

I S S N 1 3 4 6 - 7 3 2 8

国総研資料 第 860 号

平成 27 年 9 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.860

September 2015

B-DASH プロジェクト No.10

下水道バイオマスからの電力創造システム

導入ガイドライン(案)

B-DASH Project No.10

Guideline for introducing an electricity generation system
from sewage biomass source

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.10

下水道バイオマスからの電力創造システム導入ガイドライン(案)

国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水処理研究室

B-DASH Project No.10

Guideline for introducing an electricity generation system
from sewage biomass source

Wastewater and Sludge Management Division, Water Quality Control Department
National Institute for Land and Infrastructure Management

概要

本ガイドラインは、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目指し、下水道革新的技術の一つである「下水道バイオマスからの電力創造システム」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 : 機内二液調質型脱水機、革新型階段炉、廃熱発電

Synopsis

This Guideline for introducing an electricity generation system from sewage biomass source, which is one of sewage high technologies, is designed to reduce sewage service costs, create renewable energy and support Japanese enterprises' overseas water business expansion.

Key Words : advanced centrifugal dehydrator, advanced step grate stoker furnace, power generation utilizing waste heat

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、77%まで普及が進んできており、水洗トイレが普及するとともに川や海の水質の改善につながっている。しかし、その一方で、大量に発生する汚水の浄化には大きな電力を要し、それだけで我が国の総電力消費量の0.7%近くを占めている。これは、下水処理場の維持管理費を押し上げる要因ともなっている。

また、下水や汚泥の処理に伴い温室効果ガスが排出されるため、地方公共団体の公共事業の中でも最大級の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、排出を増加させる要因が引き続き見込まれることから、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。

さらに、下水汚泥や下水の持つエネルギー価値やリン等資源のポテンシャルに期待が高まっており、省エネ・省資源のみならず、積極的にエネルギー・資源を創出する取組も始まっている。

これらのことを踏まえ、今後は、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、他バイオマスを集約することで、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「新下水道ビジョン」（平成26年）でも打ち出されているが、潜在的なポテンシャルに対して実際に活用されている割合はわずかであり、優れた新技術が開発されても、まだ実績が少ないため導入に慎重な下水道事業者も多い状況である。

このため、国土交通省下水道部では、優れた革新的技術の実証、普及により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を支援するため、「下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト※）」を平成23年度から開始し、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っている。

本ガイドライン「下水道バイオマスからの電力創造システム導入ガイドライン（案）」で示す技術は、従来の脱水技術、燃焼技術、発電技術をそれぞれ高度化・高効率化することで、温室効果ガスの排出量を大幅に削減し、広範な施設規模において汚泥処理設備の電力自立が可能となる革新的な技術である。実証研究により、従来技術と比較してコスト縮減、温室効果ガス排出量削減、エネルギー消費量削減に効果があることが実証されている。

本ガイドラインは、国土技術政策総合研究所委託研究（下水道バイオマスからの電力創造システムの技術実証研究 受託者：和歌山市・日本下水道事業団・京都大学・(株)西原環境・(株)タクマ 共同研究体 実施期間：平成25～26年度）において実施した成果を踏まえ、下水道事業者が革新的技術の導入を検討する際に参考になれる資料として策定したものであり、これら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評価委員会および検討会の委員各位をはじめ、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

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	3
§ 2	ガイドラインの適用範囲	3
第 3 節	ガイドラインの構成	4
§ 3	ガイドラインの構成	4
第 4 節	用語の定義	6
§ 4	用語の定義	6

第 2 章 技術の概要と評価

第 1 節	技術の概要と特徴	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	11
§ 7	低含水率化技術の概要と特徴	16
§ 8	エネルギー回収技術の概要と特徴	18
§ 9	エネルギー変換技術の概要と特徴	23
第 2 節	技術の適用条件	29
§ 10	適用条件と推奨条件	29
§ 11	導入シナリオ	32
第 3 節	実証研究に基づく評価の概要	38
§ 12	評価項目	38
§ 13	評価結果	44

第 3 章 導入検討

第 1 節	導入検討手法	57
§ 14	導入検討手順	57

§ 15	基礎調査	59
§ 16	導入効果の検討	61
§ 17	導入判断	66
第 2 節	導入効果の検討例	67

第 4 章 計画・設計

第 1 節	導入計画	74
§ 18	導入計画	74
§ 19	詳細調査	75
§ 20	基本計算	81
§ 21	施設計画の検討	86
§ 22	導入効果の検証	88
§ 23	導入計画の策定	89
第 2 節	施設設計	90
§ 24	低含水率化技術の設計	90
§ 25	エネルギー回収技術の設計	96
§ 26	エネルギー変換技術の設計	107
§ 27	監視制御システム	110

第 5 章 維持管理

第 1 節	運転管理	111
§ 28	導入効果を高める管理の要点	111
§ 29	運転管理項目	113
第 2 節	保守点検	117
§ 30	保守点検	117
第 3 節	緊急時の対応	120
§ 31	緊急時の対応	120

資 料 編

1. 実証研究結果	121
2. 簡易算定式	154
3. ケーススタディ	163
4. 蒸気発電設備設置時の適用法令	211
5. 参考文献	214
6. 問い合わせ先	215

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「下水道バイオマスからの電力創造システムに関する技術」（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・設計およ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、新技術の研究開発およ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、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）、バイオガス回収技術、バイオガス精製技術、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、平成 25 年 7 月にガイドライン案を策定している。

平成 24 年度は、[2] 下水汚泥固形燃料化技術、下水熱利用技術（未処理下水の熱利用に限る。）、栄養塩（窒素）除去技術（水処理に係る技術は除く）、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、平成 26 年 8 月にガイドライン案を策定している。

平成 25 年度は、[3] 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）、[4] 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、[4]については平成 26 年 10 月にガイドライン案を策定している。

平成 26 年度は、[5] 下水汚泥から水素を創出する創エネ技術、[6] 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）、[7] ICT による既存施設を活用した戦略的水処理管理技術および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・実施している。

本技術は、[3] 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）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・設計およ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、了承を頂いているものである。

下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト*)の実証テーマ

* Breakthrough by **D**ynamic **A**pproach in **S**ewage **H**igh Technology **P**roject

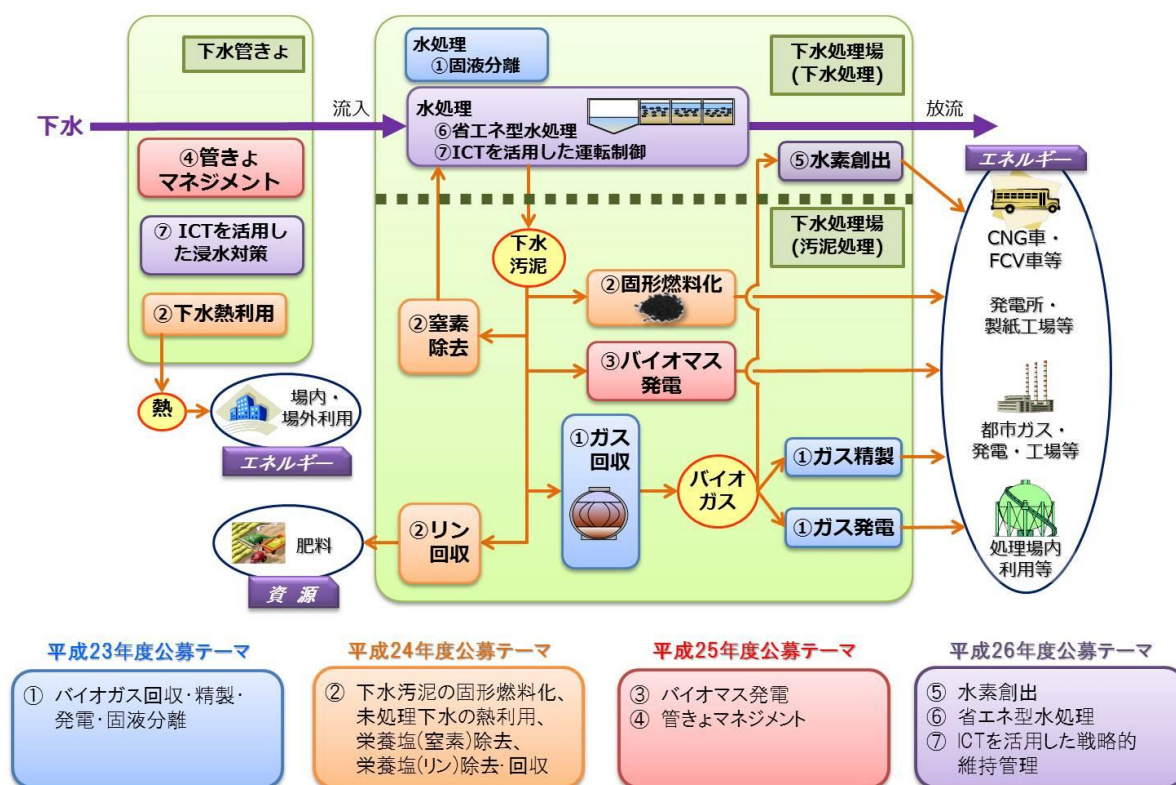


図 1-1 下水道革新的技術実証事業 (B-DASH プロジェクト) の概要 (全体)

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、本技術のシステム全体または一部についての、下水道施設を対象とした導入検討、計画・設計およ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、本技術のシステム全体または一部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のどちらにも、本ガイドラインは適用される。

本ガイドラインは、地方公共団体などの下水道事業者およ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、革新的技術の概要と評価、導入検討、計画・設計、維持管理およ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。

各章の内容は、以下のとおりとする。

(1) 第1章 総則

第1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

第2章では、革新的技術の目的、概要、特徴、適用条件、導入シナリオ例について整理する。また、実証研究で得られた成果に基づく革新的技術の評価結果を示す。

(3) 第3章 導入検討

第3章では、革新的技術の導入を検討する際に必要な手順、手法を整理するとともに、導入効果の検討例を示す。

(4) 第4章 計画・設計

第4章では、導入検討の結果として、革新的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実施設計を進めるための方法について整理する。

(5) 第5章 維持管理

第5章では、革新的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維持管理の具体的方法について整理する。

その他、資料編として、実証研究結果、ケーススタディ、問い合わせ先などに関する資料を示す。

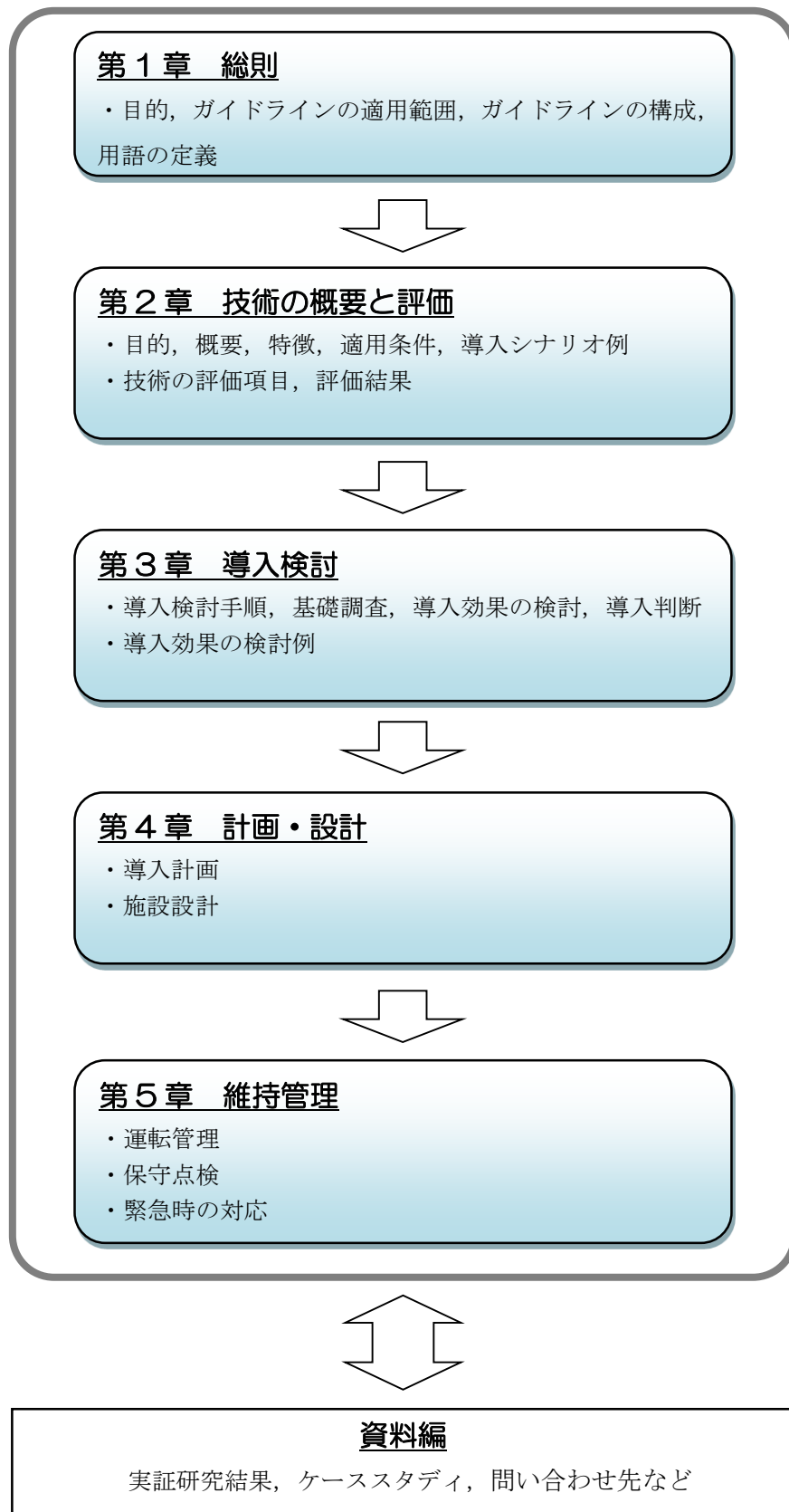


図 1-2 本ガイドラインの構成

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、以下に示すように定義する。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（以下、設計指針とする）」（公益社団法人日本下水道協会）¹⁾、「下水道用語集 2000 年版」（公益社団法人日本下水道協会）²⁾に準拠する。

（１）機内二液調質型遠心脱水機

ポリ硫酸第二鉄等の無機凝集剤を汚泥の改質を目的に汚泥供給ラインに添加していた従来の二液調質に対し、遠心脱水機ボウル内部に無機凝集剤を添加する機構とし、脱水汚泥の更なる低含水率化を目的とした脱水機。

（２）ドライビーチ

遠心脱水機内部におけるボウル部から連続的につながる排出部手前の径が縮小される部分（コーン）で、ろ液を排出するダム高さよりも回転体の中心に近い部分のこと。

（３）遠沈ろ過試験

対象汚泥の脱水性を評価するメーカ固有の試験法のひとつ。卓上の遠心分離機を用いて凝集剤で調質した対象汚泥を遠心分離し、得られた固形分の含水率や、分離液のSS濃度等を測定することで、対象汚泥の相対的な脱水性を評価する。ベルトプレス等の場合に用いられるヌッチェ試験等と比較して、実際の脱水条件に近い操作であることから、遠心脱水機での脱水性を検討する際に用いられることが多い。

（４）階段炉

汚泥の送り方向に、可動、固定の火格子を交互に階段状に配列し、可動火格子の動きにより汚泥を攪拌しながら移送・燃焼する形式の焼却炉。詳細については §8 参照。

（５）従来型階段炉

従来型脱水機（一液調質方式）から排出される高粘度の脱水汚泥を、蒸気間接加熱式乾燥機で含水率40%程度まで乾燥させた汚泥を焼却する階段炉である。脱水汚泥を乾燥する熱源は階段炉と一体化している廃熱ボイラーで排ガスより熱回収している。

(6) 革新型階段炉

機内二液調質型遠心脱水機から排出される脱水汚泥を、乾燥プロセスを経ずに直接焼却することができる構造とした階段炉である。従来型階段炉よりも炉内における乾燥段の面積を広く取り、乾燥機能を強化している。

(7) 自然運転

焼却炉において、補助燃料を使用せず運転を行うこと。自然運転を行うことにより、燃料使用量の抑制および温室効果ガス排出量の低減が可能となる。

(8) 自然循環式水管ボイラー

細い管の中に水が流れ、その外側に高温の燃焼ガスが流れることによって、水が加熱され蒸発するボイラーを水管ボイラーという。管内に水は流すが加熱されない降水管と加熱される蒸発管の間の比重差によって、ボイラー水を流動させる方式のボイラーのこと。

(9) ボイラー薬品

水に起因するスケールの付着による熱伝導率の低下、水管の腐食、蒸気への固形物の流出などの障害を防止するために、ボイラー水に直接添加する薬剤で、酸消費量調整剤、軟化剤、脱酸素剤、泡立ち防止剤などの総称。

(10) 煤吹装置

ボイラーの水管に排ガス中に含まれるばいじんが付着すると、熱交換効率が低下する。これを予防するため、空気や蒸気などをボイラー水管に吹き付けることにより、付着したばいじんを除去する装置のこと。

(11) スクリュー式小型蒸気発電機

ボイラーで発生させた1～3t/h程度の低圧蒸気を、減圧機能を持たせつつ発電を行う用途で開発された発電機。中小規模の製造工場において減圧弁で減圧してからプロセスに利用しているような施設で多用されている。

(12) 蒸気バイナリー発電機

110～130℃程度の低圧蒸気を加熱源として利用し、沸点の低い作動媒体を加熱、蒸発させてその蒸気でタービンを回し発電する。加熱源と作動媒体の二つの熱サイクルを利用するため、バイナリー発電機と呼ぶ。

(13) 復水タービン蒸気発電機

高いエネルギーを持った高温・高圧蒸気をタービンにより電力に変換した後、排気蒸気を復水化するタービンのこと。発電効率が高く、発電のみを目的とするような事業用火力発電施設によく採用される。

(14) 復水器

タービンの排気を復水に戻し、排気圧力を下げて蒸気タービン内での熱落差を大きくすることにより、蒸気のエネルギーを電気として有効に回収するための装置のこと。

(15) 背圧タービン蒸気発電機

蒸気タービン出口の圧力が大気圧より高いものを背圧タービンという。発電効率は低くなるものの、排出蒸気を工場用、暖房用等に利用することにより、総合的な熱利用効率を上昇させることができる。

(16) 系統連系

太陽光・風力発電やコージェネレーションなどの様々な分散電源の発電設備などを商用電力系統に接続すること。

(17) カスケード利用

資源やエネルギーを利用すると質が下がるが、その下がったレベルに応じて再度利用すること。

第2章 技術の概要と評価

第1節 技術の概要と特徴

§5 システム全体の目的

本システム技術は、下水処理場より発生する汚泥を低含水率化した上で焼却し、その廃熱から発電を行うものである。本システム技術を適用することで、広範な施設規模での下水道バイオマスからのエネルギー回収を行い、発電量が設備消費電力以上となる「電力自立」、余った電力を本システム外で利用する「創エネルギー」を可能とするのみならず、補助燃料使用量、消費電力を削減することによる大幅な低コスト化・省エネルギー化、一酸化二窒素（ N_2O ）排出量の削減効果もあわせた、温室効果ガス排出量の削減を目的とする。

【解 説】

近年、気候変動問題への関心が高まる中、低炭素社会の実現に向けてカーボンニュートラルであるバイオマス資源の利活用が期待されている。これに対して下水処理場では、地球温暖化対策としての省エネルギー対策やエネルギー回収が求められるようになっている。下水汚泥は、人の生活に付随して常時一定の質・量で発生する安定したバイオマスであると同時に、下水道が収集インフラとして機能する集約型バイオマスであること、人口が集中する需要地ほど大量に回収できる都市型バイオマスであることなど、有効利用に適した特徴をもっている。このため資源として積極的に位置づけ、エネルギー利用を推進していくことが期待されている。

下水汚泥のエネルギー利用としては、汚泥の減量とメタンガスによりエネルギー回収を図ることができる嫌気性消化、あるいは造粒乾燥や炭化による汚泥燃料化が実用化されている。一方、多くの下水処理場において汚泥の減量化と衛生的な処理を目的として焼却処理が行われている。焼却処理においては脱水汚泥の含水率が高いことから、燃焼温度確保のため補助燃料が必要なことが多く、一般的にエネルギー消費型の処理方式となっている。これに対して、脱水汚泥の低含水率化により発熱量を高くすれば、補助燃料の削減が可能となるだけでなく、補助燃料を使用しない運転（以下自燃運転とする）、さらにはシステム内で得られた余剰エネルギーを回収して電力等に変換することが可能となる。また焼却炉を低消費電力型とすれば、これらの効果により従来エネルギー消費型であった焼却処理をエネルギー創造型に転換させることができる。

本ガイドラインの対象技術である「下水道バイオマスからの電力創造システム」は、上記の概念により開発されたものであり、下記に示す3つの技術の組合せによる新しいシステム技術である。本システムのイメージを図2-1に示す。

（1）低含水率化技術

機内二液調質型遠心脱水機による脱水汚泥の低含水率化と発熱量の大幅な増加

(2) エネルギー回収技術

廃熱ボイラー付革新型階段炉におけるエネルギー回収

(3) エネルギー変換技術

蒸気発電機によるエネルギー変換

この3つの技術の組合せにより、広範な施設規模での下水道バイオマスからのエネルギー回収を行い、発電量が設備消費電力以上となる「電力自立」、余った電力を本システム外で利用する「創エネルギー」を可能とするものである。本システムは、補助燃料使用量、消費電力を大幅に削減することによる低コスト化・省エネルギー化を図り、 N_2O 排出量の削減効果もあわせた温室効果ガス排出量の削減を目的としたシステム技術である。

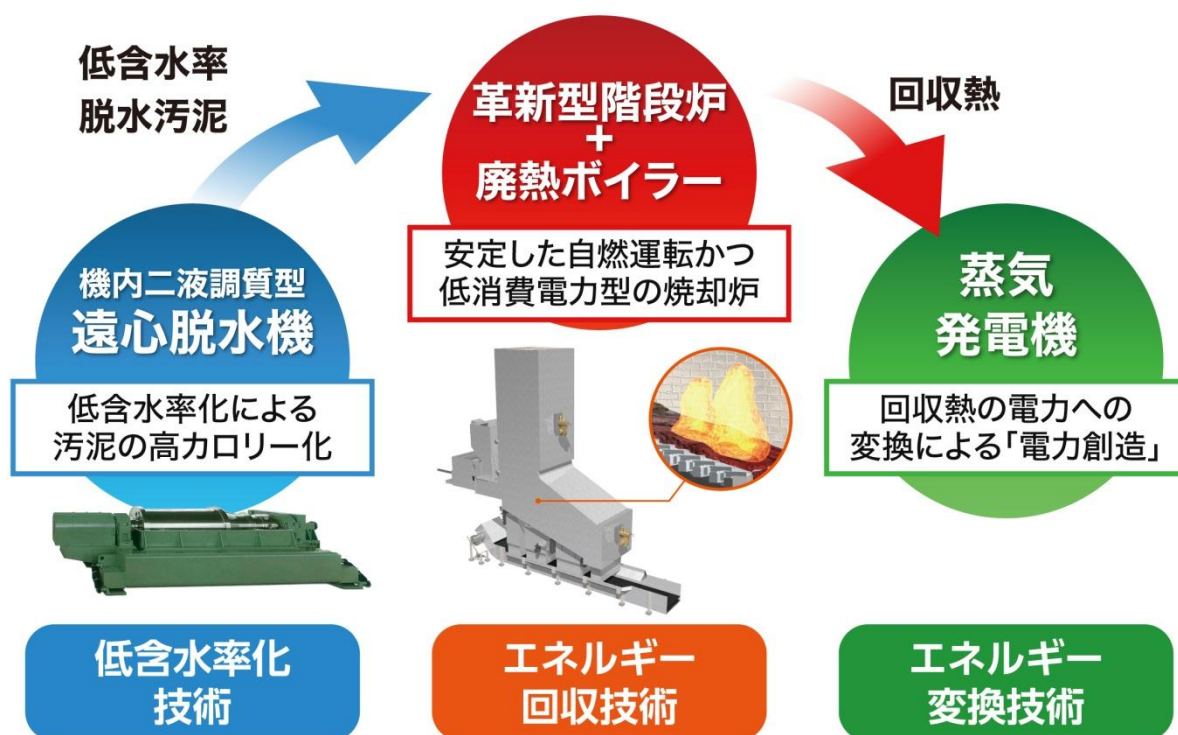


図 2-1 本システムのイメージ

§6 システム全体の概要と特徴

本システム技術は、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の組み合わせにより、焼却廃熱を利用し発電を行うものである。低含水率化技術で従来の脱水方式と比較して 7～10 ポイントの低含水率化された脱水汚泥を、エネルギー回収技術で補助燃料を使用せず直接焼却して廃熱ボイラーにて熱回収を行い、エネルギー変換技術で廃熱ボイラーから発生した蒸気により発電を行う。各技術の詳細については §7～9 に記載する。

本システム技術の特徴は以下の通りである。

- (1) 建設費の縮減
- (2) 消費電力の削減と発電（広範な施設規模での電力自立）
- (3) 補助燃料使用量の削減
- (4) 温室効果ガス排出量の削減

【解 説】

本システム技術は、低含水率化技術により従来の脱水方式と比較して 7～10 ポイントの低含水率化された脱水汚泥を生成し、エネルギー回収技術により補助燃料を使用せずに直接焼却して廃熱ボイラーにて排ガスから熱回収を行い、廃熱ボイラーより発生した蒸気を用いてエネルギー変換技術により発電を行うものである。

従来の焼却方式である流動炉では、焼却廃熱を燃焼空気の予熱に利用し、炉に投入するエネルギーを増加させているが、それでも脱水汚泥含水率が高く、燃焼温度を確保するためのエネルギーが不足することから、補助燃料を使用している。また、従来の階段炉では乾燥機と組み合わせる方式を採用しており、流動炉と比較して効率的な焼却廃熱の利用により自燃運転が可能であるが、廃熱の大半は乾燥機で利用されている。

本システム技術では、投入される脱水汚泥の含水率を下げることで脱水汚泥の発熱量を増加させ、焼却処理において補助燃料を用いることなく高温燃焼が達成できる汚泥燃料とし、焼却炉で乾燥機無しで直接焼却を行い、回収した余剰のエネルギーを電力変換することが可能となる。また、回収熱量が増加することから、同じ規模の従来の発電技術と比較してより多くの発電量を得ることができる。さらにスクリュ式小型蒸気発電機や蒸気バイナリー発電機を組み合わせることで、従来発電ができなかった規模の小さい領域に適用範囲を広げることができる。本技術を適用した場合の従来の発電技術との発電領域の比較イメージを図 2-2 に示す。

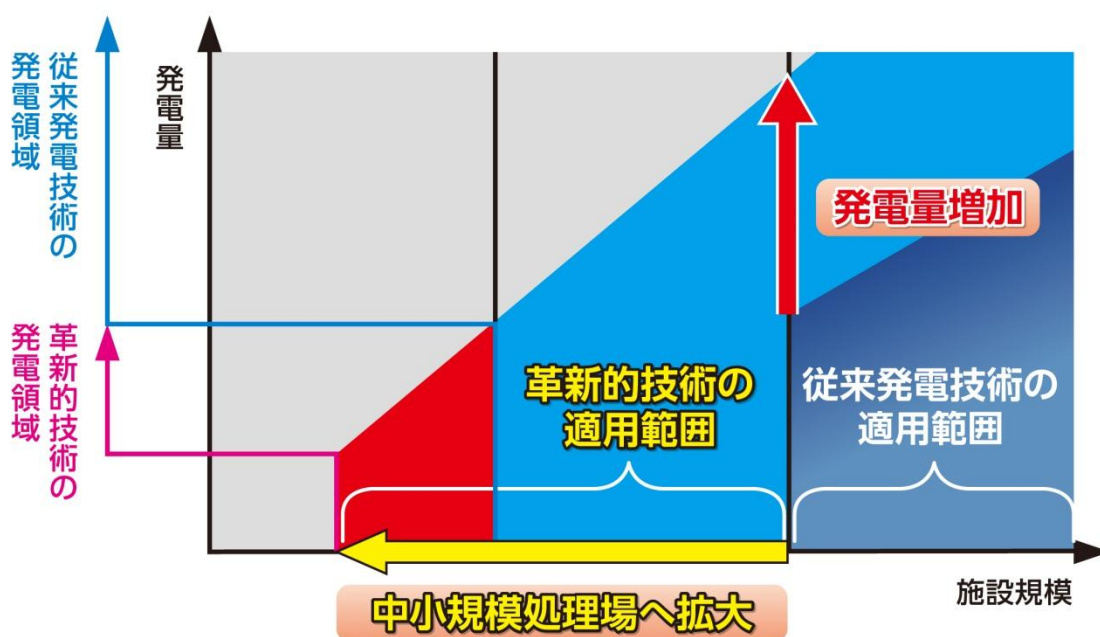


図2-2 従来の発電技術との比較イメージ

3つの技術を組み合わせてシステム全体として機能させることで、広範な施設規模での高い発電量の実現、消費電力の削減、補助燃料使用量の削減が同時に可能となり、CO₂排出量の削減も可能となる。また同時に維持管理費の大幅な縮減が図れる。

各技術の詳細については、§7～9を参照されたい。

(1) 建設費の縮減

本システムでは脱水設備と焼却設備を同時に運転することで、脱水污泥貯留設備の容量を極力小さくすることとしている。また脱水污泥の移送に従来技術ではポンプ圧送方式が採用されているが、低含水率脱水污泥の場合、脱水污泥と配管との圧力損失が大きく、より吐出圧の高いポンプが必要となり消費電力が大きくなることから、コンベヤ搬送方式としている。こうした脱水污泥の貯留移送設備の見直しと、脱水設備を焼却設備の近傍に設置することにより、従来技術と比較して建設費の縮減を図ることができる。従来技術と革新的技術の概略フローを図2-3に示す。

また従来型階段炉と比較した場合、低含水率化した脱水污泥の直接焼却ができることから乾燥設備が不要となり、建設費の縮減を図ることができる。

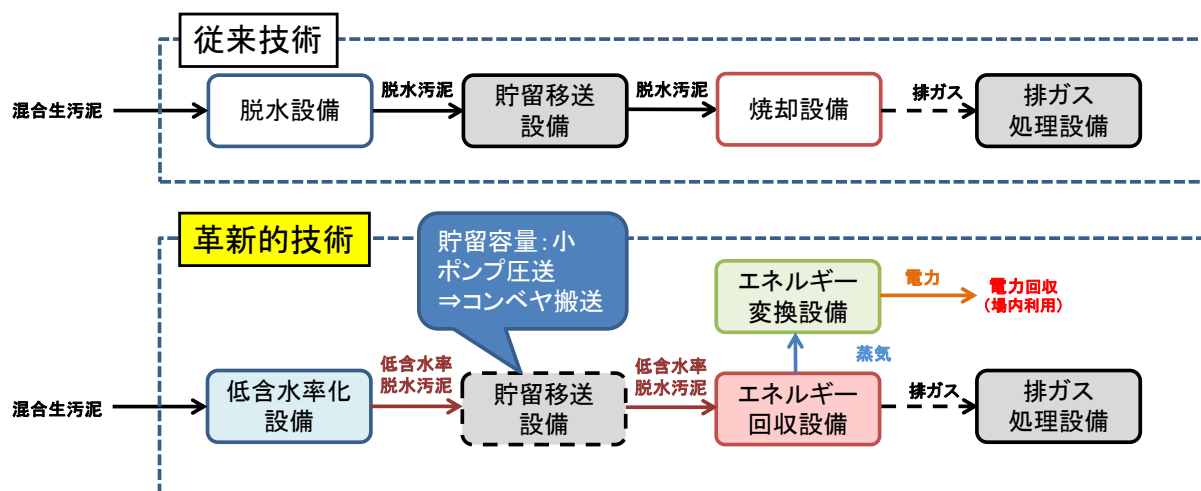


図 2-3 従来技術と革新的技術の概略フロー

(2) 消費電力の削減と発電（広範な施設規模での電力自立）

エネルギー回収技術に階段炉を採用することで、従来の気泡式流動炉と比較して約4割の電力使用量の削減が期待できる。そのためエネルギー変換技術により得られた発電電力が、エネルギー回収技術とエネルギー変換技術の消費電力と同程度またはそれ以上となるため（創エネルギー）、これらの設備に必要な電力を賄うことができる。さらに一定規模以上では低含水率化技術の電力も賄うことができ、外部からの電力供給が不要となり、余剰分は水処理設備等、同一処理場内の他設備の電力として利用することで、下水処理場全体の消費電力を削減できる。創エネルギー効果のイメージを図2-4に示す。

また本システム技術は図2-5に示すように、規模によっては汚泥処理設備としての消費電力以上に発電でき、処理場全体として概ね30%の消費電力の削減が期待できる（試算方法については資料編 3.5 下水処理場全体における削減効果の試算を参照）。

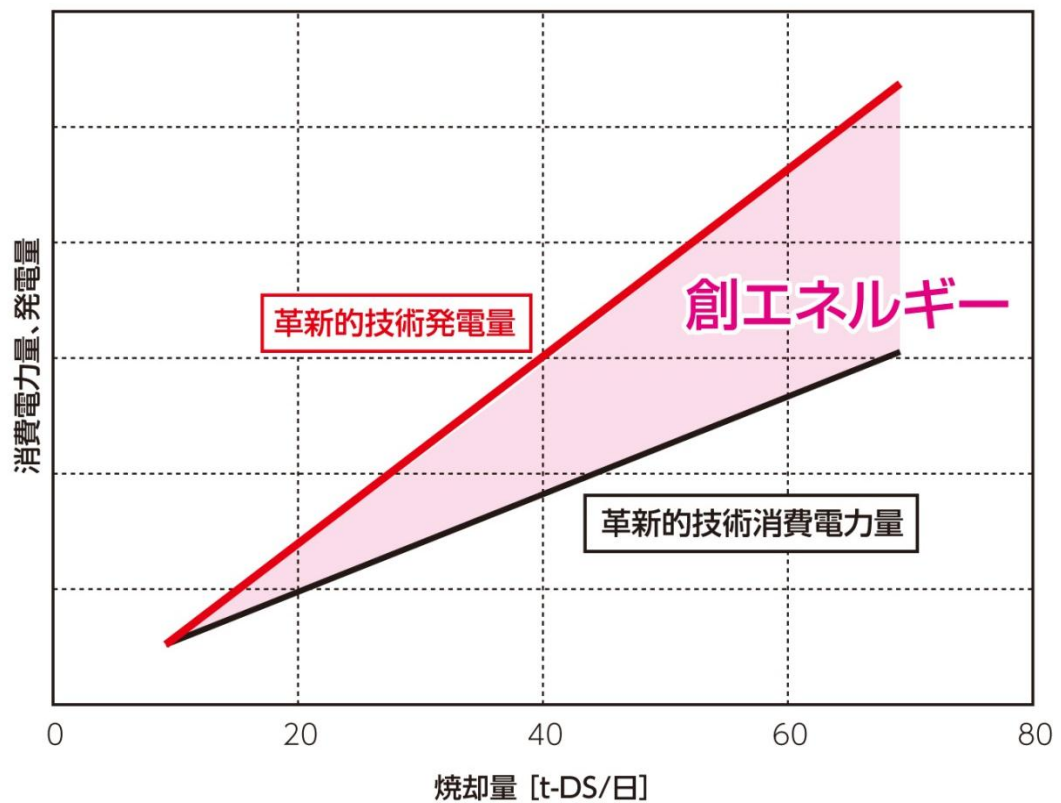


図2-4 創エネルギー効果のイメージ

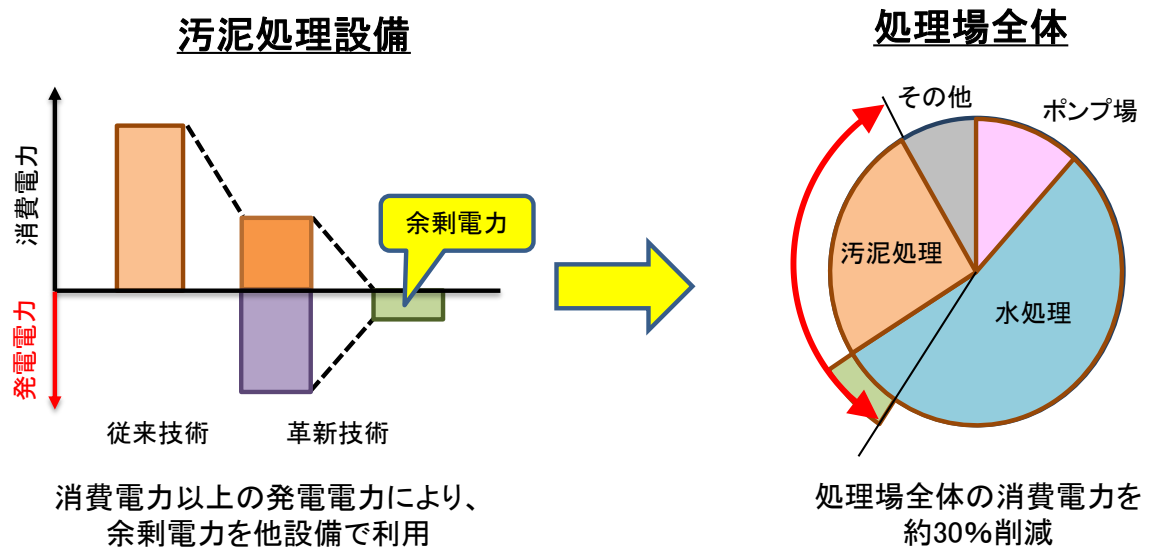


図2-5 創エネルギーによる処理場全体の省エネルギー効果のイメージ
(24t-DS/日規模の場合)

(3) 補助燃料使用量の削減

低含水率化技術により脱水污泥含水率が低減されることで、污泥の発熱量が増加する。従来の焼却方式である流動炉では、燃烧空気温度を 600～650℃程度まで予熱し、炉出口排ガス温度を N_2O 削減対策のため 850℃程度まで昇温させるために不足する熱量として、補助燃料を用いていた。しかし、本技術では燃烧空気を 600～650℃程度まで予熱しなくても、炉出口排ガス温度 800℃以上で補助燃料を使用しない自燃運転ができ、かつ N_2O も従来の流動炉より低く抑えることができる。また污泥性状の変動に対し、炉内の滞留時間が 2 時間程度と長いため、安定的に自燃運転を行うことができる。

(2)、(3) の効果により電力ならびに補助燃料使用量が削減でき、維持管理費削減が図れる。

(4) 温室効果ガス排出量の削減

電力使用量および補助燃料使用量の削減ができるため、化石燃料由来のエネルギー使用に伴う温室効果ガス排出量が削減できる。

また、エネルギー回収技術として炉内に局所的高温領域が形成できる階段炉を採用することで、 N_2O の発生量を削減できる。

§7 低含水率化技術の概要と特徴

低含水率化技術は、従来型脱水技術と比較して含水率の低減が可能な、「機内二液調質型遠心脱水機」を採用する。「機内二液調質型遠心脱水機」は、遠心脱水機内部に無機凝集剤を添加する機構とした低動力型二液調質脱水機である。

本脱水機の効果として、脱水汚泥含水率を従来の一液調質脱水機よりも約 7～10 ポイント低減でき、含水率 70%程度の粒状の脱水汚泥が得られ、焼却炉投入汚泥の発熱量を向上できることから、発電が可能となることによる電力使用量の削減や、補助燃料使用量の削減につながる。

【解 説】

機内二液調質型遠心脱水機は、これまでの標準型、高効率型等の遠心脱水機と同様に、高速回転による遠心力（遠心効果 1,500～2,500G 程度）を利用して、脱水機内部に投入された汚泥中の固形物を短時間に固液分離するものである。無機凝集剤（ポリ硫酸第二鉄）を汚泥の改質を目的として汚泥供給ラインに添加していた従来の二液調質に対し、「機内二液調質型遠心脱水機」では、遠心脱水機ボウル内部のドライビーチ部に無機凝集剤を添加する機構とした低動力型二液調質脱水機である。図 2-6 に従来の二液調質型遠心脱水機、図 2-7 に機内二液調質型遠心脱水機の模式図を示す。また、実証設備における機内二液調質型遠心脱水機の外観を図 2-8 に示す。

ボウル内で固液分離の進んだ一次脱水汚泥に無機凝集剤を添加し、遠心力で分散・浸透・混合させることで脱水に効率よく利用でき、ドライビーチ部で更に二次脱水される。その効果により脱水汚泥含水率を従来の一液調質脱水よりも約 7～10 ポイント低減でき、含水率 70%程度の粒状の脱水汚泥が得られ、脱水汚泥の発熱量は従来の約 2 倍となる（図 2-9 参照）。その結果、焼却処理において補助燃料なしで炉出口排ガス温度 800℃以上の燃焼が達成できる汚泥燃料となり、焼却システム内でのエネルギーが増加する。

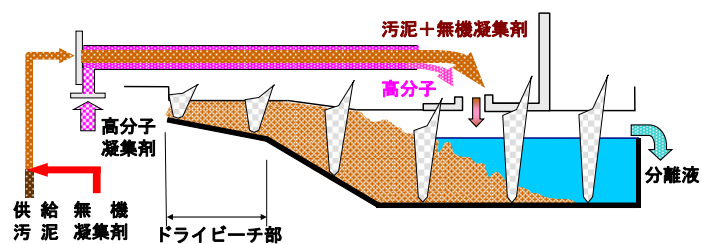


図 2-6 従来の二液調質型遠心脱水機

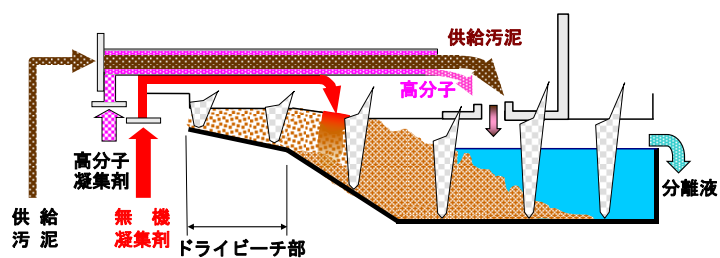


図 2-7 機内二液調質型遠心脱水機



図 2-8 実証設備における機内二液調質型遠心脱水機の外観



図 2-9 汚泥低含水率化による発熱量増加の例

§8 エネルギー回収技術の概要と特徴

エネルギー回収技術は、主に以下の機器により構成される。

- (1) 階段炉
- (2) 廃熱ボイラー

焼却炉は消費電力の低い階段炉を採用し、廃熱ボイラーにて焼却廃熱の回収を行う。

機内二液調質脱水汚泥を焼却するため、炉内乾燥機能を強化した革新型階段炉を用いることで、脱水汚泥の直接焼却ならびに安定した自燃運転が可能である。

【解 説】

エネルギー回収技術は、前段の低含水率化設備より供給される低含水率化脱水汚泥を、従来型の階段式汚泥焼却炉（従来型階段炉）に対し炉内乾燥機能を強化した革新型階段炉にて焼却し、その焼却廃熱を廃熱ボイラーにて蒸気の形態で熱回収をおこなう設備である。

実証設備におけるエネルギー回収設備の外観を図 2-10 に示す。



図 2-10 実証設備におけるエネルギー回収設備の外観

(1) 階段炉

1) 従来型階段炉

従来型階段炉は含水率 40%程度の乾燥汚泥を焼却することを目的としたもので、炉内で乾燥段・燃焼段・後燃焼段それぞれの工程を経て汚泥を完全燃焼させる。階段炉の模式図を図 2-11 に示す。流動炉と比較した場合の階段炉の特長を以下に示す。

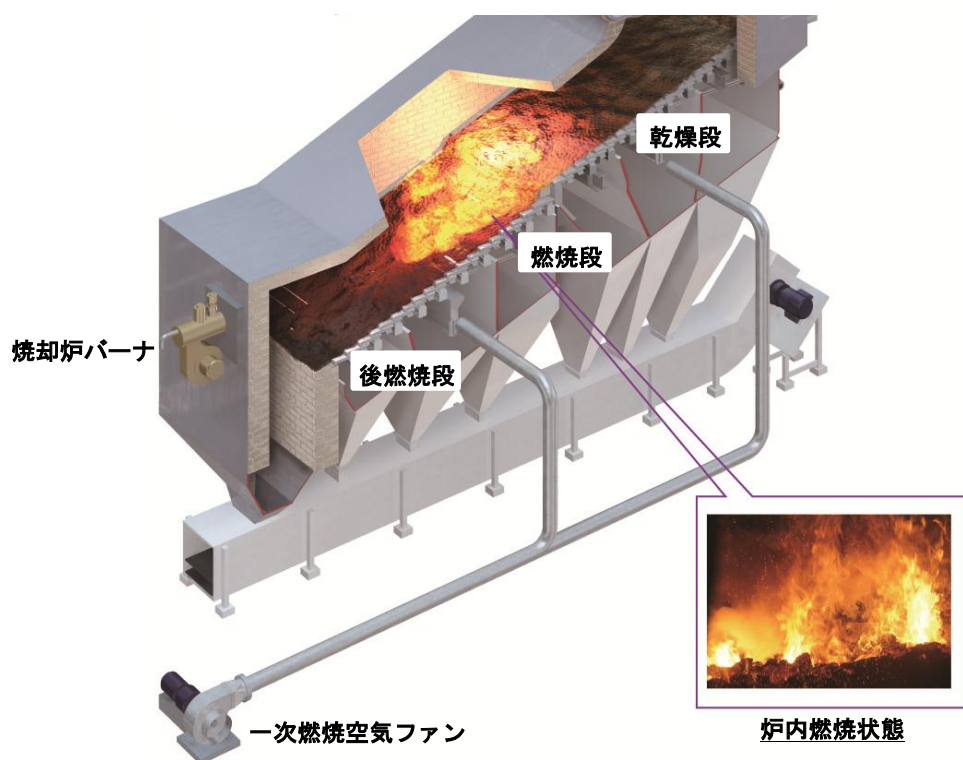


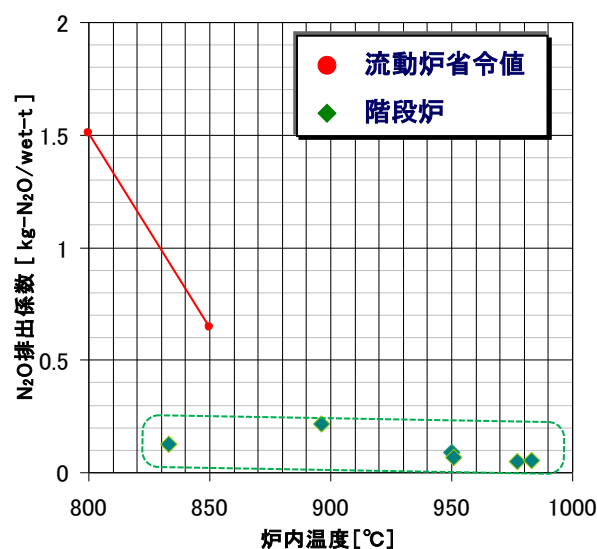
図 2-11 階段炉の模式図

① 低消費電力

階段炉は流動炉のような砂層流動の必要がないため、燃焼空気送風機の静圧は 1/7 程度となる。その結果、必要な動力を 1/5 程度に削減でき、焼却設備の消費電力を約 4 割削減できる。

② N_2O 発生量の大幅な抑制

階段炉は炉内で乾燥段にて水分が蒸発するため、燃焼段で熱量の高い汚泥を燃焼でき、高温燃焼域を形成する。その結果、温室効果ガスである N_2O の発生量を流動炉の約 1/6 に削減できる。図 2-12 に階段炉の N_2O 排出係数を示す。

図 2-12 流動炉と階段炉の N₂O 排出係数

(「汚泥焼却炉からの N₂O 削減に関する技術資料」(公益財団法人日本下水道新技術機構)³⁾
より一部修正し引用)

③ 安定した自燃運転

炉内における汚泥の滞留時間は約 2 時間あるため、投入汚泥の質的・量的変動を受けにくく、安定した自燃運転ができる。

④ 飛灰によるトラブル（ダクト閉塞、クリンカによるトラブル等）が無い

階段炉の焼却灰の大半は炉底部より排出されるため、飛灰は少なく、排ガス中のばいじん量が少ない。そのため後段に廃熱ボイラーを設置しても、ばいじんの付着による回収熱量の低下が起こりにくい。

また、流動炉では焼却灰中に含まれるリンやカリウムなどの低融点物質の灰中濃度が高い場合、高温燃焼させることで灰が熔融し、流動砂に付着して砂が肥大し、流動ブロワの消費電力を増加させたり、砂が流動停止したりすることがある。また、炉壁や煙道にクリンカが付着して閉塞することがあるが、階段炉は流動砂が不要で飛灰量も少ないことから影響が低い。

なお、炉底部より排出される灰は流動炉のように微粉状ではなく、粒状であることから、貯蔵・運搬・有効利用する際のハンドリング性が良い。また、湿灰でも乾灰でも条件に応じた搬出方法とすることができる。

2) 革新型階段炉

従来の階段炉にて脱水汚泥を焼却する場合、脱水汚泥の性状から汚泥乾燥機等の乾燥プロセスを経て含水率 40%程度まで乾燥させる必要があった。しかし、本技術を適用する場合、

前段に機内二液調質型遠心脱水機を、後段に革新型階段炉を用いることで、乾燥プロセスを経ずに直接焼却が可能である。従来の階段炉と革新型階段炉との相違を図 2-13 に示す。

革新型階段炉は上記に示す従来型階段炉の特長を生かしつつ、含水率 70% 程度の脱水汚泥を直接焼却するため、従来型階段炉よりも炉内における乾燥段の面積を広く取り、乾燥機能を強化したものである。そのため炉本体では従来型階段炉より大きくなるが、乾燥設備が不要となるため、設置スペースは従来型階段炉と同程度またはそれより小さくなる。なお、従来型階段炉と流動炉の設置スペースが同程度であるため、既存流動炉の設置スペースとも同程度またはそれより小さくなる（設置スペースについては資料編 3.2 革新的技術に添付の配置図を参照）。

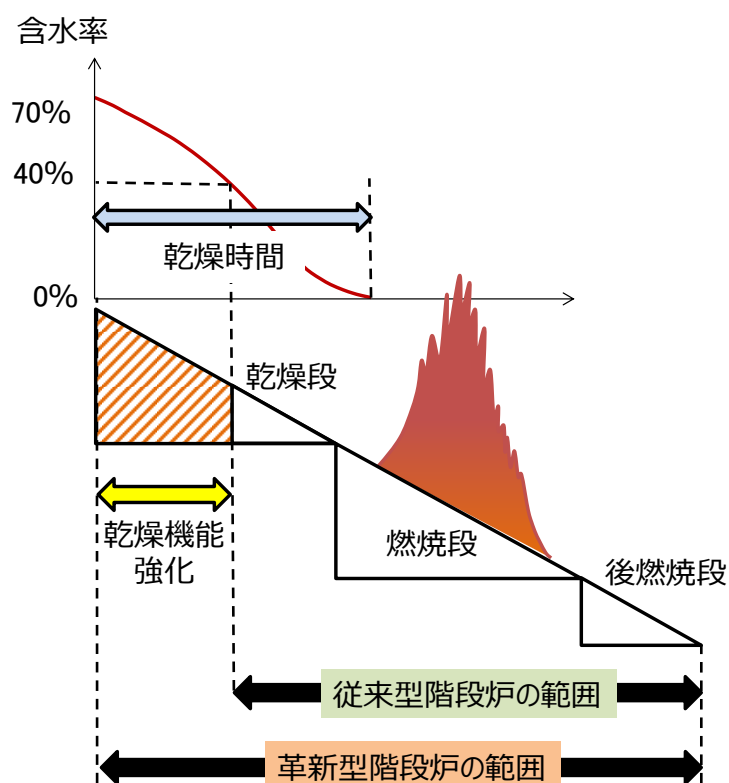


図 2-13 従来の階段炉と革新型階段炉の相違（概念図）

（2）廃熱ボイラー

燃焼排ガスから蒸気を回収し、発生した蒸気は発電に利用する。ボイラーは下記特長を有する。ボイラーの模式図を図 2-14 に示す。

- 1）熱損失を最小限にし、高い熱回収効率を保つ。
- 2）長期連続運転が可能で、効率の低下も少ない。
- 3）構造が単純で故障が少なく、信頼性が高い。

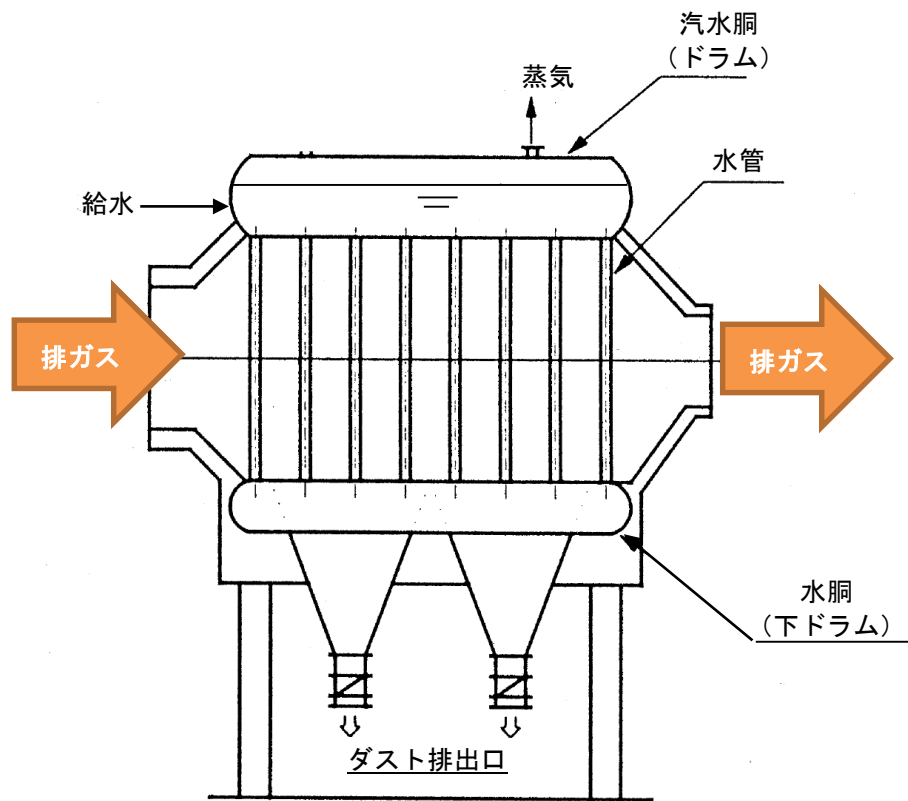


図 2-14 廃熱ボイラーの模式図

§9 エネルギー変換技術の概要と特徴

エネルギー変換技術として、スクリュ式小型蒸気発電機と蒸気バイナリー発電機併用方式を採用する。

本発電方式の採用により、これまで発電ができなかった中小規模施設も含めて広範囲の施設において発電が可能となる。なお、大規模施設においては、従来の発電技術である復水タービン蒸気発電方式を適用する。

【解説】

エネルギー変換技術は蒸気発電機を用いる。蒸気発電機は従来比較的多量の蒸気を必要とする蒸気タービン発電方式のみであったが、近年低圧・少量の蒸気により発電が可能なスクリュ式小型蒸気発電機や蒸気バイナリー発電機が商品化されたことから、タービン発電方式に必要な蒸気量が得られない規模においても蒸気発電機による発電が可能となった。

さらに本技術は低含水率化技術と組み合わせることで、脱水汚泥の発熱量が向上し（図 2-9 参照）、エネルギー回収技術での回収熱量が増加、すなわち蒸気量が増加することから、同じ規模の従来技術と比較してより多くの発電量を得ることができ、またこれまで発電ができなかった規模の小さい領域に適用範囲を広げることができる（図 2-2 参照）。

蒸気発電機は焼却炉の規模に応じて選定する。容量および蒸気条件に応じた蒸気発電機機種例を図 2-15 に示す。実証設備におけるスクリュ式小型蒸気発電機や蒸気バイナリー発電機の外観を図 2-16 に示す。

また、下水処理場は潤沢な処理水を冷却水として使用し、蒸気発電機の排気蒸気を水冷にて復水化することができるため、消費電力が多い空冷式と比較して、利用可能な電力量が多くなるといった特長を有しており、蒸気発電機を導入する上で適した条件であるといえる。

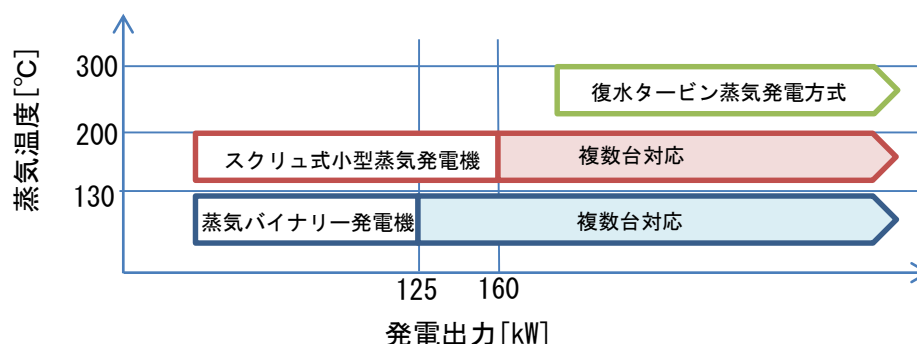


図 2-15 蒸気発電機機種例



図 2-16 実証設備におけるエネルギー変換設備の外観
(左：スクリュ式小型蒸気発電機、右：蒸気バイナリー発電機)

(1) スクリュ式小型蒸気発電機

スクリュ式小型蒸気発電機（以降、小型蒸気発電機）は、少量の低圧蒸気で発電が可能であることから、低圧・少量の蒸気を得られる焼却炉の規模（概ね10t-DS/日以上の中規模処理場）の蒸気発電に適する。本発電機は減圧機能を持たせつつ発電を行うものであり、ボイラーで発生させた蒸気を減圧弁で減圧してからプロセスに利用しているようなケースに適している。また、他の熱利用設備（乾燥機、予熱器等）との組み合わせも可能である。

本発電機の原理は、容積型のスクリュ膨張機を採用し、入口と出口の蒸気の圧力差を回転力に変え、さらに発電機により電力に変換される。本発電機の原理を図2-17に示す。

また、本発電機の出口蒸気をカスケード利用して、他の熱需要先で使用することができる。利用先の蒸気圧力条件にもよるが、圧力差を大きくしたほうが、発電電力としては大きくなる。

なお、本発電機を複数台設置する条件の場合、背圧タービン蒸気発電方式との比較を行うことが有効である。背圧タービン蒸気発電方式は1台で大型化が可能であることから、本発電機を複数台設置するより導入コストが低くなることもある。

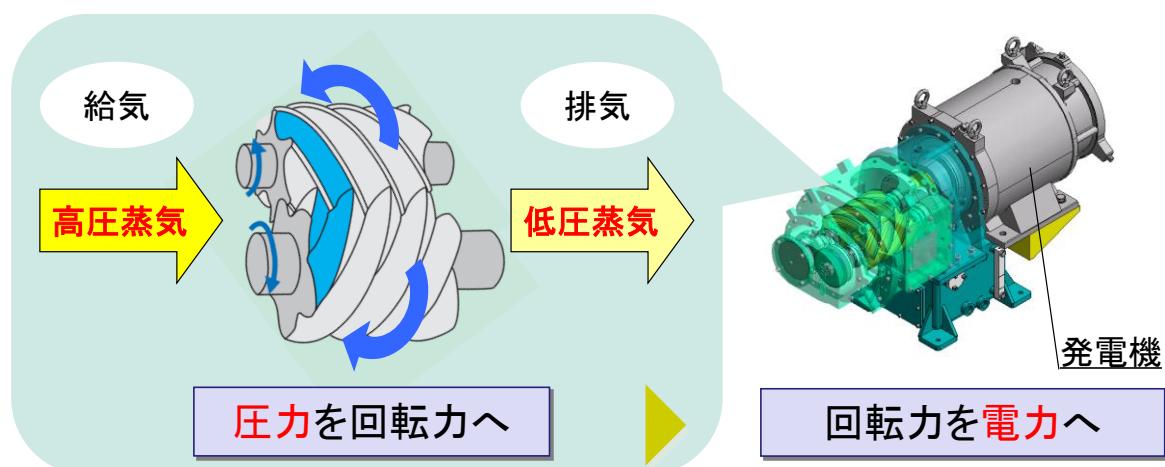


図2-17 小型蒸気発電機の原理

（2）蒸気バイナリー発電機

バイナリー発電とは、加熱源より沸点の低い作動媒体を加熱・蒸発させて、蒸発した作動媒体でタービンを回し発電する方式である。加熱源系統と媒体系統の2つの熱サイクルを利用して発電することから、バイナリー発電と呼ばれている。低沸点の作動媒体（例：代替フロンなど）を使用するため、100℃前後の蒸気や温水から発電が可能であるが、本ガイドラインにおいては、蒸気を熱源とした蒸気バイナリー発電機（以降、バイナリー発電機）を対象とする。

※類似技術として、排煙処理塔の循環水（70～80℃程度）である温排水を利用したバイナリー発電機が「下水処理場における小型バイナリー発電の導入マニュアル」（公益財団法人日本下水道新技術機構）にて一般化されており、当該技術は本システム技術にも付加的に適用可能であり、その場合更なる電力回収が見込めるが、本ガイドラインでは取り上げていない。

バイナリー発電機では作動媒体をポンプにより蒸発器に供給し、蒸発器で加熱源のエネルギーにより蒸発させた作動媒体でタービンを回す。その後、作動媒体は、凝縮器で冷却水により液化され作動媒体ポンプへ戻る。このサイクルの繰り返しにより発電を行う。加熱源のエネルギー量が多く、凝縮器での冷却能力が高いほど発電電力としては大きくなる。バイナリー発電機のフローを図2-18に示す。

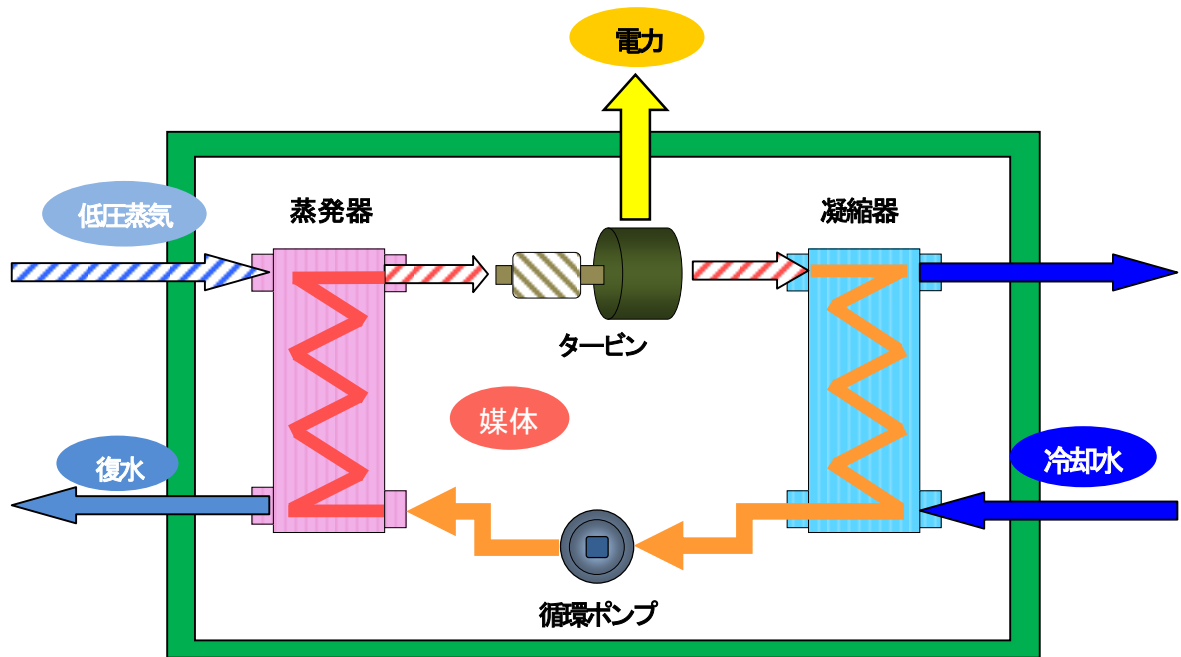


図2-18 バイナリー発電機の概略フロー

(3) 小型蒸気発電機とバイナリー発電機の組み合わせ

小型蒸気発電機で利用した後の蒸気は、圧力・温度とも低いいため利用用途が限られる。そのため余剰蒸気を得られる場合、バイナリー発電機と組み合わせせることでシステムとしての発電電力を増加させることができる。このような小型蒸気発電機とバイナリー発電機を組み合わせ、蒸気のカスケード利用を行うシステム（図2-19）は、新たな電力変換システムである。

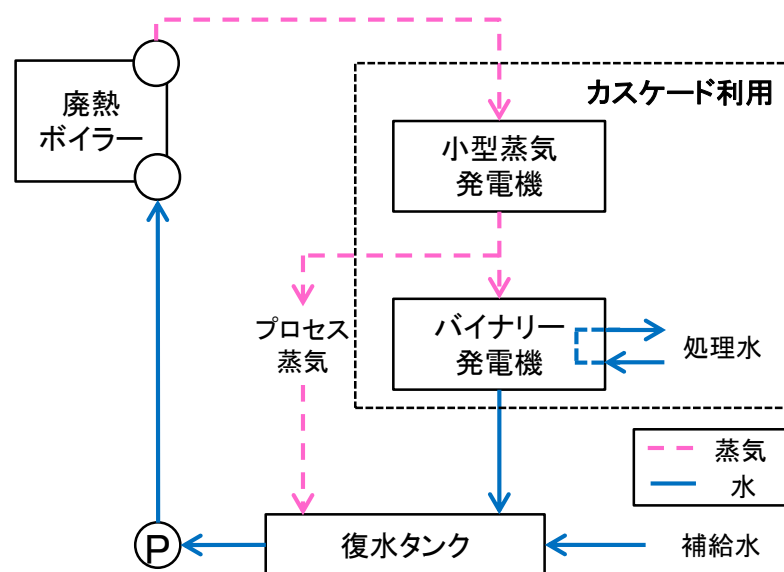


図2-19 小型蒸気発電機とバイナリー発電機による概略フロー（実証技術）

ここで、小型蒸気発電機とバイナリー発電機を組み合わせた際の熱利用範囲の例を図2-20に示す。小型蒸気発電機は蒸気の圧力差により発電を行う方式で、熱利用範囲は狭いものの熱エネルギーから電気エネルギーへの変換効率が高い（60%以上）。一方で、バイナリー発電機は蒸気が復水となる際の潜熱の一部を用いて発電を行っているため、出入口の熱量差は大きい、大半は機内で冷媒を復水化させるに用いる冷却水側に熱を捨てることから、変換効率としては低い（10%未満）。それぞれ熱の利用範囲が異なるため、二つの蒸気発電機を組み合わせることにより、システムでの発電効率を上昇させることができる。

なお、いずれの蒸気発電機も必要に応じて複数台設置が可能で、設備増設時に必要台数を増設するといった対応も可能である。このように規模に応じた必要台数の選定により、発電量を増大させ、発電量当たりの建設費の最適化が可能となる。

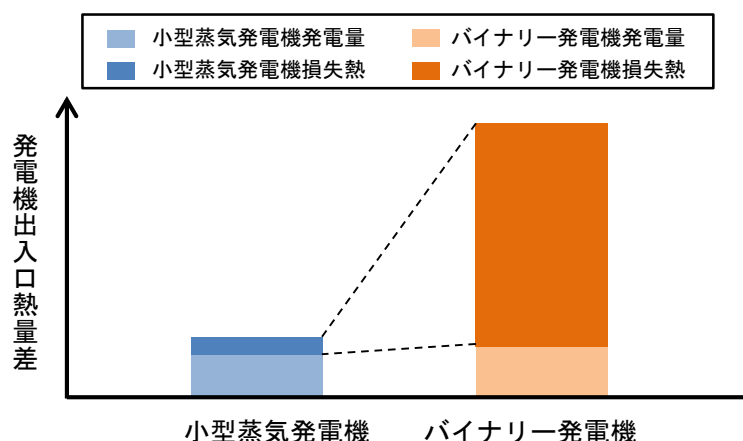


図 2-20 小型蒸気発電機とバイナリー発電機の熱利用範囲の例

なお、参考として復水タービン蒸気発電方式の概要と特徴を下記に示す。

※復水タービン蒸気発電方式

蒸気タービン発電方式には、出口の蒸気圧力を大気圧以上で運転する背圧タービン蒸気発電方式（以降、背圧タービン発電）と、復水器により大気圧より下げて真空域とする復水タービン蒸気発電方式（以降、復水タービン発電）がある。背圧タービン発電は出口の蒸気温度が高いため、蒸気をカスケード利用して他の熱需用で使用することができることから、大きな熱供給先が有る場合は有効な形式であるが、タービンで利用できる蒸気の熱落差が小さいため発電量は小さくなる。発電以外の熱供給先が不要の場合、復水タービン発電を用いることで発電量は大きくなる。また、蒸気の持つエネルギーが高いほど発電量は多くなることから、本方式を採用する場合の蒸気条件として、3MPaG・300℃等の過熱蒸気とすることが有効である。

復水器には空冷方式と水冷方式があるが、空冷方式は水冷方式と比較して4,000倍程度の体積流量が必要となり、広い復水器設置スペースが必要となるばかりか、風量を得るために電力も必

要となる。そのため、冷却水が得られる下水処理場においては水冷式が有効である。

しかし、本方式は蒸気量が少ない場合、小型蒸気発電機とバイナリー発電機併用方式より導入によるコスト面での優位性が低くなることから、比較的高圧・多量の蒸気を得られる焼却炉の規模（概ね25t-DS/日以上の大規模処理場）に適している。また本方式は1台で大型化が可能であることから、複数炉設置など将来計画を見越した容量として設計を行うことで、小型蒸気発電機とバイナリー発電機併用方式より導入コストが低くなることもある（資料編 3.2革新的技術P.191～193参照）。

第2節 技術の適用条件

§ 10 適用条件と推奨条件

本システム技術は下水処理における汚泥処理のうち、脱水以降の処理に適用される。本システムの導入効果は、汚泥性状や処理場の条件等によって異なるため、「適用条件」を満たすことを基本とし、その中でも導入効果の高くなることが予想される「推奨条件」を合わせて示す。

【解 説】

本システム技術は、下水処理における汚泥処理のうち、脱水以降の処理への適用を基本とする。更新計画の場合、既存の脱水汚泥含水率が高く、焼却設備の補助燃料使用量が多い場合や、既存焼却炉が従来型の流動炉で、消費電力や温室効果ガス排出量が多い場合に高い導入効果が得られることが期待される。

本システム技術が適用可能となる適用条件、導入効果が高くなる推奨条件を以下に示す。

(1) 適用条件

本システム技術の適用条件を以下に示す。

1) 遠心脱水機が設置可能である

低含水率化技術である機内二液調質型遠心脱水機は、従来型の高分子凝集剤のみを添加する遠心脱水機に対し、無機凝集剤を脱水機内へ添加することができる点が異なっているが、その脱水機としての機構に大きな違いは無い。そのため、適用条件としては遠心脱水機が設置できる条件である。なお、現設備が遠心脱水機である必要は無く、更新のタイミングで遠心脱水機を設置することが可能であれば良い。

2) 焼却灰の処分先、または有効利用先が確保できる

本システム技術は焼却灰を排出するため、この処分先または有効利用先の確保が重要である。なお、既設が気泡式流動炉で、既設と同様の有効利用を行う場合は、焼却灰の形状の違いから引き取り条件が異なる可能性があるため、事前に受け入れ先との調整および確認を行い、灰破碎機器の必要性の確認等を行っておくことが好ましい。

3) 蒸気発電機の冷却水として、十分なる過水量が確保できる

バイナリー発電機および復水タービン発電は、冷却水として水質条件に適した多量のろ過水が必要とする。一般に焼却炉を設置する下水処理場では二次処理水は容易に確保できるが、ろ過水量が制限されることがあるため、事前確認が必要である。

ろ過水の使用量の目安としては汚泥 1t-DS/日あたり 6~8m³/h 程度である。また水温は

低いほど良いが、概ね 15～30℃の範囲であれば適用できる。

なお、必要なる過水が確保できない条件においては、高度処理設備（移床式砂ろ過器など）を設置するなどの検討を行う。また、冷却水として使用したる過水は 5～10℃程度昇温される程度であり、他設備（排ガス処理）に利用することもできる。

4）焼却規模で概ね 10t-DS/日以上（1.5t/h 以上の発生蒸気量）が確保できる

小型蒸気発電機及びバイナリー発電機は立上げ時に最低 1.0t/h 以上の蒸気量が必要であることから、これらの蒸気発電機を組み合わせる場合、変動範囲の余裕を考慮して、1.5t/h 以上の蒸気量が確保できる条件を導入可能な最低規模とする。この際の焼却規模としては概ね 10t-DS/日以上となる。なお、今後さらに少ない蒸気量で発電可能な蒸気発電機が製品化された場合はこの限りではなく、蒸気発電機の必要蒸気量に応じた焼却規模での発電が可能となる。

また蒸気量の上限は設けないが、蒸気量が多くなる場合については、コスト面等含め、最適な発電方式を選定する。

（2）推奨条件

本システム技術の推奨条件を以下に示す。

1）対象汚泥が混合生汚泥で、低含水率化しやすい

本システム技術は、混合生汚泥、消化汚泥とも適用が可能であるが、混合生汚泥は可燃分割割合が高く含水率が 70%程度まで低含水率化が可能であるため、脱水汚泥としての発熱量が高い条件であり、その効果として後段のエネルギー回収・変換設備での補助燃料使用量の削減や自然運転、発電電力量の増大が見込める。含水率は低いほどエネルギー回収設備での回収熱量が多くなり、更なる効果が見込める（資料編 1.4 エネルギー回収・変換技術実証試験結果 P.147 参照）。

消化汚泥については難脱水性のため、後段のエネルギー回収設備で助燃が必要となる場合が多いことに留意が必要である。適用については脱水汚泥の含水率や有機分割割合を検討し、エネルギー回収設備での補助燃料使用量や、エネルギー変換設備での発電電力を考慮の上判断する。

2）供給汚泥濃度が安定している

分離濃縮を実施していない場合など、脱水機への投入汚泥濃度の変動が大きい場合、本技術（低含水率化技術）の性能が安定せず、想定した性能が発揮されないことがある。そのため、投入汚泥濃度が安定しやすい分離濃縮が導入されている施設の方が、脱水汚泥の含水率も安定する傾向があり、その効果として後段のエネルギー回収・変換設備での補助燃料使用量の削減や、発電電力量の増大につながる。

なお、投入汚泥濃度が安定しないと想定される施設では、汚泥濃縮機を本技術の前段に設置することが有効である。汚泥濃縮機には、ベルト型や回転ドラム型などの低動力型濃縮機が実用化されているため、これらを組み合わせることで脱水機への投入汚泥濃度が安定し、本システム技術として期待させる性能が発揮できる（資料編 1.3 低含水率化技術実証試験結果 P. 132 参照）。

3) 脱水汚泥の焼却量が多い

焼却設備は一般的に規模が大きいほどスケールメリットが働きやすいことから、コスト面で優位となる。また、蒸気発電機は一般に蒸気量が多いほど効率が高くなる。そのため、規模が大きいほど発生蒸気量は多くなることから、脱水汚泥単位重量当たりの発電量は大きくなり、導入メリットも相対的に大きくなる。

4) 定格負荷で連続運転ができる

立上げ・立下げの頻度を極力減らし、最適運転条件である定格負荷運転を継続させるほど、省エネ・創エネ効果は高くなり、コスト縮減につながる。その条件として、複数炉設置の場合等が考えられ、発生汚泥量の変動に対して本設備の負荷率を定格負荷条件とし、他の発電を行わない焼却炉で稼働率ならびに負荷率を調整することが有効である。

5) 白煙防止が不要である

白煙防止条件が設定されている場合、エネルギー回収技術で回収した熱の一部を白煙防止用の熱源として利用するが、白煙防止が不要、もしくはその条件が緩ければ緩いほど、エネルギー変換設備に投入できる蒸気量が多くなり、発電量を増加させることができ、省エネ・創エネ効果が高くなる。

§11 導入シナリオ

本技術を導入する場合シナリオ例を示す。

- (1) 汚泥脱水設備ならびに焼却設備の更新・新設・増設を同時に行う場合
- (2) 汚泥脱水設備、焼却設備の更新・新設・増設を段階的に行う場合
 - 1) 先に低含水率化設備を導入する場合
 - 2) 先にエネルギー回収・変換設備を導入する場合

同時更新の方が配置計画の最適化など、導入コストの最小化が図れる。

またエネルギー変換設備の導入を前提とした部分的な導入シナリオとして、エネルギー回収設備に従来型階段炉を適用することもできる。

【解 説】

本技術を導入する直接的な効果は、補助燃料使用量および使用電力量の削減・発電により維持管理費が大幅に縮減される点にあり、さらに一定規模以上となれば発電した電力を水処理設備等の処理場内の電力として利用することで、処理場全体での維持管理費の縮減に有効である。また同様に温室効果ガス排出量の削減効果も大きい。本技術の導入が有効と考えられる典型的なシナリオの例を以下に示す。また、それぞれの導入イメージを図 2-21～24 に示す。

- (1) 汚泥脱水設備ならびに焼却設備の更新・新設・増設を同時に行う場合

- 1) 更新・新設時における同時導入

脱水から焼却までの設備を一度に更新・新設することで、配置計画の最適化や、脱水汚泥の搬送・貯留設備などについて、今回システムに最適となる設備の導入ができることから、導入コストの最小化も図れる。

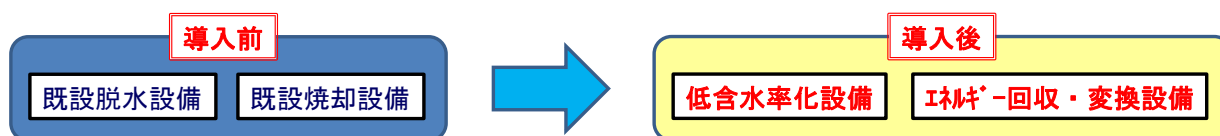


図 2-21 同時更新・新設時の導入イメージ

- 2) 増設時等における同時導入

汚泥集約処理場等において、発生汚泥量増加等による設備整備時に、汚泥脱水設備ならびに焼却設備の増設を行う場合や、複数炉のうち 1 炉を更新する場合についても考え方は同じである。汚泥集約処理場では複数炉を前提とすることから、焼却量変動に対して既存設備との調整が可能であるため、本システム技術の運転を優先させることが可能となり、効果を最大限に発揮することができる。本システムは定格負荷条件で連続的に運転を行うほど維持管理費縮減のメリットは大きくなることから、本システムを連続的に定格負荷条件において運

転できるように既存設備との調整を行なえば、処理場全体での維持管理費の最小化が可能となる。合わせて温室効果ガス排出量の削減も可能となる。

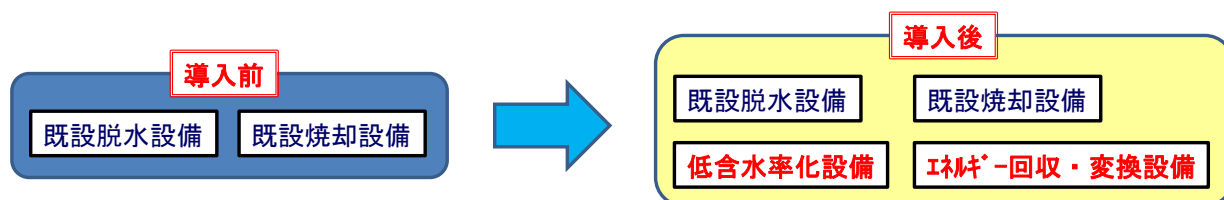


図 2-22 増設時の導入イメージ

(2) 汚泥脱水設備、焼却設備の更新・新設・増設を段階的に行う場合

基本的な考え方としては前項と同じであるが、従来の下水道設備の導入手順として、二つの設備が同時に更新される事例は少ない。本システム技術を段階的に導入する場合のシナリオ例を以下に示す。

1) 先に低含水率化設備を導入する場合

一期目に低含水率化設備を導入し、二期目にエネルギー回収設備とエネルギー変換設備を導入するシナリオである。低含水率化設備の機内二液調質型遠心脱水機と従来型遠心脱水機との大きな違いは、無機凝集剤の機内への添加の有無であるため、本技術を導入しても無機凝集剤を添加しなければ、従来型（高効率型遠心脱水機）として使用することができることから、後段の焼却システムに関係なく導入が可能である。また、一期目と二期目の間が長い場合や、既存焼却設備を運転する上で無機凝集剤を添加した低含水率化運転が不要な場合、無機凝集剤供給設備は二期目にあわせて設置してもよい。その場合、必要な設置スペースを計画時に確保しておく必要がある。

本条件の場合、一期目は低含水率技術（二液調質による運転）を用いることで、焼却設備の補助燃料使用量削減による維持管理費の縮減や温室効果ガス排出量の削減効果が得られる。また本システム技術がすべて導入できた二期目から、本システム技術導入時に期待される効果が表れる。

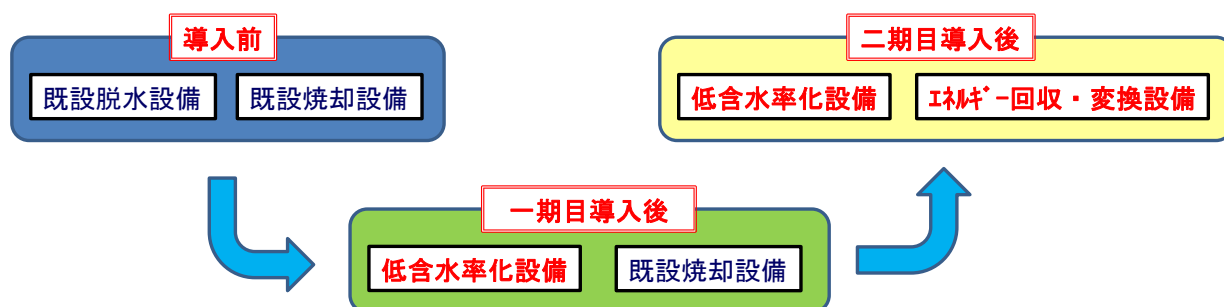


図 2-23 段階更新シナリオの導入イメージ（一期目低含水率化設備導入）

2) 先にエネルギー回収・変換設備を導入する場合

エネルギー回収設備のうち革新型階段炉は低含水率化設備の導入を前提とすることから、エネルギー回収・変換設備を先に導入する場合、既設脱水設備が更新されない期間は、本システム技術を適用することはできない。そのため、一期目で革新型階段炉とともに乾燥機を導入し、二期目に低含水率化設備を導入するシナリオとなる。この場合の一期目のフローを図 2-25 に示す。廃熱ボイラーで発生した蒸気は乾燥機で使用する必要圧力まで減圧するが、この減圧に小型蒸気発電機や背圧タービン発電を導入することで、発電を行いながら蒸気を乾燥に利用できる。

この場合、エネルギー変換設備は二期目での低含水率化設備導入後の発電量を見込んだ設計とする。また二期目において乾燥機は、立上げ時や含水率変動時など、補助燃料が必要な場合の助燃材としての乾燥汚泥の製造に用いるなど、脱水汚泥をシステムとして運転するために必要な量を乾燥させるのに用いる。乾燥汚泥との混焼については、資料編 1.4 エネルギー回収・変換技術実証試験結果 P. 142 に記載のように実証済みであり、問題なく行うことができる。

本シナリオでは、一期目から革新型階段炉と乾燥機を導入することによる自燃運転や、エネルギー変換設備による発電が可能となるため、維持管理費および温室効果ガス排出量の削減が期待できる。

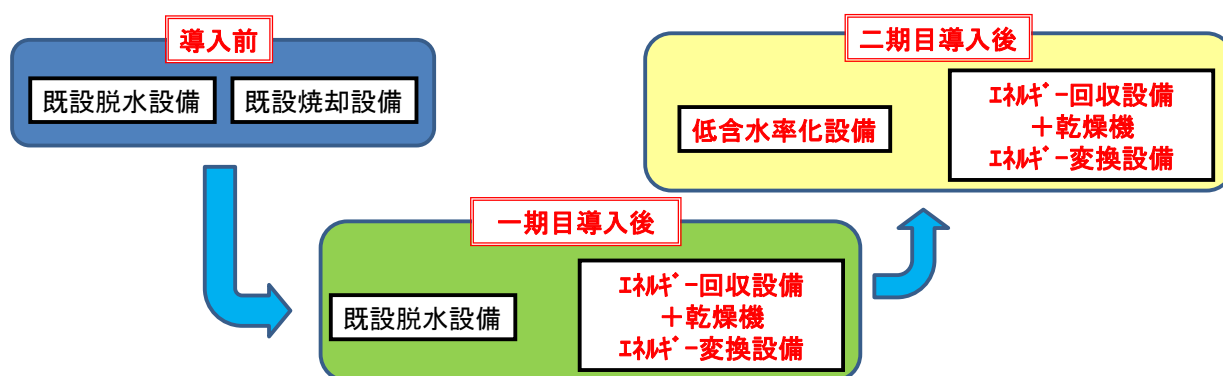


図 2-24 段階更新シナリオの導入イメージ（一期目エネルギー回収・変換設備導入）

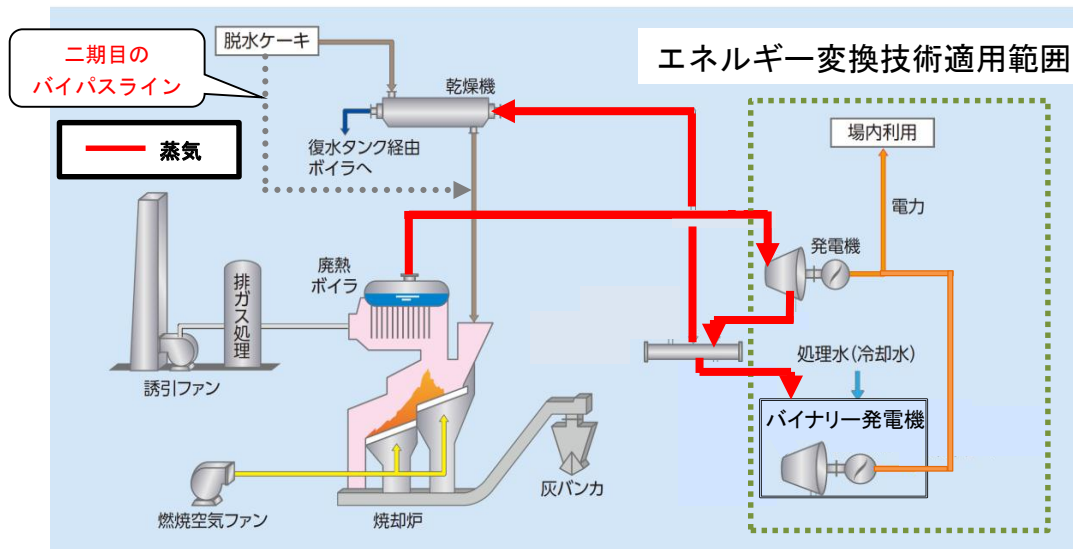


図 2-25 階段炉と乾燥機を新規導入する場合のフロー

※部分導入シナリオ

エネルギー変換設備を設置する場合、エネルギー回収技術として従来型階段炉（乾燥機付）を適用することで、以下のような導入シナリオ例も挙げられる。各シナリオの適用技術を表 2-1 に示す。

表 2-1 部分的導入シナリオにおける対象技術

シナリオ	脱水設備	焼却設備	エネルギー変換設備
(1)	従来型（既存）	従来型階段炉（新設）	新設
(2)	革新型（新設）	従来型階段炉（新設）	新設
(3)	従来型（既存）	従来型階段炉（既存）	新設
(4)	革新型（新設）	従来型階段炉（既存）	新設

(1) 焼却設備を従来型階段炉（乾燥機付）に更新し、エネルギー変換設備を設置する場合

脱水設備については既存設備（一液調質型）を利用し、焼却設備として従来型階段炉（乾燥機付）を導入することで、電力回収を行うシステムが構築可能である。フローとしては図 2-25 と同じである。従来型の階段炉では発生した蒸気を乾燥機で使用する必要圧力まで減圧しており、この減圧に小型蒸気発電機や、背圧タービン発電を導入することで、発電を行いながら蒸気を乾燥に利用できる。このシステムは自燃可能なシステムであり、発電により電力使用量が削減できることや低消費電力で N_2O の大幅な削減ができることから、従来技術と比較して補助燃料使用量削減や、電力使用量の削減による維持管理費の縮減ならびに温室効果ガス排出量の削減が期待できる。

(2) 低含水率化設備を導入し、焼却設備を従来型階段炉（乾燥機付）に更新し、エネルギー変換設備を設置する場合

脱水設備を低含水率化設備に更新しても、難脱水汚泥など含水率が高く、エネルギー回収設備のうち革新型階段炉の導入効果が低い場合（自燃領域が狭いなど）、乾燥機付の従来型階段炉の焼却システムを導入することで確実に自燃運転を行いつつ、電力回収を行うシステムが導入可能である。導入効果としては（1）と同様に維持管理費の縮減ならびに温室効果ガス排出量の削減が期待できる。なお本シナリオは脱水、焼却（発電）設備の段階的導入も可能である。

(3) 既存の従来型階段炉（乾燥機付）にエネルギー変換技術を設置する場合

脱水設備については既存設備（一液調質型）を利用し、従来型の階段炉（乾燥機付）で余剰蒸気が得られる場合、小型蒸気発電機やバイナリー発電機を導入することで、電力回収を行うシステムが導入可能である。フローを図 2-26 に示す。発電による電力使用量が削減できることから、維持管理費の縮減ならびに温室効果ガス排出量の削減が期待できる。

(4) 既存の従来型階段炉（乾燥機付）に低含水率化設備およびエネルギー変換設備を設置する場合

脱水設備を低含水率化技術に更新することで、既設が従来型の階段炉（乾燥機付）で余剰蒸気が得られる場合、小型蒸気発電機やバイナリー発電機を導入することで、電力回収を行うシステムが導入可能である。ただし、無機凝集剤の使用によるコスト増と発電によるコスト減によるトータルコストで検討することに留意する必要がある。

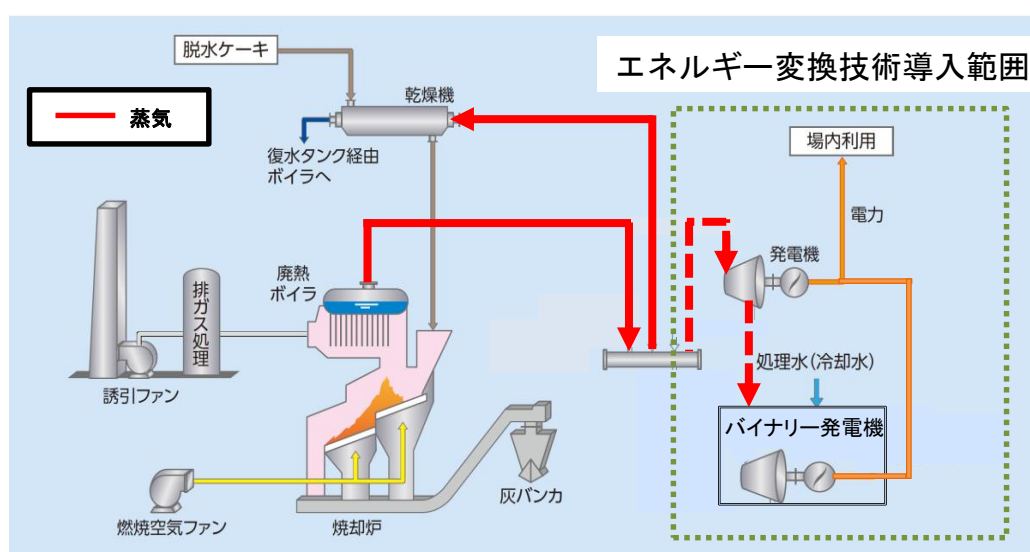


図 2-26 既存の階段炉と乾燥機のシステムにエネルギー変換技術を導入する場合のフロー

※焼却廃熱としての有効利用

本システムでは発生した蒸気を発電に利用することを念頭に置いたものであるが、蒸気発電としての廃熱利用以外にも、一部または全量を温水供給や地域熱供給等への利用も可能である。また、脱水汚泥の乾燥や空気の予熱、消化槽の加温など、下水処理場内での熱利用も可能である。

更に本システムでは用いていないが、排煙処理塔からの温排水についても条件によっては組み合わせる熱利用を図ることも可能である。

導入にあたっては、熱利用先の状況や条件等を整理した上で、計画を行うことが好ましい。

第3節 実証研究に基づく評価の概要

§12 評価項目

実証研究に基づく本技術の評価項目を以下に示す。

- (1) コスト（建設費、維持管理費、ライフサイクルコスト）
- (2) 温室効果ガス排出量
- (3) エネルギー消費量
- (4) エネルギー創出量
- (5) 環境性能

【解 説】

本技術を検討するにあたり各技術の性能を定量的に評価し、評価項目、評価方法並びに評価結果を設定、提示する必要がある。

本ガイドラインでは、本技術の性能を評価する項目として、(1) 本システムを導入するために必要となるコスト、(2) 本システム導入による温室効果ガス排出量の削減効果、(3) エネルギー消費量、(4) エネルギー創出量、(5) 環境性能について評価を行った。

本技術は下水汚泥を脱水し焼却処理する技術であるため、検討対象範囲は、分離濃縮を行った後の混合生汚泥を処理する汚泥脱水設備および焼却設備を範囲とした。概略フローを図 2-27 に示す。

試算にあたっては表 2-2 に示す仮想の下水処理場の設定条件より、本実証施設の仕様および実際の運転データ等を基に、物質収支および熱収支計算により、本システム一括導入時（§11 導入シナリオ（1）の条件）のコスト、温室効果ガス排出量、エネルギー消費量、エネルギー創出量について試算を行った。試算条件としては表 2-3 に示す3つの処理規模（焼却時の脱水汚泥基準）とした。

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 10t-DS/日以上を条件とし、表 2-2 に設定した既存脱水汚泥含水率から既存焼却規模が 50t-wet/日、100t-wet/日、150t-wet/日となるよう設定した。なおエネルギー変換設備は、小型蒸気発電機とバイナリー発電機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、汚泥処理施設として重力濃縮（生汚泥）および機械濃縮（余剰汚泥）を備え、安定した濃度の混合生汚泥として得られる条件とした。当該下水処理場では消化設備が設置されていないものとした。

下水処理場全体の物質収支の試算に係る各所の汚泥量・汚泥性状の諸条件は、「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）¹⁾や「下水道統計（平成 22 年度版）」（公益社団法人日本下水道協会）⁴⁾を参考にしたほか、実証結果を踏まえ表 2-2 のように設定した。

なお、本節で行った各種試算については資料編 3.2 革新的技術にその詳細を記載した。また段階導入、部分導入については、別途 24t-DS/日の場合の試算を行っている。詳細は資料編 3.3 段階導入時の試算及び資料編 3.4 部分導入時の試算を参照されたい。

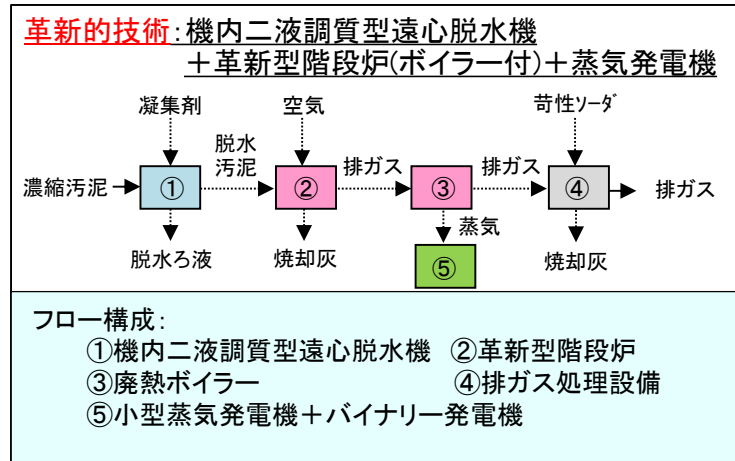


図 2-27 検討技術の概略フロー

表2-2 仮想の下水処理場の設定条件

項目	設定条件	備考
流入下水水質	SS：200 mg/L	
水処理施設	最初沈殿池＋反応タンク＋最終沈殿池	
污泥処理施設	重力濃縮（生污泥）、機械濃縮（余剰污泥）	消化設備無し
脱水入口計画污泥性状	濃度：約3.3%、可燃分：84%	下水道統計（H22）を基に設定
脱水污泥含水率	（既存）76%、（導入後）69%	
污泥発熱量（高位）	19,691kJ/kg-DS	算出式※より
污泥可燃分組成	炭素（C）50.1%-VS、水素（H）7.37%-VS、窒素（N）6.57%-VS、酸素（O）35.0%-VS、硫黄（S）0.94%-VS	実証フィールド（2箇所）による平均値
処理水温度	21℃（夏季＋5℃、冬季－5℃）	全国15自治体の維持管理年報を基に設定
污泥処理設備運転時間	24時間/日	
稼働率（運転日数）	90%（328.5日/年）	
負荷率	90%	

※高位発熱量(kJ/kg-DS)＝4.186×(58.3×V－193)、V＝污泥中可燃分割

「污泥焼却炉の省エネルギー化に関する調査報告書」（建設省都市局下水道部・日本下水道事業団）⁵⁾より引用

表 2-3 本技術の評価における試算条件

条件	単位	①	②	③
流入下水量	m ³ /日	62,500	125,000	187,500
炉投入固形物量	t-DS/日	12	24	36
既存焼却設備規模	t-wet/日	50	100	150
導入後焼却設備規模	t-wet/日	40	79	119

各条件で試算を行うコスト、温室効果ガス排出量、エネルギー消費量、エネルギー創出量について以下に解説する。

(1) コスト

検討を容易にするため、建設費、ユーティリティ消費量を算定式化した。なお、算定式については資料編 2.1 建設費算定式（費用関数）の導出方法を参照されたい。本技術導入時のコストを評価する項目を以下に示す。

1) 建設費

建設費は、機械設備、電気設備、土木建築施設の設置に係る工事費を対象とした。

機械・電気設備費については、容量計算などにより機器の仕様を決定し、機器の単価を乗じてこれを積算するとともに、機器費を材料費として扱い、工費（労務費）を計上した。なお、電気設備については一次側の受変電設備および中央監視設備は不含とした。また脱水施設電気設備については、脱水機付属盤からの二次側配線工事および計装工事を機械設備に含むものとして、電気設備としては計上しないこととした。

土木建築設備費については、機械設備主要部は屋外設置とし、建屋（ブロワ室、電気室、制御室等）は既存施設を利用するものとし、機械基礎、防液堤等の増築費を計上した。また、本工事範囲としては整地済の既存敷地に建設されるものとし、造成費、杭打設費、既設建築物の撤去費等は含まないこととした。

なお、「バイオソリッド利活用基本計画（下水污泥処理総合計画）策定マニュアル（案）」（公益社団法人日本下水道協会）⁶⁾より、利子率 2.3%とし、表 2-4 に示す各設備の耐用年数を考慮して、次式を用いて年価換算を行った。

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

表 2-4 各設備の耐用年数

	耐用年数 (年)	備考
低含水率化設備（機械）	15	下水道事業の手引き ⁷⁾ より
エネルギー回収設備（機械）	10	同上
エネルギー変換設備（機械）	15	同上
電気設備	15	同上
土木建築設備	50	同上

2) 維持管理費

維持管理費は本システムに用いるユーティリティ（電気、補助燃料、薬品）については、実証研究から得られたデータを用い、定常運転時ならびにシステム停止時から定常運転状態になるまでの立上げ時に係るものに加え、灰処分費、点検補修費、人件費を対象とした。なお、発電した電力は場内で利用するものとし、消費電力から発電電力を差し引いたものから電力費を算出した。各ユーティリティ単価については資料編 3.2 革新的技術 P.174 に記載した。

3) 解体・廃棄費

設備の耐用年数使用後の解体・撤去に関わる費用として、解体・廃棄費については、下記条件より建設費の10%として算出した。

① 解体・撤去費

解体・撤去費の考え方は、「下水道用設計標準歩掛表平成24年―第2巻 ポンプ場・処理場―P.102」（公益社団法人日本下水道協会）⁸⁾より、機械・電気における公費は特殊な状況下でない限り、労務費のみを計上することが一般的であり、撤去費は労務費の40%を計上することとあり、それに従うものとした。また労務費は建設費の15%とした。したがって解体・撤去費は建設費の6%となる。

なお、本条件については土木建築設備にも適用する。

② スクラップコスト

スクラップコストは建設費の4%を計上した。

4) ライフサイクルコスト（LCC）

ライフサイクルコスト（LCC）は建設費を年価換算したものと、維持管理費、解体・廃棄費を対象とした。

(2) 温室効果ガス排出量

温室効果ガスの排出量の算出にあたっては、下記項目について算出した。なお、燃焼排ガスより排出される CH_4 については、炉内で完全燃焼されるものであることから、本試算においては含まないものとした。

1) CO_2

本システム技術に用いるユーティリティ（電気、補助燃料、薬品）の定常運転時ならびにシステム停止時から定常運転状態になるまでの立上げ時に係るものと、建設段階および解体・廃棄時のものを対象とした。ユーティリティ使用量は実証結果に基づき算出した。各原単位については資料編 3.1 従来技術 P. 168 に記載した。

また、施設の建設段階および解体・撤去時の温室効果ガス排出量については、「下水道における LCA 適用の考え方（国土交通省国土技術政策総合研究所）」⁹⁾より、終末処理場における環境負荷量（ LC-CO_2 ）の算定事例から、建設段階 19.3%、供用段階 80.2%、解体・撤去時 0.5%の比率で換算し算出した。

2) 亜酸化窒素 (N_2O)

焼却炉の運転時に燃焼排ガスより排出される N_2O については、実証試験にて実測した結果（資料編 1.4 エネルギー回収・変換技術実証試験結果 P. 137, 138）を踏まえ算出した。

(3) エネルギー消費量

エネルギー消費量の算出にあたっては、ユーティリティ（電気、燃料）の使用に係るものを対象とし、薬品に係るものは除外した。各原単位については資料編 3.1 従来技術 P. 169 に記載した。

(4) エネルギー創出量

エネルギー創出量は、物質収支・熱収支計算結果ならびに蒸気発電機の性能目安から求められる発電電力量とし、負の消費量として計上した。なお、エネルギー創出量とエネルギー消費量を足した値を、正味のエネルギー創出量（創エネルギー量）とした。

(5) 環境性能

環境性能については実証結果に基づき、下記項目に対して評価した。

1) 排ガス性状

法的規制項目のほか、維持管理基準項目（ CO 濃度）について評価した。

2) 灰性状

埋立処分における法的規制項目のほか、維持管理基準項目（熱灼減量）について評価した。

3) 臭気

臭気は臭気濃度を測定して評価した。従来の脱水設備は屋内に設置されるが、今回のシステムでは屋外に設置することも考慮する必要があることから、周辺環境における臭気を測定して評価した。

4) 騒音

騒音を敷地境界で測定して評価した。従来の脱水設備は屋内に設置されるが、今回のシステムでは屋外に設置することも考慮する必要があることから、周辺環境における騒音を測定して評価した。

§ 13 評価結果

実証試験結果および収支計算結果より、下記項目について評価を行い、規模との関係を示す算定式を導出した。

- (1) コスト
- (2) 温室効果ガス排出量
- (3) エネルギー消費量
- (4) エネルギー創出量
- (5) 環境性能

【解 説】

炉投入固形物量基準で 12t-DS/日、24t-DS/日、36t-DS/日の 3 条件の処理規模において、本システム導入時のコスト、温室効果ガス排出量、エネルギー消費量、エネルギー創出量の試算を行った。上記 3 条件における処理規模別の試算結果を表 2-5 に示す。

表 2-5 処理規模別の試算結果

条件	単位	①	②	③
炉投入固形物量	t-DS/日	12	24	36
導入後焼却設備規模	t-wet/日	40	79	119
ライフサイクルコスト	百万円/年	477	649	783
温室効果ガス排出量	t-CO ₂ /年	693	1,251	1,622
エネルギー消費量	GJ/年	8,623	15,975	22,321
エネルギー創出量 (発電量)	GJ/年	-11,016	-22,782	-36,524
	MWh/年	-1,162	-2,402	-3,851
	kWh/h	-164	-339	-543
正味のエネルギー創出量 (システム全体)	GJ/年	-2,394	-6,806	-14,203

(1) コスト（建設費、維持管理費、ライフサイクルコスト）

各条件における建設費の試算結果を表 2-6、図 2-28 に示す。

表 2-6 各条件における建設費の試算結果

条件	単位	①	②	③
炉投入固形物量	t-DS/日	12	24	36
導入後焼却設備規模	t-wet/日	40	79	119
低含水率化設備	百万円/年	26	41	52
エネルギー回収設備	百万円/年	210	276	317
エネルギー変換設備	百万円/年	13	19	33
電気設備	百万円/年	37	53	68
土木建築設備	百万円/年	6	7	8
合計	百万円/年	292	396	478

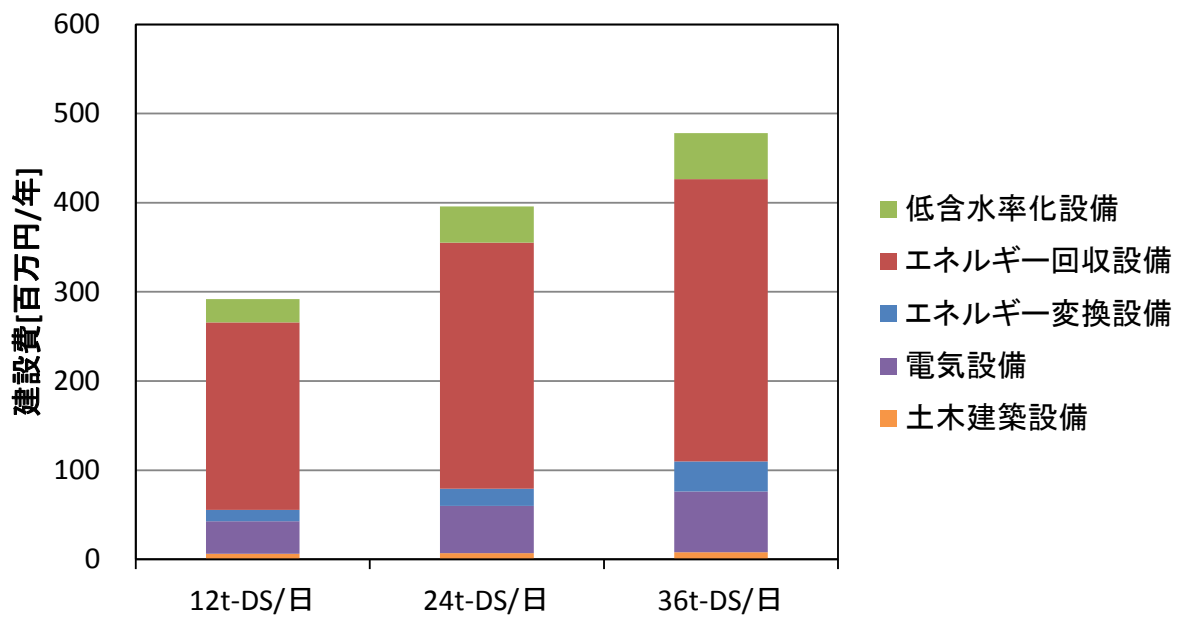


図 2-28 各条件における建設費の比較

各条件における維持管理費の試算結果を表 2-7、図 2-29 に示す。

表 2-7 各条件における維持管理費の試算結果

条件	単位	①	②	③
炉投入固形物量	t-DS/日	12	24	36
導入後焼却設備規模	t-wet/日	40	79	119
低含水率化設備	百万円/年	23	46	69
エネルギー回収・変換設備	百万円/年	27	51	74
点検補修費	百万円/年	66	94	114
人件費	百万円/年	58	58	58
小計	百万円/年	174	250	315
発電電力	百万円/年	-18	-37	-58
合計（発電分含む）	百万円/年	156	213	257

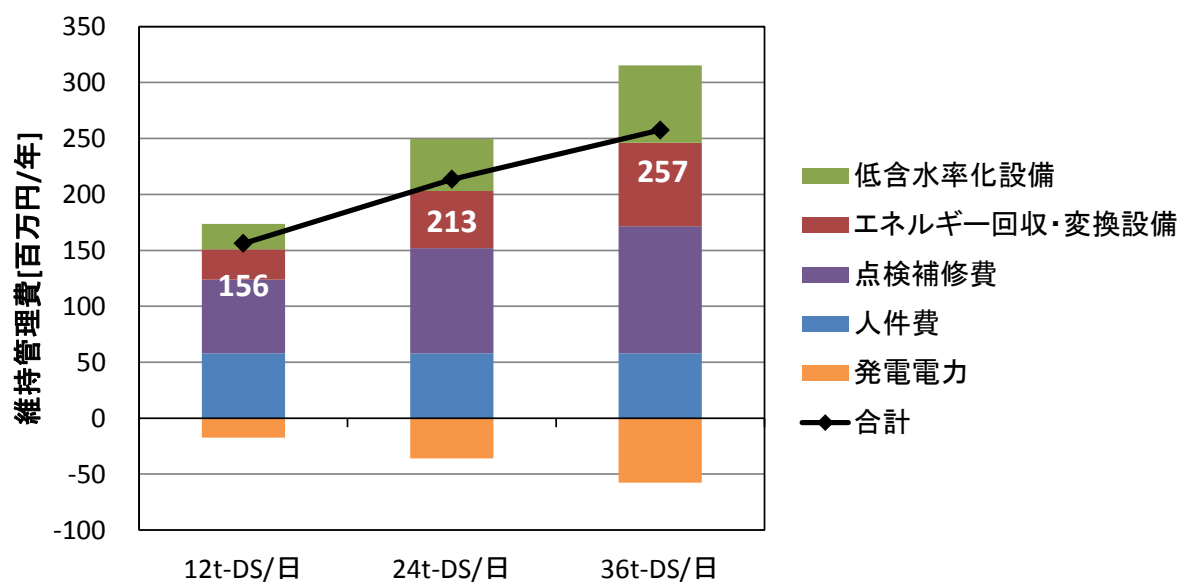


図 2-29 各条件における維持管理費の比較

各条件におけるライフサイクルコストの試算結果を表 2-8、図 2-30 に示す。

表 2-8 各条件におけるライフサイクルコストの試算結果

条件	単位	①	②	③
炉投入固形物量	t-DS/日	12	24	36
導入後焼却設備規模	t-wet/日	40	79	119
建設費	百万円/年	292	396	478
維持管理費	百万円/年	156	213	257
解体・廃棄費	百万円/年	29	40	48
合計	百万円/年	477	649	783

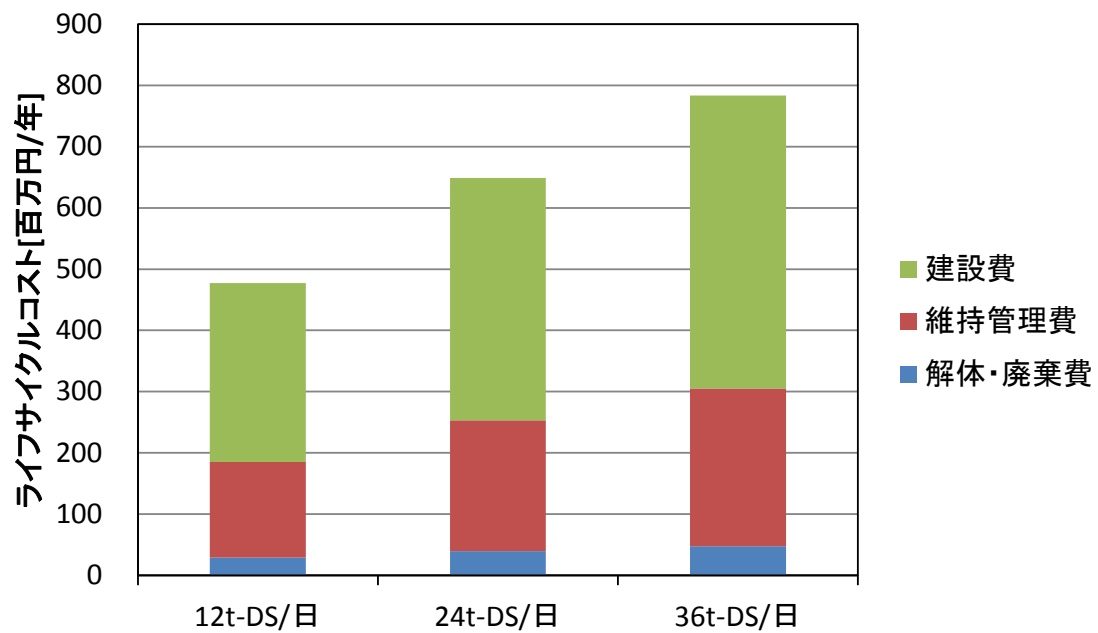


図 2-30 各条件におけるライフサイクルコストの比較

(2) 温室効果ガス排出量

各条件における温室効果ガス排出量の試算結果を表 2-9、図 2-31 に示す。

表 2-9 各条件における温室効果ガス排出量の試算結果

条件		単位	①	②	③
炉投入固形物量		t-DS/日	12	24	36
導入後焼却設備規模		t-wet/日	40	79	119
建設段階		t-CO ₂ /年	190	362	520
供用段階	低含水率化設備	t-CO ₂ /年	292	615	905
	エネルギー回収設備	t-CO ₂ /年	498	890	1256
解体撤去時		t-CO ₂ /年	5	9	14
亜酸化窒素 (N ₂ O)		t-CO ₂ /年	348	696	1,045
小計 (排出のみ)		t-CO ₂ /年	1,332	2,572	3,740
発電電力		t-CO ₂ /年	-639	-1,321	-2,118
合計 (発電分含む)		t-CO ₂ /年	693	1,251	1,622

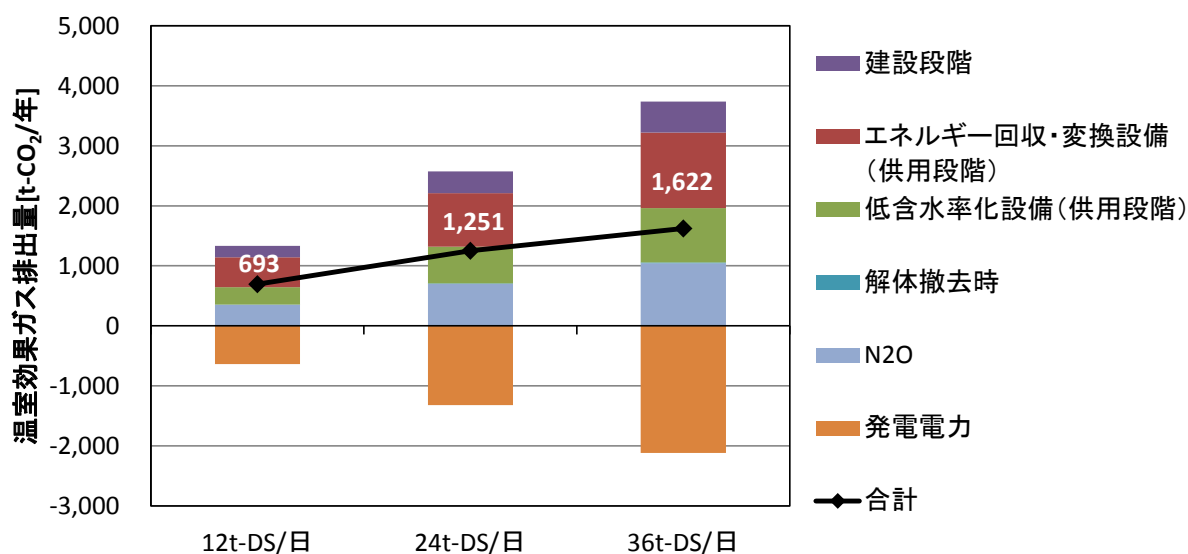


図 2-31 各条件における温室効果ガス排出量の比較

(3) エネルギー消費量

各条件におけるエネルギー消費量の試算結果を表 2-10、図 2-32 に示す。

表 2-10 各条件におけるエネルギー消費量の試算結果

条件		単位	①	②	③
炉投入固形物量		t-DS/日	12	24	36
導入後焼却設備規模		t-wet/日	40	79	119
電力	低含水率化設備	MWh/年	217	491	706
	エネルギー回収・変換設備	MWh/年	688	1, 257	1, 633
	小計	MWh/年	904	1, 675	2, 339
		GJ/年	5, 577	15, 883	22, 183
補助燃料		GJ/年	46	92	138
合計		GJ/年	8, 623	15, 975	22, 321

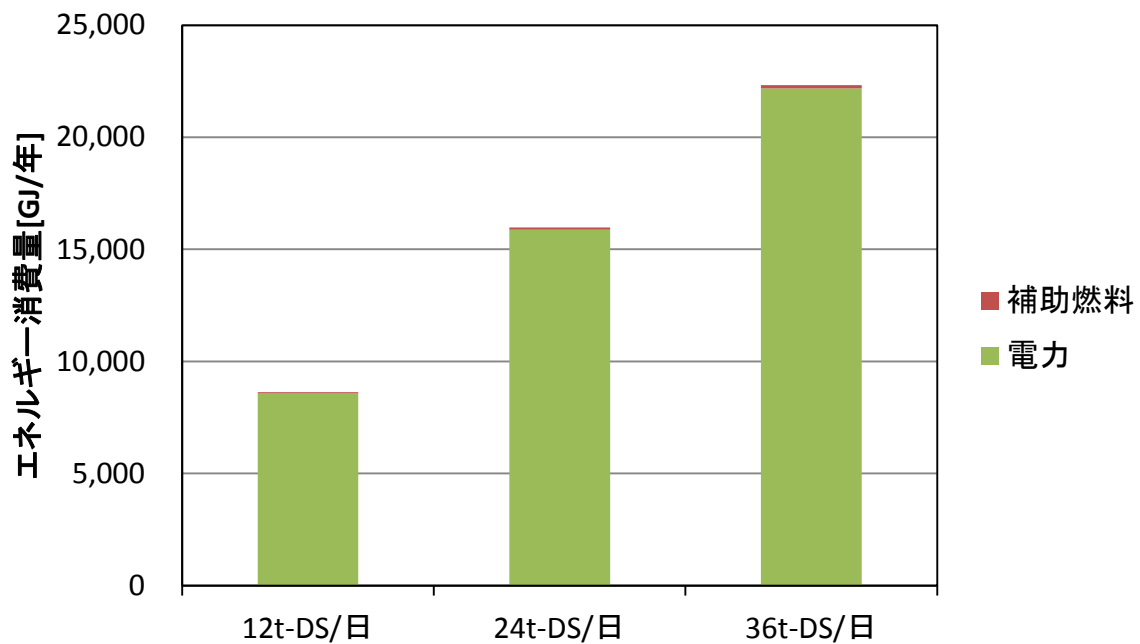


図 2-32 各条件におけるエネルギー消費量の比較

(4) エネルギー創出量

各条件におけるエネルギー創出量の試算結果を表 2-11、図 2-33 に示す。なお、エネルギー創出量は発電電力量を対象とし、負の値として示した。

表 2-11 各条件におけるエネルギー創出量の試算結果

条件	単位	①	②	③
炉投入固形物量	t-DS/日	12	24	36
導入後焼却設備規模	t-wet/日	40	79	119
合計	MWh/年	-1,162	-2,402	-3,851
	GJ/年	-11,016	-22,782	-36,524

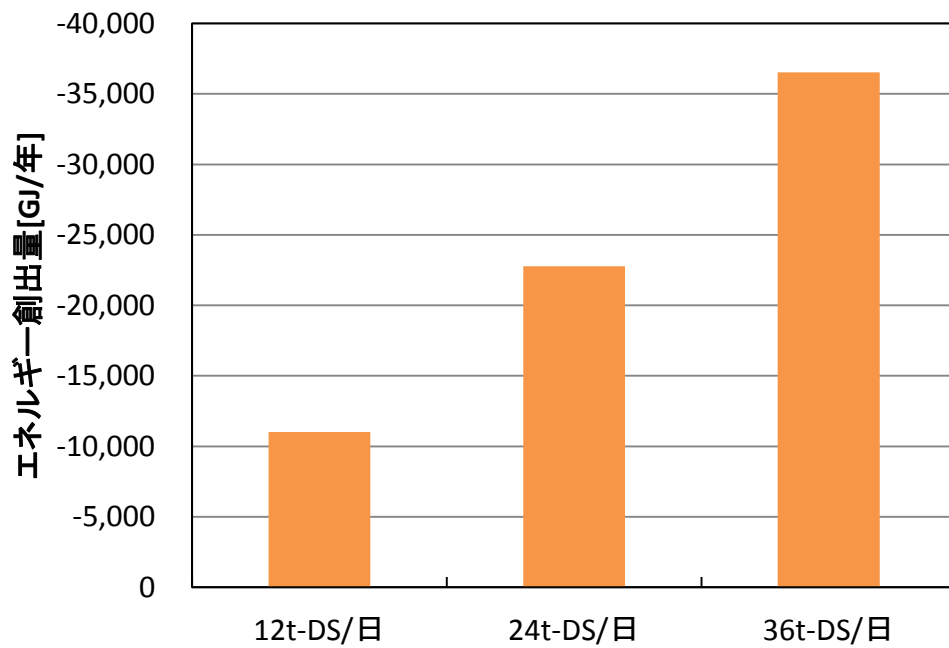


図 2-33 各条件におけるエネルギー創出量の比較

なお、エネルギー創出量とエネルギー消費量を足した値を正味のエネルギー創出量（創エネルギー量）として、各条件における算出結果を表 2-12、図 2-34 に示す。

表 2-12 各条件における正味のエネルギー創出量の試算結果

条件	単位	①	②	③
炉投入固形物量	t-DS/日	12	24	36
導入後焼却設備規模	t-wet/日	40	79	119
システム全体	GJ/年	-2,394	-6,806	-14,203

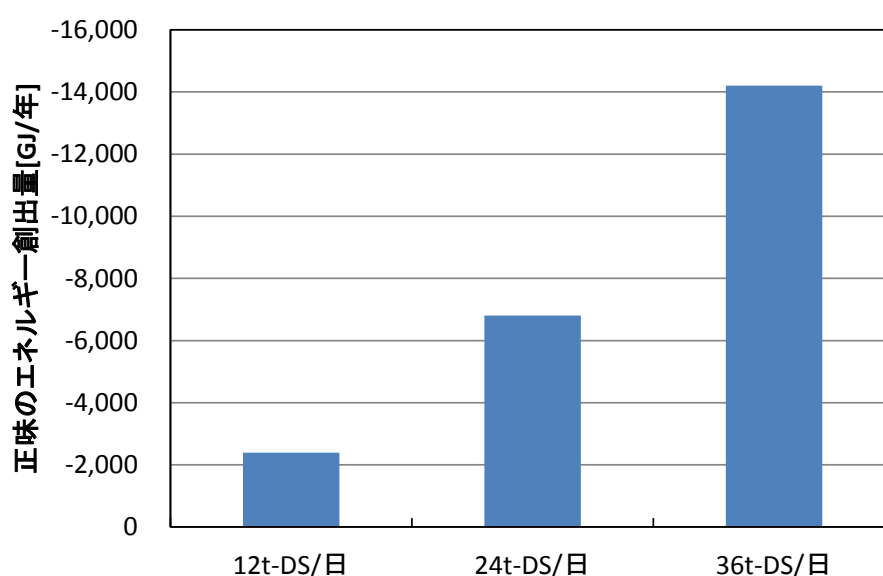


図 2-34 各条件における正味のエネルギー創出量の比較

（５） 環境性能

環境性能については下記項目に対して評価を行った結果、いずれも規制値未満であることを確認した。

1) 排ガス性状

排気筒における法的規制項目のほか維持管理基準項目（CO 濃度）について、各季節の 24 時間運転時にサンプリングし分析した際の結果（二回測定した平均値）を表 2-13 に示す。排ガス性状はすべての項目で規制値を下回っていることを確認した。

表 2-13 排ガス性状及び測定結果

項目	単位	規制値	3 月 (春季)	8・9 月 (夏季)	11 月 (秋季)	12 月 (冬季)
NOx 濃度	[ppm]	250	66	41	8.5	65
CO 濃度	[ppm]	100	<5	<5	12.0	11.5
SOx 濃度	[ppm]	—	<0.1	6.0	<0.1	<0.1
HCl 濃度	[mg/m ³ N]	700	<1	<1	<1	<1
ばいじん	[g/m ³ N]	—	0.008	0.009	0.002	0.001
DXN 類	[ng-TEQ/m ³ N]	—	0.000044	0.000042	0.00027	0.000044
CO 濃度	[ppm]	100	<5	<5	12.0	11.5

注)・NOx、SOx、HCl、CO 濃度は、乾き O₂ 濃度 12%換算値を示す。

- ・SOx 濃度は政令に定める地域ごとの K 値および大気汚染防止法施行規則に定められた補正された排出口高さによって規制値が決定される。実証施設における規制値は 165ppm である。
- ・ばいじんおよび DXN 類については、焼却炉の焼却能力により規制値が異なる。実証施設における規制値は、ばいじんが 0.15g/m³N、DXN 類が 5.00ng-TEQ/m³N である。

2) 灰性状

法的規制項目のほか維持管理基準項目（灰の熱灼減量）について、各季節に採取した焼却灰の性状および溶出試験の分析結果を表 2-14 に示す。焼却灰の熱灼減量は下水道法に定められた埋立基準とし、溶出試験は環境庁告示 13 号とした。すべての項目で規制値を下回っていることを確認した。

表 2-14 焼却灰の性状・溶出試験結果

項目	単位	規制値	3 月 (春季)	8・9 月 (夏季)	11 月 (秋季)	12 月 (冬季)
アルキル水銀化合物	[mg/L]	検出されないこと	不検出	不検出	不検出	不検出
水銀又はその化合物	[mg/L]	0.005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
カドミウム又はその化合物	[mg/L]	0.3	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
鉛又はその化合物	[mg/L]	0.3	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
六価クロム化合物	[mg/L]	1.5	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
ヒ素又はその化合物	[mg/L]	0.3	<0.01	0.01	0.01	<0.01
セレン又はその化合物	[mg/L]	0.3	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
ダイオキシン類	[ng-TEQ/g]	3	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
灰の熱灼減量	[%]	15	0.2	0.9	0.9	0.8

注)・1,4 ジオキサンについては本表に示す期間外（平成 27 年 3 月）に分析を実施し、<0.05mg/L であり、規制値である 0.5 mg/L を下回っていることを確認した。

3) 臭気

処理場内の敷地境界で測定した結果を表 2-15 に、測定地点を図 2-35 に示す。すべての地点において当該地域の規制値を満たしていることを確認した。

表 2-15 臭気条件および結果

項目	単位	基準値	結果		
			水処理棟南側	放流口	管理本館東側
アンモニア	[ppm]	<2	<0.1	0.2	0.2
メチルメルカプタン	[ppm]	<0.004	<0.0005	<0.0005	<0.0005
硫化水素	[ppm]	<0.06	<0.002	<0.002	<0.002
硫化メチル	[ppm]	<0.05	<0.001	<0.001	<0.001
二硫化メチル	[ppm]	<0.03	<0.0009	<0.0009	<0.0009
トリメチルアミン	[ppm]	<0.02	<0.0005	<0.0005	<0.0005
アセトアルデヒド	[ppm]	<0.1	0.009	0.007	0.011
プロピオンアルデヒド	[ppm]	<0.1	<0.005	<0.005	<0.005
ノルマルブチルアルデヒド	[ppm]	<0.03	<0.001	<0.001	<0.001
イソブチルアルデヒド	[ppm]	<0.07	<0.001	<0.001	<0.001
ノルマルバレルアルデヒド	[ppm]	<0.02	<0.001	<0.001	<0.001
イソバレルアルデヒド	[ppm]	<0.006	<0.001	<0.001	<0.001
イソブタノール	[ppm]	<4	<0.05	<0.05	<0.05
酢酸エチル	[ppm]	<7	<0.1	<0.1	<0.1
メチルイソブチルケトン	[ppm]	<3	<0.1	<0.1	<0.1
トルエン	[ppm]	<30	<1	<1	<1
スチレン	[ppm]	<0.8	<0.04	<0.04	<0.04
キシレン	[ppm]	<2	<0.1	<0.1	<0.1
プロピオン酸	[ppm]	<0.07	<0.003	<0.003	<0.003
ノルマル酪酸	[ppm]	<0.002	<0.0005	<0.0005	<0.0005
ノルマル吉草酸	[ppm]	<0.002	<0.0005	<0.0005	<0.0005
イソ吉草酸	[ppm]	<0.004	<0.0005	<0.0005	<0.0005

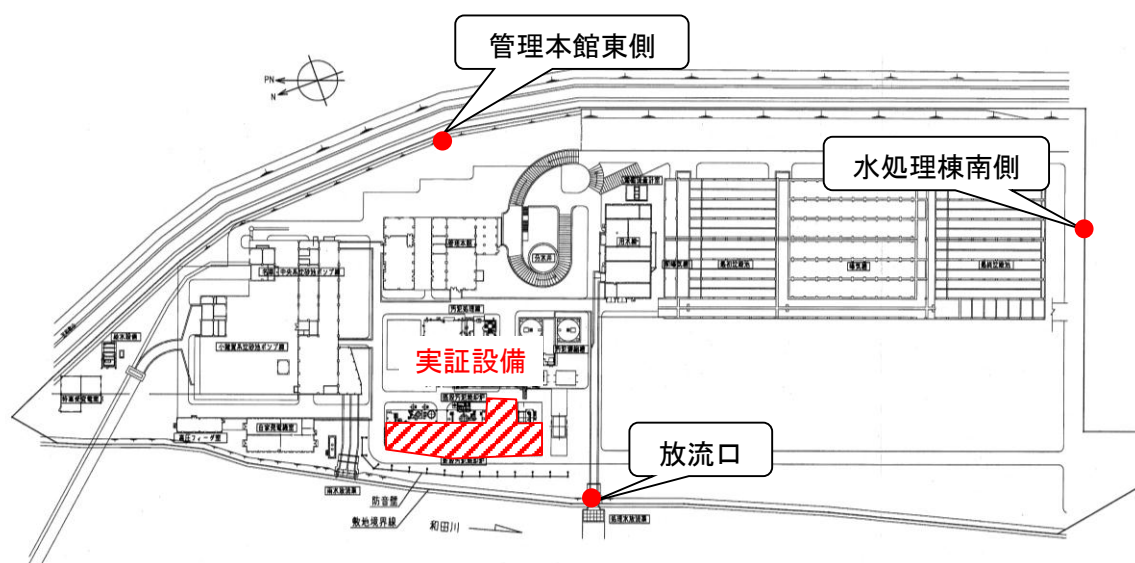


図 2-35 臭気測定地点

4) 騷音

処理場内の敷地境界 12 か所で各時間帯にて測定した結果を表 2-16 に、測定地点を図 2-36 に示す。すべての地点において当該地域の規制値を満たしていることを確認した。

表 2-16 騒音条件および結果

項目	単位	時間帯	条件	結果
騒音	[dB(A)]	6:00～8:00	60 以下	41～54
		8:00～20:00	65 以下	47～59
		20:00～22:00	60 以下	43～55
		22:00～6:00	55 以下	44～55

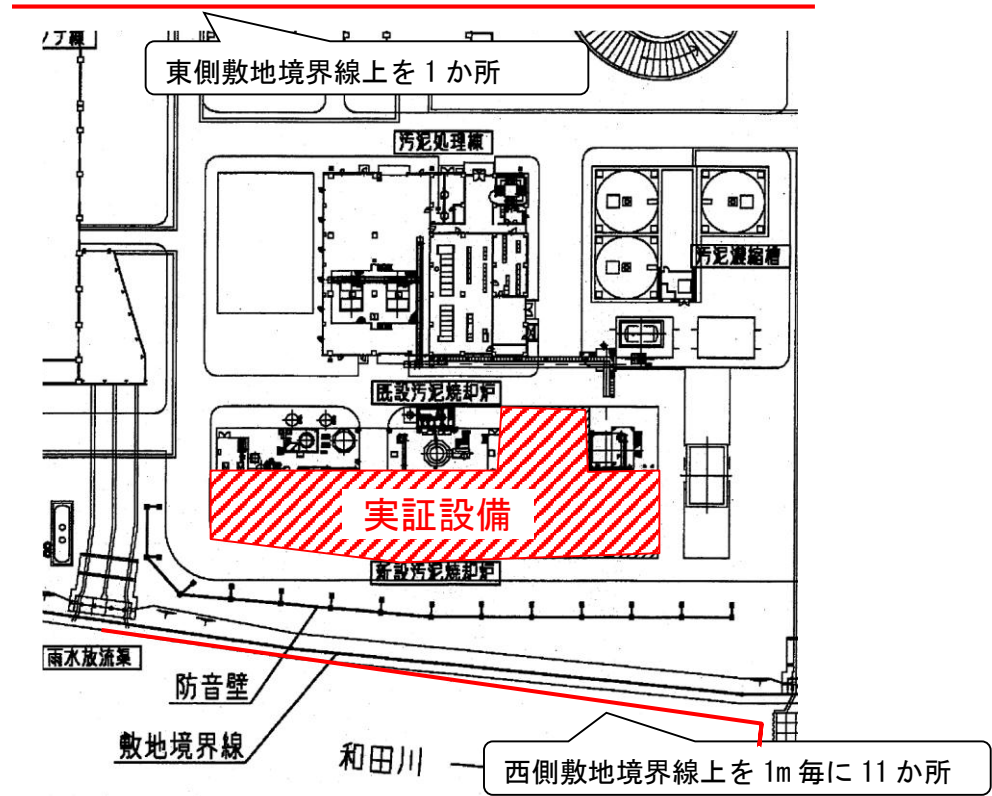


図 2-36 騒音測定地点

第3章 導入検討

第1節 導入検討手法

§14 導入検討手順

本システム技術の導入の検討にあたっては、下水道施設及び取り巻く地域について現況及び課題等を把握し、導入効果の検討を行い、適切な導入範囲及び事業形態について判断する。

【解 説】

本システム技術の導入の検討にあたっては、導入の目的を明確にした後、図3-1に示す検討フローにしたがって、必要な情報を収集・整理し、導入効果の概略試算を行った上で、導入の是非を判断する。

(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・整理した上で、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、当該下水処理場の新設、更新、増設時を想定し、本技術を導入した場合の効果について、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、コスト縮減、温室効果ガス排出量・エネルギー消費量削減、エネルギー創出量の効果を表す。

(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、本技術の導入に係る意思決定を行い、計画・設計（第4章参照）に移る。

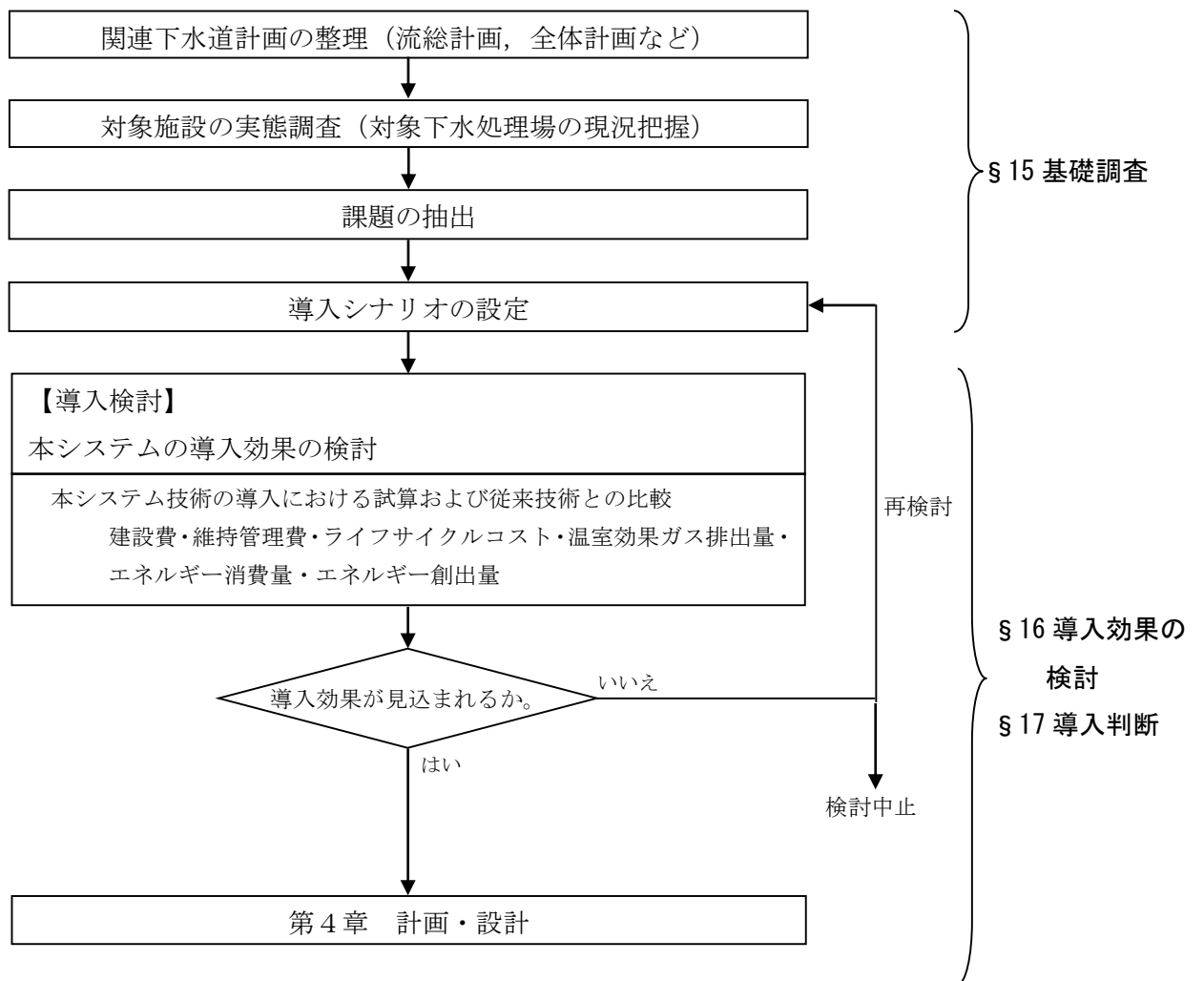


図 3-1 導入検討フロー

§ 15 基礎調査

基礎調査では、下水道施設について関連計画ならびに計画年次にて想定される状況などを把握する。また、本技術の導入効果の検討に必要な既存施設の運転データを収集・整理し、運転状況を把握した上で、本技術導入に関する課題を抽出する。

【解 説】

本技術の導入効果の検討に先立ち、下水道施設について関連計画ならびに計画年次にて想定される状況などを把握する。また、本技術の導入効果の検討に必要な既存施設の運転データを収集・整理し、運転状況を把握した上で、本技術導入に関する課題を抽出する。

(1) 関連下水道計画の整理

対象とする下水処理場に係る下水道計画などについて把握する。ここでは、当該下水処理場に係る上位計画、各種基本計画およびその他の関連計画について確認する。

- ・上位計画：流総計画、都道府県構想など
- ・基本計画：基本構想、全体計画、事業計画など
- ・その他関連計画：長寿命化計画、耐震計画、バイオマス利活用関連の計画など

(2) 対象施設の実態調査

本技術の導入効果の検討に先立ち、当該下水処理場の各種情報を把握する。実態調査において把握すべき項目、手段、目的を表 3-1 に示す。

なお、管理日報等（維持管理年報、運転管理日報、月報等）については、少なくとも1年分の年間データが必要で、最低でも4回/年（四季データ）、可能であれば1回/月の調査が必要である。

表 3-1 実態調査項目

調査項目	手段	目的
下水処理場の基本諸元・条件 (処理規模、周辺環境など) 既存施設・設備の設置ならびに整備状況 既存監視システムの設置状況	計画資料等	・新設、更新、増設計画の把握 ・導入シナリオの検討 ・配置検討
発生汚泥および濃縮汚泥の種類、量および性状	管理日報等	・設備規模の算定
脱水汚泥の種類(混合生汚泥、消化汚泥)、 量および性状	管理日報等	・設備規模の算定 ・低含水率化設備の導入検討
既存ユーティリティの種類および利用可能量	管理日報等	・低含水率化設備の導入検討 ・エネルギー回収設備の導入検討 ・エネルギー変換設備の導入検討
処理水の種類および水質、温度	管理日報等	・エネルギー変換設備の導入検討
水処理および汚泥処理施設の運転管理状況	管理日報等	・既存設備の性能把握 ・導入効果の検討に利用 (稼働率・負荷率)
焼却灰の処分および有効利用状況	自治体資料等	・エネルギー回収設備の導入検討
その他燃料など(し渣・沈砂、乾燥汚泥、 木質バイオマスなど)の受入元、 種類、量および性状	計画資料 管理日報等	・基本計算に利用(物質・熱収支) ・エネルギー回収設備の導入検討 ・エネルギー変換設備の導入検討
環境アセスメント、各自治体の公害防止条例、 近隣地域との各種協定等	自治体資料等	・エネルギー回収設備の導入検討

(3) 課題の抽出

上記(1)、(2)の情報を収集・整理した上で、当該下水処理場における本システム技術導入の課題を抽出する。§10に記載の適用条件が満足できない場合の課題を抽出し、本システム技術を導入する意義・目的を明確にした上で、導入効果の検討に移る。

(4) 導入シナリオの設定

以上の(1)～(3)の内容を考慮し、本システムの設備規模、システムフロー、計画年次などを設定する。

§ 16 導入効果の検討

導入効果は、コスト縮減効果、温室効果ガス排出量削減効果、エネルギー消費量削減効果および創出量を、従来技術と比較して算定する。また段階的導入を行う場合は、その効果についても算定する。

【解 説】

(1) 導入効果検討の考え方

当該下水処理場に本システム技術の導入による建設や維持管理に係るコスト、温室効果ガス排出量、エネルギー消費量を算出し、従来技術と定量的に比較を行い、その縮減及び削減効果を確認することで、本システム技術の導入効果を検討する。また、発電によるエネルギー創出量も算出し、その効果を確認する。

(2) 導入効果の検討項目

本技術の検討項目は、コスト縮減効果、温室効果ガス排出量削減効果、エネルギー消費量削減効果およびエネルギー創出量とする。なお、算出例は第3章 第2節 導入効果の検討例に記載する。

(3) 検討手順

導入検討として、汚泥処理設備の計画汚泥量に関する固形物収支、ならびに脱水汚泥含水率の平均値から、検討対象とする焼却設備の焼却負荷である汚泥焼却量および脱水汚泥性状を決定する。検討手順フローを図 3-2 に示す。

対象とする汚泥性状の設定については、基礎調査を基に年間変動を考慮して、施設計画の基本となる汚泥性状（汚泥濃度、強熱減量）の代表値を設定する。

次に既存の脱水汚泥性状から低含水率化技術の予想性能値である脱水汚泥含水率を設定する。予想性能値は低含水率化技術の一般性能値から設定する。低含水率化技術の一般性能として、従来技術と比較して7～10 ポイントの範囲で低減が見込める。そのため、もっとも低い数値として7 ポイントの低減が見込めるものと仮定して、含水率の設定を行う。ただし、含水率の下限値は68%とする。低含水率化技術の一般性能については資料編 1.3 低含水率化技術実証試験結果 P. 133, 134 を参照されたい。

これらの汚泥性状および脱水汚泥含水率をもとに、基礎調査にて情報収集した当該下水処理場の汚泥量から物質収支の試算を行い、エネルギー回収設備の設備規模を設定する。

次に本技術を導入する効果を、従来技術との比較により検討する。ここでは、表 3-2、表 3-3 に示した算定式（費用関数）を用いる簡易な方法により、本技術の導入コスト、温室効果ガス排出量、エネルギー消費量、エネルギー創出量を概算し、従来技術を用いる場合と比較することで、本技術の導入効果（各評価指標の縮減及び削減効果）を検証する。算定式の導出方法に

については、資料編 2.簡易算定式を参照されたい。なお、従来技術については、実績や既存の設計指針に準じて算出する。

また本試算において、建設費は本システムを一括導入する場合の条件であることや、稼働率 90%、負荷率 90%の条件での算定式であること、加えて 12～36t-DS/日の範囲であることから、段階導入や基礎調査の結果から実態と異なる場合は算定結果が異なるため、検討にあたっては留意が必要である。

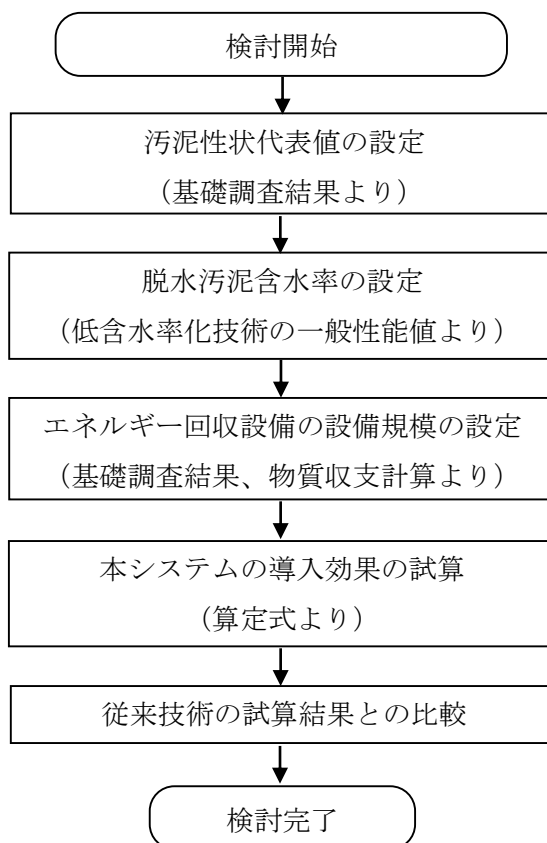


図 3-2 検討手順フロー

表 3-2 本技術導入時の建設費算定式

項目	単位	算出式	備考
低含水率化（機械）	百万円/年	$Y=1.06 \times N+14.11$	電気含む
エネルギー回収（土木）	百万円/年	$Y=0.071 \times N+5.19$	
エネルギー回収（機械）	百万円/年	$Y=4.43 \times N+161.4$	
エネルギー回収（電気）	百万円/年	$Y=1.33 \times N+20.9$	変換設備分含む
エネルギー変換（機械）	百万円/年	$Y=0.86 \times N+1.06$	小型蒸気発電機 +バイナリー発電機

※N：エネルギー回収設備規模（t-DS/日）、Y：建設費年価（百万円/年）

※稼働率 90%・負荷率 90%の条件の算定式、適用範囲は 12～36t-DS/日

表 3-3 本技術導入時のユーティリティ消費量算定式

項目	単位	算出式	備考
電力（低含水率化）	MWh/年	$Y=20.39 \times N-18.17$	
電力（エネルギー回収）	MWh/年	$Y=39.39 \times N+222.84$	
電力（エネルギー変換）	MWh/年	$Y=112.07 \times N-217.98$	発電電力分
補助燃料（エネルギー回収）	kL/年	$Y=0.098 \times N$	
薬品（高分子）	t/年	$Y=2.07 \times N$	薬注率 0.7%-TS
薬品（無機）	t/年	$Y=29.57 \times N$	薬注率 10%-TS
薬品（苛性ソーダ）	t/年	$Y=42.98 \times N$	濃度 24%
灰発生量	t/年	$Y=75.56 \times N$	

※N：エネルギー回収設備規模（t-DS/日）、Y：年間消費量または発生量（百万円/年）

※稼働率 90%・負荷率 90%の条件の算定式、適用範囲は 12～36t-DS/日

1) コスト縮減効果の算定

① 建設費の算定

本技術の建設費を算定し、従来技術の建設費と比較することによって、本技術の導入による建設費の縮減効果を検討する。

表 3-2 に示す本技術の建設費の算定式は、施設規模に対して機械設備、電気設備の新設に係る設備費および工事費を試算した結果を整理した。土木建設設備については整地済の既存敷地に建設され、既存建屋（ブロワ室、電気室、制御室等）を利用するものとし、機械基礎、防液堤等の増築工事費を試算した結果を整理したものである（§ 12 参照）。

② 維持管理費の算定

本技術の維持管理費を算定し、従来技術の維持管理費と比較することによって、本技術の導入による維持管理費の縮減効果を検討する。

表 3-3 に示す本技術のユーティリティ消費量の算定式は、3 通りの施設規模に対して運転に用いるユーティリティ（電気、補助燃料、薬品）の使用量、灰処分量と点検補修費を試算した結果を整理したものであるため、各単価を乗じて算出する（§ 12 参照）。なお、本試算においては連続運転を想定しており、立上げ時に必要なユーティリティ量は年間一回分しか考慮していないため、立上げ頻度が多くなる場合は留意する必要がある。

電力については、施設を稼働させるための消費電力を考慮することとし、照明などの建築設備については除外した。薬品については、低含水率化技術で使用する高分子凝集剤および無機凝集剤（ポリ硫酸第二鉄）、エネルギー回収設備の排ガス処理で使用する苛性ソーダを考慮した。なお、ボイラー補給水として用いる上水およびボイラー薬品については、維持管理費に占める割合が非常に小さい（1%未満）ため、本試算においては省略した。

灰処分費については汚泥が完全燃焼している（灰中の熱灼減量 0%）との仮定の下で容量計算より求められた発生量に対し、湿灰として排出する際の含水率（実証結果より 30%と設定）を考慮した量を算出した。

点検補修費については各設備の耐用年数期間の年間平均値を計上することとした。なお、エネルギー回収・変換設備の点検補修費には廃熱ボイラー、発電機にかかる法定点検ならびに検査費用も計上した。

人件費は、脱水・焼却設備の運転員のみ計上し、処理場の管理要員等は含まないこととした。

また PFI 事業など、事業形態が異なる場合の維持管理費については本ガイドラインの対象外としているため、別途検討が必要である。

③ 解体・廃棄費の算定

解体・廃棄費は建設費の 10%を計上する（内訳は § 12 参照）。

④ ライフサイクルコストの算定

建設費、維持管理費、解体・廃棄費の合算から本技術のライフサイクルコストを算定し、従来技術のライフサイクルコストと比較することによって、本技術の導入によるライフサイクルコストの削減効果を検討する（§ 12 参照）。

2) 温室効果ガス排出量削減効果の算定

本技術の温室効果ガス排出量と従来技術の温室効果ガス排出量を比較することによって、本技術の導入による温室効果ガス排出量の削減効果を算定する。

本技術の温室効果ガス排出量の算出は、表 3-3 に示す算定式から算出される本技術のユーティリティ消費量に各排出係数を乗じて算出する。試算範囲は各ユーティリティ（電気、補助燃料、水道、薬品）、供用段階の焼却設備排ガスからの N_2O 排出量、建設段階および解体・廃棄時とし、 CH_4 については含まないものとした（§ 12 参照）。

なお、施設の建設段階および解体・撤去時の温室効果ガス排出量については、「下水道における LCA 適用の考え方」（国土交通省 国土技術政策総合研究所）⁹⁾ より、終末処理場における環境負荷量（LC-CO₂）の算定事例から、建設段階 19.3%、供用段階 80.2%、解体・撤去時 0.5%の比率で換算し算出した。

3) エネルギー消費量削減効果の算定

本技術のエネルギー消費量を算定し、従来技術のエネルギー消費量を比較することによって、本技術の導入によるエネルギー消費量の削減効果を検討する。

本技術のエネルギー消費量は、表 3-3 に示すユーティリティ消費量算定式から算出される電気、補助燃料の使用量に各エネルギー消費量原単位を乗じて算出する（§ 12 参照）。

4) エネルギー創出量の算定

エネルギー創出量は発電量である。エネルギー創出量を算出することで、本技術導入による効果を検討する。

§ 17 導入判断

本技術の導入可否は、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することが望ましい。

【解 説】

§ 16 において定量的な検討結果から総合的に判断して導入効果が見込まれる場合には、本技術の導入に係る意思決定を行い、本システムの計画・設計に移る。

また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要因を明らかにする。本システムの導入効果を小さくする要因としては、脱水汚泥含水率、施設規模、稼働率および負荷率があげられる。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が、見込まれない場合には導入検討を中止する。導入判断のフローを図 3-3 に示す。

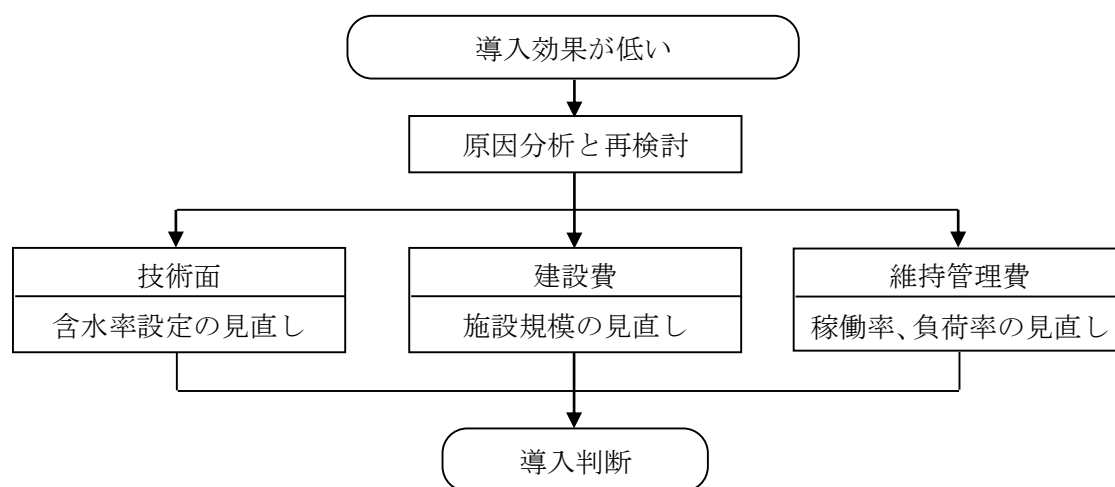


図 3-3 導入判断フロー

第2節 導入効果の検討例

(1) 試算条件

導入効果の検討のうち、ここでは § 11 に示した導入効果の大きい、すべての技術が一括導入可能な導入シナリオの事例（シナリオA）と、実際の導入例となる可能性の高い、一期目に低含水率化設備、二期目にエネルギー回収・変換設備を段階導入する事例（シナリオB）を具体例としてその検討方法を解説する。

なお、本節で行った各種試算については資料編 2.1 従来技術、資料編 2.2 革新的技術及び資料編 2.3 段階導入時の試算にその詳細を記載した。なお部分導入シナリオについては、別途 24t-DS/日の場合の試算を行っているため、詳細は資料編 2.4 部分導入時の試算を参照されたい。

1) 設定条件

① 検討対象技術

本システム技術は、下水汚泥を脱水し焼却処理する技術であるため、検討対象とする従来技術は、従来の一液調質型脱水機に、下水汚泥焼却炉の過半数を占めており設計指針にある流動炉とした。それぞれの概略フローを図 3-4、図 3-5 に示す。検討対象範囲は、分離濃縮を行った後の混合生汚泥を処理する汚泥脱水設備および焼却設備を範囲とした。

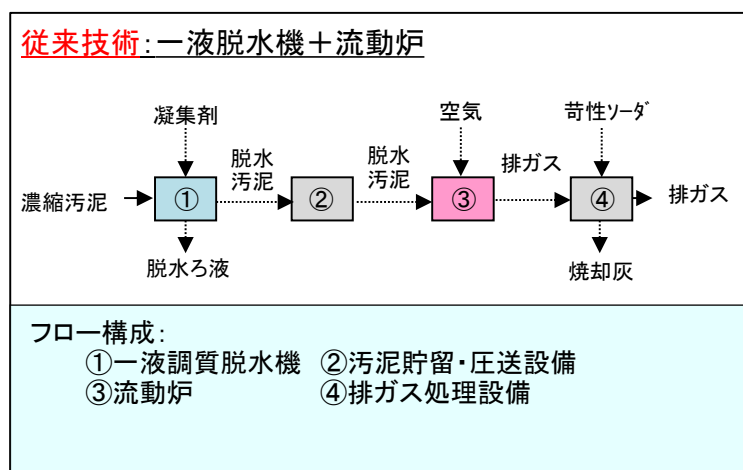


図 3-4 検討技術の概略フロー（従来技術）

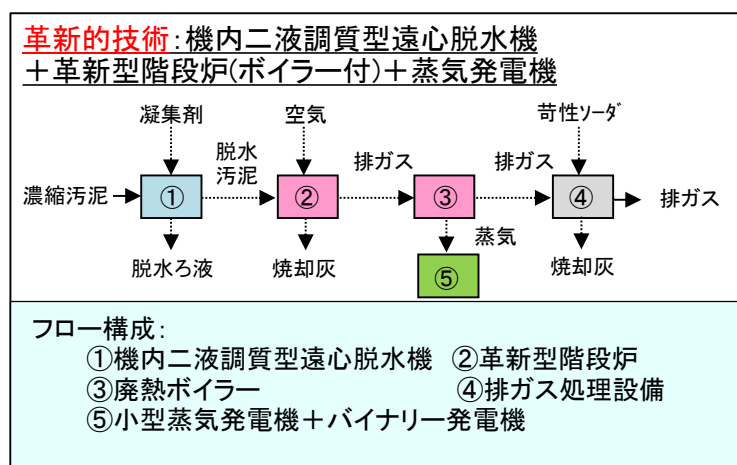


図 3-5 検討技術の概略フロー（革新的技術）

② 下水処理場の設定条件

嫌気性消化を導入していない混合生汚泥を対象とし、従来技術で汚泥焼却量 100 t-wet/日 (固形物量 24t-DS/日) に相当する仮想の汚泥処理施設において、革新的技術の導入を想定した検討を行うことにより、実証技術の設置及び運転に係るコスト構造の把握及びコスト削減方策の検討を行った。

汚泥脱水、焼却設備を有する仮想下水処理場の設定条件を表 3-4 に示す。また、固形物収支については図 3-6 のように設定した。汚泥性状については、脱水汚泥含水率、固形物中可燃分率については「下水道統計（平成 22 年度版）」（公益社団法人日本下水道協会）⁴⁾より、可燃分元素組成については本実証研究の実証フィールド（2 箇所）における組成の平均値より設定し、革新的技術については無機凝集剤（ポリ鉄）の添加による S の増加分を見込んでいる。Fe や S の増加分については資料編 1.5 その他の実証研究結果 P. 152, 153 を参照されたい。また処理水温度については、全国 15 自治体の維持管理年報を基に設定した。仮想汚泥脱水および焼却設備の設定条件を表 3-5 に示す。

表 3-4 仮想下水処理場の設定条件

項目	設定条件
流入下水水量および水質	125,000 m ³ /日、SS : 200 mg/L
水処理施設	最初沈殿池＋反応タンク＋最終沈殿池
汚泥処理施設	重力濃縮（生汚泥）、機械濃縮（余剰汚泥）
処理汚泥性状	混合生汚泥、濃度：約 3.3%
汚泥処理設備運転時間	24 時間/日
稼働率（運転日数）	90%（328.5 日/年）
負荷率	90%

第2節 導入効果の検討例

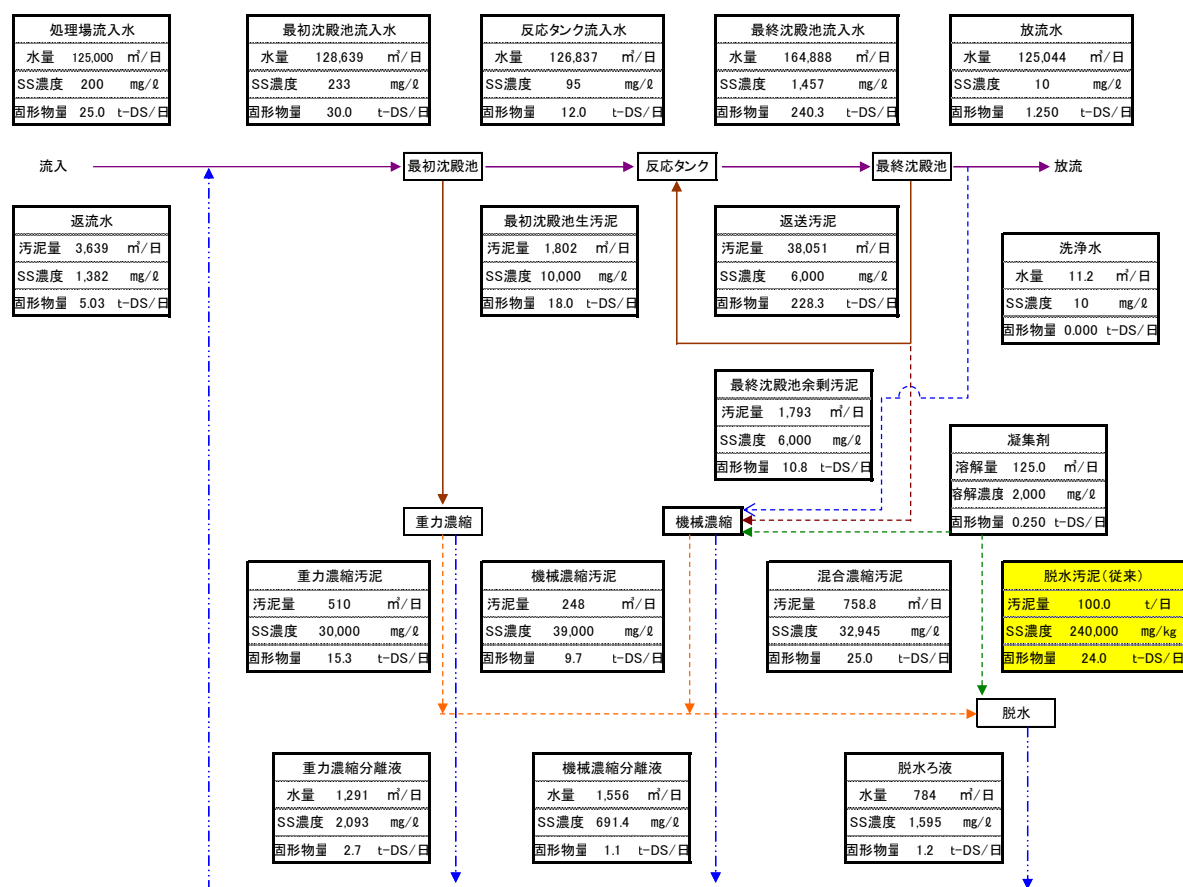


図 3-6 仮想下水処理場の固形物収支

表 3-5 仮想汚泥処理設備の設定条件

項目			従来技術	革新的技術
処理汚泥中固形物量			24 t-DS/日	
脱水汚泥含水率			76%	69%
脱水汚泥処理量			100.0t-wet/日	79.0t-wet/日
汚泥性状	固形物中可燃分率		84.0%-DS	82.3%-DS
	固形物中灰分率		16.0%-DS	17.7%-DS
	発熱量	高位（DS 基準）	19,691kJ/kg-DS	19,306kJ/kg-DS
		低位（wet 基準）	2,519kJ/kg-wet	3,836kJ/kg-wet
	可燃分 元素 組成	炭素（C）	50.1%	49.9%
		水素（H）	7.37%	7.34%
		窒素（N）	6.57%	6.54%
		酸素（O）	35.0%	34.8%
		硫黄（S）	0.94%	1.40%
処理水温度			21℃（夏季+5℃、冬季-5℃）	

③稼働率・負荷率の設定

稼働率は焼却設備の定期整備期間（約1か月）以外は連続運転を行うものとして90%として設定した。

負荷率は汚泥性状・処理量の変動を見込んで90%と設定した。これは日変動と設備の余裕を考慮し設定した。なお、本技術においては脱水設備、焼却設備、発電設備の同時稼働を基本とするため、すべての技術に対し本負荷率を適用した。

稼働率、負荷率は表3-4に示す。

④段階導入時（シナリオB）における試算条件の設定

段階的導入（一期目に低含水率化設備を導入し、二期目にエネルギー回収・変換設備を導入）する場合に、一期目の設備稼働から二期目の設備が稼働するまでの期間については5年と設定する。

2) 検討方法

シナリオAの試算は、エネルギー回収設備の施設規模から表3-2から建設費、表3-3から必要なユーティリティ使用量等を算出し、維持管理費、温室効果ガス排出量、エネルギー消費量、エネルギー創出量を概算する。

シナリオBの試算は、段階導入となるため、二期目に行われるエネルギー回収設備の工事費にかかる分がコスト増となると予想される。本コストは段階導入時の状況により条件が変わることから、本試算においては条件を仮定し、脱水機以降の脱水汚泥搬送設備改造や仮設設備等のほか、工事における管理費等を考慮して算出した。また、維持管理費、温室効果ガス排出量、エネルギー消費量、エネルギー創出量については、二期目の導入完了後の評価を行うため、シナリオAと同じとした。

(2) 導入効果の検討結果

導入効果についてすべての技術が一括導入可能なシナリオAと、実際の導入例となる可能性の高い一期目に低含水率化設備、二期目にエネルギー回収・変換設備を段階導入するシナリオBを、具体例として従来技術である一液調質脱水機＋気泡式流動炉と比較した検討結果を示す。コスト以外の項目については、段階導入の事例においては二期目の導入が完了した後の試算結果を示す。

1) コスト

各種コストの試算結果のまとめを表3-6に示す。シナリオAについて、従来技術と比較した場合の建設費、維持管理費、ライフサイクルコストはそれぞれ28%、50%、37%の縮減効果が得られた。シナリオBについて、それぞれ25%、50%、35%の縮減効果が得られた。二つのシナリオを比較すれば、一括導入可能なシナリオAの方がコストは低くなり、その差は建設

費の差分による。シナリオ A の場合のライフサイクルコストの縮減効果を図 3-7 に示す。

表 3-6 コスト試算結果

項目	従来技術	シナリオ A (一括導入)		シナリオ B (段階導入)	
		本技術	縮減率	本技術	縮減率
建設費 (百万円/年)	547	396	28%	411	25%
維持管理費 (百万円/年)	426	213	50%	213	50%
解体・廃棄費 (百万円/年)	55	40	27%	41	25%
ライフサイクルコスト (百万円/年)	1,028	649	37%	665	35%

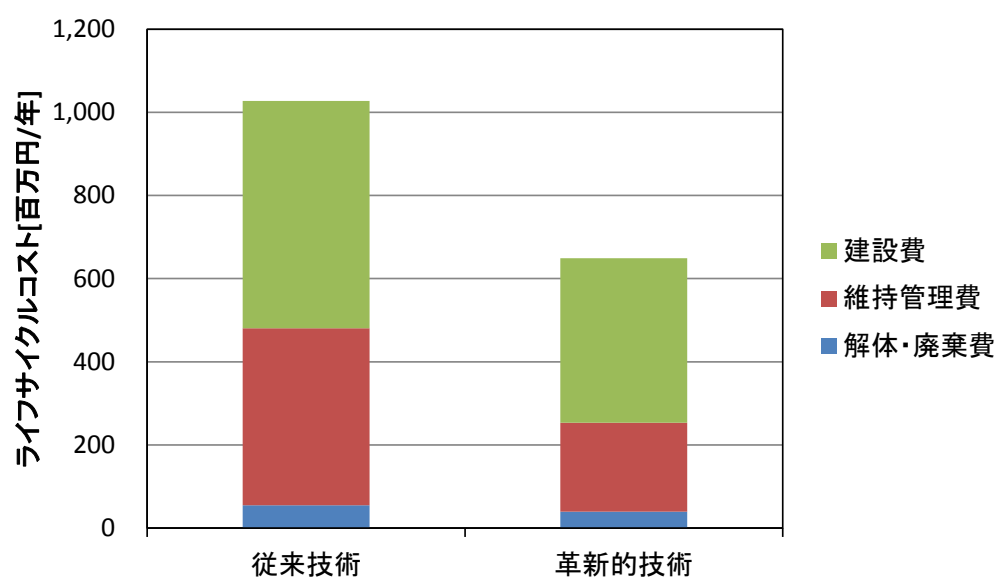


図 3-7 革新的技術のライフサイクルコストの縮減効果(シナリオ A)

2) 温室効果ガス排出量

温室効果ガス排出量の試算結果のまとめを表 3-7 に示す。従来技術と比較した場合、本システムのすべての技術が導入できた場合 88%の削減効果が得られる試算となった。また温室効果ガス排出量の削減効果を図 3-8 に示す。

表 3-7 温室効果ガス排出量試算結果

項目	従来技術	本技術	削減率
温室効果ガス排出量 (t-CO ₂ /年)	10,350	1,251	88%

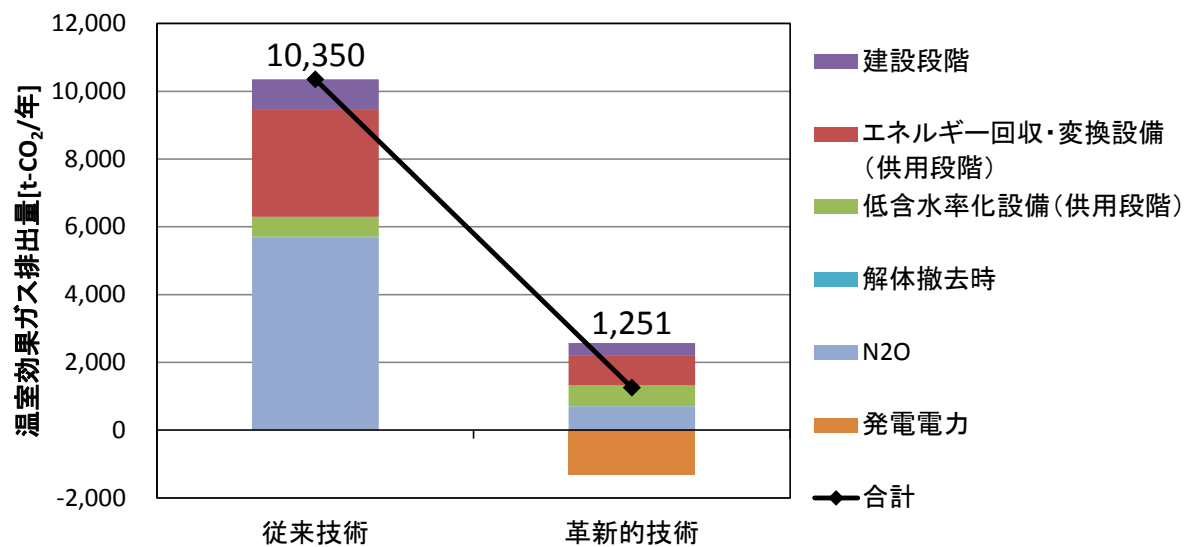


図 3-8 革新的技術の温室効果ガス排出の削減効果

3) エネルギー消費量、エネルギー創出量

エネルギー消費量、エネルギー創出量および正味のエネルギー創出量の試算結果のまとめを表 3-8 に示す。従来技術と比較した場合、本システムのすべての技術が導入できた場合 70% の削減効果が得られる試算となった。またエネルギー消費量の削減効果を図 3-9 に示す。

表 3-8 エネルギー消費量・創出量試算結果

項目	従来技術	本技術	削減率
エネルギー消費量 (GJ/年)	53,414	15,975	70%
エネルギー創出量 (GJ/年)	0	-22,782	-
正味のエネルギー創出量 (GJ/年)	-	-6,806	-

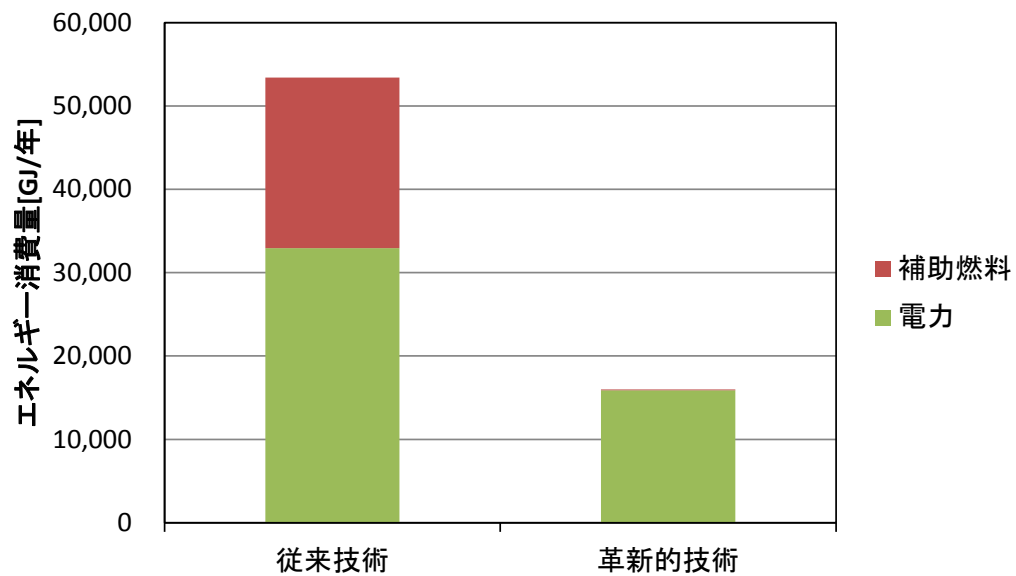


図 3-9 革新的技術のエネルギー消費量の削減効果

第4章 計画・設計

第1節 導入計画

§ 18 導入計画

本技術の導入に関する計画は、以下の手順で実施する

- (1) 基本事項の検討
- (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】

本技術の導入計画の手順を図4-1に示す。導入計画にあたっては、詳細調査から開始し、施設計画の検討、導入効果の検証、導入計画の策定の手順で行う。

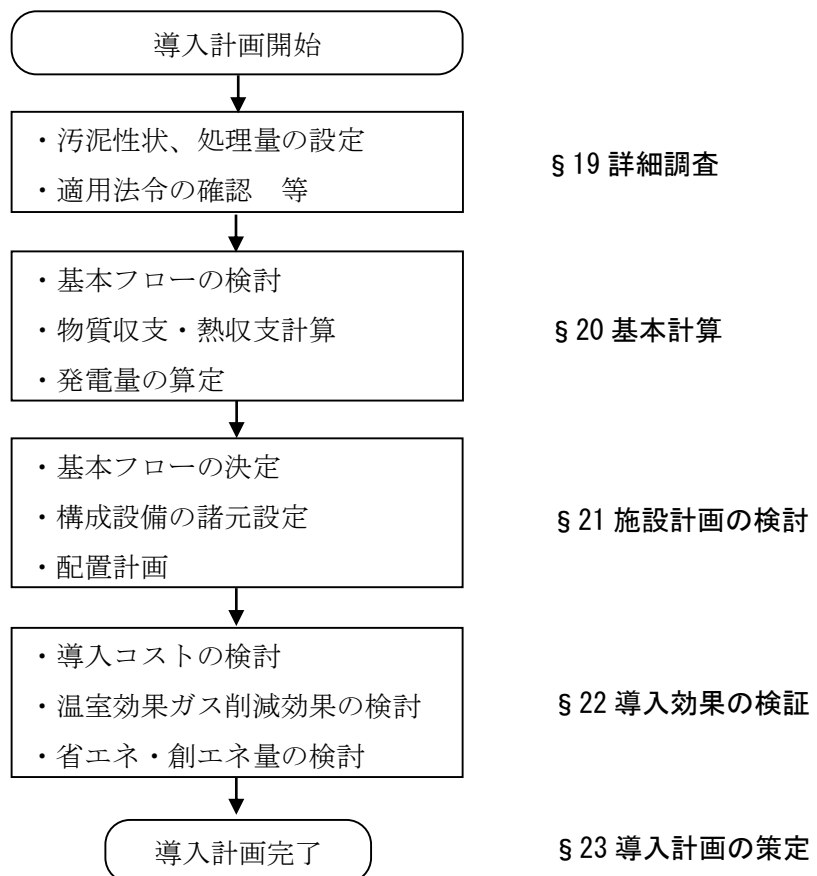


図4-1 本技術の導入設計手順

§ 19 詳細調査

導入計画の検討に先立ち、基礎調査情報に基づき詳細調査を行い、以下の基本条件の設定を行う。

- (1) 濃縮汚泥性状の設定
- (2) 脱水汚泥性状の設定
- (3) 処理量の設定
- (4) 適用法令の確認
- (5) その他の条件設定

【解 説】

導入検討時に § 15 にて基礎調査を実施しているが、より詳細な調査を行い § 20 で行う計算条件を設定する。調査項目を表 4-1 に示す。これらの調査結果をもとに、以下の基本条件の設定を行う。

表 4-1 詳細調査項目

調査項目	手段	目的
下水処理場の将来計画 (流入汚水量、汚泥処理量)	計画資料等	処理量の設定 → (3)
発生汚泥および濃縮汚泥の種類、量および性状	管理日報等	汚泥性状の設定 → (1) 処理量の設定 → (3)
脱水汚泥の種類(混合生汚泥、消化汚泥)、 量および性状	管理日報等	脱水汚泥性状の設定 → (2) 処理量の設定 → (3)
水処理および汚泥処理施設の運転管理状況	管理日報等	処理量の設定(稼働率・負荷率) → (3)
その他燃料など(し渣・沈砂、乾燥汚泥、 木質バイオマスなど)の受入元、 種類、量および性状	計画資料 管理日報等	その他の条件設定 → (5)
環境アセスメント、各自治体の公害防止条例、 近隣地域との各種協定等	自治体資料等	適用法令 → (4)

(1) 濃縮汚泥性状の設定

詳細調査を基に年間変動を考慮して、表 4-2 に示す施設計画の基本となる濃縮汚泥性状の代表値を設定する。

脱水性能に大きく影響する汚泥性状因子は、汚泥濃度、強熱減量、および繊維状物であり、これらの脱水性能に影響を及ぼす汚泥性状を設定する。

また発生汚泥性状には季節変動がある。変動要素は、汚泥濃度、強熱減量など脱水機の性能に影響を与えるものもあるため、一年を通じた季節変動を事前に把握することが好ましい。

表 4-2 汚泥性状整理表

項目	内容	備考
汚泥種類	混合生汚泥等	低含水率化技術性能（含水率代表値）の推定に使用
濃縮汚泥濃度（％）	代表値	
濃縮汚泥強熱減量（％）	代表値	
繊維状物（％）	代表値	100 メッシュとする

(2) 脱水汚泥性状の設定

前項で設定された汚泥性状から低含水率化技術の予想性能値である脱水汚泥含水率を設定する。予想性能値は実規模試験や遠沈試験といったラボテスト等によって設定したほうが、実態により近い設定となることから好ましいが、こうした試験が実施できない場合、低含水率化技術の一般性能値から設定する。低含水率化技術の一般性能として、従来技術と比較して 7～10 ポイントの範囲で低減が見込める。そのため、当該施設における従来型脱水機の含水率の平均値が把握できている場合、もっとも低い数値として 7 ポイントの低減が見込めるものと仮定して、含水率の設定を行う。ただし、含水率の下限値は、これまでの運転実績等から 68%とする（低含水率化技術の一般性能については資料編 1.3 低含水率化技術実証試験結果 P.133, 134 を参照）。設定した低含水率化設備の脱水汚泥含水率や、強熱減量、その他導入検討での基礎調査情報（§15）を基に表 4-3 に示す施設計画の基本となる脱水汚泥性状を設定する。性状範囲としては図 4-2 に示す P1～P6 の範囲とする。

表 4-3 脱水汚泥性状整理表

項目	内容		備考
脱水汚泥含水率（％）	変動幅 $X_{min} \sim X_{max}$		代表値 $X_s = (X_{min} + X_{max}) / 2$
脱水汚泥可燃分割合（％）	変動幅 $Y_{min} \sim Y_{max}$		代表値 $Y_s = (Y_{min} + Y_{max}) / 2$
可燃分組成（％-VS）	炭素	Z_c	分析データより
	水素	Z_H	
	窒素	Z_N	
	酸素	Z_o	
	硫黄	Z_s	
高位発熱量（MJ/kg-DS）	H_{HV}		試算式より算出※1
低位発熱量（MJ/kg-wet）	L_{HV}		試算式より算出※2

※1 : H_{HV} (MJ/kg-DS) = $4.186 \times \{ (58.3 \times Y_s) - 193 \}$

※2 : L_{HV} (MJ/kg-wet) = $(H_{HV} - (Z_H \times 9 \times Y_s) \times 2.5) \times (1 - X_s) - X_s \times 2.5$

「汚泥焼却炉の省エネルギー化に関する調査報告書」（建設省都市局下水道部・日本下水道事業団）⁵⁾より引用

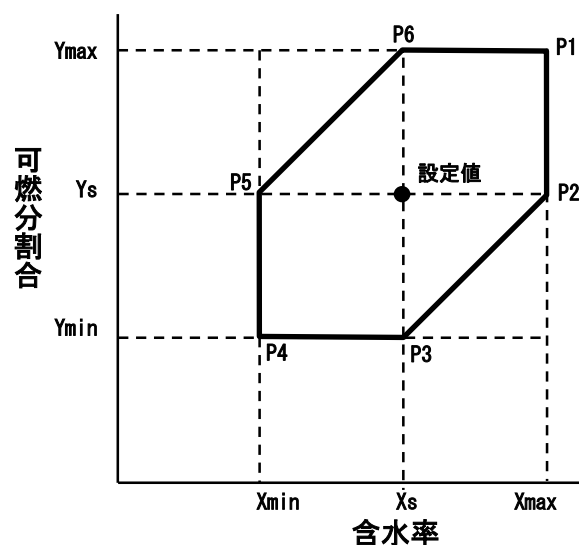


図 4-2 脱水污泥性状範囲

(3) 処理量の設定

詳細調査を基に再検証し、年間変動を考慮して、施設計画の基本となる処理汚泥量の代表値を設定する。導入施設での計画処理汚泥量は、計画1日最大汚水量と計画流入水質を用いて算出するが、汚泥処理施設の計画には実績値を考慮し、汚泥処理施設からの返流水による負荷も加味した量とする。また計画処理汚泥量を設定するには、将来的な流入水量の変化ばかりではなく、流入水質の変化等に起因して流入水量当たりの発生汚泥量の変化や、一年を通じた季節変動パターン特性を把握し、考慮する。

上記内容を考慮し、固形物収支計算により計画処理汚泥量を算出する。次に(1)で設定した低含水率化技術の想定含水率性能値より、計画脱水汚泥量を算出する。算出された処理量に対し、年間を通じた発生汚泥量の変動を考慮し、負荷率を設定する。また焼却設備は一年に一回定期整備期間を約一か月設けるため、稼働率の最大値を90%として設定する。

(4) 適用法令の確認

本システム技術導入に当たり、汚泥脱水設備および汚泥焼却設備設置時の適用法令（建築基準法、大気汚染防止法、ダイオキシン類対策特別措置法、騒音規制法、振動規制法）に加え、代表的な適用法令を下記に示す。

1) 消防法

焼却炉、ボイラーについては「炉・ボイラー設置届出」が必要である。

また従来の汚泥焼却設備設置時においても必要な、危険物（補助燃料、作動油等）を指定数量以上貯蔵または取扱う場合、「危険物設置許可申請（貯蔵所・取扱所）」を行う。なお指定数量未満および1/5以上の場合は「少量危険物の貯蔵取扱届出」を行う。

既に届出がなされている既存焼却設備を更新する場合や増設する場合などは、変更届出対象となるため、必要な手続きを行う。

2) 電気事業法

ボイラーおよび蒸気発電設備は自家用電気工作物に該当するため、導入にあたっては電気事業法の適用を受けることから、下記に示す届出が必要である。これらの届出は設置する発電設備の条件により範囲や内容が異なるため、電気事業法の適用について確認し、必要な手続きを行う。なお、詳細は資料編 4. 蒸気発電機設置時の適用法令を参照のこと。

※自家用電気工作物とは、電気事業法第38条において、「電気事業の用に供する電気工作物及び一般用電気工作物以外の電気工作物」と定義されており、具体的には次のものが該当する。

- ・電力会社等から600Vを超える電圧で受電して電気を使用する設備
- ・発電設備（小出力発電設備を除く）とその発電した電気を使用する設備

① 保安規程届出（変更届出）

自家用電気工作物の工事、維持及び運用に関する保安を確保するために定めたものである。下水処理場自身が自家用電気工作物に該当するため、既に届出されていることから、変更届出の対象となる。

② 電気主任技術者に関する届出（確認のみ）

自家用電気工作物の工事、維持及び運用に関する保安の監督をさせるための技術者を、主任技術者免状の交付を受けている人から選任するものである。下水処理場は自家用電気工作物に該当することから、既に届出されているため確認を行う。

③ ボイラー・タービン主任技術者に関する届出

自家用電気工作物のうちボイラーおよび蒸気発電設備に係る工事、維持及び運用に関する保安の監督をさせるための技術者を、主任技術者免状の交付を受けている者から選任するものである。主任技術者免状の交付を受けていない者であっても、必要な条件を満足していれば選任することができ、その条件は発電出力、廃熱ボイラーの蒸気圧力によって変わる。

④ 工事計画届

自家用電気工作物の設置又は変更の工事の計画について、認可を受けなければならない。

また届出のほか、指定検査機関に「使用前安全管理審査申請」や「溶接安全管理審査申請」

を申請し、これらの審査を受検することになる。

3) 電気供給規程

発電を行う場合、電気を購入している電気事業者への「系統連系申込」を行う。

(5) その他の条件設定

その他の条件として、各処理場の状況に応じて、必要な条件設定を行う。

1) 既存設備の状況

本システムの導入にあたっては、既存設備の更新や増設となる場合が多く、また関連する設備（砂ろ過設備等）も対象となる。そのため、既存設備の運転状況、撤去計画、将来計画などを確認し、配置計画や機器更新範囲などに反映させる。

2) 処理場外からのバイオマス（他処理場の脱水汚泥含む）受入条件

処理場外からのバイオマスを受け入れる場合の諸条件について下記に示す。

① バイオマス受入量および性状

1日当たりの受入量および性状を把握し、(2)、(3)に反映させる。

② 受入方法

外部受入方法や搬送・貯留、前処理の要否等の受入方法を明確にし、設備の設計に反映させる。

3) し渣・沈砂受入条件

階段炉はし渣・沈砂との混焼が可能である。場内または他の処理場から発生したし渣・沈砂を混焼する場合の諸条件について下記に示す。

① し渣・沈砂受入量および性状

1日当たりのし渣・沈砂受入量および性状を把握する。その上で、混焼可能な比率を確認し、(1)に反映させる。

② し渣・沈砂受入方法

場内で発生するし渣・沈砂の場合、脱水処理まで完了したものであるかどうかで、受入設備のシステム、容量等が変わるため、これを明確化して設備の設計に反映させる。

同様に外部からの受入がある場合、受入方法を明確化して、設備設計に反映させる。

4) 給水・排水条件

給水としてはバイナリー発電機や復水タービン発電の冷却水に使用するろ過水と、ボイラー給水に用いる上水が必要である。各々の取水箇所、給水量上限値、給水水質基準、温度等を設定する。なお、必要なるろ過水が確保できない条件においては、高度処理設備（移床式砂ろ過器など）を設置するなどの検討を行う。ろ過水の水質については採用する発電方式により水質条件が定められているため、条件を満足できない場合は蒸気発電機側での材質変更等の対応が必要な場合がある。主な水質分析項目については資料編 1.7 その他の実証研究結果 P. 146 を参照されたい。

排水については排水の返流箇所、排水量上限値、排水水質基準、温度等を設定する。排水としては、低含水率化設備からの脱水ろ液、エネルギー回収設備の排煙処理塔から発生する洗煙排水と蒸気発電機の冷却水が大半を占め、既存水処理系に返流することを基本とする。返流水量削減のため、バイナリー発電機や復水タービン発電の冷却水については排煙処理塔の冷却水や洗浄水として再利用することも可能である。なお、脱水ろ液はBODやSS分が、洗煙排水は温度が高いため、既存水処理系の流入水量から水処理側に与える影響を確認しておく。

§ 20 基本計算

本システム技術の基本計算を行う。基本計算では、以下の項目を実施する。

- (1) 低含水率化設備周りの物質収支計算
- (2) 発電方式の検討
- (3) エネルギー回収設備周りの物質・熱収支計算
- (4) エネルギー変換設備の発電量の算定
- (5) 基本計算の再検証

【解 説】

設定した汚泥処理量や各設定値より物質収支・熱収支計算を行う。基本計算フローを図4-3に示す。

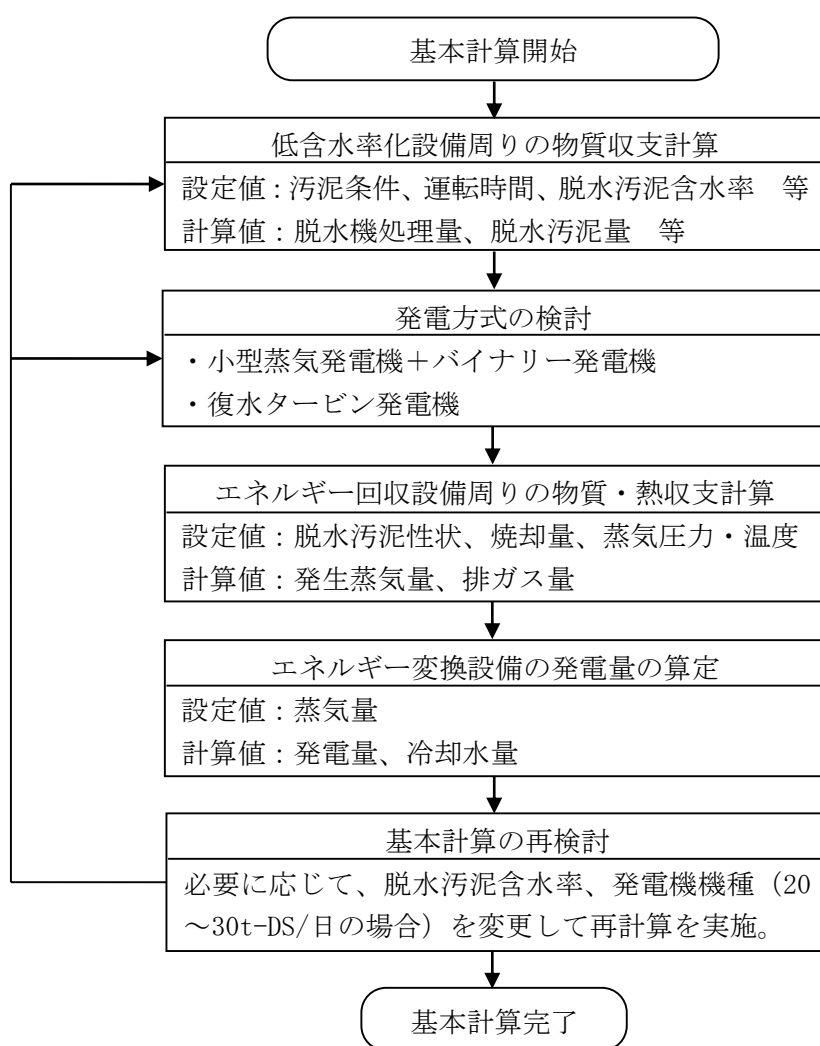


図 4-3 基本計算フロー

(1) 低含水率化設備周りの物質収支計算

設定した汚泥条件や各種設定値より物質収支計算を行う。計算の手順を下記に示す。

1) 脱水機入口条件

§ 19 で設定した水処理側より発生する汚泥、ならびに汚泥濃縮設備より発生する汚泥の固形物収支より、脱水機入口汚泥条件を算出する。

2) 脱水機周りの物質収支計算

物質収支計算を行うにあたり、§ 19 で設定した条件以外に下記設定を行い、本設備から発生する脱水汚泥量を算出する。

① 濃縮設備

本設備の脱水性能安定化のため、分離濃縮を行っておらず脱水機入口汚泥濃度の日間変動が大きい場合など機械濃縮機の設置が必要な場合、物質収支計算に組み込んで算定を行う。

② 運転時間および台数

運転時間は処理場の状況に応じて設定する。ただし、本システムでは後段のエネルギー回収設備および変換設備の運転時間に合わせて設定し、システム全体での最適条件として24時間連続運転とすることが好ましい。設定した運転時間により、脱水機の処理量および台数の設定を行う。なお、脱水機はメンテナンスや故障、一時的な負荷変動に対応するため、予備機を最低一台設けるものとする。

③ 凝集剤添加率

凝集剤については、当該施設の汚泥性状により適合する薬品の種類や添加率が大きく異なる。このため実規模試験や遠沈ろ過試験といったラボテスト等で高分子凝集剤および無機凝集剤の添加率を設定することが好ましい。ただし、設定が困難な場合は、高分子凝集剤の添加率は、従来型脱水機の添加率と同じ、もしくはTS当たり0.7%と設定し、無機凝集剤の添加率は実証結果よりTS当たり10%と設定する。

(2) 発電方式の検討

本システム技術では、規模により最適な発電方式が異なる。これは、あるポイントを境界としてエネルギー変換設備にかかるコスト（主に建設費、発電量）が逆転するためである。表 4-4 に規模による発電方式の選定目安についてまとめる。なお発電方式による比較結果については資料編 3.2 革新的技術 P. 191～194 を参照されたい。

低含水率化設備、エネルギー回収設備の焼却炉までは同じフローであるが、エネルギー回収

設備の廃熱ボイラー、エネルギー変換設備が異なるフローとなる。

表 4-4 規模によるフローの選定目安

規模	発電方式	蒸気条件例
10t-DS/日以上	小型蒸気発電機 ＋ バイナリー発電機	1MPaG（飽和）未満
25t-DS/日以上	復水タービン発電	3MPaG・300℃など

（3）エネルギー回収設備周りの物質・熱収支計算

低含水率化設備の計算結果および汚泥性状から、エネルギー回収設備周りの物質収支・熱収支計算を行う。計算の手順を下記に示す。

1）焼却炉の物質収支・熱収支計算

入口条件として下記を設定する。

- ・脱水汚泥焼却量
- ・脱水汚泥含水率
- ・脱水汚泥可燃分
- ・可燃分中成分（C, H, N, O, S）
- ・脱水汚泥発熱量
- ・空気比
- ・燃焼空気温度

出口条件として下記を設定する。

- ・炉出口排ガス温度（800℃以上）
- ・焼却灰温度（約 400℃）
- ・炉放熱量（規模に応じて設定）

これらの条件にて物質収支・熱収支計算を行い、炉出口排ガス温度が設定値以上となることを確認する。また、本計算は脱水汚泥含水率および可燃分の変動範囲（図 4-2 参照）について実施し、自然可能範囲を確認する。

なお、炉出口排ガス温度は高いほど N_2O 排出量は削減されることから、計画条件に応じて設定する。

2）空気予熱器、廃熱ボイラーの計算

1）から計算された結果に基づき、燃焼空気の条件から燃焼空気予熱器の必要回収熱量と、

廃熱ボイラーでの回収熱量を算出する。廃熱ボイラーでの回収熱量から、(2)で設定した発電方式に応じた蒸気条件として、発生蒸気量を算出する。また、脱水汚泥の変動範囲（図4-2 参照）について計算を実施し、各ポイントにおける発生蒸気量を確認する。

また、蒸気式空気予熱器、排ガス再加熱器などで使用するプロセス蒸気量についても確認しておく。

3) その他設備の計算

1)、2)から計算された結果に基づき、排ガス処理設備、灰搬出設備等の計算を行う。
計算にあたっては、従来の污泥焼却設備の計算方法等を参考とする。

(4) エネルギー変換設備の発電量の算定

(3) から算出された発生蒸気量やプロセス蒸気量から、蒸気発電機の発電量を算定する。発電量は、採用する発電方式に依存し、蒸気量および圧力・温度条件から当該機種のカタログ等の値により算出される。なお、発電量は発電端電力量と送電端電力量があり、蒸気発電機内部で使用する電力分による差があることから留意が必要である。

また、脱水汚泥の変動範囲（図 4-2 参照）について計算を実施し、各ポイントにおける発電量を把握する。

発電量の算定結果を含めた、24t-DS/日における熱収支計算結果の例を図 4-4 に示す。

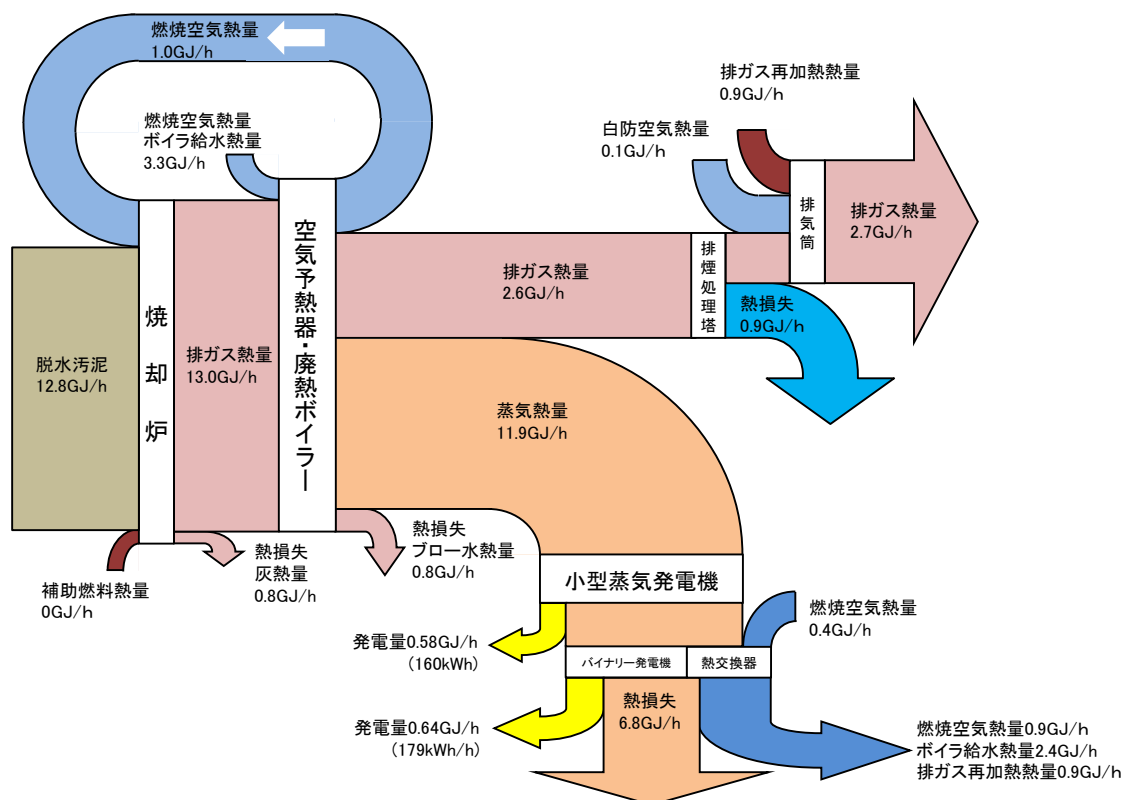


図 4-4 熱収支計算結果の一例 (24t-DS/日、低位発熱量基準)

(5) 基本計算の再検討

必要に応じて下記の条件の見直しを行い、再検証を実施する。

1) 脱水汚泥含水率

低含水率化技術の適用により、脱水汚泥含水率は従来技術と比較して7～10ポイントの範囲で低減が見込める。実証試験や実験室での遠沈試験等を実施して、含水率が当初設定よりも下がることが確認できた場合、含水率の設定を見直して再検討を実施することで、自燃範囲の拡大や、発電量の増大が見込める。

2) 燃焼空気温度

脱水汚泥含水率および可燃分の変動範囲にて、助燃範囲が広い場合、燃焼空気温度の設定を見直して再検討を実施することで、自燃範囲の拡大が見込める（資料編 1.4 エネルギー回収・変換技術実証試験結果 P. 140～142 参照）。

3) 発電方式

20～30t-DS/日の範囲において、小型蒸気発電機およびバイナリー発電機が各々2台以上必要となった場合、蒸気発電機が1台となる復水タービン発電で計算を行い、最適条件を確認する。

§ 21 施設計画の検討

本技術を導入する施設の計画では、以下の項目を実施する。

- (1) 主要構成機器の設計検討
- (2) 配置計画

【解 説】

(1) 主要構成機器の設計検討

基本計算をもとに、各設備を構成する主要機器の仕様・容量などの設計を行う。なお、具体的な検討方法は**本章第2節**に記述する。

(2) 配置計画

主要構成機器の設計検討結果に基づき、配置計画の検討を行う。配置計画にあたっては既存設備の状況、撤去計画、将来計画などを確認し、計画を行う。

各設備については、以下の方針で計画する。

1) 低含水率化設備

本設備はエネルギー回収設備の近傍に設置されることが望ましいが、既存の汚泥処理棟などに設置スペースがある場合は、その限りではない。ただし、エネルギー回収設備まで脱水汚泥をコンベヤによる搬送となる点に留意が必要である。

配置は維持管理や異常時の点検確認が容易となるよう整然と配列する。また、必要に応じて将来の増設を考慮した配置計画とする。

汚泥脱水機は騒音の発生源となるため、敷地境界からは極力遠ざけて配置し、必要に応じて防音処置された室内（防音ボックスなど）に配置することが好ましい。

2) エネルギー回収設備

従来型の焼却設備と比較して同等またはそれ以下の設置スペースで建設ができるため、特段注意すべき事項は無いが、排ガス流れや灰搬出ルートを検討した計画とする。ただし、既設の更新や屋内設置の場合、搬入計画について事前に十分な検討を行う必要がある。

3) エネルギー変換設備

小型蒸気発電機、バイナリー発電機は屋内外を問わず設置が可能であるが、復水タービン発電は騒音の発生源となるため、敷地境界からは極力遠ざけて配置し、防音処置された室内（主にはタービン室）に配置する必要がある。発電方式、台数により必要な設置スペースが異なるため、配置計画にあたっては事前に十分な検討を行う必要がある。

また廃熱ボイラーからの蒸気配管ルートが最短となるよう考慮した配置計画とする。

なお、本システムの設置に必要なスペース例について表 4-5 に示す。各配置例については資料編 3.2 革新的技術に示す配置例を参照のこと。

表 4-5 本システムの設置に必要なスペース例

規模	縦	横	高さ
12t-DS/日	21.0m	38.4m	16.0m
24t-DS/日	24.0m	45.0m	18.4m
36t-DS/日	27.0m	50.0m	19.5m

§ 22 導入効果の検証

施設計画の検討に基づいて導入効果について再検討を行い、第3章第1節 § 16 導入効果の検討で試算した導入効果が得られることを検証する。

【解 説】

導入検討時に § 16 にて導入効果の検討を実施しているが、§ 16 では費用関数を用いる簡易な方法により本技術の導入効果を検証するため、ここではより精度の高い条件設定による施設計画の検討に基づいて導入効果について再検討を行う。本技術の導入における建設費・維持管理費・ライフサイクルコスト・温室効果ガス排出量・エネルギー消費量・エネルギー創出量を算出し、従来技術を導入する場合と比較して導入効果が得られるか検証する。

§ 23 導入計画の策定

導入効果が得られることが確認できた場合には、本技術の導入についての検討結果を導入計画書などにとりまとめる。

【解 説】

導入効果が得られることが確認できた場合には、本技術の導入についての検討結果を導入計画書などにとりまとめる。

導入計画書としては、検討段階において、基礎調査(施設・設備の計画・現状などの把握)に基づいて施設計画の検討(基本プロセスフローの決定、構成設備の諸元設定、配置計画)を行った結果に加え、導入効果の検証結果を含めて取りまとめるものとする。

第2節 施設設計

§ 24 低含水率化設備の設計

基本計算を基に、低含水率化設備の設計を行う。

- (1) 設計条件の設定
- (2) 汚泥供給設備の設計
- (3) 薬品供給設備の設計
- (4) 脱水機設備の設計
- (5) 濃縮機設備の設計
- (6) 計測設備の設計
- (7) 安全対策

【解 説】

(1) 設計条件の設定

低含水率化設備の設計を行うに当たっては、水処理側の汚泥発生量を考慮した上で脱水処理パターンを設定する。なお、本設備の後段にはエネルギー回収・変換設備が控えるが、**§ 10 適用条件と推奨条件**で示したように、これらの設備は定格負荷条件にて連続運転を行うことでシステムとしての導入効果が高くなる。よって低含水率化設備の設計にあたっては、後段設備の導入効果が高くなる運転となるような設備容量を考慮し、**§ 20 基本計算**の物質収支計算に基づいた各設備の容量計算結果から、各設備容量について決定をする。

(2) 汚泥供給設備の設計

本設備は、水処理等から排除され、重力濃縮、または機械濃縮された汚泥を速やかに低含水率化設備に供給するための設備である。各設備の設計上の留意点を下記に示す。

1) 汚泥供給ポンプ

水処理から排除され、重力濃縮、または機械濃縮した汚泥を、汚泥脱水機へ供給することを目的に設置する。ポンプの仕様は、汚泥濃度が変動しても定量性を維持して送泥が可能である一軸ねじ式ポンプとし、ポンプの能力は、脱水機供給汚泥量の0.5～1.5倍を供給できる可変範囲を有するものとする。

2) 汚泥破碎機

汚泥に含まれるし渣を破碎し、配管や機器の閉塞を防止することを目的に設置する。当該施設の前段に汚泥スクリーンや破碎機が設置されている場合は、汚泥破碎機の設置は不要である。破碎機は配管ライン上に取り付ける機種を選定し、汚泥供給ポンプと同等の能力を有

するものとする。

(3) 薬品供給設備（高分子、および無機凝集剤）の設計

本設備のうち、高分子凝集剤供給設備は、高分子凝集剤の溶解液が一定濃度になるように、水と薬品を連続定量供給し溶解するもので、溶解した薬品を汚泥脱水機へ定量供給することを目的に設置する。

また、無機凝集剤供給設備は、購入した無機凝集剤を貯留し汚泥脱水機へ定量供給することを目的に設置する。各設備の設計上の留意点を下記に示す。

1) 高分子凝集剤定量供給機

粉末状の高分子凝集剤を、定量的に高分子凝集剤溶解タンクへ供給するものである。高分子凝集剤の供給量は、薬品溶解液の濃度を0.2～0.3%程度にするために必要となる薬品量を所定の給粉時間（20分程度）で供給できる能力とする。定量供給機の運転と同時に溶解水の供給が必要となる。

2) 高分子凝集剤溶解設備

高分子凝集剤溶解設備は機器の特長や施設の条件（設置スペース、荷重条件等）を考慮して、下記に示すいずれかの方式（バッチ式、連続式）を選択する

① 高分子凝集剤溶解装置タンク（バッチ式溶解装置）

凝集剤定量供給機から供給された粉末状高分子凝集剤と、上水、またはろ過水等を用いた溶解水を混合攪拌し、凝集剤を溶解・貯留するためのものである。タンク上部にはミキサーを配置し、攪拌を行い、1回の溶解工程は150分程度で計画する。本設備は間欠的に凝集剤を溶解する必要があるため、2組以上の設備で構成される。脱水設備能力が大きくなると、本設備の設置スペースおよび荷重条件が大きくなる。

② 高分子凝集剤瞬間連続溶解装置

粉末状の高分子凝集剤を瞬間的に連続溶解し、高分子凝集剤サービスタンクで貯留することを目的に設置する。給粉、溶解、供給を1ユニットの機器で完結する装置であり、必要な量の凝集剤溶解液を供給することが可能であるため、溶解液を長期貯留することによる凝集剤の劣化が生じない運転を行うことが可能となる。

また、本装置は粉末状の高分子凝集剤を瞬間的に溶解してサービスタンクで貯留することが可能であるため、バッチ式と比べてコンパクトであり軽量となる。

3) 高分子凝集剤供給ポンプ

高分子凝集剤溶解タンクから汚泥脱水機へ高分子凝集剤を供給することを目的に設置する。

ポンプの仕様は、脈動がなく定量性が高い一軸ねじ式ポンプとし、ポンプの能力は、脱水機供給凝集剤量の0.5～1.5倍を供給できる可変範囲を有するものとする。

4) 無機凝集剤貯留タンク

脱水汚泥の低含水率化を促進するために利用する無機凝集剤（ポリ硫酸第二鉄）を一時貯留するものである。設置位置は、屋外、屋内のいずれでも問題ないが、可能であれば屋内に設置することを検討する。タンク容量は、搬送日数などを考慮して、計画使用量の7日程度を確保するものとする。なお、1回の購入量によって凝集剤の単価に差が生じることがあるので、購入価格を事前に調査してタンク容量を決定してもよい。

無機系凝集剤は強酸性の物性をもつため、タンクの容量を十分に確保（最大貯留容量の110%以上）した防液堤の中に設置する。防液堤には、無機凝集剤がコンクリート面に付着すると腐食の原因になることから、耐薬品塗装を施すものとする。屋外に設置する場合は雨水が滞留するため、適度な導水勾配をコンクリート表面に設け、最下段部に排水用の釜場をもうけてドレン管（手動弁付、常時全閉）を設置する。

5) 無機凝集剤供給ポンプ

無機凝集剤貯留タンクから汚泥脱水機へ無機凝集剤（ポリ硫酸第二鉄）を供給することを目的に設置する。ポンプの仕様は、脈動がなく定量性が高い一軸ねじ式ポンプとし、ポンプの能力は、脱水機供給凝集剤量の0.5～1.5倍を供給できる可変範囲を有するものとする。

(4) 脱水機設備の設計

供給汚泥を遠心分離し、低含水率脱水汚泥を後段のエネルギー回収設備へ供給することを目的として設置する。

本システムで採用する汚泥脱水機は機内二液調質型遠心脱水機であり、これまで導入されてきている標準型、高効率型等の遠心脱水機と同様に、高速回転による遠心力（遠心効果 1,500～2,500G 程度）を利用して、脱水機内部に投入された汚泥中の固形物を短時間に固液分離するものである。

汚泥脱水機の設計上の留意点を以下に示す。

汚泥脱水機は、遠心効果を得るために本体を高速回転する必要があるため、本体の騒音が比較的大きい。また、本脱水機から排出される脱水ケーキは、含水率が低いために3～5mm程度の粒状ケーキとなる。脱水ケーキ出口から排出された汚泥はケーシング内部の金属面に衝突し、その衝突音が外部に響くことになる。そのため、本脱水機を設置する場合は、本体を防音カバー内で覆い防音対策を考慮する必要がある。

脱水機の制御は、脱水機メーカーのノウハウをふまえた運転制御としており、低含水率化汚泥を必要とする本システムの脱水設備の場合は、特にメーカーのノウハウを考慮した運転調整を行う必要がある。そのため、脱水機の運転制御を行う制御盤は、脱水機に付属するものとする。

本システムの脱水性能は、当該施設の汚泥性状、および既存脱水機の脱水特性などを勘案して想定する。具体的な検討に進む場合は、より具体的な数値の予測を行うことが望ましく、脱水機メーカーへ実験室で行う遠沈試験による脱水性能の予測や、試験機を当該施設に持ち込んだ現地試験をメーカーに依頼することが望ましい。

汚泥脱水機の能力は、焼却設備側で必要となる計画固形物量を満足する処理能力として設計する。参考に脱水機の機種一覧を表 4-6 に示す。

表 4-6 脱水機の機種一覧

処理量	消費電力 (2000G)	モータ容量			外径寸法（参考）		
		メイン	差速	潤滑	長さ	幅	高さ
m ³ /h	kWh/m ³	kW	kW	kW	m	m	m
2.5	1.3	7.5	3.7	－	3.7	2.4	2.4
5	1.3	11	3.7	－	4.1	2.5	2.5
7	1.3	15	5.5	－	4.3	2.7	2.7
10	1.5	22	7.5	0.75	4.9	2.8	2.9
15	1.5	37	11	0.75	5.0	3.2	3.0
20	1.7	55	18.5	0.75	5.8	3.8	3.5
30	1.6	75	22	0.75	6.4	4.1	3.5
50	1.7	132	45	0.75	7.5	4.3	3.7

（５）濃縮機設備の設計（必要に応じて設置を検討）

脱水機設備へ供給する汚泥濃度の日間変動が大きい場合に、汚泥濃度を安定化させることを目的に脱水機設備の直前に設置するものである。各設備の設計上の留意点を下記に示す。

１）汚泥濃縮機

脱水機設備へ供給する汚泥濃度の日間変動が大きい場合に、汚泥濃度を安定化させることを目的に脱水機設備の直前に設置するものである。汚泥濃縮機には、ベルト型や回転ドラム型などの低動力型濃縮機が開発、実用化されているが、混合生汚泥を対象とした場合、設置スペースが比較的コンパクトに構成することができる回転ドラム型濃縮機¹⁰⁾の採用を検討する。汚泥濃縮機の出口には汚泥濃度計を取り付け、濃縮汚泥濃度の計測値をもとに自動制御を行い、一定濃度（目標汚泥濃度 4%）の汚泥を排出することが可能である。

汚泥濃縮機の能力は、焼却設備側で必要となる計画固形物量を満足する処理能力として設計する。

2) 濃縮機洗浄水ポンプユニット（汚泥濃縮機一体ユニット）

汚泥濃縮機の運転時に必要となるスクリーン洗浄水を汚泥濃縮機に供給することを目的に設置する。汚泥濃縮機は、回転するドラムスクリーン内（目幅 0.2～0.5mm）に凝集汚泥を供給し、出口側に向かって濃縮汚泥が送り出される。ドラムには小さな凝集ブロックが付着し、スクリーンを閉塞していくため、回転ドラムの上部でスプレーノズルによるスクリーン洗浄を行い、ドラムスクリーンをきれいな状態に保っている。洗浄水量は、選定される汚泥濃縮機の能力に応じて設定する。

3) 濃縮汚泥貯留タンク

汚泥濃縮機から排出された濃縮汚泥を一時貯留し、濃縮汚泥発生量の変動を吸収することを目的に設置する。濃縮汚泥貯留タンクにはミキサーを取り付け、連続的に攪拌を行うものとする。

貯留タンクの容量は、原汚泥濃度の変動による濃縮汚泥量の増減を考慮して、1 時間程度の滞留時間を確保するものとする。

4) 濃縮汚泥供給ポンプ

濃縮汚泥貯留タンクに貯留された濃縮汚泥を汚泥脱水機へ供給することを目的に設置する。

ポンプの仕様は、高濃度汚泥でも安定して送泥が可能であり、脈動がなく定量性が高い一軸ねじ式ポンプとし、ポンプの能力は汚泥濃度が 4%程度となることから、脱水機供給汚泥量（定格汚泥量×0.7 倍）の 0.5～1.5 倍を供給できる可変範囲を有するものとする。

(6) 計測設備の設計

汚泥脱水機の運転制御を安定化させるために、各設備には流量や濃度を計測する計器を設置し自動制御に利用する。各設備における主な計測項目を表 4-7 に示す。

表 4-7 低含水率化設備の主な計測項目

設備名称	計測項目
汚泥供給設備	汚泥貯留槽液位、汚泥供給量、汚泥濃度
薬品供給設備	高分子凝集剤給粉量、給水量 高分子凝集剤液位、無機凝集剤液位、 高分子凝集剤注入量、無機凝集剤注入量
脱水設備	差速回転数、差速電流値
濃縮設備	濃縮機出口汚泥濃度、濃縮汚泥貯留タンク液位

(7) 安全対策

本システムは、基本的に混合生汚泥を対象とした処理プロセスである。混合生汚泥は、腐敗が進むにつれて高濃度の臭気が発生しやすく、硫化水素濃度も高いことが多い。汚泥処理設備の中で汚泥貯留槽などの内部はこれらの濃度が非常に高く、脱臭や換気が適切に行われていないと安全な作業環境を維持することができない。よって、低含水率化設備に係る土木構造物（水槽）や鋼板製タンク、装置（脱水機、濃縮機）には、臭気ガスを確実に吸引し外部に漏出しないものとする必要がある。

また、汚泥脱水機や各種ポンプ類は高速回転機器を採用しているため、機器の運転中は回転部などに手や作業着を巻き込まれないような安全対策を機器単体で実施するとともに、安全に関する表示・教育を確実に実施する必要がある。

§ 25 エネルギー回収設備の設計

基本計算を基に、エネルギー回収設備の設計を行う。

- (1) 脱水汚泥供給条件の設定
- (2) 汚泥移送・貯留・供給設備の設計
- (3) 焼却炉の設計
- (4) 熱回収設備の設計
- (5) 排ガス処理設備の設計
- (6) 灰搬出設備の設計
- (7) ユーティリティ設備の設計
- (8) 計測設備の設計
- (9) 安全対策

【解 説】

(1) 脱水汚泥供給条件の設定

エネルギー回収設備の設計を行うに当たっては、低含水率化設備での稼働時間や負荷率を考慮した上で、脱水汚泥の供給パターン（連続・間欠）を設定する。なお、本設備は立上げ時に補助燃料を使用することから、極力連続運転としたほうがコスト面で低く抑えられる。また、外部から脱水汚泥の受入やし渣・沈渣、他のバイオマスの混焼を行う場合は、これらの受入・貯留・搬送設備を考慮する。

§ 20 の物質・熱収支計算結果に基づいた、各設備の容量計算から、各設備容量を決定する。

(2) 汚泥移送・貯留・供給設備の設計

本設備は前段の低含水率化設備の設計条件を考慮し、低含水率化設備より排出された脱水汚泥を定量的にエネルギー回収設備に供給することに留意した設備設計を行う。各設備の設計上の留意点を下記に示す。

1) 汚泥移送設備

低含水率化設備の脱水機から排出された低含水率脱水汚泥を、後段の汚泥貯留設備まで搬送することを目的として設置する。ただし、脱水機が後段の汚泥貯留設備の直上に設置されていれば、本設備は不要である。形式としてベルトコンベヤやフライトコンベヤを用いる。その他スクリーコンベヤ、シャフトレスコンベヤ（リボンコンベヤ）も採用可能である。

設備容量としては脱水機の時間当たり脱水汚泥排出量に対し、一時的な負荷変動を考慮して搬送量を決定する。

2) 汚泥貯留設備

低含水率化設備の脱水機から排出された低含水率汚泥を、焼却炉へ定量的に供給するために一時貯留することを目的として設置する。本設備は貯留部であるホップと脱水汚泥の切り出し部から構成される。切り出し部は多軸フィーダと集合スクリーンコンベヤを組み合わせる方式やサークルフィーダ方式等が採用できる。また本設備の後段には切り出し量を調整するための計量コンベヤを設置し、ここで測定される重量が設定した焼却量となるよう切り出し装置の回転数をインバータにて調整できる制御を基本とする。

貯留容量としては、焼却炉へ定量的に供給するために一時貯留することを目的としていることや、前後の設備が軽微な故障により一時的に停止しても運転継続が可能な容量を考慮して設定する。ただし、設置する処理場の維持管理上、長い貯留時間が必要な場合は、含水率の上昇や可燃分割の低下により脱水汚泥の発熱量が低下し（資料編 1.5 その他の実証研究結果 P. 147 参照）、計画通りの発電量が得られなくなり、助燃運転となる可能性があることに留意が必要である。切り出し量については設定した焼却量に対し、負荷変動範囲を考慮して調整が可能となるよう決定する。

3) 汚泥供給設備

焼却炉へ脱水汚泥を定量的に供給するため、汚泥貯留設備より切り出された脱水汚泥を搬送するとともに、投入量を計測することを目的として設置する。計量コンベヤとして、ベルトコンベヤを用いる。なお、焼却炉の投入ホップまでの搬送コンベヤとしてフライトコンベヤ等を用いる。

設備容量としては汚泥貯留設備の最大切り出し量を考慮して、搬送量を決定する。

4) 外部汚泥受入設備

他の処理場から発生した脱水汚泥（二液調質脱水汚泥）を受け入れる場合、受入用のホップ及び汚泥貯留設備までの搬送コンベヤが必要であり、受入量に応じて設備容量を決定する。

受入ホップは運搬トラックからの受入れが可能な蓋付のホップと脱水汚泥の切り出し部から構成される。搬送コンベヤは他の設備と同様、フライトコンベヤ等を用いる。

なお、一液調質脱水汚泥の受入が必要な場合、革新型階段炉での直接焼却ができないため、蒸気間接加熱式乾燥機等により乾燥させた後、乾燥汚泥貯留バンカに一旦貯留し、二液調質脱水汚泥とともに混焼させる。

5) し渣、沈砂受入供給設備

し渣、沈砂を受け入れて混焼する場合、受入方式（トラック、コンテナ等）に応じた受入・搬送設備、焼却炉への供給設備が必要であり、受入量ならびに運転方を決定の上、必要機器の設定ならびに設備容量を決定する。

(3) 焼却炉の設計

本設備は低含水率化された脱水汚泥を、補助燃料を使用しない自燃運転にて、800℃以上の燃焼温度を確保して完全燃焼させる。付属機器を含めた設計上の留意点を下記に示す。

1) 汚泥破碎機

炉内での乾燥を効率的に行うため、前段の汚泥供給設備から供給される塊状の脱水汚泥を投入前に破碎を行うもので、形式は二軸パドル式等を用いる。

2) 汚泥振分コンベヤ

焼却炉に供給される脱水汚泥を、焼却炉の幅方向に均一な量で供給するために設置するので、本焼却炉の投入ホップ入口部に設置する。形式はスクリュ式を用いる。

3) 焼却炉

従来の階段式汚泥焼却炉に対し炉内の乾燥機能を強化し、低含水率である機内二液調質脱水汚泥を、乾燥プロセスを経ずに直接焼却可能な焼却炉として開発された革新型階段炉を用いる。

階段炉の各部構成を下記に示す。概略図を図 4-5 に示す。

① 投入ホップ

汚泥供給設備から供給された脱水汚泥を一時貯留する。

② 供給プッシャ

投入ホップに供給された脱水汚泥を炉内へ供給する。供給プッシャは油圧により作動し、その速度にて供給量を調整可能である。

③ ストーカ（火格子）

供給側から乾燥段、燃焼段、後燃焼段により構成される。ストーカ（火格子）は交互に設置された可動段と固定段にて構成され、可動段は油圧により作動する。脱水汚泥はストーカ（火格子）上を順に移動しながら、乾燥、燃焼、熾き燃焼され、灰となって炉排出部より排出される。

④ 風箱および落下灰シュート

燃焼空気はストーカ（火格子）の下側の風箱から供給され、各段に最適な空気量を分配できる構造とする。また、本風箱はストーカ（火格子）の隙間から落下した灰のシュートとしての役割も担う。なお落下灰で未燃分を含むもの（主に乾燥段からの落下灰）はコンベヤにより投入ホップに戻し、それ以外は灰搬出コンベヤに送る。

⑤ 計測監視設備

炉内各所ならびに火格子温度を測定できるよう、熱電対を設置する。炉頂部には炉内圧力制御に用いるための圧力発信器を設置し、誘引ファンにより常時炉内が大気圧以下となるように制御する。炉前には運転監視室より炉内の燃焼状態が確認できるよう、カメラを設置する。

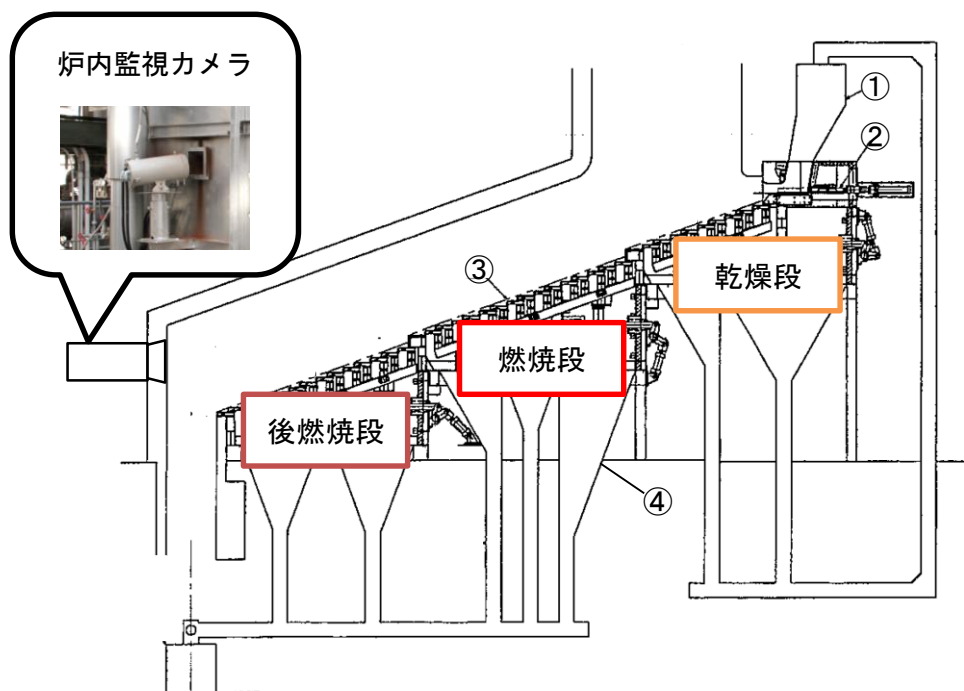


図 4-5 焼却炉概略図

焼却炉を設計する上で必要な諸数値は下記の通りであり、各数値については変動幅(図 4-2 参照)についても考慮する。

- ・ 日最大焼却量 (t-wet/日)
- ・ 脱水污泥含水率 (%)
- ・ 脱水污泥可燃分割合 (%)
- ・ 脱水污泥低位発熱量 (kJ/kg-wet) または固形物当たりの高位発熱量 (kJ/kg-DS)

4) ストーカ油圧装置

焼却炉の供給プッシャおよびストーカ(火格子)を動作させるため設置し、油圧ポンプとタンクにより構成される。供給プッシャおよびストーカ(火格子)には油圧シリンダにより作動し、油圧配管中に設けた比例電磁弁により速度が制御される。

5) 補助燃焼設備

焼却炉の立ち上げ時や炉出口の排ガス温度低下時に使用するもので、主に炉内を昇温させるための焼却炉バーナ、および補助バーナを用いる。本設備は、施設規模や使用する補助燃料に応じて、最適な形式を用いる。

6) 燃焼空気ファン

汚泥の燃焼用空気を、空気予熱器等を経由して炉内に送気するためのものである。燃焼空気ファンとしては一次燃焼用空気用と二次燃焼用空気用に各々一台とする。なお予備機は設けない。

風量は図 4-2 で示す範囲の脱水汚泥含水率、可燃分割割合の変動等を見込んで設定する。静圧は吸気口から炉までの各機器、ダクト等の圧損に応じたものとするが、概ね 4~6kPa 程度の範囲となる。

風量調整はダンパまたはインバータにより、ダクト中に設けた流量計の流量が設定値となるように制御する。

(4) 熱回収設備の設計

本設備は排ガスから熱回収を行い、蒸気を発生させる廃熱ボイラーと、燃焼空気を昇温させる空気予熱器により構成される。そのため、燃焼空気を昇温させ、かつ廃熱ボイラーにより効率的に熱回収できるような設備全体での最適設計を行う必要がある。各機器の設計上の留意点を下記に示す。

1) 廃熱ボイラー

燃焼排ガスの保有熱量を水と熱交換し、プロセスおよび発電用熱源等として利用するための蒸気を発生させる装置であり、形式はボイラー水の温度による比重差によってボイラー水を循環させる自然循環式水管ボイラーを基本とする。概略図を図 4-6 に示す。構造は縦または横に配列された水管の上部に汽水胴（ボイラードラム）を設けており、水管の外側を燃焼排ガスが通過し、水管の内部で加熱され汽水胴（ボイラードラム）で蒸気が発生する構造となっている。なお、蒸気を飽和温度以上とする場合は過熱器を付随させる。

また、ボイラー水管に付着したダストを払い落とすため、煤吹装置（空気式または蒸気式）を付属させる。煤吹装置は定期的に自動運転を行う。払い落とされたダストは、本体下部のシュートからボイラーダスト排出コンベヤにより、灰搬出コンベヤに排出される。さらに、気缶内が設定圧以上になった場合に、装置保護のため圧力を逃す安全弁を具備する。

給水条件については、選定する発電方式により異なるため、条件に応じて軟水装置または純水装置を設ける。

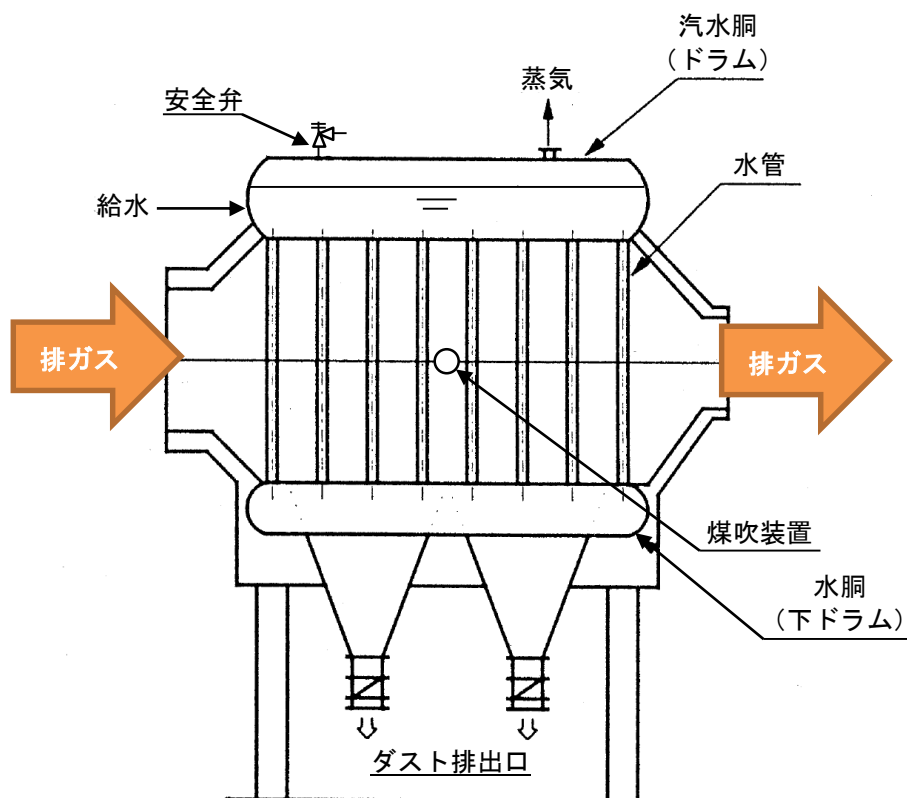


図 4-6 廃熱ボイラー概略図

廃熱ボイラーを設計する上で必要な諸数値は下記の通りであり、各数値については脱水汚泥性状の変動幅（図 4-2 参照）を考慮する。

- ・排ガス温度（入口・出口）（℃）
- ・排ガス量（湿・乾）（ m^3/h ）
- ・排ガス組成（ CO_2 , H_2O , O_2 , N_2 等）（％）
- ・回収蒸気圧力（MPaG）および温度（℃）

上記数値から検討された発生蒸気量から、ボイラーの常用蒸気量と最大蒸気量を決定し、付帯機器の容量計算に使用する。廃熱ボイラーの付帯機器としては下記の通り。

① ボイラー給水ポンプ

廃熱ボイラーに給水するためのポンプである。形式は多段または単段タービンポンプ等の適切な揚程のものを選定する。給水量は発生蒸気量に応じて制御する。

なお、ボイラー給水ポンプは故障停止時に給水が止まると廃熱ボイラーが空焚きとなるため、保安上予備機を設ける必要がある。また停電時においても速やかに運転開始できるよう、非常用発電機との連携などを考慮する。

② ボイラー薬注装置

ボイラー水の水質を基準値内に維持するために、ボイラー水配管中に規定の薬品を注入する装置であり、貯留タンクと注入ポンプにより構成される。ボイラー薬品は使用する上水の水質や、軟水または純水により注入量を決定する必要がある。

③ 軟水装置または純水装置

軟水装置はボイラー給水として利用する水中に含まれるカルシウムイオンやマグネシウムイオンなどの陽イオンを、イオン交換樹脂の働きでナトリウムイオンに置き換える働きを持つ装置である。カルシウムイオンやマグネシウムイオンは、濃度や pH、温度など条件が揃うと、二酸化炭素や、イオウ化合物やリン酸などと結合してスケールを析出させる。スケールはボイラー水管内に付着して、伝熱効率を低下させたり水の流路を狭めたりする。しかしナトリウムイオンは解離性が高く、完全に水分を失わない限り析出しにくい（スケール化しにくい）ため、スケールによるトラブルを防ぐことができる。イオン交換樹脂の再生には、食塩水（塩化ナトリウム）を用いるため、ユーティリティとして工業塩を用いる。

発電に復水タービン方式を採用する場合など蒸気が高圧の条件においては、ナトリウムイオンまで除去した純水を用いる必要があり、純水装置を用いる必要がある。純水装置は陽イオン交換樹脂と陰イオン交換樹脂により構成されており、その再生には塩酸ならびに苛性ソーダが用いられる。

④ 水冷式蒸気復水器

水冷式蒸気復水器は、蒸気を復水化させるための装置である。構造は多管式（シェル&チューブ式）を基本とする。

容量としては、発生した蒸気をすべて復水化できる能力とし、その能力を満足できる冷却水量を確保する。

⑤ 復水タンク

廃熱ボイラーで発生した蒸気を復水化させた後の復水の受け入れに用いる。また、軟水装置や純水装置により処理された上水を補給する。

⑥ 脱気器

ボイラー水中に溶存する酸素はボイラー内部の金属材料を腐食させる。よって、ボイラー水中の溶存酸素を抜き取るために原則として脱気器を設置し、水に蒸気を直接接触させ水の沸点で溶存酸素の溶解度をゼロにする。

2) 燃焼空気予熱器

熱源として蒸気または排ガスから熱回収を行う。蒸気式の形式としては、多管式（U チューブ式、シェル&チューブ式）、フィンチューブ式があり、ガス式としては多管式（シェル&チューブ式）、プレート式、輻射式等があるため、熱源の条件等により、最適なものを選定する。

本システムでは、燃焼空気を昇温させるとともに、廃熱ボイラーにて効率的に熱回収できるような設備全体での最適設計を行う必要がある。

(5) 排ガス処理設備の設計

本設備は従来の排ガス処理設備と同様であるため、従来同様に設計を行うことができる。汚泥焼却設備の規制物質は、一般に窒素酸化物、ばいじん、硫黄酸化物、塩化水素である。

窒素酸化物濃度は 250ppm 以下であり、特別な場合を除き脱硝設備を考慮する必要はない。ここで言う特別な場合とは、上乘せ基準あるいは総量規制等による規制を受ける場合をいう。

ばいじん、硫黄酸化物、塩化水素については排ガス集じん器（バグフィルタ、電気集じん機等）および排煙処理塔などの従来の排ガス処理方式を導入することで、十分に規制値を満足することができる。

ダイオキシン類については燃焼温度 800℃以上、CO 濃度 100ppm 以下（一時間平均）の規制があるため、これらの条件を満たすように焼却炉の運転管理を行う。

さらに排気筒からの排ガス放出に対し、白煙（蒸気）を出さないことが要求される場合、白煙防止空気の排ガスへの導入や、排ガス再加熱等の設備の検討が必要である。

各機器の設計上の留意点を下記に示す。

1) 排ガス集じん器

排ガス中のばいじんを捕集するためのものである。形式としてはバグフィルタ、電気集じん機がある。なお、階段炉の排ガス中のばいじん量は、焼却灰の大半が炉底部から排出されることから、従来の気泡流動炉と比較して 1/20 以下と著しく低い。

2) 排煙処理塔

排ガス中の硫黄酸化物、塩化水素等を洗浄除去すると同時に、排ガスの冷却・減湿を行うものである。このため冷却水およびアルカリ薬液である苛性ソーダを供給する。構造は従来から使用されているもの（トレイ式、充填式等）と同じであり、排煙洗浄水を循環使用するための循環ポンプおよび苛性ソーダ供給ポンプが付属する。

3) 誘引ファン

排ガスが通過する各機器の圧力損失をまかない、焼却炉内を大気圧以下で運転するため、排ガスを誘引して排気筒へ圧送するものである。誘引ファンの形式はプレートファンやター

ボファンとする。設備容量としては、脱水汚泥の変動幅（図 4-2 参照）から算出される排ガス量から決定する。

制御は炉内圧力が一定となるよう、吸い込み側に設置した炉圧調整ダンパ方式、または消費電力を低く抑えられるインバータ方式のいずれかとする。

比較的騒音が大きいため、必要に応じて室内に設置する。

4) 排ガス再加熱器

排ガス中の水分が排気筒出口において大気に接触し白煙となるのを防止するため、排ガスを再加熱し、大気放出時に白煙が生じないようにするためのものである。熱源として蒸気または排ガスとする。蒸気式の形式としては、多管式（U チューブ式、シェル&チューブ式）、フィンチューブ式があり、ガス式としては多管式（シェル&チューブ式）、プレート式があるため、熱源の条件等により、最適なものを選定する。

なお、蒸気式の場合は排ガスを間接加熱し、ガス式の場合は白煙防止用空気を加温した後排ガスと混合させることで排ガスを昇温させる。その場合は白煙防止用空気ファンが必要となる。

設計条件として、大気温度および湿度を設定し、設備容量を決定する。

5) 排気筒

煙突の代わりに排ガスを大気に放出するためのもので、排煙処理塔頂部に設置される。排気筒までの排ガスダクトには、各種排ガス濃度を連続測定するための分析計の検知器を設置する。

（6） 灰搬出設備の設計

本設備は従来の灰搬出設備と同様であるため、従来同様に設計を行うことができる。各設備の設計上の留意点を下記に示す。

1) 灰搬出コンベヤ

焼却炉から排出される主灰、ならびに廃熱ボイラー等から排出されるダストを灰バンカまで搬送するためのものである。形式はフライトコンベヤとする。なお、湿灰での搬出を基本とするため水封式とする。乾灰で排出することも可能である。

2) 灰バンカ

灰搬出コンベヤにて搬送された焼却灰を一時貯留するためのものである。焼却灰は湿灰搬出の場合飛散することがないため、流動焼却灰のような特殊なローリー一車での搬出は不要で、ダンプトラックにて排出が可能である。灰バンカはダンプトラックへの排出を考慮し、カットゲート式を標準とする。

乾灰排出の場合、微細な灰の一部が飛散することがあるため、必要な対策を行う。

貯留容量は5日間程度を標準とするが、排出先の状況に応じた容量にて決定する。

3) 破碎・粉碎設備

灰の引き取り条件により、微粉化させる必要がある場合には、破碎・粉碎設備を設ける。

(7) ユーティリティ設備の設計

本設備は従来のユーティリティ設備と同様であるため、従来同様に設計を行うことができる。各機器の設計上の留意点を下記に示す。

1) ろ過水給水設備

本システム内の機器冷却水などろ過水を給水するためのポンプ等を示す。エネルギー回収設備のみならず、低含水率化設備、エネルギー変換設備における必要量も加味する。形式は通常、渦巻ポンプとする。また、給水ユニット方式を用いることも可能である。

2) 燃料供給設備

補助燃料にA重油や灯油を用いる場合、貯留タンクと供給ポンプの設置が必要となる。いずれも危険物であるため、消防法に基づき届出を行う。設置にあたっては、消防法に準拠した対策を行う。

貯留容量については立上に必要な量や、受入頻度を考慮して決定する。

3) 苛性ソーダ供給設備

排煙処理塔に必要な苛性ソーダを貯留・供給するためのもので、タンク本体、液位計、供給ポンプにより構成される。使用する苛性ソーダの濃度に応じた設備とする必要があり、48%で受け入れる場合、必要に応じて希釈用攪拌装置や給水装置、冬季の凍結を考慮してヒータ等による加温が必要となる。

貯留容量は標準的には使用量の3～10日分とするが、受入頻度を考慮して決定する。

供給ポンプは排煙処理塔循環水のpH制御ができるよう、流量調整可能な方式を用いる。

4) 空気供給設備

制御用・作動用・ページ用および廃熱ボイラーの煤吹き用等の圧縮空気を確保するために設ける。騒音、振動等を考慮した形式を標準とする。なお、形式によっては騒音・振動防止法において特定施設として扱われるため、一般に防音室内に設置する。また空気圧縮機の付属として、空気使用量の変化に対応するため空気槽を設け、制御用・作動用空気の除湿のため除湿器を設ける。

5) 排水設備

各所からの排水を水処理側に返送するために設ける。自然流下により水処理側に返送できる場合は、本設備は不要となるため、施設状況に合わせて設計を行う。

(8) 計測設備の設計

計測設備については従来と同様であるため、従来同様に設計を行うことができる。各設備における主な計測項目を表 4-8 に示す。

表 4-8 エネルギー回収設備の主な計測項目

設備名称	計測項目
汚泥貯留・供給設備	バンカ重量、脱水汚泥供給量
焼却炉	炉内圧力・温度、燃焼空気量（空気比）・圧力・温度、 炉出口排ガス温度、補助燃料使用量
熱回収設備	ボイラードラム水位・圧力、蒸気流量・圧力、給水流量・温度、 ボイラー水電気伝導度、復水タンク水位、排ガス温度・差圧
排ガス処理設備	排ガス圧力・温度・流量、 排煙処理塔液位・冷却水量・内部ガス温度・排水温度・循環水 pH、 排ガス O ₂ 濃度・SO _x 濃度・NO _x 濃度・HCl 濃度・CO 濃度 ・N ₂ O 濃度・ばいじん濃度
灰搬出設備	灰バンカ重量
ユーティリティ設備	ろ過水水位・流量、補助燃料貯留量、苛性ソーダ液位・流量

(9) 安全対策

従来の汚泥焼却設備と同様の安全対策（火傷防止、落下・転落防止、巻込まれ防止、酸欠防止等）を行う。また脱水汚泥が滞留する個所、脱水汚泥が加温される個所(焼却炉)、排気、排水等、臭気の発生が予想される個所には必要に応じて、密閉または臭気吸引及び換気を行い、捕集した臭気は脱臭処理を行う。

脱臭方式としては焼却炉の燃焼空気として炉内に送風する燃焼脱臭を基本とする。焼却炉停止時は、既存施設での処理を基本とするが、既存施設が無い場合、脱臭条件等を考慮の上、適切な脱臭方式を選定する。

なお、低含水率化設備より発生する低含水率脱水汚泥は、無機凝集剤であるポリ硫酸第二鉄を使用しているため、S 分を含む臭気物質を抑制する効果がある。そのため、従来の一液調質脱水汚泥と比較した場合の臭気濃度は低いという特徴がある（資料編 1.5 その他の実証研究結果 P. 151, 152 参照）。

§ 26 エネルギー変換設備の設計

基本計算を基に、エネルギー変換設備の設計を行う。

- (1) 設計条件の設定
- (2) 蒸気発電機の設計
- (3) ユーティリティ設備の設計
- (4) 電気・計装設備の設計
- (5) 安全対策

【解 説】

(1) 設計条件の設定

設備設計を行うに当たってはエネルギー回収設備の稼働時間や負荷率を加味した上で設定を行う必要がある。また、§ 20 の基本計算に基づいた、発電量の算定結果から決定する。

(2) 蒸気発電機の設計

蒸気発電機は § 20 で選定した発電方式に応じた設備設計を行う。各蒸気発電機の設計上の留意点を下記に示す。

1) 小型蒸気発電機

本発電機は供給蒸気量および供給蒸気圧力と排蒸気の圧力差により性能が決まる。仕様・性能はカタログ等にて決定する。

ユーティリティは潤滑油装置の冷却水としてろ過水が必要であるが、水質によっては適用できない場合があるため、その場合上水を用いるか、潤滑油冷却器の材質変更を行う。

非常停止時を考慮して、本発電機をバイパスする蒸気ラインを設ける（図 4-6）。

2) バイナリー発電機

本発電機は熱源に低圧蒸気を用いる方式を選定する。一般的に供給蒸気量および圧力、冷却水量および温度により性能が決まる。仕様・性能はカタログ等にて決定する。また、小型蒸気発電機との組み合わせが可能である。

ユーティリティとして、冷媒を凝縮させるための冷却水としてろ過水が必要である。冷却水は比較的多量に必要であることから、必要水量の確認を行うとともに、使用した後についても排ガス処理設備の冷却水に使用するなど、システム全体としての必要量が少なくなるよう設定する。

非常停止時を考慮して、本発電機をバイパスする蒸気ラインを設ける（図 4-7）。

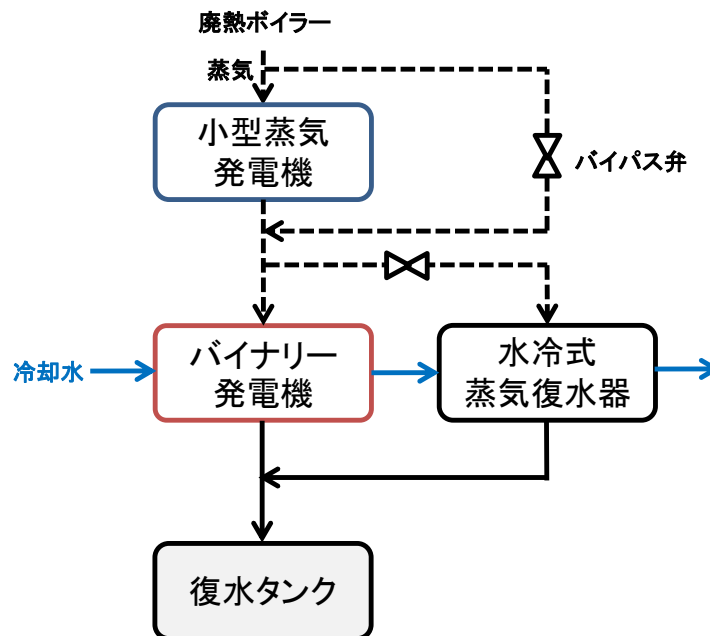


図 4-7 蒸気発電機のバイパスライン

なお、参考として復水タービン発電の設計上の留意点を下記に示す。

※復水タービン発電

本発電方式は供給蒸気量および供給蒸気圧力と排蒸気の圧力差により性能が決まる。

本発電方式の蒸気品質については、不純物が含まれるとタービンブレードに付着物が生じ、付着物による錆はブレードの繰り返し曲げ応力を低下させる要因となることから、ボイラー水質を考慮する。

復水タービン発電の付属品の各部構成を下記に示す。

① 水冷復水器

蒸気タービンの出口蒸気圧力を真空まで減圧させるため、冷却水にて蒸気を復水化させる。

② 復水ポンプ

水冷復水器からの復水を復水タンクに送水するためのポンプである。

③ 潤滑油装置

蒸気タービンの各所の潤滑油の供給に用いる。

(3) ユーティリティ設備の設計

本設備のユーティリティ設備としては、ろ過水給水設備が必要であるが、本設備のみに使用

するものではないため、各機器での使用量を把握した上で、エネルギー回収設備のユーティリティ設備の設計にて合わせて行うこと。

(4) 電気・計装設備の設計

蒸気発電機は機種により電圧が決まっているが、必ずしも施設の電圧と一致するとは限らない。その場合、電圧を一致させるための変圧器が必要となる。

また、発電電力を系統連系させるためには、系統連系リレー盤（保護継電器）の設置が必要であるため、電力会社との連系協議結果に基づき仕様を決定する。発電量が消費電力を上回る場合など、一定量の消費電力以下になれば保護継電器からの動作信号により、蒸気発電機を停止させる。

計装設備については、採用する蒸気発電機に必要な計測機器を設ける。各ラインにおける主な計測項目を表 4-9 に示す。

表 4-9 エネルギー変換設備の主な計測項目

ライン名称	計測項目
蒸気	流量計、圧力計、温度計
冷却水	流量計、圧力計、温度計
潤滑油	温度計
冷媒	温度計

(5) 安全対策

蒸気発電機は機種毎に電気事業法に準じて、必要な保安装置（非常停止装置等）を有している。そのため、基本的には蒸気発電機側で異常時は停止する制御としているため、特段の安全対策は不要である。

§ 27 監視制御システム

本システムの運転操作・監視と自動運転制御、運転データ管理を行うための設備の設定をする。

【解 説】

監視制御システムは、本システムの運転を監視制御し、運転情報を処理する PLC (Programmable Logic Controller) などのデジタル制御機器及び、現場盤、補助リレー盤等からなる運転操作設備、操作室における監視操作盤などの監視制御設備などから構成される。

監視制御システムの設定にあたっては、全体計画、管理体制、操作員の技術レベル、監視制御方式、経済性等を考慮し、各設備の機能を十分に活用して、目的に適合するものを導入する必要がある。

本システム導入時は、システム全体が監視できるものとする必要があるため、低含水率化設備からエネルギー変換設備まで同一の監視制御システムで構成する必要がある。しかし、既存設備からの更新の場合、脱水側と焼却側で別のシステムを使用していることもあり、そうした場合には適切に改造を行う必要がある。

第5章 維持管理

第1節 運転管理

§ 28 導入効果を高める管理の要点

導入目的の観点を考慮して、汚泥処理施設全体としての維持管理コストおよびエネルギーマネジメントが可能となるよう、システム全体を管理する。

【解 説】

本システムは、「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」の3つの技術からなる設備を組み合わせたものであり、維持管理コストおよびエネルギーマネジメントを良好なものとするためには、これらの設備を各々で適切に管理し、全体システムとして期待される効果を発揮させる必要がある。

そのため、各技術については、以下に示す観点での管理が必要となる。

(1) 低含水率化設備

安定的な脱水状況を維持するため、脱水機に投入する汚泥濃度、汚泥量や薬品供給量（高分子、無機凝集剤）を適正に管理する。低含水率化設備の前段における汚泥処理（水処理からの汚泥引抜等）について、運転管理の都合によっては数日間の貯留による腐敗影響により、脱水性能が低下することがあるため（資料編 1.3 低含水率化技術実証試験結果 P. 127～131 参照）、貯留を伴わない運転管理をすることが望ましいが、貯留が必要な場合はその日数が多くならないような運転とする必要がある。また脱水機へ供給する汚泥濃度の変動を抑え、高い濃度で安定化させる管理とすることで、汚泥脱水機から排出する脱水汚泥の低含水率化が安定する（資料編 1.3 低含水率化技術実証試験結果 P. 132 参照）。脱水汚泥の発熱量が高いほど脱水汚泥単位重量当たりのエネルギー回収量が多くなることから、適正な運転条件を整えることにより可能な範囲で出来るかぎり低含水率化を行うことが有効である。立上げ後は概ね15分程度で定常運転となるため、後段設備の運転状況に応じた運転を行う（資料編 1.5 その他の実証研究結果 P. 148 参照）。

(2) エネルギー回収・変換設備

安定的な焼却状況を維持するため、焼却炉に投入する脱水汚泥量や燃焼空気量（空気比）、炉内各部の温度等を適正に管理する。これにより廃熱ボイラーから蒸気を安定して効率的に回収することが可能となる。本設備の運転管理について、維持管理コストへの影響が大きい条件についての留意点を下記に示す。

1) 燃焼空気量（空気比）

燃焼空気量（空気比）を適正に管理することで、自燃時は排ガス温度の高温化、助燃時は補助燃料使用量を削減させることができる（資料編 1.4 エネルギー回収・変換技術実証試験結果 P. 139, 140 参照）。

2) 焼却温度

焼却温度は 800℃以上で運転管理を行う必要があり、これを下回る場合は補助燃料を使用して温度を確保する。なお、N₂O の削減には焼却温度が高いほど効果があるため、より高温での運転を行うことが好ましい（資料編 1.4 エネルギー回収・変換技術実証試験結果 P. 137, 138 参照）。

3) 稼働率・負荷率

本設備は立上げ時に補助燃料を使用し、設定条件の脱水汚泥含水率の範囲においては、立上げ後一定時間経過した後に自燃運転が可能となることから、定格負荷条件で運転する場合、補助燃料の使用は概ね立上げ時のみとなる（資料編 1.5 その他の実証研究結果 P. 148, 149 参照）。また発生蒸気量は、立上げ後一定時間経過した後に計画値に達し、定格負荷条件にて運転を行えば安定的なエネルギー回収ならびに電力への変換を行うことができる。そのため、運転停止を繰り返すような運転を行う場合、年間の補助燃料使用量の増加や発電量の減少となる。

一方、低負荷にて連続運転を行う場合、負荷条件によっては補助燃料が必要となる場合が生じる。また発生蒸気量は定格負荷条件に対し少なくなり（資料編 1.4 エネルギー回収・変換技術実証試験結果 P. 138, 139 参照）、蒸気発電機に投入する蒸気量が少ないほど効率は低くなるため、発電量が減少する。

複数の焼却炉が設置されている場合、本設備の負荷率を定格負荷条件とし、他の発電を行わない焼却炉で稼働率ならびに負荷率を調整することが有効である。

また、負荷率・稼働率を高めるため脱水汚泥を長期間貯留する場合、日数経過により性状が変動するため（資料編 1.5 その他の実証研究結果 P. 150 参照）、これらの事項を考慮しながらもっとも維持管理コストが低くなる方法を選択することが好ましい。

なお、条件によっては間欠運転も有効な場合がある。再立上げに必要な時間や補助燃料使用量の例については資料編 1.5 その他の実証研究結果 P. 149 を参照されたい。

§ 29 運転管理項目

導入システムの運転管理では、各設備に対して、測定、分析、解析を行い、適正な運転が行われていることを確認する。

- (1) 低含水率化設備
- (2) エネルギー回収設備
- (3) エネルギー変換設備

【解 説】

- (1) 低含水率化設備

安定的な脱水状況を維持するための主な管理基準を表 5-1、表 5-2 に示す。

表 5-1 汚泥脱水機の管理基準

項 目	測定方法	管理基準	備 考
汚泥濃度	連続・間欠	安定していること	自動計測・分析
汚泥供給量	連続	必要量（一定値）	自動計測
高分子凝集剤注入量	連続	設定値	自動計測
無機凝集剤注入量	連続	設定値	自動計測
差速回転数	連続	設定値	自動計測
差速電流値	連続	設定値	自動計測
脱水汚泥含水率	間欠	目標値以下	管理者による分析
分離液 SS 濃度	間欠	SS 回収率設定値	管理者による分析

表 5-2 高分子凝集剤溶解装置の管理基準

項 目	測定方法	管理基準	備 考
給粉量	間欠	設定値	管理者による計測
給水量	間欠	設定値	目視確認
溶解濃度	間欠	設定値	管理者による分析

- (2) エネルギー回収設備

安定的な焼却状況を維持するための主な管理基準を表 5-3～5-7 に示す。

表 5-3 焼却炉廻りの管理基準

項 目	測定方法	管理基準	備 考
脱水汚泥供給量	連続	設定値	自動計測
炉内温度	連続	安定していること	自動計測
炉内圧力	連続	-0.05kPa 程度	自動制御
空気比（燃烧空気量）	連続	1.2~1.4	空気量自動制御
燃烧空気圧力	連続	安定していること	自動計測
燃烧空気温度	連続	安定していること	自動計測
炉出口ガス温度	連続	800℃以上	自動計測
補助燃料使用量	連続	自燃時は 0	自動計測

表 5-4 廃熱ボイラー廻りの管理基準

項 目	測定方法	管理基準	備 考
ボイラードラム水位	連続	規定水位	自動制御
ボイラードラム圧力	連続	規定圧力	自動制御
蒸気流量	連続	安定していること	自動計測
蒸気圧力	連続	安定していること	自動計測
ボイラー水電気伝導度	連続	JIS 基準値以下	自動計測
軟水水質（軟水装置）	日常点検	規定硬度以下	管理者による分析
給水量	連続	必要量	自動制御
出口ガス温度	連続	運転計画値以下	管理基準値以上で 煤吹き装置運転
ボイラー差圧	連続	運転計画値以下	同上
その他	日常点検	保安規程による	保安規程による

※ 保安規程とは、自家用電気工作物（ボイラー、発電機など）を設置するものが、電気事業法の規程により使用開始前に所轄の経済産業省産業保安監督部へ届け出るものである。

表 5-5 排ガス集じん器廻りの管理基準

項 目	測定方法	管理基準	備 考
入口ガス温度	連続	運転計画値以下	自動制御
集じん器差圧	連続	運転計画値以下	自動逆洗
排ガス流量	連続	安定していること	自動計測

表 5-6 排煙処理塔廻りの管理基準

項 目	測定方法	管理基準	備 考
冷却水量	連続	設定値	自動計測
内部ガス温度	連続	運転計画値以下	
排水温度	連続	運転計画値以下	
循環水 pH	連続	設定値 (排気筒出口 SOx 濃度により変更)	苛性ソーダ注入量の自動制御
苛性ソーダ流量	連続	安定していること	自動計測

表 5-7 公害監視機器の管理基準

項 目	測定方法	管理基準	備 考
酸素	連続	安定していること	
硫黄酸化物	連続	規制値以下	
窒素酸化物	連続	規制値以下	
一酸化炭素濃度	連続	100ppm 以下	乾き O ₂ 12%換算値 1 時間移動平均値
ばいじん量	連続	規制値以下	
ダイオキシン類	1 回/年以上	規制値以下	

※大気汚染防止法、ダイオキシン類対策特別措置法の排出基準による。

※実施にあたっては政令による特別排出基準、条例による上乗せ基準、総量規制基準等を確認のこと。

(3) エネルギー変換設備

効率的な発電を確立させるための主な管理基準を表 5-8、表 5-9 に示す。

表 5-8 蒸気発電機（小型蒸気発電機）の管理基準

項 目	測定方法	管理基準	備 考
入口蒸気流量	連続	安定していること	自動計測
入口蒸気圧力	連続	運転計画値	自動制御
出口排気圧力	連続	運転計画値	自動制御
潤滑油温度	連続	運転計画値以下	温度高で自動停止
その他	日常点検	保安規程による	保安規程による

※ 復水タービン発電は本表に準じる。

表 5-9 バイナリー発電機の管理基準

項 目	測定方法	管理基準	備 考
入口蒸気流量	連続	安定していること	自動計測
入口蒸気圧力	連続	運転計画値	自動制御
出口復水温度	連続	運転計画値以下	自動計測
冷却水量	連続	運転計画値以上	自動計測
冷却水圧力	連続	運転計画値以下	自動計測
冷却水温度	連続	運転計画値以下	自動計測
冷媒温度	連続	運転計画値以下	自動計測
その他	日常点検	保安規程による	保安規程による

第2節 保守点検

§ 30 保守点検

導入システムを長期間、適切な状態に維持するために、点検整備を実施する。

- (1) 日常点検
- (2) 定期点検
- (3) 法定点検

【解 説】

(1) 日常点検

日常点検は、設備の安定運転を維持するために、機器毎に規定の頻度で必要な項目に関し、運転中に実施するものであり、主要項目を表 5-10 に示す。

参考に本点検リストの一例を本節末尾に添付する。

表 5-10 日常点検主要項目

機器分類	項目
各機器共通	腐食、破損、変形、漏れ、汚れ、錆、塗装剥離、ボルト等緩み
搬送機器	詰まり、付着固着、摩耗、チェーン等の張り
駆動機器	異音、振動、発熱、油量、電流値
計器類	指示値
分析計類	標準ガス残量、校正
薬液タンク類	残量確認（補充）
電気工作物※	自主保安管理（詳細は保安規定による）

※ 電気工作物：廃熱ボイラー、蒸気発電機、バイナリー発電機 など

(2) 定期点検

定期点検は、設備を長期的に維持するために、機器毎に規定の頻度で必要な項目に関し、停止中に実施するものであり、主要項目を表 5-11 に示す。

参考に本点検リストの一例を本節末尾に添付する。

表 5-11 定期点検主要項目

機器分類	項目
各機器共通	開放、清掃、調整、増締、整備、補修、部品交換、油補充交換
計器類	校正（必要に応じて）
ダンパ、弁類	整備、交換
廃熱ボイラー	満水保缶・窒素封入または全ブロー乾燥保缶（休炉時対応）
電気工作物	自主保安管理（詳細は保安規定による）

(3) 法定点検

法定点検は、法的に定められた頻度で必要な項目に関し実施するものであり、例として表 5-12 に示す事項が挙げられる。

表 5-12 法定点検項目

機器分類	項目
廃熱ボイラー	電気事業法に基づく定期自主検査及び安全管理審査（1 回/2 年）
安全弁	電気事業法に基づく定期自主検査及び安全管理審査（1 回/2 年）

※発電量が 1,000kW を超える場合は、発電機においても 4 年に 1 回の法定点検が必要となる

なお、脱水機（労働安全衛生法）、排ガス分析（大気汚染防止法）、消防設備（消防法）、作業環境ダイオキシン類測定（労働安全衛生法）については、従来設備に準じて実施する。

第2節 保守点検

日常点検・定期点検リスト（例）

1/2

点 検 リ ス ト
平成 年 月 日

設 備 名 称		受入供給設備		点検要領 (●は停止時、○は運転時を示す。◎は法定点検を示す。)										点検実施者			
機 器 名 称		No.1 汚泥搬送コンベヤ															
No.	点 検 箇 所	点 検 項 目	毎日	1週間毎	1ヶ月毎	3ヶ月毎	6ヶ月毎	1年毎	2年毎	点 検 方 法	判 定 基 準	良 否 判 定	備 考				
1	コンベヤ本体	電流値は正常か	○							電流計 目視	正常時に比べて						
		異音・異常な振動は無い	○							聴音・触手	正常時に比べて						
		投入量は正常か、出入口に詰りは無い	○							点検口	目視、詰りが無い事						
2	軸受	発熱・振動は無い	○							目視・触手	正常時に比べて						
		異音は無い	○							聴音	正常時に比べて						
		ボルトの弛みは無い			○					増し締め	弛みの無い事						
3	主務チェン	チェンの張りは正常か	○							点検口 目視	正常時に比べて						
		息付運転は無い	○							点検口 目視	正常時に比べて						
		チェンの片寄りはない		○						点検口 目視	正常時に比べて						
		スクレーバに曲りは無い		○						点検口 目視	異常の無い事						
		スクレーバに摩耗は無い		○						点検口 目視	異常の無い事						
		搬送物の固着は無い			○					点検口 目視	正常時に比べて						
		チェンの屈曲は良い			○					点検口 目視	正常時に比べて						
		チェン部品に摩耗は無い						●		調整ケース解放分解点検	約2割摩耗で交換推奨						

2/2

点 検 リ ス ト
平成 年 月 日

設 備 名 称		受入供給設備		点検要領 (●は停止時、○は運転時を示す。◎は法定点検を示す。)										点検実施者			
機 器 名 称		No.1 汚泥搬送コンベヤ															
No.	点 検 箇 所	点 検 項 目	毎日	1週間毎	1ヶ月毎	3ヶ月毎	6ヶ月毎	1年毎	2年毎	点 検 方 法	判 定 基 準	良 否 判 定	備 考				
4	スプロケット	左右の張力は正常か						●		開放点検 目視・スケール	芯ズレ修正						
		通り芯は良い						●		開放点検 目視・スケール	芯ズレ修正						
		摩耗は無い						●		開放点検 目視・転写	歯底摩耗 2mm 以上で交換推奨						
5	ピストンクリーナ	アーム位置は正常か	○							アクリル窓 目視	セット位置に対しズレは無い						
		クリーナの破損・損傷は無い	○							アクリル窓 目視	破損・損傷有れば交換						

第3節 緊急時の対応

§31 緊急時の対応

緊急時に本システムを含む汚泥処理設備が機能停止した場合、安全に停止するための対応と対策を示す。

【解 説】

(1) 停電発生時

停電時は全ての機器が停止し、燃焼はすぐに停止するが、誘引ファンも停止するため炉内が正圧になる危険性がある。そのため非常用排ガス放散ダンパを設け、緊急時にはこれを自動で開ける制御を設けることで、排ガスの排出先を確保し、速やかに系外へ排出する。

廃熱ボイラーについては、ボイラー給水ポンプが停止するとボイラーの水位が下がり、空焚きとなって水管が焼損してしまう恐れがあるため、非常用発電機によりボイラー給水ポンプが自動的に再起動可能な制御を設ける。

制御電源については、無停電電源装置を設け非常用負荷ラインに接続する。

(2) 地震発生時

地震発生時は、(1)と同様である。なお、立ち上げ時等のバーナ運転中に地震が発生した場合は、感震装置または運転員の判断により燃料ラインの遮断弁を閉止することで速やかに消火する。

(3) 蒸気発電機停止時の対応

蒸気発電機本体は、法で定められた警報装置および保護装置を具備することで保安を担保しており、不測の事態においても他機器に影響を与えずに速やかに停止するものとしている。蒸気発電機が停止した場合、蒸気発電機入口の蒸気遮断弁を即座に閉とし、蒸気を速やかにバイパス側に切り替える制御を設ける。

資 料 編

1. 実証研究結果	121
1.1 実証研究概要	121
1.2 実証試験概要	124
1.3 低含水率化技術実証試験結果	127
1.4 エネルギー回収・変換技術実証試験結果	135
1.4.1 エネルギー回収技術	135
1.4.2 エネルギー変換技術	143
1.4.3 投入熱量と発電量の関係	147
1.5 その他の実証研究結果	148
2. 簡易算定式	154
2.1 建設費算定式（費用関数）の導出方法	154
2.2 ユーティリティ消費量算定式	157
3. ケーススタディ	163
3.1 従来技術	163
3.2 革新的技術	171
3.3 段階導入時の試算	198
3.4 部分導入時の試算	200
3.5 下水処理場全体における削減効果の試算	209
4. 蒸気発電設備設置時の適用法令	211
4.1 発電ボイラーに必要な手続き	211
4.2 ボイラー・タービン主任技術者の選定	212
5. 参考文献	214
6. 問い合わせ先	215

1. 実証研究結果

1. 1 実証研究概要

(1) 実証研究

1) 研究名称

下水道バイオマスからの電力創造システムに関する技術実証研究

2) 実施者

和歌山市・地方共同法人日本下水道事業団・京都大学・株式会社西原環境・株式会社タクマ
共同研究体

3) 実施期間

平成 25 年 6 月 27 日～平成 26 年 3 月 31 日（平成 25 年度 委託研究期間）

平成 26 年 6 月 19 日～平成 27 年 3 月 31 日（平成 26 年度 委託研究期間）

4) 実施場所

実証施設設置場所：和歌山市中央終末処理場（所在地：和歌山県和歌山市三葛 510）

5) 処理対象

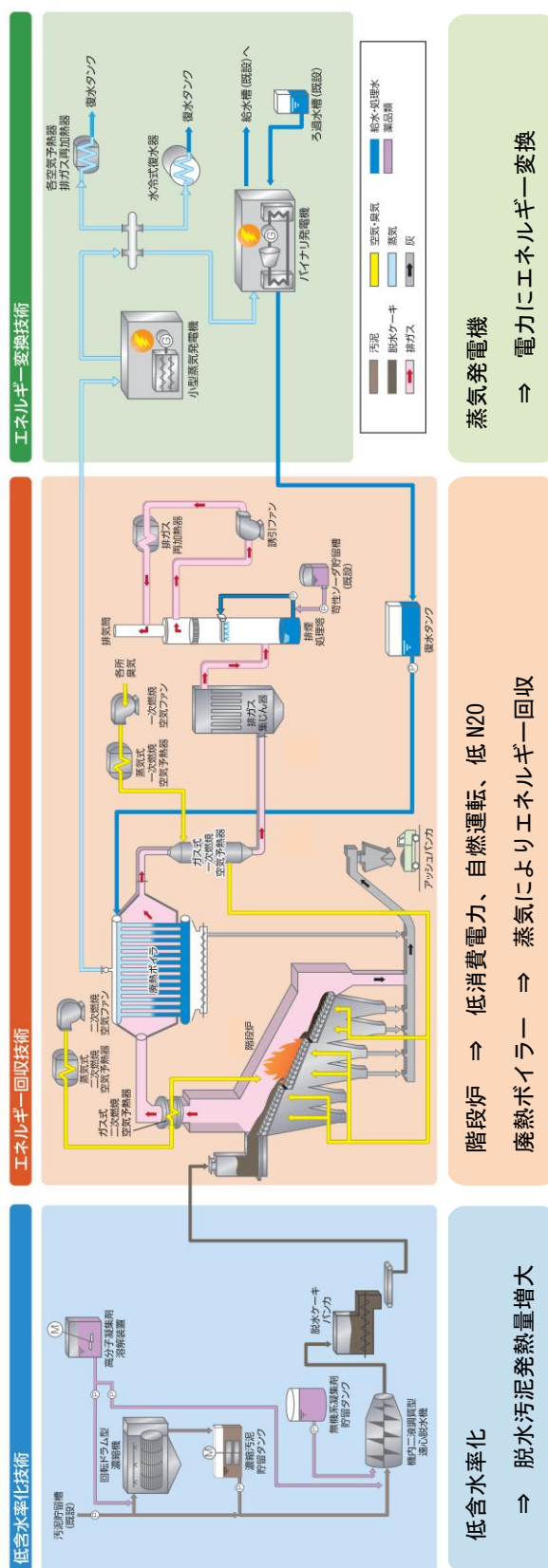
本設備の処理対象は混合生汚泥とした。

6) 焼却量

焼却量は 35t-wet/日とした。

7) 実証施設フロー

図資 1-1 に実証施設の概略フローを示す。



図資 1-1 実証施設概略フロー

8) 実証工程

表資 1-1 に実証工程を示す。

表資 1-1 実証工程

実証項目		平成 25 年度			平成 26 年度				特記事項
		6-9 月	10-12 月	1-3 月	4-6 月	7-9 月	10-12 月	1-3 月	
準備期間	実証施設の設計・製作	●→							
	各種届出	●→							
	実証施設設置工事	●→							
試験期間	機器動作試験			●→					
	各設備の運転最適化			●→	●→	●→●→●→●→●→		●→	
	立上げ時の運転性能把握			●→	●→	●→	●→		
	四季変動データ収集			●→		●→	●→●→		
	負荷変動・停止時の対応検討				●→	●→●→●→	●→		
	その他データ収集					●→●→●→		●→	

(2) 結果まとめ

表資 1-2 に実証研究結果のまとめを示す。

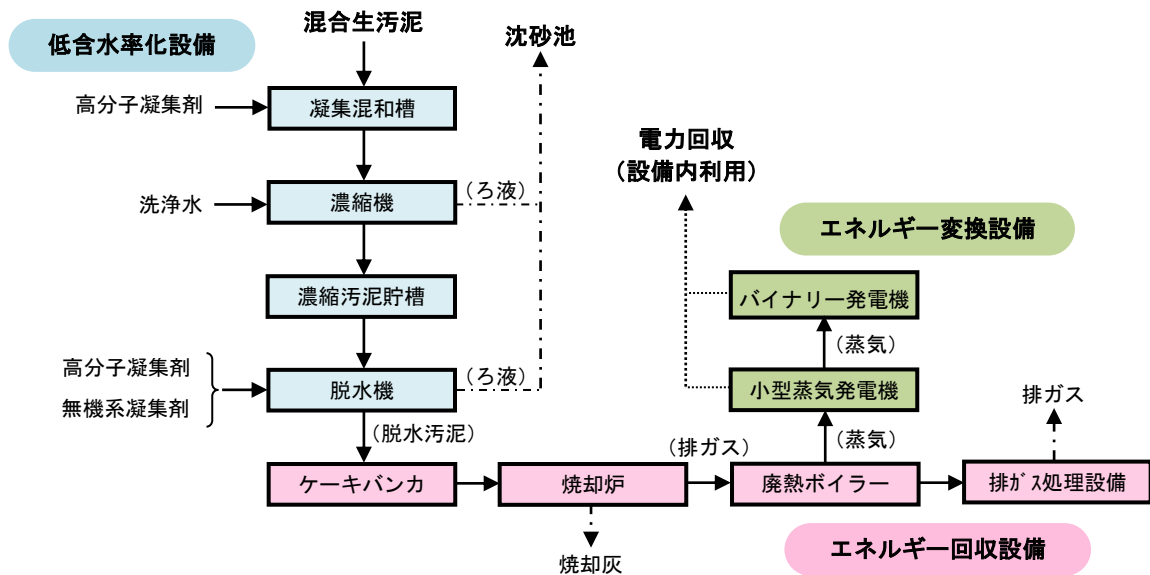
表資 1-2 実証研究結果まとめ

項目	結果
低含水率化技術	四季を通じて脱水污泥含水率 70%以下とすることができた (腐敗影響時を除く)
エネルギー回収技術	四季を通じて自燃できることを確認し、含水率が上昇し助燃が必要な場合においても、脱水污泥を環境性能として問題なく焼却することができた
エネルギー変換技術	計画通りの発電量が得られ、焼却設備消費電力を賄うことができた

1. 2 実証試験概要

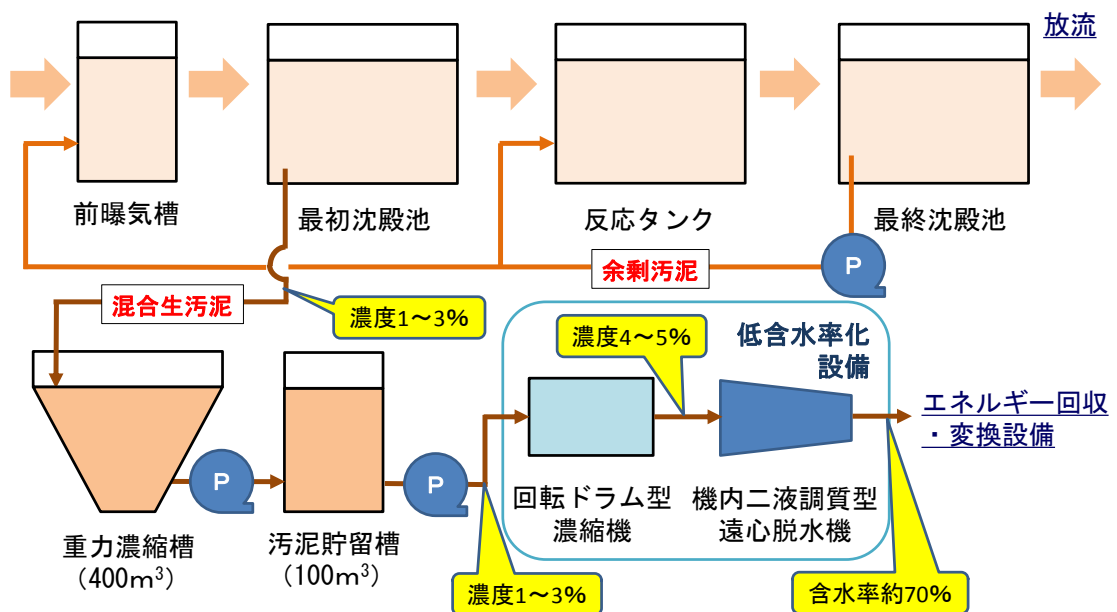
(1) 実証フロー

実証試験は和歌山市中央終末処理場に建設した実証施設にて行った。本実証設備は、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用いた各設備により構成される。全体設備のフローを図資 1-2 に示す。実証試験は水処理工程から引き抜かれる混合生汚泥を対象に実施した。



図資 1-2 全体設備フロー

当該処理場の水処理を含めた汚泥処理のフローを図資 1-3 に示す。



図資 1-3 汚泥処理フロー図

(2) 運転スケジュール

当該処理場は他の処理場（北部終末処理場）からの脱水汚泥を受け入れており、その処理を既存の焼却炉（流動炉）で行っている。そのため、既存焼却炉運転との兼ね合いから、実証運転期間は月 10 日間程度とした。

また、実証運転開始直後は既存の焼却炉停止直後から水処理側含め貯留された汚泥を連続処理するため、24 時間連続運転を数日間実施する。その後、水処理側の管理値まで汚泥量が減った時点で汚泥処理を停止し、翌日からは日中のみの汚泥処理運転（約 10～12 時間）とした。なお、それ以外の時間（夜間）については、低含水率化設備、エネルギー変換設備は停止、エネルギー回収設備は温度保持とした。運転スケジュールの例を表資 1-3 に示す。

表資 1-3 運転スケジュールの例

日数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
準備・炉立上げ	→									
運転（24 時間連続）		→								
運転（日中のみ）				---	→	→	→	→		
立下げ・片付け									→	→

※破線部は低含水率化設備、エネルギー変換設備停止、エネルギー回収設備は温度保持

(3) 汚泥性状

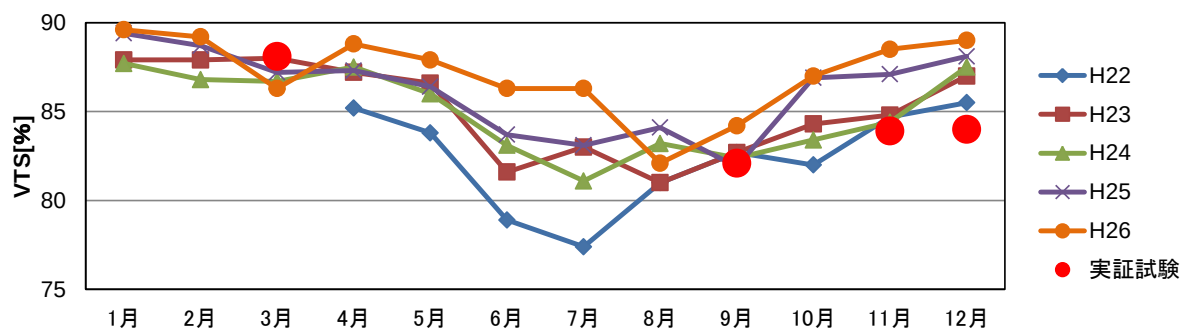
脱水汚泥含水率や性能の安定化にとって影響の大きい、低含水率化設備への投入汚泥（混合生汚泥）の性状について確認を行った。

1) 有機物濃度(VTS[%])

図資 1-4 に維持管理月報（平成 22 年度～平成 26 年度）による有機物濃度（VTS[%]）の年間特性と、実証期間中の有機物濃度（VTS[%]）特性を赤丸プロットで示す。

各年度により若干のバラツキはみられるものの、低水温期（12～4 月）は比較的高い値を示し、高水温期（5～11 月）には低下する傾向を示している。これは水温による汚泥活性度の変化に関連があると考えられ、混合生汚泥の傾向としては一般的なものであった。

実証期間中は過年度の変動特性に概ね一致しており、実証施設における平均的な特性、性状であったと判断できる。



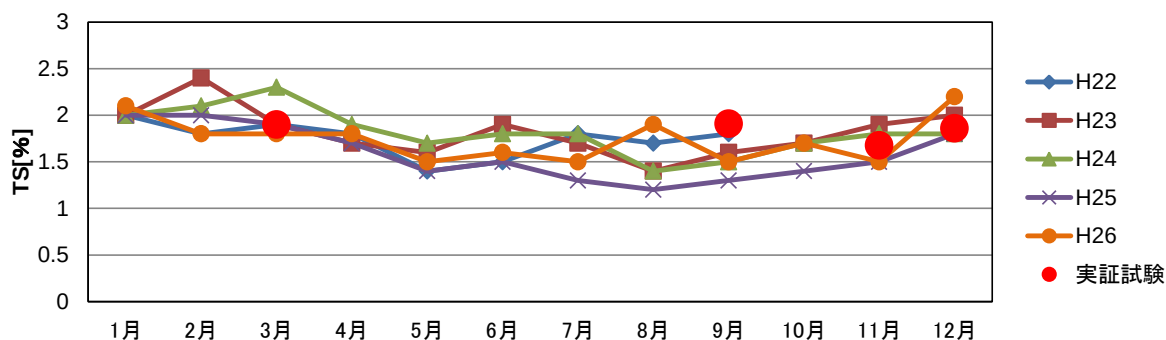
図資 1-4 有機物濃度の年間特性（実証期間：赤丸）

2) 固形物濃度(TS[%])

図資 1-5 に維持管理月報（平成 22 年度～平成 26 年度）による固形物濃度（TS[%]）の年間特性と、実証期間中の固形物濃度（TS[%]）特性を赤丸プロットで示す。

低水温期（12～4 月）は高い値を示し、高水温期（5～11 月）は低下する傾向が見られるが、その傾向は比較的緩やかであった。

実証期間中は過年度の変動特性に概ね一致しており、実証サイトにおける平均的な特性、性状であったと判断できる。



図資 1-5 固形物濃度の年間特性（実証期間：赤丸）

1. 3 低含水率化技術実証試験結果

低含水率化設備は、施設から排出される混合生汚泥を脱水処理し、後段のエネルギー回収設備に移送・投入する。低含水率化設備の運転性能はシステム全体の性能に大きな影響を与える因子であり、その特性の把握や安定性を評価することが重要である。そこで低含水率化設備から排出される脱水汚泥含水率や安定性に影響を及ぼす因子、運転の最適化方策等について実証・確認した。

(1) 運転条件

低含水率化設備の運転条件を表資 1-4 に示す。

表資 1-4 低含水率化設備の運転条件

管理項目	運転条件
高分子凝集剤薬注率（濃縮機）	約 0.3%-TS
高分子凝集剤薬注率（脱水機）	約 0.7%-TS
無機凝集剤薬注率（脱水機）	20%-TS 以下
処理汚泥量（濃縮機）	30.0m ³ /h
処理汚泥量（脱水機-濃縮有り）	10.5m ³ /h
処理汚泥量（脱水機-濃縮無し）	15.0m ³ /h
SS 回収率（濃縮機）	97%以上
SS 回収率（脱水機）	97%以上

(2) 運転性能評価

1) 運転性能

気温・水温・天候や処理状況等による汚泥性状変化が性能安定性に与える影響を、四季の試験により確認した。図資 1-6～13 に春季（3 月）、夏季（8～9 月）、秋季（11 月）、冬季（12 月）に実施した試験の結果を示す。データ取得期間は下記の通りである。

3 月（春季）：平成 26 年 3 月 5～8 日

8～9 月（夏季）：平成 26 年 8 月 31 日～9 月 5 日

11 月（秋季）：平成 26 年 11 月 5 日～9 日

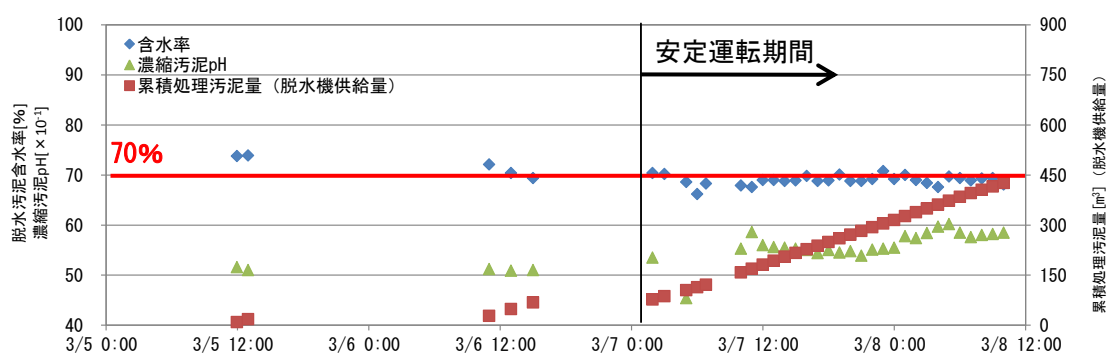
12 月（冬季）：平成 26 年 12 月 3 日～ 9 日

低含水率化設備は、四季を通じて目標値である脱水汚泥含水率 70%を維持することが可能であった。しかし、汚泥を施設内に一時貯留したことの影響（腐敗）が原因と考えられる汚泥性状への影響が、安定した低含水率化性能に影響を与えることが確認された。

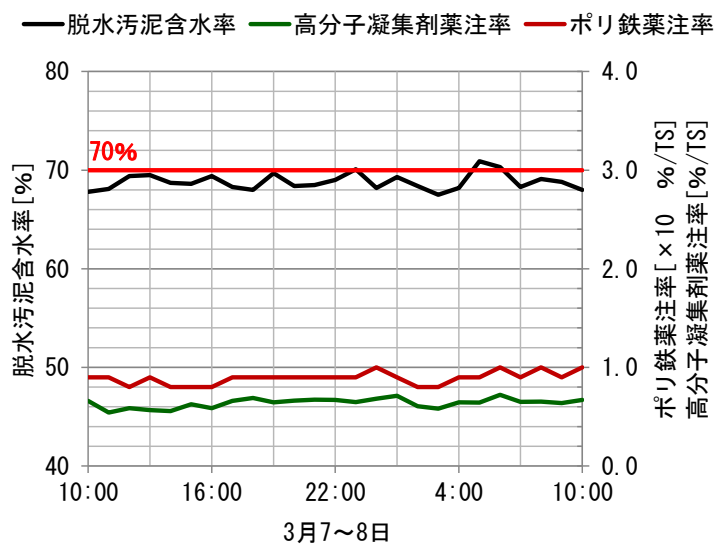
① 春季

図資 1-6 に春季（3 月）運転結果を示す。連続運転開始後約 2 日間は、70%を超える脱水汚泥含水率であったが、継続運転 3 日目以降は 70%程度での安定した運転が可能となった。その時の汚泥 pH 値はおおよそ 5.5 を超えた範囲にあった。なお、運転開始までの汚泥の貯留日数は 3 日であった。

図資 1-7 には安定運転期間中の連続サンプリングの結果（図資 1-6 からの一部抜粋）を示す。



図資 1-6 春季（3 月）運転結果

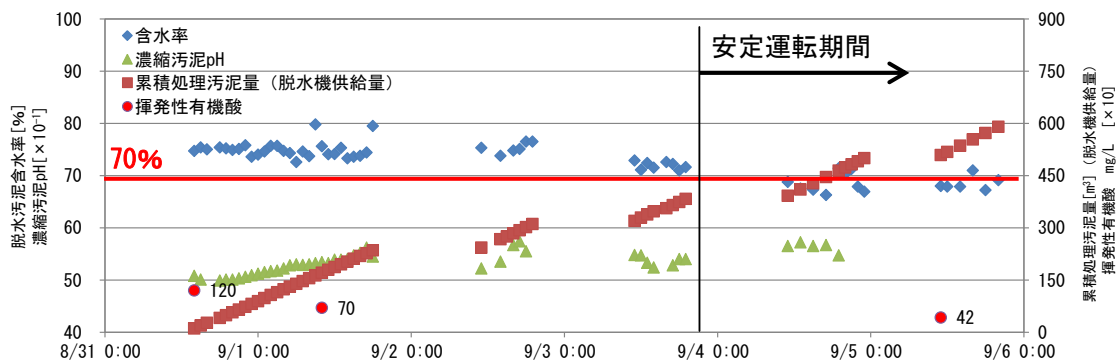


図資 1-7 春季（3 月）運転結果（安定運転期間）

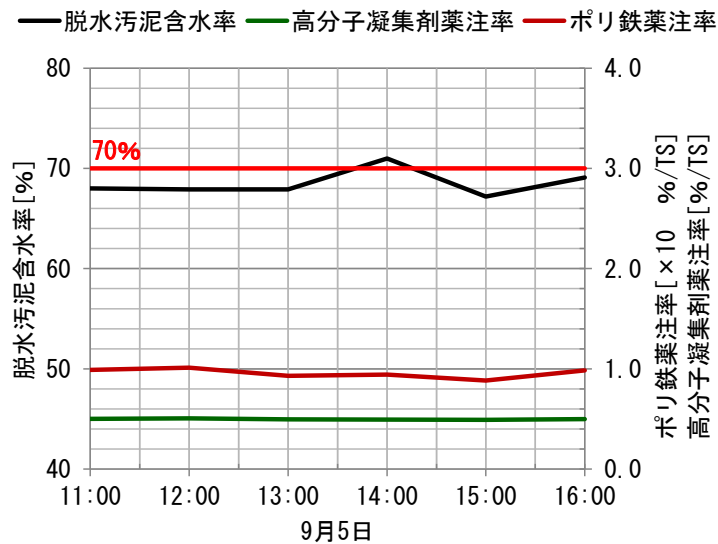
② 夏季

図資 1-8 に夏季（8～9 月）運転結果を示す。連続運転開始後 4 日間程度は、70%を超える脱水污泥含水率であったが、それ以降では 70%程度での安定した運転が可能となった。その時の污泥の pH 値はおおよそ 5.5 を超えており、春季と同等の範囲にあった。なお、運転開始までの污泥の貯留日数は 5 日であった。

図資 1-9 には安定運転期間中の連続サンプリングの結果（図資 1-8 からの一部抜粋）を示す。



図資 1-8 夏季（8～9 月）運転結果

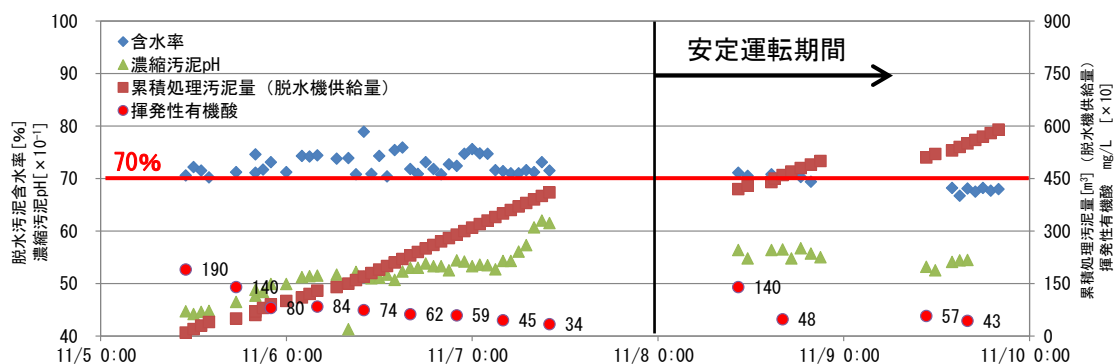


図資 1-9 夏季（8～9 月）運転結果（安定運転期間）

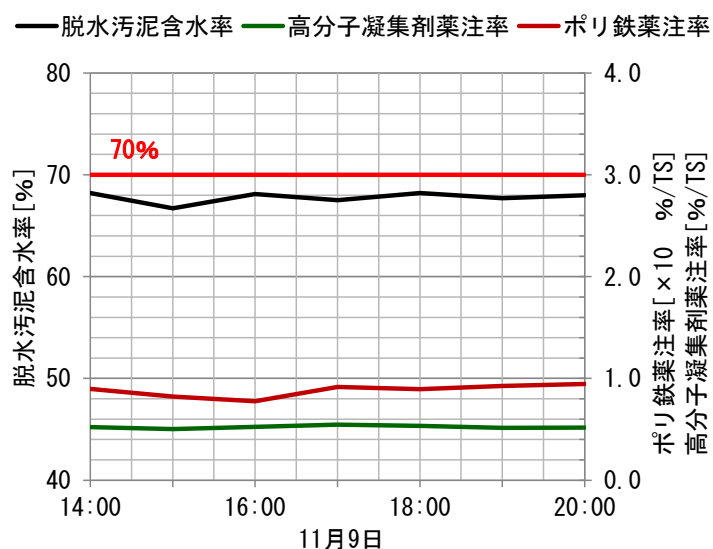
③ 秋季

図資 1-10 に秋季（11 月）運転結果を示す。連続運転開始時の汚泥 pH 値は、4.5 以下、揮発性有機酸は 1,900mg/L であり、夏季と比較して、貯留影響による汚泥の腐敗がより進行していると推察された。連続運転開始後 2 日間程度は、70%を超える脱水汚泥含水率であったが、それ以降では 70%程度での安定した運転が可能となった。その時の汚泥の pH 値はおおよそ 5.5 を超えており、春季、夏季と同等の範囲にあった。なお、運転開始までの汚泥の貯留日数は 3 日であった。

図資 1-11 には安定運転期間中の連続サンプリングの結果（図資 1-10 からの一部抜粋）を示す。



図資 1-10 秋季（11 月）運転結果

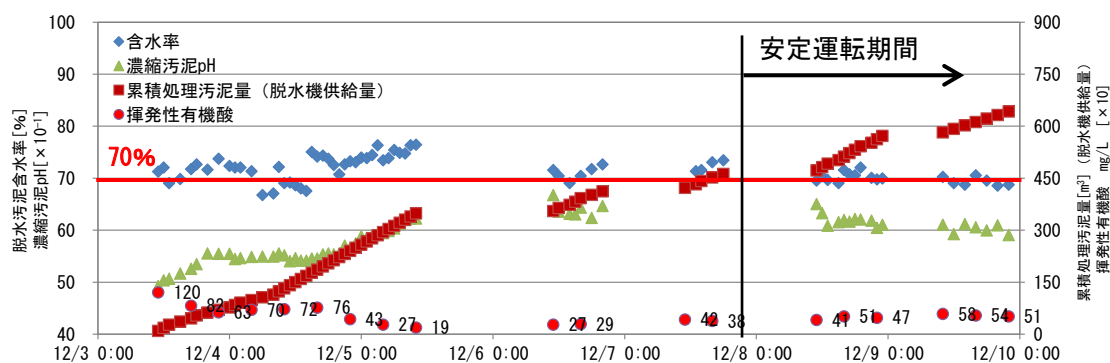


図資 1-11 秋季（11 月）運転結果（安定運転期間）

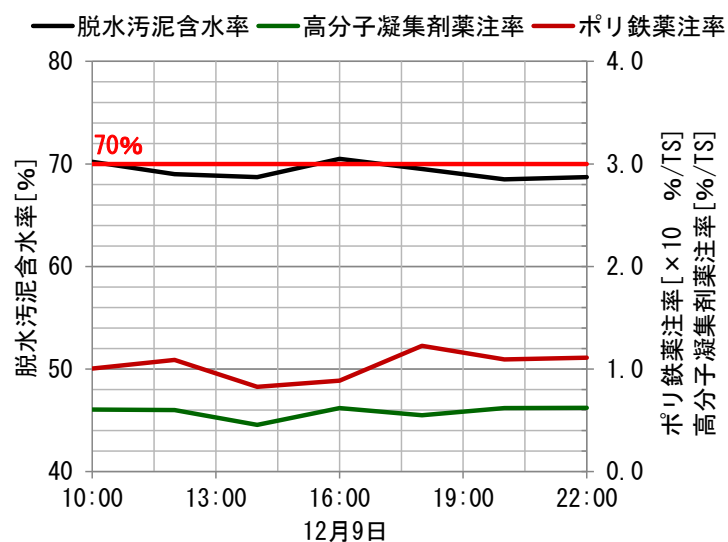
④ 冬季

図資 1-12 に冬季（12 月）運転結果を示す。連続運転開始後 5 日間程度は、70%を超える脱水污泥含水率であったが、それ以降では 70%程度での安定した運転が可能となった。その時の污泥の pH 値はおおよそ 5.5 を超えており、春季、夏季、秋季と同等の範囲にあった。なお、運転開始までの污泥の貯留日数は 3 日であった。

図資 1-13 には安定運転期間中の連続サンプリングの結果（図資 1-12 からの一部抜粋）を示す。



図資 1-12 冬季（12 月）運転結果



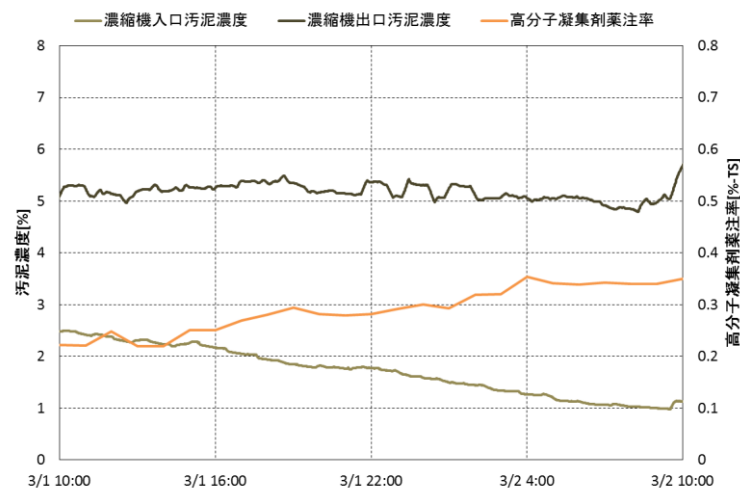
図資 1-13 冬季（12 月）運転結果（安定運転期間）

2) 汚泥濃度の安定化による性能評価

施設から発生する混合生汚泥濃度は、施設の運転状況等により変動する。本実証施設においては、汚泥濃縮機を導入することで脱水機への投入汚泥濃度が安定し、処理固形物の増大や脱水汚泥含水率の安定が可能となった。

① 汚泥濃縮機運転結果

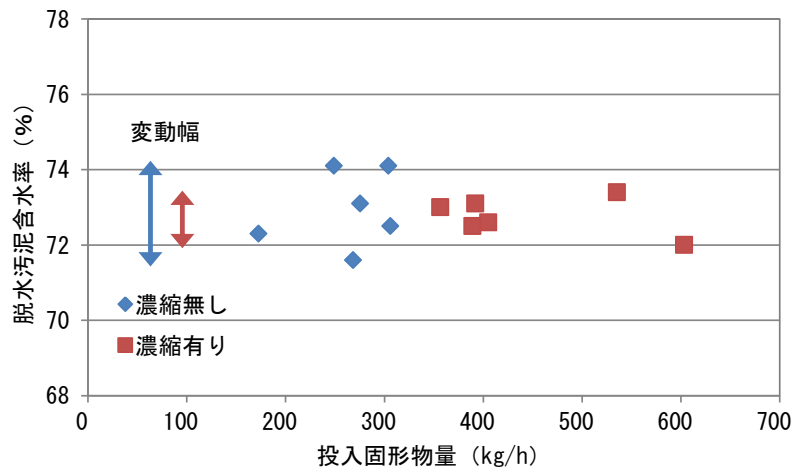
図資 1-14 に汚泥濃縮機の有無のそれぞれの汚泥濃度を示す。汚泥濃縮機を導入することで1.0～2.5%の濃度変動が4.8～5.6%に緩和されていることが確認できた。



図資 1-14 汚泥濃縮機の投入濃度と濃縮濃度の経時変化

② 汚泥脱水機運転結果

図資 1-15 に投入固形物量と脱水汚泥含水率との関係を示す。濃縮機有りの場合、脱水機への供給汚泥濃度が高くなり、脱水機で処理する固形物負荷が増大した。また、脱水汚泥含水率の変動幅が緩和され安定した。



図資 1-15 投入固形物量と脱水汚泥含水率

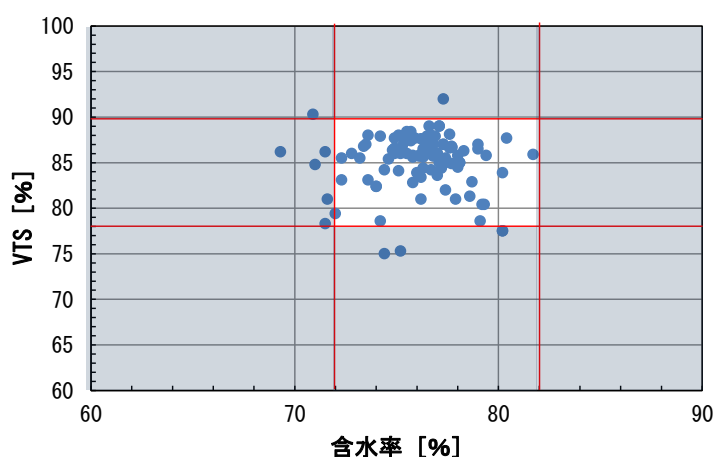
3) 低含水率化技術の一般性能

低含水率化技術の一般性能として、従来技術と比較して7～10ポイント（％）の範囲で含水率の低減が見込めることから、実証データならびに統計データを用いて一般性能の把握を行った。

① 従来技術脱水性能値の一般化

従来技術の脱水性能値の一般化については、平成22年度下水道統計データより下記条件にて抽出した。抽出したデータを図資1-16に示す。

- ・一般値の範囲は、水量30,000m³/日以上、混合生汚泥、高分子凝集剤のみを利用した施設を対象とした
- ・含水率は一般的な範囲として適当と判断できる72～82％の範囲とした
- ・VTSは一般的な範囲として適当と判断できる78～90％の範囲とした



図資 1-16 従来技術の脱水性能値（平成22年度下水道統計より抽出）

② 実証施設サイトにおける実証結果

実証サイト（和歌山市中央終末処理場）の既設脱水機（ベルトプレス脱水機）の含水率は、従来技術の一般値範囲内（平均含水率78.6％）に位置しているが、低含水率技術の実証運転結果では、8～10ポイント％（実証施設では平均9ポイント（％））の含水率低減が得られた。

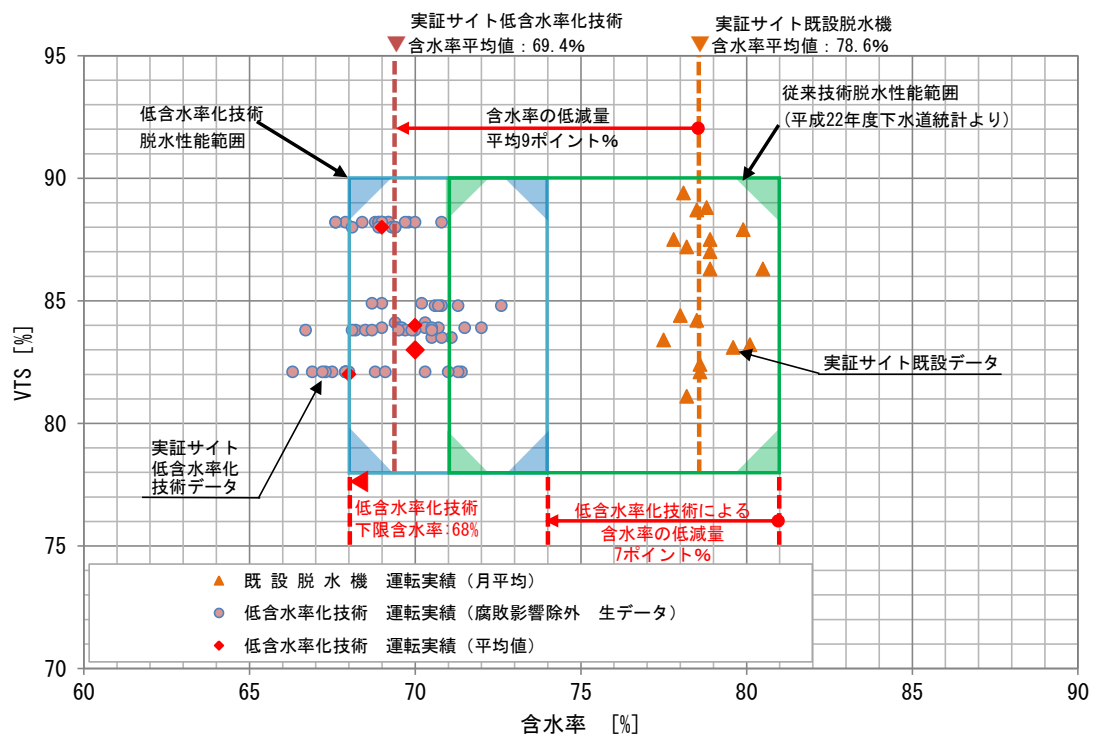
③ 低含水率化技術脱水性能値の一般化

低含水率化技術による脱水汚泥含水率の低減効果は、これまでの知見として7～10ポイント（％）が得られているが、一般化（幅広い汚泥性状に対する）に際して安定して得られる低減効果としては7ポイント（％）が適当と考えられる。この値は日本下水道事業団標準仕様書に示されている、遠心脱水機1液調質（従来技術）と機内2液調質（革新的技

術)の値の差とも同等であり妥当な値と言える。実証結果を踏まえた低含水率化技術の脱水性能範囲を図資 1-17 に示す。

一方、これまでの知見から、従来技術で含水率 75%程度以下に到達しているような比較的低含水率化が容易な汚泥性状においては、低含水率化技術を適用した場合でも、極端な低含水率(概ね 68%以下)を安定して維持できている実証サンプルは少ない。従って、低含水率化技術脱水性能値の一般化に際しての最低到達含水率は 68%に設定する。実証期間中に最も低下した含水率は約 66%(VTS82%)が得られているが、含水率には±2 ポイント%程度の変動幅が見られたことから、安定して得られた含水率は 68%と見るのが妥当と考えられる。68%を最低到達含水率と設定した場合でも、従来技術一般値範囲における脱水汚泥含水率 75%までは、7 ポイント低減に合致する。

なお実証サイトの実証結果のように、適用サイトによっては低含水率化技術の一般化低減量とした 7 ポイント%を超える低減効果を得られることが期待でき、その場合には本システムの導入効果が大きくなることになる。そのため実際の導入検討に際しては、実規模試験や遠沈ろ過試験といったラボテスト等を実施し検討の根拠とすることが望ましい。



図資 1-17 低含水率化技術の脱水性能範囲

1. 4 エネルギー回収・変換技術実証試験結果

1. 4. 1 エネルギー回収技術

エネルギー回収設備は前段の低含水率化設備より供給される低含水率脱水汚泥を、炉内乾燥機能を強化した革新型階段炉にて焼却し、その焼却廃熱を廃熱ボイラーにて蒸気により熱回収をおこない後段のエネルギー変換設備で発電を行う。エネルギー回収設備は目標性能である自燃運転の可否やエネルギー回収量に加え、環境性能についても評価することが重要である。そこでエネルギー回収設備の運転の安定性や最適化、環境性能について実証・確認した。

(1) 運転条件

エネルギー回収設備の運転条件を表資 1-5 に示す。

表資 1-5 エネルギー回収設備の運転条件

管理項目	運転条件
焼却量	35t-wet/日 (1.46t-wet/時)
脱水汚泥含水率	70%以下 (変動範囲として 68~72%)
廃熱ボイラー常用圧力	0.98MPa・G

エネルギー回収設備の環境性能条件を表資 1-6 に示す。なお、排ガス性状については排気筒に設置した排ガス連続分析計にて連続測定を行った。

表資 1-6 エネルギー回収設備の環境性能条件

管理項目		規制値
排ガス (排気筒)	NO _x	250ppm 以下 (O ₂ =12%換算)
	SO _x	165ppm 以下 (O ₂ =12%換算、K 値=1.75 以下)
	CO	100ppm 以下 (O ₂ =12%換算、1 時間平均)
	HCl	700 mg/m ³ _N 以下 (O ₂ =12%換算)
	ばいじん量	0.15/m ³ _N 以下 (O ₂ =12%換算)
焼却灰	熱灼減量	10%以下 (埋立処分先の受入基準より)

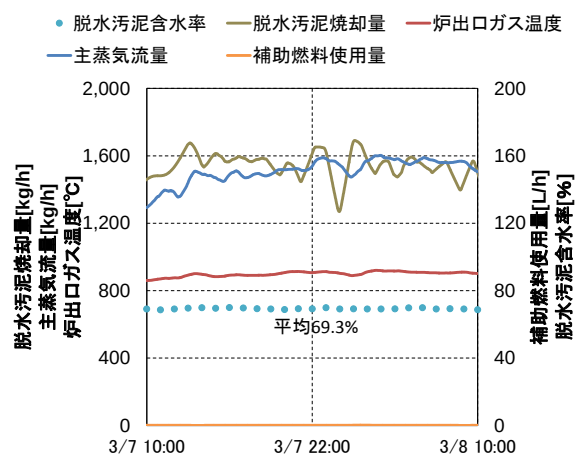
(2) 運転性能評価

1) 定格運転性能

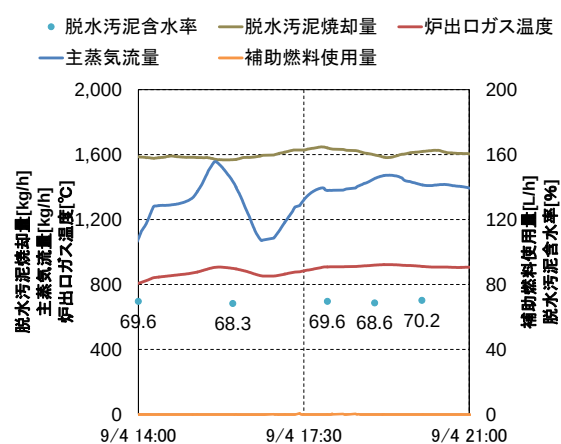
定格運転条件 (汚泥焼却量 1.46t-wet/h) における、各季節における焼却性能のトレンドデータを図資 1-18~21 に示す。トレンドデータの代表ポイントの結果を表資 1-7 に示す。

いずれの条件においても、自燃運転が安定的に継続できることを確認した。発生蒸気量につ

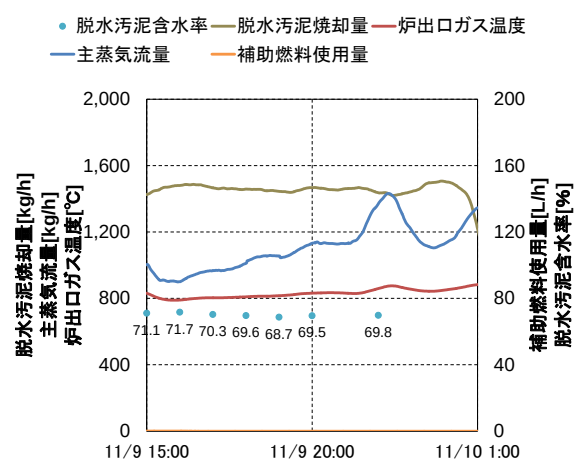
いては春季を除き、1.5t/h 未満であったが、春季以外は日中のみの間欠運転の影響によるものと考えられた。



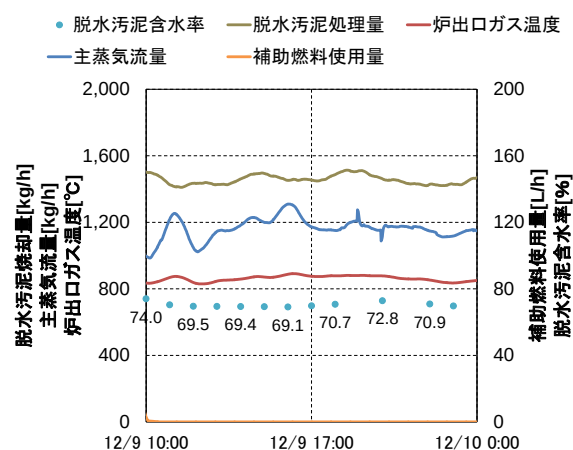
図資 1-18 春季（3月）運転時の性能



図資 1-19 夏季（8～9月）運転時の性能



図資 1-20 秋季（11月）運転時の性能

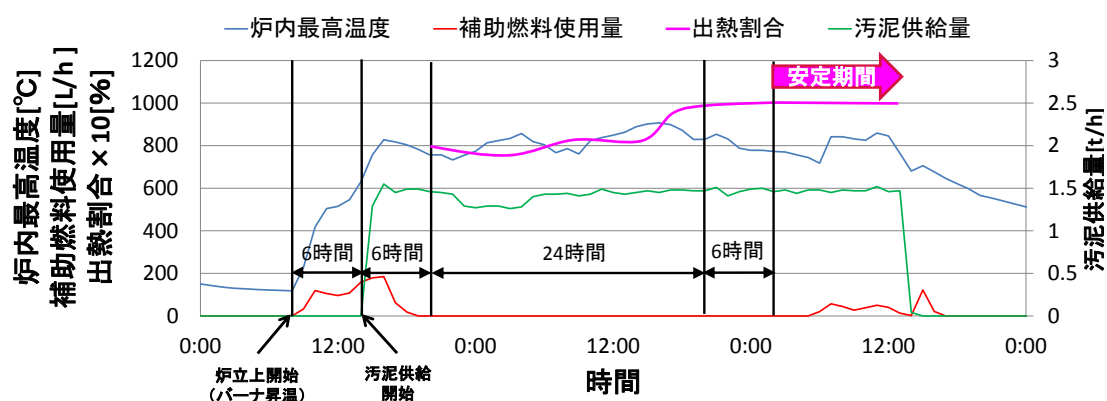


図資 1-21 冬季（12月）運転時の性能

表資 1-7 エネルギー回収設備の運転状況

項目	単位	設定条件	3月 （春季） 3/7-23時	8～9月 （夏季） 9/4-20時	11月 （秋季） 11/9-22時	12月 （冬季） 12/9-16時
含水率	[%]	70	69.9	70.2	69.8	69.1
炉出口温度	[°C]	800 以上	903	907	855	876
燃焼空気比（λ）	[-]	1.4 程度	1.30	1.17	1.24	1.20
補助燃料使用量	[L/h]	0	0	0	0	0
発生蒸気量	[t/h]	1.5	1.54	1.39	1.21	1.17

焼却炉は一般的に入熱と計算上の出熱が一致するまでに一定の時間を要し、その期間に入熱の一部が炉材等の蓄熱に用いられ入熱に対して出熱が少なくなり焼却炉の後段に設置された廃熱ボイラーでの熱回収量すなわち発生蒸気量が少なくなったものと考えられた。そこで、入熱と出熱が一致するまでに必要な時間を各ポイントにおける熱収支計算結果から把握を行った。入熱に対する出熱割合を算出し、プロットした結果を図資 1-22 に示す。本結果から概ね汚泥供給開始後 30 時間程度、炉立上開始からでは 36 時間程度で入熱に対する出熱割合が 100% となり、概ね安定することが確認された。そのため、日中のみの間欠運転時は入熱の一部が蓄熱に使用されたため、発生蒸気量が目標性能を下回った。



図資 1-22 出熱割合安定までの時間（冬季：12 月）

2) N_2O

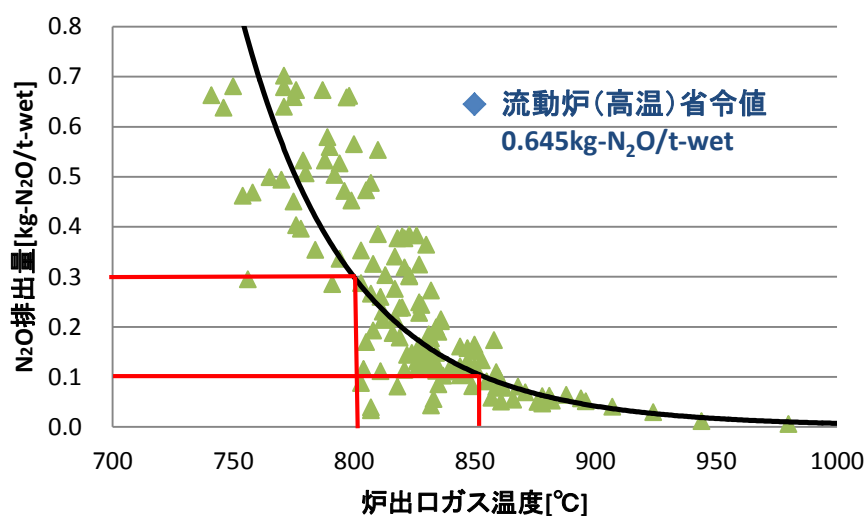
排気筒に設置した排ガス連続測定装置にて測定した N_2O を排出係数に換算したものを表資 1-8 及び図資 1-23 に示す。図資 1-23 の結果から炉出口排ガス温度と N_2O 排出係数について下記関係を導出した。

- ・ 炉出口排ガス温度 $800^{\circ}C$ $\Rightarrow 0.3kg-N_2O/t-wet$
- ・ 炉出口排ガス温度 $850^{\circ}C$ 以上 $\Rightarrow 0.1kg-N_2O/t-wet$

よって、炉出口排ガス温度が $850^{\circ}C$ 以上であれば、概ね当初目標であった $0.1kg-N_2O/t-wet$ 以下となり、流動炉（高温）の省令値の 1/6 程度となることを確認した。

表資 1-8 N_2O 排出係数

項目	単位	3 月 (春季) 3/7-23 時	8~9 月 (夏季) 9/4-20 時	11 月 (秋季) 11/9-22 時	12 月 (冬季) 12/9-16 時
N_2O 排出係数	$[kg-N_2O/t-wet]$	0.061	0.047	0.091	0.050

図資 1-23 炉出口ガス温度と N₂O 排出係数の関係

3) 負荷変動に対する性能把握

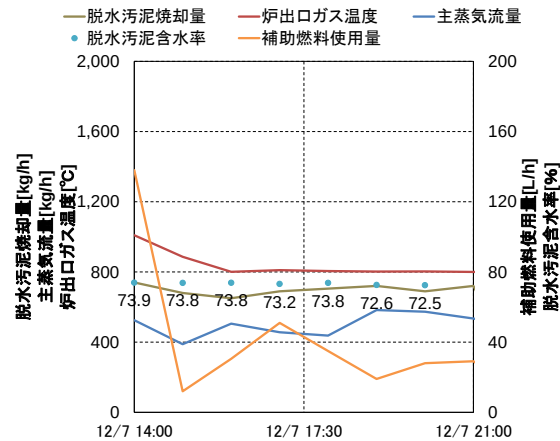
低負荷運転時性能として、定格負荷（1.46t-wet/h）の約 50%、高負荷運転時性能として定格負荷の約 120%の運転結果を表資 1-9 に示す。いずれの条件においても、排ガス性状は規制値を十分下回っており、環境性能として問題なく焼却処理が可能であることから、これらの負荷変動に対応できることを確認した。

表資 1-9 低負荷・高負荷の運転状況

項目	単位	設計条件 規制値	低負荷 12/7-21 時	高負荷 12/8-22 時
污泥焼却量	[t-wet/h]	1.46	0.72	1.69
含水率	[%]	70	72.8	71.2
固形物当り焼却量	[t-ds/h]	0.45	0.20	0.49
炉出口温度	[°C]	800 以上	800	850
燃烧空氣比（λ）	[-]	1.4 程度	1.5	1.2
補助燃料使用量	[L/h]	0	29.1	0
発生蒸気量	[t/h]	1.5	0.6	1.5
合計発電量	[kW]	100 以上	0	105
NO _x 濃度	[ppm]	250 以下	13.2	23.9
CO 濃度	[ppm]	100 以下	8.4	13.9

低負荷運転時のトレンドデータを図資 1-24 に示す。

定格運転時に比較して自燃運転ができず、補助燃料使用量が必要となった。なお、発生蒸気量が 1.0t/h 未満と少なかったため、発電機の立ち上げができず、発電はできなかった。ただし上述のように焼却処理自体は問題なく運転できることを確認できた。



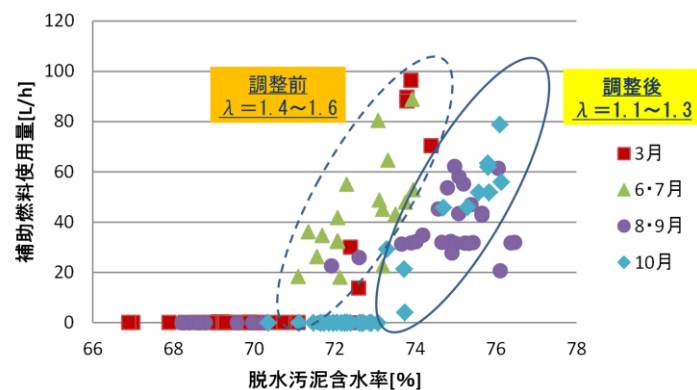
図資 1-24 低負荷運転時の焼却性能

4) 運転最適化

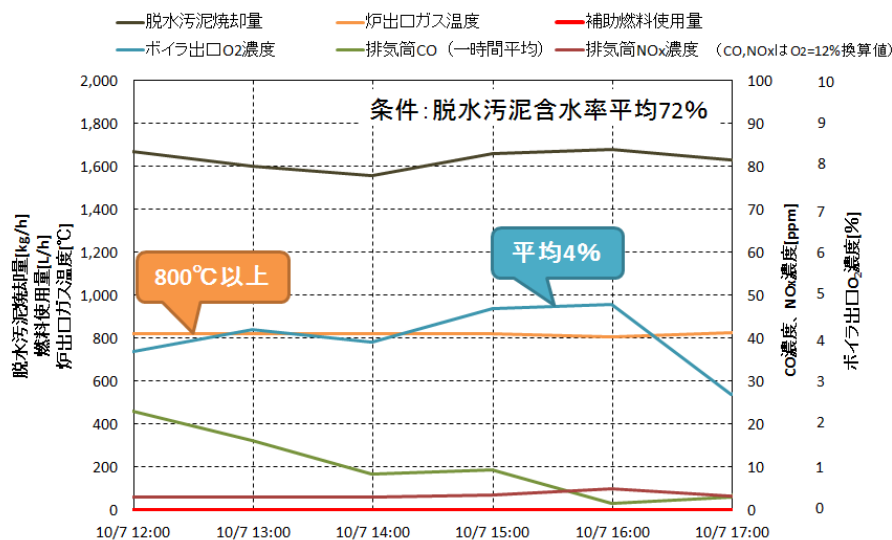
焼却負荷 90%以上 (1.3t-wet/h 以上)、炉出口排ガス温度 800℃以上の条件における脱水污泥含水率と燃料使用量との関係を図資 1-25 に示す。空気比 1.4~1.6 程度では概ね含水率 71%以上で補助燃料が必要であったが、空気比 1.1~1.3 程度では、概ね含水率 73%以下であれば自燃運転が可能となった。低空気比での運転調整を実施したことで、過剰な空気の供給による炉内の冷却が改善されたためである。

図資 1-26 に運転時のトレンドデータを示す。ボイラー出口 O_2 濃度 4%前後 (空気比 1.2 程度) で、自燃運転を継続でき、安定した排ガス性状が得られていることを確認した。

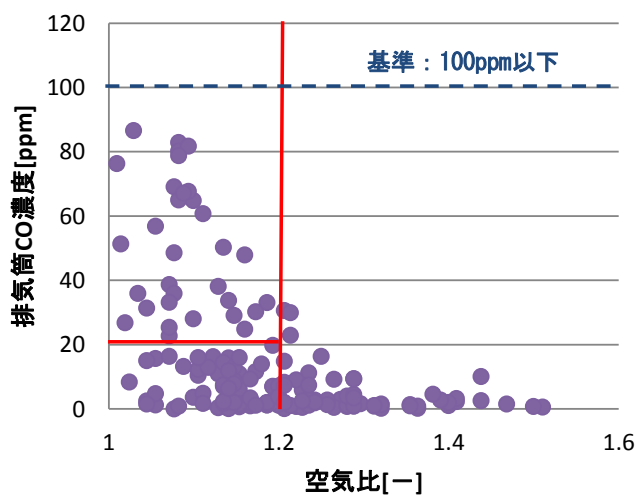
また、空気比と排気筒 CO 濃度との関係を図資 1-27 に示す。空気比 1.2 以上であれば CO 濃度 20ppm 以下を概ね満足できることから、本技術においては空気比 1.2 が下限値であると考えられる。



図資 1-25 脱水污泥含水率と補助燃料使用量



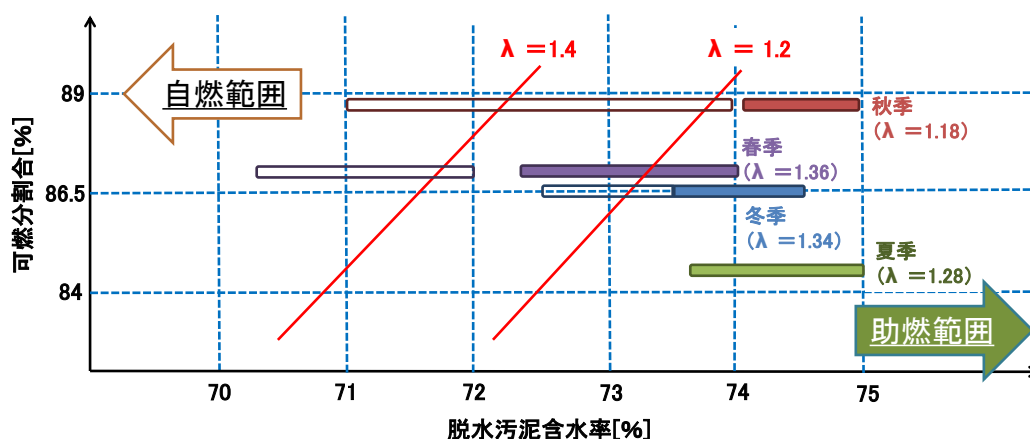
図資 1-26 低空気比運転時トレンドデータ



図資 1-27 空気比と排気筒 CO 濃度の関係

5) 自然範囲の確認

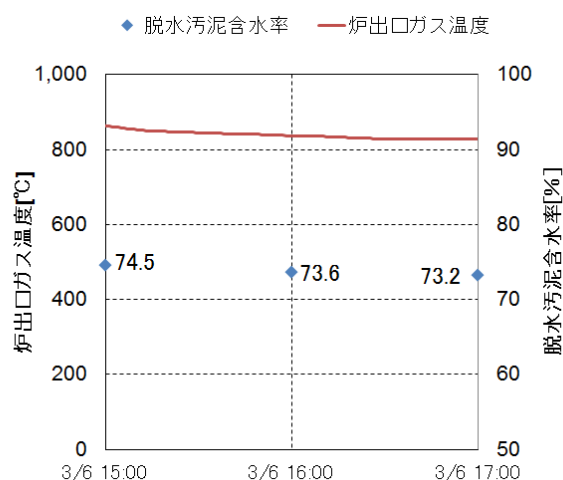
実証結果に基づき、含水率、可燃分変動範囲の各空気比における自然限界を算出したものを図資 1-28 に示す。算出条件として、炉出口排ガス温度は 800°C とした。また、本図に炉立上開始から 36 時間以降の熱的平衡状態のデータをプロット（白抜き：自燃、塗り：助燃）した結果、助燃範囲とも概ね合致することを確認した。



図資 1-28 実証設備における自燃限界

図資 1-29 に示すように、低空気比運転を行うことにより、含水率 72～73%の脱水汚泥を燃焼し、炉出口温度 800℃以上を維持した自燃運転が可能であることが確認できているが、燃焼空気予熱器の伝熱面積を増加させることで燃焼空気温度を増加させれば、熱収支計算上、さらに含水率の高い脱水汚泥でも炉出口温度 800℃以上が確保できる。

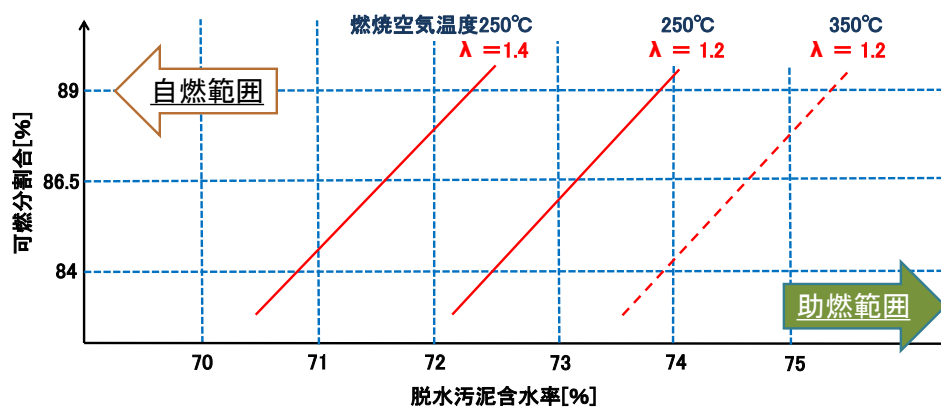
そこで、燃焼空気を電気ヒーターにより加熱し、模擬的に燃焼空気温度を約 270℃から約 360℃まで増加させた結果、自燃運転にて含水率約 73%を超える脱水汚泥を安定的に燃焼させ、かつ炉出口温度 800℃以上を維持することができた（図資 1-29）。また、この結果は熱収支計算の結果ともおおむね一致した。また、排気筒ガス CO 濃度も 10ppm 以下（O₂=12%換算値）を維持し、環境性能として問題なく、焼却処理が可能であることを確認した。



図資 1-29 電気ヒーターによる燃焼空気温度上昇試験

以上の結果より、含水率が高い条件であれば、燃焼空気予熱器の伝熱面積を増加させ、燃焼空気温度を上昇させることにより、図資 1-30 に示すように自燃範囲の拡大が可能であ

る。

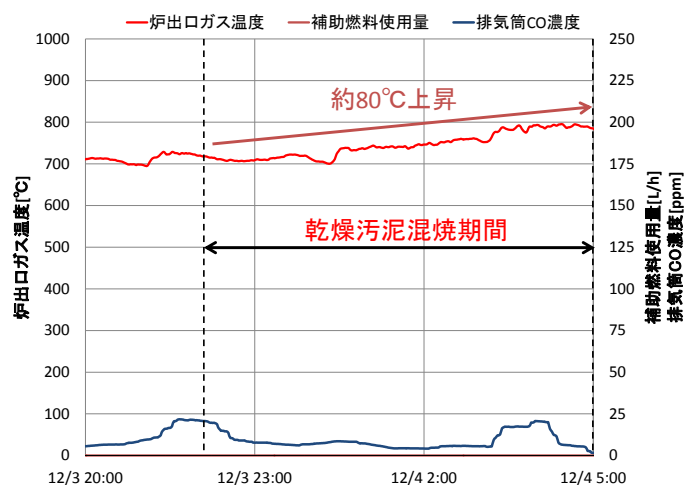


図資 1-30 自燃領域の拡大

6) 乾燥汚泥の混焼

含水率 73%の脱水汚泥と、含水率約 40%の乾燥汚泥との混焼試験を行った。脱水汚泥 1.28t-wet/h に対し、乾燥汚泥を 0.16t-wet/h 投入し、混合後汚泥の含水率は計算上、約 70% となった。

混焼試験時は、炉立上開始後 36 時間未滿で熱的平衡状態に達していない状態で、かつ補助燃料使用による影響を排除するため補助燃料を使用しない運転条件とした。混焼前後を比較すると、混焼によるみかけの含水率低下（約 3%）に相当する、約 80℃の炉出口ガス温度の上昇が確認できた（図資 1-31）。また、排気筒 CO 濃度も 1 時間平均で 10ppm 前後（O₂=12%換算値）を維持し、環境性能として問題なく焼却処理が可能であることを確認した。



図資 1-31 乾燥汚泥混焼時の炉出口排ガス温度確認

1. 4. 2 エネルギー変換技術

エネルギー変換設備は、廃熱ボイラーから発生する蒸気により発電を行うための設備であり、小型蒸気発電機とバイナリー発電機により構成される。個別の発電機の性能と、二つの発電機を組み合わせた場合の合計発電量について実証・確認した。

(1) 運転条件

エネルギー変換設備の運転条件を表資 1-10 に示す。

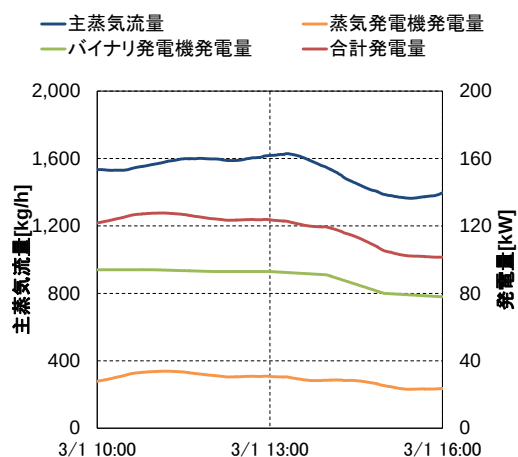
表資 1-10 エネルギー変換設備の運転条件

管理項目	運転条件
小型蒸気発電機入口蒸気圧力	約 0.9MPaG 以下
バイナリー発電機入口蒸気圧力	0.2MPaG 以下
バイナリー発電機冷却水量	約 85m ³ /h
バイナリー発電機冷却水温度	15～30℃

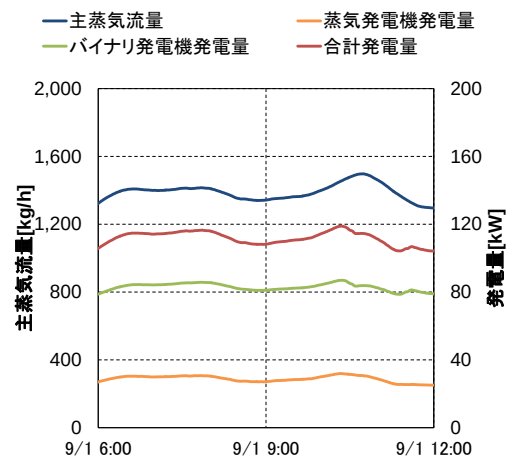
(2) 運転性能評価

1) 運転性能

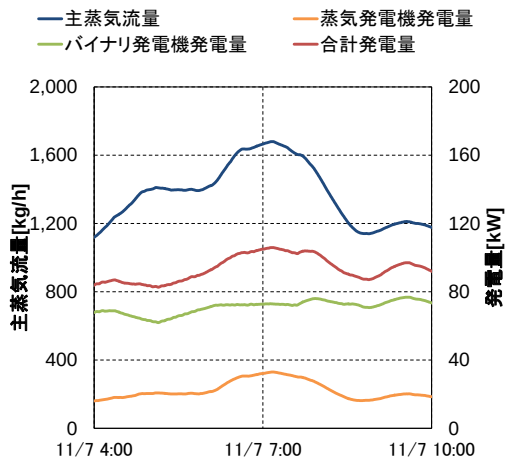
各季節における二つの発電機と合計発電量を示した発電性能のトレンドデータを図資 1-32～35 に示す。



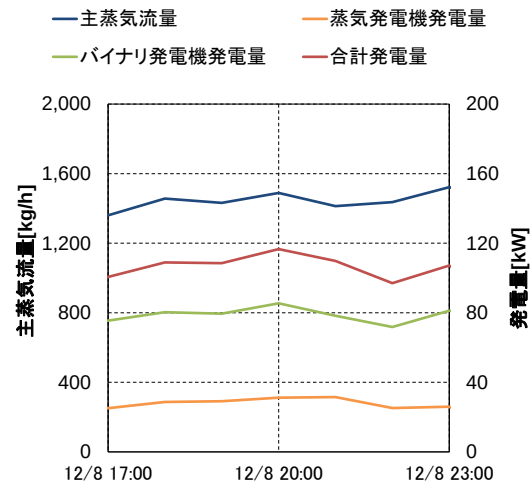
図資 1-32 春季（3月）運転時の発電性能



図資 1-33 夏季（8～9月）運転時の発電性能

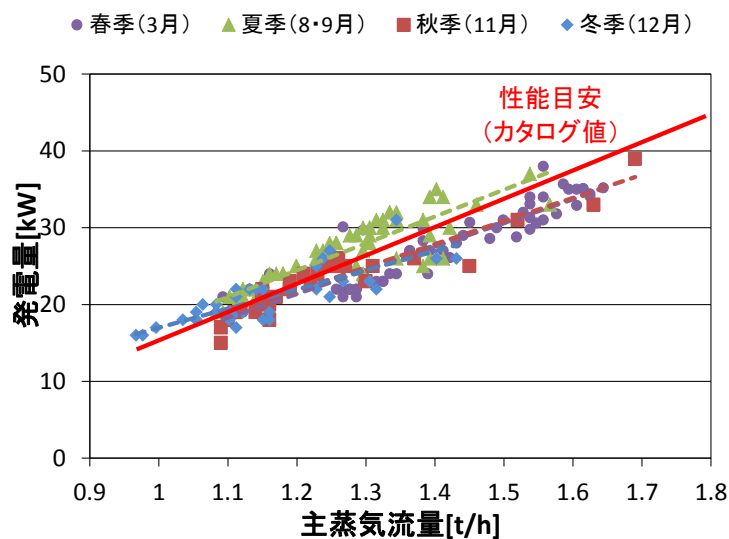


図資 1-34 秋季（11月）運転時の発電性能



図資 1-35 冬季（12月）運転時の発電性能

次に小型蒸気発電機について、3月、8～9月、11月及び12月の運転時の入口蒸気流量と発電量の関係を図資 1-36 に示す。本機の発電性能については四季変動に影響を受けず、概ね性能値通りの結果となった。

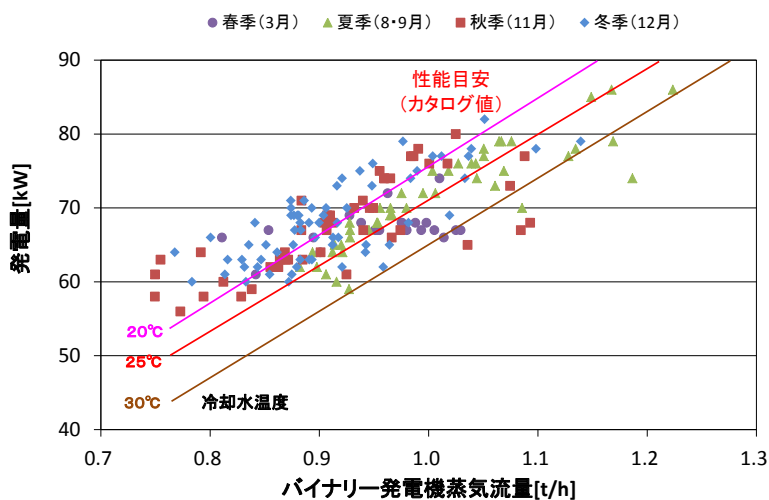


図資 1-36 小型蒸気発電機の発電性能

バイナリー発電機について、3月、8～9月、11月及び12月の運転時の入口蒸気流量と発電量の関係を図資 1-37 に示す。なお、入口蒸気流量は主蒸気流量から蒸気式空気予熱器及び排ガス再加熱器に使用する蒸気量を引いて算出した。また、表資 1-11 に各月の冷却水の測定結果の平均値を示す。なお冷却水量は年間を通じて概ね一定であった。

バイナリー発電機は冷媒の冷却性能により発電性能が変動するため、夏季は秋季及び冬季と比較すると、性能目安と同様に若干発電量が低い結果となった。

1. 実証研究結果



図資 1-37 バイナリー発電機の発電性能

表資 1-11 バイナリー発電機冷却水条件（平均）

項目	3 月	7 月	8～9 月	10 月	11 月	12 月
入口温度	18℃	28℃	28℃	27℃	24℃	20℃
出口温度	24℃	33℃	33℃	31℃	29℃	24℃
温度差	6℃	5℃	5℃	4℃	5℃	4℃

3 月、8～9 月、11 月及び 12 月の合計発電量の結果例を表資 1-12 に示す。主蒸気流量 1.5t/h における合計発電量はいずれも 100kW 以上であり、目標性能を満足することを確認した。

表資 1-12 蒸気量約 1.5t/h における合計発電量

項目	3 月 (春季)	8～9 月 (夏季)	11 月 (秋季)	12 月 (冬季)
合計発電量	123kW	114kW	112 kW	110 kW

また、主蒸気流量 1.5t/h におけるバイナリー発電機の蒸気量算出に用いた各空気予熱器及び排ガス再加熱器の各季節における使用蒸気量を表資 1-13 に示す。本結果から、空気予熱器及び排ガス再加熱器に使用されている蒸気量は、季節により大きな差はなく、バイナリー発電機の供給蒸気量も概ね一定であると考えられる。

表資 1-13 空気予熱器及び排ガス再加熱器の使用蒸気量

項目	単位	3 月 (春季)	8～9 月 (夏季)	11 月 (秋季)	12 月 (冬季)
一次燃焼空気予熱器	[t/h]	0.08	0.07	0.05	0.07
二次燃焼空気予熱器	[t/h]	0.03	0.02	0.03	0.04
排ガス再加熱器	[t/h]	0.16	0.18	0.19	0.18
合計	[t/h]	0.27	0.27	0.27	0.29

2) 冷却水のスケール性評価

バイナリー発電機の冷却水であるろ過水の四季を通じた水質分析結果を表資 1-14 に示す。本結果のうち安定度指数の結果から、スケール性の低い水質条件が得られていたものと判断できる。なお年間を通じた冷却水量の低下は無かったことから、凝縮器において詰まりなどが発生しないことが確認できる。

表資 1-14 バイナリー発電機冷却水分析結果

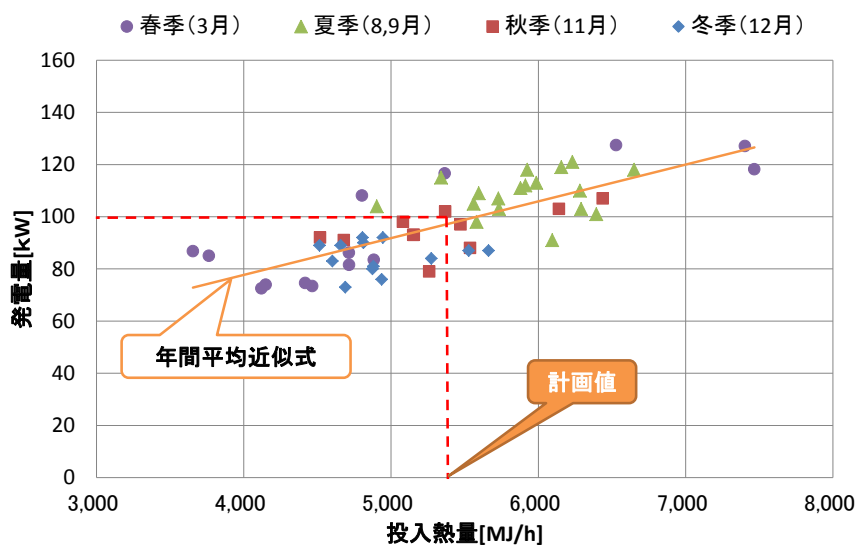
項目	単位	3/7 (春季)	9/8 (夏季)	11/6 (秋季)	12/4 (冬季)
pH (25℃)	—	6.9	7.4	7.7	7.4
電気伝導度	mS/m	66	150	220	86
酸消費量 (pH8.3)	mgCaCO ₃ /L	0	0	0	0
酸消費量 (pH4.8)	mgCaCO ₃ /L	71	78	99	74
全硬度	mgCaCO ₃ /L	140	140	160	100
カルシウム硬度	mgCaCO ₃ /L	100	82	85	59
SS	mg/L	6	<2	5	<2
BOD	mg/L	4	<1	<1	3
COD	mg/L	9.6	5.9	7.1	7.3
アンモニウムイオン	mg/L	<1	<1	4	<1
安定度指数※	—	9.6	8.6	8.4	9.1

※安定度指数 8 以上は腐食性、6 以下はスケール性を示す。

1. 4. 3 投入熱量と発電量の関係

図資 1-38 に脱水汚泥と補助燃料のエネルギー回収設備への投入熱量と、二つの発電機による合計発電量の関係を示す。投入熱量は、脱水汚泥の低位発熱量と汚泥供給量の積、ならびに補助燃料の低位発熱量と使用量の積を足し合わせて算出した。また、本結果は蓄熱による影響が低い範囲（立上げ開始後 36 時間以降）のデータにて整理を行った。

本結果から、この関係はほぼ比例関係になり、年間平均では計画時の投入熱量に対し、概ね目標発電量である 100kW が得られていることを確認した。



図資 1-38 エネルギー回収設備投入熱量と発電量の関係

1. 5 その他の実証研究結果

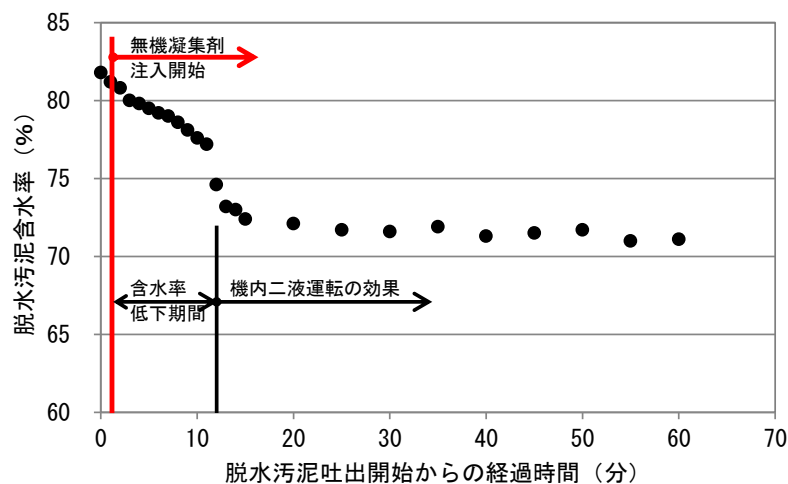
(1) 立上げ時の性能把握

1) 低含水率化設備

低含水率化設備の立ち上げは、汚泥供給ポンプ起動後、数分が経過した段階で無機凝集剤の供給を開始し、その後脱水汚泥が排出し始め、定常運転に進んでいく。

脱水汚泥が排出されてから 15 分間の脱水汚泥含水率の測定結果を図資 1-39 に示す。脱水汚泥が排出され始めて 11 分までは一定の傾きで含水率が低下していたが、12 分目以降、含水率が急激に低下した。これは、無機凝集剤の効果により脱水が促進され、低含水率化した脱水汚泥が排出されはじめたことを示している。

以上の結果から、脱水汚泥が排出されてから概ね 15 分程で定常運転となったと判断した。



図資 1-39 脱水機立ち上げ時の脱水汚泥含水率

2) エネルギー回収設備

エネルギー回収設備の立ち上げ時の性能については、冷間時からの立上と再立上げ時について確認を行った。

① 冷間時からの立上時間と補助燃料使用量

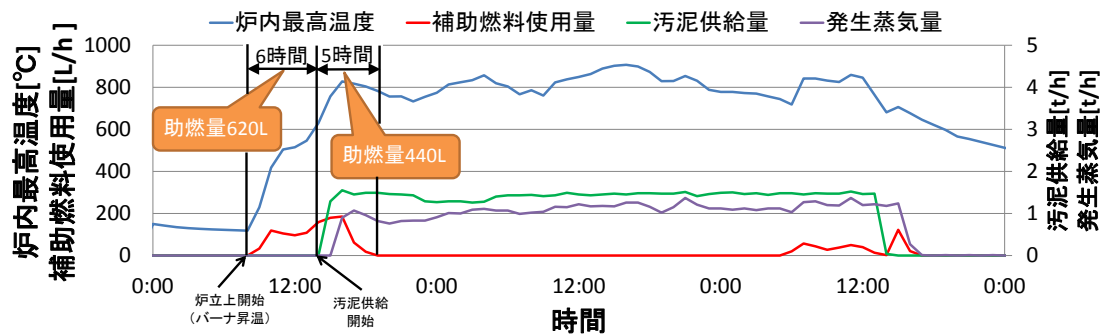
エネルギー回収設備の冷間時からの立上時間と補助燃料使用量の結果を図資 1-40 に示す。階段炉は炉内が煉瓦構造であるため炉内温度を急速に上げて炉材への支障がなく、速やかな昇温が可能であるため、ボイラー蒸気圧力の急激な上昇が無いことを確認した結果、立上げ時間は 6 時間、補助燃料使用量は 700L 程度となった。

また汚泥供給開始から自然運転までの所要時間は 5 時間で、補助燃料使用量は 400L 程度であり、冷間時から立上げを行い自然運転に至るまでの時間は概ね 11 時間程度で、補助燃料使用量は約 1,100L であった。

なお、上記条件は外気温が約 15℃と年間を通し比較的低い時期であるため、放熱を考慮

すると、本条件が最も補助燃料使用量が多い条件と考えられることから、ケーススタディを行うにあたっての一般化においては、今回の結果を基準とした。

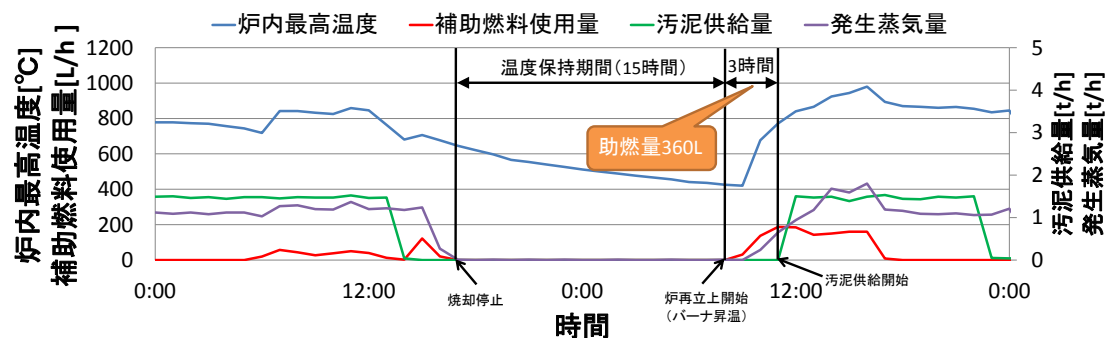
また、低含水率化設備の立上げ時には高含水率の脱水汚泥が排出されるが、上記データはその影響も含めて評価を行ったものであり、運転初期の助燃運転により問題なく処理できることも確認した。



図資 1-40 エネルギー回収設備の立上時間と補助燃料使用量（冬季：12月）

② 温度保持時及び再立上時の補助燃料使用量

温度保持時及び汚泥供給開始までの再立上時の補助燃料使用量について、12月運転時の結果を図資 1-41 に示す。温度保持期間は補助燃料を使用しない条件とした。15 時間の温度保持期間に対し、再立上げ時間は約 3 時間で、補助燃料使用量は約 400L であった。

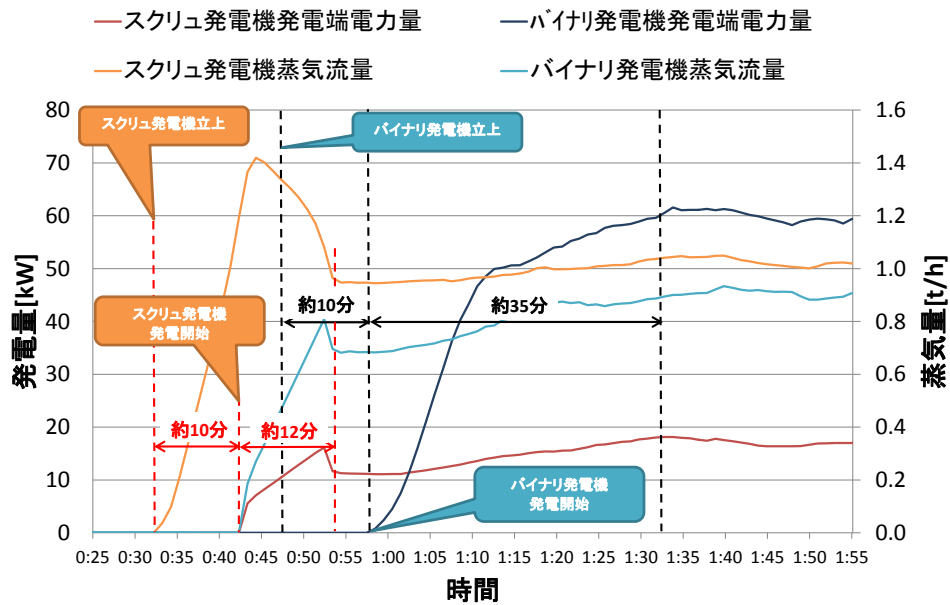


図資 1-41 エネルギー回収設備の再立上時間と補助燃料使用量（冬季：12月）

3) エネルギー変換設備

エネルギー変換設備の立ち上げ時の性能について確認を行った。

小型蒸気発電機及びバイナリー発電機の立ち上げ時の蒸気量と発電量の運転例を図資 1-42 に示す。いずれの発電機も立上条件の蒸気量は約 1.0t/h で、供給開始後約 10 分で発電を開始した。また発電量の安定までには小型蒸気発電機は約 12 分、バイナリー発電機は約 35 分であった。

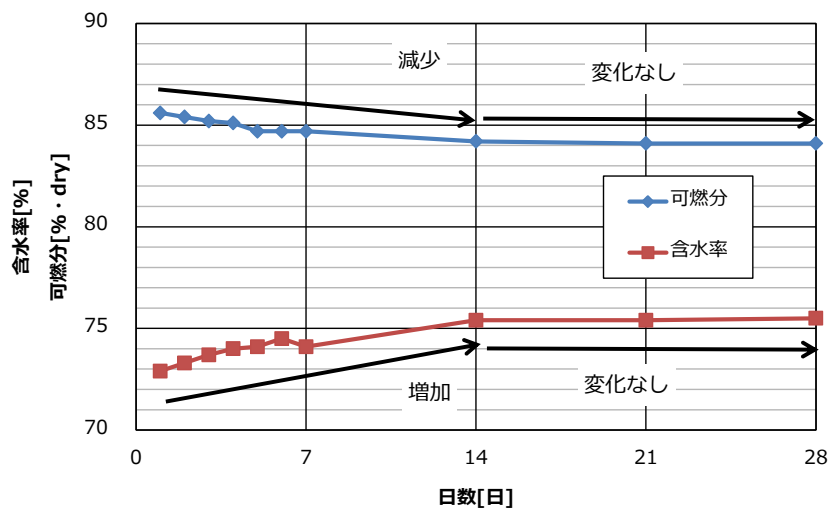


図資 1-42 発電機立ち上げ時の運転例

（２）二液調質汚泥の貯留による脱水汚泥性状の変化

革新的技術より発生する脱水汚泥の日数経過による性状の変化を把握するため、脱水機出口より採取した脱水汚泥を密閉可能な袋内に入れ、25℃の条件にて保管し、開始から1、2、3、4、5、6、7、14、28日目の汚泥について、含水率及び可燃分を測定した。

図資 1-43 に含水率及び可燃分の経時変化を示す。開始から7日目まで一日ごとに、含水率は増加し、可燃分は減少した。また、14日目で含水率は最大、可燃分は最低の値となり、その後28日目まではほぼ一定の値となった。この間、含水率は約2.5%増加し、可燃分は1.5%減少した。その結果、低位発熱量としては約20%低下した。



図資 1-43 可燃分と含水率の経時変化

（３）二液調質汚泥の臭気について

二液調質脱水汚泥は無機凝集剤であるポリ硫酸第二鉄を使用している。本凝集剤は脱水汚泥中のＳ分を固定するため、Ｓ分を含む臭気物質を抑制する効果がある。そのため、従来の一液調質脱水汚泥と比較した場合の臭気濃度（または指数）の確認を行うとともに、主たる臭気物質の濃度測定を実施し、一液調質脱水汚泥との比較を行った。

試験方法は既存及び実証設備脱水ケーキバンカ内臭気をサンプリングし、臭気濃度（指数）と各成分の分析を実施した。

既存及び実証設備脱水ケーキバンカ内臭気濃度（指数）の結果を表資 1-15 に示す。また各成分の分析結果を表資 1-16 に示す。いずれの結果からも実証施設バンカ内の濃度が低いことが確認でき、表資 1-16 の結果から、特に硫黄を含む臭気成分（硫化水素）が低いことが確認できる。

表資 1-15 臭気濃度及び臭気指数

項目	既存設備バンカ	実証設備バンカ
臭気濃度	100,000	32,000
臭気指数	50	45

表資 1-16 臭気測定結果

項目	単位	既存設備バンカ	実証設備バンカ
アンモニア	[ppm]	0.6	0.2
メチルメルカプタン	[ppm]	5.7	0.46
硫化水素	[ppm]	28	14
硫化メチル	[ppm]	1.1	0.82
二硫化メチル	[ppm]	0.39	0.17
トリメチルアミン	[ppm]	0.0022	0.019
アセトアルデヒド	[ppm]	0.1	0.15
プロピオンアルデヒド	[ppm]	0.017	<0.005
ノルマルブチルアルデヒド	[ppm]	<0.001	<0.001
イソブチルアルデヒド	[ppm]	<0.001	0.002
ノルマルパレルアルデヒド	[ppm]	0.01	<0.001
イソパレルアルデヒド	[ppm]	0.051	0.030
イソブタノール	[ppm]	<0.05	<0.05
酢酸エチル	[ppm]	<0.1	<0.1
メチルイソブチルケトン	[ppm]	<0.1	<0.1
トルエン	[ppm]	<1	<1
スチレン	[ppm]	<0.04	<0.04
キシレン	[ppm]	<0.1	<0.1
プロピオン酸	[ppm]	0.18	0.037
ノルマル酪酸	[ppm]	0.11	0.022
ノルマル吉草酸	[ppm]	0.025	0.0052
イソ吉草酸	[ppm]	0.028	0.022

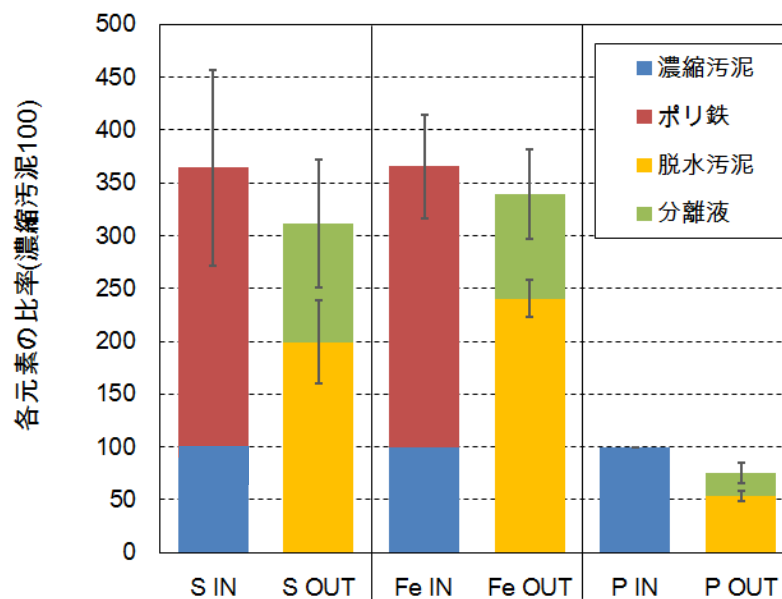
(4) 無機凝集剤添加による物質収支について

革新的技術に用いる汚泥脱水機は、従来の高分子凝集剤に加え、無機凝集剤であるポリ硫酸第二鉄（以下ポリ鉄）を機内添加する。ポリ鉄中にはFeとSが含まれるため、添加を行うことで汚泥中のこれらの成分が増加する。Feは焼却灰となるため、焼却灰の発生量に影響し、Sは燃焼によりSO_xとなるため、排煙処理塔での苛性ソーダ使用量に影響する。またポリ鉄は汚泥中のリンを固定化する効果もあることから、焼却灰中のリン濃度にも影響する。そのため、ポリ鉄添加によるFe、S、Pの収支について確認を行った。

濃縮汚泥に対し、二液薬注遠心脱水を想定した遠沈試験を行い、Fe、S、Pの元素収支の確認を行った。混合濃縮汚泥中の各元素を100とした場合の元素収支計算結果をまとめたものを図資 1-44に示す。なお本試験においてポリ鉄の添加率は20%-TSとし、高分子凝集剤については、これらの元素を含まないことが明らかであることから、高分子凝集剤による投入分は考慮しな

かった。

本試験結果から、投入汚泥中の成分に対しては、Fe は 2.5 倍、S は 2.0 倍程度であった。また実機の機内二液調質型遠心脱水機周りの元素収支の調査の結果、ポリ鉄の添加率が概ね 10～20%-TS の範囲において、Fe は 1.6～2.5 倍、S は 1.5～2.0 倍程度であり、無機凝集剤薬注率に概ね比例することを確認した。



図資 1-44 二液薬注遠心脱水試験における元素収支まとめ

2. 簡易算定式

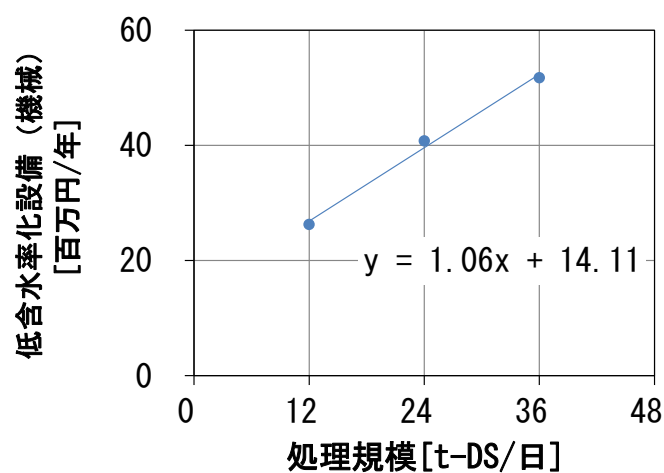
2. 1 建設費算定式（費用関数）の導出方法

3つの処理規模（12t-DS/日、24t-DS/日、36t-DS/日）の試算結果（資料編 3. ケーススタディ 参照）を基に、直線近似を行ったものを、建設費の算定式（費用関数）とした。表資 2-1 に各設備の建設費算定式を示す。また図資 2-1～6 に各設備の規模と建設費の関係を示す。

表資 2-1 革新的技術導入時の建設費算定式

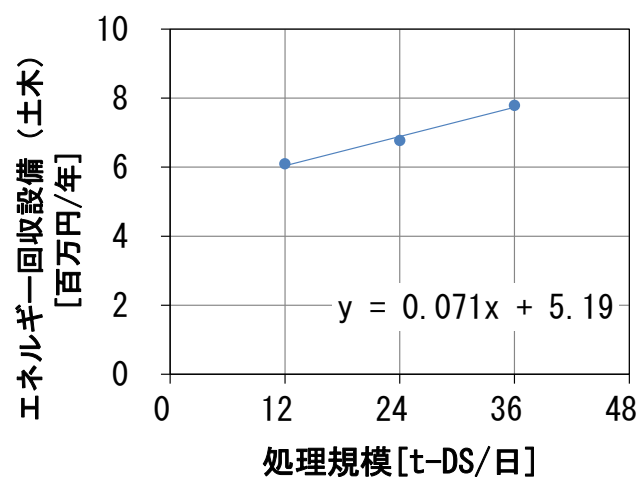
項目	単位	算出式	備考
低含水率化（機械）	百万円/年	$Y=1.06 \times X+14.11$	電気設備含む
エネルギー回収（土木）	百万円/年	$Y=0.071 \times X+5.19$	
エネルギー回収（機械）	百万円/年	$Y=4.43 \times X+161.4$	
エネルギー回収（電気）	百万円/年	$Y=1.19 \times X+19.3$	
エネルギー変換（機械）	百万円/年	$Y=0.86 \times X+1.06$	小型蒸気発電機 +バイナリー発電機
エネルギー変換（電気）	百万円/年	$Y=0.133 \times X+1.59$	

※X：エネルギー回収設備規模（t-DS/日）、Y：建設費年価（百万円/年）

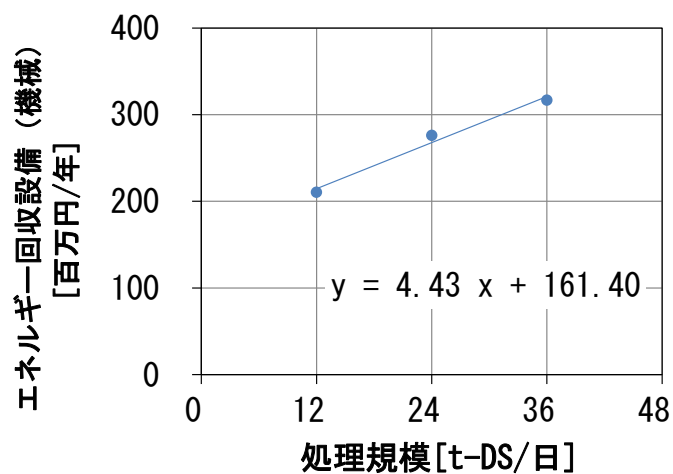


図資 2-1 低含水率化設備（機械）の建設費

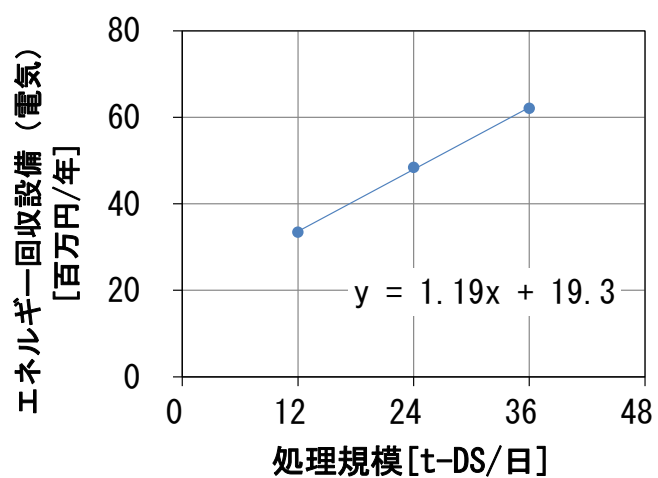
2. 簡易算定式



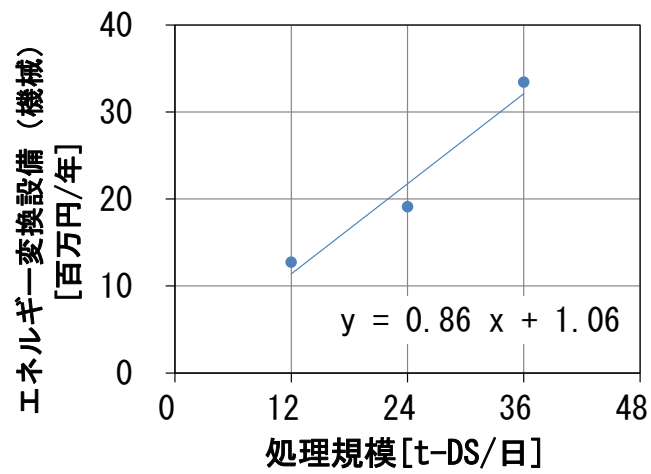
図資 2-2 エネルギー回収設備（土木）の建設費



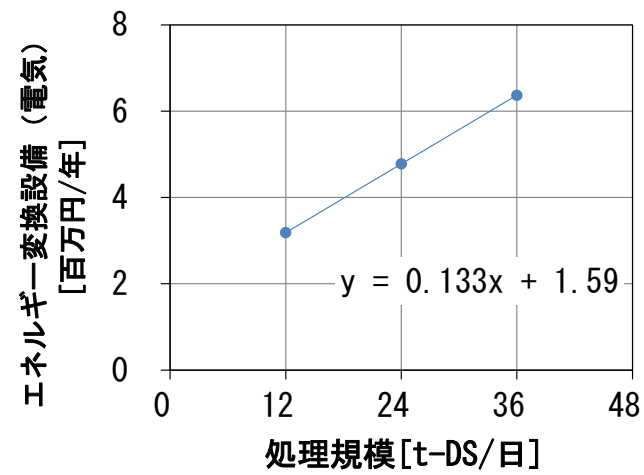
図資 2-3 エネルギー回収設備（機械）の建設費



図資 2-4 エネルギー回収設備（電気）の建設費



図資 2-5 エネルギー変換設備（機械）の建設費



図資 2-6 エネルギー変換設備（電気）の建設費

2. 2 ユーティリティ消費量算定式

実証試算結果を基に、直線近似を行ったものを、ユーティリティ消費量の算定式（費用関数）とした。表資 2-2 に各ユーティリティの消費量ならびに維持管理費算出に必要な灰発生量の算定式を示すとともに、各々の算出根拠を示す。

表資 2-2 革新的技術導入時のユーティリティ消費量算定式

項目	単位	算出式	算出根拠
使用電力（低含水率化）	MWh/年	$Y=20.39 \times X - 18.17$	実証結果・収支計算
使用電力（エネルギー回収・変換）	MWh/年	$Y=39.39 \times X + 222.84$	実証結果・収支計算
発電電力（エネルギー変換）	MWh/年	$Y=112.07 \times X - 217.98$	収支計算
補助燃料（エネルギー回収）	kL/年	$Y=0.098 \times X$	実証結果
薬品（高分子）	t/年	$Y=2.07 \times X$	実証結果
薬品（無機）	t/年	$Y=29.57 \times X$	実証結果
薬品（苛性ソーダ：24%）	t/年	$Y=42.98 \times X$	収支計算
灰発生量	t/年	$Y=75.56 \times X$	収支計算

※X：エネルギー回収設備規模（t-DS/日）、Y：年間消費量または年価（百万円/年）

(1) 使用電力

使用電力は、次式により求められる。

$$Y = X \times \eta \times t \times T$$

Y：使用電力（kWh/年）

X：電動機出力（kW）

η ：電動機負荷率

t：電動機運転時間（時間/日）

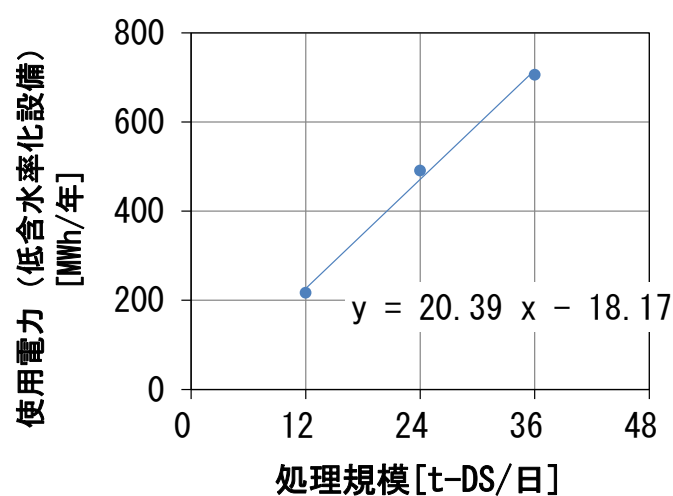
T：設備稼働日数（日/年）

実証試験結果を基に、各設備の定格運転時（100%負荷）の電動機出力に対する電力使用量から、設備ごとの電動機負荷率の平均値を求め一般化を行った結果を表資 2-3 に示す。なお、低含水率化設備については濃縮設備にかかる分は除外した。また、本平均値は濃縮汚泥濃度や可燃分率等の変動範囲を考慮したものである。

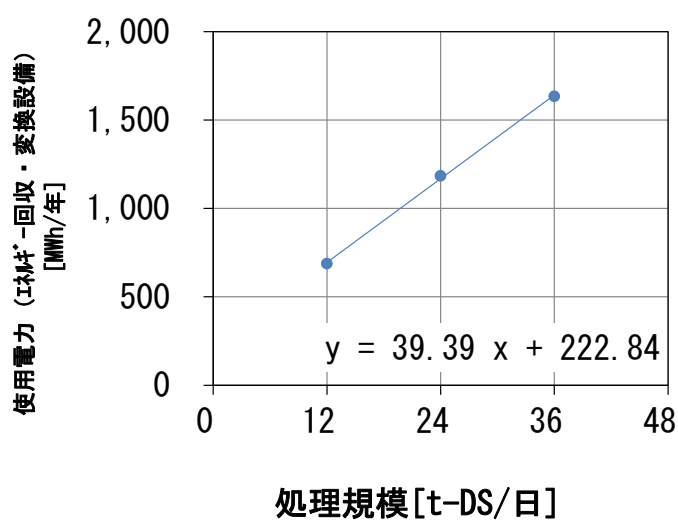
表資 2-3 設備負荷率

設備名称	電動機出力	使用電力	電動機負荷率 (平均値)	電動機負荷率 (決定値)
低含水率化設備	65kW	32kWh/h	49%	50%
エネルギー回収・変換設備	192kW	100kWh/h	52%	55%

各設備の処理規模に対する、収支計算から決定される各設備の電動機出力に、表資 2-3 にて一般化した電動機負荷率と設備の年間稼働日数を掛け合わせて算出される各設備の使用電力との関係を図資 2-7～8 に示す。



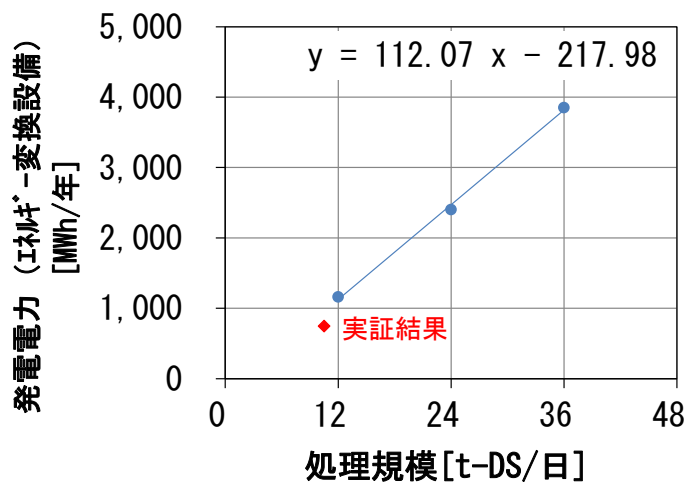
図資 2-7 低含水率化設備の使用電力



図資 2-8 エネルギー回収・変換設備の使用電力

(2) 発電電力

処理規模と、収支計算から決定される発電電力の関係を図資 2-9 に示す。また実証試験結果のポイントを合わせて示す。実証試験結果のポイントが近似式より幾分か低い値となっているが、これは小型蒸気発電機が効率の低い領域での運転による影響である。

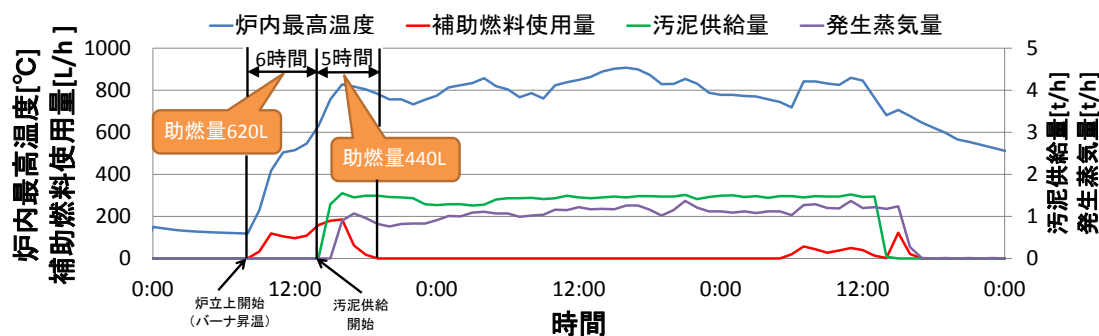


図資 2-9 エネルギー変換設備の発電電力

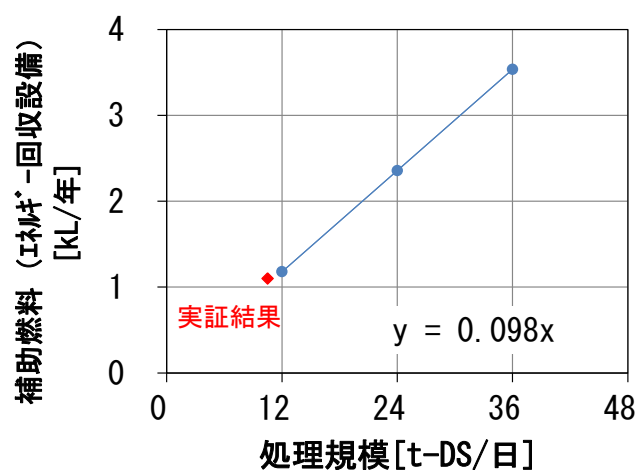
(3) 補助燃料

エネルギー回収設備で使用する補助燃料は、焼却炉の立上げ時や、脱水污泥含水率上昇時に用いるが、本条件においては立上げ回数は一回とし、それ以外の期間は補助燃料を使用する範囲での含水率上昇は無く、連続運転が行えるものと仮定し、補助燃料使用量の算出は、運転開始時の立上げ分のみとした。

立上げ時の補助燃料使用量は実証試験結果から、自燃運転に至るまで約 1,100L であり、これは外気温度の低い時期（11 月・12 月）の結果であることから、年間を通じた最大使用量と判断できる。12 月の運転結果を図資 2-10 に示す。本結果を用いて、処理規模と収支計算から決定される補助燃料の関係を図資 2-11 に示す。



図資 2-10 エネルギー回収設備の立上時間と補助燃料使用量（冬季：12 月）



図資 2-11 エネルギー回収設備の補助燃料使用量

(4) 薬品

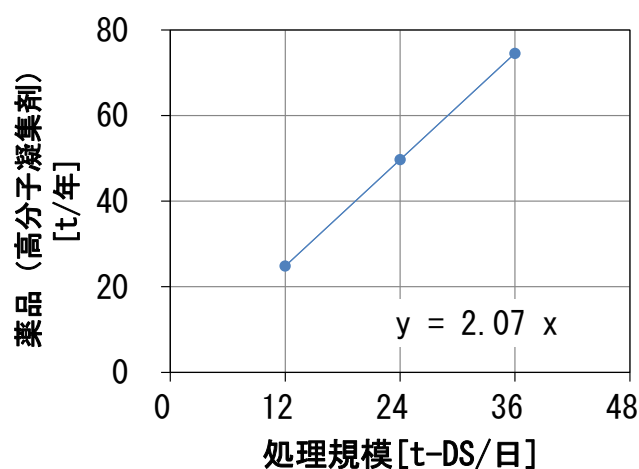
1) 高分子凝集剤

高分子凝集剤の使用量については実証結果より得られた脱水汚泥中の固形物量に対する使用量の原単位（薬注率）を設定し、収支計算より算出した。実証試験において、四季を通じた薬注率の変動範囲は TS 当たり 0.5～0.7%（表資 2-4 参照）であり、変動幅を考慮して TS 当たり 0.7%を本試算における設定値とした。

処理規模と、収支計算から決定される高分子凝集剤使用量の関係を図資 2-12 に示す。

表資 2-4 高分子凝集剤薬注率

春季（3月）	夏季（8・9月）	秋季（11月）	冬季（12月）
0.54～0.72%-TS	0.49～0.51%-TS	0.50～0.55%-TS	0.45～0.62%-TS



図資 2-12 低含水率化設備の高分子凝集剤使用量

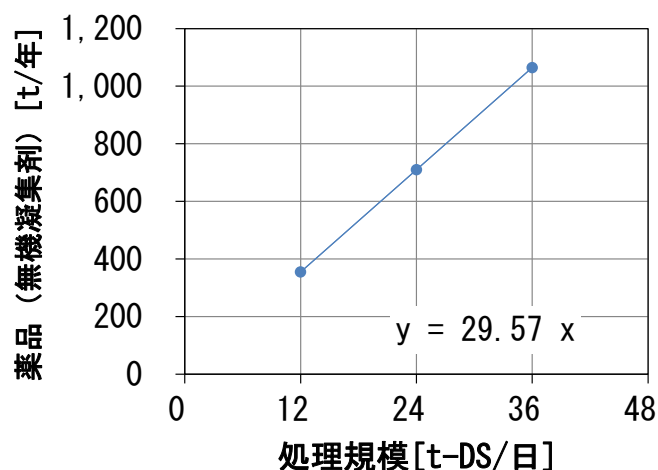
2) 無機凝集剤

無機凝集剤（ポリ鉄）の使用量については、実証結果より得られた脱水汚泥中の固形物量に対する使用量の原単位（薬注率）を設定し、収支計算より算出した。実証試験において、四季を通じた薬注率の変動範囲は 8.0～12.0%-TS（表資 2-5 参照）であり、平均値である 10.0%-TS を本試算における設定値とした。

処理規模と、収支計算から決定される無機凝集剤使用量の関係を図資 2-13 に示す。

表資 2-5 無機凝集剤薬注率

春季（3 月）	夏季（8・9 月）	秋季（11 月）	冬季（12 月）
7.9～9.9%-TS	8.8～10.1%-TS	7.8～9.4%-TS	8.3～12.2%-TS



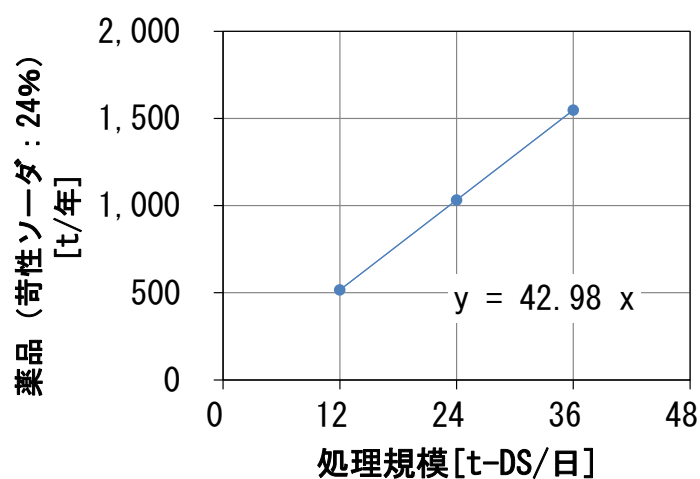
図資 2-13 低含水率化設備の無機凝集剤使用量

3) 苛性ソーダ

苛性ソーダの使用量については、脱水汚泥中に含まれる S 分に由来する SO_x との反応に必要な量から算出される。そこで、従来の汚泥焼却炉における試算方法と同様に、下記の反応式をもとに試算を行うものとした。



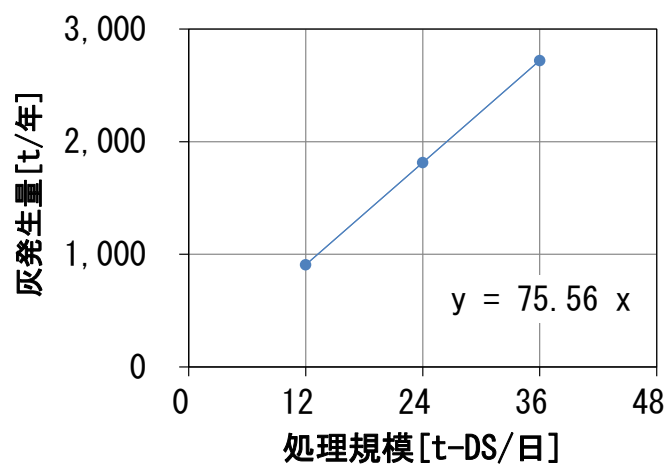
処理規模と、収支計算から決定される苛性ソーダ (24%) 使用量の関係を図資 2-14 に示す。



図資 2-14 エネルギー回収設備の苛性ソーダ使用量

(5) 灰発生量

エネルギー回収設備から発生する焼却灰は、従来の汚泥焼却炉における試算方法と同様に、脱水汚泥が炉内で完全燃焼されて、脱水汚泥中の無機分が全て灰になるものとして試算した。また、本システムでは湿灰として搬出するが、分析結果より含水率は30%と設定した。処理規模と、収支計算から決定される灰発生量の関係を図資 2-15 に示す。



図資 2-15 エネルギー回収設備の灰発生量

3. ケーススタディ

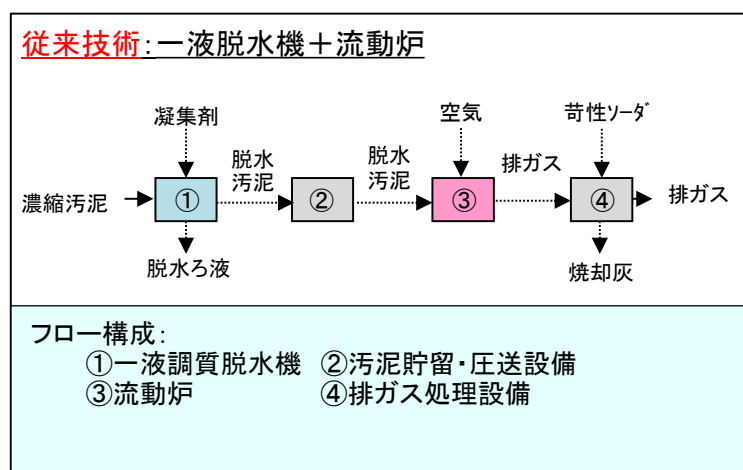
汚泥の脱水、焼却を実施する嫌気性消化を導入していない既存の下水処理場において、革新的技術の導入を検討するための各種ケーススタディを行った。検討対象範囲は、分離濃縮を行った後の混合生汚泥を処理する汚泥脱水設備及び焼却設備を範囲とした。革新的技術の性能を評価する項目として、建設費、維持管理費、ライフサイクルコスト、エネルギー消費量・創出量（正味のエネルギー創出量含む）及び温室効果ガス排出量の試算を行った。

3. 1 従来技術

（1）検討条件

1）従来技術の設定

比較対象とする従来技術は、従来の一液調質型脱水機に、下水汚泥焼却炉の過半数を占めており設計指針にある流動炉とした。図資 3-1 に従来技術の概略フローを示す。



図資 3-1 従来技術の概略フロー

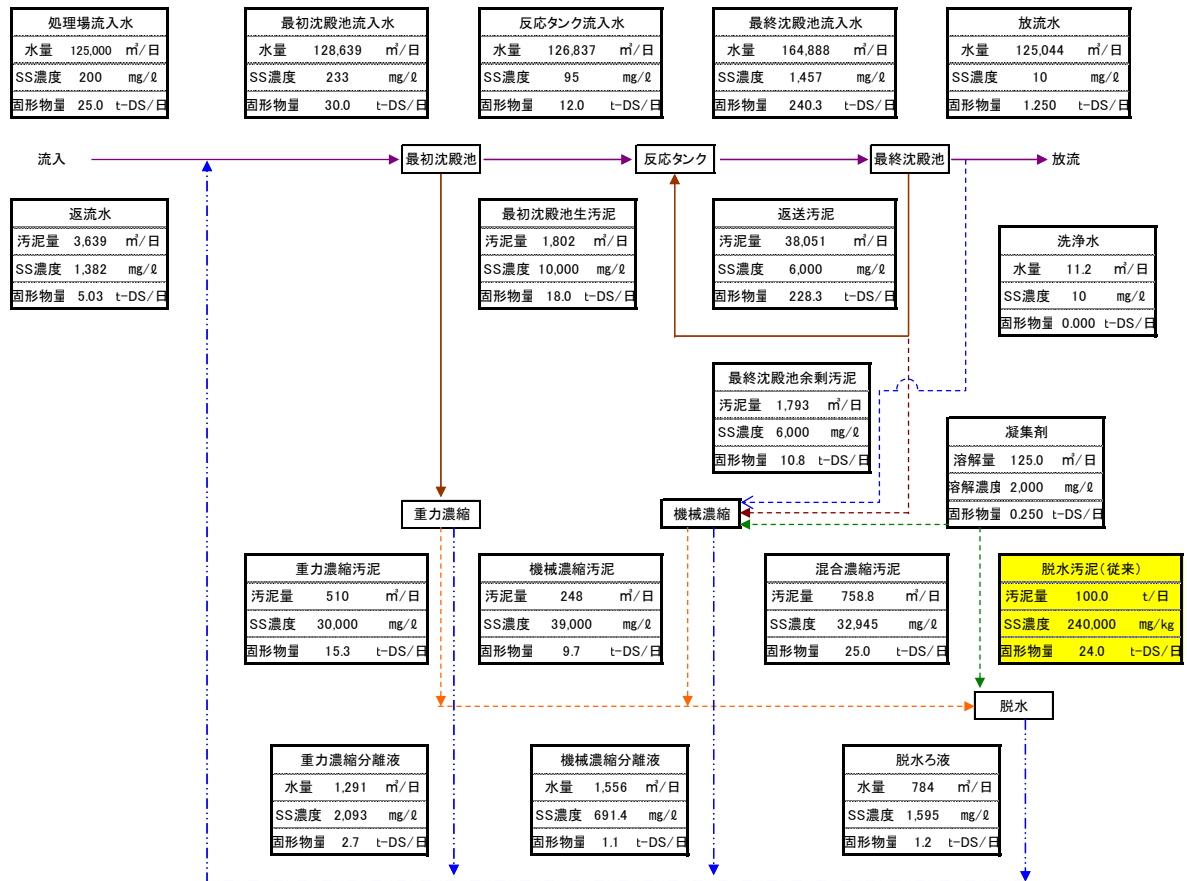
2）設定条件

従来技術の導入を検討する下水処理場の諸元について、表資 3-1 に示す通り想定を行った。また、固形物収支については図資 3-2 のように設定した。

汚泥性状（濃縮汚泥濃度、濃縮汚泥有機分率、脱水汚泥含水率、固形物中可燃分率）については下水道統計（平成 22 年度版）より、可燃分元素組成についてはバイオマス発電の B-DASH 実証フィールド（2 箇所）における組成の平均値をもとに設定した。年間平均処理水温度は、全国 15 自治体の維持管理年報を基に設定した。仮想汚泥脱水及び焼却設備の設定条件を表資 3-2 に示す。

表資 3-1 従来技術を導入する下水処理場の設定条件

項目	設定条件
計画日最大汚水量	125,000m ³ /日
流入下水水質	SS : 200 mg/L
水処理施設	最初沈殿池＋反応タンク＋最終沈殿池
汚泥処理施設	重力濃縮（生汚泥）、機械濃縮（余剰汚泥）
処理汚泥性状	混合生汚泥、濃度：約 3.3%
汚泥処理設備運転時間	24 時間/日
稼働率（運転日数）	90%（328.5 日/年）
負荷率	90%



図資 3-2 仮想下水処理場の固形物収支

表資 3-2 仮想汚泥処理設備の設定条件

項目			従来技術
システム構成			一液脱水機＋流動床焼却炉
処理汚泥中固形物量			24t-DS/日
脱水汚泥含水率			76%
脱水汚泥処理量			100t-wet/日
汚泥性状	固形物中可燃分率		84.0%-DS
	固形物中灰分率		16.0%-DS
	発熱量	高位（DS 基準）	19,691kJ/kg-DS
		低位（wet 基準）	2,519kJ/kg-wet
	可燃分 元素 組成	炭素（C）	50.1%
		水素（H）	7.37%
		窒素（N）	6.57%
		酸素（O）	35.0%
硫黄（S）		0.94%	
処理水温度			21℃（夏季＋5℃、冬季－5℃）

（２）試算方法

１）建設費

建設費の算出にあたっては、土木建築施設費、機械設備費（脱水、焼却）、電気設備費（焼却）をそれぞれ算出した。各コストについては、「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（案）」（公益社団法人日本下水道協会）⁶⁾より、費用関数を用いて算出した。なお、脱水施設電気設備については、脱水機付属盤からの二次側配線工事及び計装工事を機械設備に含むものとして、電気設備としては計上しないこととした。またデフレーターは「建設工事費デフレーター」（国土交通省）より 1.0964 とした。

なお本費用関数は、同資料より利子率 2.3%とし、各設備の耐用年数を考慮したもので、耐用年数は機械設備（脱水）及び電気設備を 15 年、機械設備（焼却）を 10 年、土木建築設備を 50 年として、年価換算を行っている。算出式は以下のとおりである。

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

① 土木建築施設費

土木建築施設の建設費に関する費用関数は、実態調査結果に基づく回帰分析によるものを用いた。脱水施設については投入固形物量を 1%固形物濃度に換算した計画投入汚泥量

から、焼却施設については施設規模に応じ、下記にて算出した。

- ・脱水施設土木建築施設

$$0.227 \times (2,400 \text{ m}^3/\text{日})^{0.444} \times 1.0964 = 7.89 \text{ 億円}$$

- ・焼却施設土木建築施設

$$2.426 \times (100 \text{ t-wet}/\text{日})^{0.0094} \times 1.0964 = 2.78 \text{ 億円}$$

② 機械設備費

機械設備に関する費用関数は、実態調査結果に基づく回帰分析によるものを用いた。脱水施設については投入固形物量を 1%固形物濃度に換算した計画投入汚泥量から、焼却施設については施設規模に応じ、下記にて算出した。

- ・脱水施設機械設備

$$0.434 \times (2,400 \text{ m}^3/\text{日})^{0.373} \times 1.0964 = 8.68 \text{ 億円}$$

- ・焼却施設機械設備

$$1.888 \times (100 \text{ t-wet}/\text{日})^{0.597} \times 1.0964 = 32.36 \text{ 億円}$$

③ 電気設備費

電気設備に関する費用関数は、実態調査結果に基づく回帰分析によるものを用いた。焼却施設については施設規模に応じ、下記にて算出した。

- ・焼却施設電気設備

$$0.726 \times (100 \text{ t-wet}/\text{日})^{0.539} \times 1.0964 = 9.53 \text{ 億円}$$

2) 維持管理費

維持管理費の算出にあたっては、ユーティリティ、点検補修費、人件費、灰処分費として、脱水、焼却施設について算出した。コストについては、「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（案）」（公益社団法人日本下水道協会）⁶⁾より、費用関数を用いて算出した。

維持管理費の費用関数は、実態調査結果に基づく回帰分析によるものを用いた。脱水施設については投入固形物量を 1%固形物濃度に換算した年間処理汚泥量（稼働率×負荷率＝0.81 と設定）から、焼却施設について年間処理脱水汚泥量に応じて算出した。なお焼却灰の処理処分費は、完全燃焼した焼却灰（灰中の熱灼減量 0%）を含水率 30%まで加湿して搬出するものとし、処分費単価は「下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクト (LOTUS Project)」

下水汚泥のバイオソリッド燃料化に係る技術資料」(下水道技術開発プロジェクト(SPIRIT21)委員会)¹⁰⁾より、8,000 円/t とした。

① 脱水施設

$$0.039 \times (2,400\text{m}^3/\text{日} \times 365 \text{ 日/年} \times 0.9 \times 0.9)^{0.596} = 120 \text{ 百万円/年}$$

② 焼却施設

- ・ 灰処分費以外

$$0.287 \times (100\text{t-wet}/\text{日} \times 365 \text{ 日/年} \times 0.9 \times 0.9)^{0.673} = 293 \text{ 百万円/年}$$

- ・ 灰処分費

$$100\text{t-wet}/\text{日} \times (1-0.76) \times (1-0.84) \times 365 \text{ 日/年} \times 0.9 \times 0.9 \div (1-0.3) \\ \times 8,000 \text{ 円/t} = 13 \text{ 百万円/年}$$

- ・ 合計

$$292.9 \text{ 百万円/年} + 13.0 \text{ 百万円/年} = 306 \text{ 百万円/年}$$

3) ライフサイクルコスト

ライフサイクルコストの算出にあたっては、建設費を年価換算したものと、維持管理費、解体・廃棄費を合算することにより行うこととした。解体・廃棄費は建設費年価の 10%として計上した。解体・廃棄費については、下記条件による。

① 解体・撤去費

解体・撤去費の考え方は、「下水道用設計標準歩掛表平成 24 年―第 2 巻 ポンプ場・処理場―P.102」(公益社団法人日本下水道協会)⁸⁾より、機械・電気における公費は特殊な状況下でない限り、労務費のみを計上することが一般的であり、撤去費は労務費の 40%を計上することとあり、それに従うものとする。また労務費は建設費の 15%とする。したがって解体・撤去費は建設費の 6%となる。なお、本条件については土木建築設備にも適用する。

② スクラップコスト

スクラップコストは建設費の 4%を計上する。

4) 温室効果ガス排出量

温室効果ガスの排出量の算出にあたっては、下記項目について算出した。なお、燃焼排ガスより排出されるメタン(CH₄)については、炉内で完全燃焼されるもので、本試算においては含まないものとした。

① CO₂

従来技術に用いるユーティリティ（電気、補助燃料、薬品）の定常運転時ならびにシステム停止時から定常運転状態になるまでの立上げ時に係るものと、建設段階及び解体・廃棄時のものを対象とした。

ユーティリティ使用量の算出にあたっては、脱水設備は下水道統計（平成 22 年度版）（公益社団法人日本下水道協会）⁴⁾ および高効率型圧入式スクリーンプレス脱水機技術マニュアル（公益財団法人日本下水道新技術機構）¹¹⁾ より、ベルトプレス、遠心、スクリーンプレスを対象とし、消費電力原単位を 22kWh/t-wet、高分子凝集剤薬注率を 0.5%-TS に設定した。焼却設備ユーティリティ使用量については、メーカーヒアリングにより設定した。温室効果ガス排出量の原単位は表資 3-3 に示す数値を用いた。

施設の建設段階及び解体・撤去時の温室効果ガス排出量については、「下水道における LCA 適用の考え方」（国土交通省 国土技術政策総合研究所）⁹⁾ の終末処理場における環境負荷量（LC-CO₂）の算定事例から、建設段階 19.3%、供用段階 80.2%、解体・撤去時 0.5% の比率で換算し算出した。

表資 3-3 温室効果ガス排出量原単位

費目	原単位	設定根拠
電気	0.550kg-CO ₂ /kWh	※1 による
補助燃料（A 重油）	2.71kg-CO ₂ /L	※2 による
高分子凝集剤	6.5kg-CO ₂ /kg	※2 による、粉体基準
無機凝集剤（ポリ鉄）	0.0308kg-CO ₂ /kg	※3 による、11%水溶液ベース
苛性ソーダ	0.938kg-CO ₂ /kg	※3 による、濃度 100%

※1 環境省地球環境局地球温暖化対策課ウェブサイト「平成 25 年度の電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等の公表について」に基づく代替値

※2 「下水道における地球温暖化防止実行計画策定の手引き」国土交通省¹²⁾

※3 「廃棄物処理施設の基幹的設備改良マニュアル」環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課¹³⁾

② N₂O

焼却炉の運転時に燃焼排ガスより排出される亜酸化窒素（N₂O）については、「下水道における地球温暖化防止実行計画策定の手引き（平成 21 年 3 月）」（国土交通省）¹²⁾ の算出事例から、N₂O の排出係数を 0.645kg-N₂O/t-wet として設定し、これに温室効果ガス換算係数の 298 を乗じて二酸化炭素量に換算し、処理規模を乗じて算出した。

5) エネルギー消費量

エネルギー消費量の算出にあたっては、電気、補助燃料の使用に係るものを対象とし、薬品に係るものは除外した。エネルギー創出量は、従来技術では発電を行っていないため、こ

れを0とした。エネルギー消費量の原単位は表資3-4に示す数値を用いた。

表資3-4 エネルギー消費量原単位

費目	原単位	設定根拠
電気	9.5MJ/kWh	※1による
補助燃料(A 重油)	39.1MJ/L	※2による

※1「エネルギー源別標準発熱量及び炭素排出係数の改訂について」資源エネルギー庁¹⁴⁾

※2「下水道における地球温暖化防止実行計画策定の手引き」国土交通省¹²⁾

(3) 試算結果

表資3-5～8に従来技術を導入した場合の建設費、ライフサイクルコスト（維持管理費）、温室効果ガス排出量、エネルギー消費量の試算結果をそれぞれ示す。

表資3-5 従来技術を導入した場合の建設費試算結果

費目	建設費 (億円)	年価 (百万円/年)
機械設備費（脱水）	8.68	69
機械設備費（焼却）	32.36	366
電気設備費（焼却）	9.53	76
土木建築設備費	10.67	36
合計	67.03	547

表資3-6 従来技術を導入した場合のライフサイクルコスト試算結果

費目		費用 (百万円/年)
建築費	脱水設備	69
	焼却設備	442
	土木建築設備費	36
	小計	547
維持管理費	脱水設備	120
	焼却設備	306
	小計	426
撤去・解体費		55
合計		1,028

表資 3-7 従来技術を導入した場合の温室効果ガス排出量

費目		使用量	排出量 (t-CO ₂ /年)
電 気	消費電力（脱水）	650MWh/年	358
	消費電力（焼却）	2,823MWh/年	1,553
	小計	3,474MWh/年	1,911
補助燃料（A 重油）		523kL/年	1,419
薬 品	高分子凝集剤	35t/年	231
	苛性ソーダ（24%）	814t/年	183
	小計		414
供用段階時 小計			3,743
建設段階時			901
解体・撤去時			23
亜酸化窒素（N ₂ O）		29,565t-wet/年	5,683
合計			10,350

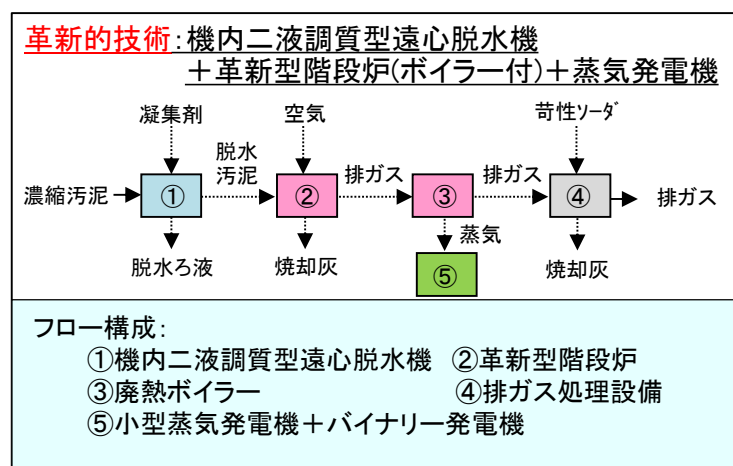
表資 3-8 従来技術を導入した場合のエネルギー消費量

費目		使用量	消費量 (GJ/年)
電 気	消費電力（脱水）	650MWh/年	6,169
	消費電力（焼却）	2,823MWh/年	26,778
	小計	3,474MWh/年	32,947
補助燃料（A 重油）		523kL/年	20,467
合計			53,414

3. 2 革新的技術

(1) 検討条件

図資 3-3 に革新的技術の概略フローを示す。



図資 3-3 革新的技術の概略フロー

革新的技術の導入を検討する下水処理場の諸元について、表資 3-9 に示す通り想定を行った。また、污泥処理設備の設定条件は表資 3-10 の通りとした。本設定のほかに、規模の違いによる影響把握のため、既存脱水污泥含水率から既存焼却規模が 12t-DS/日と 36t-DS/日についても試算を行った。なお、発電方式は小型蒸気発電機とバイナリー発電機併用方式としたが、既存焼却規模が 36t-DS/日条件のみ、発電方式を復水タービン蒸気発電方式とした場合の試算もあわせて行った。

表資 3-9 仮想下水処理場の設定条件

項目	設定条件
計画日最大汚水量	① 125,000m ³ /日 ② 62,500m ³ /日 ③ 187,500m ³ /日
流入下水水質	SS : 200 mg/L
水処理施設	最初沈殿池＋反応タンク＋最終沈殿池
污泥処理施設	重力濃縮（生污泥）、機械濃縮（余剰污泥）
処理污泥性状	混合生污泥、濃度：約 3.3%
污泥処理設備運転時間	24 時間/日
稼働率（運転日数）	90%（328.5 日/年）
負荷率	90%

表資 3-10 仮想汚泥処理設備の設定条件

項目		革新的技術	
システム構成		機内二液調質型遠心脱水機 ＋革新型階段炉（ボイラー付） ＋蒸気発電機	
処理汚泥中固形物量		① 24t-DS/日 ② 12t-DS/日 ③ 36t-DS/日	
脱水汚泥含水率		69%	
脱水汚泥処理量		① 79.0t-wet/日 ② 39.5t-wet/日 ③ 118.5t-wet/日	
汚泥性状	固形物中可燃分率		82.3%-DS
	固形物中灰分率		17.7%-DS
	発熱量	高位（DS 基準）	19,306kJ/kg-DS
		低位（wet 基準）	3,836kJ/kg-wet
	可燃分 元素 組成	炭素（C）	49.9%
		水素（H）	7.34%
		窒素（N）	6.54%
		酸素（O）	34.8%
		硫黄（S）	1.40%
処理水温度		21℃（夏季＋5℃、冬季－5℃）	

固形物基準で従来技術と革新的技術の処理量を合わせており、革新的技術では汚泥の低含水率化が図られるため、wet 基準では革新的技術の脱水汚泥処理量が少なくなる。また、革新的技術では、低含水率化技術（機内二液調質型遠心脱水機）で添加される無機凝集剤（ポリ硫酸第二鉄：ポリ鉄）の鉄分が汚泥の固形分（灰分）に移行するため、焼却量としての固形分量は増加する。鉄分移行量の式を下記に示す。

（ポリ鉄中の鉄分移行量）

$$= (\text{汚泥中固形物量}) \times (\text{ポリ鉄注入率}) \times (\text{ポリ鉄中鉄分濃度}) \times (\text{換算係数})$$

$$= (\text{汚泥中固形物量}) \times 0.1 \times 0.11 \times 1.91$$

$$\div (\text{汚泥中固形物量}) \times 0.021$$

ポリ鉄注入率（実証結果より設定）：10%-DS

ポリ鉄中鉄分濃度：11%

換算係数：1.91（沈殿物中の鉄分の分子式： $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ）

$$(\text{Fe}(\text{OH})_3 \text{ 分子量}) \div (\text{Fe 原子量}) = 107 \div 56 \div 1.91$$

したがって革新的技術では汚泥固形物量に対して約 2.1%固形分量が増える計算とした。表 3-10 の革新的技術の汚泥処理量、可燃分率、灰分率、発熱量の数値はすべてこの鉄分移行量を含んだ数値とした。さらにポリ鉄の添加により可燃分中の硫黄（S）分が実証結果より約 1.5 倍となるため、革新的技術の可燃分組成はこれを加味した数値とした。

（2）試算方法

1）建設費

建設費の算出にあたっては、土木建築施設費、機械設備費（脱水、焼却、発電）、電気設備費（焼却、発電）をそれぞれ算出した。機械設備費、電気設備費については、容量計算などにより機器の仕様を決定し、機器の単価を乗じてこれを積算するとともに、設備工事費については積上げによる金額を計上した。なお、脱水施設電気設備については、脱水機付属盤からの二次側配線工事及び計装工事を機械設備に含むものとして、電気設備としては計上しないこととした。

また、「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）⁶⁾より、利子率 2.3%とし、各設備の耐用年数を考慮した。耐用年数は機械設備（脱水・発電）及び電気設備を 15 年、機械設備（焼却）を 10 年、土木建築設備を 50 年とし、年価換算を行った。

① 土木建築施設費

土木建築施設の建設費については、機械設備主要部は屋外設置とし、建屋（ブロワ室、電気室、制御室等）は既存施設を利用するとして除外した。また、本工事範囲としては整地済の既存敷地に建設されるものとし、造成費、杭打設費、既設建築物の撤去費等は含まないこととした。

② 機械設備費

機械設備については機器ごとの台数に単価を乗じて算出し、機器費を材料費として扱い、工費（労務費）を計上した。

③ 電気設備費

電気設備については計装機器等の台数に単価を乗じて算出し、機器費を材料費として扱い、工費（労務費）を計上した。ただし、一次側の受変電設備及び中央監視設備は不含とした。

2）維持管理費

維持管理費の算出にあたっては、ユーティリティ、本施設で発生する焼却灰の処理処分費、点検補修費及び人件費を対象とした。

① ユーティリティ

電力、補助燃料及び薬品を考慮し、それぞれ容量計算により求められた消費量に対して各ユーティリティの単価を乗じて算出した。ユーティリティ消費量の算出根拠は資料編 2.2 ユーティリティ消費量算定式を参照されたい。

電力については、施設を稼働させるための消費電力と、発電設備による発電量の差を算出した。発電電力については FIT（固定価格買取制度）を適用せず、余剰電力が発生した場合は下水処理場全体の消費電力を削減するために使われるものとして、買電電力と同等の単価を適用し、収入（負の維持管理費）として計上した。消費電力として照明などの建築設備で用いるものについては除外した。

補助燃料は A 重油とし、革新的技術では通常運転時は使用しないため、焼却炉の立ち上げ時の使用分を計上した。

薬品については、機内二液調質型遠心脱水機において使用する高分子凝集剤及び無機凝集剤（ポリ鉄）、排ガス処理工程で酸性ガス処理に使用する苛性ソーダを考慮した。各使用量は物質収支計算結果から算出した使用量を用いた。ただし、凝集剤薬注率については実証運転結果をもとに、高分子凝集剤添加率を TS 当たり 0.7%、無機凝集剤（ポリ鉄）添加率を TS 当たり 10%と設定した。

なお、ボイラー補給水として用いる上水およびボイラー薬品については、維持管理費に占める割合が 1%未満であるため、本試算においては省くこととした。24t-DS/日の場合のみ、参考に算出結果を記述した。

ユーティリティの単価は表資 3-11 に示す数値を用いた。

表資 3-11 ユーティリティ単価

費目	原単位	設定条件
電気	15 円/kWh	契約電力 500kW 以上
補助燃料（A 重油）	96 円/L	小型ローリー納入
高分子凝集剤	500 円/kg	カチオン系、使用量 2,000kg/年以上
無機凝集剤（ポリ鉄）	20 円/kg	使用量 300 t /年以上
苛性ソーダ	18 円/kg	濃度 24%

② 焼却灰の処理処分費

本施設で発生する焼却灰の処理処分費は、汚泥が完全燃焼し（灰中の熱灼減量 0%）、湿灰として排出する際の含水率（実証結果より 30%と設定）を考慮した上で算出される発生量に対し、焼却灰の単位重量あたりの平均埋立処分費単価を「下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクト（LOTUS Project）, 下水汚泥のバイオソリッド燃料化に係る技術資料」（下水道技術開発プロジェクト（SPIRIT21）委員会）¹⁰⁾ より、8,000 円/t を乗じて算出し

た。

③ 点検補修費

各設備の耐用年数期間の年間平均値を計上することとした。なお点検補修費には廃熱ボイラー、蒸気発電機にかかる法定点検ならびに検査費用を計上した。

④ 人件費

実証試験時の管理体制を基に、脱水・焼却設備の運転員のみ計上し、処理場の管理要員等は含まないこととした。また処理規模に対して、作業量への影響が大幅に変化しないことから 12t-DS/日から 36t-DS/日の範囲で一定とした。表資 3-12 に算出した結果を示す。
(日勤 2 名、運転員 12 名：3 人×4 班)

表資 3-12 運転管理体制

処理規模	人数	単価	計
日勤（管理者）	2 名	500 万円/年	1,000 万円/年
運転員（3 人×4 班）	12 名	400 万円/年	4,800 万円/年
合計	14 名		5,800 万円/年

3) ライフサイクルコスト

従来技術の試算方法と同様とした。

4) 温室効果ガス排出量

温室効果ガスの排出量の算出にあたっては、下記項目について算出した。なお、燃焼排ガスより排出されるメタン（CH₄）については、炉内で完全燃焼されるもので、本試算においては含まないものとした。

① CO₂

革新的技術に用いるユーティリティ（電気、補助燃料、薬品）の定常運転時ならびにシステム停止時から定常運転状態になるまでの立上げ時に係るものと、建設段階及び解体・廃棄時のものを対象とした。

ユーティリティの算出にあたっては、物質収支・熱収支計算により求められた各使用量に対し、それぞれの二酸化炭素排出量の原単位を乗じることによって算出した。発電電力については負の排出量として計上した。温室効果ガス排出量の原単位は従来技術で示したものをを用いた（表資 3-3 参照）。なお、ボイラー補給水として用いる上水およびボイラー薬品については、温室効果ガス排出量に占める割合が 1%未満であるため、本試算において

は省くこととした。24t-DS/日の場合のみ、参考に算出結果を記述した。

施設の建設段階及び解体・撤去時の温室効果ガス排出量については、従来技術と同様に建設段階 19.3%、供用段階 80.2%、解体・撤去時 0.5%の比率で換算し算出した。

② N₂O

焼却炉の運転時に燃焼排ガスより排出される亜酸化窒素 (N₂O) については、実証試験結果 (資料編 1.4 エネルギー回収・変換技術実証試験結果 P. 137, 138 参照) から N₂O の排出係数を 0.1kg-N₂O/t-wet として設定し、これに温室効果ガス換算係数の 298 を乗じて二酸化炭素量に換算し、処理規模を乗じて算出した。

5) エネルギー消費量・創出量

エネルギー消費量の算出にあたっては、電気、補助燃料を対象とした。エネルギー創出量である発電電力については、負の使用量として示した。エネルギー創出量とエネルギー消費量を足した値を、正味のエネルギー創出量 (創エネルギー量) として算出した。これが負の値であれば、本システムにより余剰エネルギーが得られることを示す。

物質収支・熱収支計算ならびに蒸気発電機性能目安により求められた各使用量と発電量に対し、それぞれのエネルギー原単位 (表資 3-4 参照) を乗じることによって算出した。

(3) 試算結果

1) 処理固形物量 24t-DS/日における試算結果

表資 3-13~17 に処理固形物量 24t-DS/日において革新的技術を導入した場合の建設費、維持管理費、ライフサイクルコスト、温室効果ガス排出量、エネルギー消費量・創出量の試算結果をそれぞれ示す。また、図資 3-4~7 にプロセスのフロー及び配置図を、表資 3-18 にプロセスの主要機器をそれぞれ示す。

表資 3-13 革新的技術（処理固形物量 24t-DS/日）の建設費

費目	建設費 (億円)	年価 (百万円/年)
機械設備費（脱水）	5.12	41
機械設備費（焼却）	24.42	276
機械設備費（発電）	2.40	19
電気設備費（焼却）	6.08	48
電気設備費（発電）	0.60	5
土木建築設備費	2.00	7
合計	40.62	396

表資 3-14 革新的技術（処理固形物量 24t-DS/日）の維持管理費

費目		使用量	費用 (百万円/年)
電 気	消費電力（脱水）	491MWh/年	7
	消費電力（焼却・発電）	1,184MWh/年	18
	発電電力	−2,402MWh/年	−36
	小計	−727MWh/年	−11
補助燃料（A 重油）		2.4kL/年	0.2
薬 品	ポリ鉄	710t/年	14
	高分子凝集剤	50t/年	25
	苛性ソーダ（24%）	1,032t/年	19
	小計		58
焼却灰処分		1,814t/年	15
点検・補修費			94
人件費			58
合計			213

（参考）上水使用量は 2,230m³/年で、単価を 330 円/m³ とすれば 0.7 百万円/年（寄与率 0.3%）

ボイラー薬品は 1.3t/年で、単価を 1,500 円/kg とすれば 2.0 百万円/年（寄与率 0.9%）

表資 3-15 革新的技術（処理固形物量 24t-DS/日）のライフサイクルコスト

費目		費用 (百万円/年)
建築費	脱水設備	41
	焼却設備	324
	発電設備	24
	土木建築設備	7
	小計	396
維持管理費	電気	－11
	補助燃料（A 重油）	0.2
	薬品	58
	焼却灰処分	15
	点検補修	94
	人件費	58
	小計	213
撤去・解体費		40
合計		649

表資 3-16 革新的技術（処理固形物量 24t-DS/日）の温室効果ガス排出量

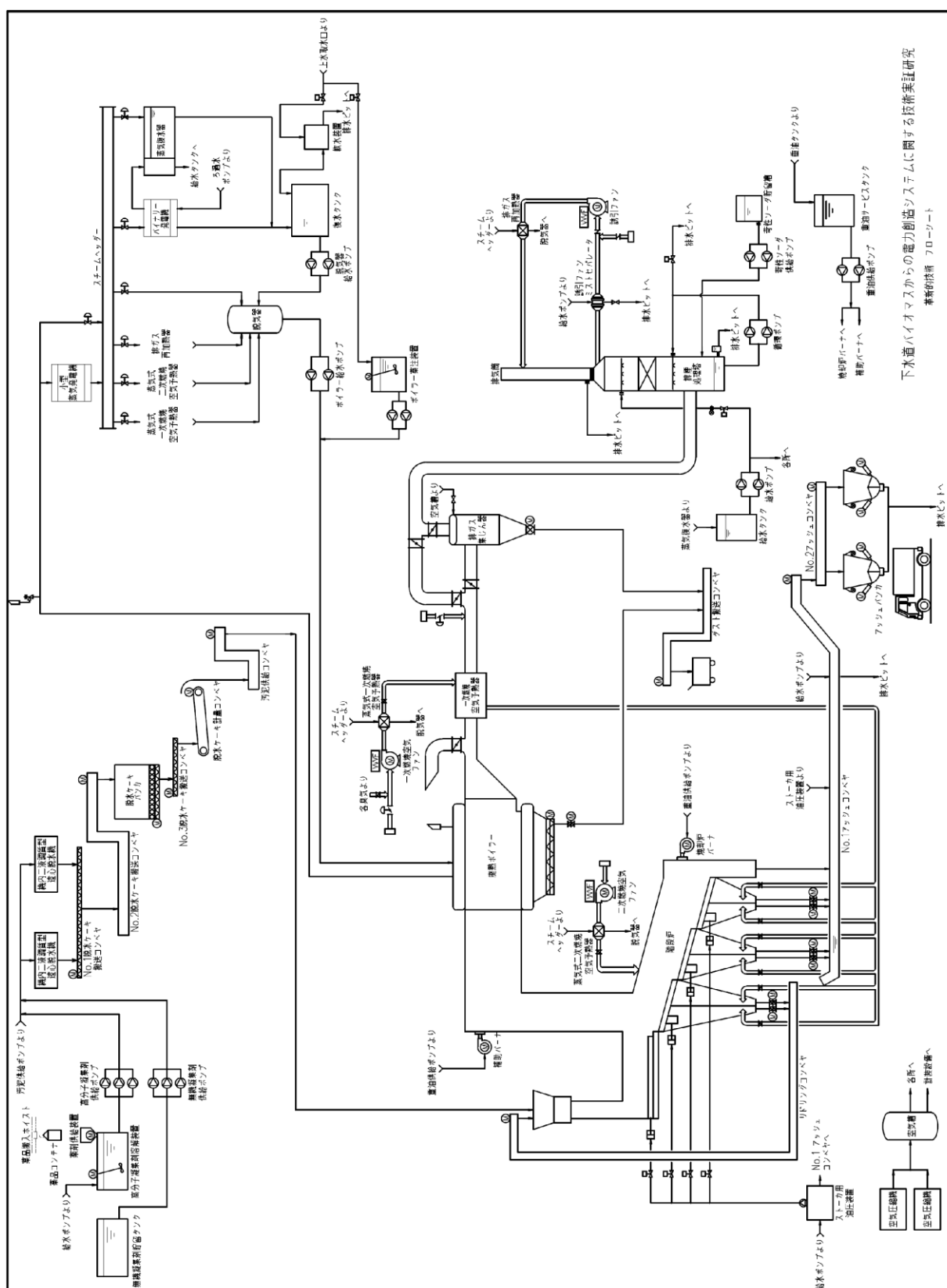
費目		使用量	排出量 (t-CO ₂ /年)
電 気	消費電力（脱水）	491MWh/年	270
	消費電力（焼却・発電）	1,184MWh/年	651
	小計	1,675MWh/年	921
補助燃料（A 重油）		2.4kL/年	6
薬 品	ポリ鉄	710t/年	22
	高分子凝集剤	50t/年	323
	苛性ソーダ（24%）	1,032t/年	232
	小計		577
供用段階時 小計			1,504
建設段階時			362
解体・撤去時			9
亜酸化窒素（N ₂ O）		23,356t-wet/年	696
合計（排出のみ）			2,572
発電電力		-2,402MWh/年	-1,321
合計（発電分含む）			1,251

（参考）上水使用量は 2,230m³/年で、排出係数を 2.0 kg-CO₂/m³とすれば 4.5 t-CO₂/年（寄与率 0.3%）

ボイラー薬品は 1.3t/年で、排出係数を 2.44 t-CO₂/t とすれば 3.2 t-CO₂/年（寄与率 0.3%）

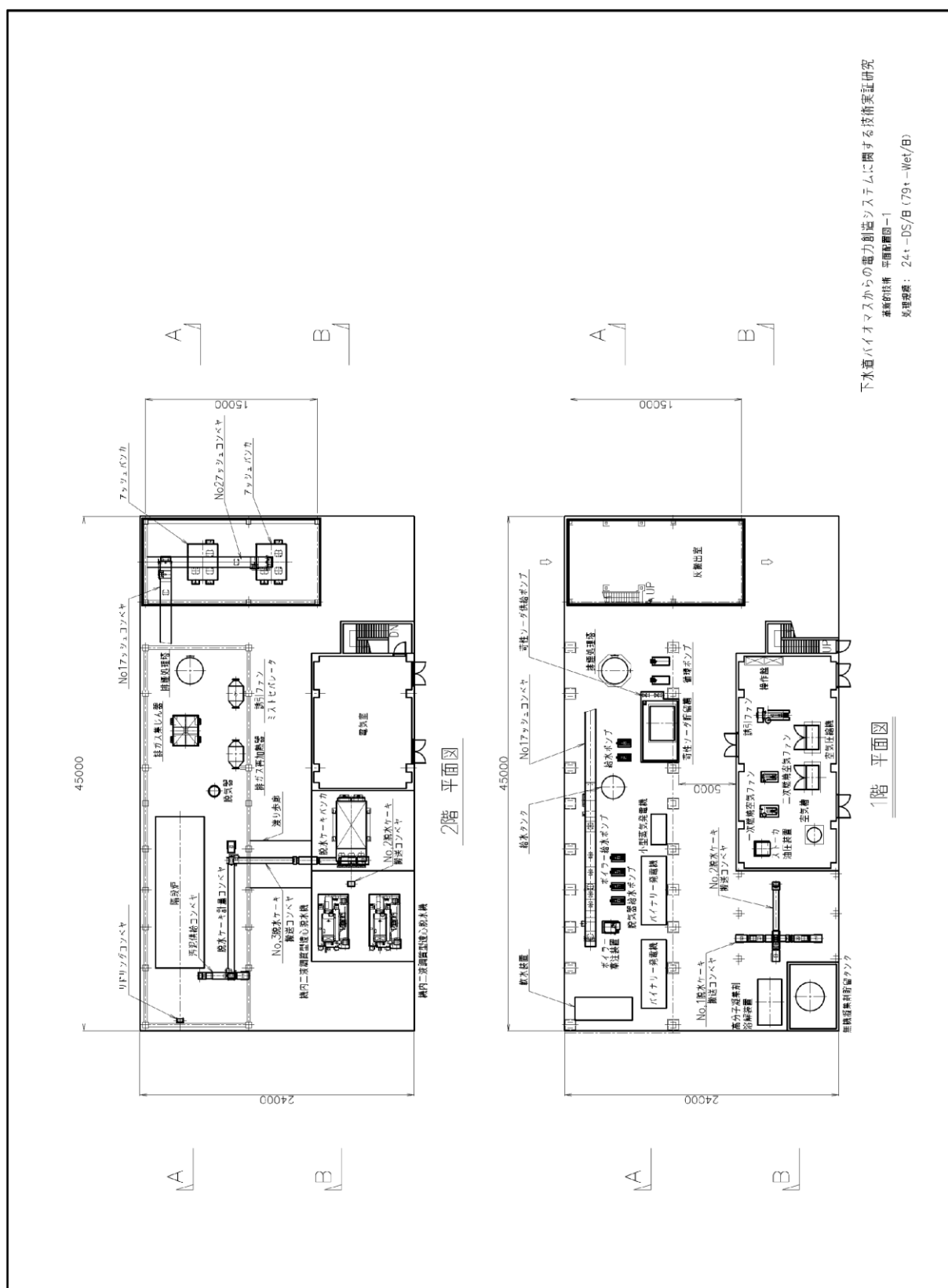
表資 3-17 革新的技術（処理固形物量 24t-DS/日）のエネルギー消費量・創出量

費目		使用量	消費量 (GJ/年)
電 気	消費電力（脱水）	491MWh/年	4,657
	消費電力（焼却・発電）	1,184MWh/年	11,227
	小計	1,675MWh/年	15,883
補助燃料（A 重油）		2.4kL/年	92
合計（エネルギー消費量）			15,975
発電電力（エネルギー創出量）		-2,402MWh/年	-22,782
合計：正味のエネルギー創出量（創エネルギー量）			-6,806



図資 3-4 革新的技術のフロー

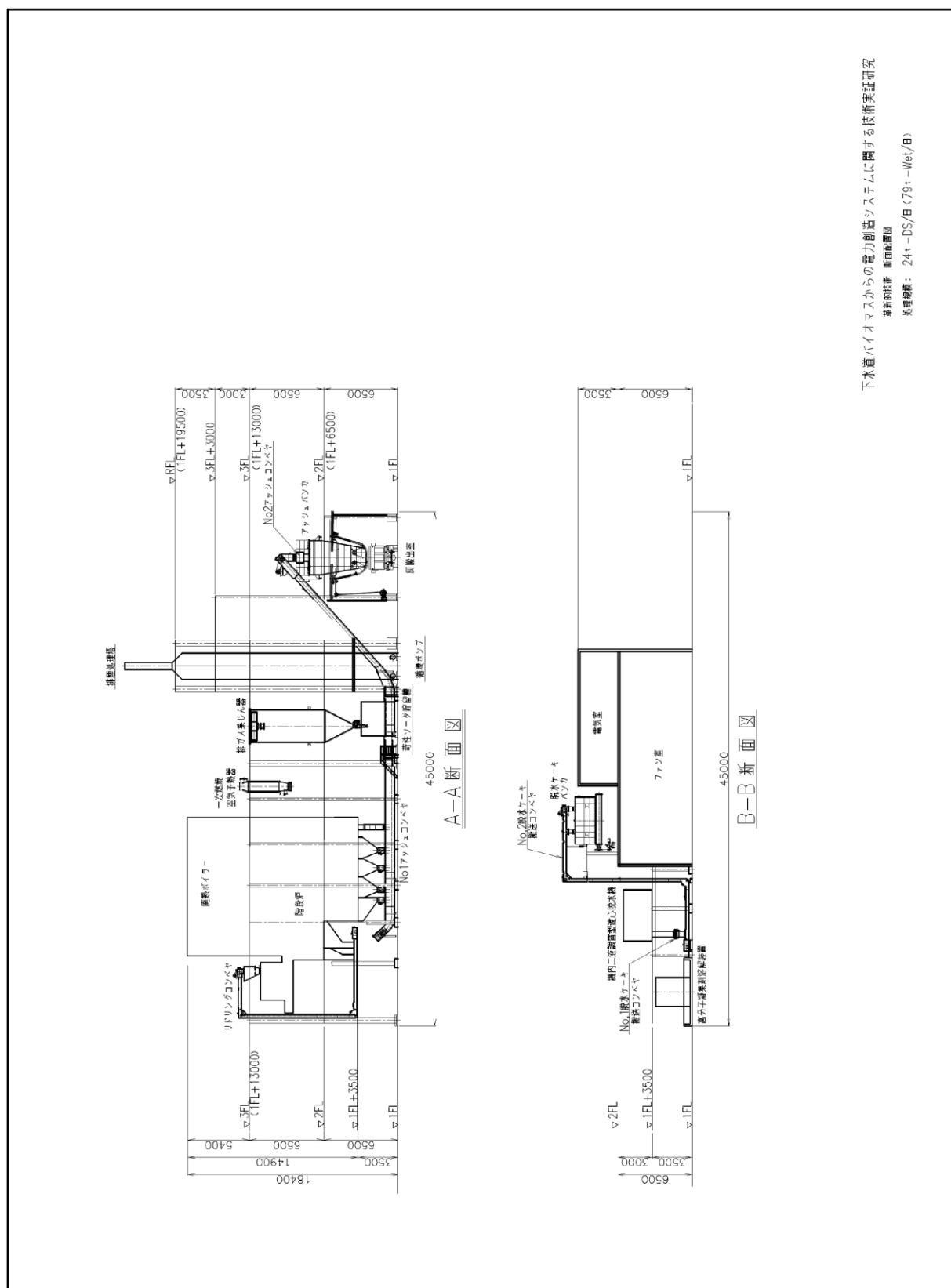
3. ケーススタディ



図資 3-5 革新的技術（処理固形物量 24t-DS/日）の平面配置-1

182

3. ケーススタディ



図資 3-7 革新的技術（処理固形物量 24t-DS/日）を導入した場合の断面配置図

表資 3-18 革新的技術（処理固形物量 24t-DS/日）を導入した場合の主要機器

No.	機器名称	型式	仕様	数量
1	汚泥脱水機	機内二液調質型 遠心脱水機	処理能力：20m ³ /h	2
2	No.1 脱水ケーキ 搬送コンベヤ	スクリュコンベヤ	搬送量：5.0t/h	1
3	No.2 脱水ケーキ 搬送コンベヤ	フライトコンベヤ	搬送量：5.0t/h	1
4	脱水ケーキバンカ	角槽型 下部スクリュフィーダ	有効容量：20m ³	1
5	No.3. 脱水ケーキ 搬送コンベヤ	スクリュコンベヤ	搬送量：5.0t/h	1
6	脱水ケーキ計量 コンベヤ	トラフ型ベルトコンベヤ	搬送量：5.0t/h、荷重検出器付	1
7	汚泥供給コンベヤ	フライトコンベヤ	搬送量：5.0t/h	1
8	汚泥焼却炉	革新型階段炉	処理量：79t-wet/日	1
9	廃熱ボイラー	自然循環式水管ボイラー	定格蒸発量：4,300 kg/h、 使用圧力：0.98MPaG	1
10	排ガス集じん器	パルスジェット式 バグフィルタ	処理ガス量：13,000m ³ N-wet/h×200℃ 圧力損失 1.5kPa 以下	1
11	排煙処理塔	水噴射及びアルカリ 吸収式	処理ガス量：13,000m ³ N-wet /h×200℃ ガス温度：入口 200℃ 出口 40℃ SOx 除去率 95%以上	1
12	誘引ファン	ターボ形	140m ³ _N /min×7.0kPa	2
13	排ガス再加熱器	フィンチューブ型 蒸気式熱交換器	交換熱量：約 1,000MJ/h	1
14	No.1 アッシュコンベヤ	湿式フライトコンベヤ	搬送量：0.8t/h	1
15	No.2 アッシュコンベヤ	フライトコンベヤ	搬送量：0.8t/h	1
16	ダスト搬送コンベヤ	フライトコンベヤ	搬送量：0.1t/h	1
17	アッシュバンカ	カットゲート付バンカ	有効容量：18m ³	2
18	一次燃焼空気ファン	ターボ形	120m ³ _N /min×5.0kPa	1
19	蒸気式一次燃焼空気 予熱器	フィンチューブ型 蒸気式熱交換器	交換熱量：約 700MJ/h	1
20	ガス式一次燃焼空気 予熱器	シェル&チューブ型 空気予熱器	交換熱量：約 700MJ/h	1
21	二次燃焼空気ファン	ターボ形	40m ³ _N /min×6.0kPa	1
22	蒸気式二次燃焼空気 予熱器	フィンチューブ型 蒸気式熱交換器	交換熱量：約 130MJ/h	1
23	小型蒸気発電機	スクリュ式	想定発電量：160kW（定格 160kW）	1
24	バイナリー発電機	ORC 型	想定発電量：90kW（定格 125kW）	2

2) 処理固形物量 12t-DS/日における試算結果

表資 3-19～23 に処理固形物量 12t-DS/日において革新的技術を導入した場合の建設費、維持管理費、ライフサイクルコスト、温室効果ガス排出量、エネルギー消費量・創出量の試算結果をそれぞれ示す。また、図資 3-8～10 に配置を示す。

表資 3-19 革新的技術（処理固形物量 12t-DS/日）の建設費

費目	建設費 (億円)	年価 (百万円/年)
機械設備費（脱水）	3.30	26
機械設備費（焼却）	18.60	210
機械設備費（発電）	1.60	13
電気設備費（焼却）	4.20	34
電気設備費（発電）	0.40	3
土木建築設備費	1.80	6
合計	29.90	292

表資 3-20 革新的技術（処理固形物量 12t-DS/日）の維持管理費

費目		使用量	費用 (百万円/年)
電 気	消費電力（脱水）	217MWh/年	3
	消費電力（焼却・発電）	688MWh/年	10
	発電電力	－1,162MWh/年	－18
	小計	－257MWh/年	－5
補助燃料（A 重油）		1.2kL/年	0.1
薬 品	ポリ鉄	355t/年	7
	高分子凝集剤	25t/年	12
	苛性ソーダ（24%）	516t/年	9
	小計		29
焼却灰処分		907t/年	7
点検・補修費			66
人件費			58
合計			156

表資 3-21 革新的技術（処理固形物量 12t-DS/日）のライフサイクルコスト

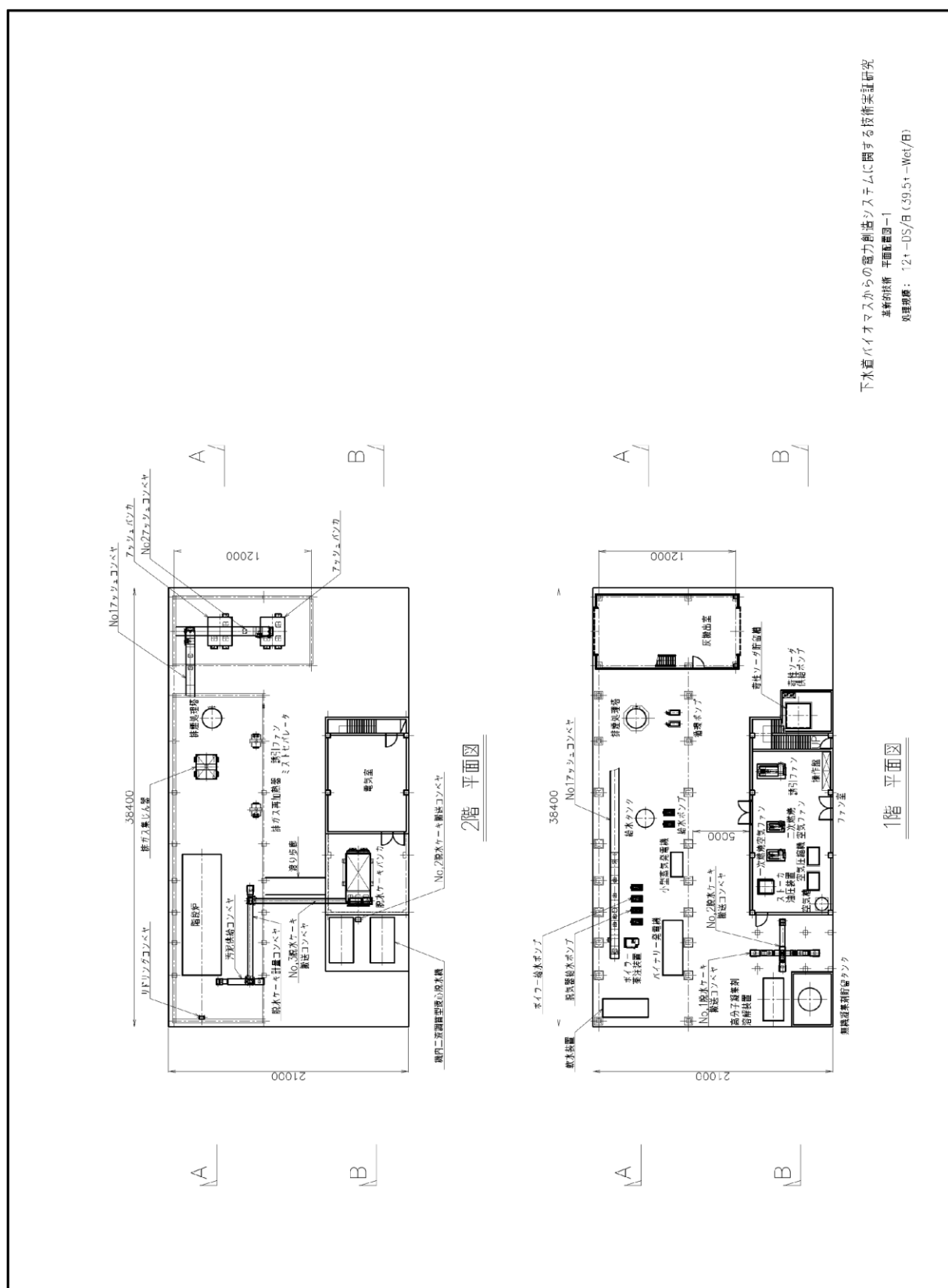
費目		費用 (百万円/年)
建築費	脱水設備	26
	焼却設備	243
	発電設備	16
	土木建築設備	6
	小計	292
維持管理費	電気	-5
	補助燃料（A 重油）	0.1
	薬品	29
	焼却灰処分	7
	点検補修	66
	人件費	58
	小計	156
撤去・解体費		29
合計		477

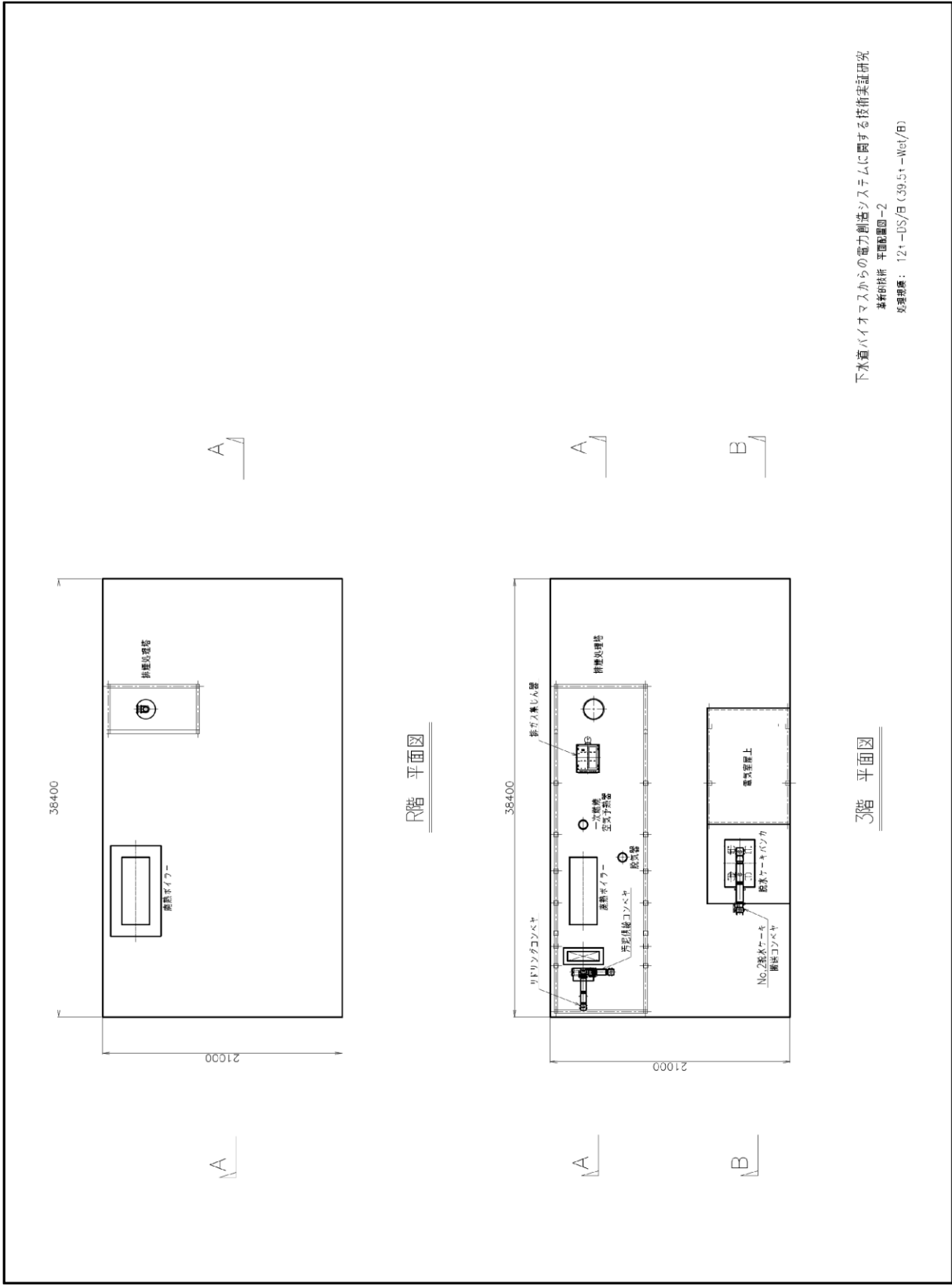
表資 3-22 革新的技術（処理固形物量 12t-DS/日）の温室効果ガス排出量

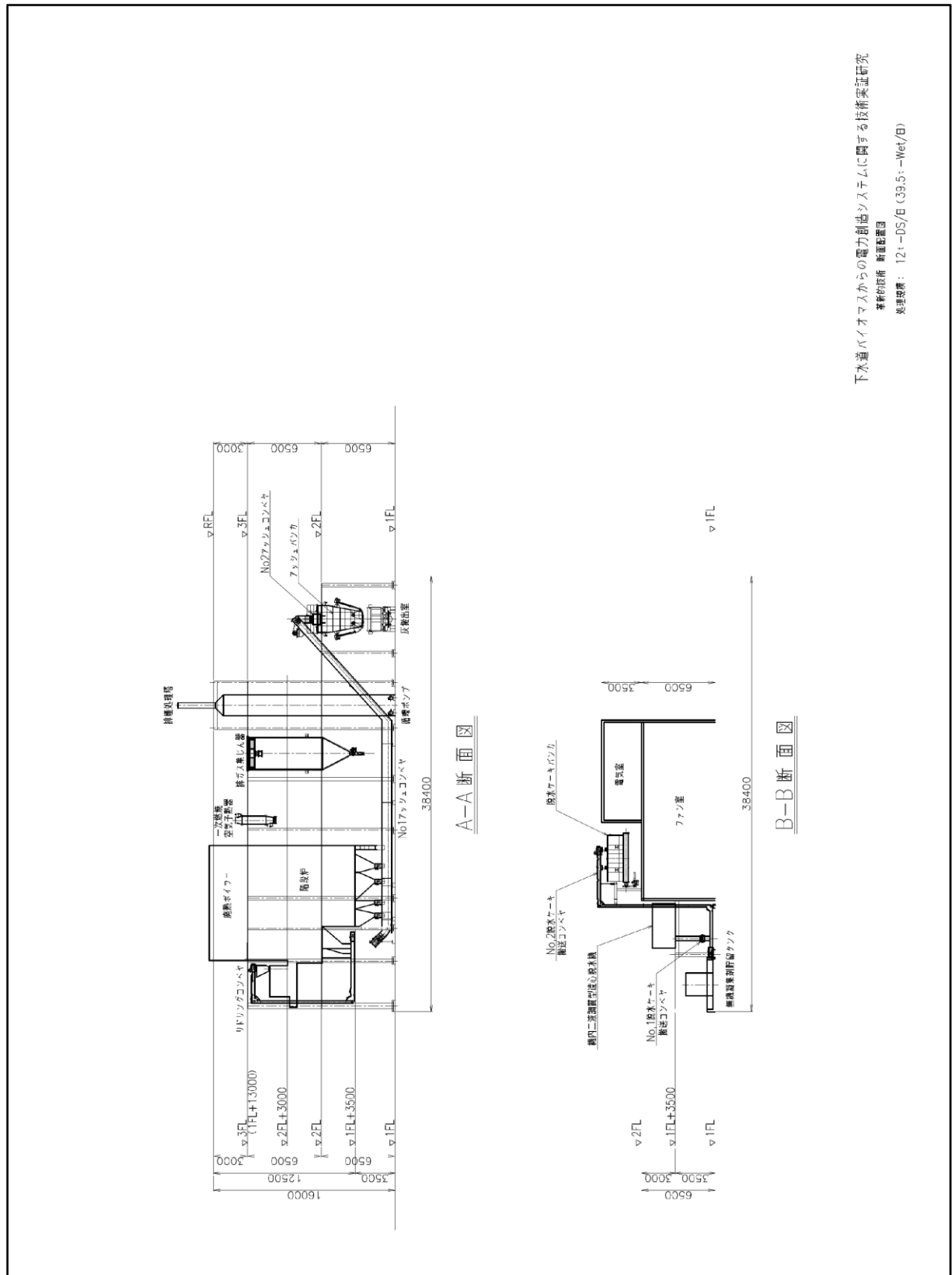
費目		使用量	排出量 (t-CO ₂ /年)
電 気	消費電力（脱水）	217MWh/年	119
	消費電力（焼却・発電）	688MWh/年	378
	小計	905MWh/年	497
補助燃料（A 重油）		1.2kL/年	3
薬 品	ポリ鉄	355t/年	11
	高分子凝集剤	25t/年	161
	苛性ソーダ（24%）	516t/年	116
	小計		289
供用段階時 小計			789
建設段階時			190
解体・撤去時			5
亜酸化窒素（N ₂ O）		23,356t-wet/年	348
合計（排出のみ）			1,332
発電電力		-1,162MWh/年	-639
合計（発電分含む）			693

表資 3-23 革新的技術（処理固形物量 12t-DS/日）のエネルギー消費量・創出量

費目		使用量	消費量 (GJ/年)
電 気	消費電力（脱水）	217MWh/年	2,054
	消費電力（焼却）	688MWh/年	6,522
	小計	905MWh/年	8,577
補助燃料（A 重油）		1.2kL/年	46
合計（エネルギー消費量）			8,623
発電電力（エネルギー創出量）		-1,162MWh/年	-11,016
合計：正味のエネルギー創出量（創エネルギー量）			-2,394







3) 処理固形物量 36t-DS/日における試算結果

表資 3-24～28 に処理固形物量 36t-DS/日においてエネルギー変換技術を小型蒸気発電機とバイナリー発電機併用方式として革新的技術を導入した場合と、復水タービン蒸気発電方式として革新的技術を導入した場合の建設費、維持管理費、ライフサイクルコスト、温室効果ガス排出量、エネルギー消費量・創出量の試算結果をそれぞれ示す。また、図資 3-11～13 にエネルギー変換技術を小型蒸気発電機とバイナリー発電機併用方式とした場合の配置を示す。

本試算結果から、処理固形物量 36t-DS/日規模においては復水タービン発電方式を採用したほうが、すべての評価項目において優位性があることが確認できる。

表資 3-24 革新的技術（処理固形物量 36t-DS/日）の建設費

費目	建設費 (億円)		年価 (百万円/年)	
	小型＋ バイナリー	復水 タービン	小型＋ バイナリー	復水 タービン
機械設備費（脱水）	6.50		52	
機械設備費（焼却）	28.00		317	
機械設備費（発電）	4.20	3.20	33	25
電気設備費（焼却）	7.80		62	
電気設備費（発電）	0.80		6	
土木建築設備費	2.30		8	
合計	49.60	48.60	478	470

表資 3-25 革新的技術（処理固形物量 36t-DS/日）の維持管理費

費目		使用量		費用 (百万円/年)	
発電方式		小型＋ バイナリー	復水 タービン	小型＋ バイナリー	復水 タービン
電 気	消費電力（脱水）	706MWh/年		11	
	消費電力（焼却・発電）	1,633MWh/年	1,645MWh/年	25	25
	発電電力	－3,851MWh/年	－4,152MWh/年	－58	－62
	小計	－1,512MWh/年	－1,801MWh/年	－23	－27
補助燃料（A 重油）		3.5kL/年		0.3	
薬 品	ポリ鉄	1,064t/年		21	
	高分子凝集剤	75t/年		37	
	苛性ソーダ（24％）	1,547 t/年		28	
	小計		86		
焼却灰処分		2,720t/年		22	
点検・補修費				114	108
人件費				58	
合計				257	247

表資 3-26 革新的技術（処理固形物量 36t-DS/日）のライフサイクルコスト

費目		費用 (百万円/年)	
発電方式		小型＋ バイナリー	復水 タービン
建築費	脱水設備	522	
	焼却設備	379	
	発電設備	39	31
	土木建築設備	8	
	小計	478	470
維持管理費	電気	－23	－27
	補助燃料（A 重油）	0.3	
	薬品	86	
	焼却灰処分	22	
	点検補修	114	108
	人件費	58	
	小計	257	247
撤去・解体費		48	47
合計		783	764

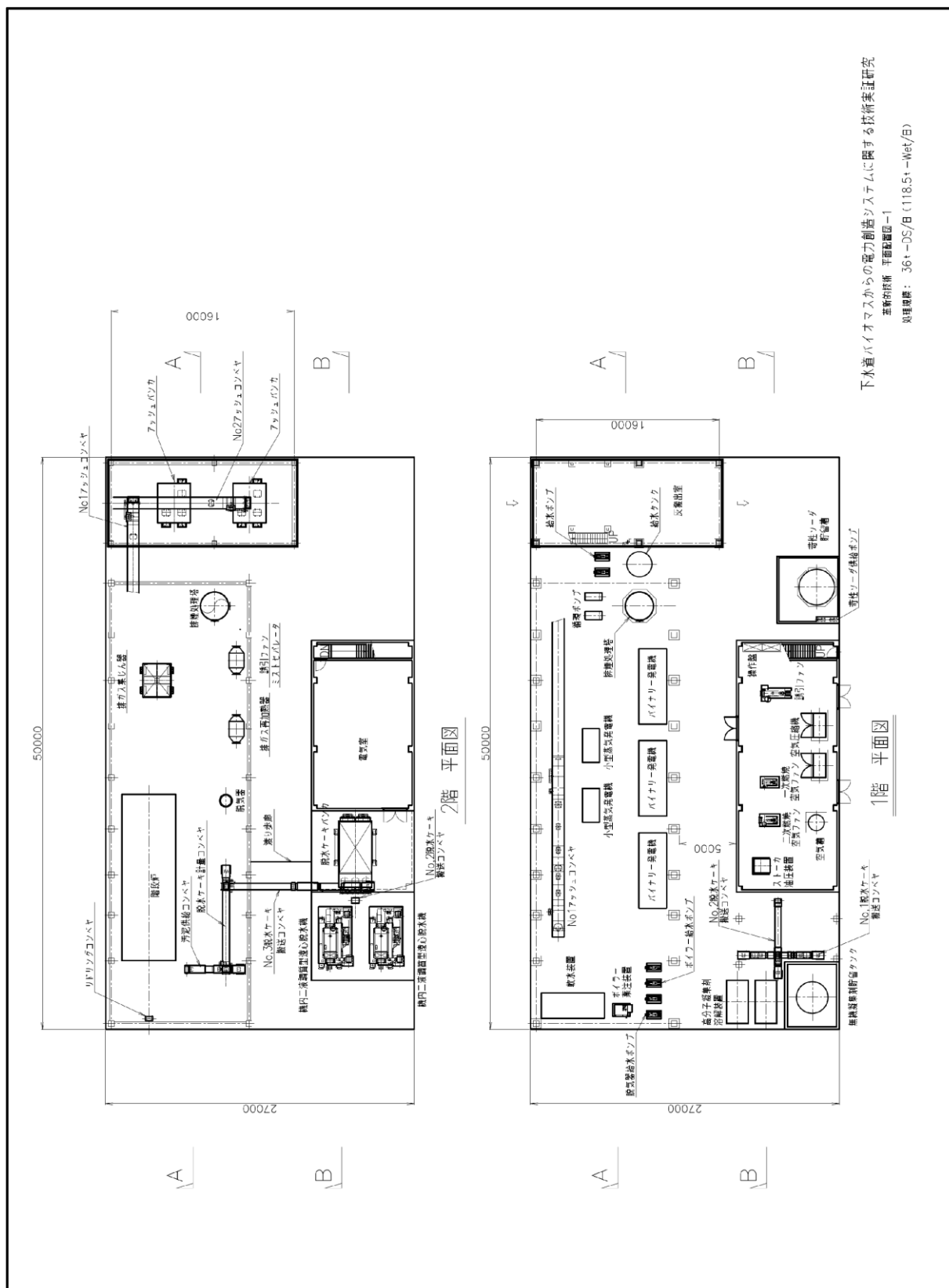
表資 3-27 革新的技術（処理固形物量 36t-DS/日）の温室効果ガス排出量

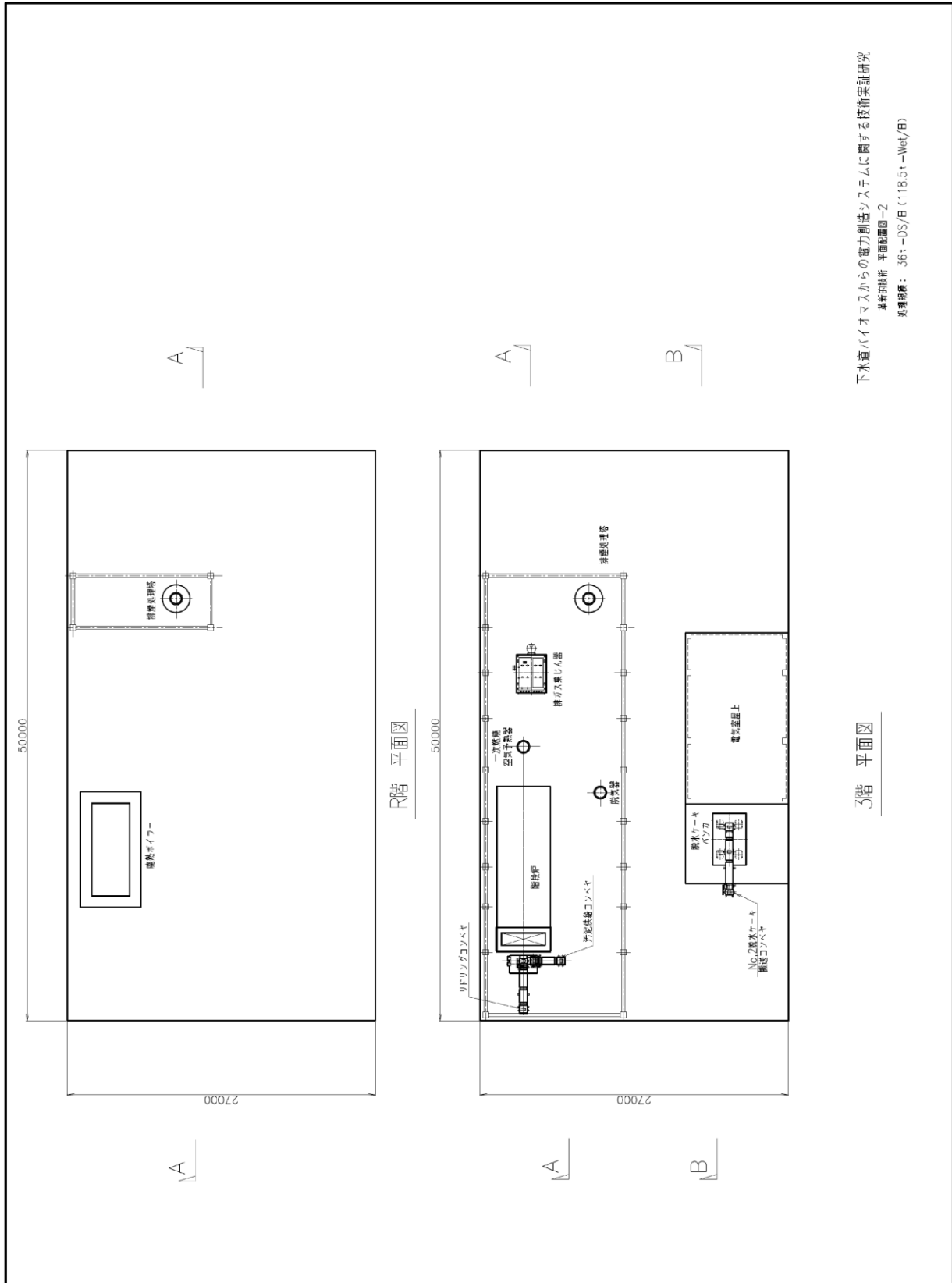
費目		使用量		排出量 (t-CO ₂ /年)	
発電方式		小型＋ バイナリー	復水 タービン	小型＋ バイナリー	復水 タービン
電 気	消費電力（脱水）	706MWh/年		388	
	消費電力（焼却・発電）	1,633MWh/年	1,645MWh/年	898	904
	小計	2,339MWh/年	2,351MWh/年	1,286	1,293
補助燃料（A 重油）		3.5kL/年		10	
薬 品	ポリ鉄	1,064t/年		33	
	高分子凝集剤	75t/年		484	
	苛性ソーダ（24%）	1,547t/年		348	
	小計		865		
供用段階時 小計				2,161	2,168
建設段階時				520	522
解体・撤去時				13	14
亜酸化窒素（N ₂ O）		35,035t-wet/年		1,045	
合計（排出のみ）				3,740	3,748
発電電力		－3,851MWh/年	－4,152MWh/年	－2,118	－2,283
合計（発電分含む）				1,622	1,464

表資 3-28 革新的技術（処理固形物量 36t-DS/日）のエネルギー消費量・創出量

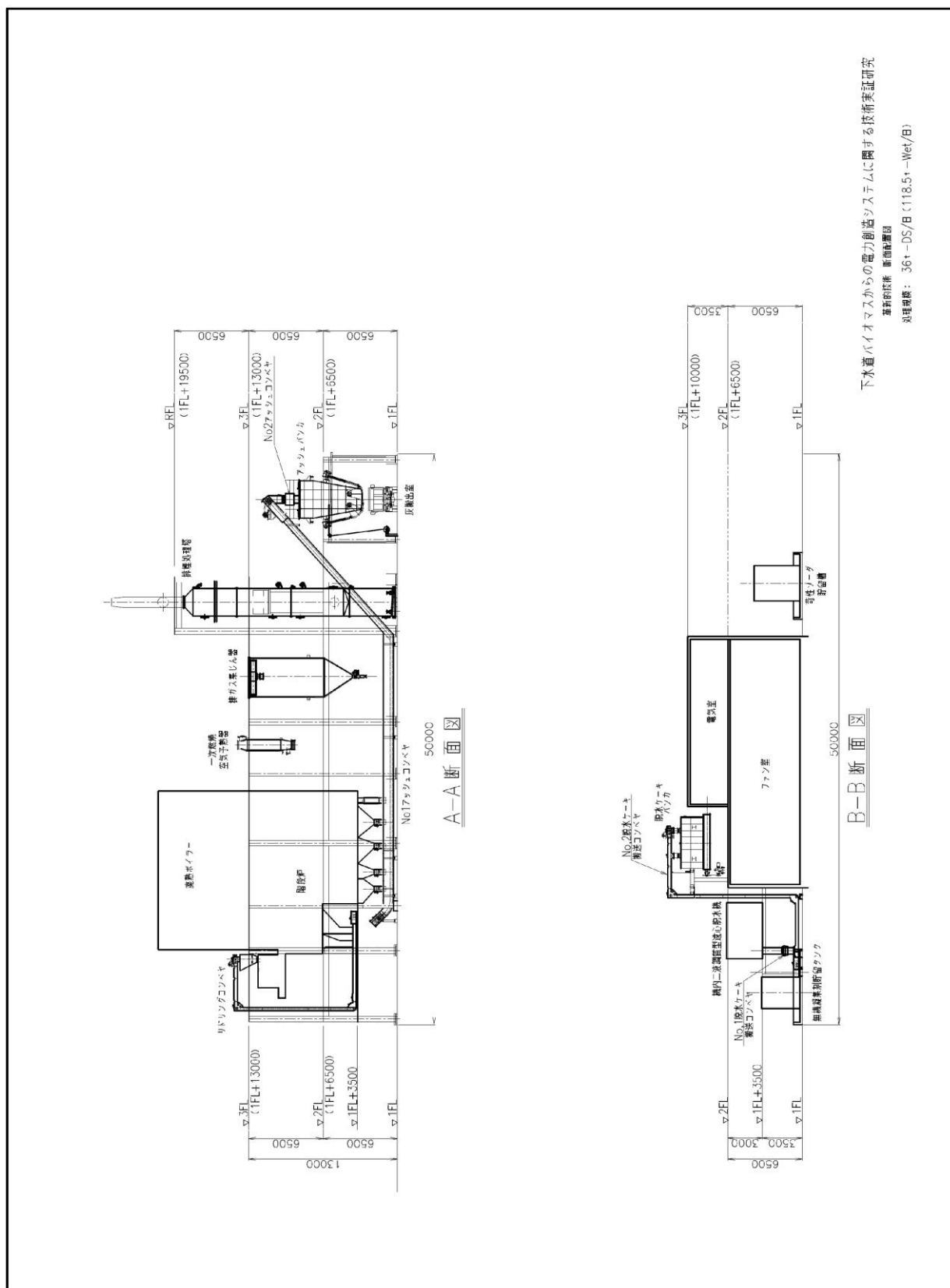
費目		使用量		排出量 (GJ/年)	
発電方式		小型＋ バイナリー	復水 タービン	小型＋ バイナリー	復水 タービン
電 気	消費電力（脱水）	706MWh/年		6,695	
	消費電力（焼却）	1,633MWh/年	1,645MWh/年	15,488	15,599
	小計	2,339MWh/年	2,351MWh/年	22,183	22,293
補助燃料（A 重油）		3.5kL/年		138	
合計（エネルギー消費量）				22,321	22,432
発電電力（エネルギー創出量）		－3,851MWh/年	－4,152MWh/年	－36,524	－39,376
合計：正味のエネルギー創出量（創エネルギー量）				－14,203	－16,944

3. ケーススタディ





図資 3-12 革新的技術（処理固形物量 36t-DS/日）の平面配置-2



図資 3-13 革新的技術（処理固形物量 36t-DS/日）の断面配置

3. 3 段階導入時の試算

表資 3-29～30 に処理固形物量 24t-DS/日においてエネルギー変換技術を小型蒸気発電機とバイナリー発電機併用方式として、一期目に低含水率化技術のみを導入し、二期目として 5 年後にエネルギー回収技術とエネルギー変換技術を導入した場合の建設費、ライフサイクルコストの試算結果を示す。なお、維持管理費、温室効果ガス排出量ならびにエネルギー消費量・創出量については、二期目完了後、一括導入時と同様となるため割愛した。

表資 3-29 革新的技術（処理固形物量 24t-DS/日）段階導入時の建設費

費目	建設費 (億円)	年価 (百万円/年)
機械設備費（脱水）	5. 12	41
機械設備費（焼却）	27. 50	291
機械設備費（発電）	2. 40	19
電気設備費（焼却）	6. 08	48
電気設備費（発電）	0. 60	5
土木建築設備費	2. 00	7
合計	43. 70	411

表資 3-30 革新的技術（処理固形物量 24t-DS/日）段階導入時のライフサイクルコスト

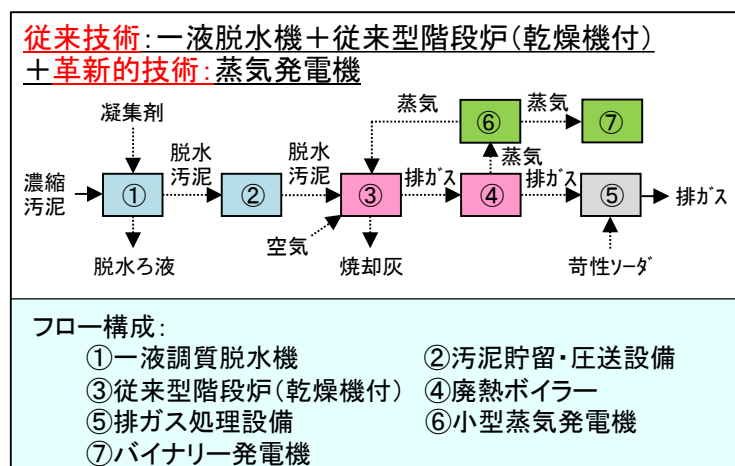
費目		費用 (百万円/年)
建築費	脱水設備	41
	焼却設備	339
	発電設備	24
	土木建築設備	7
	小計	411
維持管理費	電気	-11
	補助燃料（A 重油）	0.2
	薬品	58
	焼却灰処分	15
	点検補修	94
	人件費	58
	小計	213
撤去・解体費		41
合計		665

3. 4 部分導入時の試算

エネルギー変換設備を設置する場合、低含水率化設備を導入せず従来技術である既存設備（一液調質型）を利用し、エネルギー回収技術として従来型階段炉（乾燥機付）を適用することで、部分導入シナリオとして成り立つ（本編第2章 §11 参照）。そこで本シナリオにおける導入時の試算の一例として、既存の一液調質型脱水設備が導入済みの処理場に対し、焼却設備を従来型階段炉（乾燥機付）に更新し、エネルギー変換設備を設置する部分導入シナリオの場合の、処理固形物量 24t-DS/日における維持管理費、温室効果ガス排出量、エネルギー消費量・創出量の試算を行った。

（1）検討条件

図資 3-14 にエネルギー変換設備を部分導入する場合の概略フローを示す。



図資 3-14 エネルギー変換設備部分導入時の概略フロー

エネルギー変換設備の部分導入を検討する下水処理場の諸元については、従来技術導入時の条件と同じとした（表資 3-1 参照）。また、汚泥処理設備の設定条件は表資 3-31 の通りとした。なおエネルギー消費量・創出量の試算については、本設定のほかに規模の違いによる影響把握のため、既存焼却規模が 12t-DS/日と 36t-DS/日についても試算を行った。なお、発電方式は小型蒸気発電機とバイナリー発電機併用方式とした。

表資 3-31 仮想汚泥処理設備の設定条件

項目			革新的技術部分導入
システム構成			一液脱水機 ＋従来型階段炉(乾燥機付) ＋蒸気発電機
処理汚泥中固形物量			24t-DS/日
脱水汚泥含水率			76%
脱水汚泥処理量			100t-wet/日
乾燥汚泥含水率			40%
乾燥汚泥処理量			60t-wet/日
汚泥性状	固形物中可燃分率		84.0%-DS
	固形物中灰分率		16.0%-DS
	発熱量	高位 (DS 基準)	19,306kJ/kg-DS
		低位 (wet 基準)	10,055kJ/kg-wet
	可燃分 元素 組成	炭素 (C)	50.1%
		水素 (H)	7.37%
		窒素 (N)	6.57%
		酸素 (O)	35.0%
		硫黄 (S)	0.94%
処理水温度			21℃ (夏季+5℃、冬季-5℃)

(2) 試算方法

1) 温室効果ガス排出量

温室効果ガスの排出量の算出にあたっては、下記項目について算出した。なお、燃焼排ガスより排出されるメタン (CH₄) については、炉内で完全燃焼されるもので、本試算においては含まないものとした。

① CO₂

ユーティリティ (電力、補助燃料及び薬品) の定常運転時ならびにシステム停止時から定常運転状態になるまでの立上げ時に係るものと、建設段階及び解体・廃棄時のものを対象とした。

電力については、施設を稼働させるための消費電力と、発電設備による発電量の差を算出した。消費電力の算出にあたっては、脱水設備は下水道統計 (平成 22 年度版) (公益社団法人日本下水道協会)⁴⁾ および高効率型圧入式スクリープレス脱水機技術マニュアル¹¹⁾ より、ベルトプレス、遠心、スクリープレスを対象とし、消費電力原単位を 22kWh/t-wet に設定し、焼却設備はメーカー実績値を参考とした。発電電力については負の排出量として

計上した。

補助燃料はA重油とし、革新的技術同様通常運転時は使用しないため、炉の立ち上げ時の使用分をメーカー実績値より計上した。

薬品については、従来技術と同様の算出方法とした。

なお、ボイラー補給水として用いる上水およびボイラー薬品については、革新的技術の試算と同様、本試算においては省くこととした。

温室効果ガス排出量の原単位は従来技術で示したものをを用いた（表資 3-3 参照）。施設の建設段階及び解体・撤去時の温室効果ガス排出量については、従来技術と同様に建設段階 19.3%、供用段階 80.2%、解体・撤去時 0.5%の比率で換算し算出した。

② N₂O

焼却炉の運転時に燃焼排ガスより排出される亜酸化窒素（N₂O）については、「地球温暖化対策の推進に関する法律施行令の一部を改正する政令」（環境省）において議論され、了承された階段炉（ストーカ炉）の N₂O の排出係数を 0.263kg-N₂O/t-wet として設定し、これに温室効果ガス換算係数の 298 を乗じて二酸化炭素量に換算し、処理規模を乗じて算出した。

2) エネルギー消費量・創出量

革新的技術の試算方法と同様とした。

(3) 試算結果

1) 処理固形物量 24t-DS/日における試算結果

表資 3-32～33 に処理固形物量 24t-DS/日において革新的技術を部分導入した場合の温室効果ガス排出量、エネルギー消費量・創出量の試算結果をそれぞれ示す。また、図資 3-15～18 にフローおよび配置図を示す。

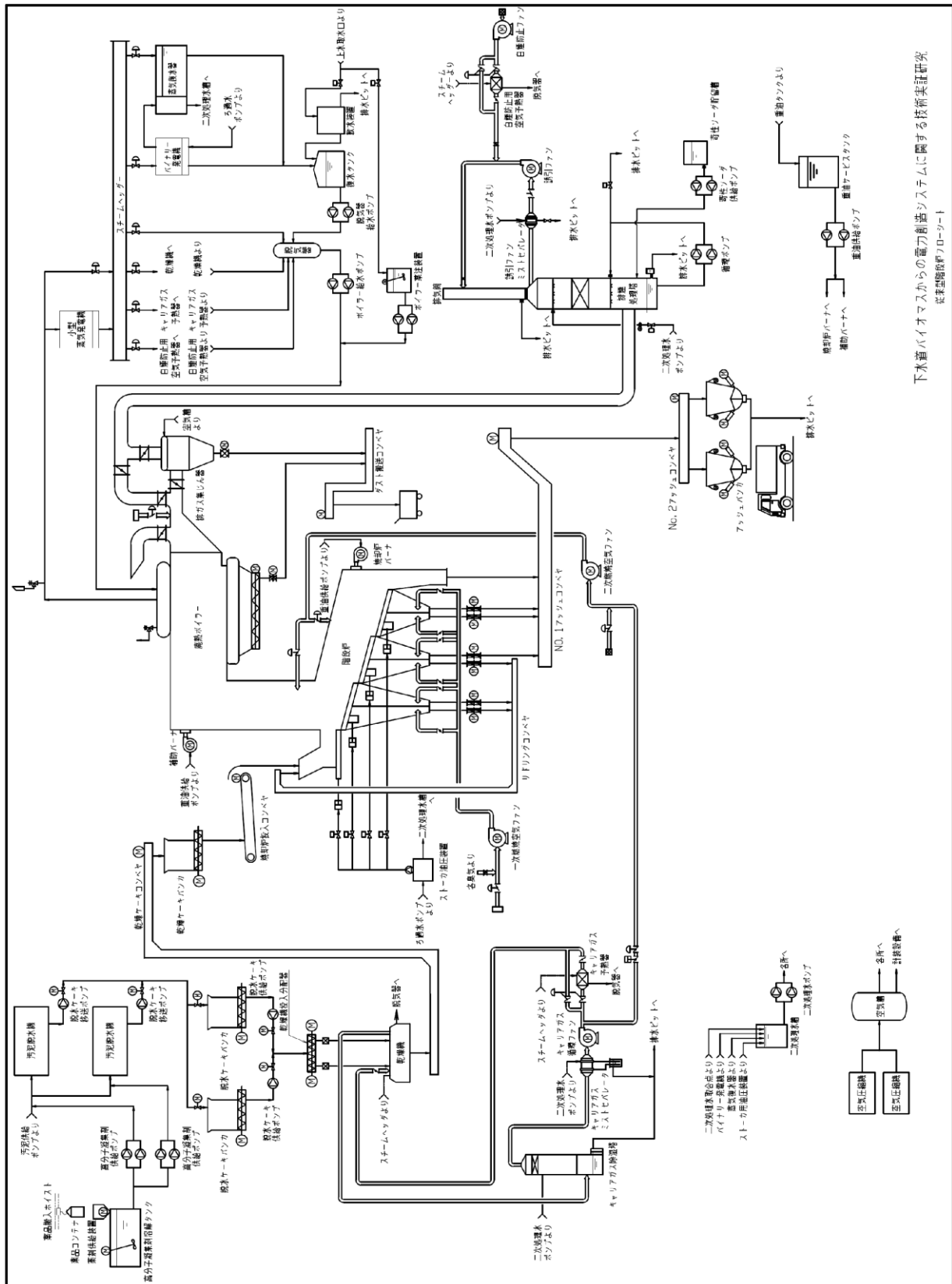
なお、エネルギー消費量・創出量の試算結果において、正味のエネルギー創出量（創エネルギー量）が正の値となっていることから、本試算条件では脱水設備まで含めたシステムにおいて、余剰エネルギーは得られないが、焼却設備の消費電力を発電電力が上回っていることから、焼却設備の消費電力は発電電力で賄えることを示している。

表資 3-32 革新的技術（処理固形物量 24t-DS/日）部分導入時の温室効果ガス排出量

費目		使用量	排出量 (t-CO ₂ /年)
電 気	消費電力（脱水）	650MWh/年	358
	消費電力（焼却・発電）	1,626MWh/年	894
	小計	2,276MWh/年	1,252
補助燃料（A 重油）		3.1kL/年	8
薬 品	ポリ鉄	0t/年	0
	高分子凝集剤	35t/年	231
	苛性ソーダ（24%）	814t/年	183
	小計		414
供用段階時 小計			1,674
建設段階時			403
解体・撤去時			10
亜酸化窒素（N ₂ O）		11,826t-wet/年	927
合計（排出のみ）			3,014
発電電力		-1,680MWh/年	-924
合計（発電分含む）			2,091

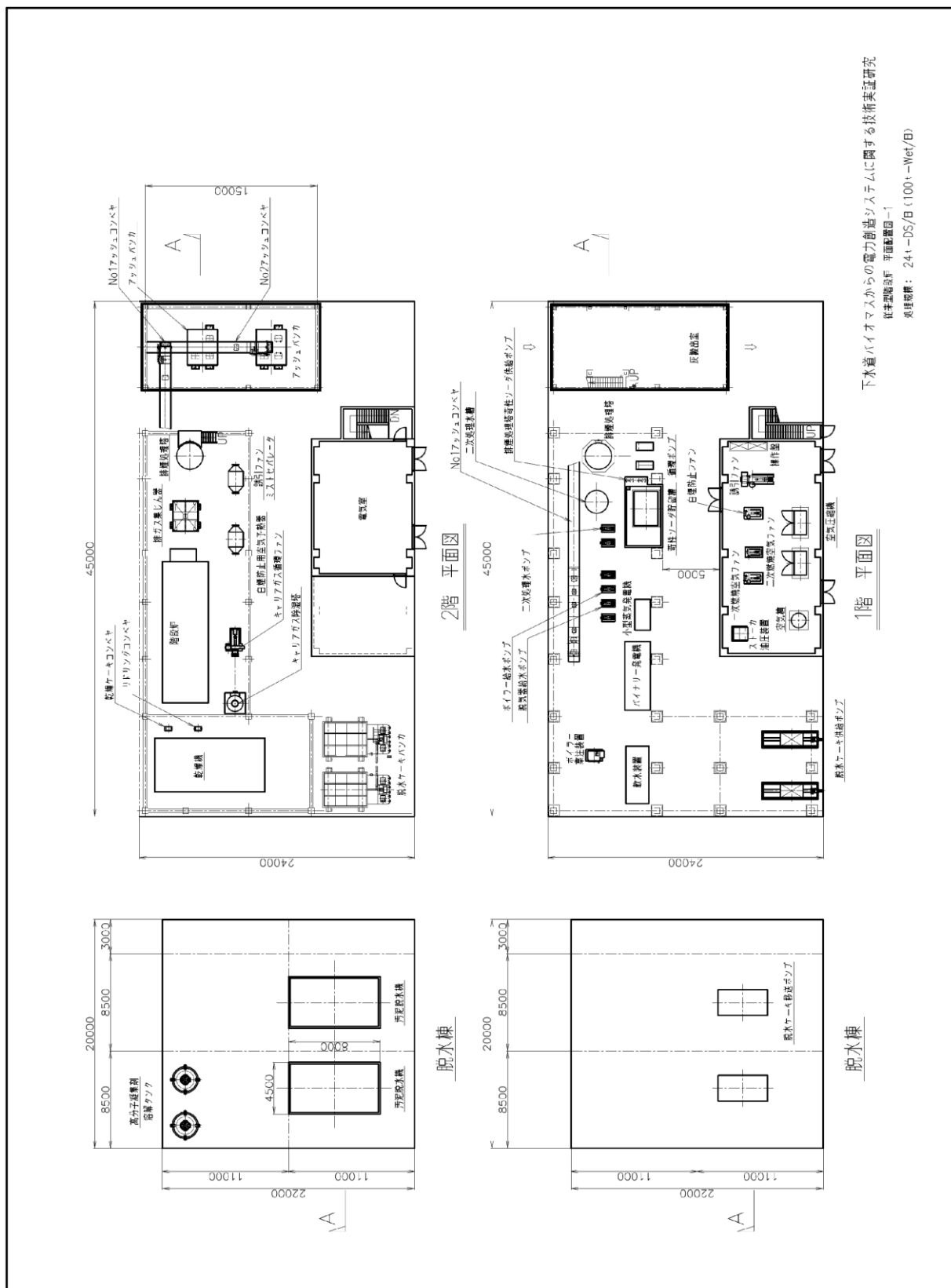
表資 3-33 革新的技術（処理固形物量 24t-DS/日）部分導入時のエネルギー消費量・創出量

費目		使用量	消費量 (GJ/年)
電 気	消費電力（脱水）	650MWh/年	6,169
	消費電力（焼却）	1,626MWh/年	15,418
	小計	2,276MWh/年	21,587
補助燃料（A 重油）		3.1kL/年	122
合計（エネルギー消費量）			21,709
発電電力（エネルギー創出量）		-1,680MWh/年	-15,929
合計：正味のエネルギー創出量（創エネルギー量）			5,780

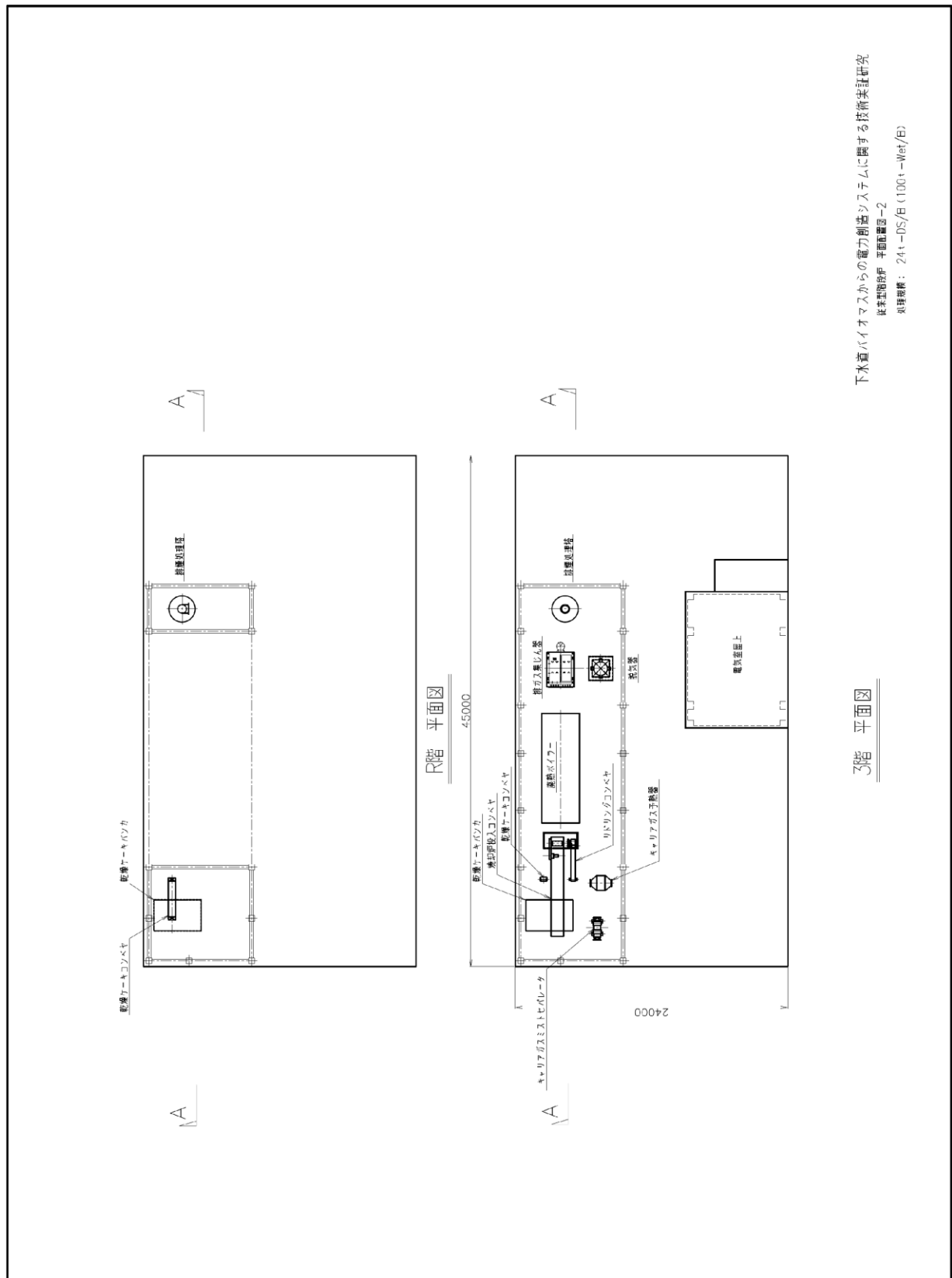


図資 3-15 従来型階段炉のフロー

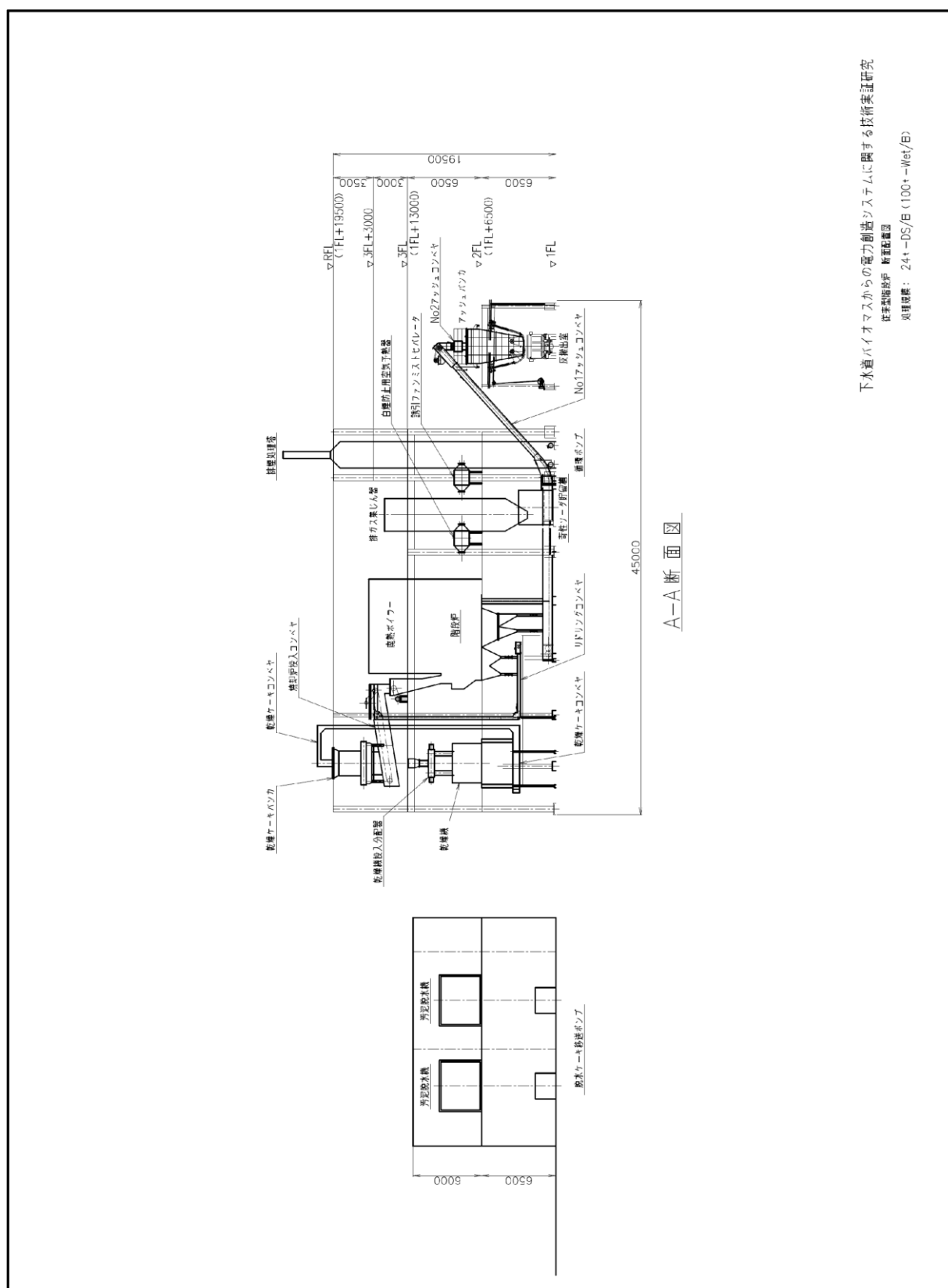
下水道バイオマスからの電力創出システムに関する技術実証研究
従来型階段炉フローシート



図資 3-16 従来型階段炉（処理固形物量 24t-DS/日）の平面配置図-1



下水道バイオマスからの電力創設システムに関する技術実証研究
従来型階段炉 平面配置図-2
処理能力： 24t-DS/日 (100t-Wet/日)



図資 3-18 従来型階段炉（処理固形物量 24t-DS/日）の断面配置

2) 異なる処理固形物量におけるエネルギー消費量・創出量

処理固形物量 12t-DS/、24t-DS/日、36t-DS/日において革新的技術を部分導入した場合のシステム全体のエネルギー消費量と、エネルギー創出量を表資 3-34 に示す。本結果から、36t-DS/日以上であればエネルギー消費量をエネルギー創出量が上回るため、システムとしての電力自立が可能となることが確認できる。

表資 3-34 革新的技術部分導入時のエネルギー消費量・創出量比較 (GJ/年)

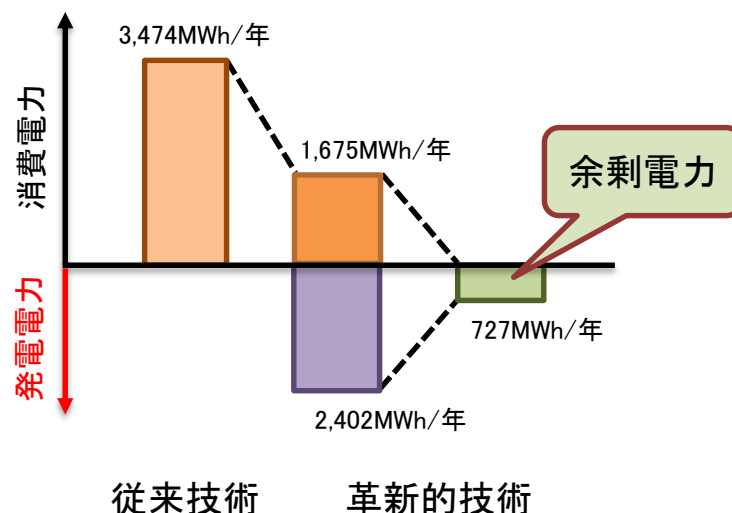
費目	12t-DS/日	24t-DS/日	36t-DS/日
システム全体のエネルギー消費量	10,883	21,709	25,249
発電電力 (エネルギー創出量)	-6,569	-15,929	-28,019
合計：正味のエネルギー創出量 (創エネルギー量)	4,314	5,780	-2,770

3. 5 下水処理場全体における削減効果の試算

処理固形物量 24t-DS/日の試算結果から、下水処理場全体で評価した場合の電力使用量及び温室効果ガス排出量の削減効果を各々、国内の下水処理場の統計データをもとに概算した。なお各々統計データであることから、特定の施設条件や規模を定めたものに対して適用されるものではないが、ここでは汚泥処理設備として焼却設備を含むものと仮定して試算を行った。

(1) 電力使用量削減効果の試算結果

24t-DS/日規模の汚泥焼却設備を有する下水処理場に本システム技術を導入した場合、発電電力量は脱水と焼却を含めた電力使用量の約 1.4 倍であることから、汚泥処理の電力使用量の全量を賄い、余剰電力量を水処理等の下水処理場内の他設備において使用することができる（図資 3-19）。これは革新的技術の設備消費電力が従来技術と比較して約 50%削減できたことによる効果である。

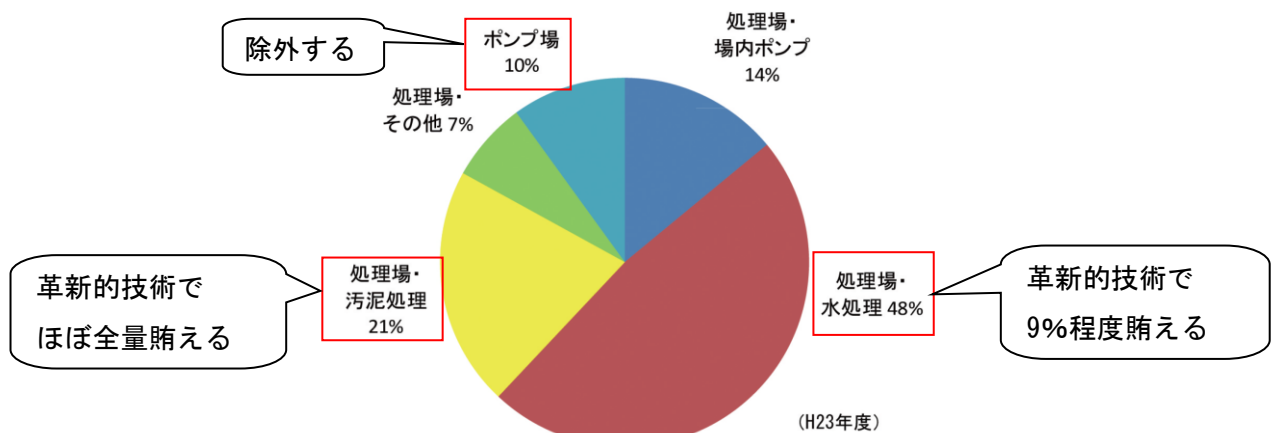


図資 3-19 24t-DS/日における電力使用量の比較

次に、ここで得られた余剰電力を下水処理場で用いるものとして、図資 3-20 に示される下水の処理工程別の電力使用量の内訳を示す統計データに本結果を適用する。革新的技術を用いることで、汚泥処理の使用電力量は約 50%削減できることから、図資 3-20 の汚泥処理の占める割合は 10.5%となりこの全量を賄うことができる。また、余剰電力量は汚泥処理の約 40%となることから、その分を水処理で用いるものとするれば、水処理の約 9%を賄うこととなる。その結果、次式の算出結果から概ね下水処理場の消費電力の約 3 割を賄うことができることになる。

$$(21 + 48 \times 0.09) \div 0.9 = 28.1\% \Rightarrow \text{約 3 割}$$

なお、同様の試算において 12t-DS/日規模では約 24%、36t-DS/日規模では約 32%と規模により多少前後するが、概ね同程度の結果となる。



出典：下水道統計平成 23 年度版（日本下水道協会）より国土交通省下水道部作成

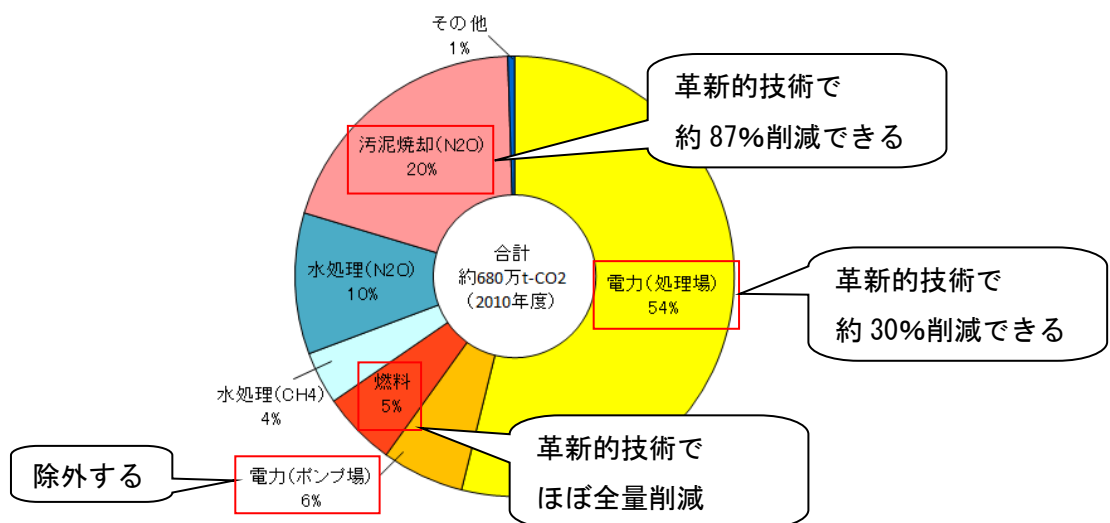
図資 3-20 下水の処理工程別の電力使用量の内訳

（２）温室効果ガス排出量削減効果の試算結果

24t-DS/日規模の汚泥焼却設備を有する下水処理場に本システム技術を導入することで、ケーススタディの結果から処理場の電力使用量の約 3 割、補助燃料のほぼ全量を削減し、汚泥焼却からの N_2O 排出係数を 1/6 に削減できる試算となった。

また N_2O 排出係数は湿ベースの脱水汚泥単位重量を原単位の基準としている。革新的技術を適用した場合、脱水汚泥含水率が 76%から 69%に低減できることから、脱水汚泥の発生量を約 2 割削減でき、 N_2O 削減効果と相まって、従来技術に対して約 87%削減できる。図資 3-21 に示される下水道からの温室効果ガス排出量の割合に本結果を適用すると、次式の算出結果から概ね下水処理場の温室効果ガスを 4 割削減できることになる。

$$(54 \times 0.3 + 5 + 20 \times 0.87) \div 0.94 = 41.1\% \Rightarrow \text{約 4 割}$$



図資 3-21 下水道からの温室効果ガス排出量の割合（国土交通省調査）

4. 蒸気発電設備設置時の適用法令

ボイラーには、労働安全衛生法の適用をうけるもの（労基ボイラー）と電気事業法の適用をうけるもの（発電ボイラー）とがあり、適用法令の違いにより必要な手続きも異なるので注意が必要である。本システムでは概ね発電ボイラーとなると想定されるため、以下に発電ボイラーの設置に必要な手続きについて示す。

4. 1 発電ボイラーに必要な手続き

自家用電気工作物を設置するものは、電気事業法の規定により、表資4-1に示すような手続きが必要となる。自家用電気工作物であれば、ボイラーも発電機も必要な手続きは基本的に同じであるが、出力1,000kW未満の発電機は、定期安全管理審査は不要となる。また、大半の下水処理場の設備は事業用電気工作物の自家用電気工作物に該当するため、既に電気主任技術者が選任されていることから、改めての選任の必要は無い。

表資4-1 自家用電気工作物における必要な手続き等

ボイラー	発電機
・電気主任技術者の選任 ・ボイラー・タービン主任技術者の選任	
・保安規程の作成 ・工事計画書の届出	・保安規程の作成 ・工事計画書の届出
・溶接安全管理審査 ・使用前自主検査 ・使用前安全管理審査 ・定期安全管理審査	・溶接安全管理審査 ・使用前自主検査 ・使用前安全管理審査 ・定期安全管理審査※

※発電出力が1,000kW以上の場合のみ必要

4. 2 ボイラー・タービン主任技術者の選任

ボイラー・タービン主任技術者の選任については、設置者の従業員から免状所持者を選任する必要があるが、免状未所持のものでも選任できる例外制度が存在する。ボイラー・タービン主任技術者の選任条件を表資4-2に示す。自家用電気工作物に該当するものであれば、兼任、外部選任、許可選任制度を利用することができる。ボイラー・タービン主任技術者の兼任は2事業所までに制限されている。また、許可選任可能な条件は、自家用電気工作物に該当する設備の発電出力や最大使用圧力等の条件によって異なる。ボイラー・タービン主任技術者の許可選任条件を表資4-3に示す。

表資4-2 ボイラー・タービン主任技術者の選任条件

条件		火力発電所（自家用電気工作物）				
条件	発電出力	200kW 未満	5,000kW 未満	—	—	—
	使用圧力	1,000kPa 未満	1,470kPa 未満	2,940kPa 未満	5,880kPa 未満	5,880kPa 以上
	最大蒸発量	4t/h 未満	—	—	—	—
資格保有者	兼任	○（2事業所まで）				
	外部選任（派遣等）	○	○	○	○	○
資格を保有しない者	許可選任	○ （条件1）	○ （条件2）	○ （条件3）	○ （条件4）	○ （条件5）

表資4-3 ボイラー・タービン主任技術者の許可選任条件

条件 1	①学校教育法による高等学校又はこれらと同等以上の教育施設において機械工学の過程を修めて卒業した者 ②学校教育法による高等学校又はこれらと同等以上の教育施設を卒業した者又は高等学校卒業程度認定試験合格者であって、火力発電所の工事、維持または運用に関する実務に通算して1年以上従事した者 ③1級海技士（機関）、2級海技士（機関）又は3級海技士（機関）として海技士の免許を受けているもの ④労働安全衛生法のボイラー取扱い技能講習を修了した者であって、労働安全衛生法施行令第20条第5号イからニまでに掲げるボイラーを4か月以上取り扱った経験がある者 ⑤特級ボイラー技士免許、1級ボイラー技士免許、2級ボイラー技士免許を受けている者 ⑥エネルギー管理士免状の交付を受けている者（エネルギー管理士の試験及び免状の交付に関する規則第29条の表の上欄に掲げる熱分野専門区分に応じた同表の下欄に掲げる試験科目又は同規則別表第1の第1欄に掲げる熱分野専門区分に応じた同表の第2欄に掲げる修了試験課目に合格したことによりエネルギー管理士免状の交付を受けたものに限る） ⑦技術士（機械部門に限る。）の2次試験に合格した者
条件 2	①学校教育法による高等学校又はこれらと同等以上の教育施設において機械工学の過程を修めて卒業した者 ②1級海技士（機関）として海技士の免許を受けているもの ③特級ボイラー技士免許又は1級ボイラー技士免許を受けている者 ④エネルギー管理士免状の交付を受けている者（エネルギー管理士の試験及び免状の交付に関する規則第29条の表の上欄に掲げる熱分野専門区分に応じた同表の下欄に掲げる試験科目又は同規則別表第1の第1欄に掲げる熱分野専門区分に応じた同表の第2欄に掲げる修了試験課目に合格したことによりエネルギー管理士免状の交付を受けたものに限る） ⑤技術士（機械部門に限る。）の2次試験に合格した者 ⑥条件1②に掲げる者であって、出力200kW以上かつ圧力1,000kPa以上の火力発電所又は燃料電池発電所の工事、維持又は運用に関する実務に通算して2年以上従事した者 ⑦条件1③（2級海技士（機関）又は3級海技士（機関）として海技士の免許をうけた者に限る。）又は⑤（2級ボイラー技士免許を受けているものに限る。）に掲げる者であって、出力200kW以上かつ圧力1,000kPa以上の火力発電所又は燃料電池発電所の工事、維持又は運用に関する実務に通算して2年以上従事した者 ⑧①から⑦までに掲げる者と同等以上の知識及び技能を有すると認められるもの
条件 3	①学校教育法による短期大学若しくは高等専門学校又はこれらと同等以上の教育施設において機械工学の過程を修めて卒業した者 ②条件2に掲げる者（⑥及び⑦に掲げる者を除く。）であって、圧力1,470kPa以上の火力発電所又は燃料電池発電所の工事、維持又は運用に関する実務に通算して3年以上従事した者
条件 4	①学校教育法による大学（短期大学を除く。）又はこれと同等以上の教育施設において機械工学の過程を修めて卒業した者 ②条件3に掲げる者であって、圧力2,450kPa以上の火力発電所又は燃料電池発電所の工事、維持又は運用に関する実務に通算して2年以上従事した者
条件 5	条件4に掲げる者であって、圧力2,450kPa以上の火力発電所又は燃料電池発電所の工事、維持又は運用に関する実務に通算して3年以上従事した者

5. 参考文献

- 1) 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
- 2) 下水道用語集 2000 年版, 公益社団法人日本下水道協会
- 3) 汚泥焼却炉からの N_2O 削減に関する技術資料, 平成 24 年 3 月, 公益財団法人日本下水道新技術機構
- 4) 下水道統計 (平成 22 年度版), 公益社団法人日本下水道協会
- 5) 汚泥焼却炉の省エネルギー化に関する調査報告書, 昭和 61 年 3 月, 建設省都市局下水道部・日本下水道事業団
- 6) 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
- 7) 下水道事業の手引 平成 26 年版, 国土交通省水管理・国土保全局下水道部下水道事業課監修, 日本水道新聞社
- 8) 下水道用設計標準歩掛表平成 24 年ー第 2 巻 ポンプ場・処理場ーP. 102, 公益社団法人日本下水道協会
- 9) 下水道における LCA 適用の考え方, 平成 22 年 2 月, 国土交通省国土技術政策総合研究所
- 10) 回転ドラム型濃縮機技術マニュアル, 平成 25 年 3 月, 公益財団法人日本下水道新技術機構
- 11) 下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクト (LOTUS Project), 下水汚泥のバイオソリッド燃料化に係る技術資料, 下水道技術開発プロジェクト (SPIRIT21) 委員会
- 12) 高効率型圧入式スクリープレス脱水機技術マニュアル, 平成 18 年 3 月, 公益財団法人日本下水道新技術機構
- 13) 下水道における地球温暖化防止実行計画策定の手引き, 平成 21 年 3 月, 国土交通省
- 14) 廃棄物処理施設の基幹的設備改良マニュアル, 平成 22 年 3 月, 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課
- 15) エネルギー源別標準発熱量及び炭素排出係数の改訂について, 平成 26 年 11 月 14 日, 資源エネルギー庁

6. 問い合わせ先

本技術ガイドラインに関する問い合わせは、以下をお願いします。

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/
----------------------	--

本書は、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、その成果をとりまとめたものです。

<実証研究者 連絡先>

和歌山市建設局	和歌山市 建設局 下水道部下水道経営課 〒640-8511 和歌山市七番丁23番地 TEL 073-435-1093 FAX 073-435-1276 URL http://www.city.wakayama.wakayama.jp/gesuidoubu/
地方共同法人 日本下水道事業団	技術戦略部 資源技術開発課 〒113-0034 東京都文京区湯島2丁目31番27号 TEL 03-6361-7854 FAX 03-5805-1828 URL https://www.jswa.go.jp/
京都大学	大学院地球環境学堂・工学研究科都市環境工学専攻 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂C-1-3-463 TEL 075-383-3336 FAX 075-383-3338
株式会社 西原環境	営業部 〒108-0022 東京都港区海岸三丁目20番20号 TEL 03-3455-4718 FAX 03-3455-2054 URL http://www.nishihara.co.jp
株式会社 タクマ	水処理技術部 〒660-0806 兵庫県尼崎市金楽寺2丁目2番33号 TEL 06-6483-2701 FAX 06-6483-6766 URL http://www.takuma.co.jp/

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No.860

September 2015

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