加温するとともに再消化される。消化槽で発生したバイオガスは、ガスタンクに貯留した後、創エネルギー量を増加させる目的で、固体酸化物形燃料電池の燃料にして発電し、エネルギーを回収する。また、熱可溶化による熱改質効果により従来の消化槽に比べ消化日数を短縮可能なため、消化槽容量を変えずに汚泥の処理量の増加が可能であることから周辺地域の地域バイオマスおよび外部汚泥を受入れて、汚泥処理の効率化、資源・エネルギー回収を増やすことができる。

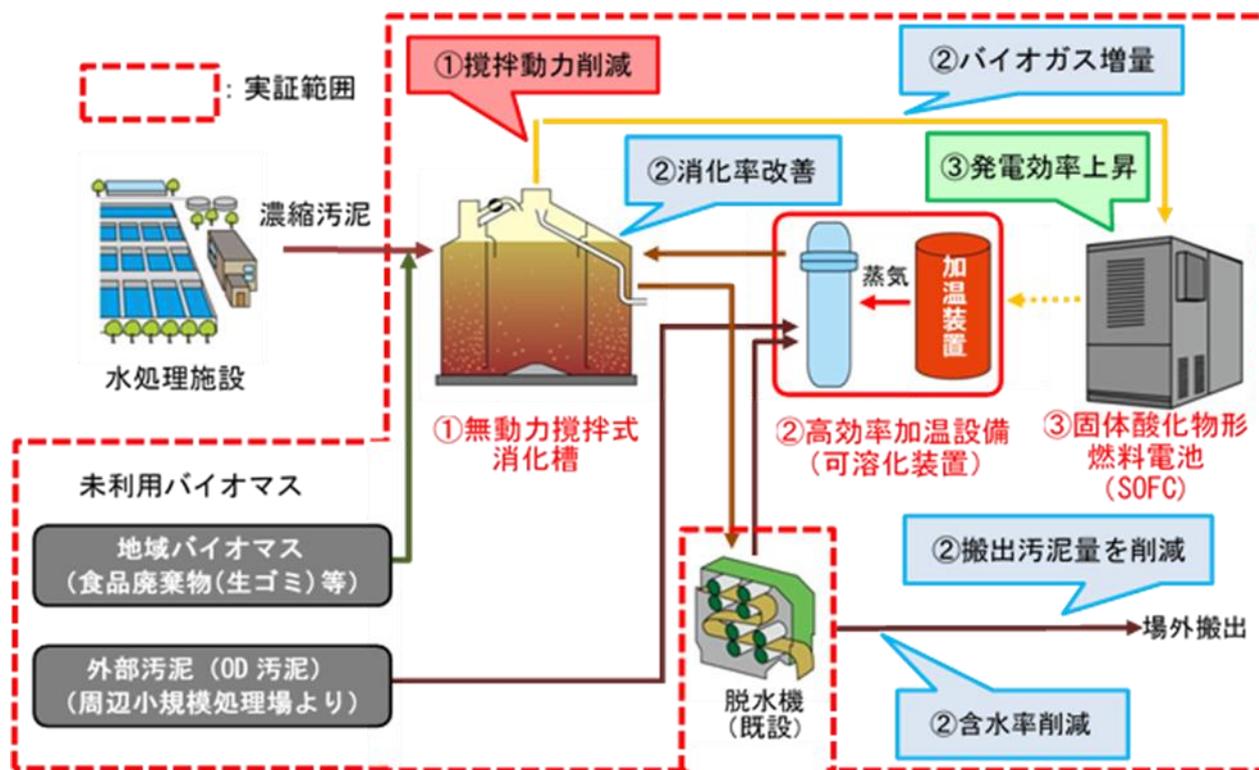


図 2-1 本システムのフロー

(2) システムの特徴

システムの特徴を以下に示す。

① 無動力攪拌式消化槽

内部は、外筒と内筒とに仕切られており、液相の底部で繋がった形状となっている。発生するバイオガスの圧力を利用して外筒と内筒に水頭差を発生させ、その水頭差により機械的な動力を用いず消化槽内の攪拌を行う。機械的な動力を用いず消化槽内の攪拌を行うもので、攪拌動力の削減とメンテナンスの軽減が可能である。

② 高効率加温設備（可溶化装置）

消化槽の加温を行うとともに高温高压水の性質を利用して脱水した消化汚泥を熱可溶化するための設備で、熱可溶化により汚泥の有機物分解を促進し、バイオガス発生量を増加させるとともに、脱水汚泥の含水率を低下させ、最終的に排出汚泥量を削減するものである。

③ 固体酸化物形燃料電池（SOFC）

電極、電解質含め発電素子中に液体が存在せず、全て固体で構成されている燃料電池で、高温(通常 700~1000℃)で稼働し、単独の発電装置としては最も発電効率が良い(45~65%)。

④ 地域バイオマスおよび外部汚泥の受入れ

消化の効率化によって消化槽容量に余裕が生じ、地域バイオマスおよび外部汚泥（以下外部汚泥と称す）の受入れが可能となる。外部汚泥の高効率加温設備への受入れ・集約化によるバイオガス発生量増加、外部汚泥の減量が可能となり、周辺地域を含めた汚泥処理の効率化、新たなバイオマスエネルギーの回収を行うことができる。

(3) 導入効果

本システムの特徴による副次的な効果を以下に示す。

① 省エネルギー化

従来のガス攪拌または機械攪拌に対し動力を使用しない方式を採用しているため消費動力が大幅に削減される。また、熱可溶化した汚泥のエネルギーを消化槽の加温エネルギーに利用し、エネルギーの節約を図る。

② 消化汚泥の熱可溶化による消化率の向上

分解しにくい消化汚泥を熱可溶化により熱改質したのちに、再度消化槽に投入することで全体の消化率が向上する。

③ 脱水汚泥の含水率低減および排出汚泥量の削減

熱可溶化により汚泥の脱水性が改善され含水率が低減するとともに、消化率の向上により固形分が減量することにより排出汚泥量が大幅に削減される。

④ 創エネルギー量の増加

消化率の向上によって汚泥のVS分解量が増えバイオガス発生量が増加する。増加したバイオガスを高い発電効率の固体酸化物形燃料電池で発電することで、創エネルギー量が増加する。

§7 無動力攪拌式消化槽の概要と特徴

無動力攪拌式消化槽は、発生するバイオガスの圧力を利用して消化槽内に水頭差を発生させ、その水頭差により機械的な動力を用いず消化槽内の攪拌を行うもので、攪拌動力の削減とメンテナンスの軽減が可能である。

【解 説】

(1) 無動力攪拌式消化槽の概要

図2-2に無動力攪拌式消化槽の構造と攪拌原理を示す。無動力攪拌式消化槽の構造と攪拌原理は以下の通りである。図2-3には、本実証実験で運転中の無動力攪拌式消化槽を示す。

- ① 無動力攪拌式消化槽の内部は、外筒と内筒とに仕切られており、液相の底部で繋がった形状となっている。また、内筒と外筒の上部気相部は連通管で結ばれており、均圧弁で開放/閉止の操作を行う構造となっている。
- ② 均圧弁を閉じた状態にすると、外筒に発生したバイオガスが溜まり、圧力が上昇するのに伴って、外筒側の液位が低下し、内筒側の液位が上昇する。
- ③ 外筒側液位と内筒側液位が設定液位差に到達する直前に濃縮混合汚泥を投入し、設定液位差に到達すると、内筒の塔頂近くに設置された消化汚泥流出管から消化された汚泥が槽外に排出される。
- ④ この状態になったときに、均圧弁を開放すると、外筒側のバイオガスが内筒側に流入し、同時に内筒側の液が外筒側に流れ込み、内筒底部に設けられた攪拌ブロックによって旋回流が形成され、消化槽内が攪拌される。
- ⑤ スタートアップ時には、スタートアップを早く行うため補助ブロウにて強制的にガスの吹き込みを行う。

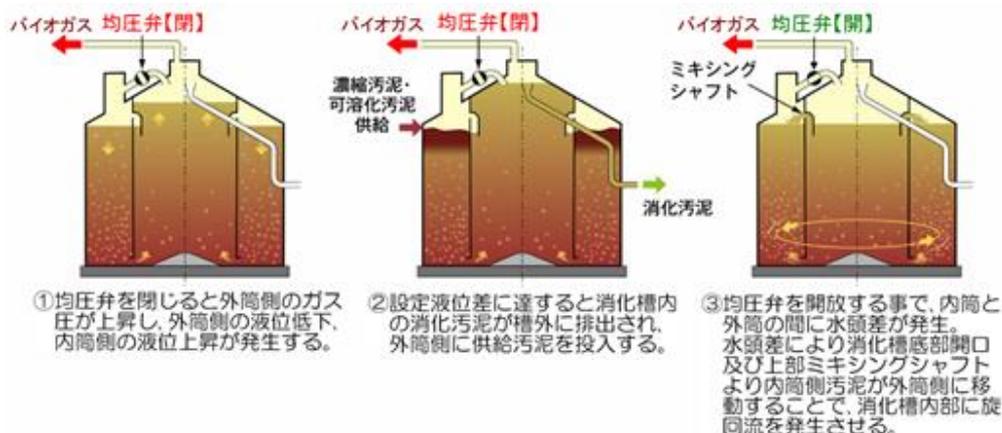


図2-2 無動力攪拌式消化槽の構造と攪拌原理



図 2-3 実証設備の無動力攪拌式消化槽

(2) 無動力攪拌式消化槽の特徴

無動力攪拌式消化槽の特徴は次の通りである。

① 攪拌動力を低減できる

従来の機械攪拌方式、ガス攪拌方式と比較した場合、必要な動力はスタートアップ時のガス吹込み動力だけであり攪拌に要する動力が大幅に低減される。

② メンテナンス性に優れている

内部に機械設備を持たない構造であることからメンテナンス性に優れており、攪拌機への絡み付き等の機械トラブルのリスクが低減される。

また、スカムは一定厚さ以上になると外部へ排出される構造になっており、発泡も外筒側は外部に流出しない構造のため、これらのトラブルに悩まされることはない。

§8 高効率加温設備（可溶化装置）の概要と特徴

高効率加温設備は、消化槽の加温を行うとともに高温高压水の性質を利用して脱水した消化汚泥を熱可溶化するための設備で、熱可溶化により汚泥の有機物分解を促進し、バイオガス発生量を増加させるとともに、脱水汚泥の含水率を低下させ、最終的に排出汚泥量を削減するものである。

【解説】

高効率加温設備は、消化槽の加温と消化汚泥の熱可溶化を行う設備である。熱可溶化した消化脱水汚泥を消化槽に戻すことで、消化槽を加温することができ、新たな熱エネルギーを使用しないで熱可溶化ができる。また、外部からの脱水汚泥を可溶化して消化槽に投入することも可能である。

（1）熱可溶化の原理

熱可溶化は、高温高压水による水熱反応（亜臨界反応）を利用して汚泥を熱改質するものである。図 2-4 に示すように水は温度と圧力により固体、液体、気体の三つの状態を示すが、水を密閉容器に入れて加圧すると、気体の密度が増し、ついには液体と同じ密度になって気体と液体の境界が消える超臨界という状態になる。この気体と液体の境界が消える点を臨界点といい、水では 374℃、22MPa である。臨界点に近い状態を亜臨界といい、亜臨界の状態での加水分解反応については、食品加工や植物細胞の細胞壁の分解等に適用されている。

本技術はこの亜臨界水の比較的低温域の反応を利用したもので、飽和水蒸気圧下の高温高压下(160～170℃、0.5～0.7MPa)において消化汚泥を熱化学的に改質する。これによって、次の二つの効果がある。

- ① 汚泥を再消化しやすくなる。
- ② 汚泥を脱水しやすくなる。

①については、従来の消化方式では、流入汚泥の有機分が約 50%消化されるのみで、残りは分解しにくい消化汚泥として処理処分されている。熱可溶化によってこの消化されにくい消化汚泥の生物細胞を破壊し、消化し易くして再消化することによりバイオガス発生量が増加するとともに汚泥が分解されて減量される。

②については、従来、消化汚泥は脱水しにくいといわれている。これが熱可溶化することにより汚泥中の有機分が分解されて無機分の割合が高くなり、また、粘着性物質が破壊されて低粘度となるため脱水しやすくなる。脱水汚泥への熱可溶化の効果を図 2-5 に示す。

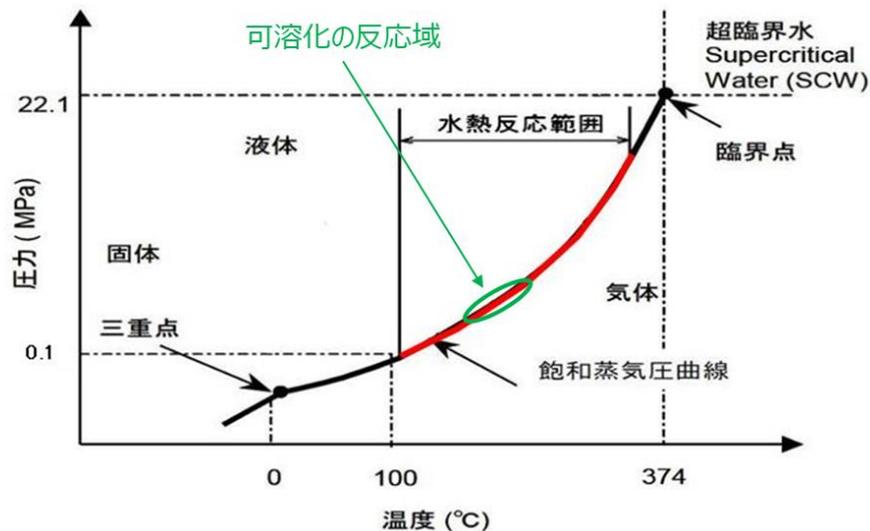


図 2-4 水の状態

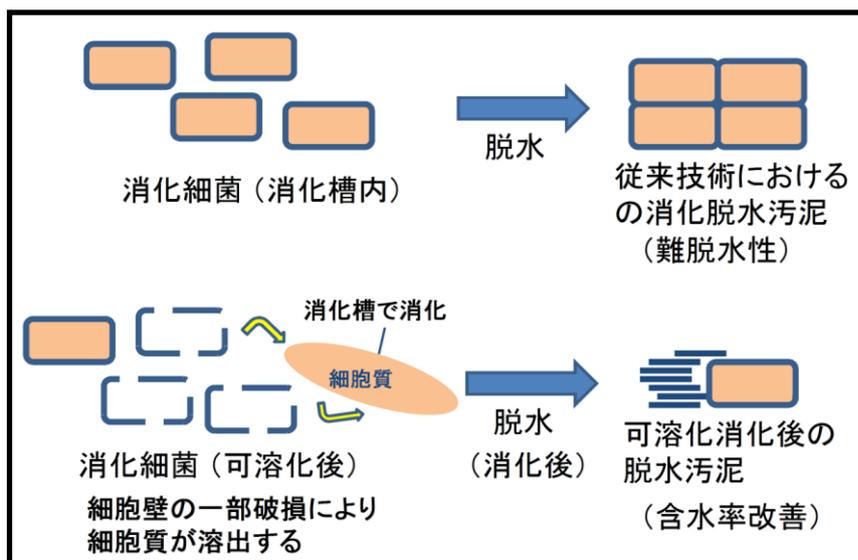


図 2-5 脱水汚泥への熱可溶化の効果

(2) 高効率加温設備の構成

高効率加温設備は、可溶化装置、熱源装置、脱水ケーキ移送ポンプで構成される。可溶化装置は、熱可溶化タンク、自動弁、計器類、操作盤等で構成される装置である。処理フローを図 2-6 に、今回の実証実験で運転中の高効率加温設備（可溶化装置）を図 2-7 に示す。図中の寸法は処理量が 0.7 t/hr の高効率加温設備の中心となる熱可溶化タンクの外形寸法である。

- ① 脱水ケーキ移送ポンプは、脱水汚泥を高圧で定量的に可溶化装置に圧入する機器である。
- ② 可溶化装置は水蒸気により脱水された消化汚泥を加熱して熱可溶化を行うとともに可溶化汚泥が保有する熱量で消化槽を加温するための装置である。加熱方式は、熱可溶化タンクへ

の水蒸気直接吹き込みである。これにより、水蒸気の熱量を有効に利用するとともに間接加熱方式に見られる焦げ付き、スケーリング等のトラブルを防ぐことが可能となる。

③熱源装置(小型貫流ボイラ)は汚泥の熱可溶化を行うのに必要な水蒸気を供給する装置である。バイオガスを利用した蒸気ボイラ、ガス発電機の廃熱を利用した廃熱ボイラなどがある。

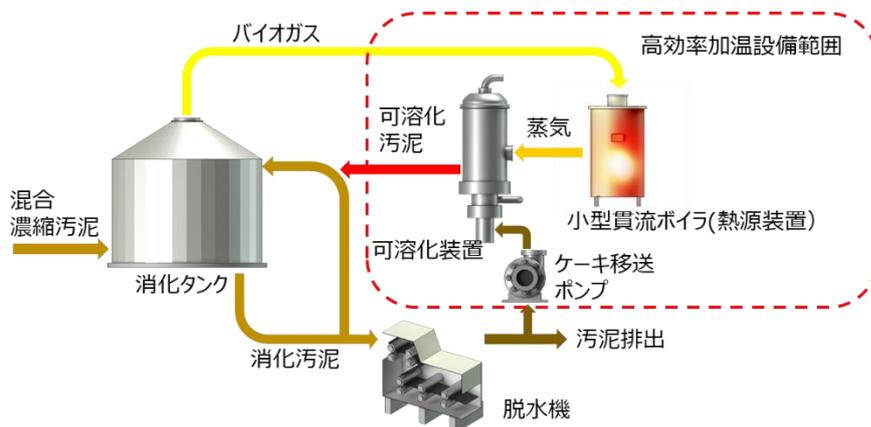


図 2-6 高効率加熱設備フロー



図 2-7 実証設備の高効率加熱設備(熱可溶化タンク)

(3) 高効率加熱設備の特徴

高効率加熱設備の特徴を下記に示す。

- ① 間接加熱方式と同程度のエネルギーで加熱と熱可溶化を行うことができる
消化槽加熱熱量とバランスするように脱水した消化汚泥の所定量を熱可溶化する。熱可溶

化された可溶化汚泥を消化タンクに戻すことで、熱可溶化汚泥が保有する熱エネルギーで消化槽を加温、温度維持することができる。

② 消化率の向上、バイオガス発生量の増収効果が期待できる

消化汚泥を熱可溶化することにより消化しにくい消化汚泥が再消化され、消化率が向上する。また、消化率が上昇した分、バイオガス発生量も増加する。

③ 脱水汚泥の含水率の低減ができる

消化汚泥の熱可溶化により消化汚泥の脱水性が改善されて脱水汚泥の含水率が低下する。

④ 排出汚泥量が削減される

消化率向上と脱水汚泥含水率低減の相乗効果により排出汚泥量が大幅に削減される。

⑤ 消化日数を短縮可能または外部汚泥の受入れが可能である

熱可溶化により熱改質した汚泥を消化槽に再投入することで、システム全体として、消化日数を15日程度まで短縮できる。汚泥が消化されやすくなった分、消化槽容量に余裕ができ、外部汚泥の受入れが可能となる。

⑥ 濃縮混合汚泥を消化槽投入前に熱可溶化する方式と比較して次の特徴がある。

- ・ 消化しやすい濃縮混合汚泥でなく分解しにくい消化汚泥を熱可溶化することで効率的な熱利用ができる。
- ・ 脱水汚泥を熱可溶化するため、熱可溶化に必要なエネルギー量が大幅に少なくて済む。
- ・ 設備が密閉形のため、基本的には臭気は排出されず臭気対策が容易である。
- ・ 原則として熱回収などの操作がないので熱交換器などが不要で装置構成がシンプルである。さらに、投入熱量が少ないため、熱源は小型の貫流ボイラで対応可能であり、ボイラ資格者の配置が不要となるなど、維持管理性の面でも優位性がある。

§9 固体酸化物形燃料電池（SOFC）の概要と特徴

固体酸化物形燃料電池（以下 SOFC と称す）は、燃料電池の一種で、消化槽で発生するバイオガスを燃料として高効率発電を行い、処理場のエネルギー自給率を向上させることを目的として設置するものである。

【解説】

（1）SOFC の概要

SOFC は燃料電池の一種で、消化槽で発生するバイオガスを燃料として高効率で発電しエネルギーを回収する設備である。現在下水処理場に導入されているバイオガス発電技術を表 2-1 に示す。

表 2-1 各バイオガス発電機（出典：下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン）

	ガスエンジン	マイクロ ガスタービン	燃料電池	ロータリー エンジン
発電出力 (kW)	25～1,000	30～95	105	40
発電効率 (%)	25～39	25～28	42	22～23
廃熱効率 (%)	40～55	約 45	20～49	57～58
総合効率 (%)	約 80	70～80	62～91	約 80

燃料電池の原理図を図 2-8 に示す。燃料電池とは電解質を挟んだ電極の一方に水素を、そしてもう一方の電極に酸素を送ることによって化学反応を起こし水と電気を発生させることで、水素と酸素のもつ化学エネルギーを電気エネルギーに変換する発電設備である。ここで使用する水素は消化槽で発生したバイオガスに含まれるメタンを改質して得られる。

現在研究されている燃料電池は、大別すると表 2-2 に示すように固体酸化物形（SOFC）、熔融炭酸形（MCFC）、リン酸形（PAFC）、固体高分子形（PEFC）の4種類あり、作動温度や使用する燃料、発電の出力規模など、それぞれの特長を生かして利用されている。SOFC は、現在知られている燃料電池の形態では最も高温（通常 700～1000℃）で稼働し、単独の発電装置としては最も発電効率が良い（45～65%）。電極、電解質含め発電素子中に液体が存在せず、全て固体で構成される。

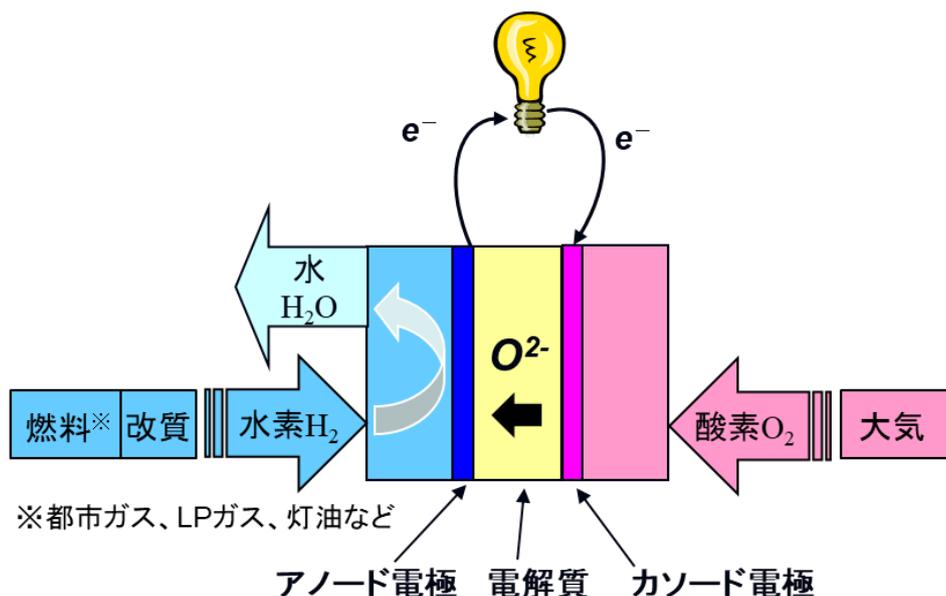


図 2-8 燃料電池原理図

表 2-2 燃料電池の種類

	固体高分子形 PEFC	リン酸形 PAFC	熔融炭酸塩形 MCFC	固体酸化物形 SOFC
電解質	高分子膜 (フィルム状)	リン酸水溶液 (溶液)	炭酸溶融塩 (溶液)	ジルコニア (セラミックス)
移動イオン	H ⁺	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ²⁻
運転温度	70~90°C	200°C	650~700°C 高温排熱利用可	650~1000°C 高温排熱利用可
燃料ガス (CO許容量)	H ₂ (数10ppm以下)	H ₂ (数%以下)	H ₂ , CO メタンの内部改質が可能	H ₂ , CO メタンの内部改質が可能
発電効率	30~40%	35~42%	40~60%	40~65%
電極の触媒	白金	白金	貴金属不要	貴金属不要
主な用途	FCV/家庭用 1~100kW	産業/業務用 10k~10MW	火力発電代替 1~100MW	家庭用/火力発電代替 1k~100MW

SOFC のシステム機と周辺機器の構成を図 2-9 に示す。バイオガス中の阻害物質である硫化水素を脱硫器で除去し、続いてシロキサンをシロキサン除去塔で除去する。次の改質器においてバイオガス中のメタンを触媒反応により水素に改質転換する。その後、燃料電池で水素と空気中の酸素とを反応させ、電気を発生させる。発電後の排気ガスは高温のため水と熱交換し、熱エネルギーを回収する。図 2-10 に実証設備で運転中の SOFC システム機を示す。

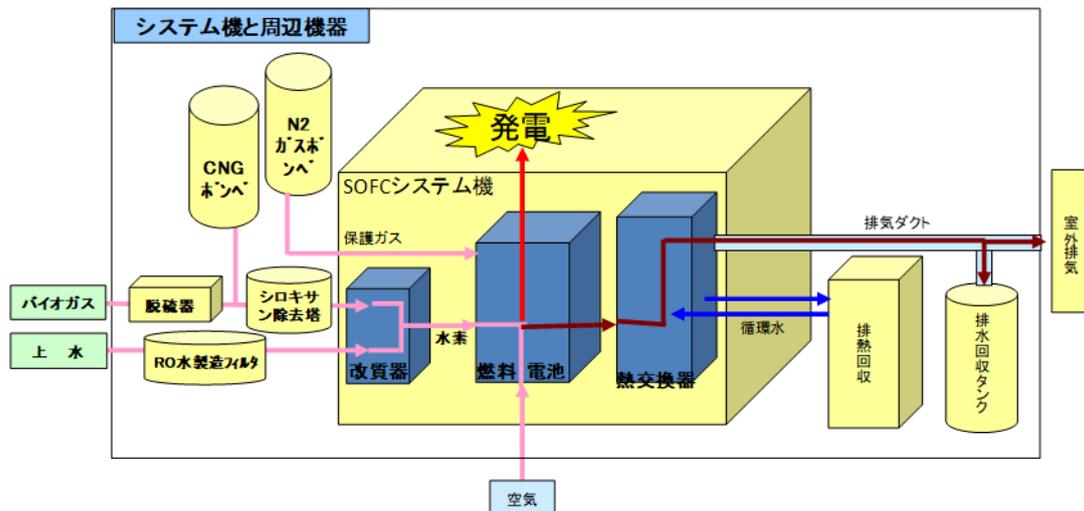


図 2-9 SOFC のシステム機と周辺機器の構成



図 2-10 実証設備の SOFC のシステム機

(2) SOFCの特徴

SOFCとPAFC、ガスエンジンとの比較を表2-3に示す。SOFCの特徴は下記のとおりである。

① 高い発電効率を有する

発電効率は燃料電池以外の発電機の25～30%程度に対し40～65%以上と高い発電効率を有している。

② 有害な排出物がないクリーンエネルギーである

水素と酸素の化学反応により電気を直接取り出すため、排出されるのは「水」だけであり、燃料電池以外の発電機にみられる二酸化炭素(CO₂)などの排出物がなくクリーンエネルギーである。

③ 他の燃料電池と比較してSOFCは反応温度が高く、金属触媒が不要である

化学反応が高温で行われるため、白金などの高価な触媒が不要である。反応温度が高いため、立ち上げ、立ち下げに時間を要する。

表2-3 SOFCと他の発電機との比較

		本技術	従来技術	
		固体酸化物形燃料電池 (SOFC)	リン酸形燃料電池 (PAFC)	ガスエンジン
発電方式	電解質	ジルコニア (セラミックス)	リン酸水溶液	—
	移動イオン	O ₂	H ⁺	
	電極触媒	貴金属不要	白金	
運転温度		650～1,000℃	200℃	—
燃料ガス		H ₂ , CO (メタンの内部改質が可能)	H ₂	バイオガス (メタン濃度：55～75%)
発電効率		>50%	35～42%	25～39%

第2節 技術の適用条件

§10 適用条件及び推奨条件

本システムは、下水処理場の汚泥処理施設を対象に適用される。本システムの導入効果は、処理規模などの条件により導入効果が異なる。このため、「適用条件」を満たすことを基本とするが、その中でも特に大きな導入効果が得られることが予想される「推奨条件」を合わせて示す。

【解説】

本システムは、下水処理場から発生する汚泥処理を行う新設または更新施設を対象として適用可能であるが既存施設に対してもシステム全体あるいは個別の設備を適用できる。本システムの導入シナリオは §11 導入シナリオにて示す。

本システムの適用条件・推奨条件を表 2-4 に示す。

表 2-4 適用条件・推奨条件

対象	適用条件	推奨条件
導入検討施設	標準活性汚泥法等、初沈・余剰汚泥が発生する処理場	排出汚泥の減容化を検討する処理場 バイオガスの増量を検討する処理場
対象汚泥	濃縮混合汚泥と基本とし、下水汚泥または未利用地域バイオマス等を受入れる	継続的な未利用地域バイオマスの発生が見込まれる
処理場規模	日平均水量 10,000m ³ /日以上	日平均水量 10,000m ³ /日以上 (既設消化槽がある場合) 日平均水量 30,000m ³ /日以上 (既設消化槽が無い場合) (集約する外部汚泥発生処理場については 10,000m ³ /日以上)
敷地・設置条件	設置に必要な面積の確保が可能なこと 既設消化設備に付加的に導入する場合は、付加的な設備を設置するのに十分な敷地があること	
返流水、放流水質	返流水によって放流水質の排水基準値を超過しないこと	

(1) 適用条件

1) 導入対象施設

導入対象施設としては、標準活性汚泥法等、初沈・余剰汚泥が発生する処理場である。

2) 対象汚泥

効率的にエネルギーを回収するには標準活性汚泥法の濃縮混合汚泥の適用を原則とする。例えばオキシデーションディッチ法（以下、OD法）汚泥の場合、濃縮混合汚泥に比べて消化しにくいいため、OD法汚泥をメインとした設備導入の場合では、経済性の面で成り立たない可能性があることから別途、汚泥のバイオガス転換率等の検討が必要である。

外部からの集約汚泥は、システム全体として、排出汚泥量の削減及びエネルギー回収の増加等の便益が生じるので、適用可能である。

3) 処理場規模

導入検討を実施する処理場規模は、10,000m³/日以上とする。本システムは従来技術である中温消化と比較して、事業採算性が取れる必要がある。事業採算性の指標として、建設年価、維持管理費、汚泥処分費、発電便益のからなる総費用(年価換算値)が、従来技術と比較して低減されることとすると、処理場規模として、日平均汚水量 10,000m³/日以上での処理場規模において、適用可能である。

4) 敷地・設置条件

設置に必要な面積が確保されていることが適用可能条件となる。

既設消化設備に付加的に導入する場合は、付加的な設備を設置するのにスペースが十分である必要がある。高効率加温設備については、目安として日平均汚水量 10,000m³/日で 100m²、30,000m³/日で 150m²、50,000m³/日で 200m²程度である。

また、高効率加温設備の設置は、脱水汚泥のポンプ圧送の動力と水蒸気の熱ロスを少なくするため消化槽、脱水設備に近接する必要がある。特に既設施設では、近接できる設置スペースが必要となる。

5) 水処理への負荷条件

消化汚泥を脱水した分離液は返流水として下水処理場側に返流する。汚泥の分解量が多い分、分離液側に N（窒素成分）、COD となる成分が流出し返流水の T-N、COD それぞれが上昇することが想定される。P（リン成分）については、分離液側への流出はわずかであるため一般的な中温消化と同程度の濃度と想定される。また、消化をしていない下水処理場に対し、実証技術を導入した場合、返流水中の COD、N（窒素成分）、P（リン成分）濃度が上昇することが想定される。

このことから、本技術の適用にあたっては水処理の現有能力、放流水の排水基準値を十分考慮して、水処理への負荷条件が対応可能である場合、適用可能である。

(2) 推奨条件

本システムの推奨条件を以下に示す。

1) 既に消化槽を有する導入検討処理場については、日平均汚水量約 10,000 m³/日以上である場合。

本システムは、従来技術である中温消化に比べて、建設年価、維持管理費、汚泥処分費、発電便益のからなる総費用(年価換算値)が低減され、温室効果ガス排出量削減も期待できる。

総費用(年価換算値)の縮減効果が得られる目安として、処理規模を日平均汚水量 10,000 m³/日以上を推奨条件とする。

2) 消化設備を有せず、新規に汚泥消化設備の導入検討を実施する処理場については、日平均汚水量約 30,000 m³/日以上である場合。

本システムは、従来技術である中温消化に比べて、総費用(年価換算値)が低減され、温室効果ガス排出量削減も期待できるが、消化なしの場合と比較した場合、総費用(年価換算値)の縮減効果が得られる目安として、処理規模を日平均汚水量 30,000m³/日以上を推奨条件とする。

3) 対象エリアにおいて、継続的な未利用バイオマスの発生が見込まれること。

本システムは下水汚泥または地域バイオマスの受入を行い、システム全体として、排出汚泥量削減やエネルギー回収量が増加を図ることが可能であるため、これらの未利用バイオマスの発生が DS 基準で濃縮汚泥の 20%程度の発生が継続的に見込まれることを推奨条件とする。

運搬費等を考慮し、発生源が対象エリア内にある運搬が容易であることが必要であり、下水汚泥については、脱水汚泥の形態が好ましいと考えられる。

また、地域バイオマスは食品廃棄物等メタン発酵に適したものであることが必須であり、分別された状態で搬入される必要がある。

4) 排出汚泥の減容化を検討する場合。

本システムでは、高効率加温設備の効果により中温消化と比較して、消化率が上がって有機固形物量が低減され、脱水汚泥の含水率も低減されるため、排出汚泥量を削減することが可能である。

また、一定エリア内に中小規模の下水処理場や食品工場が複数存在し、汚泥や地域バイオマスの集約処理を計画する場合には、高効率消化によって、汚泥や地域バイオマスを含めた排出汚泥量を削減することが可能である。

5) バイオガスの有効利用として、バイオガスの増量を検討する場合。

本システムでは、高効率加温設備の効果により中温消化と比較して、バイオガスの増量が見込まれる。

§11 導入シナリオ

導入シナリオとして、本システムを処理場の新規建設時または汚泥処理施設の更新時に一括導入する場合と既存施設の更新状況に応じて本システムの一部の設備を個別導入する場合がある。また、外部汚泥を受入れる場合と受入れない場合がある。

【解説】

導入シナリオとして、本システムの無動力攪拌式消化槽、高効率加温設備、SOFC のすべての設備を導入する一括導入と既存施設の更新状況に応じて適用できる設備を導入する個別導入がある。一括導入、個別導入の導入シナリオ例を次に記す。図 2-11 に導入シナリオ設定フローを示す。なお、SOFC の長期安定運転については検証が十分に行われていないことから、導入にあたっては留意が必要である。

- ① 消化槽が新規建設 → 一括導入
(無動力消化槽、高効率加温装置、SOFC)
- ② 消化槽更新 → 一括導入
(無動力消化槽、高効率加温設備、SOFC)
- ③ 既設消化槽で加温設備更新 → 高効率加温設備、SOFC
(既設にガス有効利用設備がある場合は高効率加温設備)
- ④ ガス発電を計画 → 高効率加温設備、SOFC

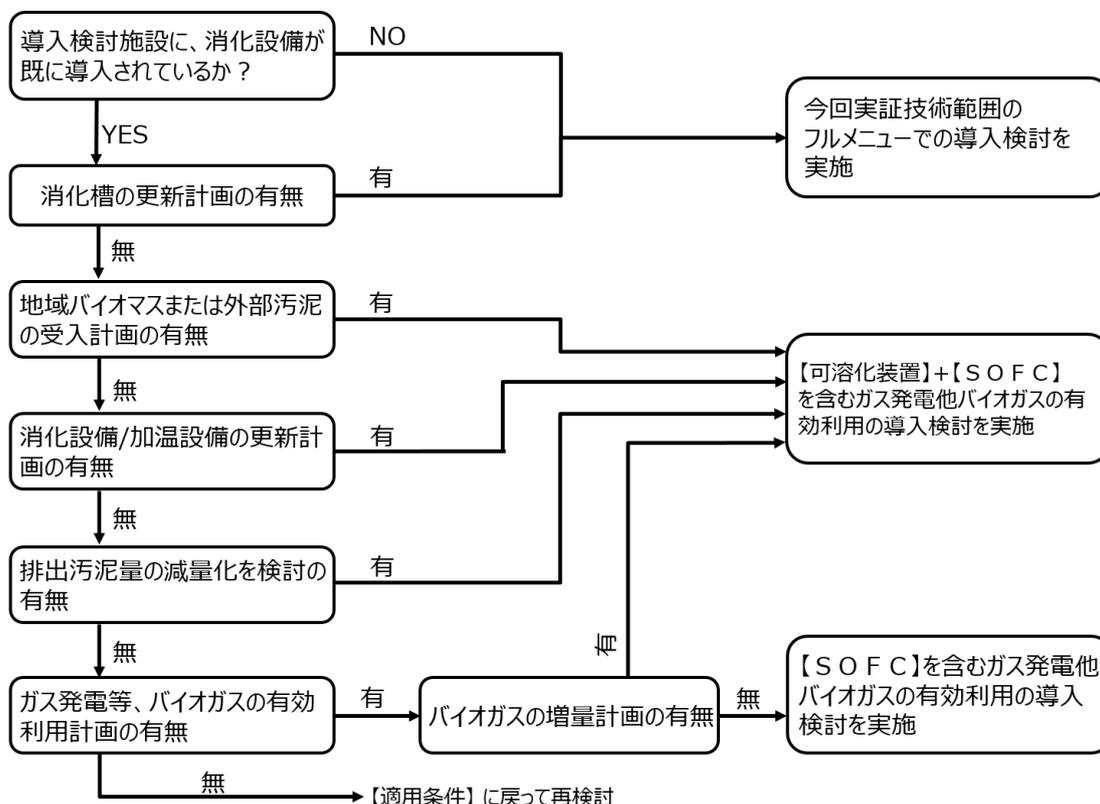


図 2-11 導入シナリオ設定フロー

本システムを一括導入するとして外部汚泥・地域バイオマス受入れのない場合を図2-12に、地域バイオマス受入れのある場合を図2-13に導入フロー例を示す。地域バイオマスを受入れる場合、食品残渣など消化しやすいものは、受入設備から直接消化槽に投入する。外部脱水汚泥は高効率加温設備により熱可溶化した後消化槽に投入する。

① 外部汚泥・地域バイオマス受入れのない場合

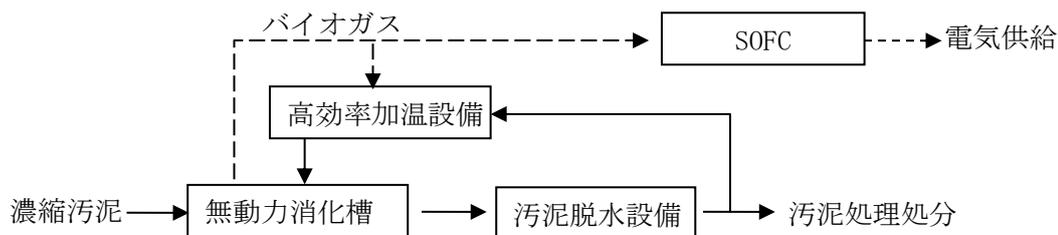


図2-12 外部汚泥・地域バイオマス受入れなしのフロー

② 外部汚泥・地域バイオマス受入れありの場合

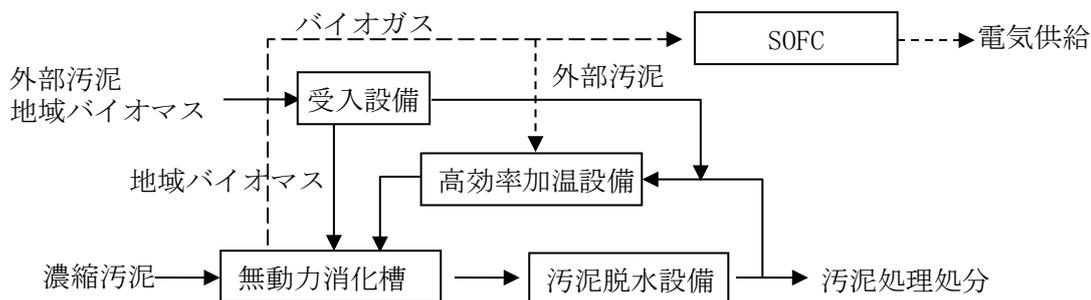


図2-13 外部汚泥・地域バイオマス受入れありのフロー

第3節 実証研究に基づく評価の概要

§12 技術の評価項目

実証研究に基づく本システムの評価項目を以下に示す。

- (1) 総費用(年価換算値)縮減効果
- (2) 分解 VS 量当たりの消化システム消費電力量 (省エネルギー効果)
- (3) エネルギー創出量
- (4) 温室効果ガス削減量

【解説】

本システムの導入においては、システムの性能指標を定量的に評価し、性能の優れた技術を選択できるように、評価項目、評価方法、評価結果を設定、表示する必要がある。

本ガイドラインでは、本システムを評価する評価項目として (1) 総費用(年価換算値)縮減効果、(2) 分解 VS 量当たりの消化システム消費電力量 (省エネルギー効果)、(3) エネルギー創出量、(4) 温室効果ガス削減量について評価した。

表 2-5 に示した評価条件により、本実証施設の仕様および運転データ等の実績を基に、各設備容量・仕様を決定し、物質収支および熱収支を計算して各設備の建設費、維持管理費、汚泥処理費、消化システム消費電力量、エネルギー創出量、温室効果ガス排出量を試算した。

評価規模の条件設定は、本システムの適用規模である概ね日平均汚水量 10,000m³/日以上を条件とし、10,000m³/日、30,000m³/日、50,000m³/日の3点とした。なお、エネルギー回収設備については、SOFC はその機器の特性上、立上及び立下に時間を要し、供給ガス量の変動に対応することが困難なため、発電に供するガス量が季節変動する分については、小型ガスエンジンを使用する必要があるため、SOFC とガス発電機の併用方式で試算を行った。

想定する下水処理場の処理方式は標準活性汚泥法とし、対象汚泥は濃縮混合汚泥とした。下水処理場全体の物質収支の試算にかかわる各所の汚泥量・汚泥性状は、「下水道施設設計計画・設計指針と解説 2009 年版」(公益社団法人日本下水道協会)を参考にした。

消化設備については、従来技術においては、「バイオソリッド利活用基本計画(下水汚泥処理総合計画)策定マニュアル(案)」(公益社団法人日本下水道協会)に沿って算出し、本技術についてもそれに沿うような形で積算を元に作成した費用関数により算出した。

発電設備については、従来技術においては、「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン」(国土交通省水処理・国土保全局 下水道部)に沿って算出し、本技術についてもそれに沿うような形で積算を基に作成した費用関数により算出した。

表 2-5 評価の前提条件

	単位	条件設定		
(1) 評価規模				
日最大流入下水量	m ³ /日	12,500	37,500	62,500
日平均流入下水量	m ³ /日	10,000	30,000	50,000
(2) 投入汚泥条件				
濃縮混合汚泥量	t-TS/日	1.7	5.1	8.5
濃縮混合汚泥 TS	%	3.5		
濃縮混合汚泥 VS	%	80		
(3) 外部受入投入条件(日平均)				
OD 汚泥量	t-TS/日	0.2	0.6	1.0
OD 汚泥 TS	%	15		
OD 汚泥 VS	%	80		
食品残渣量	t-TS/日	0.1	0.3	0.5
食品残渣 TS	%	15		
食品残渣 VS	%	90		
(4) 設備条件				
設備構成	<ul style="list-style-type: none"> ・ 消化槽設備(消化槽、汚泥引抜ポンプ) ・ 加温設備(高効率加温設備) ・ 消化ガス設備(ガスタンク、脱硫、余剰ガス燃焼) ・ 発電設備(SOFC、小型ガスエンジン)* ・ 外部汚泥・地域バイオマス受入設備 (OD 脱水汚泥、食廃残渣) 			
バイオガス利用	加温+発電 (SOFC+ガス発電機)			
消化槽容量	20 日 (濃縮混合汚泥基準)			
脱水汚泥含水率	実証技術 : 77% 従来技術(中温消化) : 82%			

*) シロキサン除去装置付属

(1) 総費用(年価換算値)縮減効果

従来技術と比較した総費用(年価換算値)縮減効果について算出する。総費用(年価換算値)の算出範囲として、建設費、維持管理費、汚泥処分費、発電便益、地域バイオマス処分費(移送費)とする。

1) 建設費

① 従来技術の建設費

従来技術である中温消化設備の建設費は、「バイオソリッド利活用基本計画(下水汚泥処理総合計画)策定マニュアル 公益社団法人日本下水道協会(平成16年3月)」に基づき、国土交通省に基づく建設デフレーターを加味して算出する。算出においては、日最大汚水量を基準にして算出される計画投入汚泥量を基準とし、機械・電気設備と土木費を算出する。

発電設備については、「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン」(国土交通省水処理・国土保全局 下水道部)に沿って算出する。発電機の総出力は、日平均汚水量を基準にして算出される発電量を基準とし、機械・電気設備と土木費を算出した。

② 実証技術の建設費

本技術の建設費は、設備毎に、積算によって作成した費用関数により、機械・電気設備と土木費を算出する。算出範囲は、消化槽設備(無動力攪拌式消化槽、汚泥引抜ポンプ)、加温設備(高効率加温設備)、消化ガス設備(ガスタンク、脱硫、余剰ガス燃焼)、発電設備(SOFC、小型ガスエンジン)、外部汚泥・地域バイオマス受入設備(OD脱水汚泥、食廃残渣)である。

2) 維持管理費

① 従来技術の維持管理費

従来技術である中温消化設備の維持管理費は、「バイオソリッド利活用基本計画(下水汚泥処理総合計画)策定マニュアル 公益社団法人日本下水道協会(平成16年3月)」に基づき、算出する。維持管理費は、日平均汚水量を基準にして算出し、電力費、薬品費、上水費、消耗品費、点検・修繕費が含まれる。発電設備については、「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン」(国土交通省水処理・国土保全局 下水道部)に従って、算出する。

② 実証技術の維持管理費

本システムに用いる電力費、薬品費については、実証研究から得られたデータを基に積み上げた。

・電力費

電力費には、実証研究で得られた電力消費量に対する電力を計上した。外部汚泥を受入れる場合は、外部汚泥受入れ設備で消費する電力量を加算した。

・上水費

上水費は、ボイラ用水に必要な上水の費用を計上した。

・薬品費

薬品費には、ボイラ用薬品費が含まれる。シロキサン除去活性炭、脱硫剤の費用が含まれる。

・点検・修繕費（消耗品費、人件費含む）

点検・修繕費は、各設備の運転、保守・点検する人件費、各設備の修理・修繕費用、消耗品費および可溶化装置、ボイラ等の法定検査費用である。

・脱水設備（運転時間増加分、人件費含む）

脱水設備の運転時間増加に伴う維持管理費の増加分（電力費、薬品費、上水費、消耗品費、点検・修繕費）は、「バイオソリッド利活用基本計画（下水汚泥処理総合計画）策定マニュアル 公益社団法人日本下水道協会（平成16年3月）」に基づき、算出する。

維持管理費の算出に際しての各ユーティリティの単価を表2-6に示す。

表2-6 ユーティリティ単価

項目	単位	単価
電気	円/kWh	15
上水	円/m ³	200

3) 汚泥処分費

排出する脱水汚泥の処分費である。外部汚泥受入れの場合は、外部汚泥を本設備で処理しているので外部汚泥処分費を差し引いた。設定した処分費の単価を表2-7に示す。

表2-7 汚泥処分単価

項目	単位	単価	備考
汚泥処分費	円/ton	23,000	内輸送費 7,000 円/ton
食品廃棄物処分費	円/ton	27,000	内輸送費 7,000 円/ton

4) 総費用(年価換算値)

総費用(年価換算値)の計算式を次に示す。

$$\text{総費用(年価換算値)} = \text{建設費(年価)} + \text{維持管理費} + \text{汚泥処理費}$$

$$+ \text{地域バイオマス処分費(移送費)} - \text{バイオガス発電便益}$$

総費用(年価換算値)に必要な建設年価の算出に当たっては、「バイオソリッド利活用基本計画（下水汚泥処理総合計画）策定マニュアル 公益社団法人日本下水道協会（平成16年3月）」より利率率2.3%とし、表2-8に示す各設備の耐用年数により、次式を用いて年価換算を行った。

$$\text{建設年価} = \text{建設費} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad i: \text{利子率} \quad n: \text{耐用年数}$$

表 2-8 各設備の耐用年数

設備	耐用年数
機械・電気設備(SOFCを除く)	15年
機械・電気設備(SOFC)	10年
土木構造物	45年

注) SOFCの長期安定運転に関しては、今後の検討が必要である。

(2) 分解 VS 量当たりの消化システム消費電力量 (省エネルギー効果)

実証設備の消化システム消費電力量の実績データを積み上げて分解 VS 量当たりの消化システム消費電力量を算出した。消化システムの算出対象の設備・機器を表 2-9 に示す。

表 2-9 算出対象の設備・機器

設備	対象機器
消化槽設備	補助ブロワ、消化汚泥貯留槽攪拌機、消化汚泥引抜ポンプ、汚泥循環ポンプ
高効率加温設備	ケーキ移送ポンプ、蒸気ボイラ、補器類
地域バイオマス受入設備	外部汚泥受入装置、食品廃棄物受入装置
脱水設備 (運転時間増加のみ)	脱水機、汚泥供給ポンプ、薬注ポンプ

(3) エネルギー創出量

エネルギー創出量は発生するバイオガスによる発電量とする。なお、発電設備の内部で消費される電力量は(1)において計上する。発電量は実証試験の成果および容量計算によって設定する。エネルギー創出量の算出条件を表 2-10 に示す。

表 2-10 エネルギー創出量算出条件

項目	算出条件
バイオガス発生量	濃縮混合汚泥：1000Nm ³ /t-分解 VS 可溶化汚泥：750Nm ³ /t-分解 VS OD 汚泥：750Nm ³ /t-分解 VS 食品残渣：960Nm ³ /t-分解 VS
バイオガス熱量	21.4MJ/Nm ³
メタン濃度	60%
発電機稼働率	93%
発電効率	SOFC 48%、ガスエンジン 32%

$$\begin{aligned} \text{エネルギー創出量} &= \text{年間発電量 (kWh/年)} \\ &= \Sigma (\text{発電機供給バイオガス熱量} \times \text{発電効率} \times \text{発電機稼働率}) \end{aligned}$$

(4) 温室効果ガス削減量

温室効果ガス削減量については、温室効果ガスはCO₂とし、表2-11に示す項目の総和によって算出した。

表 2-11 温室効果ガス削減項目

項 目	備 考
バイオガス発電量	外部電力消費量の削減
エネルギー消費量削減	消化槽攪拌動力などの消費電力の削減
汚泥排出量削減 (バイオマス削減を含む)	処理・処分量削減

CO₂排出量算出には表2-12に示すCO₂排出係数を使用した。

バイオガス発電量増によるCO₂排出減：0.555t-CO₂/千kWh—発電電力増

エネルギー消費量削減によるCO₂排出量減：0.555t-CO₂/千kWh—消費電力量削減

汚泥排出量削減によるCO₂排出減 (バイオマス削減を含む)

(焼却温度 800°C)：0.0000097t-CH₄/wet-t+0.00151t-N₂O/wet-t

= 0.450t-CO₂/wet-t—汚泥排出削減量 (バイオマス削減を含む)

(コンポスト)：0.0040t-CH₄/wet-t+0.00030t-N₂O/wet-t

= 0.189t-CO₂/wet-t—汚泥排出削減量 (バイオマス削減を含む)

出典：「下水道における地球温暖化対策マニュアル」

平成28年3月環境省・国土交通省 P34

表 2-12 温暖化係数

温室効果ガスの種類	温暖化係数
CO ₂	1
CH ₄	25
N ₂ O	298

出典：「下水道における地球温暖化対策マニュアル」

平成28年3月環境省・国土交通省 P25

§ 13 技術の評価結果

本システムにおける事例としてシステム全体を導入した場合について、試算した結果を下記の項目別に示す。

- (1) 総費用(年価換算値)縮減効果
- (2) VS 分解量当たり消化システム消費電力量 (省エネルギー効果)
- (3) エネルギー創出量
- (4) 温室効果ガス削減量

【解 説】

本システム導入時のコスト、VS 分解量当たり消費電力量、エネルギー創出量、温室効果ガス削減量について評価を行った。なお、本評価の実施にあたり、SOFCの長期安定運転については検証が十分に出来ていないことから、導入にあたっては留意が必要であること、及び「経産省／SOFCロードマップ」に準拠した将来価格を設定していることから、発電設備については、SOFCを導入した場合とガスエンジンのみの場合の2ケースについて評価を行った。

(1) 総費用(年価換算値)縮減効果

§ 12 に基づいて試算した総費用(年価換算値)の試算結果について表 2-13、表 2-14 に示す。

日平均汚水量 10,000m³/日、30,000m³/日、50,000m³/日の何れのケースにおいても、実証技術の総費用(年価換算値)は、従来技術よりも縮減されるという結果であった。

表 2-13 総費用(年価換算値)試算結果 (SOFCを導入した場合)

	下水処理規模 (日平均汚水量 m ³ /日)					
	10,000		30,000		50,000	
	従来技術	実証技術	従来技術	実証技術	従来技術	実証技術
建設費-1 (下記を含まず)	51,011	48,959	81,741	69,674	109,826	115,119
建設費-2 (発電設備) *	7,022	7,822	16,116	19,767	25,200	33,982
建設費-3 (バイオマス受入)	0	6,140	0	8,292	0	9,553
維持管理費	16,995	30,265	29,553	56,937	39,624	79,382
汚泥処分費(バイオマス含)	65,625	43,727	196,005	130,353	326,408	216,956
電力場内利用(15円/kWh)	-6,587	-8,715	-19,758	-24,125	-32,931	-39,522
総費用(年価換算値)	134,065	128,198	303,658	260,898	468,127	415,470
従来技術を100とした 総費用(年価換算値)比較	100.0	95.6	100.0	85.9	100.0	88.8

単位：千円/年

*：SOFCについては、「SOFCロードマップ」(経済産業省)に準拠した価格

表 2-14 総費用(年価換算値)試算結果(ガスエンジンのみの場合)

	下水処理規模(日平均汚水量 m ³ /日)					
	10,000		30,000		50,000	
	従来技術	実証技術	従来技術	実証技術	従来技術	実証技術
建設費-1(下記を含まず)	51,011	48,959	81,741	69,674	109,826	115,119
建設費-2(発電設備)	7,022	7,022	16,116	16,116	25,200	25,200
建設費-3(バイオマス受入)	0	6,140	0	8,292	0	9,553
維持管理費	16,995	30,660	29,553	56,280	39,624	76,225
汚泥処分費(バイオマス含)	65,625	43,727	196,005	130,353	326,408	216,956
電力場内利用(15円/kWh)	-6,587	-6,683	-19,758	-20,499	-32,931	-33,416
総費用(年価換算値)	134,065	129,824	303,658	260,216	468,127	409,637
従来技術を100とした 総費用(年価換算値)比較	100.0	96.8	100.0	85.7	100.0	87.5

(2) VS分解量当たり消化システム消費電力量(省エネルギー効果)

VS分解量当たりの消費動力の試算結果について表 2-15 に示す。何れのケースにおいても、「下水道施設のエネルギー効率に関する性能指標：消費電力量(280kWh/t-分解 VS)」を大幅に下回る数値となり、本技術の導入による省エネルギー効果が示された。

表 2-15 VS分解量当たりの消費電力量試算結果

	下水処理規模(日平均汚水量 m ³ /日)		
	10,000	30,000	50,000
VS分解量当たりの消費電力量	195.1	155.1	161.0

単位：kWh/t-分解 VS

(3) エネルギー創出量

エネルギー創出量の算出結果を表 2-16、2-17 に示す。日平均汚水量 10,000m³/日、30,000m³/日、50,000m³/日の何れのケースにおいても、エネルギー創出量は、従来技術よりも増加するという結果であった。また、SOFC を導入しない場合においても、実証技術のエネルギー創出量は従来技術よりも増加するが、SOFC を導入した場合(SOFC はその機器の特性上、立上及び立下に時間を要し、供給ガス量の変動に対応することが困難なため、発電に供するガス量が季節変動する分については、小型ガスエンジンを使用する必要があるため、SOFC とガス発電機の併用方式での試算)の方が、エネルギー創出量の増加の割合が大きいことが示された。

表 2-16 エネルギー創出量試算結果（S O F Cを導入した場合）

	下水処理規模（日平均汚水量 m ³ /日）					
	10,000		30,000		50,000	
	従来技術	実証技術	従来技術	実証技術	従来技術	実証技術
エネルギー創出量	439,100	581,000	1,317,200	1,608,300	2,195,400	2,634,800
従来技術を100としたエネルギー創出量比較	100.0	132.3	100.0	122.1	100.0	120.0

単位：kWh/年

表 2-17 エネルギー創出量試算結果（ガスエンジンのみの場合）

	下水処理規模（日平均汚水量 m ³ /日）					
	10,000		30,000		50,000	
	従来技術	実証技術	従来技術	実証技術	従来技術	実証技術
エネルギー創出量	439,100	445,500	1,317,200	1,336,600	2,195,400	2,227,700
従来技術を100としたエネルギー創出量比較	100.0	101.5	100.0	101.5	100.0	101.5

単位：kWh/年

（4）温室効果ガス削減量

温室効果ガス削減量の算出結果を表 2-18、表 2-19 に示す。本技術の導入により、日平均汚水量 10,000m³/日、30,000m³/日、50,000m³/日の何れのケースにおいても、温室効果ガスの排出削減効果を確認することができた。

表 2-18 温室効果ガス削減量（S O F Cを導入した場合）

	下水処理規模（日平均汚水量 m ³ /日）					
	10,000		30,000		50,000	
	焼却 (800℃)	コンポ スト	焼却 (800℃)	コンポ スト	焼却 (800℃)	コンポ スト
バイオガス発電量増加	78.8		161.6		243.9	
エネルギー消費量削減	0.6		4.1		12.1	
汚泥排出削減量(バイオマス削減を含む)	509.4	213.9	1,527.3	641.5	2,546.1	1069.4
温室効果ガス削減量	588.8	293.3	1,693.0	807.1	2,802.1	1,325.3

単位：t-CO₂/年

表 2-19 温室効果ガス削減量（ガスエンジンのみの場合）

	下水処理規模（日平均汚水量 m ³ /日）					
	10,000		30,000		50,000	
	焼却 (800℃)	コンポ スト	焼却 (800℃)	コンポ スト	焼却 (800℃)	コンポ スト
バイオガス発電量増加	3.6		10.8		17.9	
エネルギー消費量削減	0.6		4.1		12.1	
汚泥排出削減量(バイオマス 削減を含む)	509.4	213.9	1,527.3	641.5	2,546.1	1069.4
温室効果ガス削減量	513.6	218.1	1,542.2	656.3	2,576.1	1,099.4

単位：t-CO₂/年

第3章 導入検討

第1節 導入検討手順

§14 導入検討手順

本システムの導入検討にあたっては、以下の手順で導入を検討する。

- (1) 基礎調査
- (2) 導入効果の検討
- (3) 導入判断

【解説】

本システムの導入検討にあたっては、導入の目的を明確にした後、図3-1に示す導入検討フローに従って、必要な情報を収集し、費用関数等を用いた導入効果の概略試算を行い、導入の範囲および事業形態等を含めた導入判断を行う。また、試算結果が導入効果不十分であった場合には、適用シナリオを見直して、複数回の検討を行うことが望ましい。

(1) 基礎調査

対象施設の関連下水道計画の確認を行い、当該下水処理場の計画年次にて想定される情報を収集・整理したうえで、現状の課題を抽出する。これにより、当該下水処理場へ本システム技術を導入する意義、目的を明確にする。

(2) 導入効果の検討

本技術を当該下水処理場に導入する有効性について、本技術を導入した場合の効果を検討する。本検討では、導入条件を設定し、本技術を導入した場合の導入効果について、従来技術との比較により検討する。ここでの導入効果とは、総費用(年価換算値) 縮減効果、エネルギー創出量効果、温室効果ガス排出量削減効果を示す。

(3) 導入判断

「導入効果の検討」において導入効果が見込まれると判断された場合には、本技術の導入に係わる意思決定を行い、計画・設計(第4章参照)に移る。導入効果が不十分となった場合は、各種条件を見直しして再度条件を設定しなおして検討を行うことが望ましい。

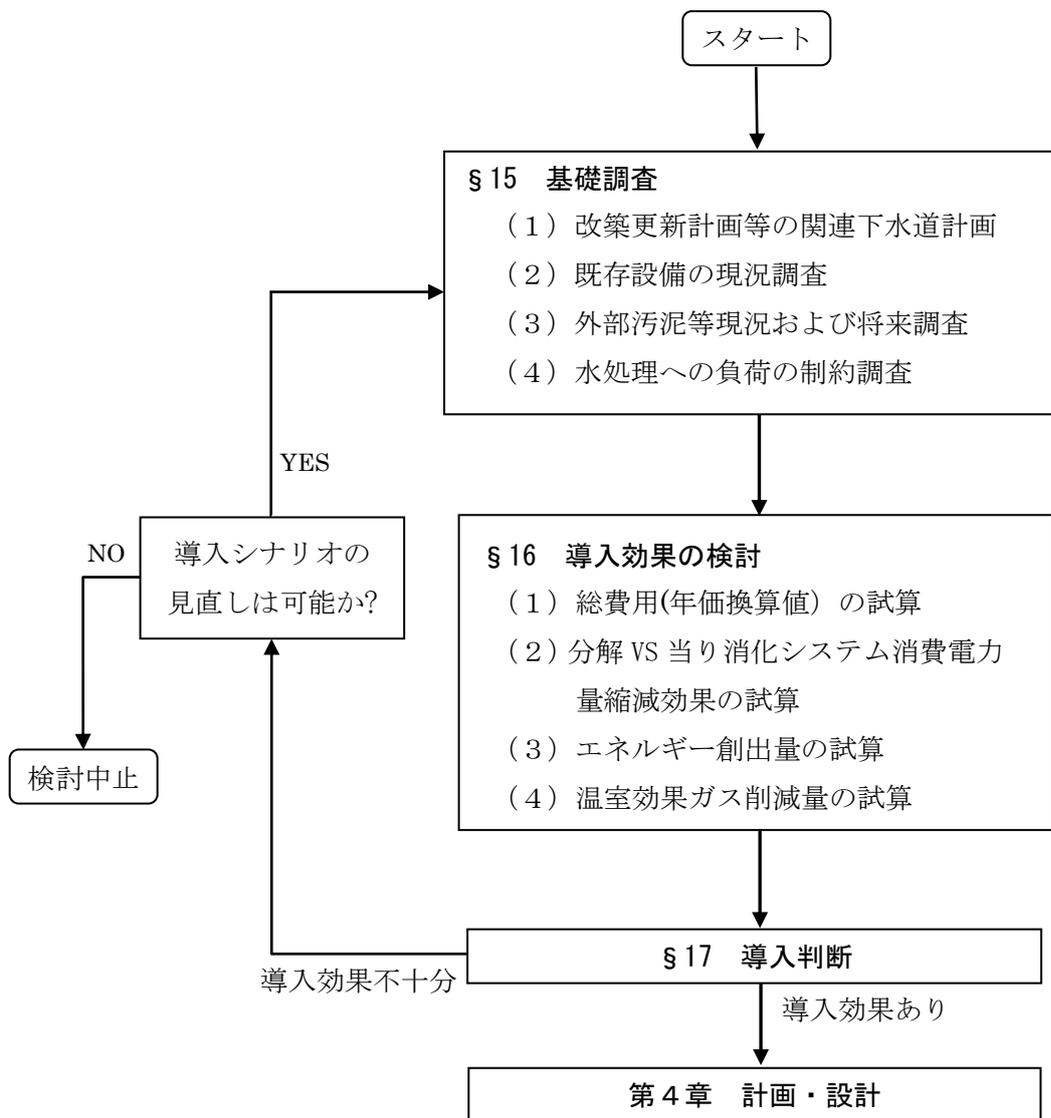


図 3-1 導入検討フロー

§ 15 基礎調査

基礎調査では、本技術導入に際して必要な情報の収集、調査を行う。

- (1) 改築更新計画等の関連下水道計画
- (2) 現有施設の現況調査
- (3) 外部汚泥及び地域バイオマスの現況及び将来計画
- (4) 水処理への負荷の制約

【解説】

基礎調査は、当該下水道施設について下水道施設や関連計画等の情報の収集と整理および運転状況の整理を行い、§ 16 導入効果の検討に必要な基礎情報を取得することを目的とする。表 3-1 に調査項目と調査内容をまとめた。

表 3-1 基礎調査内容

調査項目	調査内容
改築更新計画等関連計画	(上位計画) 都道府県構想 下水汚泥処理総合計画 地域エネルギービジョン バイオマス利用計画 (個別計画) 汚泥処理計画 施設再構築基本計画 長寿命化事業計画
現有施設の状況及び運転状況	設備能力、配置・スペース 消化槽の有無、消化方式、バイオガス発生量及びガス性状 濃縮混合汚泥量・濃度 発生汚泥量、脱水汚泥含水率、汚泥最終処分方法 薬品などユーティリティ使用量、エネルギー消費量 温室効果ガス排出量
外部汚泥処理の現況および将来計画	現状及び将来計画 外部汚泥の賦存量、利用可能量、性状 現状の処理・処分方法およびコスト 気象条件、下水処理場との位置関係
水処理への負荷の制約	水処理施設現有処理能力、処理実績、返流水水質 放流水質、排水基準値

(1) 改築更新計画等の関連計画

1) 下水道全体計画及び事業計画

将来的な流入下水量の予測や、それに伴う下水処理施設の増強・増設計画、下水道施設の統廃合計画を把握する。同時に施設レイアウト構想や空き地の見込みについても把握する。また、導入を検討している設備の位置付けや適用法令等を調査する。

2) 下水道施設更新計画

消化槽設備、脱水設備等の汚泥処理施設の老朽化に伴う更新時期を把握する。

(2) 既存設備の運転状況

現状の汚泥処理における発生汚泥量、濃度、エネルギー消費量、薬品等のユーティリティ使用量等について調査する。消化処理においては、バイオガス発生量、バイオガス利用量、バイオガス組成・濃度について、既存施設の運転データを管理年報等から収集・整理し、運転状況を把握すると共に年間での変動状況やバイオガスの利用可能量を把握する。脱水設備についても脱水汚泥量、脱水機機種、含水率、薬品の種類・使用量、運転時間等を把握する。

(3) 外部汚泥処理及び地域バイオマスの現況および将来計画

周辺地域における小規模下水処理場、し尿処理場等から発生する汚泥、および食品残渣等の量、性状、処分方法、処分単価等の現況および将来計画等について調査し、受け入れ可能か把握する。

(4) 水処理への負荷の制約

水処理施設における現有処理能力、処理実績について調査する。実証技術の導入に際し、脱水分離液由来による返流水による負荷の増加が見込まれるためである。現状の返流水質、放流水質についても把握する必要がある。また、排水基準値についても確認する必要がある。

(5) 導入シナリオの検討

導入効果の検討に当たっては、導入シナリオを設定する必要がある。導入するシナリオの検討においては、§10で示した適用条件・推奨条件、(1)～(4)で整理した情報、§11の導入シナリオを踏まえて、導入効果発揮の可能性が高いと思われるすべてのシナリオを抽出する。

§ 16 導入効果の検討

導入効果の検討では、§ 15 で調査した内容を踏まえて適切な導入シナリオ、設備規模を設定し、簡易算定式により、本技術の以下の項目について試算し、従来システムと比較して導入効果を検討する。

- (1) 総費用(年価換算値)縮減効果
- (2) 分解 VS 当り消化システム消費電力量縮減効果
- (3) エネルギー創出量
- (4) 温室効果ガス削減量

【解 説】

本システムの導入を検討する際には、総費用(年価換算値)、エネルギー消費量、エネルギー創出量および温室効果ガス削減量を算出し、従来システムと比較して、導入効果を検討する。なお、算出例は資料編Ⅳ、Ⅴに記載する。導入効果の検討手順を図 3-2 に示す。

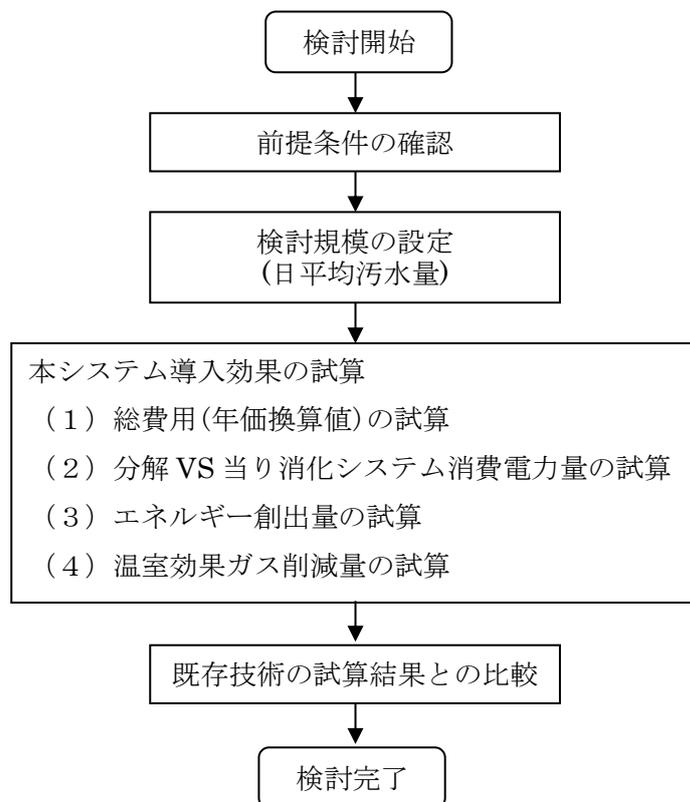


図 3-2 導入効果の検討手順

(1) 前提条件の確認

本ガイドラインで提示する簡易算定式は、実証試験の成果等に基づき、特定の条件（第2章第3節における評価条件）を前提として設定したものである。検討に当たって、基礎調査結果とこの特定条件をよく確認する必要がある。他に詳細な建設費等の積算や、別途実証試験を行い維持管理費等の評価をした場合には、検討結果を踏まえ、導入下水処理場の実態に合わせた条件設定および試算を行ってもよい。

① 濃縮汚泥量、性状

汚泥処理量および性状の設定は、現状及び将来を勘案した数値とする。

② バイオガス発生量

バイオガス発生量の設定は技術評価結果に基づき設定する。

③ 脱水条件の設定

消化汚泥量、消化汚泥濃度、含水率は、濃縮汚泥、地域バイオマスの量及び性状から技術評価結果に基づき設定する。

④ 地域バイオマス受入れ条件の設定

外部汚泥の受入れ可能な場合は、受入れ汚泥の種類、量、濃度を設定する。

(2) 検討規模の設定（日平均汚水量）

前提条件を確認のうえで、検討規模の設定を行う。当該下水処理場の現況、将来計画より日平均汚水量を設定する。日平均汚水量が設定されれば簡易算定式により総費用（年価換算値）の試算、エネルギー消費量、エネルギー創出量、温室効果ガス排出量が算出可能となる。

(3) 本システム導入効果の試算

1) 総費用（年価換算値）の試算

本技術を導入した場合の事業性評価の指標とする。本検討において算出する項目を以下に示す。各設備および費用毎に設定された簡易算定式等を用いて積算を行う。

① 建設費

② 維持管理費

③ 汚泥処分費

④ 地域バイオマス処分費

総費用（年価換算値）の算定は建設費から建設費年価を算出し、建設費年価、維持管理費、汚泥処分費、地域バイオマス処分費の合算から行う。既存システムの総費用（年価換算値）と比較することによって、本システムの導入による総費用（年価換算値）の削減効果を検討する。

① 建設費

建設費は、表 3-2 に示した費用関数で総額を算出する。表 3-2 の費用関数は、実証研究に基づく FS において作成した算定式（詳細は資料編Ⅱ）である。脱水設備については、「バイオソリッド利活用基本計画(下水汚泥処理総合計画)策定マニュアル P83 (H16)」(公益社団法人日本下水道協会)による。また、発電設備の小型ガスエンジンについては、「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン P62 (H27)」(国土交通省水処理・国土保全局 下水道部)、SOFC については、「SOFC ロードマップ」(経済産業省)に準拠する。

表 3-2 建設費の費用関数

消化槽設備(鋼板製)	機械・電気設備	$Y = \text{系列数} \times 0.0955 Q1 + 110.33$
	土木・建築設備	$Y = \text{系列数} \times 0.287 Q1^{0.607}$
消化槽設備(RC製)	機械・電気設備	$Y = \text{系列数} \times 0.006 Q1 + 33.333$
	土木・建築設備	$Y = \text{系列数} \times 1.454 Q1^{0.6805}$
バイオガス設備	機械・電気設備	$Y = 9.4186 Q2^{0.4122}$
	土木・建築設備	$Y = 2.2341 Q2^{0.375}$
高効率加温設備	機械・電気設備	$Y = \text{系列数} \times (0.1338 Qd / \text{系列数} + 262)$
	土木・建築設備	$Y = 0.0452 Qd + 46.4$
ガス発電設備(SOFC)	機械・電気設備	$Y = 0.9 \times E$
	土木・建築設備	$Y = 0.0263 \times E + 5.828$
ガス発電設備(小型ガスエンジン)	機械・電気設備	$Y = 1.3132 \times E$
	土木・建築設備	$Y = 0.0263 \times E + 5.828$
脱水設備	機械設備	$Y = 43.4 Qd^{0.373}$
	電気設備	$Y = 0.6 \times 17.8 Qd^{0.464}$
	土木・建築設備	$Y = 22.7 Qd^{0.444}$
外部受入汚泥 (OD汚泥)	機械・電気設備	$Y = 50.808 Qd2^{0.3717}$
	土木・建築設備	$Y = 26.386 Qd2^{0.3118}$
地域バイオマス (食品残渣)	機械・電気設備	$Y = 50.713 Qd2^{0.2152}$
	土木・建築設備	$Y = 25.538 Qd2^{0.1733}$

Y：建設費(百万円) Q1：消化槽容量(m³)

Q2：日平均ガス発生量(Nm³/日)(日平均流入水量負荷時のガス発生量)

Qd：計画投入汚泥量[1%換算](m³/日)、Qd2：計画投入地域バイオマス(t-ds/日)

E：発電機総出力(kW)

系列数：消化設備の系列数(本FSでは、計画日最大流入水量40,000m³以上で2系列)

② 維持管理費

維持管理費は、表 3-3 に示した各設備の費用関数で総額を算出する。表 3-3 の費用関数は、実証研究に基づく FS において作成した算定式（詳細は資料編Ⅱ）である。脱水設備については、「バイオソリッド利活用基本計画(下水汚泥処理総合計画)策定マニュアル P83(H16)」(公益社団法人日本下水道協会)による。また、発電設備の小型ガスエンジンについては、「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン P62(H27)」(国土交通省水処理・国土保全局 下水道部)、SOFC については、「SOFC ロードマップ」(経済産業省)に準拠する。

表 3-3 維持管理費の簡易算定式

設備	簡易算定式
消化槽設備	$Y = 134.89 Q1^{0.4095}$
バイオガス設備	$Y = 11.209 Q2^{0.699}$
高効率加温設備	$Y = 153.07 Qy^{0.3828}$
ガス発電設備 (SOFC)	$Y = 50 \times E$
ガス発電設備 (小型ガスエンジン)	$Y = 57.9 \times E$
脱水設備	$Y = 39 Qy^{0.596}$
外部受入汚泥(OD 汚泥)	$Y = 1862.1 Q3^{0.5707}$
地域バイオマス(食品残渣)	$Y = 14102 Q3^{0.6412}$

Y：維持管理費(千円/年) Q1：消化槽容量 (m³)

Q2：日平均ガス発生量 (Nm³/日) (日平均流入水量負荷時のガス発生量)

Qy：年間処理汚泥量[1%換算] (m³/年) (「バイオソリッド利活用基本計画(下水汚泥処理総合計画)策定マニュアル P82(平成 16 年)」より)

Q3：日平均投入地域バイオマス (t-ds/日)

E：発電機総出力 (kW)

③ 汚泥処分費

本システムから排出される汚泥処分費は、表 3-4 で示される簡易算定式で算出される汚泥排出量に、設定した処分単価をかけて算出する。表 3-4 の費用関数は、実証研究に基づく FS において作成した算定式（詳細は資料編Ⅱ）である。

なお、処分単価については地域等によって変わるため、実態に合わせて補正を行う必要がある。

表 3-4 実証技術の汚泥排出量の簡易算定式

	簡易算定式
汚泥排出量*	$y_4 = 0.0268 Q_y + 18.417$

y4 : 年間汚泥排出量[t-wet/年]

Qy : 年間処理汚泥量[1%換算](m³/年) (「バイオソリッド利活用基本計画(下水汚泥処理総合計画)策定マニュアル P82 (平成 16 年)」より)

* : 濃縮汚泥に対し、固形物比率で 15~20%の地域バイオマスを投入した場合(範囲外については、別途の検討を要する)

④ 外部受入汚泥・地域バイオマス処分費

実証技術において地域バイオマス受入を行う場合において、総費用(年価換算値)の縮減効果を検討する場合は、比較対象となる従来技術の総費用(年価換算値)をにその費用を加え、一方、実証技術においては、地域バイオマスの輸送費を総費用(年価換算値)に加える。処分単価、輸送費は地域等によって変わるため、実態に合わせて補正を行う必要がある。本 FS の実施で採用した外部受入汚泥・地域バイオマスの各処分単価は、表 2-7 による。

⑤ 総費用(年価換算値)

実証技術における総費用(年価換算値)は、建設費年価、維持管理費、汚泥処分費、外部受入汚泥・地域バイオマスの運搬費を足し合わせて算出する。

2) 分解 VS 当り消化システム消費電力量の試算

分解 VS 当り消化システム消費電力量の試算においては、分解 VS 当り消化システム消費電力量の簡易算定式を用いて試算する。簡易算定式を表 3-5 に示した。表 3-5 の費用関数は、実証研究に基づく FS において作成した算定式(詳細は資料編Ⅱ)である。

表 3-5 分解 VS 当り消化システム消費電力量の簡易算定式

	簡易算定式
分解 VS 当り消化システム消費電力量*	$y_5 = 833.69 Q_y^{-0.133}$

y5 : 分解 VS 当り消化システム消費電力量[kWh/t-VS]

Qy : 年間処理汚泥量[1%換算](m³/年) (「バイオソリッド利活用基本計画(下水汚泥処理総合計画)策定マニュアル P82 (平成 16 年)」より)

* : 濃縮汚泥に対し、固形物比率で 15~20%の地域バイオマスを投入した場合(範囲外については、別途の検討を要する)

3) エネルギー創出量の試算

エネルギー創出量の試算においては、本システムにおいては、SOFCによる発電と小型ガスエンジンの併用によるエネルギー創出量の簡易算定式を用いて試算する。発電によるエネルギー創出量の簡易算定式を表3-6に示した。表3-6の費用関数は、実証研究に基づくFSにおいて作成した算定式（詳細は資料編Ⅱ）である。

表3-6 エネルギー創出量の簡易算定式

	簡易算定式
エネルギー創出量*	$y6 = 8.2748 Qy + 67683$

y6：エネルギー創出量[MWh/年]

Qy：年間処理汚泥量[1%換算](m³/年)（「バイオソリッド利活用基本計画(下水汚泥処理総合計画)策定マニュアル P82 (平成16年)」より）

*：濃縮汚泥に対し、固形物比率で15～20%の地域バイオマスを投入した場合(範囲外については、別途の検討を要する)

4) 温室効果ガス削減量の試算

従来技術(中温消化)と比較した温室効果ガス削減量の試算においては、温室効果ガス削減量の簡易算定式を用いて試算する。簡易算定式を表3-7に示す。表3-7の費用関数は、実証研究に基づくFSにおいて作成した算定式（詳細は資料編Ⅱ）である。

表3-7 温室効果ガス削減量の簡易算定式

	簡易算定式
温室効果ガス削減量[t-CO ₂ /年] 焼却温度800℃*	$y71 = 0.0089Qy + 34.651$
温室効果ガス削減量[t-CO ₂ /年] コンポスト*	$y72 = 0.0042Qy + 34.607$

y71：温室効果ガス削減量[t-CO₂/年] (焼却温度800℃)

y72：温室効果ガス削減量[t-CO₂/年] (コンポスト)

*：濃縮汚泥に対し、固形物比率で15～20%の地域バイオマスを投入した場合(範囲外については、別途の検討を要する)

§ 17 導入判断

本システムの導入判断は、§ 16 導入効果の検討で算定した定量的な導入効果から総合的に判断する。また、検討条件によって導入効果が小さい、または得られない場合には、その原因を分析し、再度条件を設定しなおして検討を行うことが望ましい。

【解 説】

本システム導入時のコスト等を算出後、従来システムや他のシステムとの比較を行い、本システムの導入判断を行う。本システムの導入判断は、§ 13 で算定した総費用(年価換算値)、エネルギー創出量、温室効果ガス削減量の算出結果を踏まえ、全てにおいて有意性を示すことが望ましいが、汚泥処理の集約化の実現に向けて各自治体での政策面も含めて、総合的に判断する。

導入効果が小さいまたは見込まれない場合には、原因分析を実施しその原因を明らかにする。本システムの導入効果を小さくする要因として、施設規模、設備稼働率、投入汚泥量、地域バイオマス受入量が挙げられる。こうした要因について、技術的に解決でき、かつコスト優位性が得られるなど、総合的判断ができる場合には、再度条件設定をし直して検討を行うことが望ましい。導入判断のフローを図 3-3 に示す。

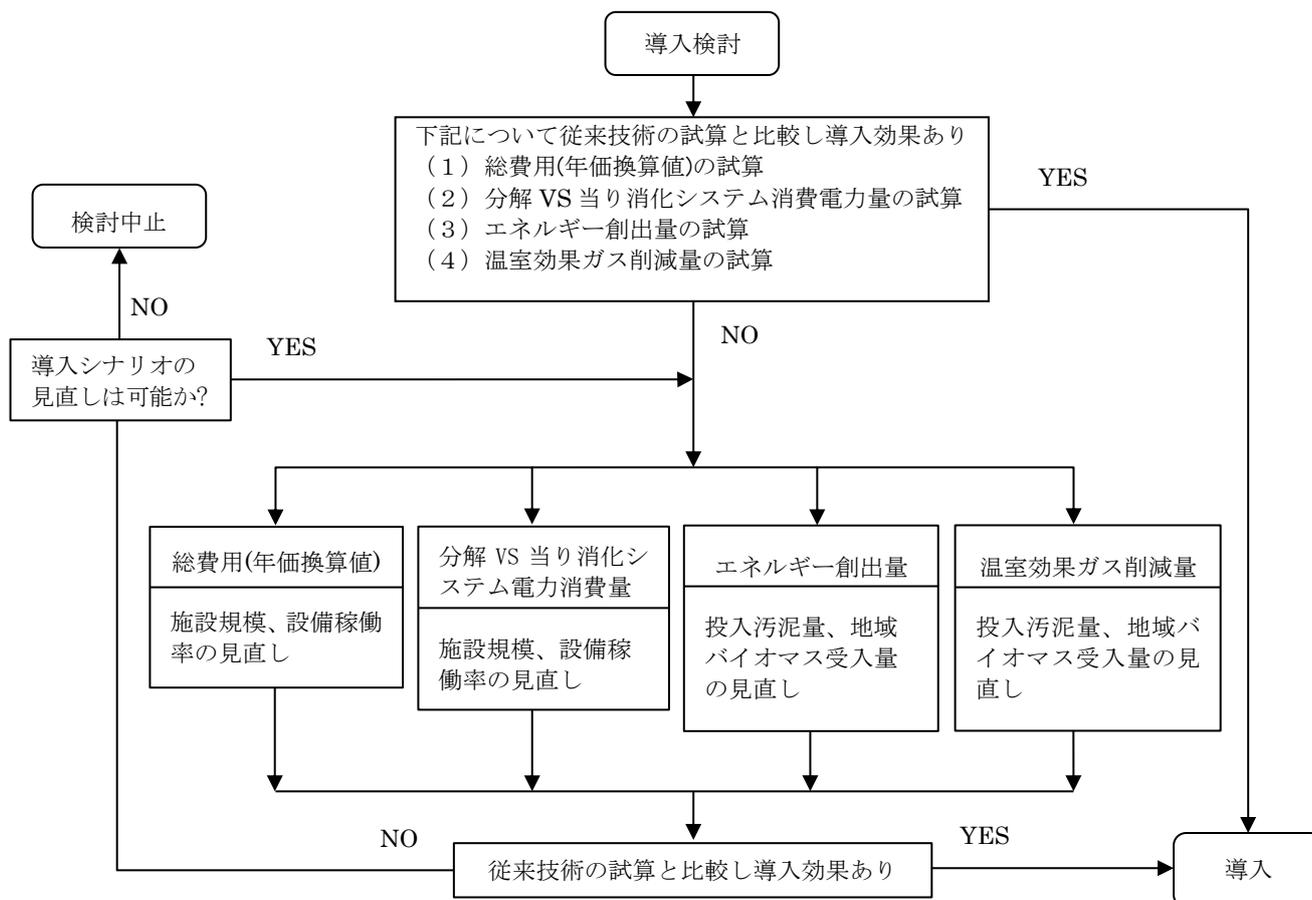


図 3-3 導入判断フロー

第4章 計画・設計

第1節 導入計画

§ 18 計画の手順

本システム導入に関する計画は、以下の手順で実施する。

- (1) 基本条件の設定
- (2) 基本計算
- (3) 施設計画の検討
- (4) 導入効果の検証
- (5) 導入計画の策定

【解説】

第3章 導入検討において、期待した導入効果が見込まれると判断された場合、その導入シナリオに基づき、図4-1に示す手順にて導入計画を立案する。

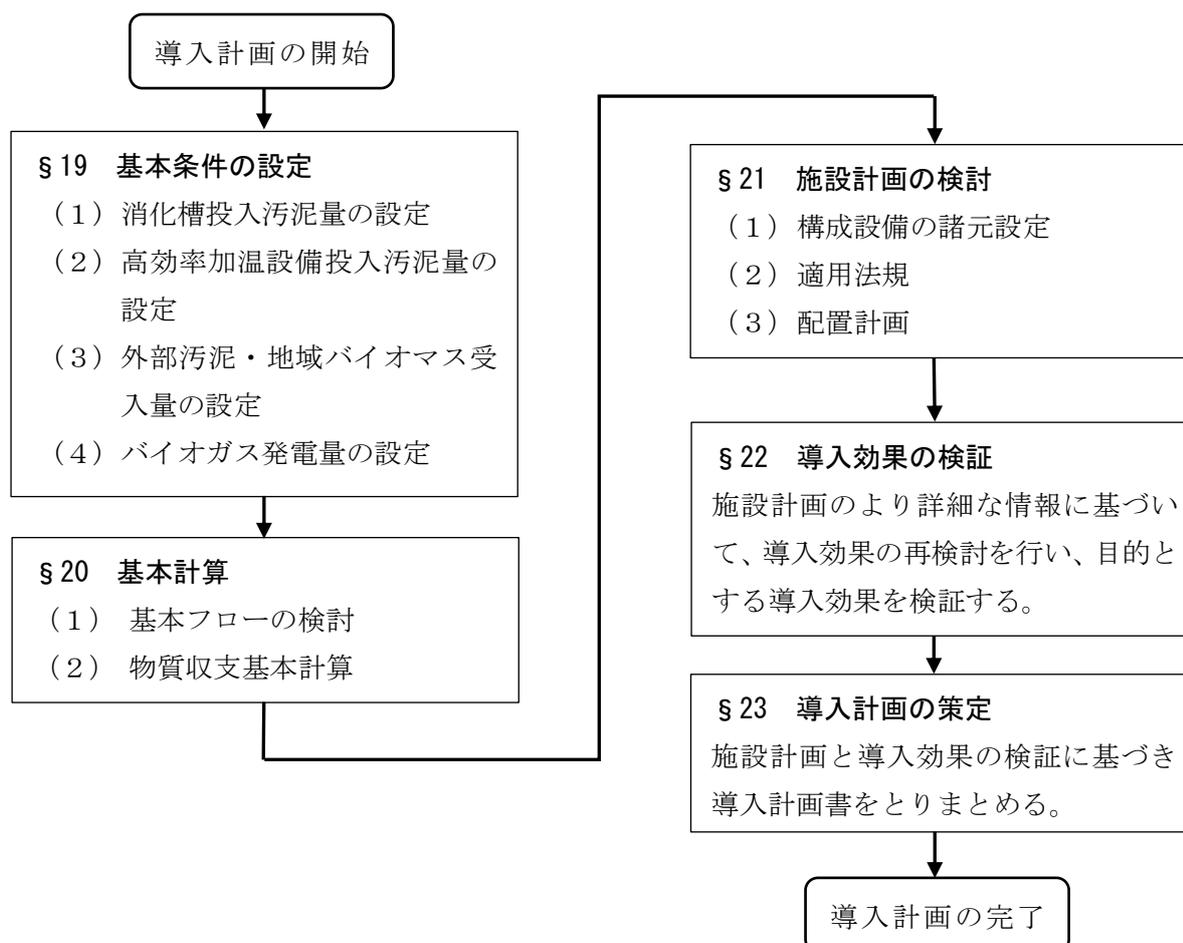


図4-1 導入計画手順

§ 19 基本条件の設定

導入計画の検討に先立ち、以下の基本条件の設定を行う。

- (1) 消化槽投入汚泥量の設定
- (2) 高効率加温設備投入汚泥量の設定
- (3) 外部汚泥・地域バイオマス受入量の設定
- (4) バイオガス発電量の設定

【解説】

(1) 消化槽投入汚泥量の設定

消化槽投入汚泥量は、計画日最大流入水量時に発生する混合濃縮汚泥量（重力濃縮汚泥～機械濃縮汚泥）を対象とし、計画する消化槽の容量及び系列数によって、消化槽1槽あたりの計画投入量を消化日数によって設定する。外部汚泥・地域バイオマスの受入を行う場合、原則として消化日数20日を確保するものとする。

また、消化槽に投入する濃縮汚泥のTS及びVSは、消化設備における有機固形物減量及びバイオガス発生量に大きく影響する。また、季節変動もあるため、過年度の維持管理年報等を参考に平均値を算出し、適切なTS及びVS値を設定する。

(2) 高効率加温設備投入汚泥量の設定

高効率加温設備は、既設の消化設備に付加できる加温機能を伴った設備であり、投入する脱水汚泥量は、可溶化投入率により設定される。可溶化投入率は下式で表され、可溶化投入率が高ければ高いほど、高効率加温設備に供する汚泥量が增大する。

$$\text{可溶化投入率} = \text{可溶化投入脱水汚泥 (TS)} \div \text{消化槽投入混合汚泥 (TS)}$$

可溶化投入率とその効果因子の関係を図4-2に示す。

可溶化投入率が增大すると、消化率が上昇傾向となるが、消化槽加温熱量も増加傾向となる。夏場においては、熱の過剰投入につながるため、運転時間の増減で可溶化投入率を調整することとなる。冬期においては高効率加温設備の運転だけでは消化槽加温熱量が不足する可能性があり、その場合は消化槽への蒸気による直接加温を行い、不足分の消化槽加温熱量を補う。

可溶化投入率の目安として、実効性のある値は、0.4～0.7であるが、基礎調査で水処理への負荷に対して、制約がある場合は、可溶化投入率は0.4～0.55とし、その場合の脱水分離液（洗浄水を除く）のCOD_{Mn}は、350～400 mg/L、窒素は500～700 mg/L程度と推定される。また、オキシデーションディッチ法の処理場で発生した脱水汚泥を含む場合は、COD_{Mn}は、400～500 mg/L、窒素は1,000 mg/L程度と推定される。

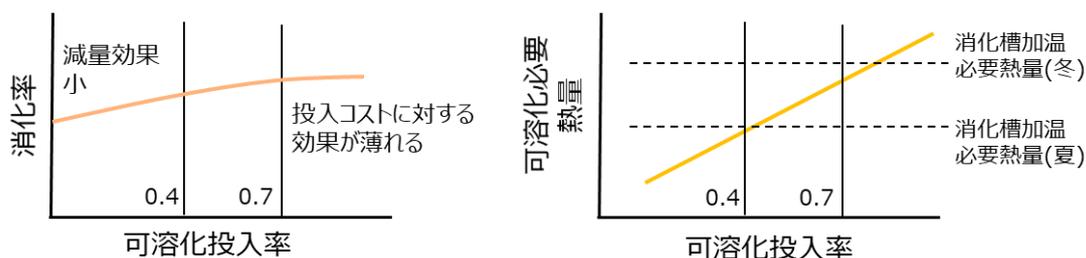


図 4-2 可溶化投入率とその効果因子

高効率加温設備は、ボイラーの運転を伴うため、ボイラーの運転時間内で、設定した可溶化投入率で投入できる脱水汚泥量を設定する。

また、外部汚泥・地域バイオマスのうち、外部汚泥については、高効率加温設備を経てから消化槽への投入となるため、(3)で設定する外部汚泥の受入量で設定した量を高効率加温設備投入汚泥量に加算する。

高効率加温設備へ投入する脱水汚泥量は、汚泥削減計画ばかりでなく、消化槽への熱供給計画に直結する。汚泥削減計画及び熱供給計画の策定に際し、消化槽投入汚泥量決定から高効率加温設備投入汚泥量の設定及び熱利用計画策定までの手順を図 4-3 に示す。

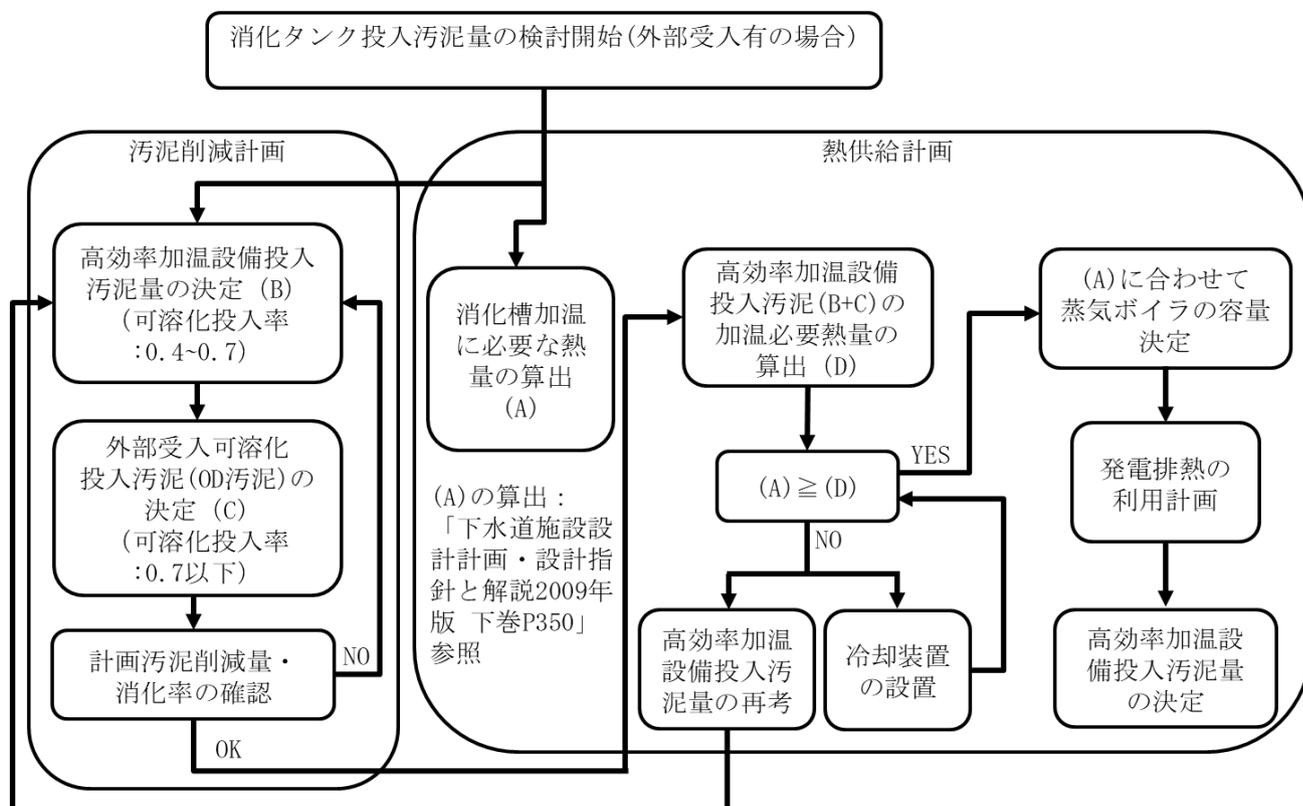


図 4-3 熱利用計画の策定手順

(3) 外部汚泥・地域バイオマス受入量の設定

外部汚泥・地域バイオマスの受入については、投入濃縮汚泥による負荷に対して、消化槽容量に余裕があることが前提で、以下の検討を行って受入量を設定する。

- 1) 消化日数について、投入濃縮汚泥基準で消化日数が20日、外部汚泥、地域バイオマスを投入した場合の消化日数が15日程度になるように設定する。
- 2) 外部汚泥を熱可溶化して投入する場合、少量の投入でも消化槽への固形物負荷が大幅に上昇する場合も想定されるため、固形物負荷に留意して、投入量を設定する。
- 3) 上記1) 2)のほか、外部汚泥・地域バイオマスの受入量が変動する場合の懸念事項とその対策について、以下に列挙する。
 - ① 消化槽投入量が急激に増加する場合、基質に適したメタン生成菌の増殖が追いつかず、有機酸等が蓄積して消化槽内の汚泥が酸敗する恐れがあるため、消化槽への投入量は徐々に増加させる必要がある。本実証の立上実績から、1.3倍ずつ、5日間/1段階程度のペースでの負荷増を目安とするが、汚泥の酸敗等の恐れが見られるときは、更に負荷槽のペースを遅くすることに留意する。
 - ② 受け入れる外部汚泥や地域バイオマスの種類・割合が急激に変動する場合も、基質に適したメタン生成菌群への変化に時間を要するため、消化槽への投入量を一時的に抑え、徐々に増加させていくようにする。本実証での運転実績から、DS基準での投入濃縮汚泥の3%ずつ、5日間/1段階程度のペースでの負荷増を目安とするが、汚泥の酸敗等の恐れが見られるときは、更に負荷槽のペースを遅くすることに留意する。
- 4) 脱水分離液への影響について、消化槽への固形物負荷として、濃縮汚泥の20%を外部汚泥として、高効率加温を経由して投入した場合、脱水分離液（洗浄水を除く）のCOD_{Mn}は100 mg/L、窒素は500 mg/L程度の上昇が想定される。

(4) バイオガス発電量の設定

算出された発生バイオガス量を、高効率加温設備による消化槽の加温設備での使用量を差し引いた分を発電利用分とする。消化槽加温に必要な消化ガスは、季節によって変動する。

発電機として、25kW級の固体酸化物形燃料電池(SOFC)を複数台設置することを想定するが、700℃近傍に昇温が必要な装置で、立上げ、立下げに時間を要する。そのため、安定して利用できる消化ガスのみを発電対象とし、季節変動に影響されない分をSOFCによる発電量と設定する。残りの変動分については、運転・停止が容易な小型ガスエンジンを複数台設置することを想定して発電量を設定する。なお、SOFCの長期安定運転に関しては、今後の検討が必要である。

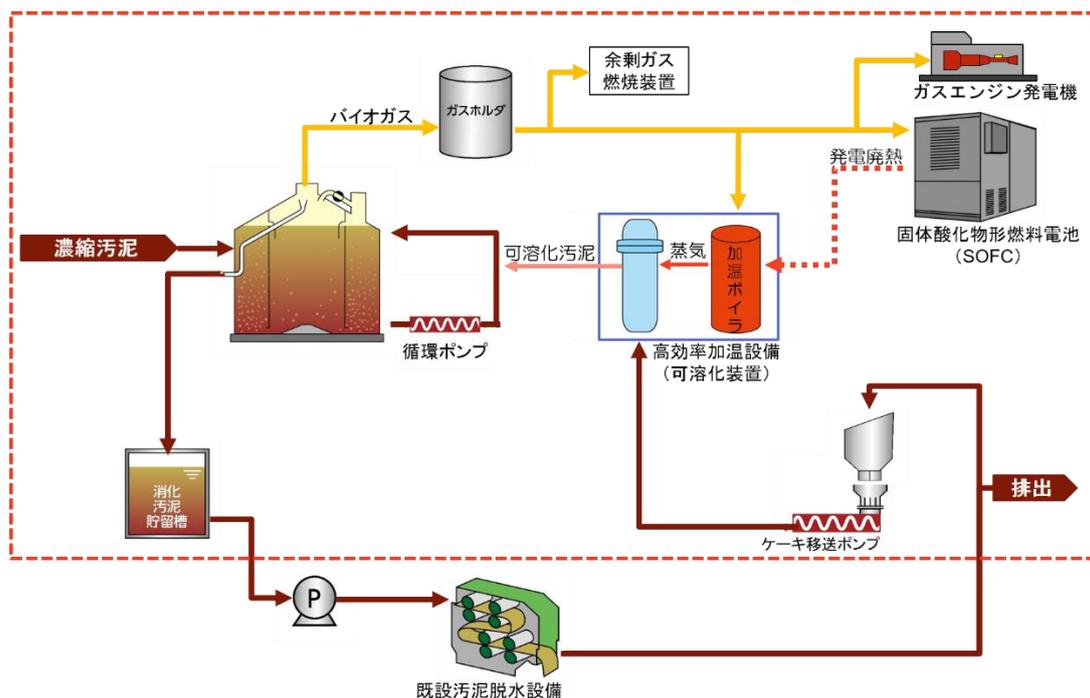


図 4-5 外部汚泥・地域バイオマス受入れなしの場合の基本フロー例

(2) 物質収支基本計算

設定された基本フロー、基本条件に基づいて、各設備、機器の運転条件を設定して物質収支を計算する。物質収支の計算概要を図 4-6 に示す。

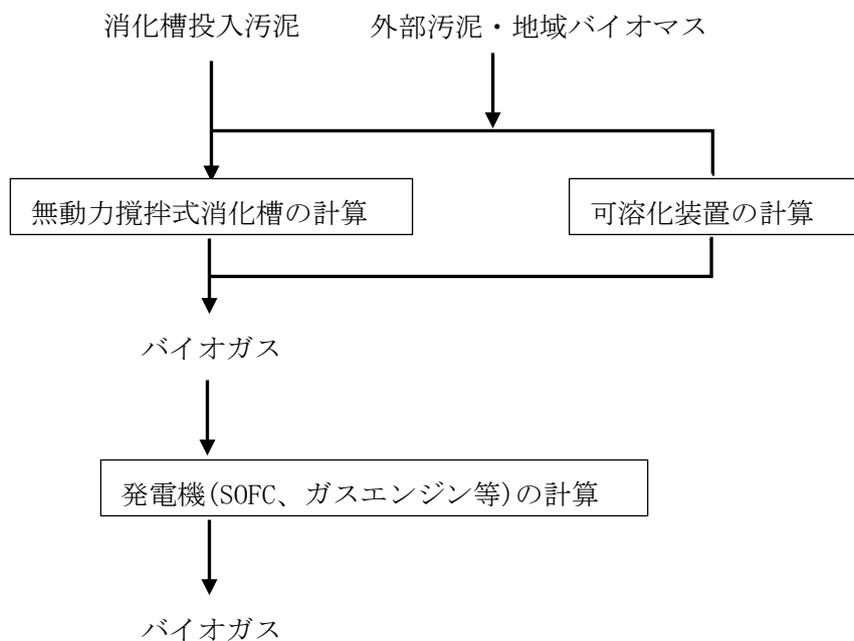


図 4-6 物質収支の計算概要

各設備における基本計算の入出力項目を以下に記す。

1) 無動力攪拌式消化槽の入出力値項目

無動力攪拌式消化槽には、濃縮汚泥、地域バイオマス（食廃）スラリー、可溶化外部脱水汚泥、可溶化汚泥が投入され、消化汚泥とバイオガスが排出される。消化槽への入力値としては、濃縮汚泥量、地域バイオマス（食廃）スラリー量、可溶化外部脱水汚泥量、可溶化汚泥量とそれらのTS及びVSとなる。出力項目としては、消化汚泥量及びそのTS、VS、バイオガス量及びそのメタン濃度である。無動力攪拌式消化槽の入出力値項目を図4-7に示す。

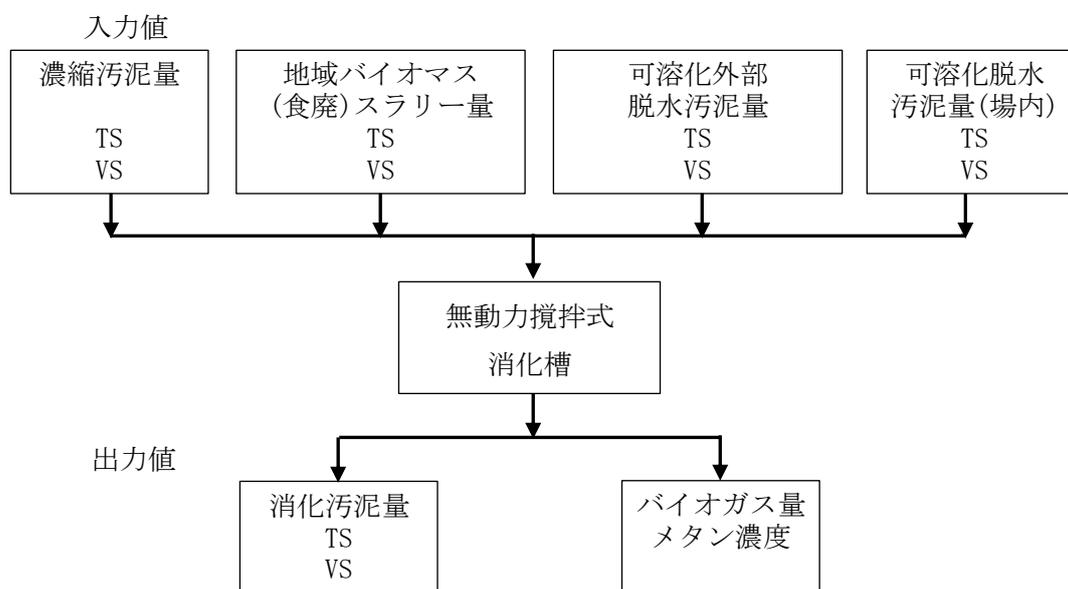


図 4-7 無動力攪拌式消化槽の入出力値項目

出力値について、消化汚泥量、TS、VS は、消化槽に投入する汚泥、地域バイオマスの量及び有機固形物(VS)分解率によって、積上げて算出することができる。バイオガス発生量については、投入VS当りのガス発生量を積み上げて算出することができる。

メタン濃度については、本システムでは、従来技術である濃縮汚泥の中温消化の場合とほとんど変わらないため、60%として扱って差し支えない。

表 4-1 に回分試験結果により得られた各種汚泥、地域バイオマスの投入VS及び分解VS当りのガス発生量とVS分解率を示す。

表 4-1 回分試験結果より設定した各種汚泥のガス発生量、VS 分解率

消化槽投入汚泥	投入 VS 当りのガス発生量 [Nm ³ /t-投入 VS]	分解 VS 当りのガス発生量 [Nm ³ /t-分解 VS]	VS 分解率 [%]
濃縮汚泥	500	1000	50
可溶化脱水汚泥(場内)	248	750	33
可溶化外部 OD 脱水汚泥	248	750	33
食廃スラリー*	691	960	72

*:食品工場の加工残渣

2) 高効率加温設備の入出力値項目

高効率加温設備には、消化脱水汚泥及び外部処理場で発生した脱水汚泥を圧入する。装置入口で、スチームと混合され、熱可溶化される。消化脱水汚泥と外部のオキシデーショングレッチ法の処理場で発生した脱水汚泥については、それぞれの投入量の管理から、投入する時間をずらして投入することが多いと考えられる。従って、高効率加温設備の入力値項目としては、消化脱水汚泥量及び外部脱水汚泥量及びそれぞれの TS、VS、スチーム量である。出力値項目としては、可溶化汚泥量及び外部可溶化脱水汚泥量及びそれぞれの TS、VS 量である。高効率加温設備の入出力値項目を図 4-8 に示す。

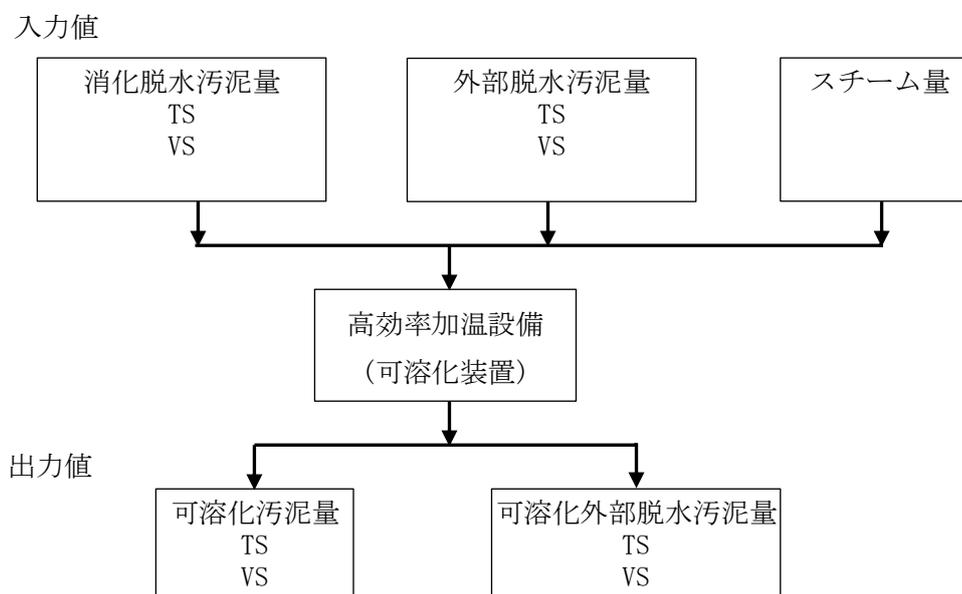


図 4-8 高効率加温設備の入出力値項目

出力値について、高効率加温設備においては、投入汚泥中の有機固形物は低分子化されるが、気体にまで分解されないため、TS、VS の総量は変わらないことに留意する。

3) SOFCの入出力値項

高効率加温設備の入力値項目としては、バイオガス量、メタン濃度があり、出力値項目として、発電量、排熱回収量、改質反応に必要な純水量がある。SOFCの入出力値項目を図4-9に示す。

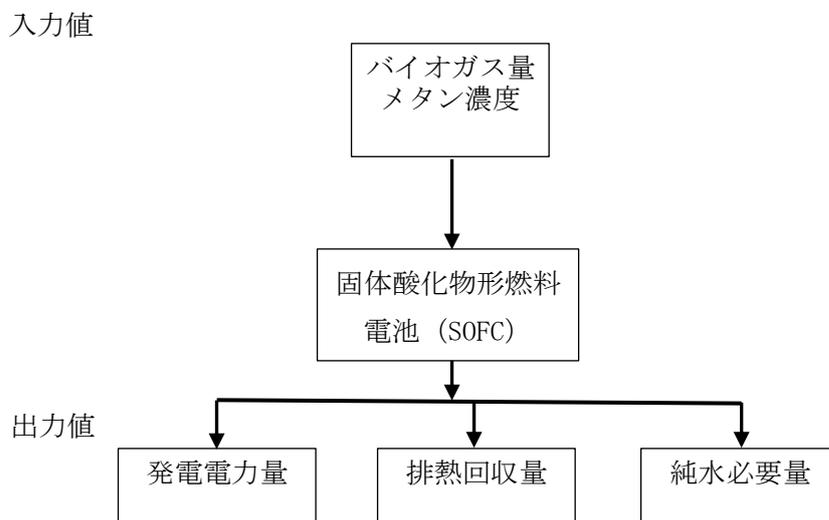


図4-9 SOFCの入出力値項目

§ 21 施設計画の検討

- (1) 構成設備の諸元設定
- (2) 適用法規
- (3) 配置計画

【解説】

(1) 構成設備の諸元設定

基本計算を元に、プロセスを構成する主要設備についての諸元を設定する。諸元項目を以下に記す。

- ① 能力（流量等）
- ② 形状、容量
- ③ 数量
- ④ 使用条件（温度、運転方案）
- ⑤ その他、特記事項

(2) 適用法規

本ガイドラインに記載されている技術の導入に当たっては、以下の適用法令の確認が必要になる。

1) ガス事業法（平成 29 年改正）

ガス事業法第 105 条において、「ガス事業以外のガスを供給する事業又は自ら製造したガスを使用する事業を行う者」を「準用事業者」として規定している。消化設備を有する下水処理場は「準用事業者」に該当する。「準用事業者」は、その事業を開始したときは、遅滞なく、管轄の経済産業省産業保安監督部長に準用事業開始届出書を提出しなければならない。無動力攪拌式消化槽は、「ガス発生設備」に該当するため、設置又は変更を行った場合は、ガス事業法第 106 条に基づき、設置（変更）届出書の提出が必要となる。

2) 労働安全衛生法

高効率加温設備内の熱可溶化を行う熱可溶化タンクは、タンク内に汚泥を受入れ、スチームを吹込むことによって加熱する容器であり、容器内の圧力が大気圧を超え、かつ、最高使用圧力 (MPaG) と内容積 (m³) の積が 0.004 以上となるため、労働安全衛生法施工令第 1 条第 5 項イ号の規定に該当し、第一種圧力容器に該当する。

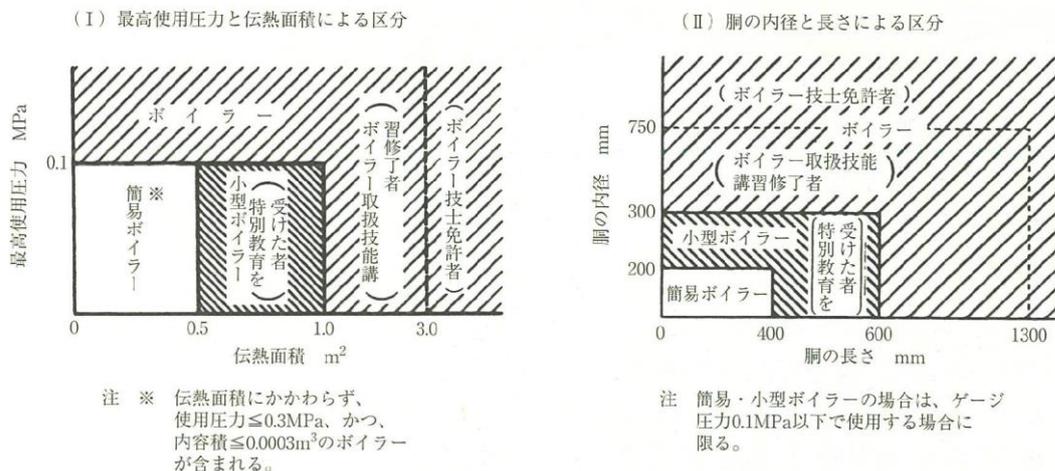
第一種圧力容器については、製造許可を受けている事業者によって製作されなくてはならず、また、構造検査、溶接検査を受検する必要がある。

設置に際しては、第一種圧力容器設置届に第一種圧力容器明細書等を添付して、所轄の労働基準監督署長に提出しなければならない。また、設置時に、落成検査を受検する必要がある。また、設置後は年 1 回の性能検査を受検する必要がある。

高効率加温設備に熱源を供給する蒸気ボイラーの型式は、炉筒煙管ボイラー又は、貫流ボイラー

が選定される。ボイラーは、その大きさ、圧力、型式、伝熱面積によって、ボイラー、小型ボイラーに区分される（図4-10参照）。

(a) 炉筒煙管ボイラーの適用区分



(b) 貫流ボイラーの適用区分

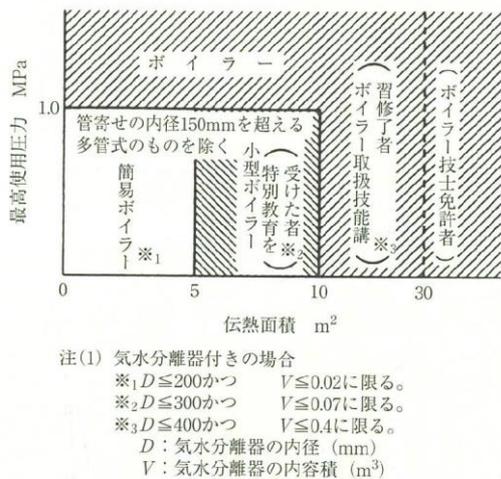


図4-10 ボイラーの適用区分

[引用] ボイラー及び圧力容器安全規則の解説（改訂版）
 平成22年発行（社）日本ボイラ協会 著 P12, 13

ボイラーについては、第一種圧力容器設置届と同様、製造許可を受けている事業者によって製作されなくてはならず、また、構造検査、溶接検査を受検する必要がある。また、設置時に、落成検査を受検する必要がある、設置後は年1回の性能検査を受検する必要がある。

小型ボイラーについては、規模が比較的小さいため、危険性も小さく、その規制も一般のボイラーに比べると緩和されている。小型ボイラーは、製造時の個別検定、設置時の設置報告が義務付けられている。

3) 消防法

ボイラー（小型ボイラーを含む）は、消防法の適用も受ける。工事着工前に市町村火災予防条例に基づいて火を使用する設備として設置届を所轄の消防署に提出しなければならない。条例であるため、地域によって異なる規定もあることに留意する。（例：感震器が必要な地域がある。）

また、消化槽立ち上げを考慮して、消化ガス燃料のほかに灯油又は重油燃料にも対応できるデュアルフューエルタイプのボイラーを使用する場合は、燃料の貯蔵量によっては、危険物貯蔵所、少量危険物取扱貯蔵所として設置届が必要となる。

また、燃料電池についても、工事着工前に市町村火災予防条例に基づいて火を使用する設備として設置届を所轄の消防署に提出しなければならない（10kW未満のものを除く）。

4) 建築基準法

本技術の導入にあたり、ボイラー室、地域バイオマス受入室等の建屋を建造する場合は、建築基準法に基づく申請が必要となる。高効率加温設備については、屋外設置が基本であるが、操作、運転の便宜を図るために壁のない梁、屋根のみの上屋を設ける場合も申請が必要となる場合があるので、留意する。

5) 電力品質確保に係わる系統連系技術要件ガイドライン

発電電力を下水処理場等で場内利用する場合、電力会社の電力系統と発電設備を連系させることとなり、電力会社に対して系統連系の申請を行い、電力会社と下水処理場を所有する自治体間で契約する必要がある。申請に際しては、「電力品質確保に係わる系統連系技術要件ガイドライン（資源エネルギー庁）」に記載されている「連系に必要な技術要件」を満たしていなければならない。

(3) 配置計画

本システムにおいては、無動力攪拌式消化槽、高効率加温設備、外部汚泥・地域バイオマス受入設備については、メンテのための必要なスペース及び動線を確保した上で、それぞれを近傍に設置することが、配管移送距離の削減となり、建設費削減に繋がることに留意する。高効率加温設備は、屋外及び屋内の何れにも設置可能であり、脱水汚泥を圧入して可溶化するため、脱水汚泥を移送する距離を短くするため、脱水設備棟内又はその近傍に設置するスペースを確保することが望まれる。また、高効率加温設備に、外部からの脱水汚泥を受け入れる場合は、外部脱水汚泥の受入設備もその近傍に設置することが望ましい。高効率加温設備に熱源を供給するボイラーは、屋内のボイラー室に設置することになり、据付位置については、ボイラー安全規則及び消防法の適用を受けることに留意する。

SOFc については、ガス配管の長さ削減の観点から、ボイラー等の他のバイオガス利用機器の近傍に設置することが望ましい。

§ 22 導入効果の検証

§ 21 施設計画の検討で決定した施設計画のより詳細な情報に基づいて、第3章第2節で評価した導入効果の再検討を行い、目的とする導入効果が得られるか検証する。

【解説】

以下の項目について、§ 21 施設計画の検討にて策定した施設計画による詳細な情報に基づいて、第3章第2節で評価した導入効果の再検討を行い、目的とする導入効果が得られるか検証する。

(1) 事業性の検証

施設計画に基づく詳細な情報により建設費、維持管理費、発生汚泥量、バイオガス利活用による便益を再計算し、これらの数値から総費用(年価換算値)を計算して、事業性の有無を検証する。

(2) 省エネ効果の検証

施設計画に基づく詳細な情報により、本技術導入による消費電力量及び分解 VS 当たりの電力消費量を再計算し、省エネ効果を検証する。

(3) エネルギー創出量の検証

施設計画に基づく詳細な情報により、エネルギー創出量を再計算し、バイオガスによる発電量増加効果を検証する。

(4) 温室効果ガス削減量の検証

施設計画に基づく詳細な情報により、温室効果ガス削減量を再計算し、温室効果ガス排出量削減効果を検証する。

§ 23 導入計画の策定

前節までに行った施設計画と導入効果の検証に基づいて、施設計画、導入効果、計画上の留意点を盛り込んだ導入計画書を取りまとめる。

【解説】

これまでの検討結果に基づいて、本システム導入に関する導入計画書を作成する。導入計画書には、基本条件、基本計算結果、施設計画に加え、導入効果の検証結果、計画上の留意点を含めて取りまとめる。

第2節 施設設計

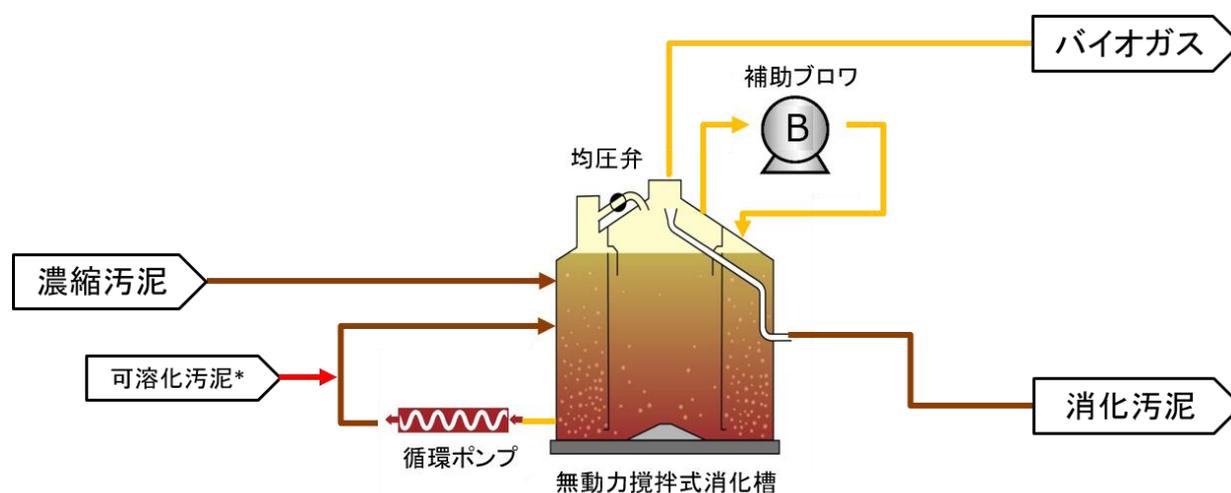
§ 24 無動力攪拌式消化槽の設計

基本計算に基づいて設定した構成設備の諸元により、無動力攪拌式消化槽の設計を行う。

- (1) 無動力攪拌式消化槽の設計
- (2) 付帯機器の設計

【解説】

無動力攪拌式消化槽と付帯設備の構成図を図4-11に示す。



* : 本システムでは、可溶化した汚泥を消化槽に投入することで、消化槽を加温する方式で、従来技術の間接加温で設置されるスパイラル熱交に代わって、可溶化汚泥と消化汚泥の混合管が設置されることになる。

図4-11 無動力攪拌式消化槽と付帯設備

(1) 無動力攪拌式消化槽の設計

無動力攪拌式消化槽は、消化槽内にて発生する消化ガスの圧力を利用して消化槽内に水頭差を発生させ、その水頭圧により機械的な動力を用いず消化槽内の攪拌を行うものである。設計にあたっては、表4-2に示す仕様、条件に基づいて設計する。

表 4-2 無動力攪拌式消化槽の仕様、条件設定

材質	鋼板製又は RC 製
容量	投入濃縮汚泥基準で 20 日、且つ、地域バイオマス分を加算して 15 日以上の消化日数を確保できる容量とする。
形状	内筒、外筒を設けた二重円筒型とする。
塗装	接ガス部は D 種相当、接液部は C 種又は D 種相当の防食塗装が必要である。但し、材質が SUS である場合は、この限りではない。
均圧弁	気相部で内筒と外筒を繋ぐ均圧管に設置する自動弁であり、定期的且つ水位差がついた状態で、開放されるように設定する。
温度計	攪拌が十分行われていることを確認するため槽内の最頂部、中間部、底部に温度計を設け温度分布が測定できるようにする。
自動運転	一日当たりの攪拌回数を設定し、無動力攪拌の自動運転プログラムを設定する。攪拌回数は原則 8 回/日である。
汚泥投入	外筒上部に、液位差のついた状態で投入する。
汚泥引抜	内筒上部にオーバーフロー口を設けて、主に水位差が生じた状態で、汚泥投入される時に、オーバーフローにより内筒上部から引き抜かれる構造とする。また、底部への砂の堆積を防止するため、外筒底部から、定期的に汚泥を抜き出すためのドレン口を設ける。

(2) 付帯機器の設計

付帯機器として、主に補助ブロワ、消化汚泥循環ポンプ、消化汚泥引抜ポンプ、消化槽投入汚泥ポンプがある。

1) 補助ブロワ

消化槽立上時及び負荷が急激に下がったときは、ガスの発生量が少なく、内筒と外筒の間に液位差が生じないので、補助ブロワによって、外筒側に消化ガスを吹込んで、強制的に内筒と外筒に液位差を設ける。尚、内筒側の消化ガスを引抜くと内筒側が引圧になることが想定される場合は、ガスタンクの出口から消化ガスを引抜くこととなることに留意する。

2) 消化汚泥循環ポンプ

無動力攪拌式消化槽の加温については、通常の間接加温と同様に消化汚泥循環ポンプを設置して、消化槽内部の汚泥をスパイラル熱交との間で循環させて、温水と熱交換することによって加温させることも可能である。本技術では、可溶化した汚泥を消化槽に投入することで、消化槽を加温する方式で、スパイラル熱交に代わって、可溶化汚泥と消化汚泥の混合管が設置されることになる。消化槽から引き抜かれた消化汚泥は、汚泥循環ポンプの吐出側の可溶化汚泥混合管で、可溶化汚泥と混合されることによって加温され、消化槽に返送されることになる。

3) 消化汚泥引抜ポンプ

無動力消化槽からの汚泥の引抜については、内筒上部からのオーバーフローによる引抜きが主であり、消化汚泥貯留槽までは液位差による移送となるが、消化汚泥貯留槽との間で、十分な液位差が取れない場合、および砂がたまりやすく、液位差による移送が困難になる場合があることが想定される場合は、設置することになる。

4) 消化槽投入汚泥ポンプ

消化槽への汚泥の投入を行うポンプである。無動力攪拌式消化槽では、液位差がついた状態での投入となり、一日当たりの投入回数及び投入時間に併せてポンプ容量を設定する。

§ 25 高効率加温設備の設計

基本計算に基づいて設定した構成設備の諸元により、高効率加温設備の設計を行う。

- (1) 可溶化装置の設計
- (2) 付帯機器の設計

【解説】

高効率加温設備（可溶化装置）と付帯設備の構成図を図4-12に示す。

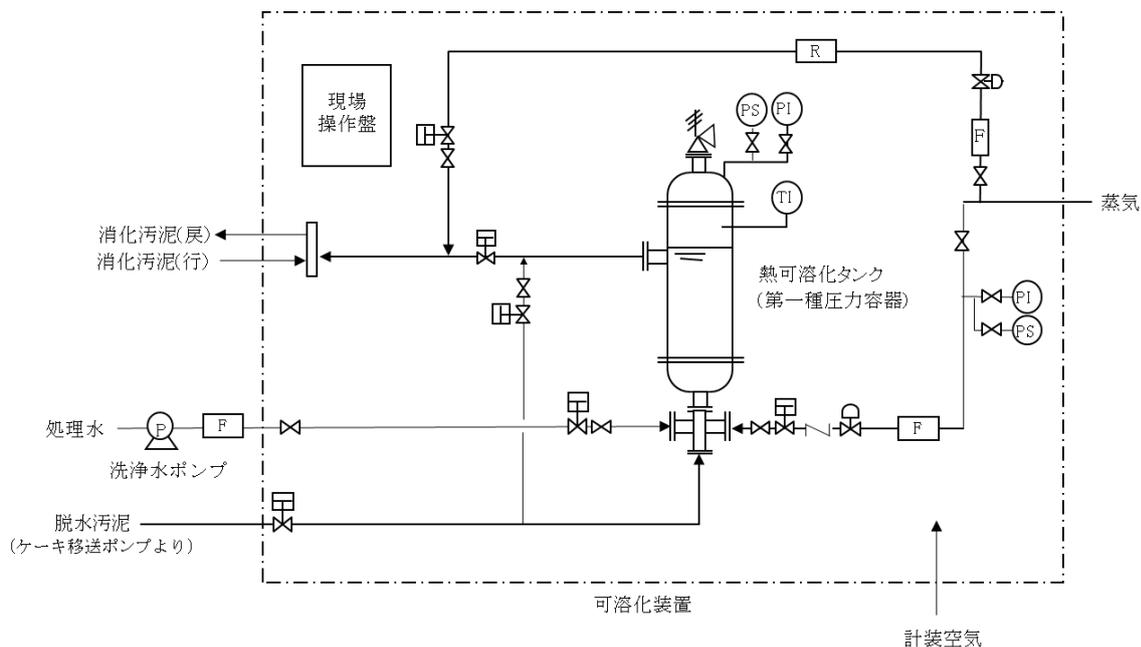


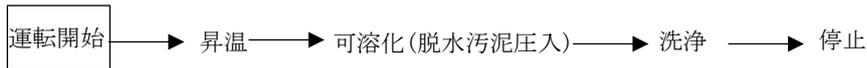
図4-12 高効率加温設備（可溶化装置）と付帯設備

(1) 可溶化装置の設計

可溶化装置は、熱可溶化タンク(第一種圧力容器)、自動弁、計器類、操作盤で構成されるユニット機器である。

可溶化装置の設計にあたっては、表4-3に示す仕様、条件に基づいて設計する。

表 4-3 可溶化装置の仕様、条件設定

装置能力	(1) 可溶化装置投入汚泥量：§ 19(2) 高効率加温設備投入汚泥量の設定で設定する。 製作可能な機器の仕様としては、0.7、1.5、3.0 t-脱水汚泥/hr であり、必要能力を満足する機種を選定する。
運転	(1) 運転温度：160～170℃ (2) 運転圧力：0.5～0.7MPaG
周囲温度	(1) -10℃ ～ 40℃
設計	(1) 設計温度：183℃ (2) 設計圧力：0.98MPa
適用法規	圧力容器構造規格（第一種圧力容器）
自動運転	現場動力制御盤による連動機器を含めた自動運転を基本とする。  <pre> graph LR A[運転開始] --> B[昇温] B --> C[可溶化(脱水汚泥圧入)] C --> D[洗浄] D --> E[停止] </pre>

(2) 付帯機器の設計

付帯機器として、主に可溶化装置に供給する蒸気を発生させる蒸気ボイラー及びその付属機器、ケーキ移送ポンプ、洗浄水ポンプがある。

1) 加温装置

可溶化装置の加温用ボイラーである。型式としては、汎用品の炉筒煙管ボイラー又は、貫流ボイラーが選定される。容量に関しては下記により選定する。

- ① 公称圧力：運転圧力を可溶化装置の運転圧力以上とする必要があるため、公称最大出力0.98MPaGのボイラーを選定する。
- ② 蒸気量：可溶化に必要な蒸気量（吹込）に関しては、投入汚泥量の1/3が目安となるが、冬場の消化槽加温必要エネルギーの方が、可溶化に必要なエネルギーを上回るため、別途、消化槽の加温装置がない場合は、冬場の消化槽加温必要エネルギーに運転時間を加味して、選定する。

2) ケーキ移送ポンプ

可溶化装置に脱水汚泥を圧入するためのポンプである。型式としては、定量性の良い一軸ネジ式ポンプとする。容量に関しては下記により選定する。

- ① 吐出圧力：可溶化装置の運転圧力以上で圧入する必要があるため、配管圧損と可溶化装置の運転圧力の合算値以上の吐出圧力とする。
- ② 吐出量：可溶化装置の装置能力と吐出量を同等とする必要がある。

- ③ 一軸ネジポンプのステーターは、脱水汚泥の性状によって寿命に影響する。特に MAP はステーター（ゴム）に対して攻撃性が高く、ステーターの寿命が短くなることに留意する。MAP 対策として、特殊規格のゴムの採用や、ポンプの回転速度を低くできるような運転が可能となるような容量選定とする等の対応案が考えられる。

3) 洗浄水ポンプ

可溶化装置は、固形物濃度の高い状態で可溶化するので、可溶化終了後に蒸気及び処理水等を洗浄水として装置に供給して、装置を洗浄する洗浄工程が必要であり、その洗浄水を供給するポンプである。型式は、高揚程であるため、横型又は縦型多段ポンプとし、容量に関しては、下記により選定する。

- ① 吐出圧力：洗浄工程では、可溶化装置の運転圧力以上で圧入する必要があるため、配管圧損を考慮したうえで、可溶化装置入口において、可溶化装置の運転圧力以上の吐出圧力となるような吐出圧力とする。
- ② 吐出量：ケーキ移送ポンプの吐出量と同等程度が必要である。

§ 26 固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の設計

基本計算に基づいて設定した構成設備の諸元により、SOFC の設計を行う。

- (1) SOFC の設計
- (2) 付帯機器の設計

【解説】

固体酸化物形燃料電池 (SOFC) と付帯設備の構成図を図 4-13 に示す。

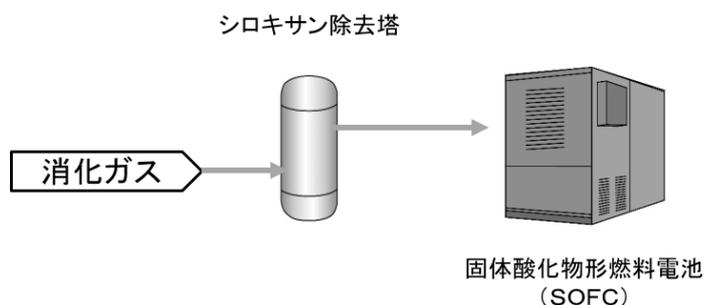


図 4-13 固体酸化物形燃料電池 (SOFC) と付帯設備

(1) SOFC の設計

SOFC の設計にあたっては、表 4-4 に示す仕様、条件に基づいて設計する。

なお、SOFC の長期安定運転に関しては、今後の検討が必要である。

表 4-4 SOFC の仕様、条件設定

発電出力	(1) 発電出力：§ 19(4)バイオガス発電量の設定にて、設定する。 定格出力としては、1台当たり 5~50kW と想定。
運転	(2) 運転温度：650~1000℃
周囲温度	-15℃~40℃ (屋外、寒冷地仕様となる場合あり)
入口バイオガス条件	ガス供給圧：0~10kPa
	メタン濃度：設定値：57~65% 変動幅：±2%
	硫化水素濃度：3ppm 以下であること。
	シロキサン濃度：0.1ppm 以下
装置保護	水分：使用温度にて結露しないこと。
	入口バイオガス硫化水素が規定濃度以上になった場合に、SOFC の運転停止等の制御を行えるようにする。

(2) 付帯機器の設計

付帯機器として、主にガスの前処理となるシロキサン除去装置が必要である。

シロキサンはバイオガスに含まれる微量成分の一つであり、燃料電池中の改質触媒にシリカとなって析出し、改質反応を阻害する原因となる。シロキサンは、活性炭を充填した除去装置により、吸着反応により除去する。

バイオガスは湿ガスであり、活性炭は主に水分に由来するミストにより、吸着性能が低下するので、装置の前段に、セジメントトラップ等のミストを除去する装置を設置することが望ましい。また、活性炭の微細粉末が後段に混入するのを避けるため、装置の後段にガスフィルタを設けるのが望ましい。

バイオガス中の硫化水素濃度の本システムへの受け入れ基準は 3ppm 以下であり、通常、乾式脱硫後のバイオガスを使用することになる。硫化水素濃度が高い場合、活性炭へのシロキサン吸着量が減少する恐れがある。

入口シロキサン濃度の設定は、対象とするバイオガス中のシロキサン濃度を複数回分析し、過去の測定実績があればそれをもとに設定することが望ましいが、新たに消化槽を設置する場合は、近隣の処理場の実績値を調査し、設定する。一般に下水処理場ではシロキサン濃度は、高温消化の場合、中温消化よりも高い値であることを留意する。

出口のシロキサン濃度については、可能な限り低減することが望ましいが、SOFC への供給条件である 0.1ppm 以下であることを管理指標とする。

§ 27 外部汚泥・地域バイオマス受入設備の設計

基本計算に基づいて設定した構成設備の諸元により、外部汚泥・地域バイオマス受入設備の設計を行う。

- (1) 外部汚泥受入施設の設計
- (2) 食品廃棄物受入設備の設計

【解 説】**(1) 外部汚泥受入施設の設計**

処理場周辺の外部汚泥は、本実証技術において高効率加温設備によって熱可溶化後に消化槽に投入するものとする。従って、受入設備の構成は受入れホoppa及びホoppa切出し口からケーキ移送ポンプフィーダまでのコンベアという構成になる。

受入れホoppaは、受入れ形態を想定した型式とする必要があるが、4t程度のコンテナ車等で地上受入れを想定した場合、受入れホoppaは地下に設置して、地上からの受入が可能となるようにする。また、受入口はシャッターを設けて、雨水の流入や臭気の拡散を抑制する。

貯留容量については、1回あたりの受入量及び受入れ頻度を考慮して決定する。

後段の可溶化工程への移送のため、スクリューによる切出し機能を設け、ホoppa切出し口から、高効率加温設備に圧入するケーキ移送ポンプのフィーダまで、コンベア移送する。コンベアの台数、長さは、コンベアの切出し口とケーキ移送ポンプフィーダの位置関係から、他の機器等との緩衝の回避を考慮して決定される。建設費削減のためには、全体の機器配置計画に際し、コンベアの台数が少なく、長さが最小になるよう留意する。今回の実証実験では、オキシデーションディッチ法の処理場脱水汚泥を用いて実証した。

(2) 食品廃棄物受入装置の設計

地域バイオマスとしての食品廃棄物受入については、袋、包装等のメタン発酵不適物が取り除かれた状態での受入れを想定し、破碎、処理水と混合して、スラリー化した状態で消化タンクに投入するものとする。受入装置の設計に際しては、受け入れる食品廃棄物の性状、メタン発酵不適物の混入の可能性の有無、搬入形態を調査、確認の上、方式を決定する。受入設備に関しては、衛生の観点から、臭気対策装置や洗浄装置を備える必要がある。

破碎、処理水との混合工程においては、メタン発酵しやすくなるようなスラリー状にすることが望ましく、食品廃棄物の種類にもよるが、TS濃度で4～10%程度で、ポンプで消化槽に投入できる性状にするよう留意する。

§ 28 ユーティリティ設備の設計

基本計算に基づいて設定した構成設備の諸元により、ユーティリティ設備の設計を行う。

- (1) 計装空気設備の設計
- (2) レシーバータンク

【解説】

(1) 計装空気設備の設計

空気作動の自動弁及び調節弁を駆動させるために圧縮空気を製造するための装置である。

自動弁及び調節弁の計装空気使用量から単位時間当たりの計装空気必要量を算出し、余裕率を掛けて圧縮機の能力を算出する。既設設備の容量に余裕がある場合については、その活用も検討する。

(2) レシーバータンク

空気作動の自動弁が複数台作動すると、急激な計装空気使用による圧力低下が生じる。レシーバータンクは、所定圧以下にならないようにするため、圧縮空気を貯留するタンクである。既設設備の容量に余裕がある場合については、その活用も検討する。

§ 29 安全対策と環境対策

本システムにおける安全対策と環境対策について検討する。

- (1) 安全対策
- (2) 環境対策

【解 説】

(1) 安全対策

本技術にかかわる機器について、圧力容器に該当するのが、高効率加温設備、加温用ボイラーであり、設計温度、設計圧力で安全に操作できるよう設計されていなくてはならない。

(2) 環境対策

環境対策としては、大気汚染防止法、振動規制法、騒音規制法、悪臭防止法に基づき、排ガス、振動、騒音、臭気の各項目に対して、市町村条例を順守した設計を行う。

第5章 維持管理

第1節 システム全体の維持管理の要点

§ 30 システム全体の維持管理の要点

本システムの運転管理において、各設備は、それぞれ密接な関連性を持つため、消化設備として、一元管理されることが必要である。

なお、バイオガス発電設備については、従来技術と同様、ガスホルダの貯留量の信号を取り込むことによって、独立した管理とすることができる。

【解説】

本システムの運転管理においては、消化槽設備、高効率加温設備の運転は、消化タンクの温度を管理する上で、密接な関連性をもつ。従って、各設備の機器、計器は、消化設備として一元管理されて自動運転を行う必要がある。異常値の管理についても自動的且つ一元的に管理され、異常時には警報が一元管理している場所に発報されて、異常値がシステム全体に及ぼす影響が早急に確認できるようにすることが望ましい。

また、インターネットを経由し、遠隔地でもシステムの状況を監視できる様にすることも一案である。

バイオガス発電設備については、従来技術と同様、ガスタンクの貯留量の信号を取り込むことによって、独立した管理とすることができる。

第2節 運転管理

§ 31 運転管理

本システムの運転管理は以下に示す項目に関して実施する。

- (1) 無動力攪拌式消化槽（消化設備）
- (2) 高効率加温設備（可溶化装置）
- (3) 固体酸化物型燃料電池（SOFC）
- (4) 外部汚泥・地域バイオマス受入設備
- (5) ユーティリティ設備
- (6) 汚泥・消化ガス分析
- (7) 不具合時の対応

【解 説】

各設備の運転管理について、主な運転管理項目について記述する。

なお、SOFCの長期安定運転に関しては、今後の検討が必要である。

(1) 無動力攪拌式消化槽（消化設備）

無動力攪拌式消化槽（消化設備）の主な運転管理項目を表5-1に示す。

表5-1 無動力攪拌式消化槽（消化設備）の主な運転管理項目

対象機器	測定項目	測定頻度	管理基準
無動力攪拌式消化槽	消化槽内温度	連続	37±2℃
	外筒/内筒圧力差		
汚泥循環ポンプ	吐出圧力	運転時	設計値と差異のないこと
	汚泥流量	運転時	
投入汚泥ポンプ	吐出圧力	運転時	設計値と差異のないこと
	汚泥流量	運転時	
濃縮汚泥ポンプ	吐出圧力	運転時	設計値と差異のないこと
	汚泥流量	運転時	
補助ブロワ	吐出圧力	運転時	設計値と差異のないこと

(2) 高効率加温設備（可溶化設備）の主な運転管理項目

高効率加温設備（可溶化設備）の主な運転管理項目を表5-2に示す。

表5-2 高効率加温設備（可溶化設備）の主な運転管理項目

対象機器	測定項目	測定頻度	管理基準
熱可溶化タンク	タンク圧力	運転時	0.5～0.7MPaG
	タンク温度	運転時	160～170℃
ケーキ移送ポンプ	吐出圧力	運転時	設計値と差異のないこと
洗浄水ポンプ	処理水流量	運転時	設計値と差異のないこと
蒸気ボイラー	蒸気圧力	運転時	設計値と差異のないこと
	蒸気流量	運転時	設計値と差異のないこと

(3) 固体酸化物型燃料電池（SOFC）の主な運転管理項目

固体酸化物型燃料電池（SOFC）の主な運転管理項目を表5-3に示す。

表5-3 固体酸化物型燃料電池（SOFC）の主な運転管理項目

対象機器	測定項目	測定頻度	管理基準
SOFC	運転温度	連続	650～1000℃
	発電量	連続	設計値と差異のないこと
消化ガス前処理設備	ガス供給圧	連続	0～10kPa
	メタン濃度	月1回	設定値：57～65% 変動幅±2%
	硫化水素濃度	月1回	3ppm以下
	シロキサン濃度	月1回	0.1ppm以下

(4) 外部汚泥・地域バイオマス受入設備の主な運転管理項目

外部汚泥・地域バイオマス受入設備の主な運転管理項目を表 5-4 に示す。

表 5-4 外部汚泥・地域バイオマス受入設備の主な管理項目

対象機器	測定項目	測定頻度	管理基準
外部汚泥受入設備	受入ホッパ切出し量	運転時 月1回	設計値と差異のないこと
	移送コンベア送り量		設計値と差異のないこと
食品廃棄物受入装置	食品廃棄物受入量	運転時 月1回	設計値と差異のないこと
	処理水量		設計値と差異のないこと
	消化槽投入量		設計値と差異のないこと

(5) ユーティリティ設備の主な運転管理項目

ユーティリティ設備の主な運転管理項目を表 5-5 に示す。

表 5-5 ユーティリティ設備の主な運転管理項目

対象機器	測定項目	測定頻度	管理基準
計装空気設備	圧縮機圧力	連続	規定値の範囲内であること
	レシーバータンク圧力	連続	規定値の範囲内であること

(6) 汚泥・消化ガス分析

汚泥処理設備の管理に必要な各汚泥の分析を実施する。分析項目を表 5-6-1 に示す。

表 5-6-1 汚泥分析項目

分析対象	項目	単位	管理基準	頻度
濃縮汚泥	pH	-	基本計画時の数値の範囲であること	1回/月
	T-S	%	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
	VS	%	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
	SS	mg/L	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
消化汚泥	pH	-	基本計画時の数値の範囲であること	1回/月
	T-S	%	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
	VS	%	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
	SS	mg/L	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
	アルカリ度	mg/L	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
	繊維状物	%	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
脱水ケーキ	含水率	%	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
	VS	%	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
OD脱水ケーキ	含水率	%	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
	VS	%	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
可溶化汚泥	pH	-	基本計画時の数値の範囲であること	1回/月
	T-S	%	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
	VS	%	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
可溶化汚泥 (OD)	pH	-	基本計画時の数値の範囲であること	1回/月
	T-S	%	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
	VS	%	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
脱水分離液	pH	-	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
	SS	mg/L	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
	TS	mg/L	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
	VSS	mg/L	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
	BOD	mg/L	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
	COD	mg/L	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
	T-N	mg/L	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
	T-P	mg/L	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
	食品廃棄物スラリー	pH	-	基本計画時の数値の範囲であること
T-S		%	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月
VS		%	基本計画時の濃度と差異のないこと	1回/月

発電設備の管理に必要な消化ガスの組成分析を実施する。分析項目を、表 5-6-2 に示す。

表 5-6-2 消化ガス分析項目

分析対象	項目	単位	管理基準	頻度
消化ガス（発生）	CH ₄	%	基本計画時の数値の範囲であること	2回/年
	H ₂ S	ppm	基本計画時の濃度と差異のないこと	2回/月
	シロキサン	mg/Nm ³	基本計画時の濃度と差異のないこと	2回/年
消化ガス（処理済）	CH ₄	%	基本計画時の数値の範囲であること	2回/年
	H ₂ S	ppm	基本計画時の濃度と差異のないこと	2回/月
	シロキサン	mg/Nm ³	基本計画時の濃度と差異のないこと	2回/年

（7） 不具合時の対応

本システムは自動運転を基本としている。また、異常については注意を喚起する軽故障と、設備を停止させる重故障に分けて監視することが望ましい。

設備の運転中に軽故障が生じた場合、重故障になるのを回避する方向に操作する。また、重故障により設備が停止した場合は、原因を調査し、原因を取り除いた後、設備の再起動を行う。

日常の点検で、設備に故障や不具合を発見した場合は速やかに設備を停止し、修理した後、再起動する。

なお、各設備の故障・不具合例と、それに対する対応基本例を資料編Ⅲに記載する。

第3節 保守点検

§ 32 保守点検

本システムの保守点検は以下に示す項目に関して実施する。

- (1) 日常点検
- (2) 定期点検
- (3) その他点検

【解 説】

(1) 日常点検

本システムに関する日常点検については、設備ごとに以下の項目を実施する。

1) 無動力攪拌式消化槽（消化設備）

無動力攪拌式消化槽（消化設備）の各機器の日常点検項目を表5-7に示す。

表5-7 無動力攪拌式消化槽（消化設備）の日常点検項目

対象機器	点検項目	点検方法	管理基準	頻度
無動力攪拌式消化槽	接続配管の漏れ	目視	漏れがないこと	1回/日
	液位	液位計	設計値と差異のないこと	1回/日
	差圧	圧力計	著しい差圧の上昇がないこと	1回/日
汚泥循環ポンプ	吐出圧力	圧力計	設計値と差異のないこと	1回/日
	Vベルトの張力	目視	たるみ等がないこと	1回/月
	駆動部/軸受部	目視	異音、振動がないこと	1回/日
投入汚泥ポンプ	吐出圧力	圧力計	設計値と差異のないこと	1回/日
	Vベルトの張力	目視	たるみ等がないこと	1回/月
	駆動部/軸受部	目視	異音、振動がないこと	1回/日
濃縮汚泥ポンプ	吐出圧力	圧力計	設計値と差異のないこと	1回/日
	Vベルトの張力	目視	たるみ等がないこと	1回/月
	駆動部/軸受部	目視	異音、振動がないこと	1回/日
汚泥引抜ポンプ	吐出圧力	圧力計	設計値と差異のないこと	1回/日
	Vベルトの張力	目視	たるみ等がないこと	1回/月
	駆動部/軸受部	目視	異音、振動がないこと	1回/日
補助ブロウ	吐出圧力	圧力計	設計値と差異のないこと	運転時
	Vベルトの張力	目視	たるみ等がないこと	1回/月
	駆動部/軸受部	目視	異音、振動がないこと	運転時

2) 高効率加温設備（可溶化設備）

高効率加温設備（可溶化設備）の各機器の日常点検項目を表5-8に示す。

表5-8 高効率加温設備（可溶化設備）の日常点検項目

対象機器	点検項目	点検方法	管理基準	頻度
熱可溶化タンク	接続配管	目視	漏れのないこと	1回/日
	保温材の支障	目視	破損・剥離がないこと	1回/日
	タンク圧力	圧力計	設計値と差異のないこと	1回/日
	タンク液位	液位計	設計値の範囲内のこと	1回/日
ケーキ移送ポンプ	吐出圧力	圧力計	設計値と差異のないこと	1回/日
	駆動部/軸受部	目視	異音、振動がないこと	1回/日
洗浄水ポンプ	処理水流量	流量計	設定値と差異のないこと	1回/日
	接続配管	目視	漏れのないこと	1回/日
	駆動部	目視	異音、振動がないこと	1回/日
蒸気ボイラー	蒸気圧力	圧力計	設計値と差異のないこと	1回/日
	ボイラー本体	目視	異音、振動がないこと	1回/日
	薬品	目視	供給されているか、予備量確認	1回/日
軟水装置	ボイラー水	試薬	軟水確認	1回/週
	再生塩	目視	残量確認	1回/日

3) 固体酸化物形燃料電池（SOFC）

固体酸化物形燃料電池（SOFC）の各機器の日常点検項目を表5-9に示す。

表5-9 固体酸化物形燃料電池（SOFC）の日常点検項目

対象機器	点検項目	点検方法	管理基準	頻度
純水器	フィルタ	目視	目詰まりの無いこと	1回/月
脱硫器	脱硫剤	目視	破過・変色がないこと	1回/週
空気ブロア	フィルタ	目視	目詰まりの無いこと	1回/月
	駆動部	聴音	異音がないこと	1回/日
燃料ポンプ	フィルタ	目視	目詰まりの無いこと	1回/月
	駆動部	聴音	異音がないこと	1回/日
消化ガス元圧	消化ガス元圧	圧力計	設計の範囲であること	1回/日
SOFCモジュール	SOFCモジュール本体	嗅覚	異臭がないこと	1回/日

4) 外部汚泥・地域バイオマス受入設備

外部汚泥・地域バイオマス受入設備は外部汚泥受入設備と食品廃棄物受入装置で構成されるため、各々の設備で日常点検を行う。

外部汚泥受入設備の各機器の日常点検項目を表 5-10-1 に示す。

表 5-10-1 外部汚泥受入設備の日常点検項目

対象機器	点検項目	点検方法	管理基準	頻度
受入ホッパ	駆動部・軸受け部	目視	異音、振動がないこと	1回/日
	ロードセル	トレンドデータ	重量の推移が実際の運転に沿ったものであること	1回/週
移送コンベア	駆動部・軸受け部	目視	異音、振動がないこと	1回/日
	搬送部	目視	異物、詰まり等がないこと	1回/日

食品廃棄物受入装置の各機器の日常点検項目を表 5-10-2 に示す。

表 5-10-2 食品廃棄物受入設備の日常点検項目

対象機器	点検項目	点検方法	管理基準	頻度
食品廃棄物受入装置	回転機器	目視	異音、振動がないこと	1回/日
	配管	運転状況確認	詰まり等がないこと	1回/日

5) ユーティリティ設備

ユーティリティ設備の各機器の日常点検項目を表 5-11 に示す。

表 5-11 ユーティリティ設備の日常点検項目

対象機器	点検項目	点検方法	管理基準	頻度
計装空気設備	圧縮機圧力	圧力計	規定値の範囲内であること	1回/日
	レシーバータンク圧力	圧力計	規定値の範囲内であること	1回/日

(2) 定期点検

定期点検として、法律・条例等により定められた検査が義務付けられているものと、法律に定められた自主点検を行うものの他に、メーカーにて定められた保守・整備を行うものがある。設備の定期点検として、必要なものは下記となる。

1) 無動力攪拌式消化槽

無動力攪拌式消化槽においては、通常の機器・計器の点検に加えて、以下の項目に留意する。

- ① 砂抜きドレン作業 (1回/週程度)
- ② 均圧弁の点検整備 (1回/月)

2) 熱可溶化タンク 第一種圧力容器性能検査

高効率加温設備（可溶化設備）の熱可溶化タンクは第一種圧力容器に該当するため、労働安全衛生法、ボイラー及び圧力容器安全規則により、年1回の性能検査が義務付けられている。性能検査の他に、月1回の自主点検を行い、点検記録の保管が必要である。

3) ボイラー

① 小型ボイラー

小型ボイラーは監督官庁による定期点検が義務付けられてはいないが、事業者が定期的に清掃と自主点検を行い、記録を保管しておかなければならない。

② 小型ボイラー以外のボイラー

労働安全衛生法、ボイラー及び圧力容器安全規則により、年1回の性能検査が義務付けられている。

4) 各機器の点検・給脂・部品交換

各設備を構成する個々の機器に関しても、メーカー標準により点検・給脂・部品交換を行う。

5) 固体酸化物形燃料電池 (SOFC)

SOFC 内の精密脱硫装置について、メーカー定期点検において破過・変色状況を確認し、脱硫剤の定期的な交換を行う。

6) 消化ガス前処理設備の充填物交換

前処理設備には脱硫塔充填物の脱硫剤とシロキサン除去塔の充填物である活性炭があり、定期的な交換が求められる。交換周期としては処理ガスの分析値から判断する。

各定期点検項目についてとりまとめた表を資料編Ⅲに記載する。

(3) その他点検項目

その他の点検項目として以下の点検を実施する。

1) 汚泥分析

汚泥の分析としては、消化タンクへ供給する投入（濃縮）汚泥、消化タンクから排出される消化汚泥、消化汚泥の脱水後に排出される脱水汚泥（ケーキ）、脱水分離液、可溶化汚泥がある。各汚泥の分析項目は表 5-6-1 に準ずる。

2) 消化ガス分析

消化ガスの分析としては、無動力攪拌式消化槽より発生した消化ガス（発生ガス）と、前処理工程後、ボイラーや固体酸化物型燃料電池（SOFC）に供給される消化ガス（処理ガス）とを分析する。

分析項目は表 5-6-2 に準ずる。

第4節 緊急時の対応

§ 33 緊急時の対応と対策

緊急時の対応については、基本的には各設備速やかに停止操作を行い、事態の悪化を防ぐ。地震・台風等の災害時には、定められた手順で速やかに設備を停止し、予め設定した災害時対策フローに従って対応することを基本とする。

- (1) 無動力攪拌式消化槽（消化設備）
- (2) 高効率加温設備（可溶化装置）
- (3) 固体酸化物型燃料電池（SOFC）

【解説】

本システムの運転中に人身・物損事故の発生や重要設備の故障・不具合の発生等があった場合には、原則として定められた手順で速やかに設備の停止操作を行い、事態の悪化を防止する。また、運転中に設備が自動的に停止した場合においては、停止の原因を取り除いたうえで、再起動を行う。特にガス検知器が作動して停止となった場合は、消化ガスの漏洩が考えられるため、ガスの漏洩箇所を携帯ガス検知器やせっけん水などの発泡液を用いて特定し、ガス漏れを解消してから再起動を行う。

(1) 無動力攪拌式消化槽（消化設備）

緊急時、設備が一斉停止した場合、無動力攪拌式消化槽は、現状の液位を保つが、停止している間も消化ガスは発生し続けるため、停止時もガスの放出ができるような制御を行う。

(2) 高効率加温設備（可溶化設備）

可溶化装置に関しては、緊急停止時の状態で、長時間保持し、温度が下がるとタンク内の可溶化汚泥が固まり、容易に復旧ができなくなるため、停止後、洗浄工程に移行する制御とする。

(3) 固体酸化物形燃料電池（SOFC）

緊急停止時は、燃料電池スタックへの消化ガスによる還元性ガスの供給が停止され、スタック内部のセルの酸化が進行する恐れがあるため、セルの酸化防止用として、窒素ガスまたは爆発限界以下の希釈水素ガスを供給する制御とする。

資料編

I. 実証試験	87
I-1. 実証研究の概要	87
(1) 実証研究概要	87
(2) 実証試験概要	88
I-2. 実証研究結果	93
(1) 無動力攪拌式消化槽	93
(2) 高効率加温設備	100
(3) SOFC 設備	114
II. 簡易算定式	119
III. 参考資料	133
IV. 日平均水量 30,000m ³ の処理場検討例	143
V. 加温設備更新に関する総費用(年価換算値)の縮減効果	155
VI. 消化設備新設に関する総費用(年価換算値)の縮減効果	160
VII. 機器仕様書	166
(1) 無動力攪拌式消化槽	166
(2) 可溶化装置	169
(3) バイオガス燃料 SOFC	174
VIII. 問い合わせ先	176

I. 実証試験

I-1. 実証研究の概要

(1) 実証研究概要

1) 研究名称

高効率消化システムによる地産地消エネルギー活用技術の実用化に関する実証研究

2) 実施者

三菱化工機株式会社、九州大学、日本下水道事業団、唐津市 共同研究体

3) 実証期間

平成 29 年 7 月 10 日～平成 31 年 3 月 29 日

4) 実施場所

i) 自治体名：佐賀県唐津市

ii) 処理場名：唐津市浄水センター

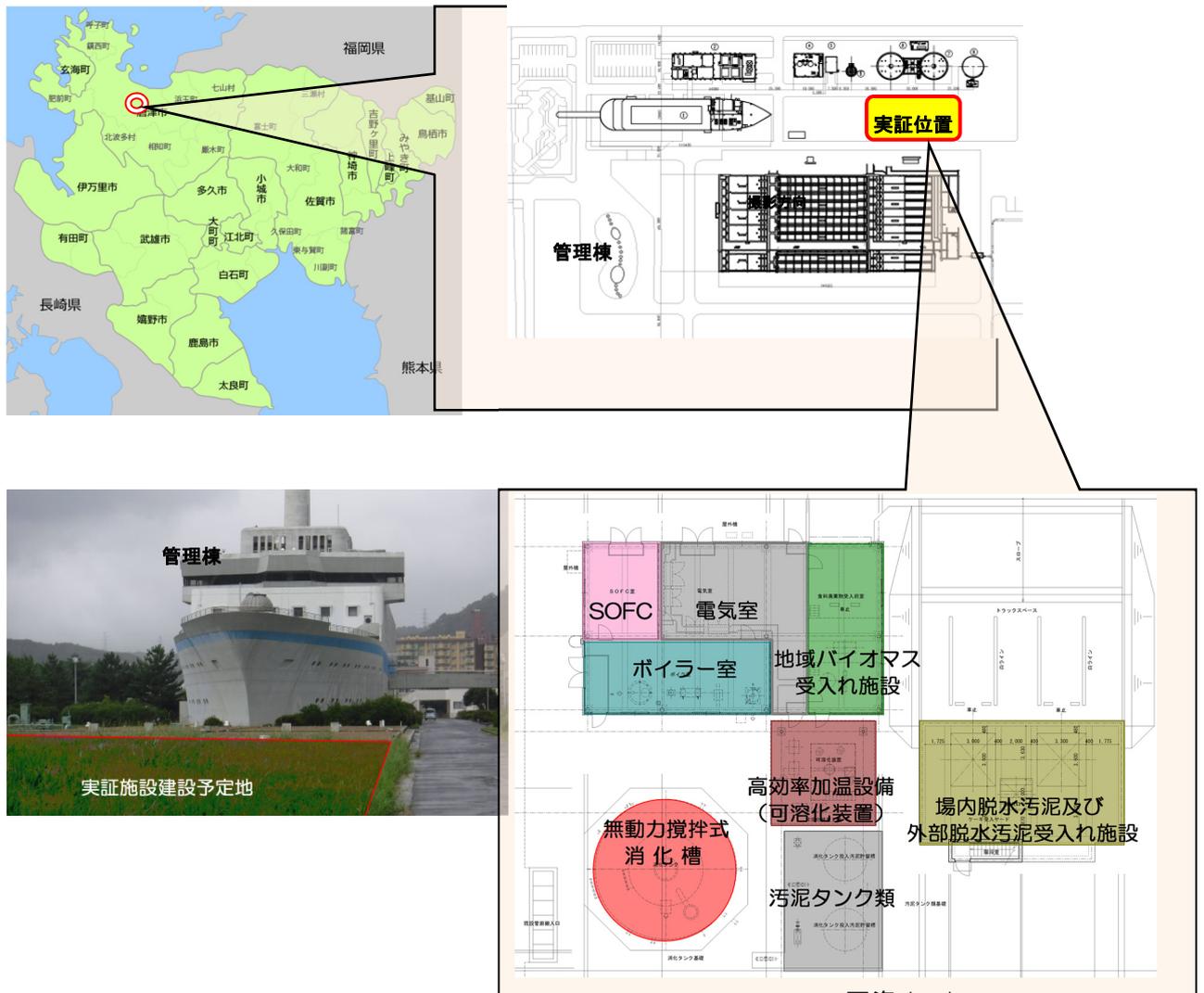
iii) 現在の稼働状況

・水処理方式：標準活性汚泥法

・汚泥処理法：機械濃縮→中温消化→脱水→堆肥化

・現有水処理能力：日最大 33,000m³/日（4 系列）

実証試験設備の設置場所を図資 1.1 実証施設設置場所に示す。



図資 1.1 実証施設設置場所

(2) 実証試験概要

1) 処理対象

唐津市浄化センターの水処理から排出される濃縮汚泥を対象とした。

2) 処理能力

実証試験設備の設計条件を表資 1.1 に示した。実証施設規模として、濃縮汚泥 25m³/日以上とした。

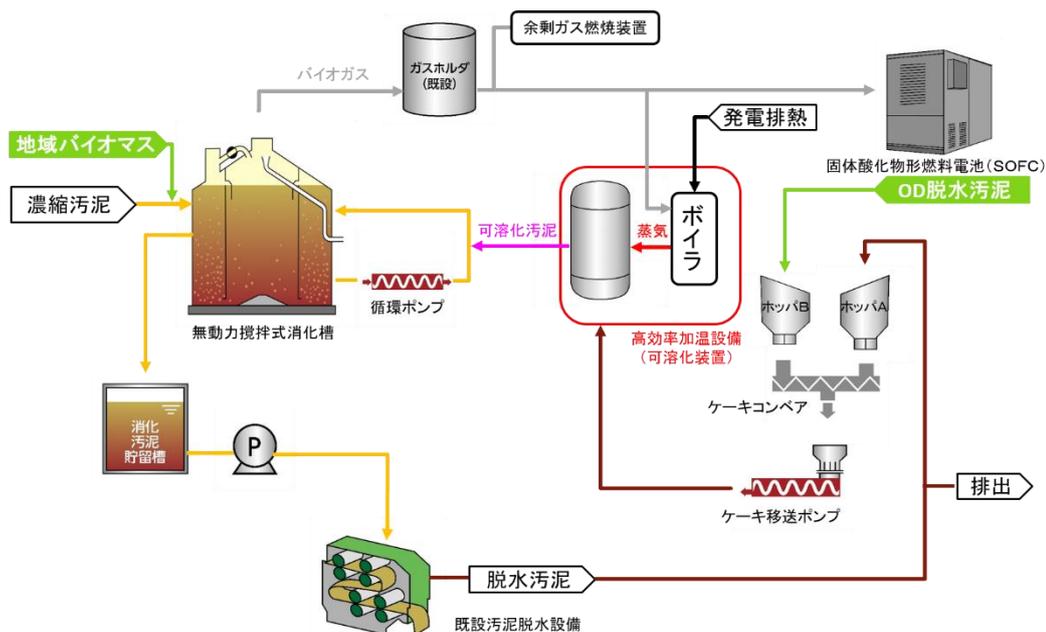
消化槽の処理能力が 25m³/日（下水汚泥+地域バイオマス）、可溶化装置の処理能力 2.5t/日（脱水汚泥）及び固体酸化物形燃料電池の発電量が 9.9kW の設備である。

表資 1.1 設備設計条件

設備・機器名	設計条件	
消化タンク	汚泥処理量	25m ³ /日 固形物量 0.88t/日
	投入汚泥性状	TS 3.5% VS 80%
	消化日数	20 日
	温度	35～40℃（中温消化）
高効率加温設備	処理量	3.4t/日（消化脱水汚泥 2.5t/日、外部 OD 汚泥 1.0t/日）
	汚泥性状	固形分濃度 23% VS 63%
	可溶化投入率	0.4～0.6
	可溶化時間	30 分
	可溶化温度	160～170℃
	運転時間	6 時間/日
固体酸化物形燃料電池	バイオガス量	75Nm ³ /日
	メタン濃度	60%
	発電量	9.9kW
	発電効率	48～50%
脱水設備	汚泥量	27.2m ³ /日 固形物量 0.74t/日
	汚泥性状	固形物濃度 2.72% VS 70%
	含水率	78.5%
蒸気ボイラ	バイオガス量	126Nm ³ /日
	加温熱量	2,300MJ/日
	ボイラ効率	85%

3) 実証試験設備フロー

実証試験設備のフローは図資 1.2 に示すとおりである。濃縮汚泥、地域バイオマスが無動力攪拌式消化槽に受け入れて消化を行う。消化槽で消化された消化汚泥は消化汚泥貯留槽に貯め、既設のベルトプレス型汚泥脱水設備に送る。脱水された汚泥は、一部を系外に排出し、他はホッパに貯留した後、OD 脱水汚泥とともに高効率加温設備に投入する。ここで改質された可溶化汚泥は無動力攪拌式消化槽に投入し、加温を行うとともに再度消化を行う。一方、無動力攪拌式消化槽で発生したバイオガスは、既設のガスホルダに貯留した後、固体酸化物形燃料電池（SOFC）に燃料として供給し、発電を行う。



図資 1.2 実証施設フローシート

4) 実証設備仕様

実証設備の仕様を表資 1.2 実証設備仕様に示す。

表資 1.2 実証設備仕様

機器名称	形式	仕様	数量	備考
消化槽	無動力攪拌式	500m ³	1	鋼板製
消化槽補助ブロワ	ルーツブロワ	3.7kW	1	
消化タンク投入汚泥貯留槽	円筒縦型	20m ³ 攪拌機 2.2kW	1	
消化汚泥投入ポンプ	一軸ネジポンプ	5.5kW	1	
消化汚泥引抜ポンプ	無閉塞汚泥ポンプ	5.5kW	1	
消化汚泥貯留槽	円筒縦型	20m ³ 攪拌機 1.5kW	1	
汚泥供給ポンプ	一軸ネジポンプ	5.5+0.1kW	1	既設流用
汚泥脱水機	ベルトプレス脱水機	ろ布3m幅 2.4kW	1	既設流用
ケーキホッパ	スクリー切出式	場内汚泥用15m ³	1	
ケーキホッパ	スクリー切出式	外部汚泥受入れ用6m ³	1	
ケーキ移送ポンプ	一軸ネジポンプ	5.5+1.5kW	1	
可溶化装置	円筒縦型圧力容器	0.7m ³ /hr	1	一圧機器
加温用ボイラ	貫流式蒸気ボイラ	0.5t/hr 1.6kW	1	
高効率燃料電池	固体酸化物形燃料電池	発電量9.9kW	1	

6) 実証試験条件

本実証設備における下水汚泥のみを処理するときの実証試験条件を表資 1.4 に示す。消化槽の処理能力が 25m³/日、可溶化装置の処理能力 2.5t/日（脱水汚泥）及び固体酸化物形燃料電池の発電量が 9.9kW の設備である。

表資 1.4 実証試験条件

設備・機器名	実証試験条件(計画値)	
無動力攪拌式消化槽	消化槽容量	500m ³ ×1槽
	消化日数	20日
	温度	35～40℃(中温消化)
高効率加温設備 (可溶化装置)	処理量	脱水汚泥:3.4t/日 (消化脱水汚泥:2.5t/日・外部OD汚泥:0.9t/日)
	汚泥性状	・消化脱水汚泥 TS:23% VTS:63% ・外部OD汚泥 TS:15% VTS:80%
	可溶化投入率	0.5(消化脱水汚泥分のみ)
	可溶化時間	30分
	可溶化温度	160～170℃
	運転時間	6時間/日
固体酸化物形燃料電池 (SOFC)	バイオガス量	75Nm ³ /日
	メタン濃度	58～60%
	発電能力	9.9kW
	発電効率	48～50%
蒸気ボイラ	バイオガス量	126Nm ³ /日
	加温熱量	2,300MJ/日
脱水設備 (既設BP脱水機)	汚泥処理量	27.2m ³ /日 固形物量:0.74t/日
	汚泥性状	TS:2.72% VTS:70%
投入汚泥他	汚泥性状他	
濃縮汚泥	TS:	3.5%
	VTS:	80%
消化脱水汚泥(可溶化)	TS:	23%
	VTS:	63%
外部OD汚泥	TS:	15%
	VTS:	80%
地域バイオマス (食品残渣)	TS:	15%
	VTS:	90%

I-2. 実証研究結果

(1) 無動力攪拌式消化槽

1) 消化槽消費電力量

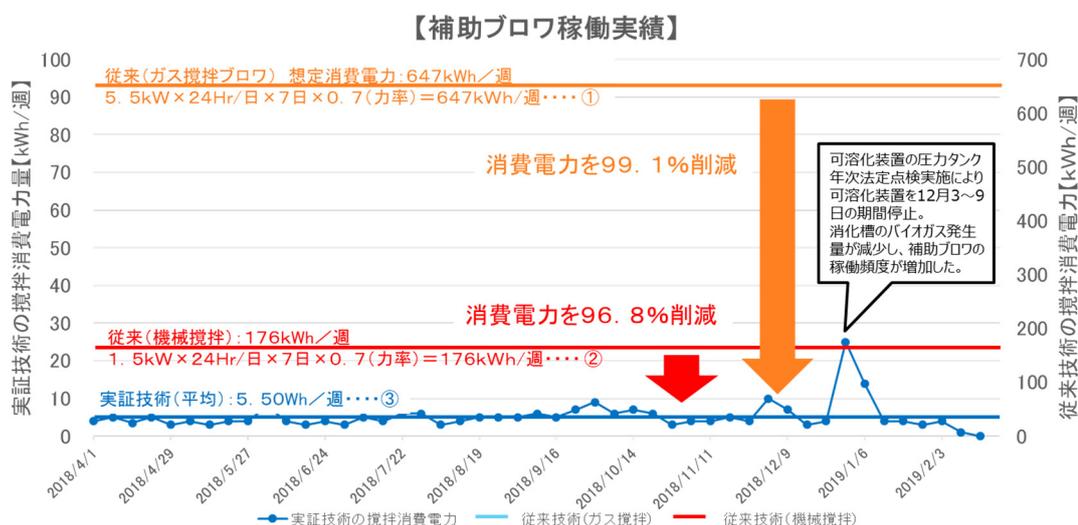
無動力攪拌式消化槽における攪拌動力は、従来の機械攪拌やガス攪拌によるものでなく発生ガスによる水位差を利用した無動力攪拌のためスタートアップ時とガス量が不足する場合の補助ブロウの動力だけである。

補助ブロウの稼働実績を図資 1.3 に示す。H30. 4～H30. 11 の補助ブロウの週平均消費動力は、5.5kWh である。一方、同じ消化槽容量のガス攪拌と機械攪拌動力は次のように想定される。

ガス攪拌ブロウ： $5.5\text{kW} \times 24\text{hr}/\text{日} \times 7\text{日} \times 0.7(\text{力率}) = 647\text{kWh}/\text{週}$

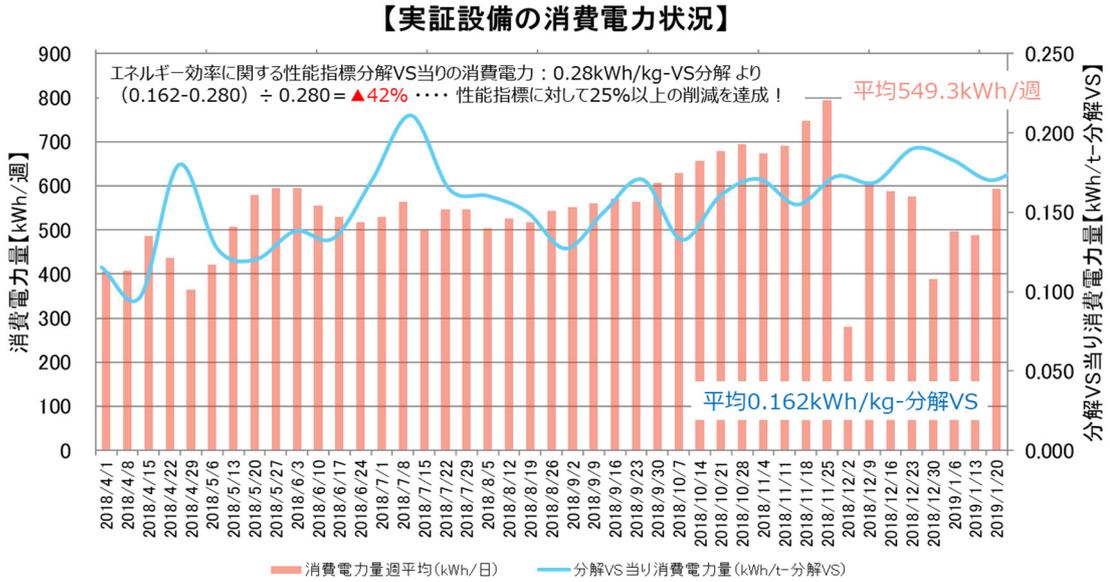
機械攪拌： $1.5\text{kW} \times 24\text{hr}/\text{日} \times 7\text{日} \times 0.7(\text{力率}) = 176\text{kWh}/\text{週}$

以上より消費動力削減率は対ガス攪拌に対し 99.1%、機械攪拌に対し 96.8%である。いずれも目標削減率 90%以上を達成した。

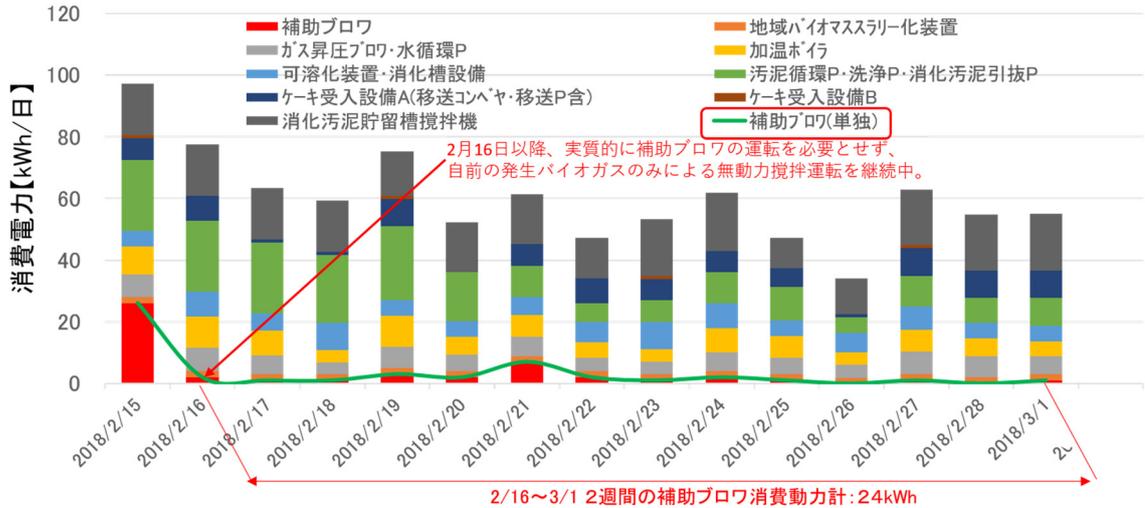


図資 1.3 補助ブロウ稼働実績

消化設備の消費電力量および分解 VS 当り消費電力量を図資 1.4 に示す。消化設備の消費電力量の内訳および推移を図資 1.5 に示す。2018 年 4 月から 2019 年 1 月における平均の分解 VS 当り消費電力量は 0.162kWh/kg-分解 VS であり、エネルギー効率に関する性能指標値の 0.28kWh/kg-分解 VS に対して 25%以上の削減を達した。



図資 1.4 実証設備の消費電力状況

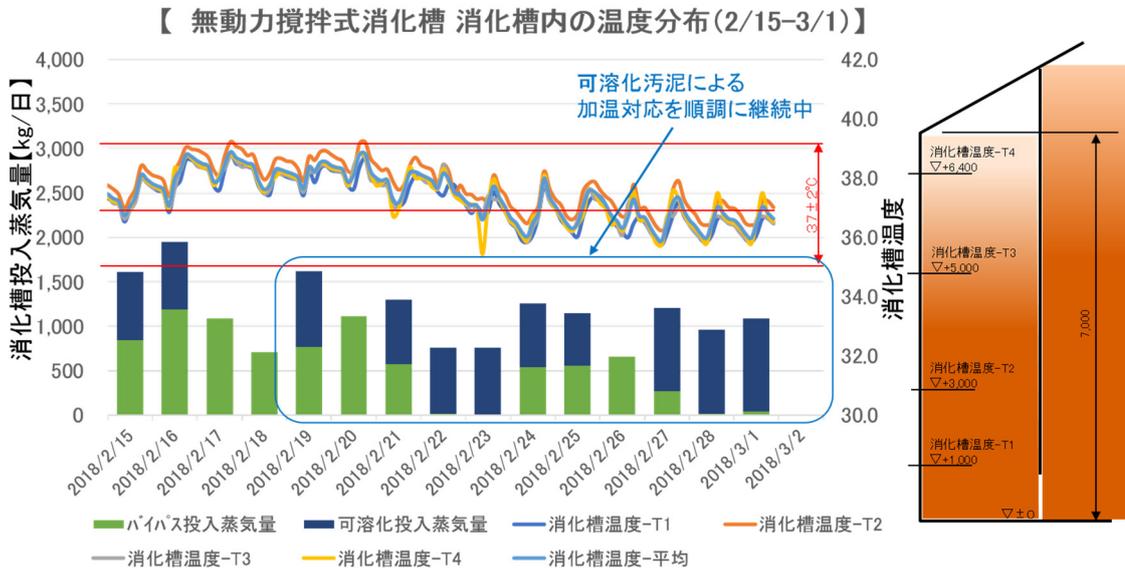
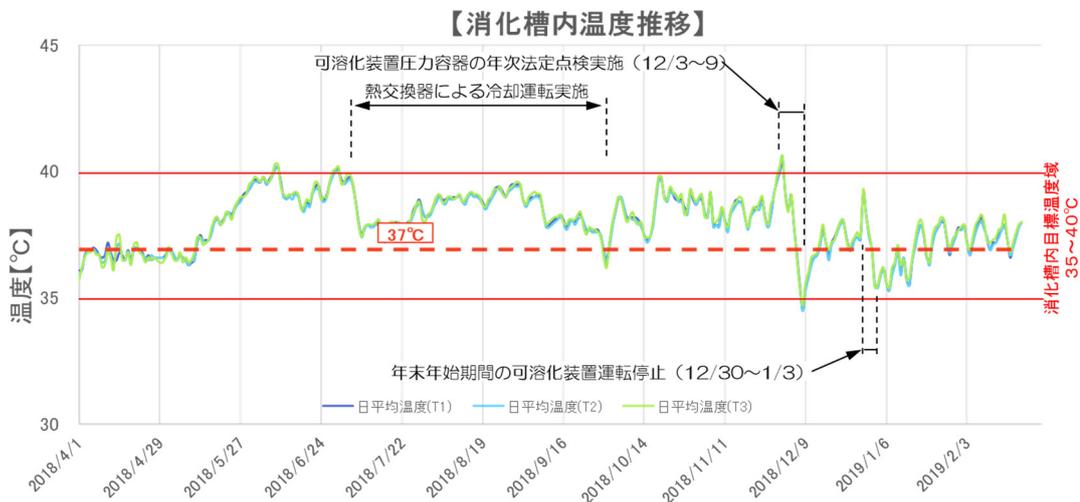


図資 1.5 消費電力の内訳と推移

2) 消化槽内温度推移

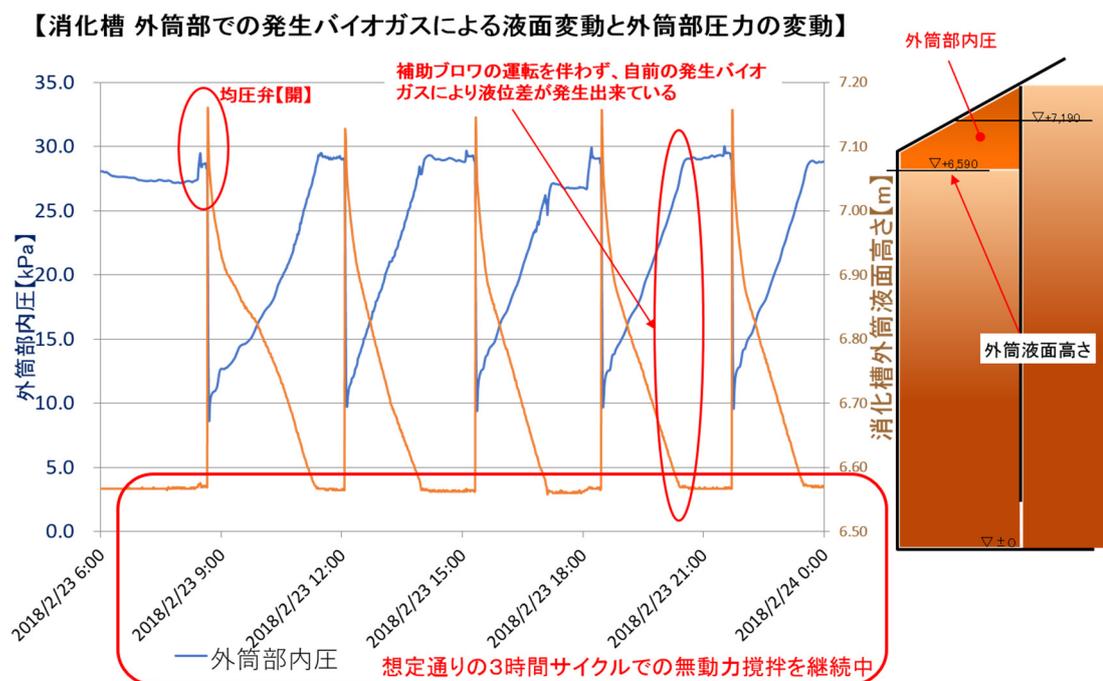
平成 30 年 4 月以降の消化槽内の温度推移を図資 1.6 に示す。夏場に槽内温度：40℃以上を確認し、汚泥循環ラインでの冷却運転を実施したが、運転期間において無動力攪拌による運転で槽内の各温度が概ね 35～40℃を維持した。消化槽内温度実測データから、底部・中部・上部の槽内温度がほぼ近似して推移していることより、槽内汚泥の攪拌は安定的に実施されていることを確認した。

また、消化槽内の各レベルの温度T1(底部)、T2(中部)、T3(上部)に温度計を設置して、運転初期における消化槽内での温度分布を測定し、その推移を図資 1.7 に示す。各レベルの温度差はほとんどなく消化槽内の攪拌が十分に行われていることを示す。



3) 外筒部での発生バイオガスによる液面変動と外筒部の圧力変化

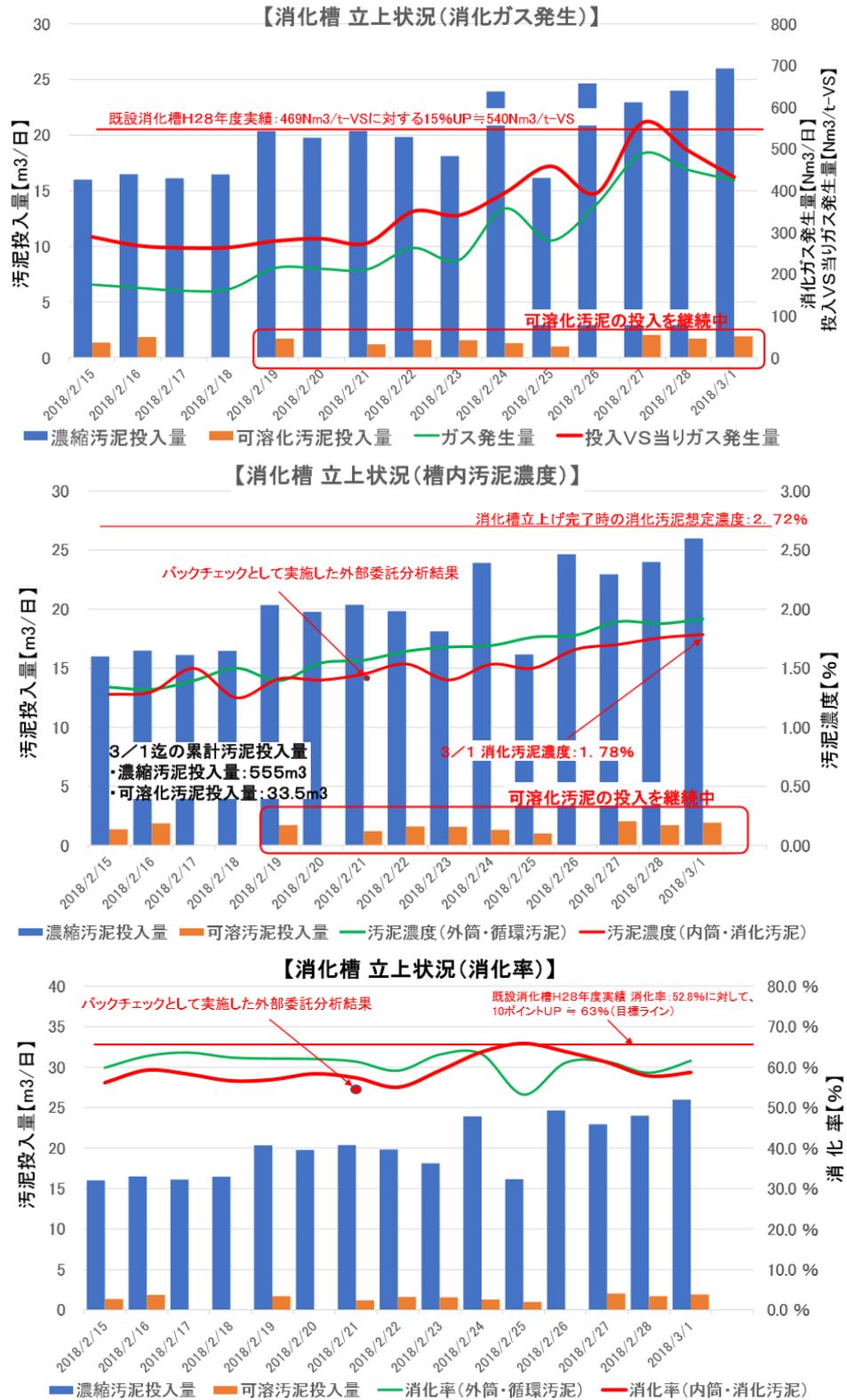
3 時間サイクルで水位差による槽内攪拌を実施しているが、この時の外筒部での発生バイオガスによる液面変動と外筒部の圧力変化の状況例を図資 1.8 に示す。想定通りの 3 時間サイクルでの無動力攪拌を実施し、補助ブロウの運転を伴わず、自前の発生バイオガスにより液位差が発生出来ているのを確認した。



図資 1.8 消化槽の液面変動と外筒部圧力変化

4) 消化槽運転立ち上げ状況

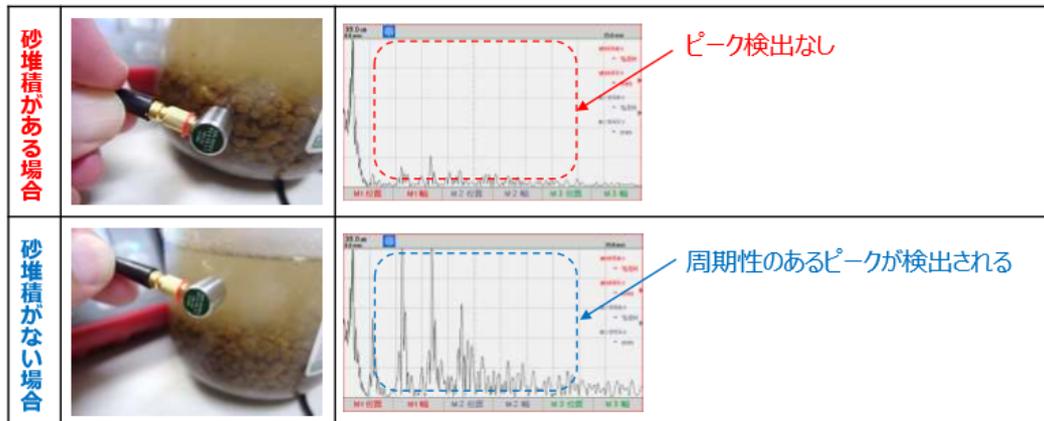
消化槽運転立ち上げ時の槽内汚泥濃度、バイオガス発生量、消化率の変化を図資 1.9 に示す。



図資 1.9 消化槽運転立ち上げ状況

5) 消化槽内土砂堆積状況

超音波探傷器にて、消化槽外面から消化槽底部の土砂堆積の有無を確認した結果を図資 1.10 に示す。結果から底部に土砂の堆積が認められなかった。



・無動力攪拌式消化槽底部の実測



周期性のあるピークが検出された。



消化槽外周 5 箇所について検査を行ったが、いずれも砂等の堆積がない場合のピークが検出され、消化槽底部に砂の堆積がないことが確認された。

図資 1.10 消化槽底部土砂堆積状況

6) 消化槽内発泡状況

消化槽の外筒および内筒表面の写真を図資 1.11 に示す。いずれもスカム堆積、発泡現象が認められなかった。



内筒部槽内状況
(中央が消化污泥排出管呑み口)



外筒部槽内状況

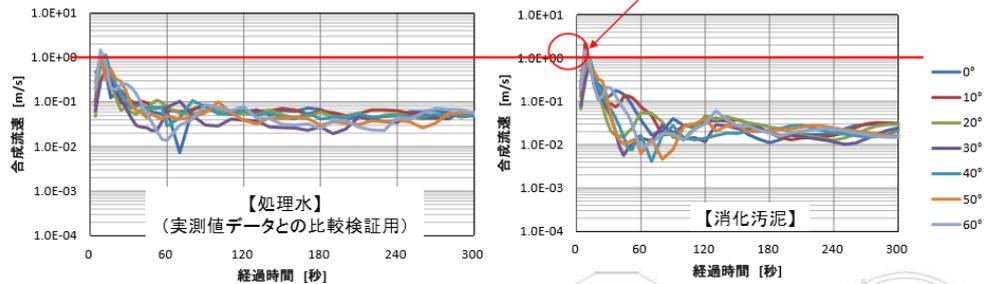
図資 1.11 消化槽発泡状況

7) 消化槽流動解析

流動解析より均圧弁【開】後、槽内底部にて瞬時流速：1.0m/s以上の攪拌流速が発生すると想定し、処理水での流動解析結果及び処理水実測データとの比較検証により消化汚泥での想定値の妥当性を検証した。流動解析の結果を図資 1.12 に示す。

【無動力攪拌式消化槽 流動解析シミュレーションデータ】

流動解析の結果として均圧弁【開】後、底部に流速：1.0m/s以上の攪拌流速が発生していると想定



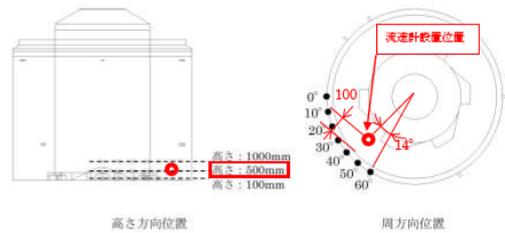
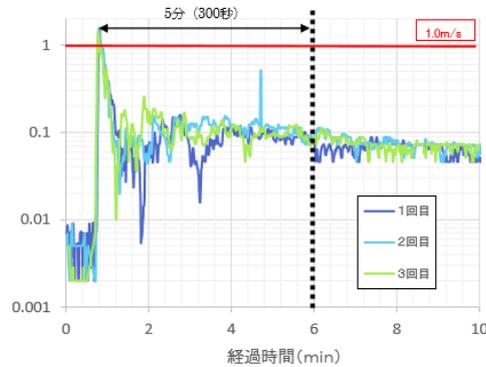
【無動力攪拌式消化槽 槽内流速の経時変化】

【検証結果】

1. 流動解析より槽内底部にて瞬時流速：1.0m/s以上の攪拌流速が発生すると想定
2. 処理水での流動解析結果及び次ページ実測データとの比較検証により上記消化汚泥での想定値の妥当性を検証した。
3. 検証結果として、流動解析による想定値は、妥当な範囲であると評価した。



【無動力攪拌式消化槽 処理水による底部流速実測データ】



図資 1.12 消化槽流動解析

(2) 高効率加温設備

1) 可溶化によるバイオガス発生増量効果

①可溶化汚泥のみ投入時によるガス発生量増加効果

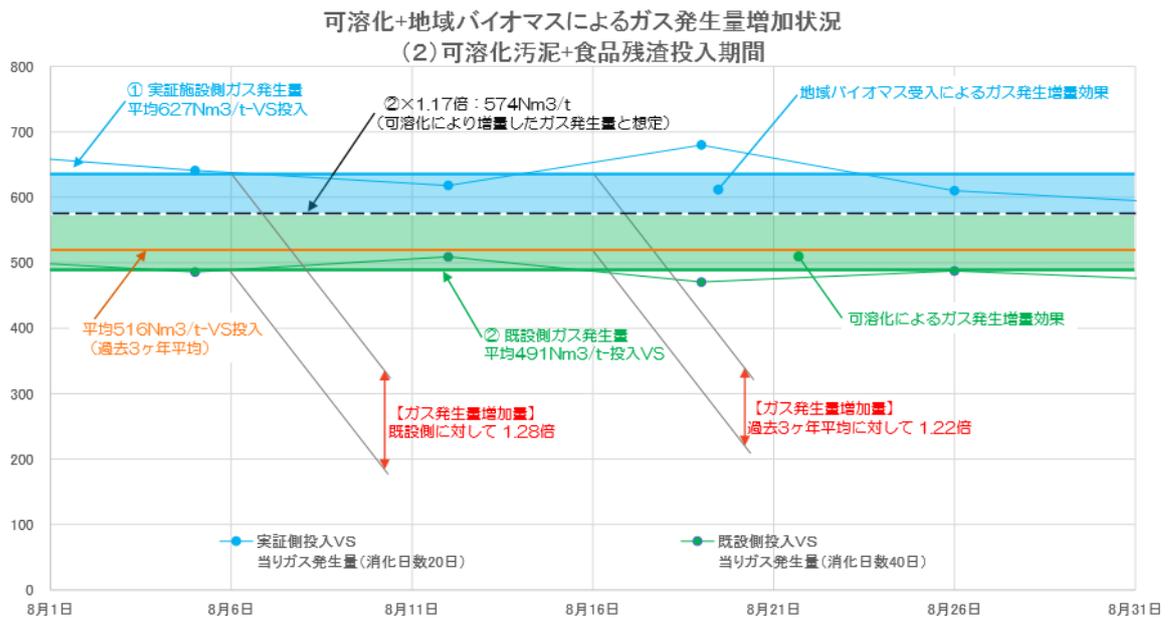
地域バイオマス、外部汚泥を投入しない可溶化汚泥のみ投入時の H30 年 5 月の約 1 か月における可溶化によるバイオガス発生量を図資 1.13 に示す。この間の平均の投入 VS 当りガス発生量は $620\text{Nm}^3/\text{t}$ -投入 VS であった。一方、同一時期の既設の投入 VS 当りガス発生量は $529\text{Nm}^3/\text{t}$ -投入 VS (消化日数: 約 40 日) で 17%、既設の過去 3 年 (H27~H29 年度) の実績は、 $516\text{Nm}^3/\text{t}$ -投入 VS (消化日数: 約 40 日) で 20% の増量であった。



図資 1.13 可溶化によるバイオガス発生増量効果

②地域バイオマス受け入れによるガス発生量増加効果

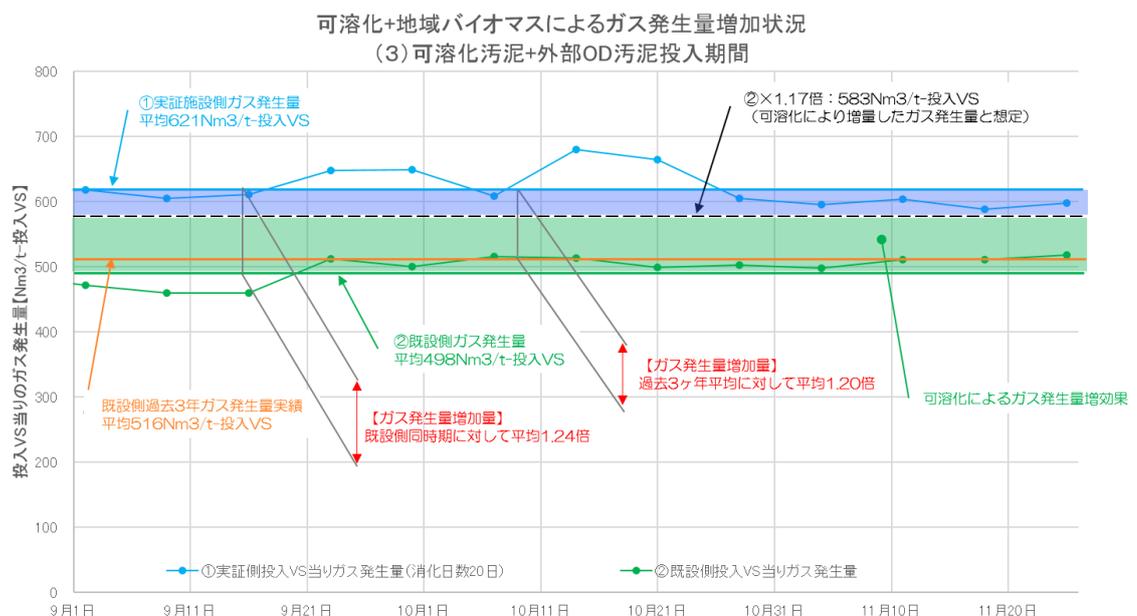
地域バイオマス(食品残渣)を受け入れた H30 年 8 月の約 1 か月における可溶化によるバイオガス発生量を図資 1.14 に示す。この間の平均の投入 VS 当りガス発生量は $627\text{Nm}^3/\text{t}$ -投入 VS であった。一方、同一時期の既設の投入 VS 当りガス発生量は $491\text{Nm}^3/\text{t}$ -投入 VS (消化日数: 約 40 日) で同一時期の既設に対し 28%、既設の過去 3 年 (H27~H29 年度) の実績は、 $516\text{Nm}^3/\text{t}$ -投入 VS (消化日数: 約 40 日) で既設の過去 3 年に対し 22% の増量であった。



図資 1.14 地域バイオマス受け入れガス発生増量効果

③外部汚泥 (OD 汚泥) 受け入れによるガス発生増量効果

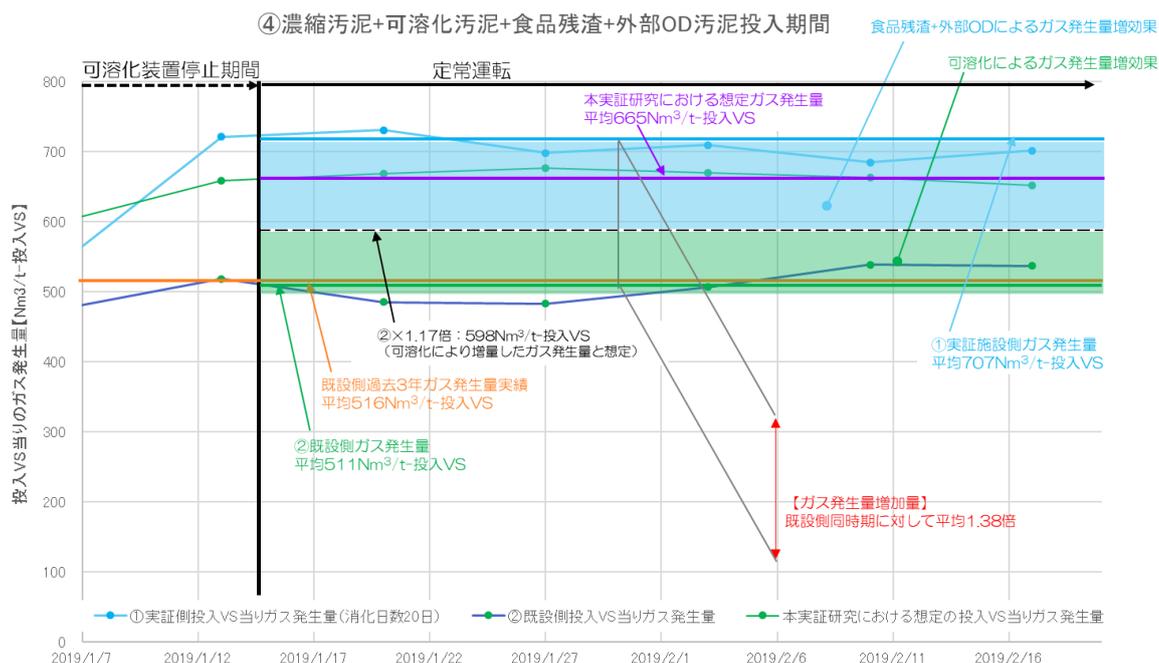
外部OD汚泥を受け入れた H30 年 9～11 月の約 3 か月における可溶化によるバイオガス発生量を図資 1.15 に示す。この間の平均の投入 VS 当りガス発生量は 621Nm³/t-投入 VS であった。一方、同一時期の既設の投入 VS 当りガス発生量は 498Nm³/t-投入 VS (消化日数：約 40 日) で、既設の過去 3 ヶ年 (H27～H29 年度) の実績は、516Nm³/t-投入 VS (消化日数：約 40 日) であった。同一時期の既設に対し 24%、既設の過去 3 ヶ年に対し 20%の増量であった。



図資 1.15 外部汚泥 (OD 汚泥) 受け入れガス発生増量効果

④地域バイオマス+外部汚泥受入れ時のバイオガス発生量

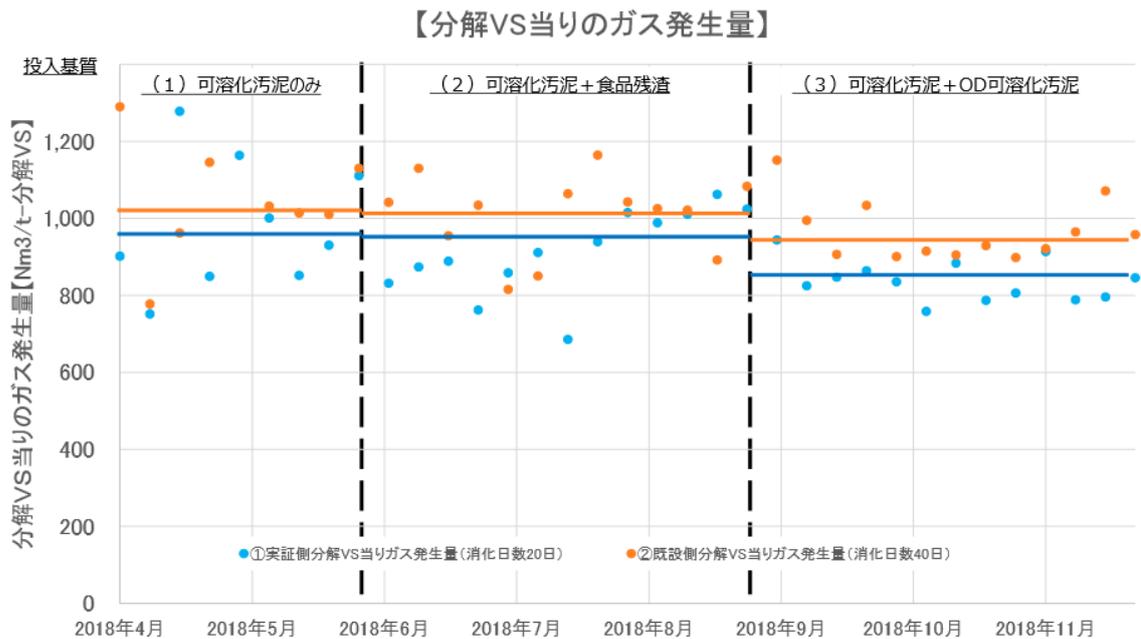
地域バイオマス(食品残渣)+外部汚泥(OD汚泥)受入れ後、H30.12~H31.1のバイオガス発生量を図資1.16に示す。この期間における平均の投入VS当りガス発生量は $707\text{Nm}^3/\text{t-VS}$ であった。同一時期の既設側ガス発生量は $511\text{Nm}^3/\text{t-VS}$ に対し、1.38倍量であった。既設側過去3ヵ年平均値に対しては1.37倍のガス発生量増量効果を確認した。また、従来技術(ガス発生量 $500\text{Nm}^3/\text{t-VS}$)に対しては1.41倍である。



図資 1.16 地域バイオマス+外部汚泥受入れ時のバイオガス発生増量効果

⑤分解 VS 当りガス発生量

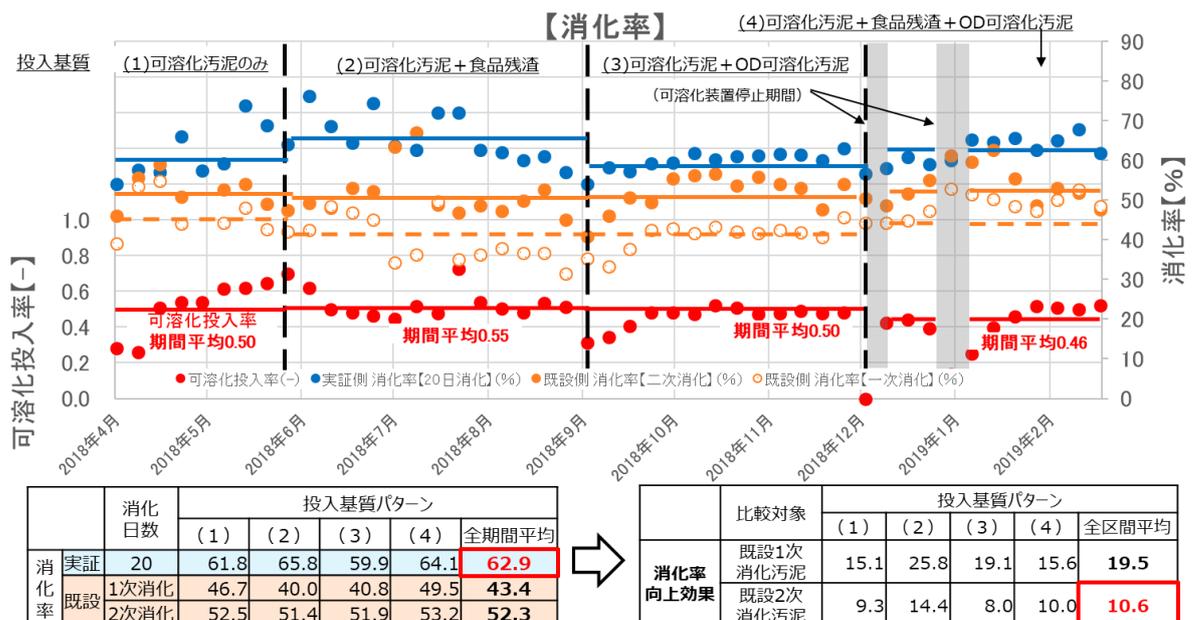
H30年4月以降の分解VS当りガス発生量を図資1.17に示す。分解VS当りガス発生量は実証、既設とも $800\sim 1,000\text{Nm}^3/\text{t-VS}$ であるが実証は既設に比べ低い値となっている。可溶化によって分解されたVSの内ガスに転換しなかった部分があると想定される。



図資 1.17 分解 VS 量当たりガス発生量推移

2) 消化率

消化率の推移を図資 1.18 に示す。運転期間中の消化率の平均値は、既設消化施設消化日数 20 日の 43.4%、40 日の 52.3%に対し、実証施設は 62.9%であった。それぞれ 19.5 ポイント、10.6 ポイントの上昇が得られた。また、従来技術消化率の 50%に対して 12.9 ポイントの上昇結果となった。



図資 1.18 消化率推移

3) CODcr 収支および VS 収支

消化槽への投入 CODcr 量および排出 CODcr 量を算出し、収支を確認した結果を表資 1.5 に示す。排出 CODcr 量を投入 CODcr 量で割った CODcr 回収率はほぼ 100%に近い値が得られ、物質収支がほぼ取れていることが確認できた。また、CODcr 量のバイオガスのメタンへの転換割合を示すメタン転換率は 61.5~76.7%であり、可溶化を行わない通常の消化の 40~50%を大きく上回った結果が得られた。

表資 1.5 消化槽における CODcr 収支

測定日	種別	CODcr		投入/排出CODcr [kg/日]	CODcr回収率 [%]	メタン転換率 [%]		
		[mg/L]	日平均投入/排出量 [t/日]					
10月31日	投入CODcr	①濃縮汚泥	38,000	26.2	1,079	104%	69.0%	
		②食品残渣	—	—				
		③外部OD脱水汚泥	140,000	0.6				
	排出CODcr	④消化汚泥	28,000	30.2	1,126			
		⑤バイオガス	—	450m ³ /日				744*1
		⑥場内脱水汚泥	220,000	2.1				-465
11月21日	投入CODcr	①濃縮汚泥	33,000	25.8	946	113%	76.7%	
		②食品残渣	—	—				
		③外部OD脱水汚泥	170,000	0.56				95
	排出CODcr	④消化汚泥	27,000	30	1,065			
		⑤バイオガス	—	439m ³ /日				726*1
		⑥場内脱水汚泥	220,000	2.1				-471
12月19日	投入CODcr	①濃縮汚泥	45,000	24.9	1,321	94.8%	61.5%	
		②食品残渣	—	1.4				89
		③外部OD脱水汚泥	150,000	0.76				113
	排出CODcr	④消化汚泥	24,000	30.1	1,252			
		⑤バイオガス	—	492m ³ /日				813*1
		⑥場内脱水汚泥	150,000	1.9				-283
1月9日	投入CODcr	①濃縮汚泥	38,000	26.4	1,121	103%	64.1%	
		②食品残渣	—	1.0				65
		③外部OD脱水汚泥	170,000	0.31				53
	排出CODcr	④消化汚泥	23,000	27.7	1,155			
		⑤バイオガス	—	435m ³ /日				719*1
		⑥場内脱水汚泥	210,000	3.471				-268

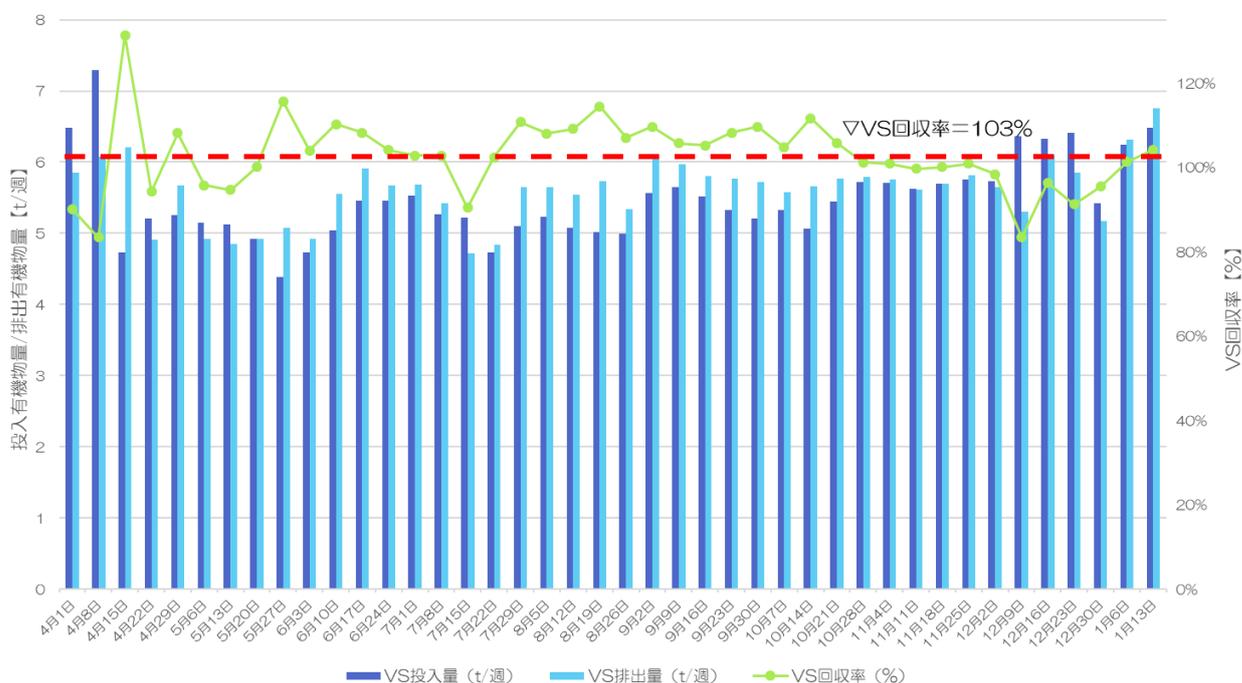
消化槽への投入 VS 量および排出 VS 量を算出し、収支を確認した結果を表資 1.6 に示す。排出 VS 量を投入 VS 量で割った VS 回収率はほぼ 100%に近い値が得られた。また、VS 量のバイオガスのメタンへの転換割合を示すメタン転換率は 59.5~67.4%であった。

表資 1.6 消化槽における VS 収支

測定期間	種別	投入/排出VS[t/週]	VS回収率[%]	メタン転換率	
10/28~11/3	投入VS量	①投入汚泥（食残含）	5.21	101%	67.4%
		②外部OD脱水汚泥	0.50		
	排出VS量	③消化汚泥	4.04		
		④バイオガス	3.85 ^{※2}		
		⑤場内脱水汚泥	2.10		
11/18~11/24	投入VS量	①投入汚泥（食残含）	5.22	100%	65.9%
		②外部OD脱水汚泥	0.47		
	排出VS量	③消化汚泥	4.1		
		④バイオガス	3.75 ^{※2}		
		⑤場内脱水汚泥	2.15		
12/16~12/22	投入VS量	①投入汚泥（食残含）	5.66	96.4%	66.4%
		②外部OD脱水汚泥	0.66		
	排出VS量	③消化汚泥	3.87		
		④バイオガス	4.20 ^{※2}		
		⑤場内脱水汚泥	1.97		
1/6~1/12	投入VS量	①投入汚泥（食残含）	5.97	101%	59.5%
		②外部OD脱水汚泥	0.27		
	排出VS量	③消化汚泥	3.82		
		④バイオガス	3.71 ^{※2}		
		⑤場内脱水汚泥	1.21		

実証期間中の VS 回収率の推移を図資 1.19 に示した。期間中の VS 回収率の平均値は 103% で有機物収支が取れていることを確認した。

消化槽基準の有機物量収支

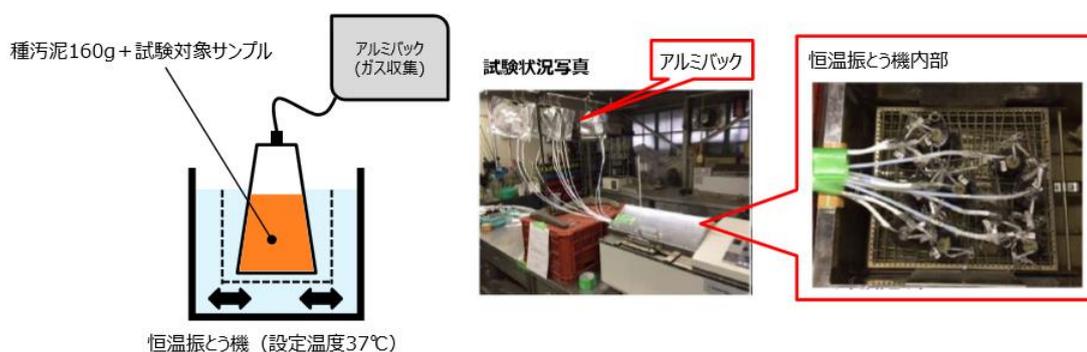


図資 1.19 VS 回収率の推移

4) 回分試験

各基質のバイオガス発生ポテンシャルを確認するために回分試験を実施した。回分試験方法を図資 1.20 に示す。37℃に設定した高温振とう機に種汚泥(実証設備消化汚泥)と試験対象サンプルを入れた 200mL バイアル瓶をセットし、14 日間振とう発酵を行った。発生したガスはテフロン管からアルミパックに捕集し、ガスシリンジを用いて発生したバイオガス量を測定した。

回分試験は合計 3 回おこなった。各回分試験の結果を表資 1.7~1.9、回分試験から得られたバイオガス発生ポテンシャルの結果を図資 1.21 に示す。この設計単位バイオガス量における投入 VS 当りバイオガス発生量の増加量が図資 1.22 の実証設備マテリアルバランスに示すように、30%以上となることを確認した。



図資 1.20 回分試験装置

表資 1.7 第 1 回 回分試験結果

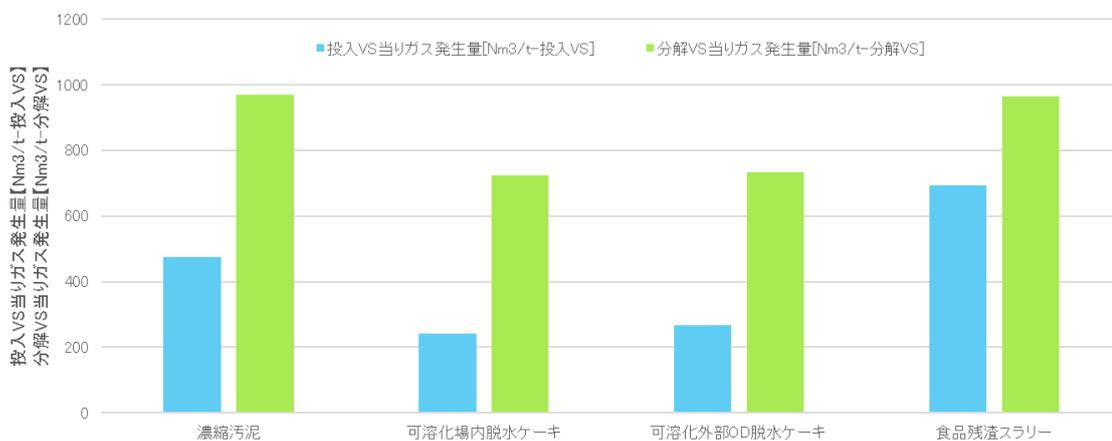
No.		消化前		消化後		TS分解率	VS分解率	投入VS当りガス発生量(Nm3/t-投入VS)	分解VS当りガス発生量(Nm3/t-分解VS)
		TS(%)	VTS(%)	TS(%)	VTS(%)				
1	消化汚泥のみ	2.85	68.6	2.79	67.4	-	-	-	-
2	濃縮汚泥	3.01	71.3	2.66	68.1	39.9%	47.5%	479	1009
3	可溶化場内脱水ケーキ	3.47	69.4	3.23	67.1	21.0%	29.2%	150	515
4	可溶化外部OD脱水ケーキ	3.30	71.7	2.92	69.0	38.0%	52.7%	345	654
5	外部OD脱水ケーキ	-	-	-	-	-	-	-	-
6	食品残渣スラリー	5.34	85.8	5.00	84.4	16.9%	19.1%	-	-

表資 1.8 第 2 回 回分試験結果

No.		消化前		消化後		TS分解率	VS分解率	投入VS当りガス発生量(Nm3/t-投入VS)	分解VS当りガス発生量(Nm3/t-分解VS)
		TS(%)	VTS(%)	TS(%)	VTS(%)				
1	消化污泥のみ	2.82	67.8	2.73	66.6	-	-	-	-
2	濃縮污泥	2.89	82.3	2.55	67.8	36.9%	42.0%	494	1164
3	可溶化場内脱水ケーキ	3.06	68.8	3.11	67.0	25.1%	33.1%	336	1017
4	可溶化外部OD脱水ケーキ	3.10	68.7	3.22	70.5	17.3%	11.7%	214	1765
5	外部OD脱水ケーキ	3.10	70.0	3.27	67.5	16.7%	32.6%	266	817
6	食品残渣スラリー	-	-	-	-	-	-	-	-

表資 1.9 第 3 回 回分試験結果

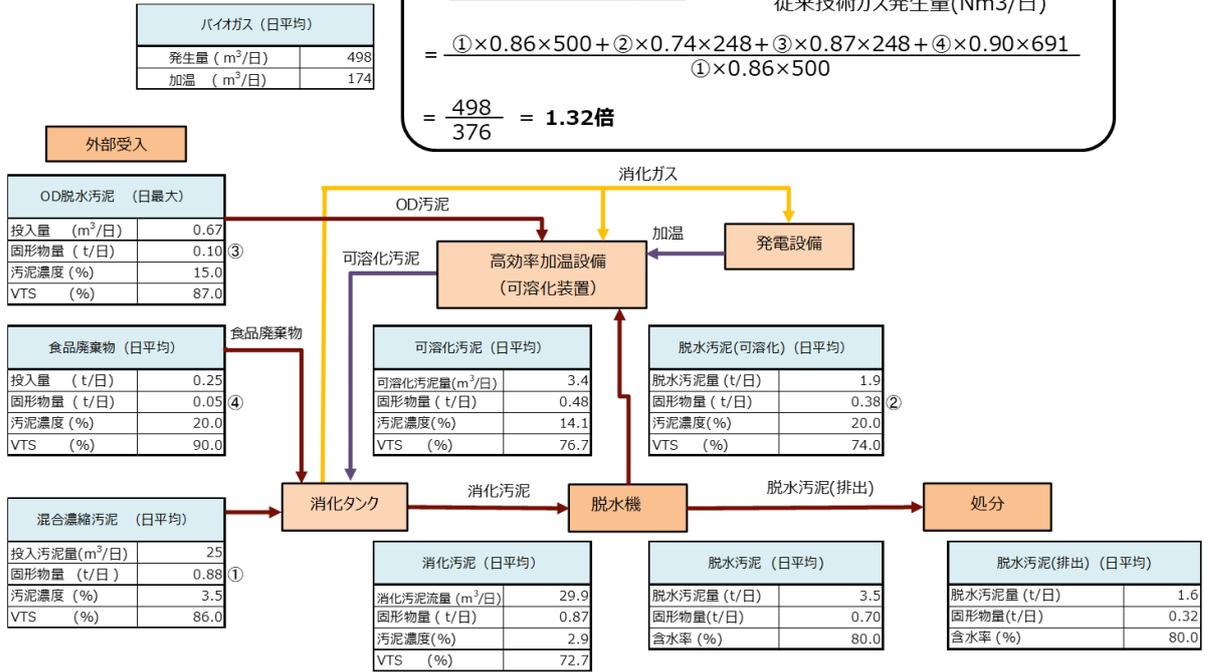
No.		消化前		消化後		TS分解率	VS分解率	投入VS当りガス発生量(Nm3/t-投入VS)	分解VS当りガス発生量(Nm3/t-分解VS)
		TS(%)	VTS(%)	TS(%)	VTS(%)				
1	消化污泥のみ	2.87	69.0	2.88	68.7	-	-	-	-
2	濃縮污泥	2.91	71.9	2.55	68.7	58.8%	62.6%	453	723
3	可溶化場内脱水ケーキ	3.52	69.8	3.25	67.9	32.9%	37.8%	242	641
4	可溶化外部OD脱水ケーキ	3.53	70.0	3.29	67.6	29.0%	36.6%	268	769
5	外部OD脱水ケーキ	3.61	73.4	3.29	71.8	36.0%	34.1%	180	537
6	食品残渣スラリー	2.96	71.5	2.33	66.9	69.3%	72.0%	694	964



設定値	濃縮污泥	可溶化場内脱水ケーキ	可溶化外部OD脱水ケーキ	食品残渣スラリー
投入VS当りガス発生量 [Nm3/t-投入VS]	500	248	248	691
分解VS当りガス発生量 [Nm3/t-分解VS]	1000	750	750	960
分解率[%]	50	33	33	72

図資 1.21 回分試験結果

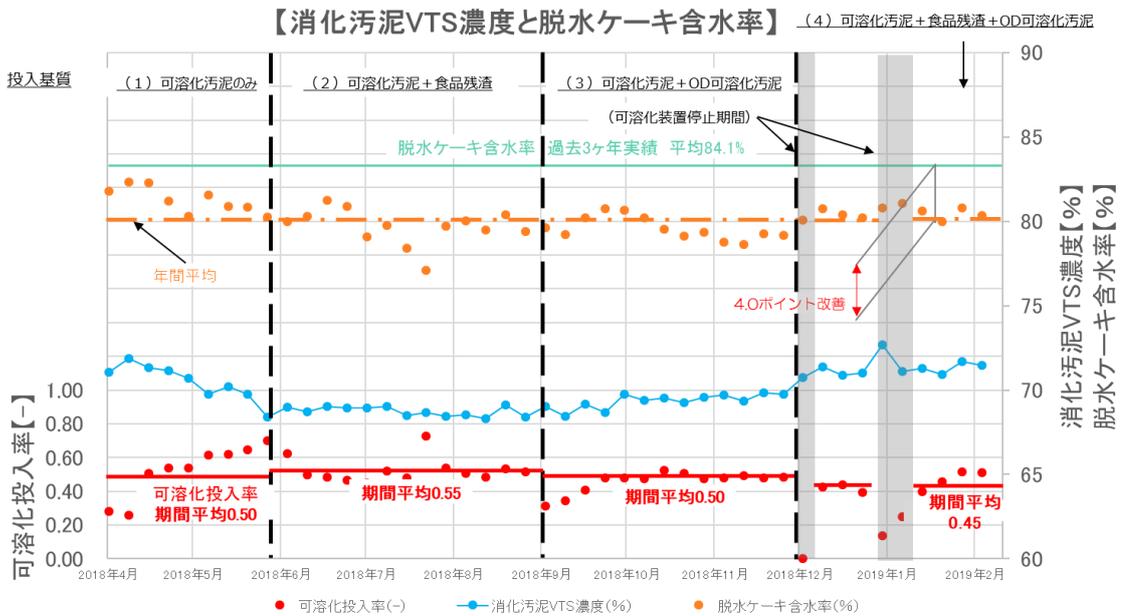
実証設備マテリアルバランス



図資 1.22 実証設備マテリアルバランス試算

5) 消化汚泥 VTS 濃度と脱水ケーキ含水率の経日変化

消化汚泥 VTS 濃度と脱水ケーキ含水率の経日変化を図資 1.23 に示す。既設 BP 脱水機での H27~H28 年度の平均含水率: 84.1% に対して、年間平均値として 4.0 ポイント含水率が改善した。



図資 1.23 VTS と含水率の経日変化

6) 遠心脱水機による含水率低減効果確認

移動脱水車(実機ベース)の遠心脱水機による脱水試験結果を表資 1.10 に示す。春期実施期間では、既設消化汚泥に比較して①固形物負荷量が等しい場合に 6.7 ポイント、②汚泥供給量が等しい場合に 6.5 ポイントの含水率低減効果を確認した。冬期実施期間では、既設消化汚泥に比較して①固形物負荷量が等しい場合に 6.7 ポイント、②汚泥供給量が等しい場合に 5.4 ポイントの含水率低減効果を確認した。

表資 1.10 遠心脱水機による含水率低減効果

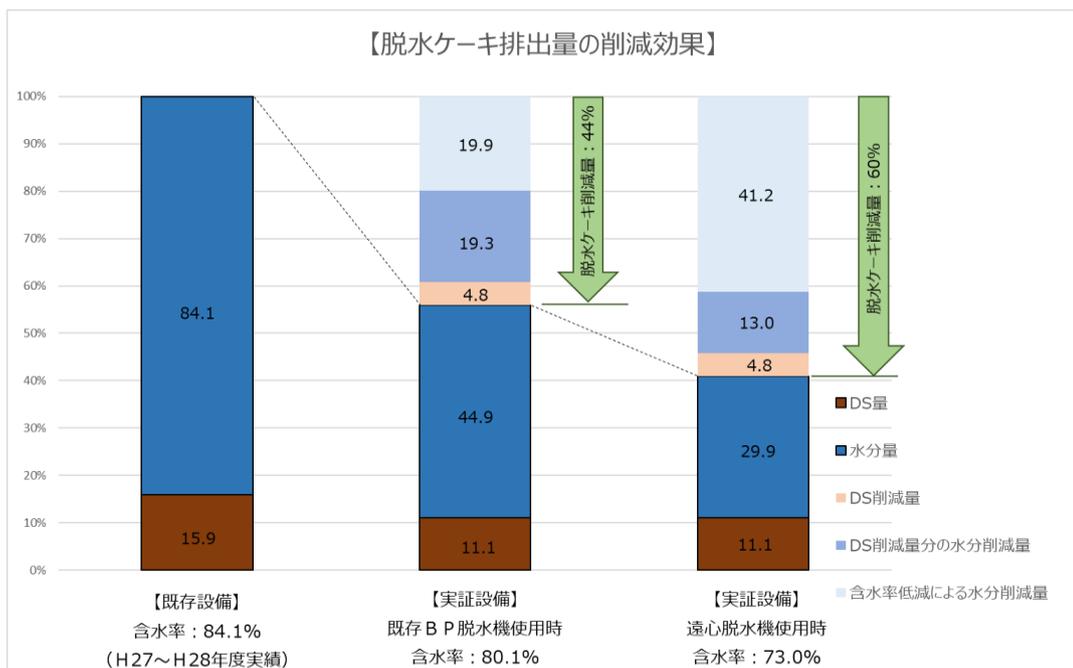
使用脱水機：巴工業（株）HED50型

実証設備の投入基質		可溶化汚泥のみ				可溶化汚泥+外部OD汚泥			
運転方法		低含水率① (固形物負荷量が等しい)		低含水率② (汚泥供給量が等しい)		低含水率① (固形物負荷量が等しい)		低含水率② (汚泥供給量が等しい)	
汚泥種類		実証側 消化汚泥	既設側 消化汚泥	実証側 消化汚泥	既設側 消化汚泥	実証側 消化汚泥	既設側 消化汚泥	実証側 消化汚泥	既設側 消化汚泥
実証試験期間		5/7~21	5/22~30	5/7~21	5/22~30	12/4~14	12/17~20	12/4~14	12/17~20
遠心力	G	2,400	2,400	2,100	2,100	2,100	2,100	2,100	2,100
TS	%	2.71	1.75	2.83	1.78	2.84	1.75	2.83	1.75
汚泥供給量	m ³ /h	3.0	4.5	5.0	5.0	3	5.0	5.0	5.0
固形物処理量	kgDS/h	81	79	142	89	85	88	142	88
差速	min ⁻¹	1.0	1.1	1.8	1.2	1.1	1.2	1.8	1.2
高分子薬注率	%	2.7	2.8	2.4	2.5	2.6	2.7	2.4	2.4
ケーキ含水率	%	73.0	79.7	73.8	80.3	72.1	78.8	73.5	78.9
含水率低減効果	ポイント	6.7		6.5		6.7		5.4	
SS回収率	%	99.5	95.9	99.3	96.9	99.5	99.3	99.1	99.3

7) 脱水ケーキ排出量の削減効果

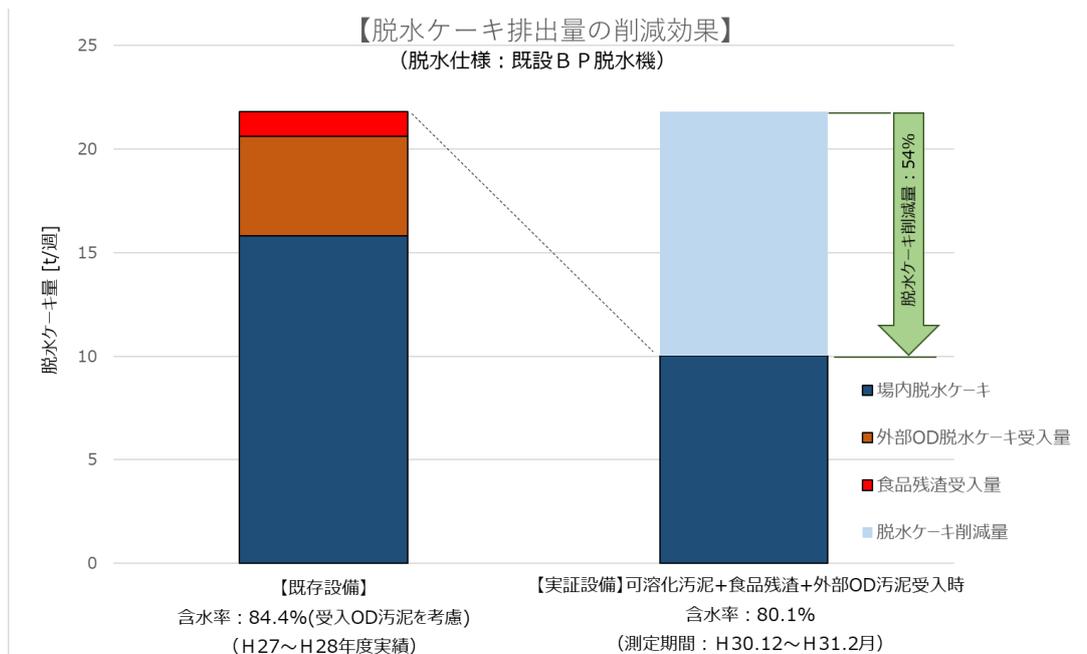
可溶化汚泥のみの脱水ケーキ排出量の削減効果を図資 1.24 に示す。既設 BP 脱水機での含水率低減効果：4.0 ポイントを適用した場合の汚泥削減効果：44% を確認した。遠心脱水機による含水率低減効果を適用した場合、汚泥削減効果は 60%である。

汚泥削減効果：44%の内訳は、DS 削減量：4.8%、DS 削減量分の水分削減量：19.3%、含水率低減による水分削減量：19.9%である。



図資 1.24 脱水ケーキ量の削減効果(可溶化のみ)

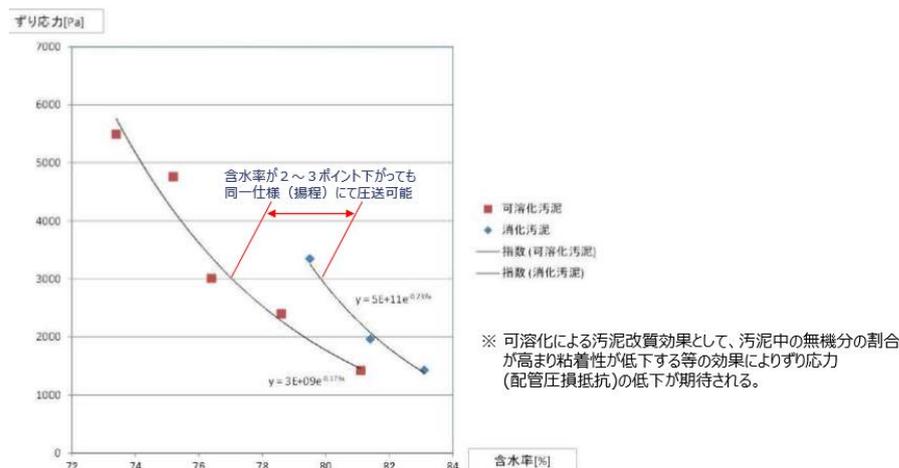
可溶化汚泥+食品残渣+外部 OD 汚泥投入時の脱水ケーキ量削減効果を図資 1.25 に示す。既設 BP 脱水機での脱水ケーキ削減効果は、含水率低減効果: 4.0 ポイントを適用した場合、削減率 54% となった。汚泥削減効果: 54% の内訳は、可溶化による消化率向上による削減: 14%、含水率低減による削減 40% である。



図資 1.25 脱水ケーキ排出量削減効果(可溶化+外部汚泥受入+食品残渣受入)

8) 脱水ケーキずり応力の測定結果

可溶化による低含水率運転を実施した時に懸念される脱水ケーキ圧送時のずり応力(配管圧送による圧力損失抵抗)に関して、従来汚泥(中温消化)の脱水ケーキに比較して、実証汚泥の脱水ケーキの比較検証を実施した。結果を図資 1.26 に示す。実証汚泥は、遠心脱水機(移動脱水車)による低含水率(含水率:70%台)運転時に実施した。検証結果として、含水率を2~3ポイント下げられる結果を脱水ケーキ移送ポンプメーカーと確認した。



図資 1.26 脱水ケーキずり応力測定結果

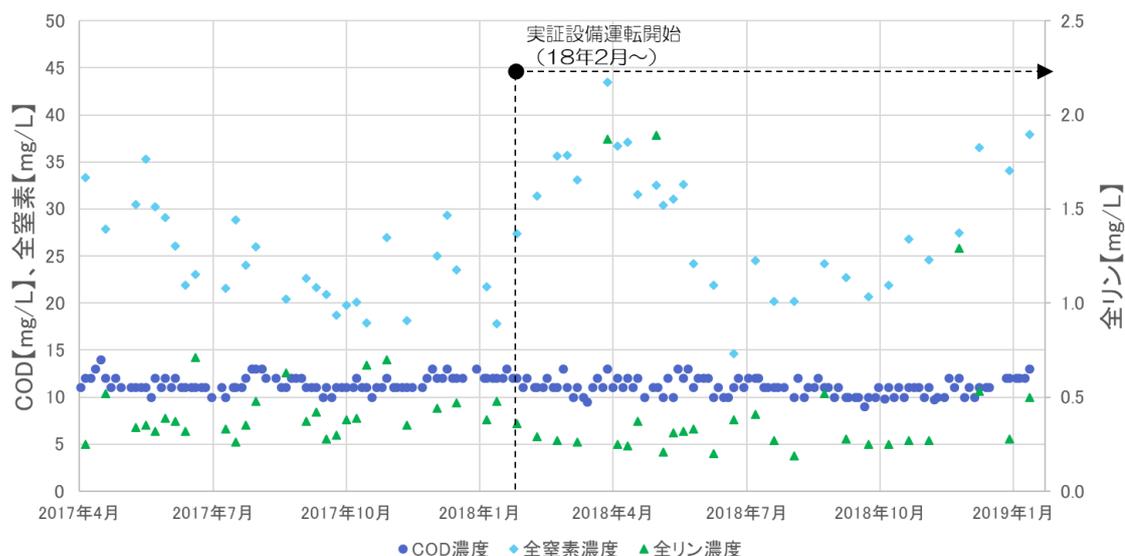
9) 返流水質への影響について

実証設備運転の H29 年 4 月~H31 年 1 月までの唐津市浄水センターの放流水中の COD・全窒素濃度(T-N)・全リン濃度(T-P)の推移を図資 1.27 に示す。実証設備(日発生濃縮汚泥量:120m³中、約 25m³を処理)運転開始前後でも顕著な水質の悪化はみられていない。既設および実証設備の消化汚泥をろ紙でろ過した分離液の COD、T-N、T-P の分析値を表資 1.11 に示す。消化汚泥の熱改質によって、COD、T-N の増加が認められた。T-P について上昇はわずかであった。また、脱水ろ液へのポリテツ添加による、COD 値減少効果を検証したが、効果は確認できなかった。

既設側二次消化汚泥/脱水ろ液の COD 値が低い理由として、消化槽滞留日数が長いことが要因に考えられる。

放流水への影響については、全体水量に対する実証設備放流量の割合が小さいため、顕著な変化は認められなかった。外部 OD 汚泥を含む可溶化汚泥投入率:0.5 相当にて、水処理施設への返流水 COD 値:400~500mg/L が想定される。

【放流水のCOD・全窒素・全リン濃度】



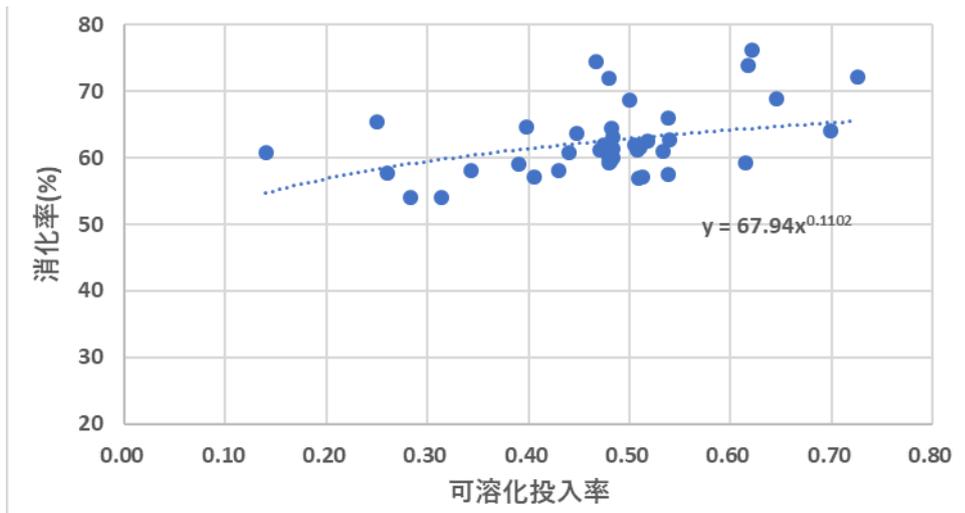
図資 1.27 放流水の全窒素、全リン濃度の推移

表資 1.11 消化汚泥の COD, T-N、T-P 濃度

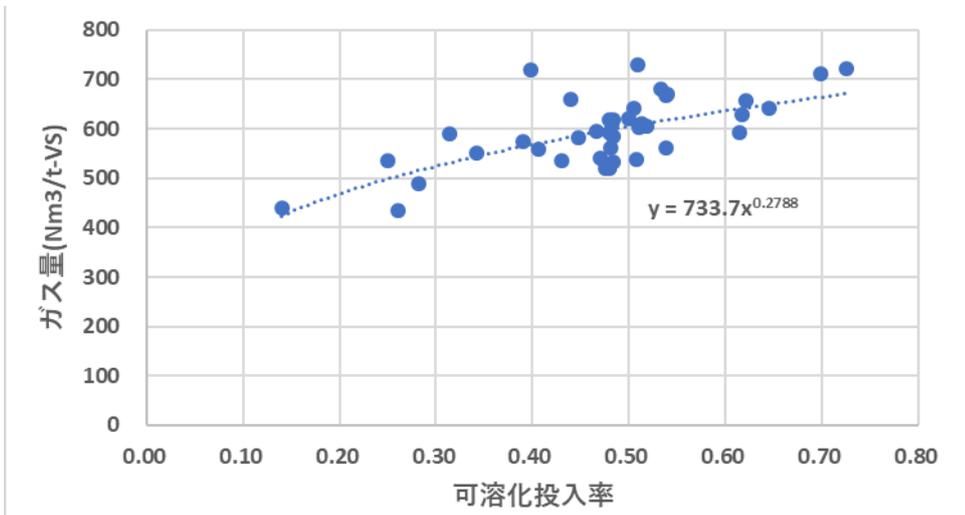
試料採取日	【単位：mg/L】							ポリッヅ添加				
	①濃縮汚泥			②1次消化	③2次消化汚泥（既設側）			④消化汚泥（実証側）				
	COD	T-N	T-P	COD	COD	T-N	T-P	COD	T-N	T-P	40%	60%
8月29日	480	180	75		95	411	74	350	521	72		
9月12日	460	-	-		95	-	-	380	-	-		
9月26日	440	230	550		100	735	529	380	1198	476		
10月10日	370	-	-		110	-	-	470	-	-		
10月24日	430	199	508		92	761	451	470	1178	420		
11月7日	460	-	-		110	-	-	500	-	-		
11月28日	470	181	507		97	727	450	530	1220	420		
12月12日	320	-	-		110	-	-	-	-	-		
12月27日	350	187	558		120	855	511	500	1308	558		
1月16日	410	-	-	170	110	-	-	430	-	-	420	370
1月22日				130							480	380
平均	419.0	195.4	439.6	150.0	103.9	697.8	403.0	445.6	1,085	389.2	450.0	375.0

10) 性能影響因子の効果

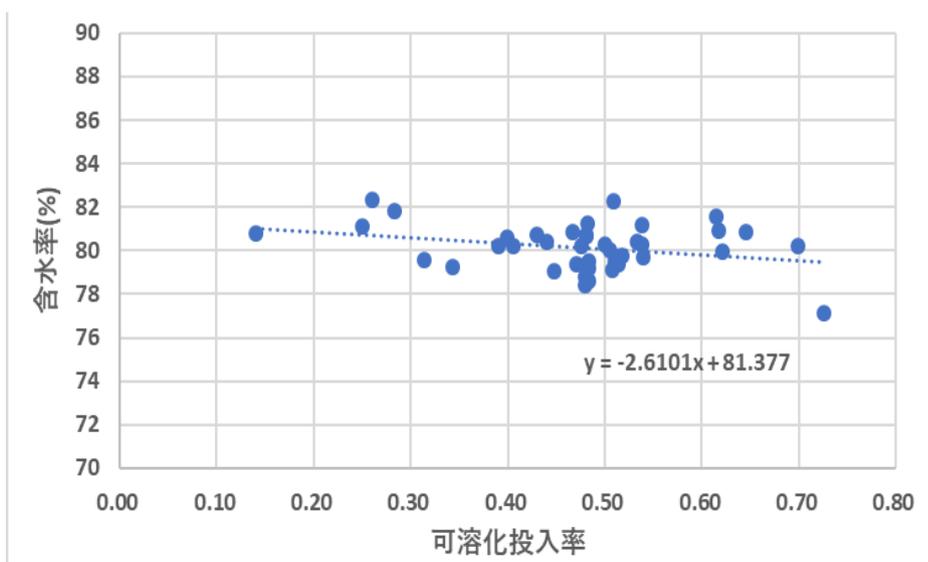
本技術において性能影響因子である可溶化投入率について消化率、投入 VS 量当たりのガス発生量、脱水ケーキ含水率への影響についてそれぞれ図資 1.28、図資 1.29、図資 1.30 に示す。消化率に対しては可溶化投入率が大きくなるほど消化率が上がる。投入 VS 量当たりのガス発生量については、可溶化投入率が大きくなるほど投入 VS 量当たりのガス発生量は増加する。脱水ケーキ含水率に対しては、可溶化投入率が大きくなるほど脱水ケーキ含水率は低下する結果が得られた。



図資 1.28 可溶化投入率と消化率の関係



図資 1.29 可溶化投入率と投入 VS 量当たりのガス発生量の関係

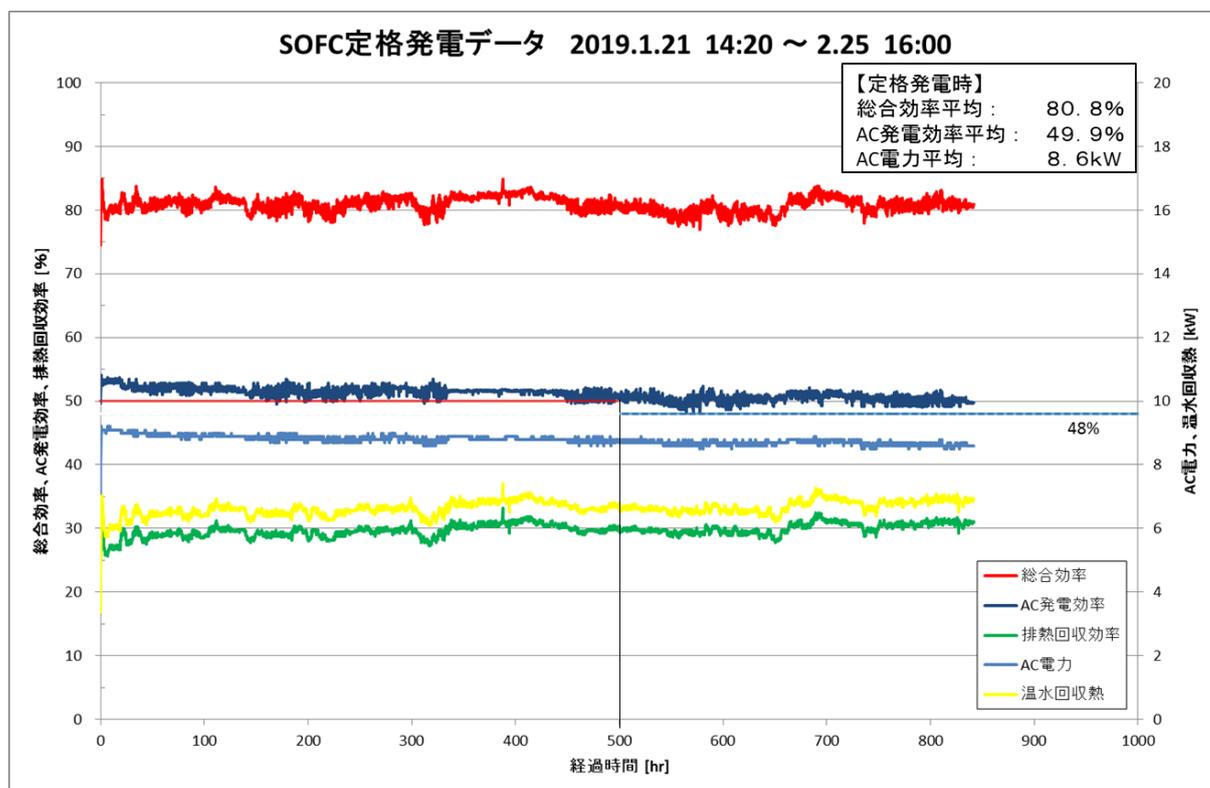


図資 1.30 可溶化投入率と脱水ケーキ含水率の関係

(3) SOFC設備

1) 発電効率

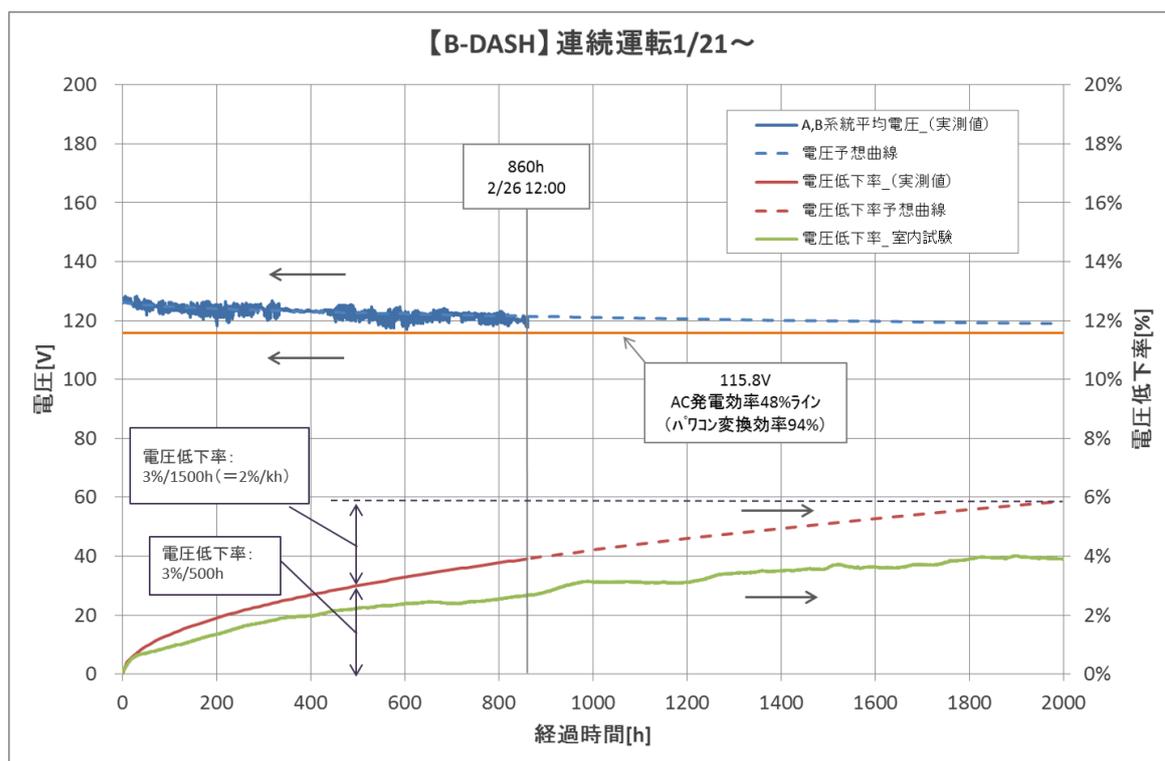
SOFCの現地据付後、実バイオガス通ガスによる実施結果として、2019年1月からの連続試験の発電状況を図資 1.31 に示す。発電初期段階（～680時間）として、発電効率48%以上を確認した。



図資 1.31 SOFC 運転状況

2) 連続運転による劣化

2019年1月からの連続運転による電圧低下状況と、メーカー工場での室内試験結果とを比較したデータを図資 1.32 に示す。発電初期段階（約500時間）で3%程度の電圧低下（初期劣化）が見られた。室内試験のデータから、以降の電圧低下を2%/1000時間と推定され、電圧降下の推定値から2000時間経過時点では、発電効率として48%程度が維持されると推定される。なお、SOFCの長期安定運転に関しては、引き続き検討が必要である。



図資 1.32 SOFC 電圧低下状況

3) 被毒物質の触媒への影響

被毒物質として、硫化水素及びシロキサンによる改質器への影響調査をラボレベルにて実施した。硫化水素被毒試験及びシロキサンによる被毒試験の結果を図資 1.33、図資 1.34 に示す。また、セル電圧、メタン転化率が 10%低下するまでの時間と不純物濃度の関係を図資 1.35 に示す。

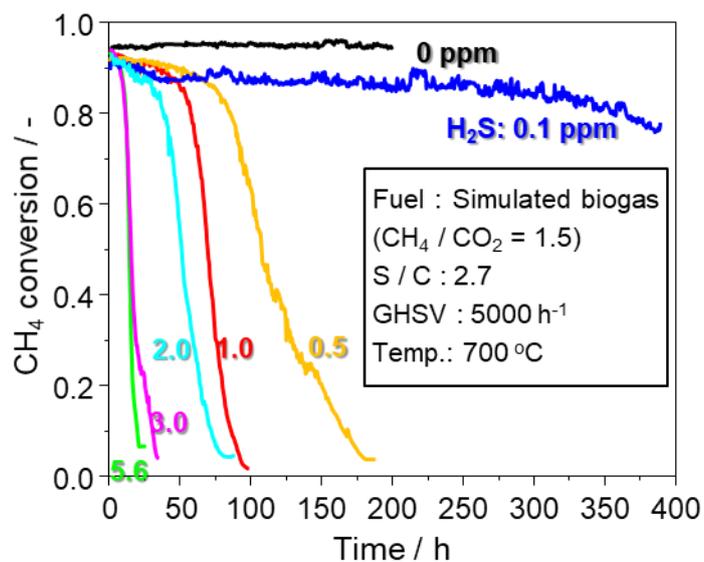
SOFC システムに内蔵の改質触媒（運転温度 700℃）に対して、ppm オーダーの濃度で不純物が連続的かつ長時間に渡って混入した場合は（ H_2S : 0.1 ppm 以上、シロキサン : 1.0 ppm 以上）、改質器性能の劣化が急速に進むとの結論を得た。

また、「改質器 + セル」の組み合わせ試験においては、不純物被毒時のセル電圧の劣化率は、改質器におけるメタン転化率の低下率と比較して低くなった。

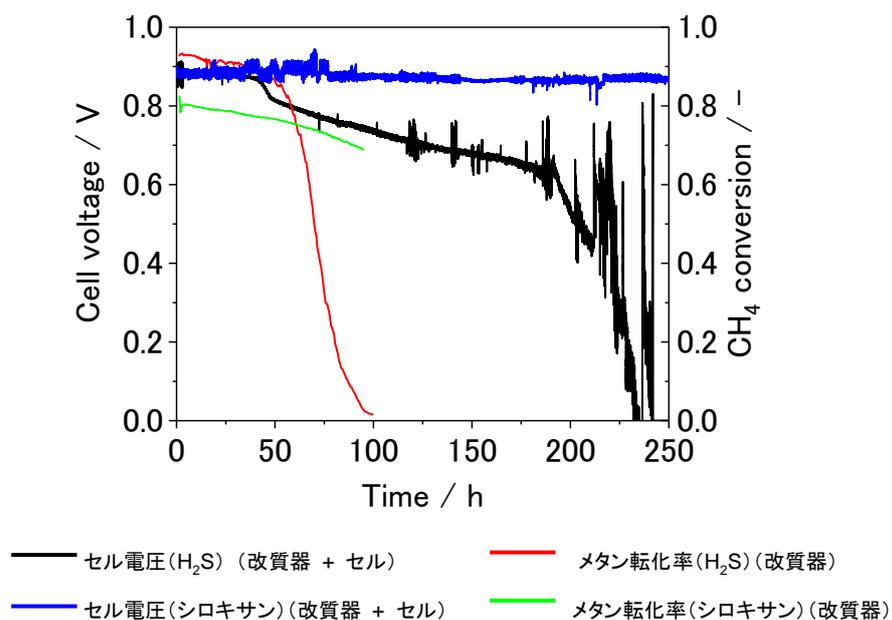
但し、改質器のみの場合と同様、ppm オーダーの濃度が連続的かつ長時間にわたって供給されると劣化が急速に進むとの結論を得た。

SOFC システムとしては、SOFC 本体に精密脱硫装置を具備することから、前段での前処理設備にて十分な被毒物質除去対応を実施の上、供給ガス中の硫化水素濃度を継続監視することでバイオガスによる SOFC 運転対応は、十分対応可能であることを確認した。

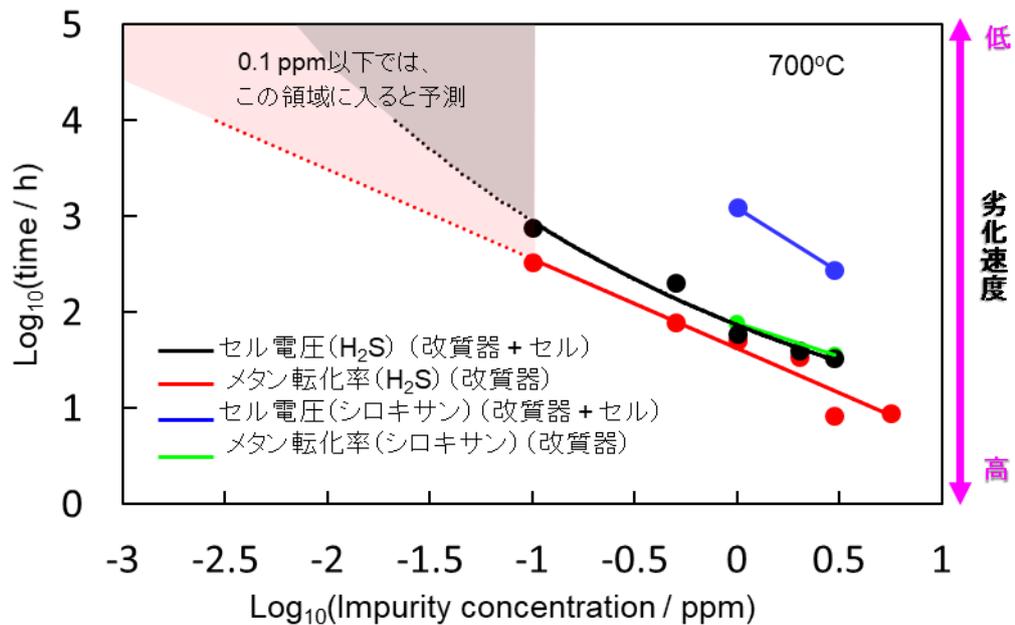
(図資 1.36)



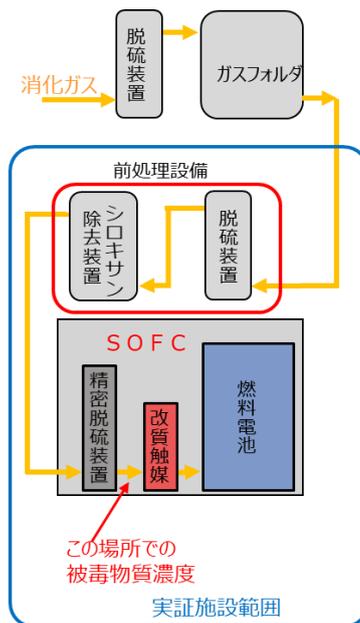
図資 1.33 硫化水素被毒試験結果



図資 1.34 シロキサン被毒試験結果



図資 1.35 セル電圧、メタン転化率が10%低下するまでの時間と不純物濃度の関係



図資 1.36 供給ガス中の硫化水素濃度監視位置

4) シロキサン吸着活性炭の劣化分析結果

使用開始から約1年運転したシロキサン除去装置中の活性炭の分析を実施した。

①使用活性炭：粒状白鷺 G2x7/12

②一般分析結果

一般分析結果を表資1.12に示す。この結果、A塔の下部と中部にて充填密度、揮発度、強熱残物の増加とアセトン吸着性能の低下が認められた。

表資1.12 活性炭劣化一般分析結果

		A塔			B塔			未使用炭
		上部	中部	下部	上部	中部	下部	
乾燥減量	質量分率%	28.4	24.3	9.5	28.0	27.8	27.7	0.9
充填密度	g/mL	0.505	0.532	0.626	0.507	0.510	0.509	0.495
アセトン吸着性能	質量分率%	28.9	23.6	7.4	28.1	28.2	28.6	30.0
pH	—	7.4	7.5	6.9	7.5	7.7	7.7	9.4
強熱残分	質量分率%	0.6	0.6	6.1	0.6	0.6	0.6	0.5
揮発分	%	3.6	5.5	15.9	3.4	3.2	3.3	1.4
Total-S	%	0.13	0.40	0.91	0.13	0.07	0.07	<0.01

③表面元素分析によるSi含量

表面元素(ケイ素Si)の質量濃度の分析結果を表資1.13に示す。A塔下部と中部を除いてSiはごくわずかしか検出されなかった。

表資1.13 活性炭劣化Si質量濃度分析結果

		A塔			B塔			未使用炭
		上部	中部	下部	上部	中部	下部	
Si質量濃度	%	0.2	0.5	4.5	0.2	0.3	0.2	0.3
Si増量	%	0.0	0.3	5.5	-0.1	0.0	0.0	-
D4換算値	%	-0.1	0.7	12.5	-0.2	0.0	-0.1	-

※Si増量 = $(Si_0 \times BDO/BDN) - Si_N$ 未使用炭基準

※D4換算値 = $Si \text{ 増量} \times D4 \text{ 分子量} / (Si \text{ 分子量} \times 4)$

Si : Si質量濃度 LD : 乾燥減量 BD : 充填密度

N, 0 : 吸着材の状態(未使用炭(N) or 使用炭(O)の値)

II. 簡易算定式

II-1 建設費（費用関数）

10,000m³/日、30,000m³/日、50,000m³/日の試算結果をもとに、近似式で示したものを建設費の算定式とした。表資 2.1、図資 2.1-1~8 に各設備の建設費の算定式を示す。

表資 2.1 実証技術導入時の建設費簡易算定式

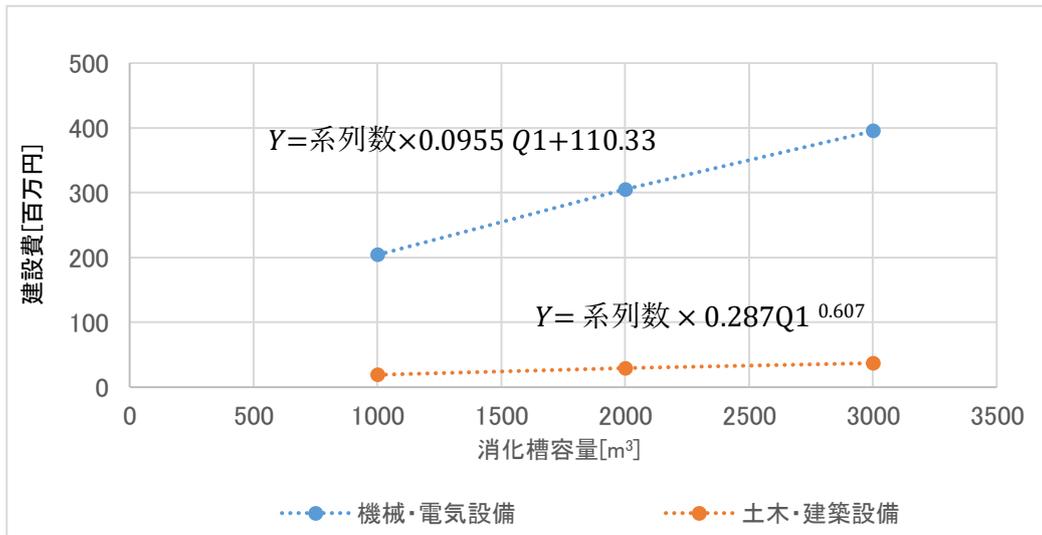
項目	単位	算出式
消化槽設備（鋼板製）	機械・電気設備	$Y = \text{系列数} \times 0.0955 Q1 + 110.33$
	土木・建築設備	$Y = \text{系列数} \times 0.287 Q1^{0.607}$
消化槽設備（RC製）	機械・電気設備	$Y = \text{系列数} \times 0.006 Q1 + 33.333$
	土木・建築設備	$Y = \text{系列数} \times 1.454 Q1^{0.6805}$
バイオガス設備	機械・電気設備	$Y = 9.4186 Q2^{0.4122}$
	土木・建築設備	$Y = 2.2341 Q2^{0.375}$
高効率加温設備	機械・電気設備	$Y = \text{系列数} \times (0.1338 Qd / \text{系列数} + 262)$
	土木・建築設備	$Y = 0.0452 Qd + 46.4$
ガス発電設備（SOFC）*	機械・電気設備	$Y = 0.9 E$
	土木・建築設備	$Y = 0.0263 E + 5.828$
脱水設備	機械設備	$Y = 43.4 Qd^{0.373}$
	電気設備	$Y = 0.6 \times 17.8 Qd^{0.464}$
	土木・建築設備	$Y = 22.7 Qd^{0.444}$
地域バイオマス（OD）	機械・電気設備	$Y = 50.808 Qd2^{0.3717}$
	土木・建築設備	$Y = 26.386 Qd2^{0.3118}$
地域バイオマス（食品残渣）	機械・電気設備	$Y = 50.713 Qd2^{0.2152}$
	土木・建築設備	$Y = 25.538 Qd2^{0.1733}$

※ Y：建設費（百万円） Q1：消化槽容量（m³/日） Q2：日平均ガス発生量（Nm³/日）

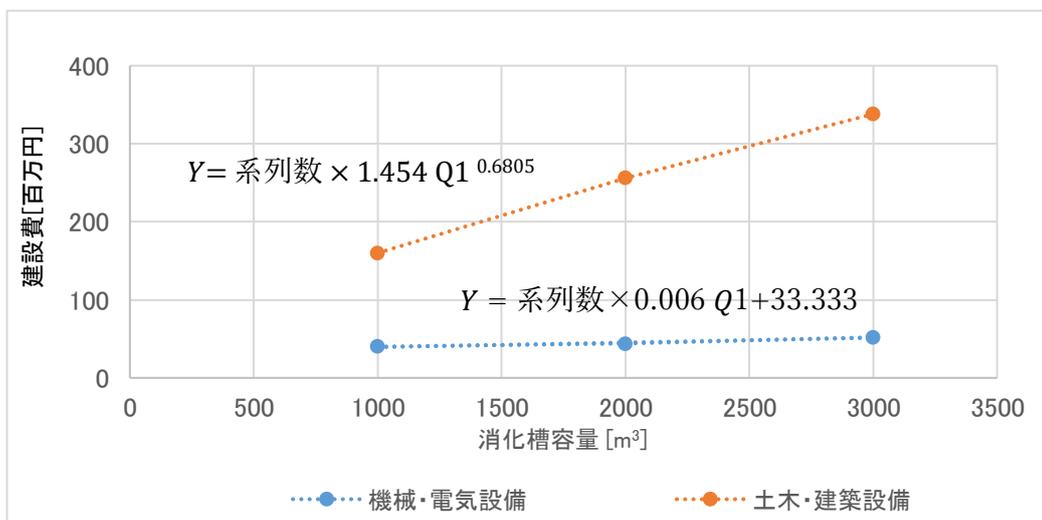
Qd：計画投入汚泥量[1%換算]（m³/日） Qd2：計画投入地域バイオマス（t-ds/日）

E：発電機総出力（kW）

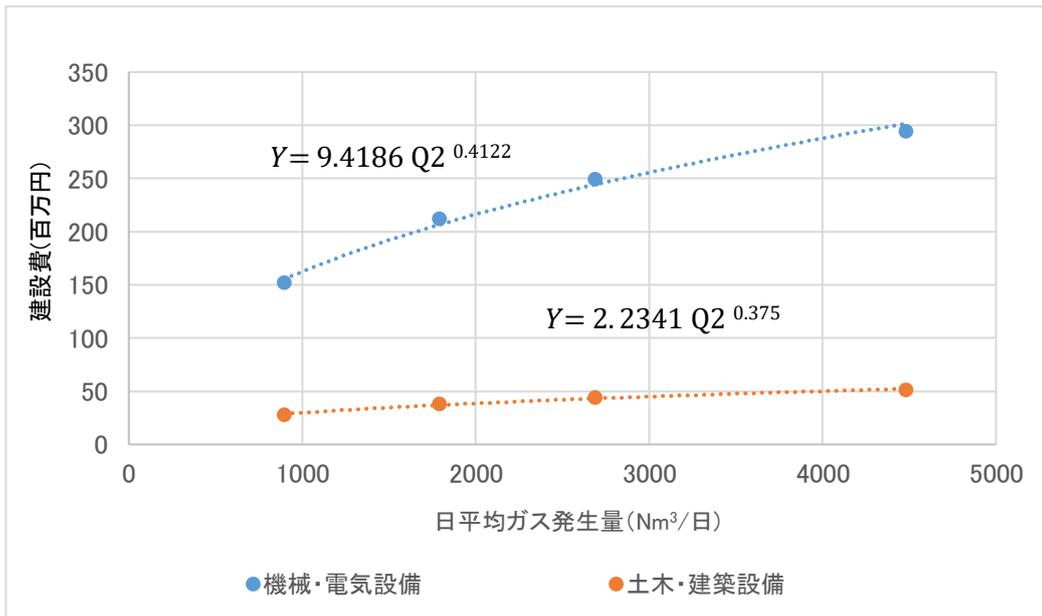
*：SOFCについては、「SOFCロードマップ」（経済産業省）に準拠する。



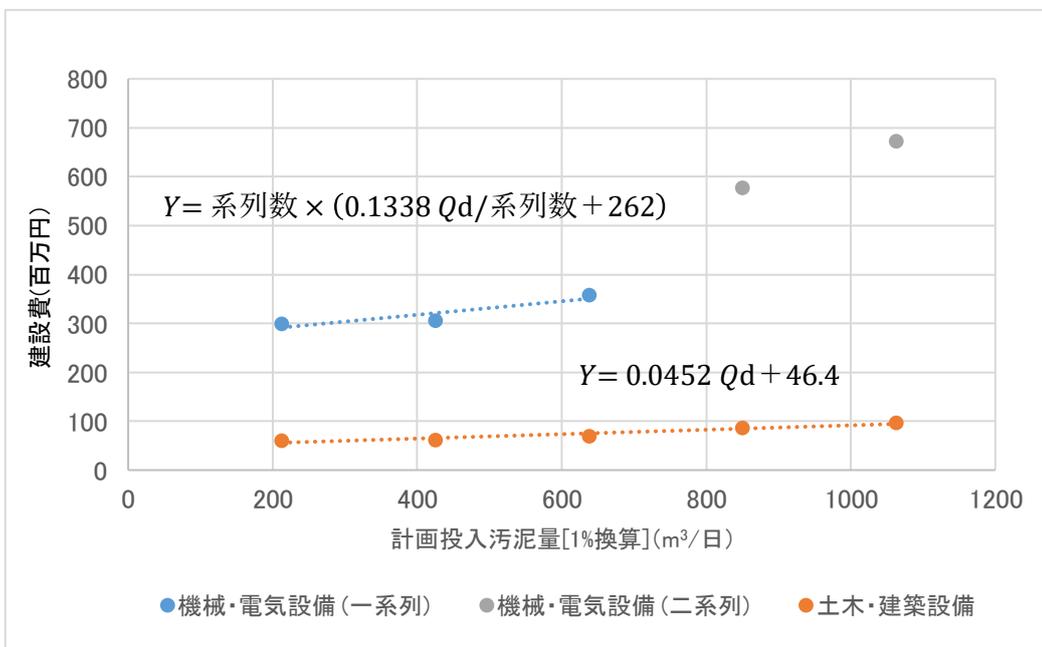
図資 2.1-1 消化槽設備（鋼板製）建設費の簡易算定式



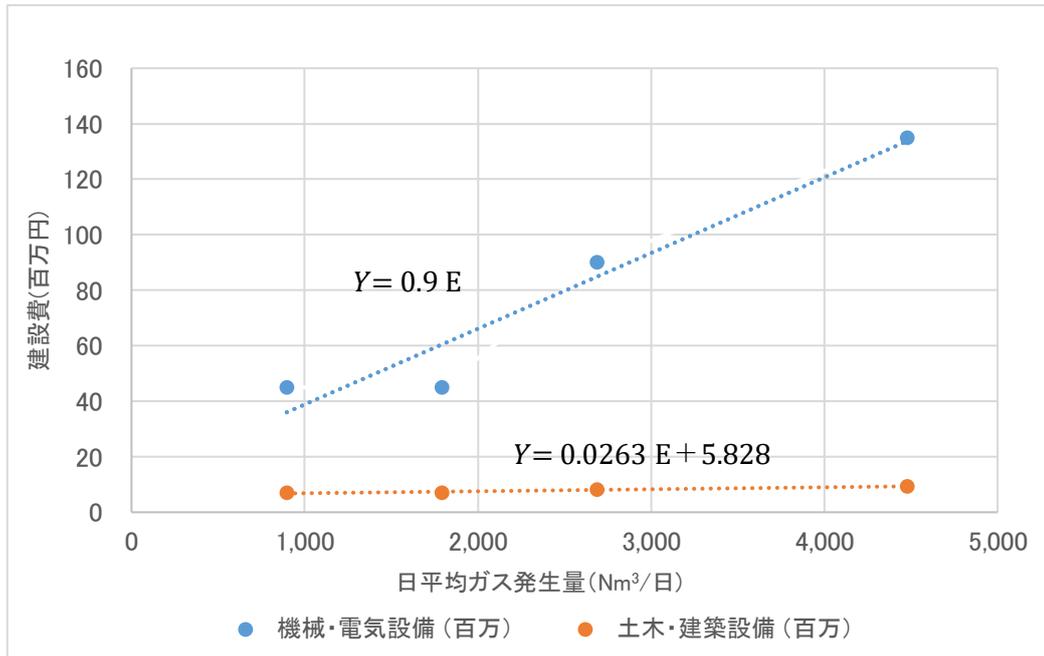
図資 2.1-2 消化槽設備（RC製）建設費の簡易算定式



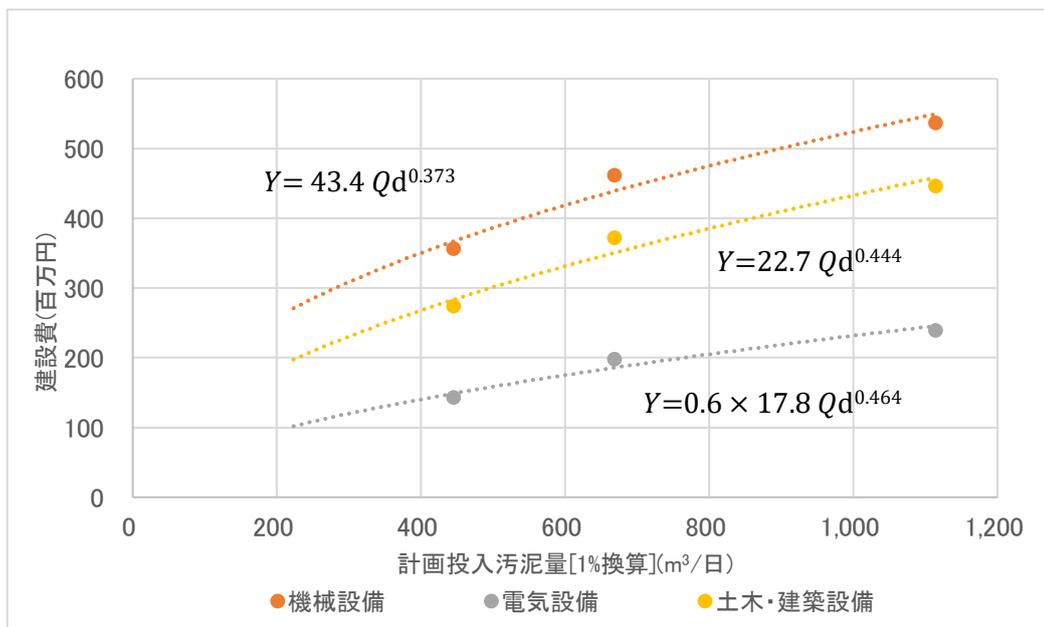
図資 2.1-3 バイオガス設備 建設費の簡易算定式



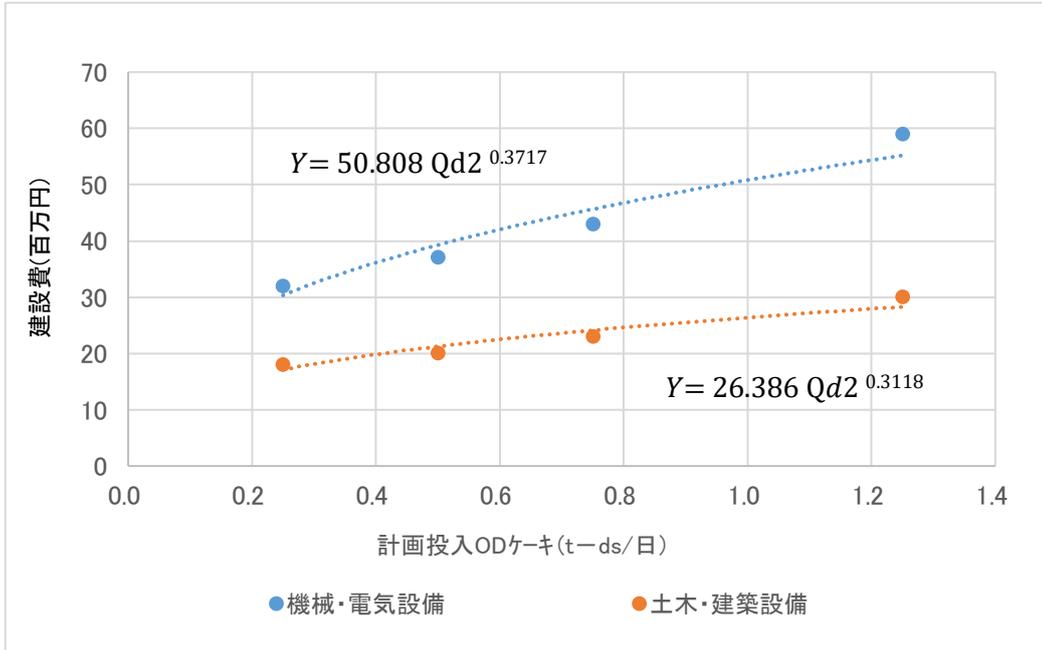
図資 2.1-4 高効率加温設備（可溶化装置）建設費の簡易算定式



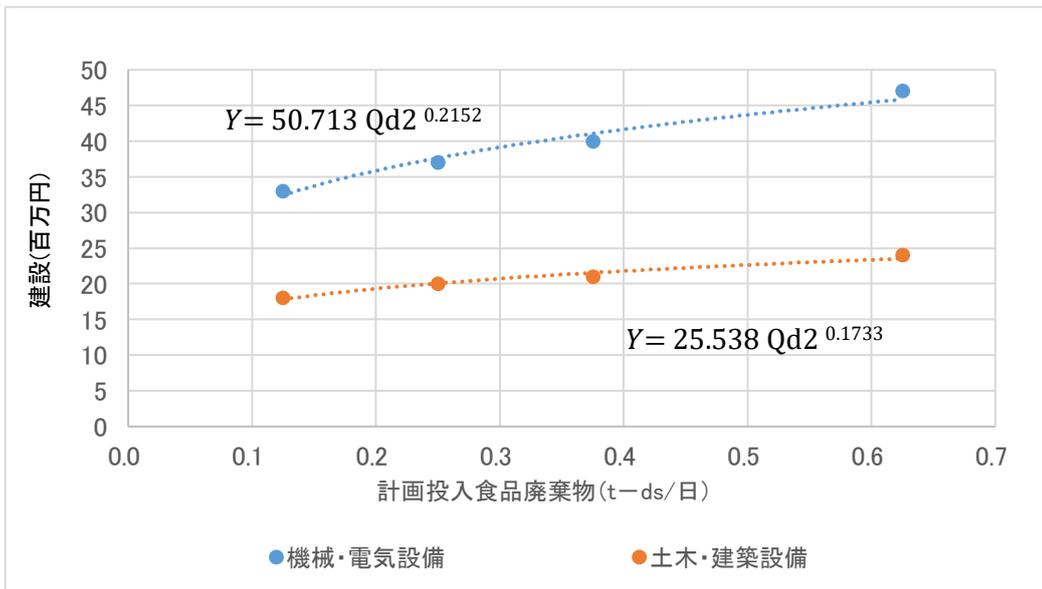
図資 2.1-5 ガス発電設備 (SOFC) 建設費の簡易算定式



図資 2.1-6 脱水設備 建設費の簡易算定式



図資 2.1-7 地域バイオマス (OD) 設備 建設費の簡易算定式



図資 2.1-8 地域バイオマス (食品残渣) 設備 建設費の簡易算定式

II-2 維持管理費（費用関数）

維持管理費として、各設備の費用関数で総額を算出する。

表資 2.2、図資 2.2-1～8 において、各設備の建設費の算定式を示す。

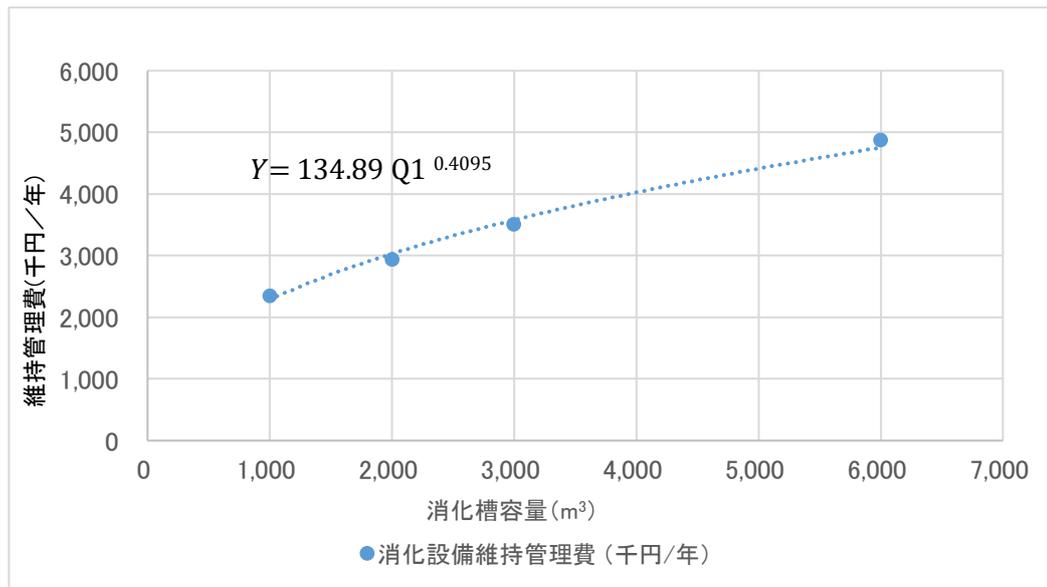
表資 2.2 各設備の維持管理費の簡易算定式

項目	算出式
消化槽設備	$Y = 134.89 Q1^{0.4095}$
バイオガス設備	$Y = 11.209 Q2^{0.699}$
高効率加温設備	$Y = 153.07 Qy^{0.3828}$
ガス発電設備 (SOFC)*	$Y = 50 E$
ガス発電設備 (小型ガスエンジン)	$Y = 57.9 E$
脱水設備	$Y = 39 Qy^{0.596}$
地域バイオマス (OD)	$Y = 1862.1 Q3^{0.5707}$
地域バイオマス (食品残渣)	$Y = 14102 Q3^{0.6412}$

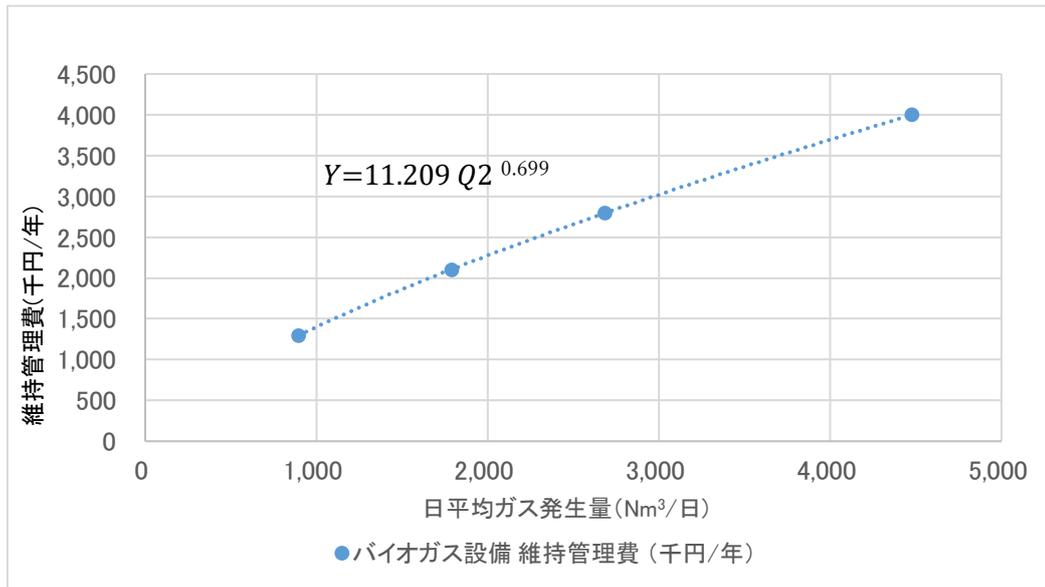
※Y：維持管理費(千円/年) Q1:消化槽容量(m³) Q2:日平均ガス発生量(Nm³/日)

Qy:年間処理汚泥量[1%換算](m³/年) Q3:日平均投入地域バイオマス(t-ds/日)

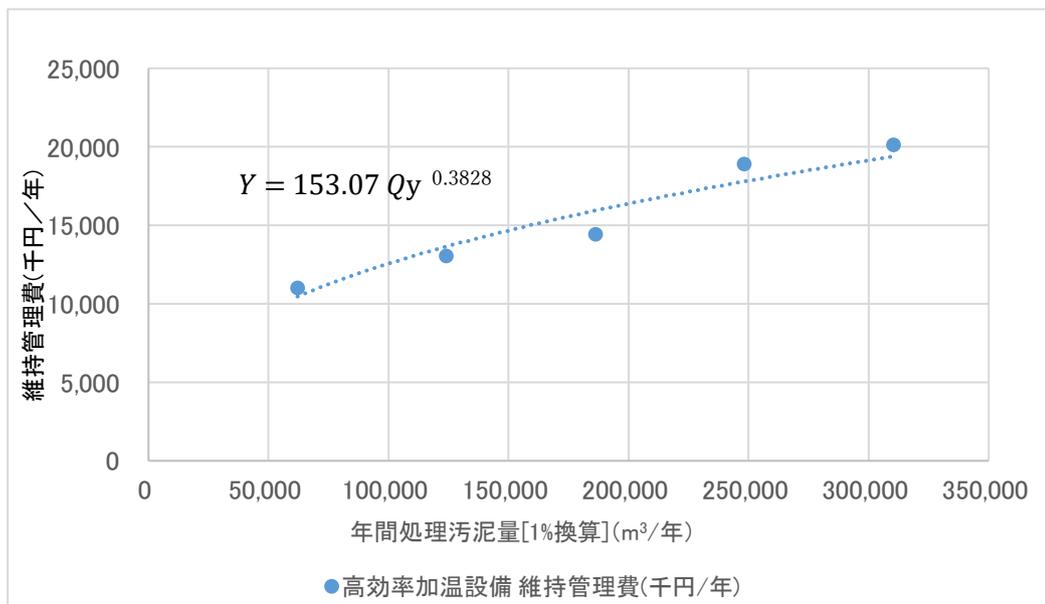
E：発電機総出力(kW) *: SOFC については、「SOFC ロードマップ」(経済産業省)に準拠する。



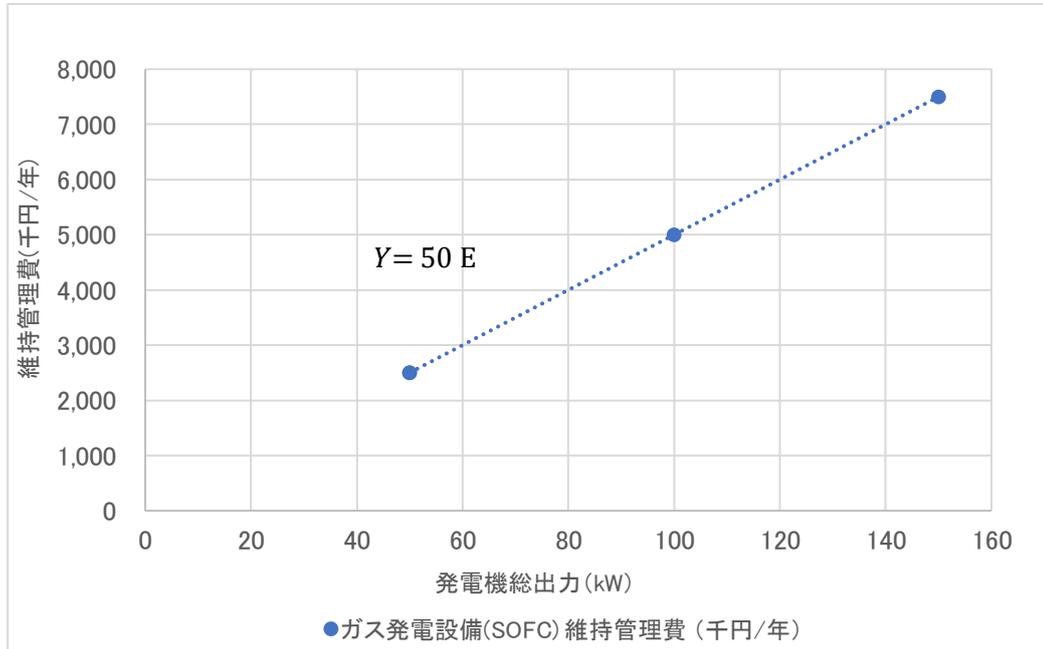
図資 2.2-1 消化設備 維持管理費の簡易算定式



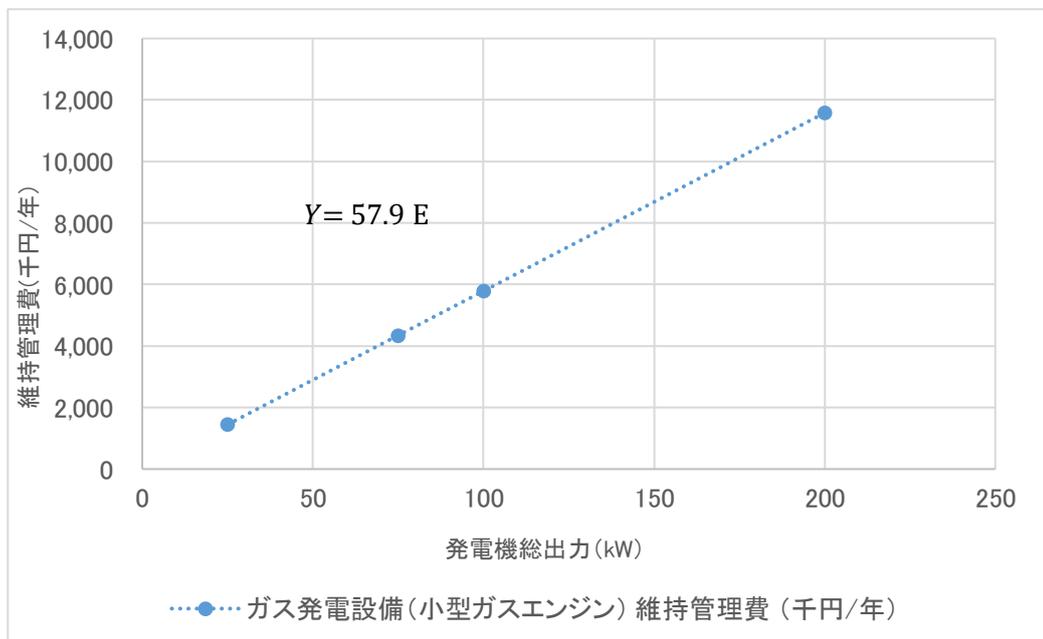
図資 2.2-2 バイオガス設備 維持管理費の簡易算定式



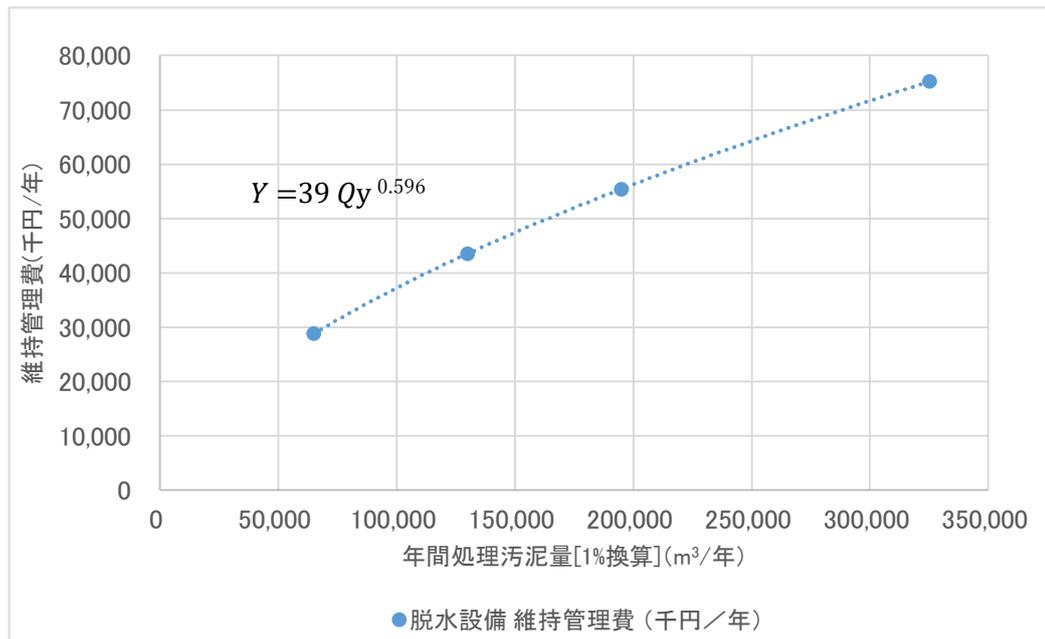
図資 2.2-3 高効率加温設備 維持管理費の簡易算定式



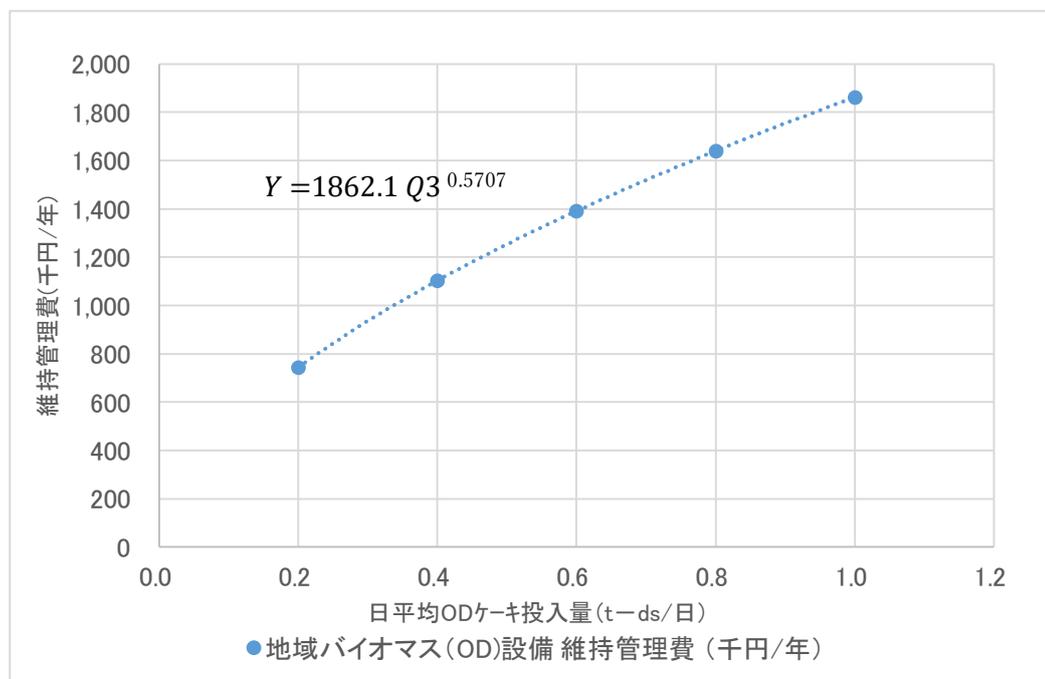
図資 2.2-4 ガス発電設備(SOFC) 維持管理費の簡易算定式



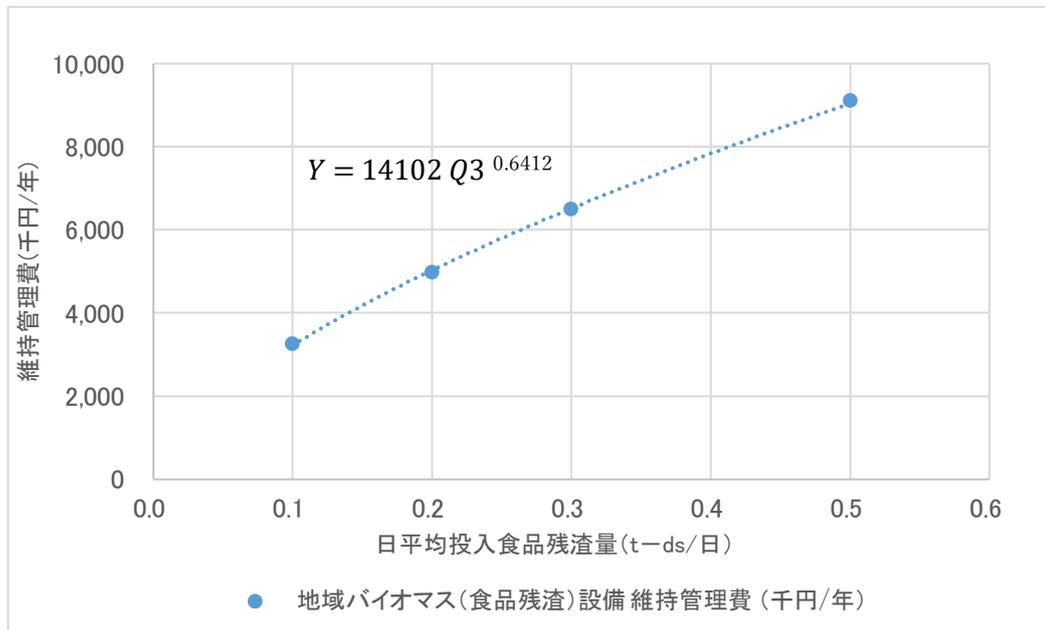
図資 2.2-5 ガス発電設備(小型ガスエンジン) 維持管理費の簡易算定式



図資 2.2-6 脱水設備 維持管理費の簡易算定式



図資 2.2-7 地域バイオマス受入設備(OD) 維持管理費の簡易算定式



図資 2.2-8 地域バイオマス受入設備(食品残渣)維持管理費の簡易算定式

II-3 汚泥処分費

汚泥処分費として、表資 2.3、図資 2.3 に示した簡易算定式で算出される汚泥排出量に設定した処分単価をかけて算出する。

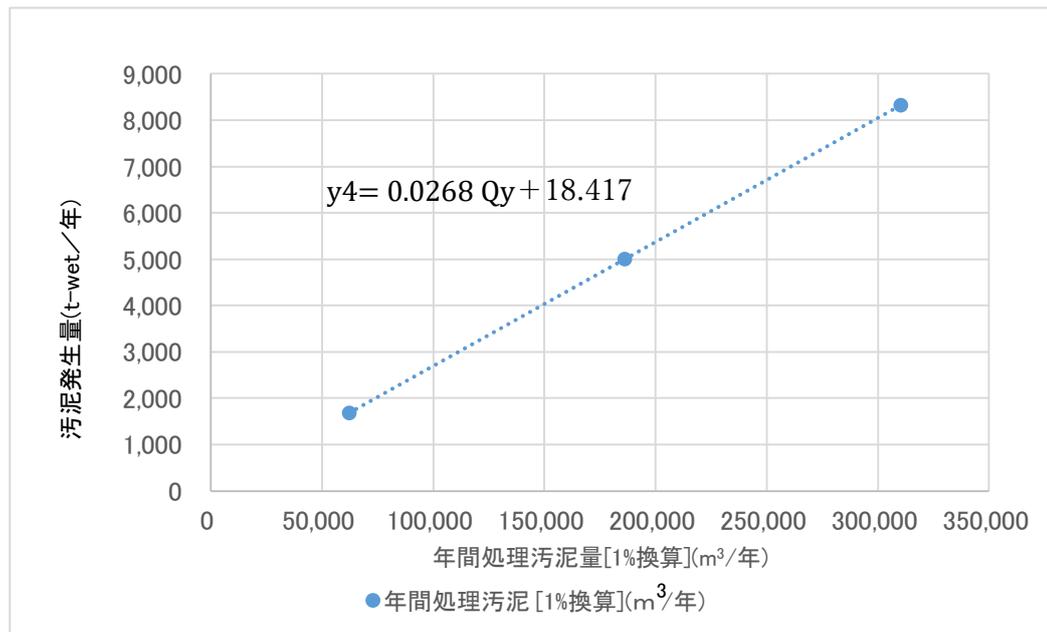
処分単価については地域等により変わるため、実態に合わせて補正を行う。

表資 2.3 汚泥排出量の簡易算定式

項目	算出式
汚泥排出量	$y_4 = 0.0268 Q_y + 18.417$

※ y_4 :年間汚泥排出量(t-wet/年)

Q_y :年間処理汚泥量[1%換算](m^3 /年)



図資 2.3 汚泥排出量の簡易算定式

II-4 分解 VS 当たり消化設備電力量

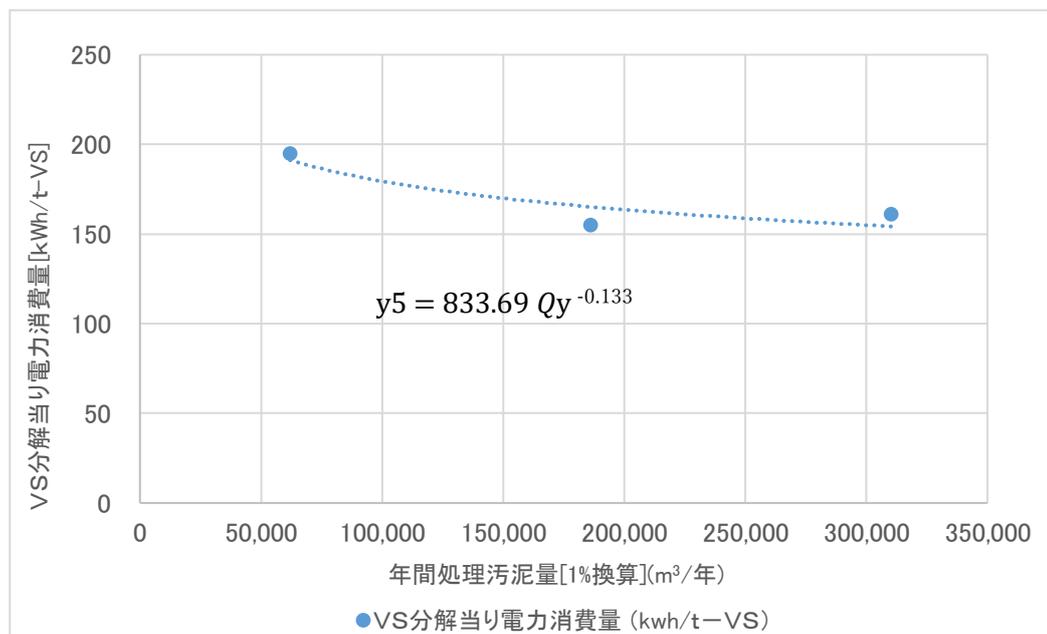
分解 VS 当たり消化設備消費電力量の試算においては、分解 VS 当たり消化設備消費電力量の簡易算定式を用いて試算する。表資 2.4 と図資 2.4 に簡易算定式を示す。

表資 2.4 分解 VS 当たり消化設備消費電力量の簡易算定式

項目	算出式
分解VS当たり消化設備消費電力量	$y5 = 833.69 Qy^{-0.133}$

※ $y5$: 分解 VS 当たり消化設備消費電力量[kWh/t-VS]

Qy : 年間処理汚泥量[1%換算] (m^3 /年)



図資 2.4 分解 VS 当たり消化設備消費電力量 簡易算定式

II-5 エネルギー創出量

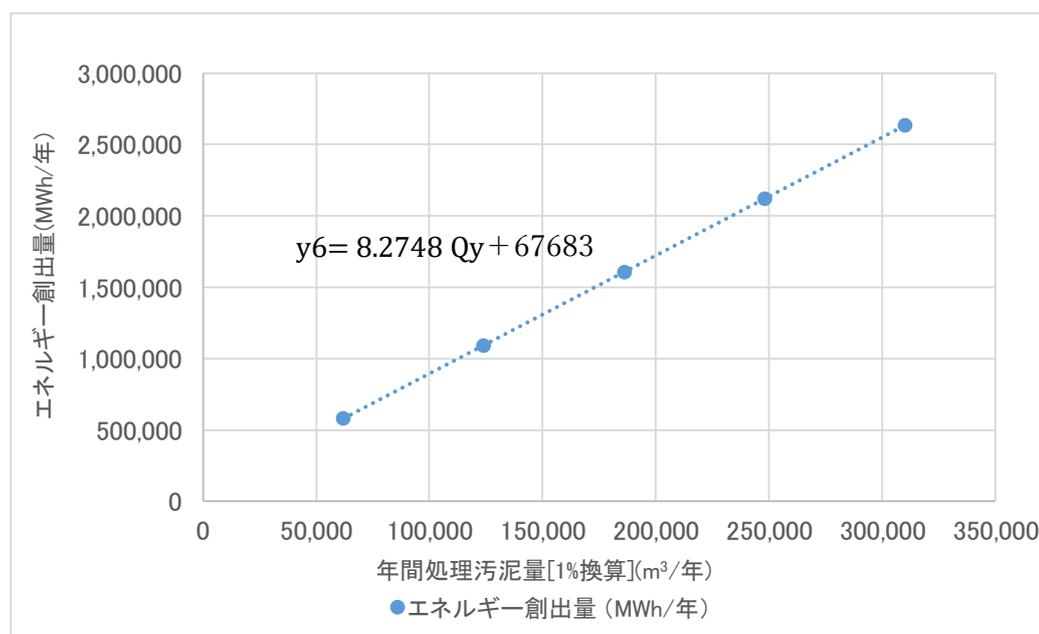
エネルギー創出量の試算においては、本システムにおいては SOFC による発電によるエネルギー創出量の簡易算定式を表資 2.5、図資 2.5 に示す。

表資 2.5 エネルギー創出量の簡易算定式

項目	算出式
エネルギー創出量	$y_6 = 8.2748 Q_y + 67683$

※ y_6 : エネルギー創出量[MWh/年]

Q_y : 年間処理汚泥量[1%換算] (m^3 /年)



図資 2.5 エネルギー創出量 簡易算定式

II-6 温室効果ガス削減量

従来技術（中温消化）と比較した温室効果ガス削減量の試算においては、表資 2.6 と図資 2.6 に簡易算定式を示す。

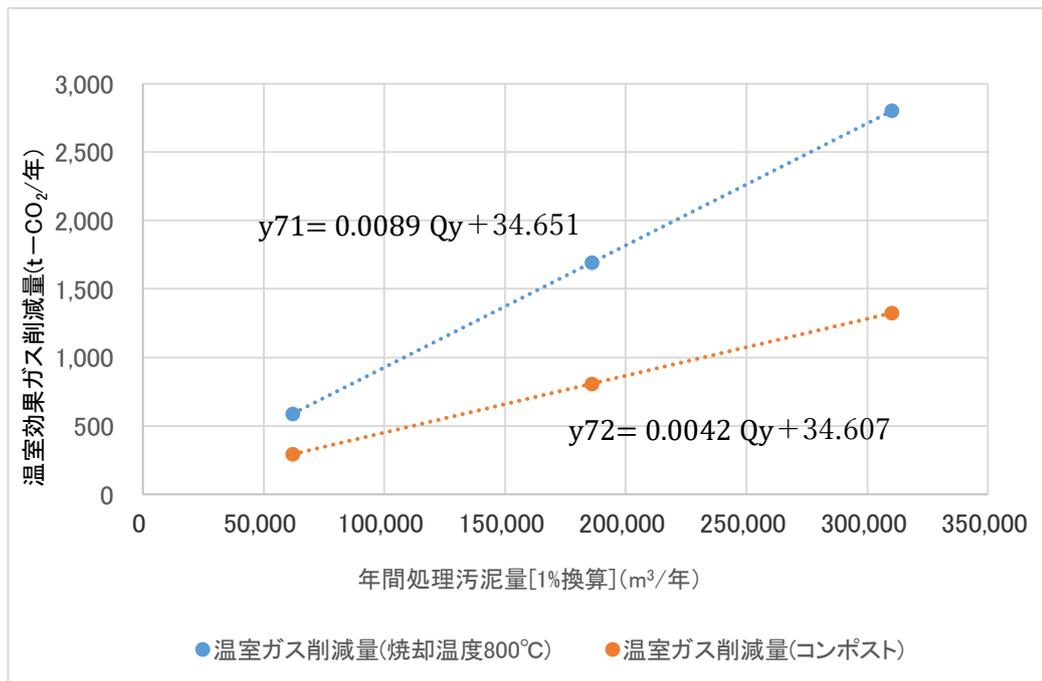
表資 2.6 温室効果ガス削減量の簡易算定式

項目	算出式
温室効果ガス削減量[t-CO ₂ /年]焼却温度800℃	$y71 = 0.0089 Qy + 34.651$
温室効果ガス削減量[t-CO ₂ /年]コンポスト	$y72 = 0.0042 Qy + 34.607$

※ y71 : 温室効果ガス削減量[t-CO₂/年] (焼却温度800℃)

y72 : 温室効果ガス削減量[t-CO₂/年] (コンポスト)

Qy : 年間処理汚泥量[1%換算] (m³/年)



図資 2.6 温室効果ガス削減量の簡易算定式

Ⅲ. 参考資料

Ⅲ-1 トラブル時の対応例

本システムの各設備において検知された異常例に対して想定される故障・不具合例とその対応方針例を表資3.1に示す。

表資3.1 検知された異常例に対して想定される故障・不具合例とその対応方針例

	検知された異常例	想定される故障・不具合例	対応方針例
消化設備	無動力攪拌式消化槽圧力上昇	消化ガス排出ライン閉塞 消化ガス排出ライン調節弁故障	消化ガス排出ライン点検 消化ガス排出ライン調節弁点検
	汚泥循環ポンプ圧力高	消化汚泥循環ライン閉塞	消化汚泥循環ライン点検
	投入汚泥ポンプ圧力高	投入汚泥ライン閉塞	投入汚泥ライン点検
	濃縮汚泥ポンプ圧力高	濃縮汚泥ライン閉塞・凍結	濃縮汚泥ライン点検
	補助ブロワ運転時出口流量異常	補助ブロワ出口消化ガス遮断弁故障	補助ブロワ出口消化ガス遮断弁点検
高効率加温設備（可溶化装置）	可溶化タンク圧力高	可溶化タンク圧力調節弁故障	可溶化タンク圧力調節弁点検
	可溶化タンク液位高	可溶化タンク液位調節弁故障	可溶化タンク液位調節弁点検
	可溶化装置運転時間異常（同じ条件で運転時間が長くなる）	ケーキ移送ポンプステーター摩耗（一軸ねじ式の場合）	ケーキ移送ポンプ点検
	ケーキ移送ポンプ圧力高	ケーキ移送ライン閉塞 ケーキ遮断弁故障	ケーキ移送ライン点検 ケーキ遮断弁点検
	洗浄水ポンプ流量低	洗浄ポンプ故障 給水配管異常	洗浄ポンプ点検 給水配管点検
	蒸気ボイラー故障	蒸気ボイラー本体故障 軟水装置故障 ガスブースター故障	蒸気ボイラー点検 軟水装置点検 ガスブースター点検

表資 3.1 検知された異常例に対して想定される故障・不具合例とその対応方針例（続き）

	検知された異常例	想定される故障・不具合例	対応方針例
固体酸化物型燃料電池（SOFC）	燃料電池電圧低	燃料電池スタック破損又は性能劣化	燃料電池スタック点検
		消化ガス含有メタン濃度低下	消化ガスメタン濃度点検
		消化ガス燃料流量不足	消化ガス元圧点検
			消化ガス燃料流量制御機器点検
			消化ガス燃料用昇圧ポンプ点検
		燃料電池 空気流量不足	燃料電池 空気流量制御機器点検
			空気ブロー点検
			改質水流量過多
	燃料電池温度高	硫黄被毒による脱硫触媒劣化	触媒点検
		シロキサンによる改質触媒劣化	触媒点検
		消化ガス燃料流量過多	消化ガス燃料用昇圧ポンプ点検
	消化ガス用流量制御機器点検		
	燃料電池温度低	消化ガス含有メタン濃度上昇	消化ガスメタン濃度点検
		燃料電池 冷却空気流量不足	燃料電池 冷却空気流量制御機器点検
	燃料電池システムAC出力低	燃料電池 空気流量過多	燃料電池 空気流量制御機器点検
		燃料電池 冷却空気流量過多	燃料電池 冷却空気流量制御機器点検
	燃料改質器温度高	パワーコンディショナ環境温度不良	パワーコンディショナ点検 冷却ファン点検 冷却空気通路 フィルタ点検
		消化ガス含有メタン濃度上昇	消化ガスメタン濃度点検
		消化ガス燃料流量過多	消化ガス燃料用昇圧ポンプ点検 消化ガス用流量制御機器点検
	燃料改質器温度低	消化ガス中の水分結露による流量制御機器故障	消化ガス水分濃度点検
		改質水流量不足	改質水ポンプ点検
		脱硫不良	触媒点検
		シロキサン除去不良	触媒点検
	燃料改質器温度低	消化ガス含有メタン濃度低下	消化ガスメタン濃度点検
		消化ガス燃料流量不足	消化ガス元圧点検
			消化ガス燃料用流量制御機器点検
			消化ガス燃料用昇圧ポンプ点検
		燃料電池 空気流量過多	燃料電池 空気流量制御機器点検
		燃料電池 冷却空気流量過多	燃料電池 冷却空気流量制御機器点検
		改質水流量過多	改質水ポンプ点検

表資 3.1 検知された異常例に対して想定される故障・不具合例とその対応方針例(続き)

	検知された異常例	想定される故障・不具合例	対応方針例	
固体酸化物型燃料電池 (SOFC)	POx改質器 (保護ガス発生器) 温度高	消化ガス含有メタン濃度上昇	消化ガスメタン濃度点検	
		POx空気流量過多	消化ガス元圧点検	
	昇温用バーナ着火不良	バーナ燃料流量異常	バーナー燃料流量制御機器点検	
			消化ガス元圧点検	
			消化ガス用昇圧ポンプ点検	
		バーナ空気流量異常	空気プロア点検 バーナ空気流量制御機器点検	
	消化ガス中の水分結露	冷却水温度異常	冷却水温度点検	
			冷却水流量異常	冷却水用ポンプ点検 流量計点検 冷却水ラインの点検
		循環水流量異常	循環水ライン閉塞	循環水ラインの点検 ストレーナー点検
			循環水ポンプ故障	循環水ポンプ点検
消化ガス燃料流量不足	発電電圧低下・セルスタック破損	消化ガス元圧点検		
地域バイ外オ部マ汚ス泥受入設備	ケーキ移送ポンプ運転停止 (ケーキ移送ポンプフィーダ重量低下)	ケーキ移送コンベア故障 受入ホッパ故障	ケーキ移送コンベア点検 受入ホッパ点検	
	受入ホッパ計測重量異常	受入ホッパ (ロードセル故障)	受入ホッパ点検	
	食品廃棄物受入装置異常	回転機器 (ポンプ・破砕機等) 故障 食品廃棄物スラリー配管閉塞	回転機器 (ポンプ・破砕機等) 点検 配管点検・フラッシング	
ユーティリティ設備	計装空気圧力低下	計装空気圧縮機故障 レシーバータンク・計装空気配管 空気漏洩	計装空気圧縮機点検 レシーバータンク点検 計装空気配管・各計装機器接続部点検	

III-2 定期点検項目

本システムの各設備の定期点検・検査における検査項目を表資 3.2 に示す。

表資 3.2 各設備の定期点検・検査における検査項目

設備・機器名称		点検・整備項目	点検頻度			備考
			3カ月	1年	2年	
消化設備	ブロワ類	安全弁作動確認		●		
		絶縁抵抗測定		●		
		給脂		●		
		潤滑油交換		●		
		ベルト点検	●			
		消耗品交換	メーカー規定による			
	ポンプ類	絶縁抵抗測定		●		
		潤滑油交換		●		
		消耗品交換	メーカー規定による			
		給脂		●		
	弁類	絶縁抵抗測定		●		
		部品交換	必要に応じて			
	計装品	部品交換	必要に応じて			
		計測機器補正		●		
高効率加温設備（可溶化設備）	熱可溶化タンク	性能検査		●		ボイラー協会にて検査
		自主検査（溶接線の非破壊検査）		●		
		自主検査（外観検査）	●			1カ月に1回検査し、記録を保存
		安全弁点検（メーカーにて検査）		●		ボイラー性能検査と同時
	ホッパ類	ロードセル調整		●		
		絶縁抵抗測定		●		
		給脂		●		
	コンベア類	絶縁抵抗測定		●		
		潤滑油交換		●		
		消耗品交換	メーカー規定による			
		給脂		●		
	ポンプ類	絶縁抵抗測定		●		
		潤滑油交換		●		
		消耗品交換	メーカー規定による			
給脂			●			

表資 3.2 各設備の定期点検・検査における検査項目（続き）

設備・機器名称	点検・整備項目	点検頻度			備考	
		3カ月	1年	2年		
(高効 可溶 率化 加温 設備)	加温ボイラー	ボイラー本体自主点検（メーカ点検）		●		3年間記録を残す
		消耗品交換	メーカー規定による			
		給脂		●		
	弁類	絶縁抵抗測定		●		
		部品交換	必要に応じて			
	計装品	部品交換		●		
		計測機器類校正		●		
			メーカー規定による			
固体 酸化 物型 燃料 電池 (S O F C)	パージ用ガスポンベ	ポンベ交換	必要に応じて			
	スタック	スタック交換	必要に応じて			
	純水製造装置	イオン交換樹脂交換			●	
		純水用フィルタ交換			●	
	空気ブロワ	フィルタ交換			●	
	脱硫装置	脱硫剤透明タンク			●	
		脱硫剤			●	
	消化ガス前処理装置	脱硫剤交換		●		
		シロキサン除去用活性炭交換		●		
外部 汚泥 ・地 域 バイ オマ ス受 入設 備	ポンプ類	絶縁抵抗測定		●		
		潤滑油交換		●		
		消耗品交換	メーカー規定による			
		給脂		●		
	弁類	絶縁抵抗測定		●		
		部品交換	必要に応じて			
	計装品	部品交換	必要に応じて			
		計測機器類校正		●		
	ユー テイ リテ イ設 備	計装空気圧縮機	絶縁抵抗測定		●	
弁類点検				●		
電動機点検				●		
計器類点検				●		
ポンプ類		絶縁抵抗測定		●		
		潤滑油交換		●		
		消耗品交換	メーカー規定による			
		給脂		●		

III-3 実証研究を通じて得られた課題と工夫に関して

実証研究中には様々な課題が発生したが、発生した課題に対して対策を検討し、いろいろと工夫することで課題を克服するに至っている。本項ではその一部を掲載する。

表資 3.3-1 に無動力攪拌式消化槽、表資 3.3-2 に高効率加温設備（可溶化装置）、表資 3.3-3 に固体酸化物型燃料電池（SOFC）について述べる。

表資 3.3-1 無動力攪拌式消化槽における課題と工夫

設備名	No.	課題内容	実施した工夫内容	参照資料
無動力攪拌式消化槽	1	既設消化槽設備／ガス収集ラインとの接続要領に関して、実証技術/無動力消化槽は、急激な圧力変動を伴ったガス供給方法となるため、既設側消化槽設備に圧力変動の影響を及ぼさない対策が必要となる。	対策として、既設消化設備ガス収集ラインに低圧損タイプのバタフライチャッキ弁等の取付を実施した。(補足資料①-1)	補足資料①-1
	2	無動力消化槽からの発生バイオガスの排出は、通常の消化槽とは異なり排出ガス量及び圧力が大きく変動する。そのため、圧力変動に対応可能なガス流量計を選定する必要がある。	無動力攪拌動作時に瞬間的に消化槽内の一定ボリュームの発生バイオガスの排出が想定されるため、無動力攪拌時【高圧側】と定常時【低圧側】を分けて流量測定出来るように流量計を2系統設置の上、一定の圧力変動に追従対応可能な『カルマン渦流量計』を採用した。	補足資料②
	3	定常時の発生バイオガス量を測定する低圧側バイオガスラインにも『カルマン渦流量計』を採用したが、想定流量以下の場合流量計内部の計測部に渦流が発生せず測定値【0】となることが確認された。	流量計測定下限値に近づいた段階で流量計2次側制御弁の開閉制御を実施。一次側に一定量のバイオガスを一時貯留することで発生バイオガスの測定対応を実施した。	補足資料③
	4	消化槽からのバイオガス収集ラインに関して、配管中のバイオガスから生じる凝結水を通常はUシール等にて配管系外に排出するが、無動力消化槽からの発生バイオガスは、配管内圧力が大きく変動するため、通常のUシール等では対応出来ない。(Uシールが維持出来ない。)	バイオガス収集ライン中に取り付ける凝結水排出配管に関して、末端部にエア作動式制御弁を取付、配管内圧力が低圧状態時(無動力攪拌後一定時間経過後)にのみバルブ【開】操作を行う制御を行うことで対応した。(補足資料①-2)	補足資料①-2

表資 3.3-2 高効率加温設備（可溶化装置）における課題と工夫

設備名	No.	課題内容	実施した工夫内容	参照資料
高効率加温設備（可溶化装置）	1	夏季期間中の消化槽内温度上昇に関して、当初は可溶化装置2次側の高温部での2重配管熱交での冷却対応を検討していたが、2重配管熱交部での接触滞留時間が確保されず供給熱量に対する冷却効果が十分に発揮されなかった。	消化槽循環汚泥ライン中にスパイラル熱交を設置することで、夏季期間における消化槽内温度の冷却対応を実施した。	補足資料④
	2	ケーキ移送ポンプに関して、当初想定していたよりも早くに送泥量の低下が発生した。ステータ取替対応後、ステータ内面の状況を確認したところMAPによる損耗が原因で吐出量低下の可能性が確認された。	MAP対策を考慮したステータを予備品納入した。次回ステータ取替時にMAP対策のステータに取替の上、ステータ取替頻度の延命化に効果有か確認予定。（自主研究期間中に報告予定）	補足資料⑤
	3	実証施設における可溶化装置の運転は維持管理性の検証の意味も兼ねて月～土の運転対応とし、日曜日は稼働を原則停止しております。また可溶化装置運転時は温度が高いため流動性に問題は有りませんが、可溶化汚泥の濃度は、TS：14%程度と非常に濃度が高いため毎週末の可溶化装置運転終了後、可溶化タンク及び出口配管部での固形物濃度が高い汚泥が残存し、固化して閉塞する懸念が有りました。	設計段階より左記問題を認識の上、可溶終了後、反応器内部及び出口配管を蒸気及び処理水で自動洗浄する工程を組み込み、運転終了後に固形物濃度が高い汚泥が残存システムとしておりました。立上げ試運転期間以降の実証運転を通じて、最適運転を検証することで安定した可溶化運転方案を確立しております。	-

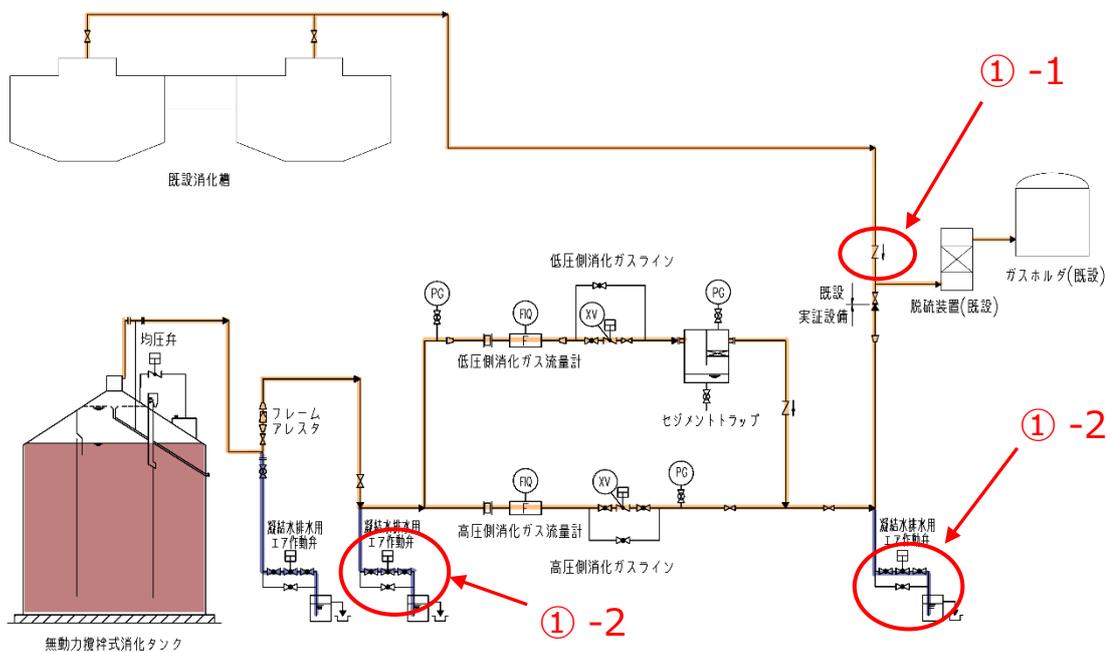
表資 3.3-3 固体酸化物型燃料電池（SOFC）における課題と工夫

設備名	No.	課題内容	実施した工夫内容	参照資料
固体酸化物形燃料電池（SOFC）	1	SOFCへのバイオガス供給ラインの元配管にて、無動力消化槽向け補助ブロウ吸込み配管が接続されている。そのため、補助ブロウ稼働時にSOFCへの供給ガス圧に圧力変動（供給ガス量の変動）が生じた。	SOFCへの圧力供給ラインを蒸気ボイラー用ガスブローの2次側から供給することで、SOFCへの圧力供給を常に一定圧力以上とした。	-
	2	今回SOFCを屋内設置としたが、夏季期間中の外気温上昇時に屋外と屋内にて著しい温度差が発生した。そのため供給ガスラインの室内配管部にて想定以上の凝結水が発生して、SOFCに多量な水分を含んだガスを供給してしまった。	SOFCへの供給ガスライン/室内配管中に水分除去用コンデンサを設置。2次側にて昇温することで、供給ガスの除湿対策を実施した。	-
	3	SOFC本体に組み込まれた改質器にて、メタン（CH ₄ ）から水素（H ₂ ）への水蒸気改質を実施しております。そのため改質水ポンプよりの改質水の安定供給が非常に重要となりますが、改質水ポンプにてエラーが発生した時のエラー検出にトラブルが続きました。	改質水ポンプでのエラー検出方法として、パルス発信機による制御に加えて、改質水ポンプの回転検出センサの設定及び検出センサの2重化対策を実施することで、エラー発生時の検出精度を高めました。	-

補足資料①

① -1 バイオガスの既設への影響対策

① -2 バイオガスライン凝結水対策



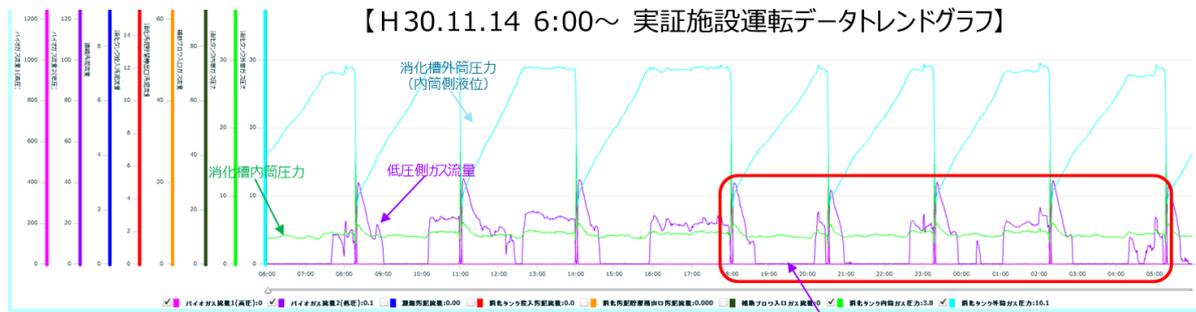
補足資料②



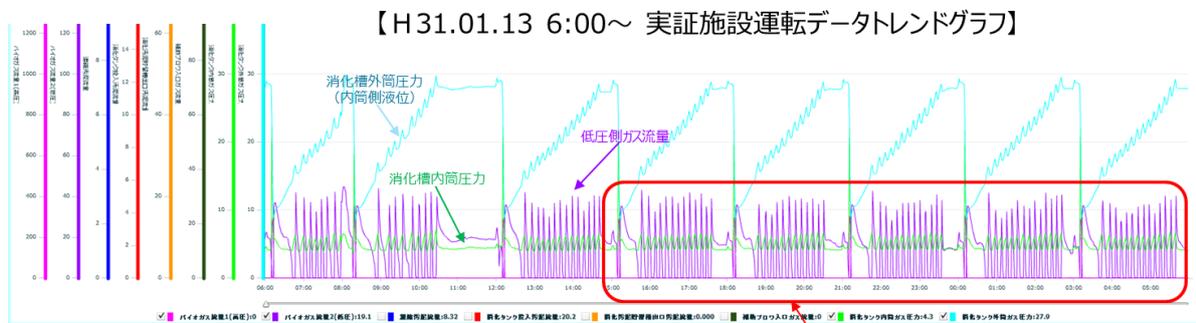
実証設備消化ガス流量計周り概略図

補足資料③

対策前と対策後のバイオガス（低圧側）ガス量トレンドデータ

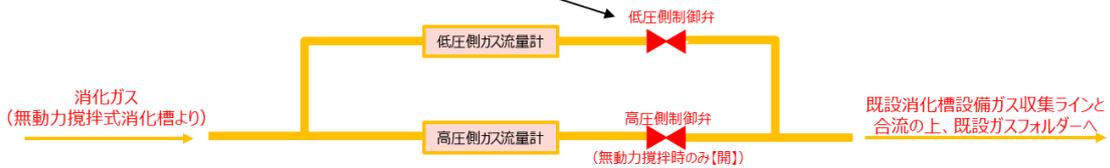


内筒側液面上昇時の微量ガス排出の時間帯において排出ガス量が計測出来ていなかった。



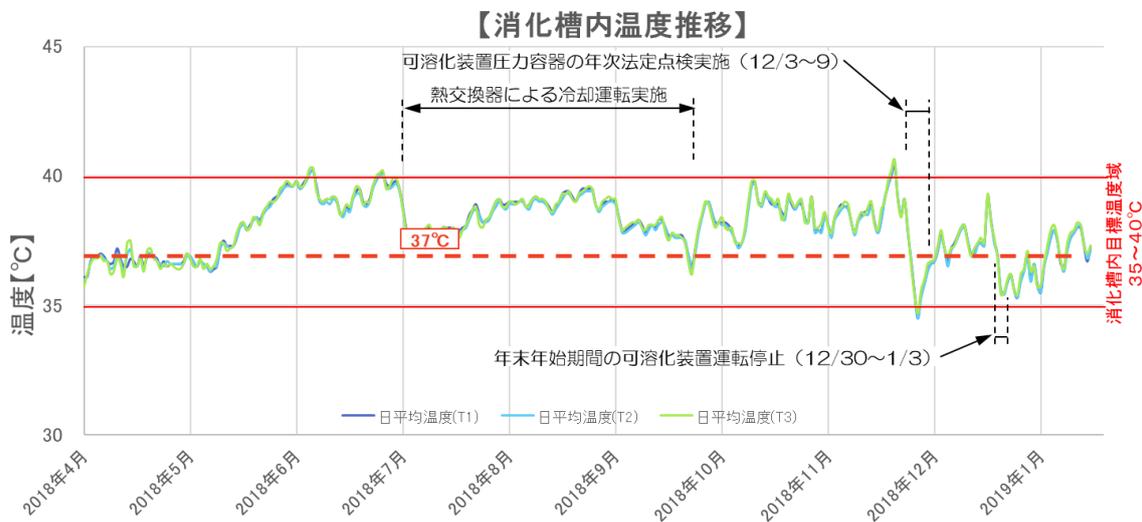
流量計特性の足切り状態で測定出来ていなかった内筒側液面上昇時の発生ガス量が測定出来ている。

流量が5m³/時以下で【閉】5分経過後【開】
無動力攪拌時は【閉】



実証設備消化ガス流量計周り概略図

補足資料④



2018年4月～2019年1月までの消化槽内の温度推移。7月～9月まではスパイラル熱交換器による冷却運転を行い、夏季の消化槽内の過上昇を抑えている。

補足資料⑤

ケーキ移送ポンプ ステータ内部の損耗状態

○不具合状況

当初1年程度のステータ交換サイクルの想定に対して、10ヶ月での交換対応が必要となった。

○調査結果

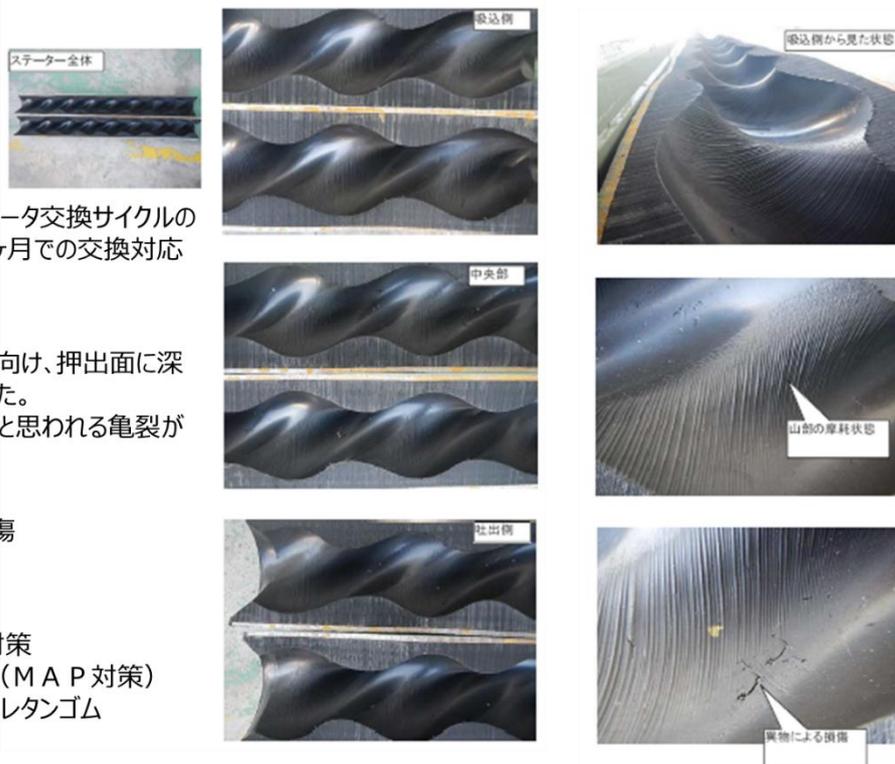
- ・吸込側から吐出側に向け、押出面に深い摺動痕が確認された。
- ・谷部には、異物によると思われる亀裂が散見された。

○推定原因

- ・異物の通貨による損傷
- ・MAPの影響

○対応策

- ・上流側でのMAP対策
- ・ステータ材質の変更（MAP対策）
高強度合成ゴム→ウレタンゴム



IV. 日平均水量 30,000m³ の処理場検討例

IV-1 検討条件

日平均流入下水量 30,000m³ の処理場について、表資 4.1 に示す条件で検討を行った。

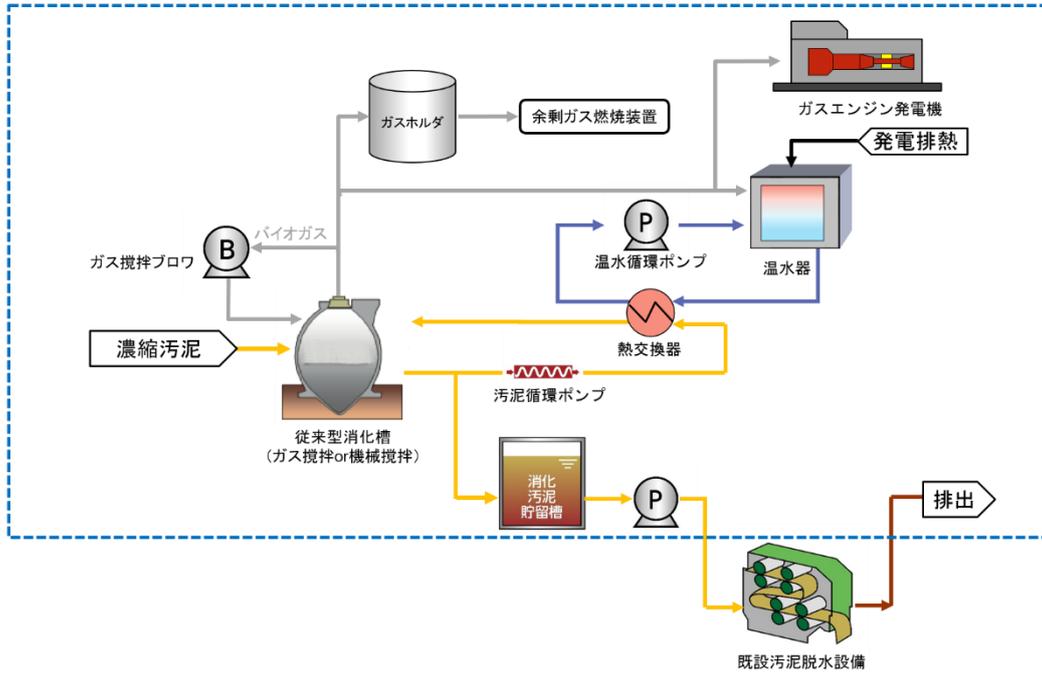
従来技術の検討範囲を図資 4.1、実証技術に係る検討範囲について、図資 4.2 に示す。

表資 4.1 に示す検討条件から、算出した従来技術のマテリアルバランスを図資 4.3 に、第 4 章第 1 節の手法に基づく実証技術のマテリアルバランスを図資 4.4 に示す。従来技術と実証技術の熱バランスをそれぞれ図資 4.5、図資 4.6 に示す。

表資 4.1 検討条件

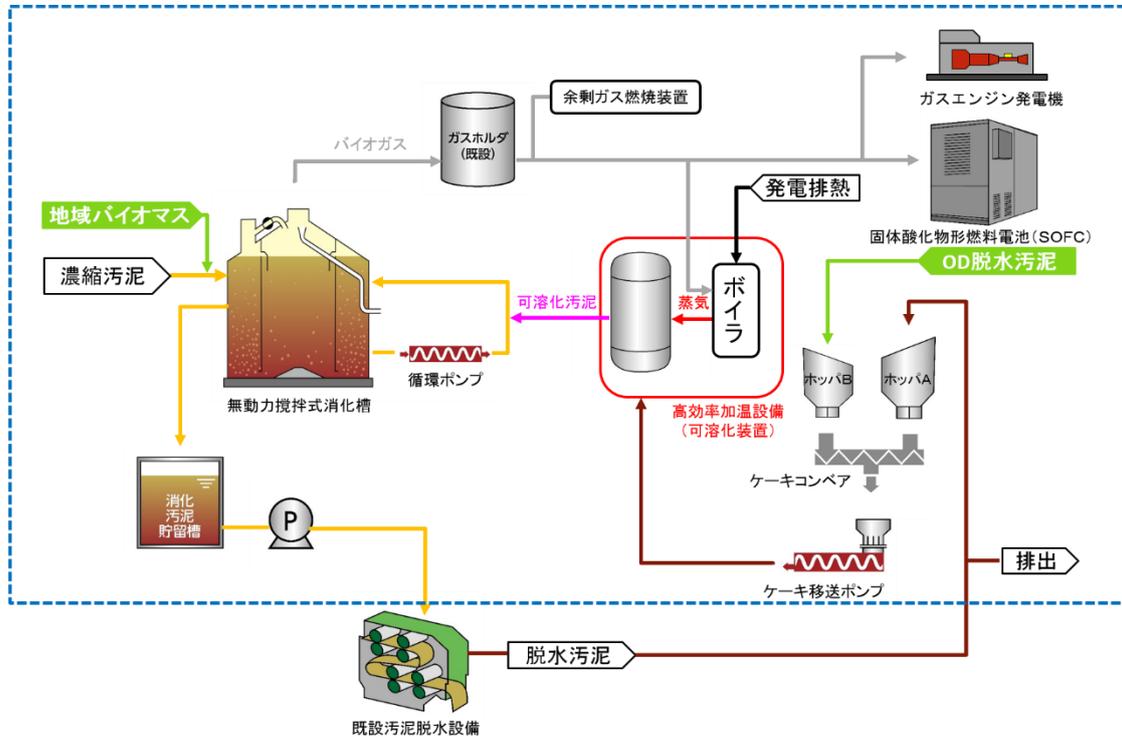
	単位	条件設定
(1) 評価規模		
日最大流入下水量	m ³ /日	37,500
日平均流入下水量	m ³ /日	30,000
(2) 投入汚泥条件		
濃縮混合汚泥量	t-TS/日	5.1
濃縮混合汚泥 TS	%	3.5
濃縮混合汚泥 VS	%	80
(3) 外部受入投入条件(日平均)		
OD 汚泥量	t-TS/日	0.6
OD 汚泥 TS	%	15
OD 汚泥 VS	%	80
食品残渣量	t-TS/日	0.3
食品残渣 TS	%	15
食品残渣 VS	%	90
(4) 設備条件		
設備構成	<ul style="list-style-type: none"> ・ 消化槽設備(消化槽、汚泥引抜ポンプ) ・ 加温設備(高効率加温設備) ・ 消化ガス設備(ガスタンク、脱硫、余剰ガス燃焼) ・ 発電設備(SOFC、小型ガスエンジン) ・ 外部汚泥・地域バイオマス受入設備 (OD 脱水汚泥、食廃残渣) 	
バイオガス利用	加温+発電 (SOFC+ガス発電機)	
消化槽容量	20 日 (濃縮混合汚泥基準)	
脱水汚泥含水率	実証技術 : 77% 従来技術(中温消化) : 82% (参考)消化なし : 79%	

【従来技術】

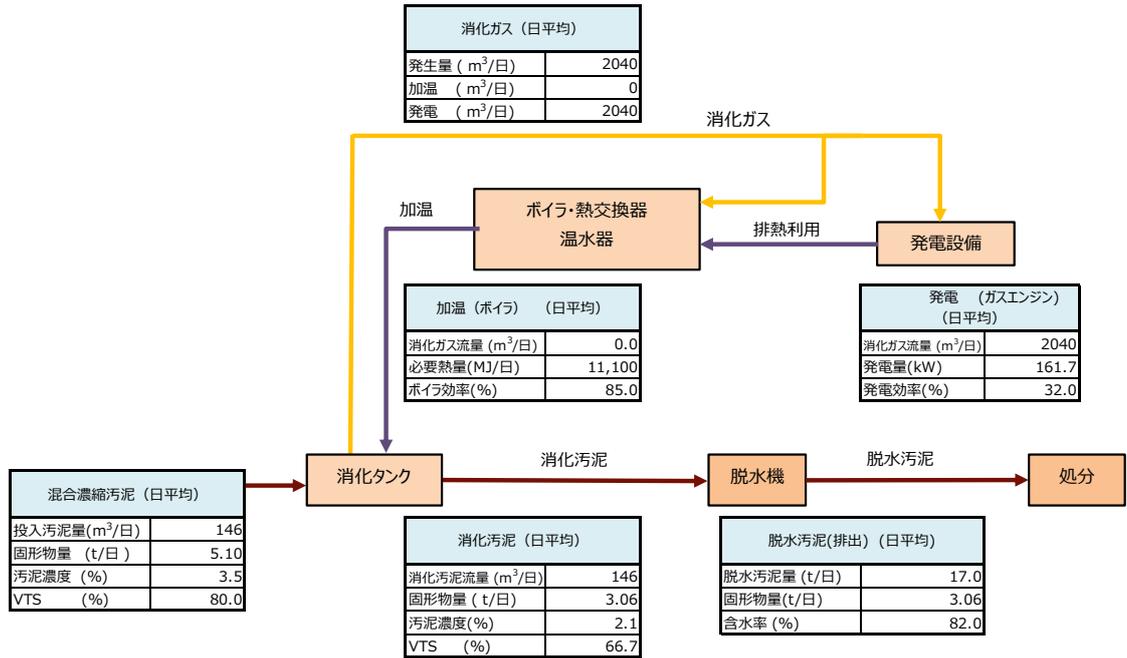


図資 4.1 従来技術の検討範囲

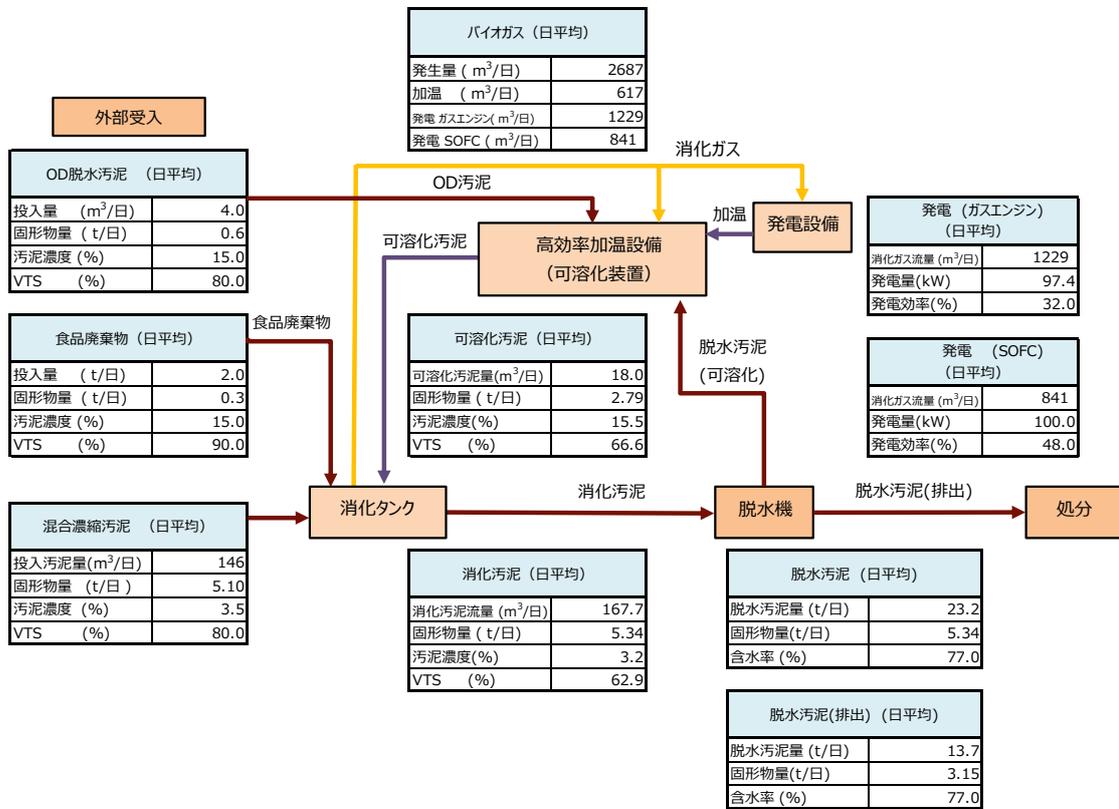
【実証技術】



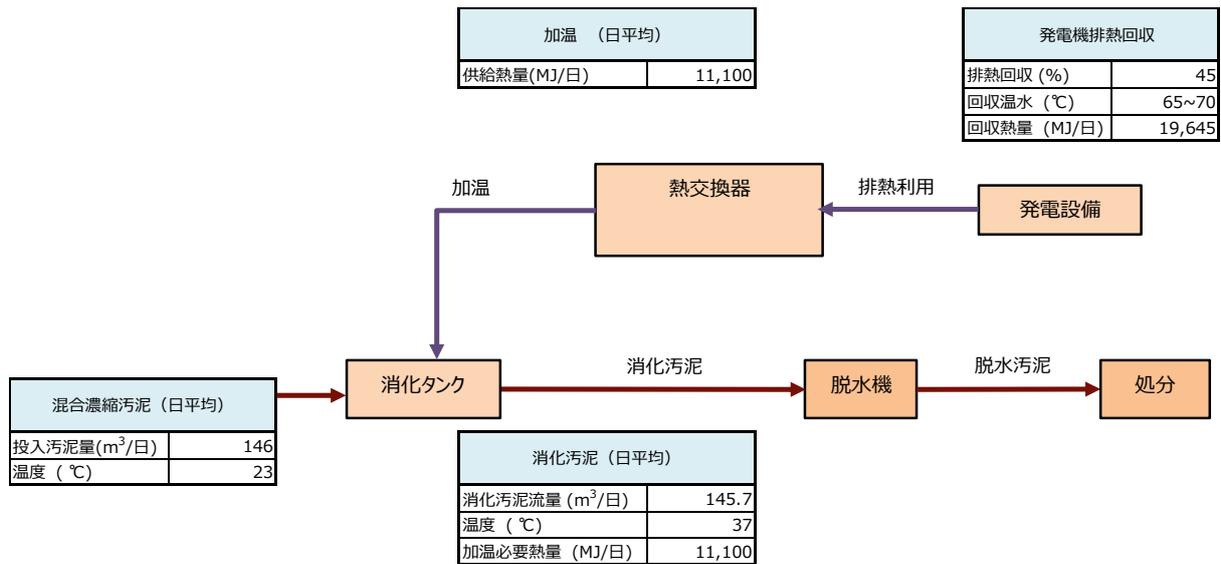
図資 4.2 実証技術の検討範囲



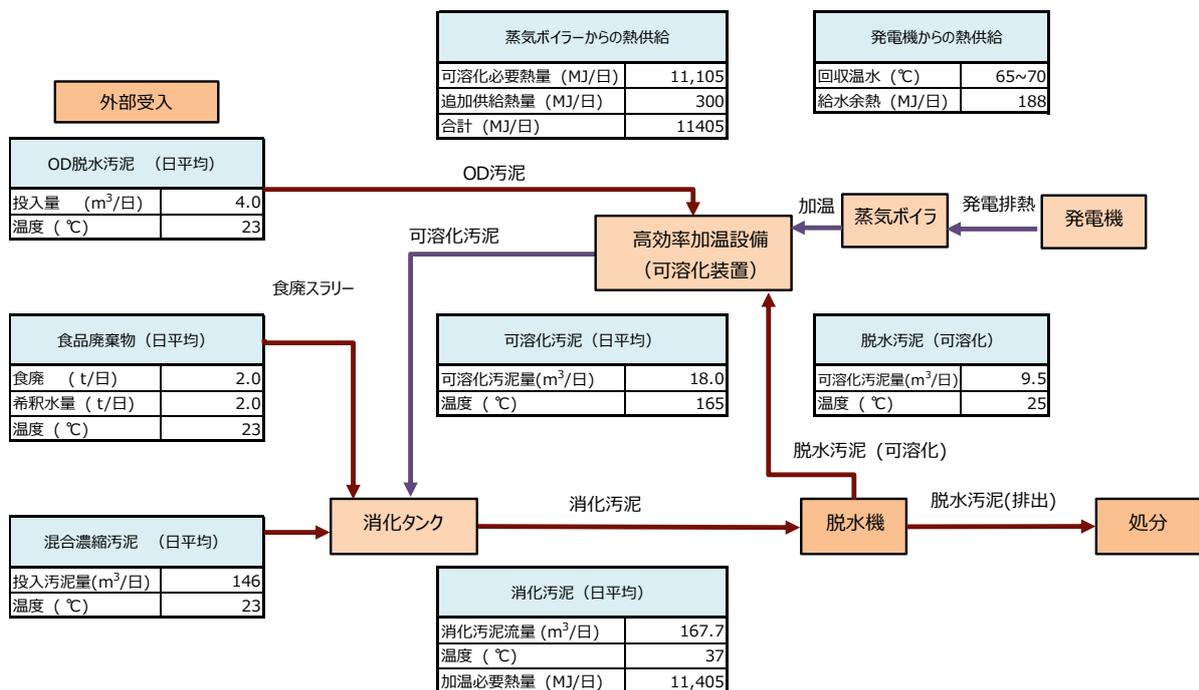
図資 4.3 従来技術の材料バランス



図資 4.4 実証技術の材料バランス



図資 4.5 従来技術の熱バランス



図資 4.6 実証技術の熱バランス

IV-2 総費用(年価換算値)縮減効果

従来技術と比較した総費用(年価換算値)縮減効果について算出する。総費用(年価換算値)の算

出範囲として、建設費（年価）、維持管理費（汚泥処分費、発電便益、地域バイオマス処分費及び移送費を含む）とする。また、参考比較のため、消化なしとの比較についても検討する。

従来式技術の総費用（年価換算値）の算出範囲と実証技術に係る総費用（年価換算値）の算出範囲については、それぞれ図資 4.1 及び図資 4.2 の破線の範囲内とする。

（1）建設費（年価）

消化設備については、従来技術においては「バイオソリッド利活用基本計画（下水汚泥処理総合計画）策定マニュアル（案）」（公益社団法人日本下水道協会）に沿って算出し、実証技術については、参考資料Ⅱで提示した費用関数により算出した。

発電設備については、従来技術においては、「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン」（国土交通省水処理・国土保全局 下水道部）に沿って算出し、実証技術については、参考資料Ⅱで作成した費用関数により算出した。表資 4.2 に建設費の算出結果を示す。

表資 4.2 建設費

[単位：千円]

			消化なし	従来技術	実証技術	
建設費 (国庫補助は考慮しない)	従来消化設備	機械		678,300		
		電気		77,900		
		土木		600,500		
	計				1,356,700	
	無動力攪拌消化タンク	機械・電気				54,900
		土木				382,500
	計					437,400
	消化ガス	機械・電気				244,100
		土木				43,200
	計					287,300
	可溶化設備	機械・電気				350,500
		土木				75,200
	計					425,700
	発電設備	ガスエンジン	機械・電気		198,000	113,100
			土木		10,000	8,200
		SOFC	機械・電気			90,000
			土木			8,200
	計				208,000	219,500
	外部汚泥・地域バイオマス受入設備	機械・電気				76,400
		土木				61,600
計					138,000	

建設年価の算出に当たっては、「バイオソリッド利活用基本計画（下水汚泥処理総合計画）策定マニュアル（案）」（公益社団法人日本下水道協会）より利子率 2.3% とし、表資 4.3 に示す各設備の耐用年数により、次式を用いて年価換算を行った。表資 4.4 に建設費の算出結果を示す。

$$\text{建設年価} = \text{建設費} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad i: \text{利子率} \quad n: \text{耐用年数}$$

表資 4.3 各設備の耐用年数

設備	耐用年数
機械・電気設備(SOFCを除く)	15年
機械・電気設備(SOFC)	10年
土木構造物	45年

注) SOFCの長期安定運転に関しては、今後の検討が必要である。

表資 4.4 建設年価

[単位：千円/年]

			消化なし	従来技術	実証技術		
建設年価 (国庫補助は考慮しない)	従来消化設備	機械		53,981			
		電気		6,200			
		土木		21,561			
	計				81,742		
	無動力攪拌消化タンク	機械・電気				4,369	
		土木				13,734	
	計					18,103	
	消化ガス	機械・電気				19,426	
		土木				1,551	
	計					20,977	
	可溶化設備	機械・電気				27,894	
		土木				2,700	
	計					30,594	
	発電設備	ガスエンジン	機械・電気		15,757	9,001	
			土木		359	294	
		SOFC	機械・電気				10,177
			土木				294
	計				16,116	19,766	
	外部汚泥・地域バイオマス受入設備	機械・電気				6,080	
		土木				2,212	
計					8,292		
合計				97,858	97,732		

(2) 維持管理費

維持管理費は、汚泥処分費、発電便益、地域バイオマス処分費及び移送費を含むものとする。尚、脱水設備については、従来技術である中温消化に比較して投入固形物が増えるため、その維持管理費用の増分も範囲として含める。従来式消化設備の維持管理費及び脱水設備の運転時間

増加に伴う維持管理費の増加分(電力費、薬品費、上水費、消耗品費、点検・修繕費)は、「バイオソリッド利活用基本計画(下水汚泥処理総合計画)策定マニュアル(案) 公益社団法人日本下水道協会(平成16年3月)」に基づき、算出した。また、従来式発電設備の維持管理費については、「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン」(国土交通省水処理・国土保全局 下水道部)に沿って算出した。実証技術の維持管理費については、**参考資料Ⅱ**に基づいて算出する。発電については、場内利用を想定し、ユーティリティとしての電気単価と同等の単価の便益とする。**表資 4.5**にユーティリティ単価、**表資 4.6**に汚泥処分単価の設定、**表資 4.7**に算出した維持管理費を示す。

表資 4.5 ユーティリティ単価

項目	単位	単価
電気	円/kWh	15
上水	円/m ³	200

表資 4.6 汚泥処分単価

項目	単位	単価	備考
汚泥処分費	円/ton	23,000	内輸送費 7,000 円/ton
食品廃棄物処分費	円/ton	27,000	内輸送費 7,000 円/ton

表資 4.7 維持管理費

[単位：千円/年]

			消化なし	従来技術	実証技術
維持管理費	消化(従来技術)	維持管理		19,420	
	消化(実証技術)	維持管理			22,583
	消化ガス発電	維持管理		10,133	10,790
		場内利用		-19,758	-24,125
		FIT 売電			
	バイオマス受入	維持管理			7,907
		バイオマス処分	53,290	53,290	15,330
	脱水	維持管理増分	14,158	0	15,657
	汚泥処分費		203,780	142,715	115,023
	合計		271,228	205,800	163,165

(3) 総費用(年価換算値)の算出結果

日平均流入下水量 30,000m³の処理場について、総費用(年価換算値)縮減効果について試算した結果を**表資 4.8**に示す。

表資 4.8 総費用(年価換算値)試算結果

[単位：千円]

	消化なし	従来技術	実証技術
建設費-1 (下記を含まず)	0	81,741	69,674
建設費-2 (発電設備)	0	16,116	19,767
建設費-3 (外部受入)	0	0	8,292
維持管理費	14,158	29,553	56,937
汚泥処分費(有機イオマス含)	257,070	196,005	130,353
電力場内利用(15円/kWh)	0	-19,758	-24,125
総費用(年価換算値)	271,228	303,657	260,898
従来技術を100とした総費用(年価換算値)比較	89.3	100.0	85.9

IV-3 電力消費量及び発電による創エネルギー量

(1) 攪拌設備における電力消費量

日平均水量 30,000m³ の処理場について攪拌設備における電力消費量を試算した結果を表資 4.9 に示す。

表資 4.9 攪拌設備の電力消費量

技術	基数	動力(kW)	稼働(h/日)	力率	電力(kWh/日)
従来技術(ガス攪拌)	1	30	24	0.8	576
従来技術(機械攪拌)	1	3.7	24	0.7	88.8
革新的技術(補助ブロワ)	1	7.5	1	0.7	5.25

革新的技術による電力量削減はガス攪拌、機械攪拌のそれぞれに対し、 $(1 - 5.25/576) \times 100 = 99\%$ 、 $(1 - 5.25/88.8) \times 100 = 94\%$ となり、革新的技術の導入により、90%以上の動力削減が見込まれる。

(2) 実証設備全体での電力消費量

日平均 30,000m³ の処理場について攪拌設備を含む設備全体における電力消費量について、試算範囲を表資 4.10 に、試算した結果を表資 4.11 に示す。

表資 4.10 消費電力量試算範囲

従来技術(中温消化)	革新的技術
消化タンク攪拌機	補助ブロワ
消化汚泥循環ポンプ	消化汚泥循環ポンプ
温水ポンプ	可溶化装置
温水器	ケーキ移送ポンプ
消化汚泥移送ポンプ	洗浄水ポンプ
消化汚泥貯留槽攪拌機	空気圧縮機
	蒸気ボイラ
	給水ポンプ
	軟水装置
	消化汚泥移送ポンプ
	消化汚泥貯留槽攪拌機

表資 4.11 設備全体の消費電力量試算結果

技術	電力(kWh/日)	電力(千kWh/年)
従来技術(機械攪拌)	462.2	168.7
革新的技術	441.9	161.3

(3) 発電による創エネルギー量

日平均水量 30,000m³ の処理場における発電による創エネルギー量（発電量）を試算した結果を表資 4.12 に示す。

表資 4.12 発電による創エネルギー量

項目	創エネルギー量(kWh/年)	
	従来技術	実証技術
エネルギー創出量	1,317,200	1,608,300

※ 処理場規模: 日平均汚水量 30,000m³/日

IV-4 省エネ性評価

(1) 分解 VS 量当りの消費電力量

実証運転結果より日平均 30,000m³ の処理場における、分解 VS 量当りの消費電力量の試算結果を表資 4.13 に示す。

表資 4.13 分解 VS 量当りの消費電力量

項目	実証設備	FS (日平均水量:30,000m ³)
分解VS量当り消費電力量 (kWh/kg-VS分解)	0.162	0.155

日平均水量 30,000m³ の処理場について分解 VS 量当りの消費電力量の削減率は、下水道施設のエネルギー効率に関する性能指標：分解 VS 当りの消費電力量(0.28kWh/kg-VS 分解)に対し、 $(1-0.155/0.28) \times 100 = \blacktriangle 44.6\%$ と試算され、革新的技術の導入によりに対し、実証研究目標とした 25%以上の消費電力量の削減が見込まれる。

(2) エネルギー自給率の向上

日平均流入水量 30,000m³ の条件における革新的技術導入に伴う設備全体の消費電力の削減量の試算を表資 4.14 に示す。(消費電力量の算定は国交省『下水道施設のエネルギー効率に関する性能指標及び算定方法について』による)。

従来技術と革新的技術のエネルギー自給率を算出した結果を表資 4.15 に示す。革新的技術導入により、エネルギー自給率は、40%以上の確保が見込まれる。

表資 4.14 設備全体の消費電力の削減量

【単位: kWh/年】

項目	消化設備消費電力量	消費電力量削減量①	備考
従来技術	168.7	—	
革新的技術	161.3	7.4	以下の増分電力消費量を含む ・地域バイオマス受入による電力消費量:18.48 ・脱水機運転時間増による電力消費量:21.77

表資 4.15 エネルギー自給率

項目	発電量② [千kWh/年]	エネルギー自給率 [%](①+②)÷③	備考
従来技術	1,317.2	33.7	発電効率32%
実証技術			
SOFC	814.7		発電効率48%
ガスエンジン	793.6		発電効率32%
実証技術合計	1,608.3	41.4	

※従来技術における日平均30,000m³/日処理場全体での消費電力量:3,905 千kWh/年……③
(『下水道における地球温暖化対策マニュアル』より)

IV-5 温室効果ガス排出量削減の評価

(1) 温室効果ガス排出量

従来技術における日平均 30,000m³ の処理場全体からの温室効果ガス排出量は以下の式によって算出するものとする。

【エネルギー起源 CO₂ 分】

$$\begin{aligned} \text{Log (処理水量当り温室効果ガス排出量[t-CO}_2\text{/千 m}^3\text{]} \\ = -0.208 \times \log (\text{日平均汚水量[m}^3\text{/日]}) + 0.059 \times \log (\text{流入 BOD}) \\ - 0.368 \times \log (\text{流入量比率}) + 0.092 \end{aligned}$$

(出典：『下水道における地球温暖化マニュアル』 H28.3 環境省・国土交通省)

以下の条件にて算出する。

- ・ 日平均汚水量 : 30,000m³/日
- ・ 流入 BOD : 200mg/L
- ・ 流入量比率 : 1.0
- ・ CO₂ 排出係数 : 0.55 t-CO₂/千 kWh

以上より、温室効果ガス排出量は、2,167 t-CO₂/年 となる。

(2) 温室効果ガス排出量削減効果

温室効果ガス排出量の削減効果に関して、以下の効果の総和によって算出するものとする。

- ① バイオガス発電量増加 : 発電効率改善による削減効果
- ② エネルギー消費量削減 : 省エネ効果による削減効果
- ③ 汚泥排出量削減に伴う CO₂ 排出減 : 汚泥排出量削減効果に伴う効果

上記「③汚泥排出量削減に伴う CO₂ 排出減」による効果の試算は、「下水道における地球温暖化マニュアル」(平成 28 年 3 月 環境省・国土交通省)に記載の算定式を用いて試算とする。

算定式を表資 4.16 に示す。

表資 4.16 温室効果ガス削減量の算定式

項目	算定式
温室効果ガス削減量[t-CO ₂ /年] 焼却温度800℃	$y71 = 0.0089 \cdot Qy + 34.651$
温室効果ガス削減量[t-CO ₂ /年] コンポスト	$y72 = 0.0042 \cdot Qy + 34.607$

※ Qy: 年間処理汚泥量[1%換算](m³/年)

日平均水量 30,000m³ の処理場において従来技術（中温消化）の処理場に対し、革新的技術を導入した場合の温室効果ガス CO₂ 排出量削減の試算（外部汚泥・地域バイオマス受入有）結果を表資 4.16 に示す。CO₂ 排出削減量の試算結果として、排出脱水ケーキを焼却処理の場合は 76.6%、コンポスト処理の場合は 36.6% の削減効果結果が得られた。

表資 4.16 温室効果ガス削減量

項目	温室効果ガス排出削減量 [t-CO ₂ /年]	温室効果ガス排出削減効果 [%] ④÷2,167 ^{※2}
① バイオガス発電量増加	161.6	
② エネルギー消費量削減	4.1	
③ 汚泥排出削減に伴う排出減 ^{※1}		
【1】焼却の場合	1,494.7	
【2】コンポスト化の場合	627.8	
④ 温室効果ガス排出削減量 合計 (①+②+③)		
【1】焼却の場合	1,660.4	76.6
【2】コンポスト化の場合	793.5	36.6

※1: 地域バイオマス(OD脱水汚泥4.0t/日、食品廃棄物2.0t/日)の排出削減も含めて算出

※2: 従来技術における処理場全体での温室効果ガス排出量: 2,167t-CO₂/年(5.4.1参照)

V. 加温設備更新に関する総費用(年価換算値)の縮減効果

V-1 加温設備更新に伴う総費用(年価換算値)の縮減効果について

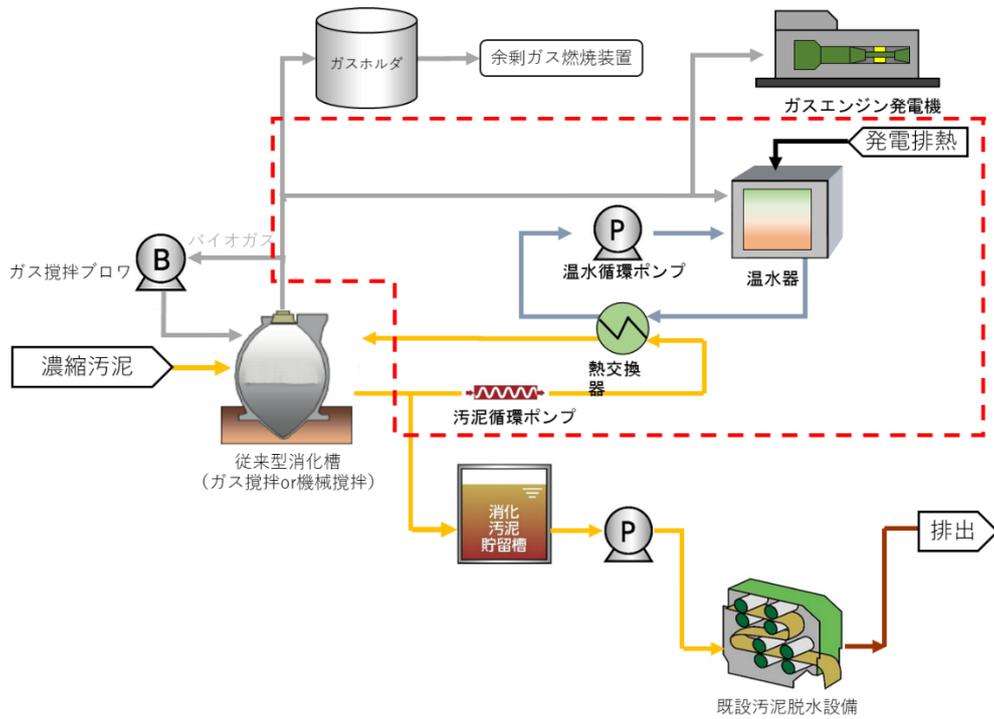
既に消化設備を保有している処理場について、加温設備更新の際に、実証技術である高効率加温設備を導入し、消化槽容量に余裕がある場合に外部汚泥・地域バイオマス受入を行う場合と、行わない場合の総費用(年価換算値)について、従来技術による加温設備の更新をおこなった場合との比較を行う。検討条件を表資 5.1 に示す。

表資 5.1 検討条件

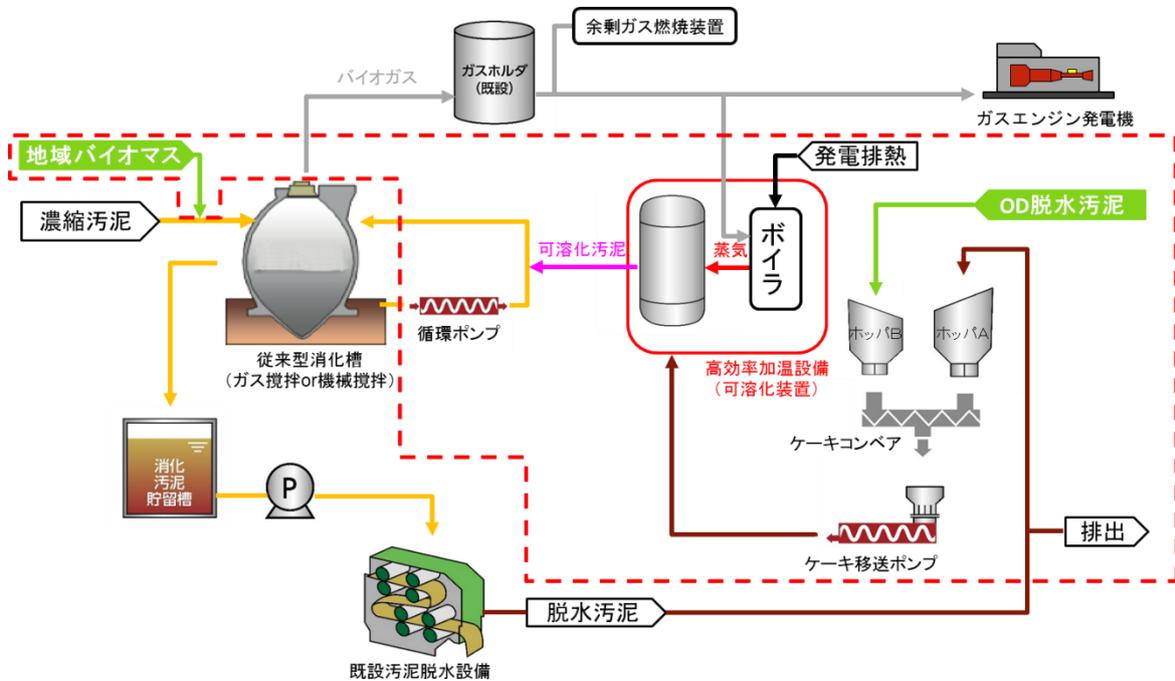
	単位	条件設定		
(1) 評価規模				
日最大流入下水量	m ³ /日	12,500	37,500	62,500
日平均流入下水量	m ³ /日	10,000	30,000	50,000
(2) 投入汚泥条件				
濃縮混合汚泥量	t-TS/日	1.7	5.1	8.5
濃縮混合汚泥 TS	%	3.5		
濃縮混合汚泥 VS	%	80		
(3) 外部受入投入条件(日平均)				
OD 汚泥量	t-TS/日	0.2	0.6	1.0
OD 汚泥 TS	%	15		
OD 汚泥 VS	%	80		
食品残渣量	t-TS/日	0.1	0.3	0.5
食品残渣 TS	%	15		
食品残渣 VS	%	90		
(4) 設備条件				
比較対象設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ 加温設備(実証技術：高効率加温設備) ・ 外部汚泥・地域バイオマス受入設備 (OD 脱水汚泥、食品残渣) 			
バイオガス利用	既設発電機(ガス発電機)			
脱水汚泥含水率	実証技術 : 77% 従来技術(中温消化) : 82%			

V-2 総費用(年価換算値)の算出範囲

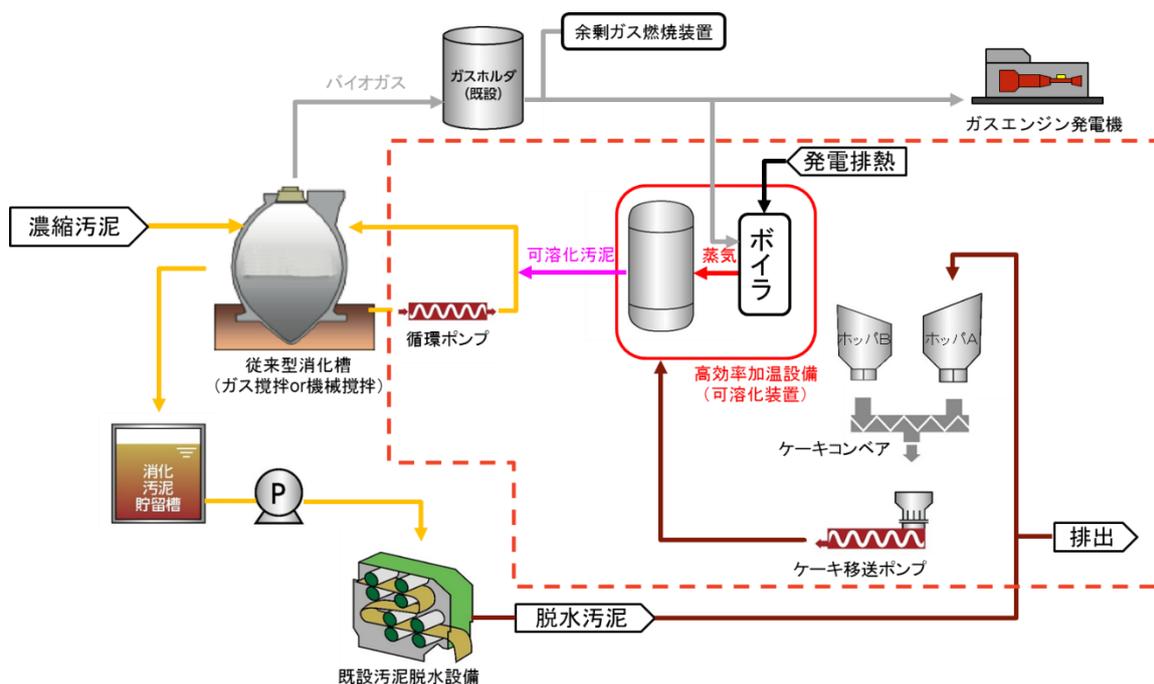
従来式技術の加温設備の範囲を図資 5.1 に示す。実証技術に係る総費用(年価換算値)の算出範囲について、外部汚泥・地域バイオマス受入ありの場合の範囲を図資 5.2、受入なしの場合の範囲を図資 5.3 に示す。



図資 5.1 従来技術の算定範囲



図資 5.2 実証技術の算定範囲 (外部受入あり)



図資 5.3 実証技術の算定範囲（外部受入なし）

建設年価

建設費の算出範囲を加温設備及び外部汚泥・地域バイオマス受入装置(外部受入れを行う場合)とする。

実証技術の場合、高効率加温設備設置の効果によってバイオガス発生量は増加するが、高効率加温設備の加温にバイオガスを消費する。従来技術において、消化タンク発電機に供するガスの量は微増であるため、発電機は増設せず、発電便益もカウントしない。

建設年価の算出に当たっては、「バイオソリッド利活用基本計画(下水汚泥処理総合計画)策定マニュアル(案)」(公益社団法人日本下水道協会)より利率率 2.3%とし、表資 5.2 に示す各設備の耐用年数により、次式を用いて年価換算を行った。

$$\text{建設年価} = \text{建設費} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad i: \text{利率率} \quad n: \text{耐用年数}$$

表資 5.2 各設備の耐用年数

設備	耐用年数
機械・電気設備	15年
土木構造物	45年

維持管理費増分

高効率加温設備、外部汚泥・地域バイオマス受入装置(外部受入れを行う場合)に加えて、脱水機への投入汚泥が増加することから、脱水機の維持管理費の増分も範囲とする。

維持管理費の算出に際しての各ユーティリティの単価を表資 5.3 に示す。

表資 5.3 ユーティリティ単価

項目	単位	単価
電気	円/kWh	15
上水	円/m ³	200

汚泥処分費削減による便益

脱水汚泥の処分費について、従来技術と比較した場合からの削減分を便益としてカウントする。外部汚泥受入れの場合は、外部汚泥を本設備で処理しているので外部汚泥処分費についても便益とした。設定した処分費の単価を表資 5.4 に示す。

表資 5.4 汚泥処分単価

項目	単位	単価	備考
汚泥処分費	円/ton	23,000	内輸送費 7,000 円/ton
食品廃棄物処分費	円/ton	27,000	内輸送費 7,000 円/ton

V-3 総費用(年価換算値)の縮減効果の試算結果

日平均水量 10,000m³、30,000m³、50,000m³の既設消化設備がある各処理場で、導入した場合の総費用(年価換算値)の縮減効果の試算結果について、表資 5.5~5.7 に示す。

表資 5.5 総費用(年価換算値)の縮減効果(日平均汚水量 10,000m³/日)

	従来技術	実証技術 (外部有)	実証技術 (外部無)
建設年価-1(加温設備)	16,826	25,855	25,855
建設年価-2(バイオマス受入)	0	6,140	0
建設年価-3(合計) ①	16,826	31,995	25,855
維持管理費 ②	7,591	22,559	18,594
汚泥処分費(バイオマス含) ③	65,625	43,727	48,824
総費用(①+②+③)	90,042	98,281	93,273
従来技術を 100 とした総費用(年価換算値)比較	100.0	109.2	103.6
汚泥処分量(バイオマス含)(t/年)	2,811	1,679	2,081

[単位：千円]

表資 5.6 総費用(年価換算値)の縮減効果(日平均汚水量 30,000m³/日)

	従来技術	実証技術 (外部有)	実証技術 (外部無)
建設年価-1(加温設備)	23,219	30,594	30,594
建設年価-2(バイオマス受入)	0	8,292	0
建設年価-3(合計) ①	23,219	38,886	30,594
維持管理費 ②	11,264	39,493	31,586
汚泥処分費(バイオマス含) ③	196,005	130,353	146,475
総費用(①+②+③)	230,488	208,732	208,655
従来技術を100とした総費用(年 価換算値)比較	100.0	90.6	90.5
汚泥処分量(バイオマス含)(t/年)	8,395	5,001	6,242

[単位：千円]

表資 5.7 総費用(年価換算値)の縮減効果(日平均汚水量 50,000m³/日)

	従来技術	実証技術 (外部有)	実証技術 (外部無)
建設年価-1(加温設備)	35,411	56,829	56,829
建設年価-2(バイオマス受入)	0	9,553	0
建設年価-3(合計) ①	35,411	66,382	56,829
維持管理費 ②	13,747	51,551	40,647
汚泥処分費(バイオマス含) ③	326,408	216,956	244,126
総費用(①+②+③)	375,566	334,889	341,602
従来技術を100とした総費用(年 価換算値)比較	100.0	89.2	91.0
汚泥処分量(バイオマス含)(t/年)	13,980	8,322	10,403

[単位：千円]

VI. 消化設備新設に関する総費用(年価換算値)の縮減効果

VI-1 消化設備新設に伴う総費用(年価換算値)の縮減効果について

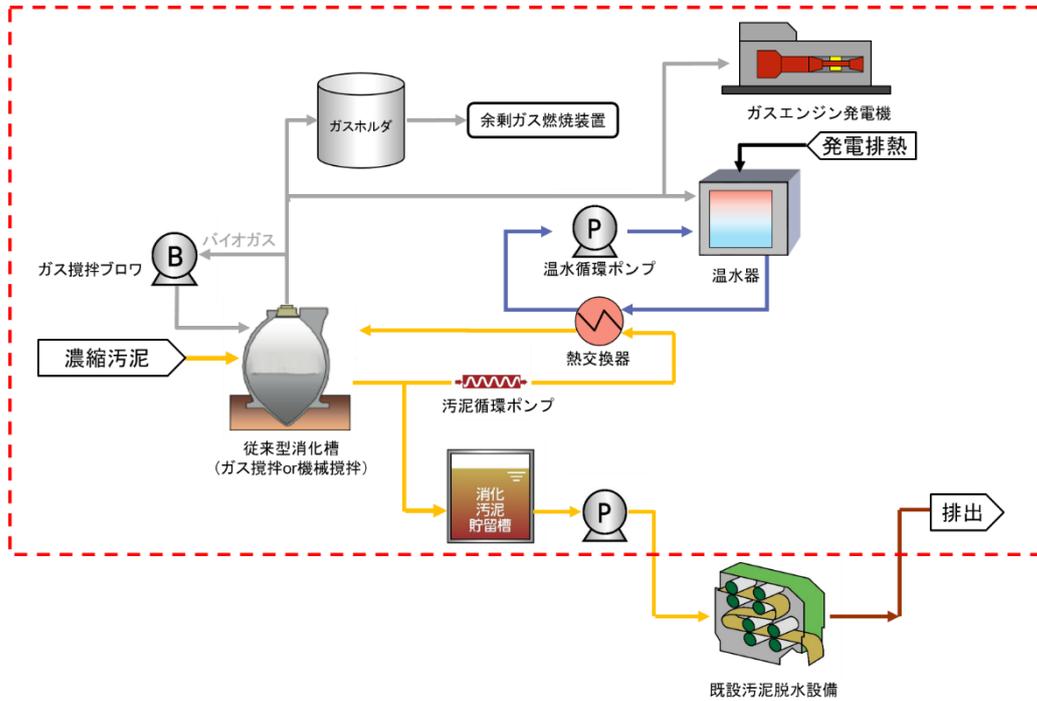
消化設備を保有していない処理場について、消化設備新設の際に、実証技術である無動力攪拌式消化槽及び高効率加温設備を導入し、外部汚泥・地域バイオマス受入を行う場合と、行わない場合の総費用(年価換算値)について、消化なしの比較を行う。検討条件を表資 6.1 に示す。消化ガス有効利用については、従来技術での小型ガスエンジンによる発電とする。

表資 6.1 検討条件

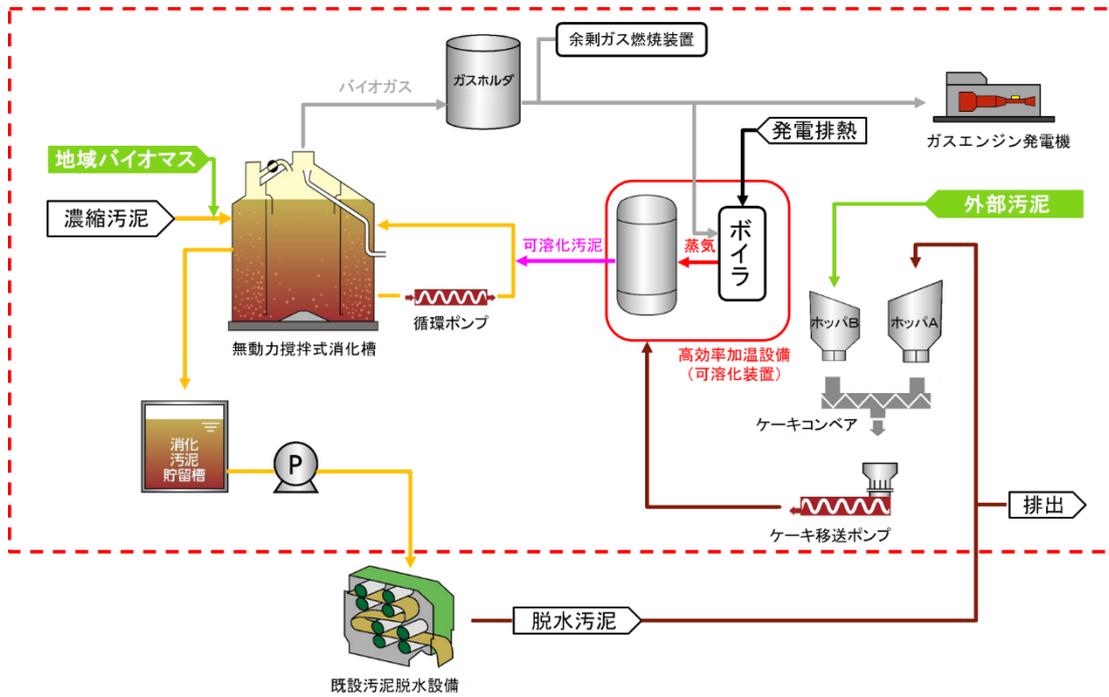
	単位	条件設定		
(1) 評価規模				
日最大流入下水量	m ³ /日	12,500	37,500	62,500
日平均流入下水量	m ³ /日	10,000	30,000	50,000
(2) 投入汚泥条件				
濃縮混合汚泥量	t-TS/日	1.7	5.1	8.5
濃縮混合汚泥 TS	%	3.5		
濃縮混合汚泥 VS	%	80		
(3) 外部受入投入条件(日平均)				
OD 汚泥量	t-TS/日	0.2	0.6	1.0
OD 汚泥 TS	%	15		
OD 汚泥 VS	%	80		
食品残渣量	t-TS/日	0.1	0.3	0.5
食品残渣 TS	%	15		
食品残渣 VS	%	90		
(4) 設備条件				
消化槽容量(外部受入有)	m ³	1,200	3,600	3,000×2
消化槽容量(外部受入無)	m ³	1,000	3,000	2,500×2
比較対象設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ 消化槽設備(実証技術：高効率加温設備) ・ 加温設備 (実証技術：高効率加温設備) ・ 消化ガス設備 (ガスタンク、余剰ガス燃焼) ・ 消化ガス発電設備(小型ガスエンジン) 発電効率 32%、稼働率 93% ・ 外部汚泥・地域バイオマス受入設備 (OD 脱水汚泥、食品残渣) 			
脱水汚泥含水率	実証技術 : 77% 従来技術(中温消化) : 82% 消化なし : 79%			

VI-2 総費用(年価換算値)の算出範囲

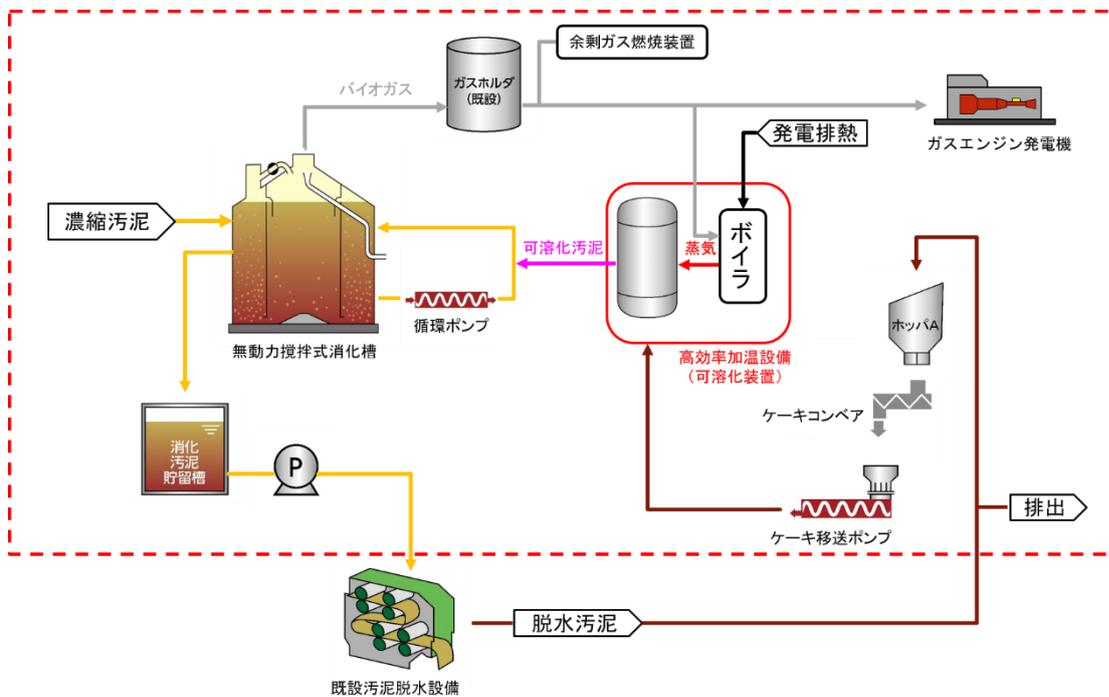
従来式技術のフロー及び算出範囲を図資 6.1 に示す。実証技術のフロー及び算出範囲について、外部汚泥・地域バイオマス受入ありの場合の範囲を図資 6.2、受入なしの場合の範囲を図資 6.3 に示す。



図資 6.1 従来技術の算定範囲



図資 6.2 実証技術の算定範囲（外部受入あり）



図資 6.3 実証技術の算定範囲（外部受入なし）

建設年価

建設費の算出は、「バイオソリッド利活用基本計画(下水汚泥処理総合計画)策定マニュアル(案)」(公益社団法人日本下水道協会)及び資料編Ⅱの簡易算定式、発電設備については、「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン」(国土交通省水処理・国土保全局 下水道部)に沿って算出する。発電機の総出力は、日平均汚水量を基準にして算出される発電量を基準とし、機械・電気設備と土木費を算出した。

建設年価の算出に当たっては、利率率 2.3%とし、表資 6.2 に示す各設備の耐用年数により、次式を用いて年価換算を行った。

$$\text{建設年価} = \text{建設費} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad i: \text{利率率} \quad n: \text{耐用年数}$$

表資 6.2 各設備の耐用年数

設備	耐用年数
機械・電気設備	15年
土木構造物	45年

維持管理費増分

高効率加温設備、外部汚泥・地域バイオマス受入装置(外部受入れを行う場合)に加えて、脱水機への投入汚泥が増加することから、脱水機の維持管理費の増分も範囲とする。

維持管理費の算出に際しての各ユーティリティの単価を表資 6.3 に示す。

表資 6.3 ユーティリティ単価

項目	単位	単価
電気	円/kWh	15
上水	円/m ³	200

汚泥処分費削減による便益

脱水汚泥の処分費について、従来技術と比較した場合からの削減分を便益としてカウントする。外部汚泥受入れの場合は、外部汚泥を本設備で処理しているので外部汚泥処分費についても便益とした。設定した処分費の単価を表資 6.4 に示す。

表資 6.4 汚泥処分単価

項目	単位	単価	備考
汚泥処分費	円/ton	23,000	内輸送費 7,000 円/ton
食品廃棄物処分費	円/ton	27,000	内輸送費 7,000 円/ton

発電電力による便益

発電電力は、場内利用とするものとし、その便益はユーティリティ単価と同様 15 円/kWh とした。

VI-3 総費用(年価換算値)の縮減効果の試算結果

日平均水量 10,000m³、30,000m³、50,000m³の各処理場で消化設備を導入した場合の総費用(年価換算値)の縮減効果の試算結果について、表資 6.5~7 に示す。

表資 6.5 総費用(年価換算値)の縮減効果(日平均汚水量 10,000m³/日)

	消化なし	従来技術	実証技術 (外部有)	実証技術 (外部無)
建設年価-1(消化設備)	0	51,011	48,959	47,541
建設年価-2(発電設備)	0	7,022	7,022	4,756
建設年価-3(バイオマス受入)	0	0	6,140	0
維持管理費	7,356	16,995	30,660	24,977
汚泥処分費(バイオマス含)	85,612	65,625	43,727	48,824
電力場内利用(¥15/kWh)	0	-6,587	-6,683	-5,870
総費用(年価換算値)	92,968	134,066	129,825	120,228
従来技術を100とした総費用 (年価換算値)比較	69.3	100.0	96.8	89.7
汚泥処分量(バイオマス含) (t/年)	3,680	2,811	1,679	2,081

[単位：千円]

注：設備で使用する電力については維持管理費に含まれる。

表資 6.6 総費用(年価換算値)の縮減効果(日平均汚水量 30,000m³/日)

	消化なし	従来技術	実証技術 (外部有)	実証技術 (外部無)
建設年価-1(消化設備)	0	81,741	69,674	66,897
建設年価-2(発電設備)	0	16,116	16,116	13,843
建設年価-3(バイオマス受入)	0	0	8,292	0
維持管理費	14,158	29,553	56,280	46,449
汚泥処分費(バイオマス含)	257,070	196,005	130,353	146,475
電力場内利用(¥15/kWh)	0	-19,758	-20,499	-17,618
総費用(年価換算値)	271,228	303,657	260,216	256,046
従来技術を100とした総費用 (年価換算値)比較	89.3	100.0	85.7	84.3
汚泥処分量(バイオマス含) (t/年)	11,050	8,395	5,001	6,242

[単位：千円]

注：設備で使用する電力については維持管理費に含まれる。

表資 6.7 総費用(年価換算値)の縮減効果(日平均汚水量 50,000m³/日)

	消化なし	従来技術	実証技術 (外部有)	実証技術 (外部無)
建設年価-1(消化設備)	0	109,826	115,119	110,722
建設年価-2(発電設備)	0	25,200	25,200	22,926
建設年価-3(バイオマス受入)	0	0	9,553	0
維持管理費	19,196	39,624	76,225	63,249
汚泥処分費(バイオマス含)	428,528	326,408	216,956	244,126
電力場内利用(¥15/kWh)	0	-32,931	-33,416	-29,367
総費用(年価換算値)	447,724	468,127	409,637	411,656
従来技術を100とした総費用 (年価換算値)比較	95.6	100.0	87.5	87.9
汚泥処分量(バイオマス含) (t/年)	18,420	13,980	8,322	10,403

[単位：千円]

注：設備で使用する電力については維持管理費に含まれる。

VII. 機器仕様書

(1) 無動力攪拌式消化槽

1. 使用目的

本装置は、下水汚泥を消化するためのものである。

2. 仕様

項目	仕様	備考
(1) 型式	無動力攪拌式消化槽	
(2) 材質	鋼板製 又は RC 製	何れかを選択
(3) 投入汚泥性状	汚泥種類：混合汚泥及びバイオマススラリー TS %, VTS %	適用:TS:3~6%
(4) 有効容量		m ³
(5) 台数		基

3. 構造概要

本装置は、汚泥を消化させるためのものなので、外筒と内筒を備えた円筒立形タンクとし、タンク本体、各種取り付け座、歩廊、階段等より構成される。

4. 製作条件

無動力攪拌式消化槽は、容量に応じた攪拌に必要な液位差を確保できるよう、寸法を十分に考慮して製作すること。

5. 各部の構造

- 1) 鋼板製無動力攪拌式消化槽においては、側板、天板については鋼板を用いた溶接構造とすること。
- 2) スロッシングにより転倒の恐れがないことを確認すること。
- 3) 天板に点検口、側板にマンホールを設けること。
- 4) タンクの保温は、槽内汚泥の温度変化を極力抑えるよう、外気や投入汚泥の温度条件、槽形状、放熱を考慮して使用（保温材質、厚さ、仕上げ等）を決定す

ること。

- 5) タンクの塗装は、「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル(平成 24 年 4 月)」に従い、耐用年数に見合う塗装をおこなうこと。

6. 使用材料

1) 鋼板性の場合

本体（側板、天板） SS400

2) R C 性の場合

本体（側板、天板） R C

7. 付属品

- | | |
|--------------------|-----|
| 1) 均圧弁 | 1 基 |
| 2) 温度計 | 1 式 |
| 3) 圧力センサー（内筒側、外筒側） | 1 式 |
| 4) 液位計（外筒側） | 1 式 |
| 5) サイトグラス | 1 式 |
| 6) 消泡ノズル | 1 式 |
| 7) 補助ブロワ | 1 台 |

8. 試験・検査

- 1) 鋼板製の場合においては各部位溶接部の非破壊検査及び気密・水張り試験をおこなうこと。
- 2) 槽内の塗装は「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル(平成 24 年 4 月)」に従い、検査を実施すること。

9. 据 付

一般事項については機械設備工事一般仕様書による。

10. 他工事との区分

1) 土木建築工事

一般事項については機械設備工事一般仕様書による。

2) 電気設備工事

一般事項については、機械設備工事一般仕様書による。

1 1. 特記事項

(2) 可溶化装置

1. 使用目的

本装置は、脱水汚泥を蒸気により高温高压下で熱可溶化するためのものである。

2. 仕様 ((3) 処理量については 0.7 t/h、1.5 t/h、3.0 t/h から選択)

項目	仕様	備考
(1) 型式	压力容器型熱可溶化装置	蒸気吹込式
(2) 汚泥性状	汚泥種類：嫌気性消化脱水汚泥 TS %、VTS %	
(3) 処理量	t/h	脱水ケーキ換算 含水率 %
(4) 運転圧力	0.5~0.7 MPaG	
(5) 運転温度	160~170 °C	
(6) 電動機出力	総合 kW	制御電源のみ
(7) 電源	100V × 60 Hz	制御電源のみ
(8) 数量	基	

3. 構造概要

本装置は、嫌気性消化脱水汚泥と蒸気を熱可溶化タンクに供給して過熱し、設定した温度、圧力に一定時間保持して連続的に可溶化するもので、可溶化された汚泥はタンクの保持圧力を利用して消化タンクに返送される。本装置は、熱可溶化タンク、自動弁、計装機器、制御盤から構成される。

4. 製作条件

- (1) 熱可溶化タンクは必要可溶化量から算出された脱水汚泥と蒸気量から、必要十分な滞留時間となるように有効容量を決定する。
- (2) 熱可溶化タンクは第 1 種压力容器となるものは関連法規に適合したものであること。

5. 各部の構造

(1) 熱可溶化タンク

- 1) 本体は十分な強度と耐食性に富む材料で製作される円筒縦型圧力タンクとし、脱水汚泥と蒸気を速やかに混合・可溶化できる形状とするとともに、タンク内に汚泥の詰まりを生じにくい構造とする。
- 2) タンクは脱水汚泥入口と水蒸気入口、可溶化汚泥流出口、圧抜口、ドレン管取付座、安全弁取付座、圧力計取付座、温度計取付座、レベル計取付座、洗浄水投入口を有するものとする。また、可溶化汚泥流出口、ドレン管取付座、安全弁取付座、圧力計取付座、温度計取付座、レベル計取付座は、手動操作で蒸気洗浄できる構造を有することとする。
- 3) 高温となる本体および付帯配管はグラスウールまたはロックウールによる耐熱保温を施すものとする。

(2) 可溶化装置現場操作盤

盤の型式は原則として設置場所により屋内又は屋外自立型とし、現場手動、自動および遠隔監視に必要な制御回路を内蔵し、計器、ランプ表示、スイッチ類を具備する。

- a) 本制御盤の制御範囲は下記とし、必要付帯装置と連動させる。
 - ・可溶化装置付属の自動弁、計装機器
 - ・脱水ケーキ可溶化ポンプ（運転制御のみ含む、現場操作盤及び動力は別途工事）
 - ・洗浄水ポンプ（運転制御のみ含む、現場操作盤及び動力は別途工事）

また、本制御盤には、自動運転において蒸気の吹込み量を自動制御して、可溶化タンク内の温度、圧力を自動的に調節する制御装置を組込むものとする。

- b) 盤仕様は電気設備工事一般仕様書によるものとし、室内腐食環境対策を考慮した密閉構造とし、必要に応じて盤内冷却器等を設け盤内温度の上昇を防止するものとする。

6. 使用材料

- | | | |
|-------------|-----------|-------------|
| (1) 熱可溶化タンク | S U S 316 | |
| (2) 配管 | S T P G | (脱水ケーキ移送配管) |
| | S U S 316 | (可溶化汚泥配管) |

	S G P W	(洗淨水管)
	S G P	(蒸気配管)
(3) ドレンポット	S U S 304	

7. 保護装置

可溶化タンクには第1種圧力容器構造規格に従い安全弁を設けるものとする。
また、可溶化タンクに圧力スイッチを設け、保護回路を設ける。

8. 運転・操作概要



9. 試験、検査

- (1) 熱可溶化タンクについては、第1種圧力容器構造規格に従い、耐圧試験、機械試験、放射線検査、浸透探傷試験をそれぞれの工場において行う。
- (2) 関係官公庁の立会検査については成績書、合格証等必要な書類を整理の上、必要部数提出するものとする。

10. 塗装

製作者標準の耐熱塗装とする。

11. 据付

一般事項については機械設備工事一般仕様書による。

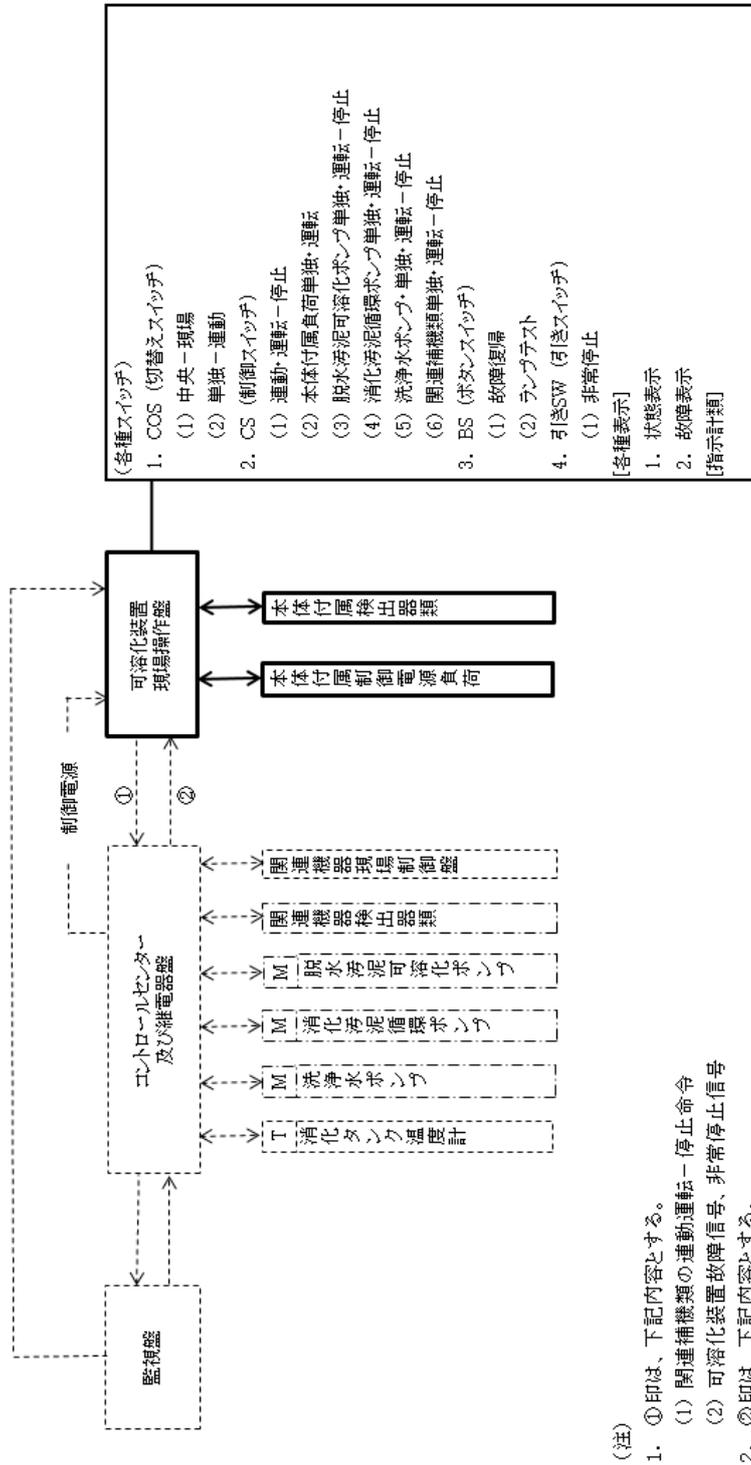
12. 他工事との区分

(1) 土木建築工事

一般事項については機械設備工事一般仕様書による。

(2) 電気設備工事

機械電気の工事区分(図資 7.1)による。



図資 7.1 機械・電気の工事区分

1 3. 標準付属品

(1) 可溶化装置入口、出口自動弁（空気作動弁）	各 1	個
(2) 可溶化装置圧力調節器、液位調節器	各 1	個
(3) 可溶化装置温度計, 調節器	各 1	個
(4) スチーム流量計	1	式
(5) スチーム調節弁、遮断弁（空気作動弁）	1	式
(6) 自動洗浄弁（空気作動弁）	2	個
(7) 安全弁	1	個
(8) 圧力スイッチ	2	個
(9) スチームトラップ	2	個
(10) ドレンポット	1	個
(11) 減圧弁	1	個
(12) 圧力計	1	式
(13) 逆止弁	1	式
(14) 手動弁	1	式
(15) 架台	1	式
(16) アンカーボルトナット	1	式
(17) 現場制御盤	1	面
(18) 可溶化装置混合管（必要な場合）	1	個

1 4. その他付属品（1 台につき）

(1) 可溶化タンクガスケット	1	式
(2) ランプ・ヒューズ類	100%	

1 5. 選択項目

(1) ドレン排水返送ポンプ	
a) 有	b) 無

1 6. 特記事項

(3) バイオガス燃料SOFC

1. 使用目的

本装置は、メタンを含むバイオガスを燃料とした発電装置である。

2. 仕様

項目	仕様	備考
(1) 型式	固体酸化物形燃料電池	
(2) 運転温度	650～1,000℃	左記範囲で運転
(3) 入口バイオガス	ガス供給圧：0～10kPa メタン濃度：57～65% 硫化水素濃度：3ppm以下 シロキサン濃度：0.1ppm以下 水分：使用温度にて結露しない	メタン濃度の変動幅 ±2%
(4) 発電出力	kW	
(5) 入力電源	100 V	
(6) 台数	基	

3. 構造概要、

本装置は、メタン-水素の改質器及びセルスタック及び精密脱硫器を内蔵した一体型の発電装置である。

4. 製作条件

本装置は、出力値として、入口バイオガスの低位発熱量に対し、48%程度の発電出力を有するものとする。

5. 使用材料

メーカー標準とする。

6. 付属品

1) パワーコンディショナー

1 基

2) 遠隔監視制御システム (必要な場合)	1 式
3) 純水回収システム (必要な場合)	1 式
4) 排熱温水回収システム (必要な場合)	1 式
5) 純水製造装置 (SOFC 供給用)	1 式
6) 給排気用ダクト	1 式
7) アンカーボルト・ナット	1 式

8. 試験・検査

- 1) 試験・検査については、メーカー基準による検査とする。

9. 据 付

一般事項については機械設備工事一般仕様書による。

10. 他工事との区分

1) 土木建築工事

一般事項については機械設備工事一般仕様書による。

2) 電気設備工事

一般事項については機械設備工事一般仕様書による。

11. 特記事項

VIII. 問い合わせ先

本ガイドラインに関する問い合わせは以下にお願いいたします。

国土交通省 国土技術政策総合研究所	国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水処理研究室 〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 TEL 029-864-3933 FAX 029-864-2817 URL http://www.nilim.go.jp/lab/ecg/index.html
----------------------	--

本ガイドラインは、下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）により、国土交通省国土技術政策総合研究所が以下の企業・団体に研究委託を行い、その成果を取りまとめたものです。

<実証研究者 連絡先>

三菱化工機株式会社	環境技術部 〒210-0012 川崎市川崎区宮前町1番2号 TEL 044-246-7206 FAX 044-246-7225 URL http://www.kakoki.co.jp
国立大学法人 九州大学	水素エネルギー国際研究センター 〒819-0395 福岡市西区元岡744番地(HY30) TEL 092-802-3303 FAX 092-802-3223 URL http://www.kyushu-u.ac.jp/
日本下水道事業団	技術戦略部 資源エネルギー技術課 〒113-0034 東京都文京区湯島二丁目31番27号 TEL 03-6361-7853 FAX 03-5805-1828 URL http://www.jswa.go.jp/
唐津市	都市整備部 下水道管理課 〒847-8511 佐賀県唐津市西城内1番1号 TEL 0955-72-9145 FAX 0955-75-9126 URL https://www.city.karatsu.lg.jp/index.html

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

N o . 1092 December 2019

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675