

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

国総研資料 第 803 号

平 成 2 6 年 8 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.803

August 2014

B-DASH プロジェクト No. 4

廃熱利用型 低コスト下水汚泥固形燃料化技術

導入ガイドライン（案）

B-DASH Project No.4

Guideline for introducing a technology for low-cost production
of sewage sludge solid fuel using waste heat

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.4

廃熱利用型 低コスト下水汚泥固形燃料化技術導入ガイドライン（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.4

Guideline for introducing a technology for low-cost production
of sewage sludge solid fuel using waste heat

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「廃熱利用型 低コスト下水汚泥固形燃料化技術」について、下水道事業者が導入検討する際に参考にできる資料として策定したものである。

キーワード：汚泥固形燃料、廃熱利用、汚泥乾燥

Synopsis

This Guideline for introducing a technology for low-cost production of sewage sludge solid fuel using waste heat, 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：sewage sludge solid fuel, using waste heat, sludge drying

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、76%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。

下水を排除・処理する一過性のシステムから、集めた物質等を資源・エネルギーとして活用・再生する循環型システムへと転換することが「下水道ビジョン2100」（平成17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「廃熱利用型 低コスト下水汚泥固形燃料化技術導入ガイドライン」で示す技術は、廃熱を利用した乾燥方式によって、低コスト、省エネルギーで汚泥固形燃料を製造し、汚泥固形燃料を活用することにより、下水汚泥が保有するエネルギーの利用拡大及び温室効果ガス排出量の削減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や温室効果ガス排出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（廃熱利用型 低コスト下水汚泥固形燃料化技術実証研究 受託者：JFE エンジニアリング株式会社 実施期間：平成24～25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でき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 - 1 -

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 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 - 9 -

第 1 節 技術の概要	- 9 -
§ 5 技術の目的	- 9 -
§ 6 技術の概要	- 10 -
§ 7 技術の特徴	- 12 -
§ 8 下水污泥表面固化乾燥装置の概要	- 14 -
§ 9 廃熱回収利用技術の概要	- 19 -
§ 10 技術の適用条件	- 21 -
§ 11 導入シナリオ例	- 22 -
第 2 節 実証研究に基づく評価の概要	- 25 -
§ 12 技術の評価項目	- 25 -
§ 13 技術の評価結果（污泥固形燃料の特性）	- 31 -

第 3 章 導入検討 - 35 -

第 1 節 導入検討手法	- 35 -
§ 14 導入検討手順	- 35 -
§ 15 基礎調査	- 36 -
§ 16 導入効果の検討	- 38 -
§ 17 コストの算定	- 40 -

§ 18	温室効果ガス排出量の算定	- 45 -
§ 19	エネルギー消費量の算定	- 49 -
§ 20	導入判断	- 51 -
第 2 節	導入効果の検討例	- 52 -
§ 21	試算条件	- 52 -
§ 22	導入効果の検討結果	- 63 -
§ 23	技術の評価結果（コスト、温室効果ガス、エネルギー消費量）	- 71 -

第 4 章 計画・設計 - 75 -

第 1 節	導入計画	- 75 -
§ 24	計画の手順	- 75 -
§ 25	基礎調査による基本条件の設定	- 76 -
§ 26	基本計算	- 80 -
§ 27	施設計画の検討	- 86 -
§ 28	導入効果の検証	- 89 -
第 2 節	施設設計	- 90 -
§ 29	下水汚泥燃料化施設設計の考え方	- 90 -
§ 30	表面固化乾燥技術の設計	- 91 -
§ 31	廃熱回収利用技術の設計	- 95 -
§ 32	安全対策及び臭気対策	- 97 -

第 5 章 維持管理 - 99 -

第 1 節	導入システム全体の管理	- 99 -
§ 33	導入システム全体としての維持管理の要点	- 99 -
第 2 節	導入システムの運転管理	- 100 -
§ 34	導入システムの運転管理項目	- 100 -
§ 35	導入システムの運転操作および運転管理	- 103 -
第 3 節	導入システムの保守点検	- 105 -
§ 36	導入システムの保守点検	- 105 -
第 4 節	緊急時の対応と対策	- 108 -
§ 37	緊急時の対応と対策	- 108 -

1. 実証試験結果	- 111 -
1. 1 実証試験の概要と結果	- 111 -
1. 2 汚泥固形燃料化設備（表面固化乾燥装置）の性能確認	- 116 -
2. ケーススタディ	- 131 -
2. 1 従来技術の試算条件及び算出方法	- 131 -
2. 2 モデルケース条件	- 141 -
2. 3 試算結果	- 149 -
3. 参考文献	- 160 -
4. 問い合わせ先	- 161 -

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「廃熱利用型低コスト下水汚泥固形燃料化技術」（以下、本技術とする）について、実証研究の成果を踏まえて、技術の概要と評価、導入検討、計画・設計および維持管理等に関する技術的事項について明らかにし、もって導入の促進に資することを目的とする。

【解 説】

下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）は、新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業における大幅な省エネルギー・創エネルギー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] 水処理技術（高度処理を除く）、[2] バイオガス回収技術、[3] バイオガス精製技術、[4] バイオガス発電技術に係る革新的技術を含むシステムについて公募を行い、2 件の実証研究を採択・実施し、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、[5]下水汚泥固形燃料化技術、[6]下水熱利用技術（未処理下水の熱利用に限る。）、[7]栄養塩（窒素）除去技術（水処理に係る技術は除く）、[8]栄養塩（りん）除去技術（水処理に係る技術は除く。回収技術を含むことは可。）に係る革新的技術について公募を行い、5 件の実証研究を採択・実施している。

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

本技術は、[5]に係る革新的技術であり、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）において、「下水汚泥表面固化乾燥技術、廃熱回收利用技術で構成された従来技術よりも高機能な技術であり、実証研究が行われた結果、当初の技術開発については一定の成果が得られた」と評価されている。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、地方公共団体等の下水道事業者が

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等に関する技術的事項についてとりまとめている。

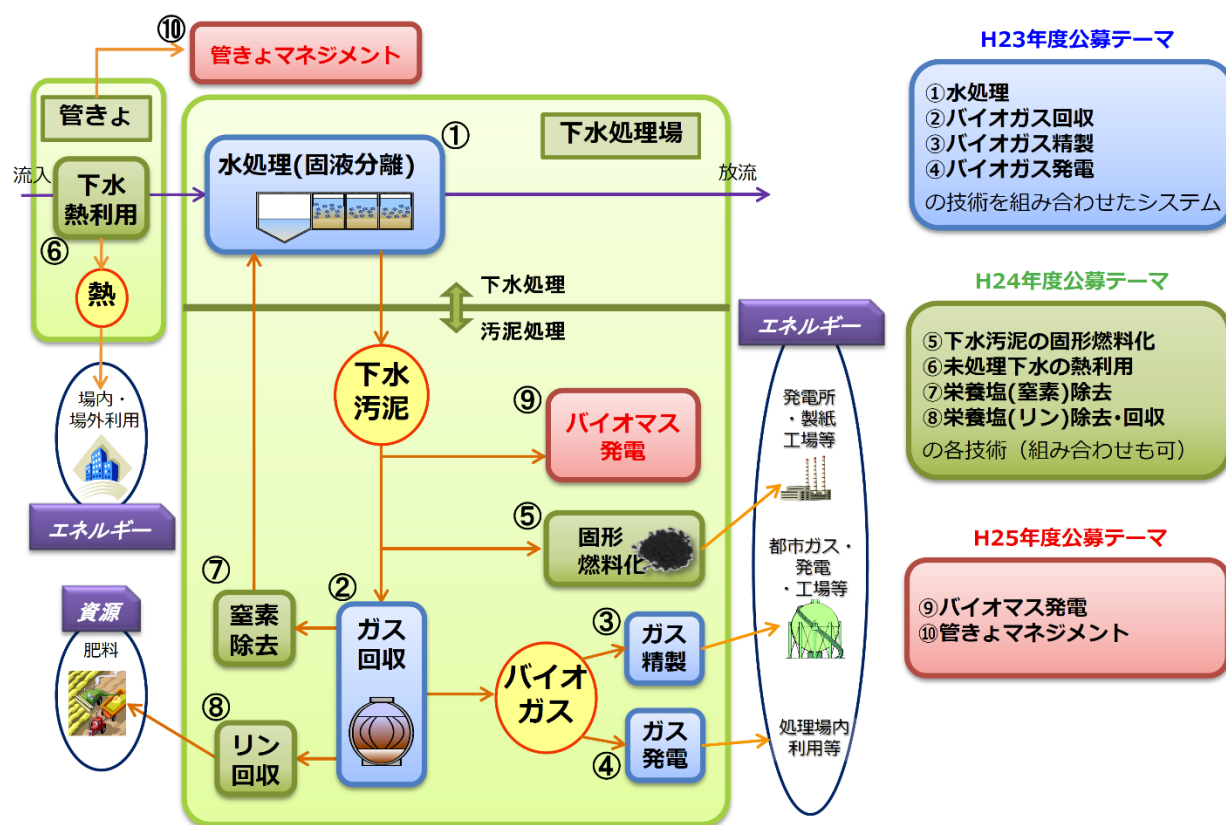


図1-1 下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）の概要（全体）

第2節 ガイドラインの適用範囲

§2 適用範囲

本ガイドラインは、本技術についての、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・増設あるいは既施設・設備の更新に際して、本技術の導入を促進することを目的として、本技術の導入検討、計画・設計、維持管理の参考となるようによりまとめたものである。

本ガイドラインは、地方公共団体等の下水道事業者および関連する民間企業等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、維持管理及び資料編から構成される。

【解 説】

本ガイドラインは、図 1-2 に示す構成から成る。

各章の内容は、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計画・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

革新的技術を導入した場合において、下水道管理者等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、ケーススタディー、参考文献、問い合わせ先等に関する資料を示す。

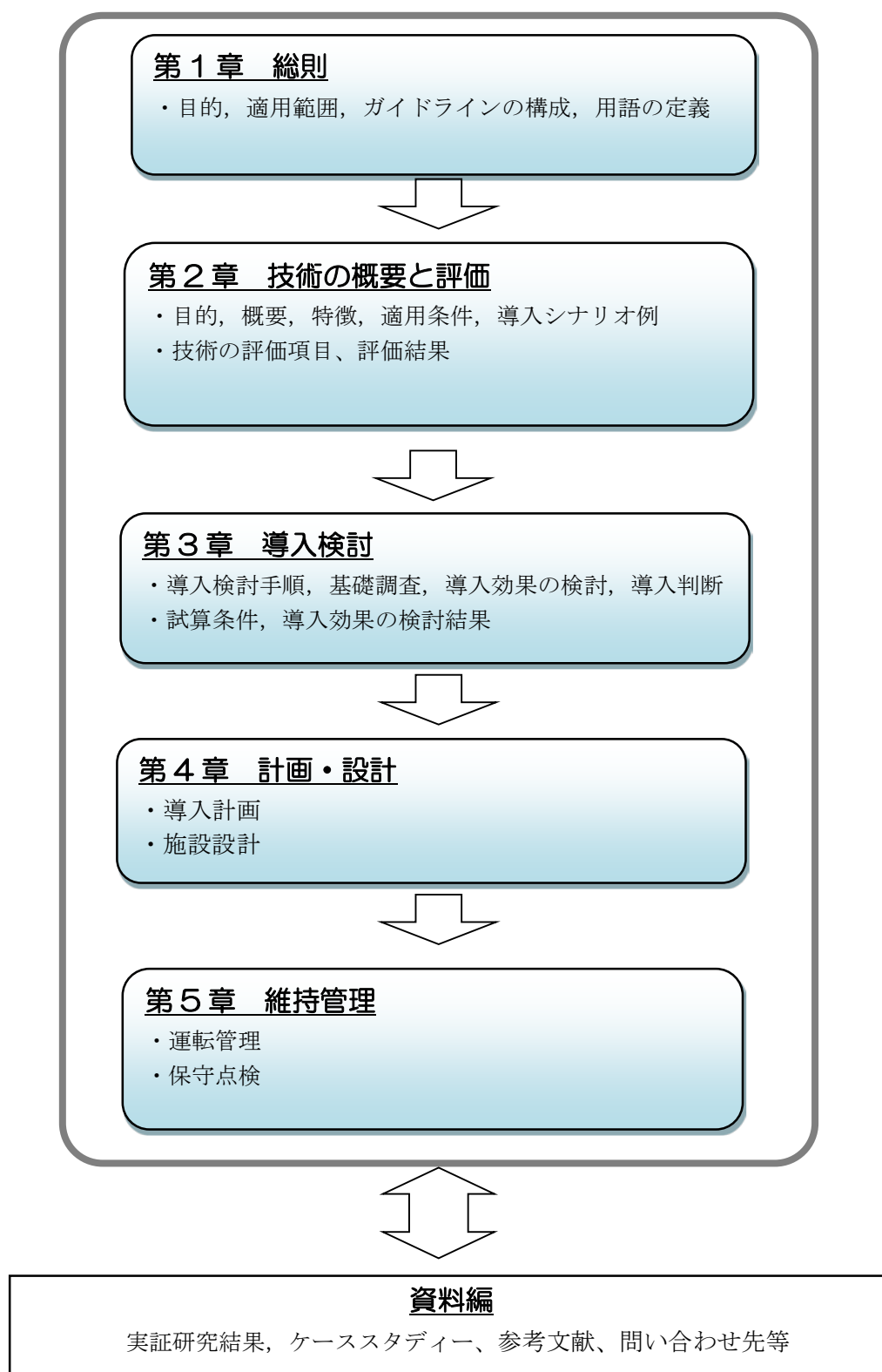


図1-2 本ガイドラインの構成

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）」（社団法人日本下水道協会）、「下水道用語集 2000 年版」（社団法人日本下水道協会）、「合流式下水道改善対策指針と解説 2002 年版」（社団法人日本下水道協会）に準拠する。

【あ】

(1) 汚泥固形燃料

原料となる下水汚泥を乾燥または炭化することで、燃料として実用可能となるように基本物性、燃料特性及び発熱特性を最適化した製品。

(2) 汚泥固形燃料化設備

下水汚泥等をバイオマス燃料として利活用することを目的に、汚泥固形燃料へと処理加工する設備。本技術にあつては、脱水汚泥ホッパ、汚泥供給ポンプ、汚泥成型機、乾燥機、乾燥熱交換器、乾燥熱風発生炉、抽気処理装置等の機器から構成される。

(3) 汚泥成型

脱水汚泥を乾燥機のカンド上に均一に供給するとともに、乾燥汚泥の形状を保持するために、脱水汚泥を断面が矩形の棒状に成型すること。

【か】

(4) 乾燥汚泥燃料

汚泥固形燃料の内、乾燥処理により燃料化された下水汚泥燃料。

(5) 乾燥空気

汚泥中の水分を蒸発させ、系外に搬出するために乾燥機に送風される作動流体となる加温空気。乾燥機から排出される当該空気は、除湿のための抽気と再加温される循環乾燥空気に分岐する。

(6) 乾燥空気加熱装置

下水汚泥表面固化乾燥機から排出した抽気後の循環乾燥空気を、所定の温度まで加温するための装置で、乾燥熱交換器及び乾燥熱風発生炉等から構成される。

(7) 乾燥熱交換器

乾燥空気を乾燥機流入前に所定の温度まで加温するための乾燥空気加熱装置のひとつ。既設汚泥焼却炉から熱回収された白煙防止空気等の加温気体を高温側、乾燥空気を低温側とするガスーガスの熱交換器。

(8) 乾燥熱風発生炉

乾燥空気に対し、抽気時に蒸発水分に伴って系外に排出された乾き空気を大気で補充するとともに、加温が不足した際の高温ガスを発生させる装置。燃料としては消化ガス、都市ガス、重油等があるが、下水汚泥の燃料化の目的から再生可能エネルギーである消化ガスの利用を第一に検討すること

となる。

(9) 下水汚泥表面固化乾燥装置

脱水した下水汚泥を表面固化乾燥によって燃料化する装置。汚泥を一定の形状を保ったまま乾燥し固形燃料とする装置で、乾燥工程にはバンド乾燥機方式が用いられる。

【さ】

(10) 仕上げ乾燥ゾーン

表面固化乾燥ゾーンで形状が安定した汚泥成型物の内部まで乾燥させるための第2段目以降のバンドコンベヤからなるゾーン。表面固化乾燥時間よりも長い時間要するため、バンド搬送速度の調整やバンドコンベヤ段数を汚泥投入量や装置の全体寸法から個別に検討し、決定する。（詳細は § 8 参照）

(11) 従来式汚泥燃料化設備

「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）」国交通省（平成 23 年 3 月）に記載された固形燃料化技術における、炭化技術（低温炭化、中温炭化、高温炭化）、乾燥技術（造粒乾燥、油温減圧乾燥、改質乾燥）とする。

(12) 焼却炉廃熱

焼却炉の排気が保有する熱量。従来から焼却炉の補助燃料削減のために燃焼空気の加熱に利用される他、白煙防止空気の加熱に利用される。下水汚泥表面固化乾燥装置熱源への利用においては白煙防止空気の余剰熱量が対象廃熱として注目される。

【た】

(13) 脱水汚泥処理量日最大値

汚泥発生量変動を考慮した所定量の汚泥を当日内に処理可能な設備処理能力の最小値。

(14) 抽気

乾燥機から排出される乾燥空気は、多量の水分を含んでいる。このため、冷却等による除湿を行うために、乾燥空気から一部分岐する操作、及び分岐した乾燥空気。

(15) 抽気処理装置

下水汚泥表面固化乾燥機から排出した蒸発水分を多量に含む乾燥空気から蒸発水分を分離する装置。抽気中には汚泥の粉塵や臭気成分を含んでいるため、充填塔方式等による除湿と除塵を行い、更に排気は焼却炉燃焼空気に用いることで脱臭される。

(16) 低温廃熱

本ガイドラインでは、汚泥焼却炉排ガスで空気予熱器出口以降の概ね 500℃程度以下で、熱交換器による熱回収に支障をきたさない酸露点以上の廃熱。または、この排ガスから熱回収した空気、概ね 300℃程度の廃熱。

【な】

(17) 日平均処理量

燃料化設備で処理する汚泥の年間総量を 365 日で除した 1 日あたりの汚泥平均処理量。

(18) 日平均発生量

年間汚泥発生量を 365 日で除した 1 日あたりの汚泥平均発生量。

(19)年間汚泥発生量

施設で発生する汚泥の年間総量。

【は】

(20)廃熱回収装置

既設汚泥焼却炉等の廃熱を汚泥固形燃料化設備の乾燥熱源として利用するための装置で、既設焼却炉施設を改造して付加した機器（既設焼却炉廃熱回収装置等）及び乾燥空気を加温するための乾燥熱交換器等からなる。

(21)白煙防止空気

汚泥焼却炉等の水分割合の高い燃焼ガスにおいて、煙突からの排気時に水蒸気が凝縮して白煙として目視されることによる環境上、景観上の問題を回避するために、排気に混合することで排気温度の上昇と水分割合の低下により白煙の発生を防止するための加温空気。一般的には、集塵等の排ガス処理工程前に熱交換器によって 250～350℃程度まで加温された大気。

(22)バンド乾燥機

金属製の網などの通気性のあるベルト（バンドと称す。）を使用したコンベヤ状の搬送装置を乾燥空気流中に設置する構造の乾燥機。汚泥を静置状態で乾燥するため、表面固化乾燥に適した形式。

(23)表面固化乾燥

成型した汚泥を乾燥空気流内に保持し、汚泥表面から乾燥を行うことで、表面を固化して一定の形状を維持し、粉塵発生や臭気が抑制される乾燥方式。

(24)表面固化乾燥ゾーン

バンド乾燥機の最上段に位置するバンドコンベヤで、投入直後の成型された脱水汚泥の表面を形状が保持できるまで乾燥するゾーン。乾燥に必要な時間を確保するために、バンドの長さ、搬送速度等が決定される（詳細は § 8 参照）。

(25)補助燃料

焼却炉において脱水汚泥が自燃できない場合に、燃焼を所定温度で安定的に継続させるために炉に投入される化石燃料。

第2章 技術の概要と評価

第1節 技術の概要

§5 技術の目的

本技術の目的は、廃熱を利用した乾燥方式によって、低コスト、省エネルギーで汚泥固形燃料を製造し、汚泥固形燃料を活用することにより、下水汚泥が保有するエネルギーの利用拡大及び温室効果ガス排出量の削減を図ることである。

【解 説】

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循環利用が求められるようになっており、下水汚泥が保有するエネルギーを利用する方法として、乾燥や炭化によって下水汚泥を固形燃料化する技術が注目されている。

乾燥方式による汚泥の燃料化は、炭化方式等に比べ、汚泥中の有機物が高率で残存するため、エネルギー利用効率が高く、製造される燃料の発熱量が大きい。さらに、灰分が相対的に低い。通常、乾燥空気の加温には大きなエネルギーを消費するという特徴がある。これに対し、本技術は、従来の汚泥乾燥方式に比べ低温（250℃以上）の温風で乾燥が可能であり、既存の汚泥焼却施設等で通常利用されていなかった低温廃熱（白煙防止空気等）を乾燥熱源として有効利用することで、低コスト化・省エネルギー化を図るとともに、温室効果ガス排出量の削減を可能としている。

下水処理場における本技術の適用箇所を図2-1に示す。

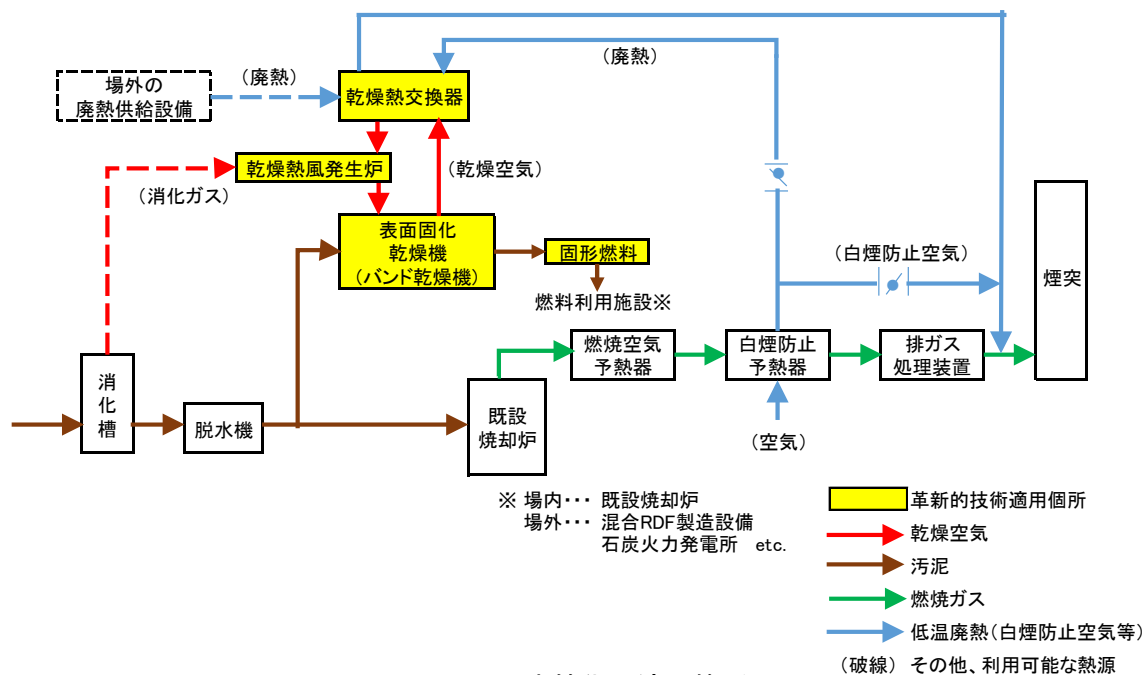


図2-1 本技術の適用箇所

§6 技術の概要

本技術は、下水処理場において通常利用されていなかった低温廃熱を乾燥熱源の一部として利用し、汚泥固形燃料を製造するものである。また、燃料製造時には汚泥を棒状に成型し、表面を固化させることで、粉塵発生や臭気が抑制される。

製造した固形燃料は処理場焼却炉や場外搬送先で燃料として利用可能である。

【解 説】

本技術は、下記（１）により棒状に成型された下水汚泥を、約 200℃の温風で乾燥させることにより、固形燃料化させるものである。従来の汚泥乾燥方式に比べ必要な温風が低温で済むため、乾燥空気には白煙防止空気等が利用可能である。

汚泥固形燃料化設備は以下の機器・装置から構成される(図 2-2、写真 2-1 参照)。

（１）下水汚泥表面固化乾燥装置（§8 に詳述）

汚泥固形燃料化設備に投入された汚泥を比較的低温（約 200℃）な乾燥空気乾燥させ、固形燃料化する。また、汚泥を棒状に成型し、表面を乾燥固化することで形状保持が可能となり、粉塵発生や臭気が抑制される。このための汚泥投入機構、乾燥機構、蒸発水分除去のための抽気処理機構等の機器装置が付属している。

（２）廃熱回収装置（§9 に詳述）

既設汚泥焼却炉などの廃熱を回収するために、現行の白煙防止空気の転用もしくは新たに廃熱を回収するための機器が設置されるが、これにより化石燃料の消費量が低減される。

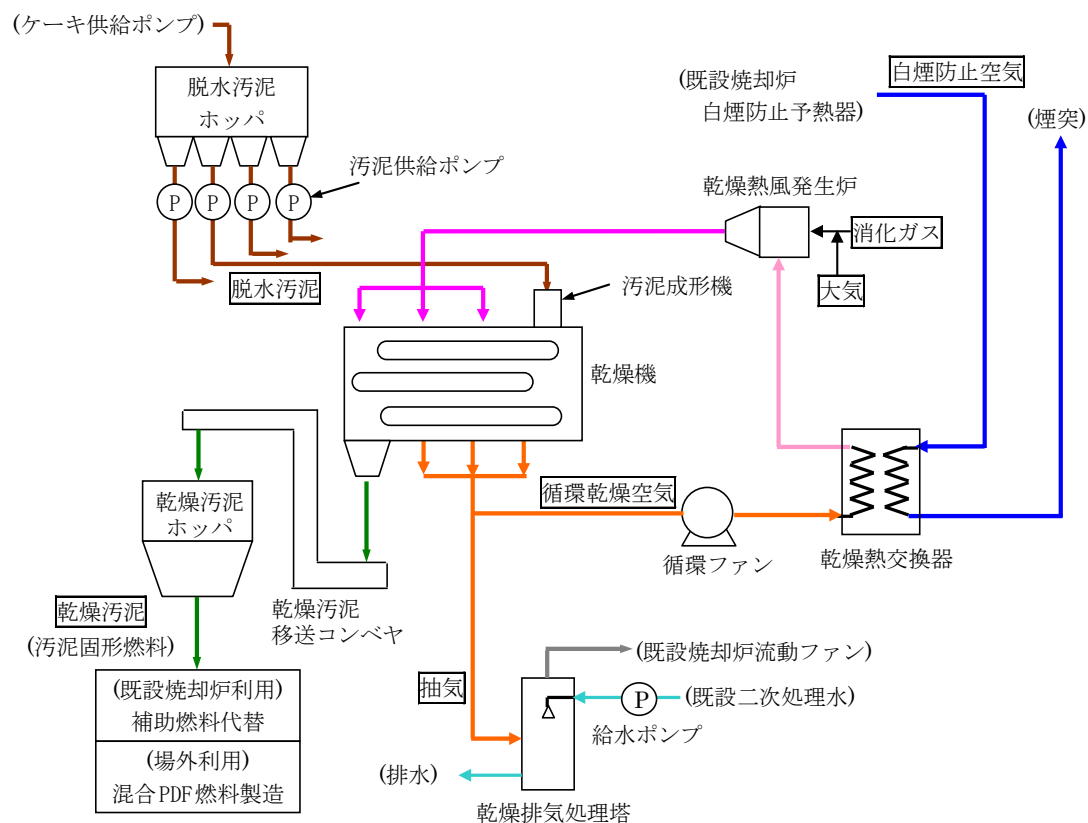


図 2-2 汚泥固形燃料化設備の基本構成

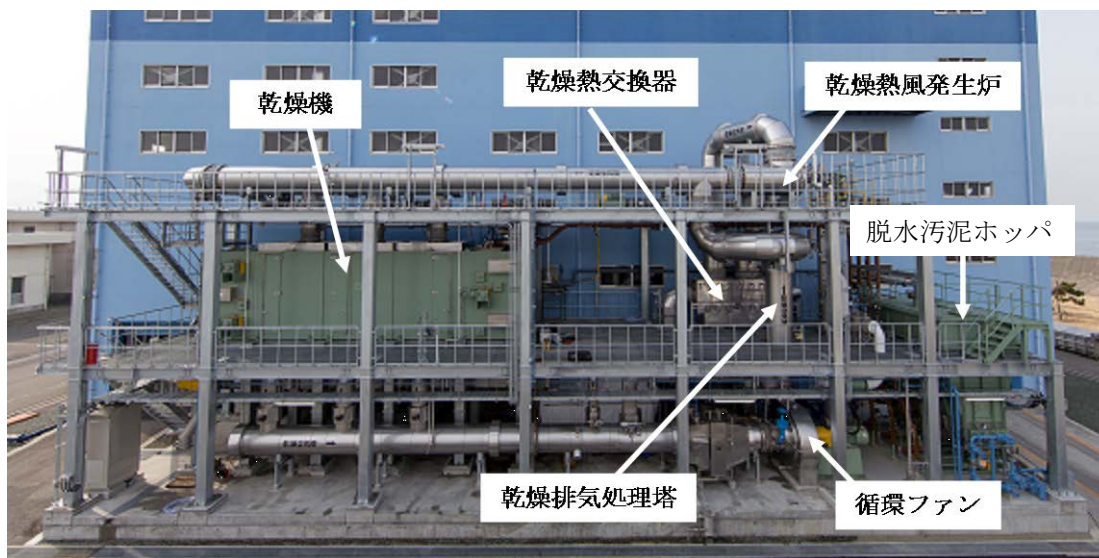


写真 2-1 汚泥固形燃料化設備

§7 技術の特徴

本技術の特徴は以下の通り。

- (1) 高品質で操作性に優れた汚泥固形燃料が製造できる
- (2) 廃熱の有効利用により省エネルギーで汚泥固形燃料が製造できる
- (3) 大規模な工事を必要とせず、既設汚泥焼却炉の廃熱利用が可能
- (4) メンテナンス性が高く、長時間にわたり安定した運転を維持できる

【解 説】

本技術は、効率的なエネルギー利用と環境面への配慮を目的に実用化されたもので、以下の特徴を有する。

(1) 高品質で操作性に優れた汚泥固形燃料が製造できる

1) 品質

低温乾燥方式により汚泥を燃料化することで、下水汚泥を構成する揮発性有機物を最大限残留させ発熱量を確保することが出来る。汚泥固形燃料には、脱水汚泥が保有していた発熱量の90%以上（消化汚泥はほぼ100%）を残留させることができ※、製造過程で有機分の一部を燃焼させる炭化物に比べエネルギー利用効率が低い。

※財団法人下水道新技術推進機構「建設技術審査証明（下水道技術）報告書―表面固化式汚泥乾燥装置」
2010年3月 において次式で燃料化効率を定義し、試作品により90%以上となったことを確認。

$$\text{燃料化効率} = \frac{\text{汚泥固形燃料の固形分あたりの発熱量}}{\text{原料脱水汚泥の固形分あたりの発熱量}} \times 100$$

2) ハンドリング性

一様な平行流の乾燥空気中を、振動や衝撃の無い条件で汚泥を静置し移送させる乾燥方式により、汚泥表面に固化層が形成されることで、以後のハンドリング時において粉状の乾燥汚泥が飛散することを抑制している。

(2) 廃熱の有効利用により省エネルギーで汚泥固形燃料が製造できる

通常、下水処理場内の汚泥焼却炉は排ガスからの熱回収により燃焼空気予熱や白煙防止空気予熱を行っている。本技術の乾燥機は低温乾燥方式であり、乾燥用空気の加熱源は250～350℃程度であれば十分であるため、白煙防止空気を高温側とする熱交換によって乾燥空気を加温することが可能である。よって、これまで一般的には有効利用されずに大気放散していた白煙防止空気の熱を有効に活用できる。また、汚泥の消化処理を実施している処理場では、消化ガスを燃料とした熱風炉の運転が可能であり、外部からの燃料供給の必要が無い、省エネルギーな運転が可能である。

(3) 大規模な工事を必要とせず、既存の汚泥焼却炉の廃熱利用が可能

新たに大規模な工事を必要とせず、既設の汚泥焼却炉の廃熱利用が可能である。廃熱利用のため、新規に改造する箇所は以下のとおりである。

- ・ 白煙防止空気配管から分岐して汚泥固形燃料化設備に設置する乾燥熱交換器入口に接続する（図 2-3 のⅠ）。
- ・ 同熱交換器出口からの戻り管を既設白煙防止配管の下流側に接続し、燃焼ガスを加温して大気放散する（図 2-3 のⅡ）。
- ・ 乾燥熱交換器へ供給する白煙防止空気量を調整するダンパーを設置する（図 2-3 のⅢ）。

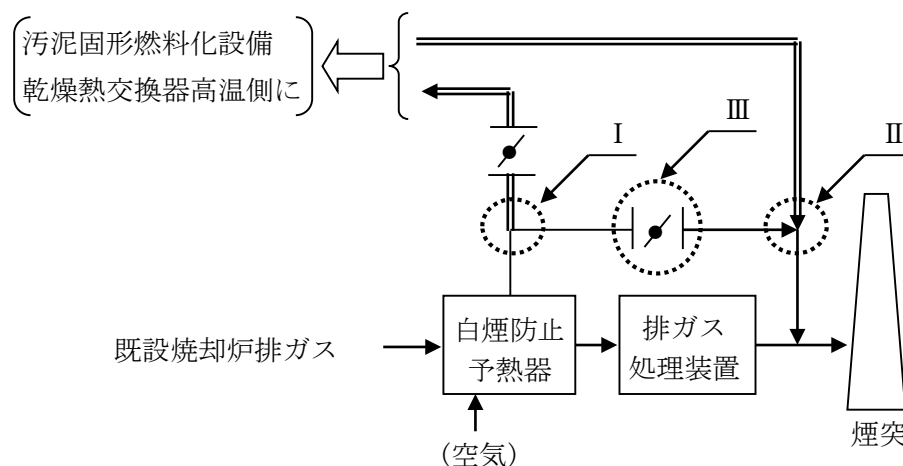


図 2-3 既設改造部

(4) メンテナンス性が高く、長時間にわたり安定した運転を維持できる

汚泥投入には、繊維質等の絡み付きによる閉塞を防止する機構を有する成型機を採用している。また、乾燥機内部はキルン式乾燥機のように直接的な強い力等による操作がなく、約 200℃でほぼ常圧下で処理されるため、バンド方式以外の乾燥機で問題となる汚泥の閉塞や焦げ付き等の現象が起こり難い構造である。これらにより、長時間にわたり安定な運転を維持できる。

§8 下水汚泥表面固化乾燥装置の概要

本装置は、成型・静置された状態の脱水汚泥を、加熱された乾燥空気の一様流によって乾燥させ固形燃料化するものであり、以下の機器等により構成する。

- (1) 汚泥成型機
- (2) バンド乾燥機
- (3) 抽気処理装置

【解 説】

図 2-4 に表面固化乾燥装置のフローを示す。

脱水汚泥は汚泥成型機により断面が一辺約 1cm の角柱状に成型され、乾燥機(バンド乾燥機)に投入される。このとき、汚泥中に気泡が混入することがなく、また、幅方向に一様に射出されるように汚泥成型機を分割して設置している。乾燥機はバンド方式が採用されており、汚泥は金網製のバンドコンベヤ上に静置された状態で 200℃の乾燥空気にさらされ、表面から乾燥する(図 2-5 参照)。汚泥を成型することで、乾燥空気と接触する表面積が確保されるとともに、汚泥が均一にバンド面に分布するので、乾燥空気流が一様となる。汚泥は下端の排出口から排出される。蒸発した水分を含む乾燥空気は循環し、熱交換器で再加熱されるが、その際、一部は抽気処理装置により抽気されて蒸発した水分を系外に排出する。

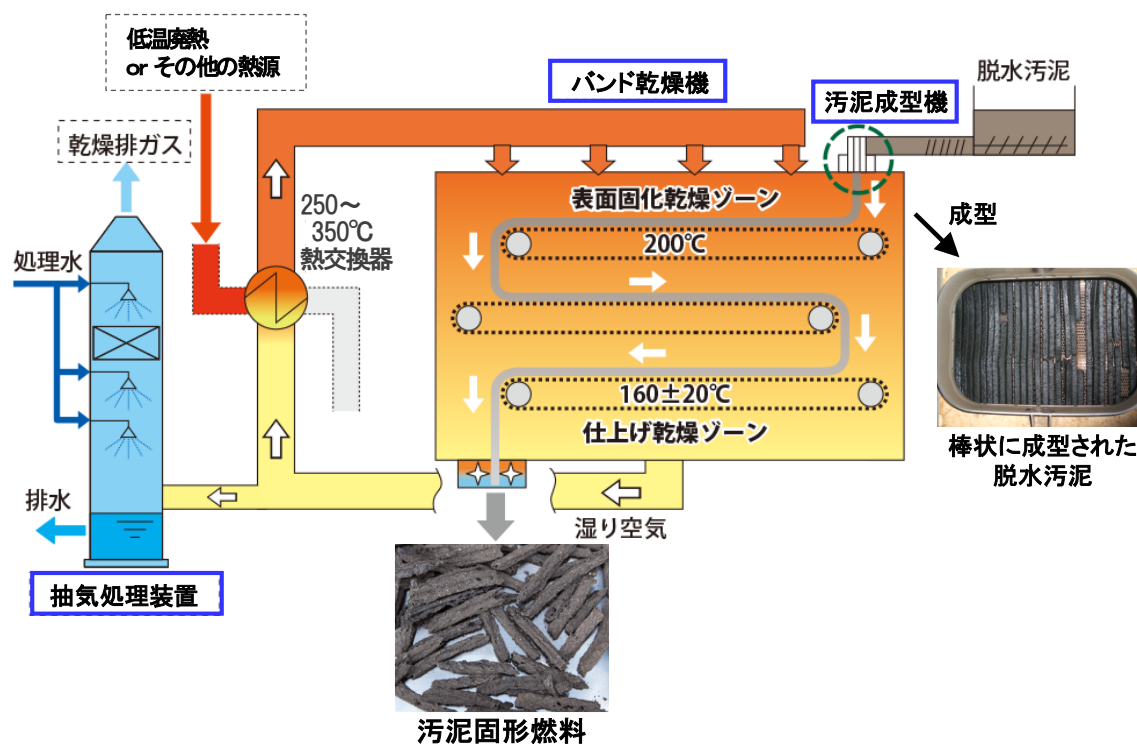


図 2-4 表面固化乾燥装置のフロー

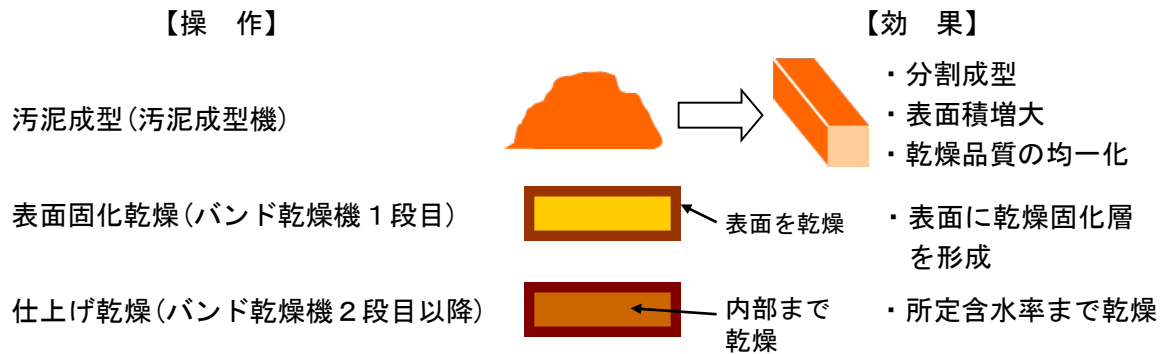


図 2-5 表面固化乾燥

(1) 汚泥成型機

脱水汚泥投入ホッパから汚泥供給ポンプで押し出された汚泥は、平板の隙間を通過し均一な流れになり、ノズル部に設けられた成型歯(櫛歯状の突起片)により棒状に成型されて、バンド面に供給される。しかし、長時間運転すると成型歯に繊維質等が絡みつき、閉塞してしまう。これを防止するため、成型歯を数分に一度、自動で抜き差しする機構を付加することで、安定的な運転を維持できる(図 2-6 参照)。

成型機の射出部がノズル構造になっており、汚泥が幅方向に一樣に供給される。それにより、乾燥状態に差が生じず、燃料化物の含水率が安定する。

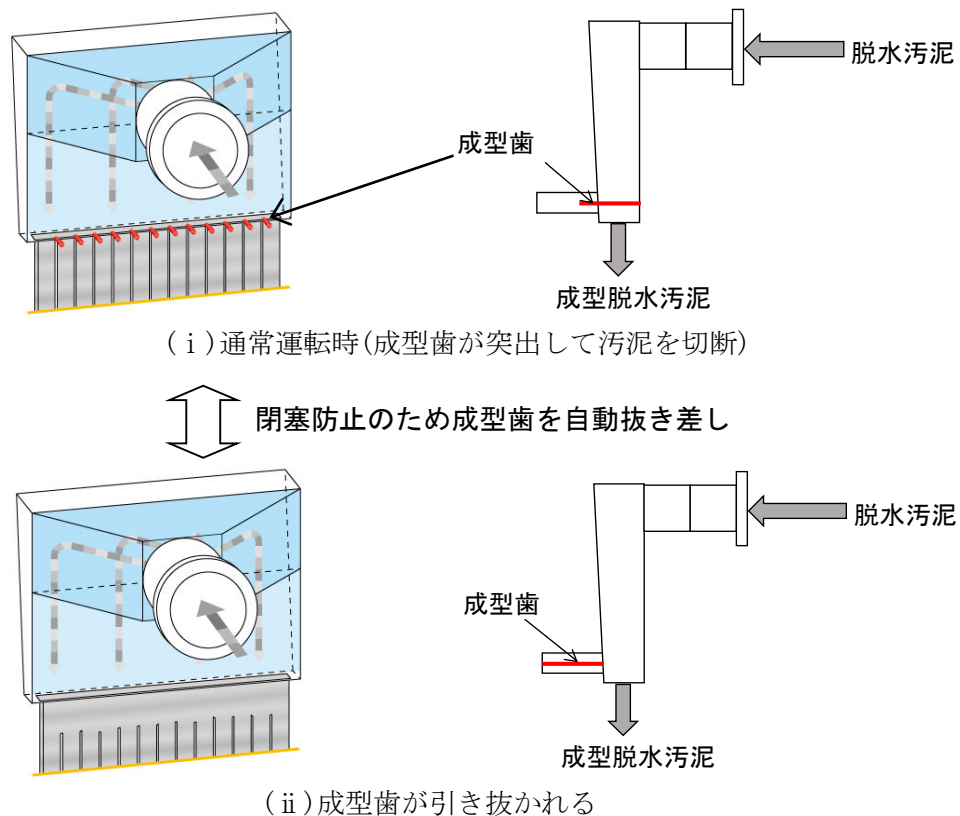


図 2-6 汚泥成型部詳細

(2) バンド乾燥機

乾燥機内部には複数のバンドコンベヤが層状に配置されており、最上段で供給された汚泥は乾燥しながら次の段のバンドに送られる。バンドコンベヤの数量は2段または3段としている(写真2-2 参照)。

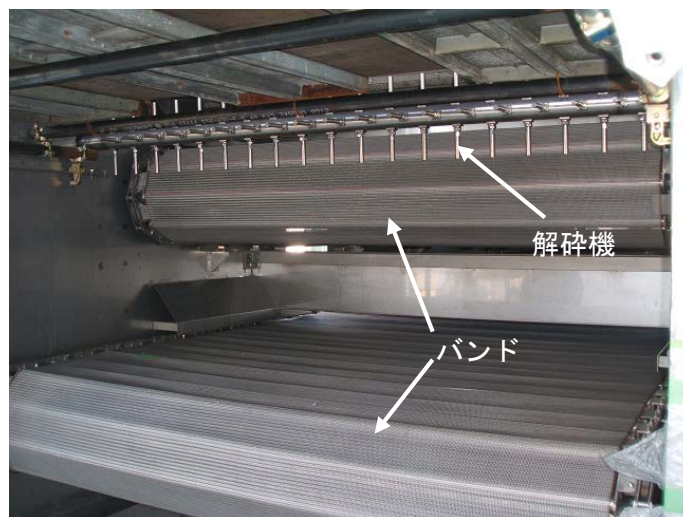
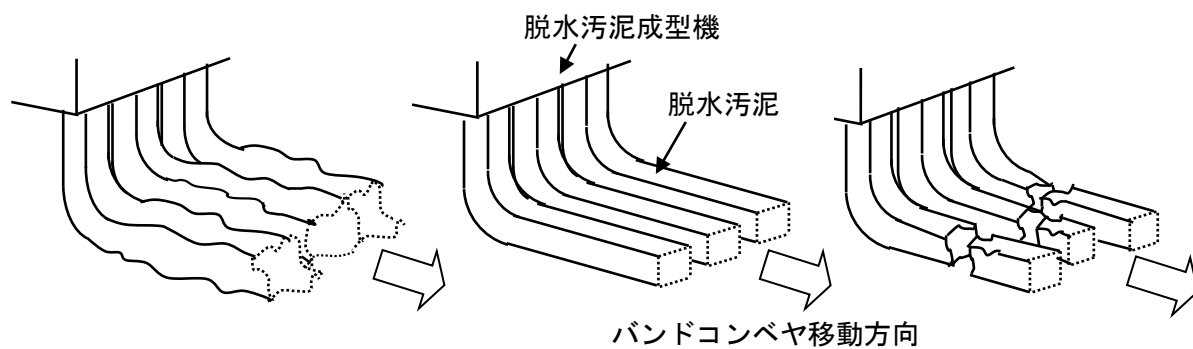


写真 2-2 乾燥機内部

1 段目は表面固化乾燥ゾーンとして機能するため、汚泥の供給速度よりバンド搬送速度が遅いと、バンド面に汚泥が堆積し、通気を阻害するとともに、乾燥される表面積が減少して乾燥に支障を生じる(図 2-7(a))。汚泥の供給速度とバンド搬送速度が等しいとき、最適搬送速度となる(図 2-7(b))。それ以上の速度では、汚泥のちぎれが生じるが(図 2-7(c))、運用上、性能上に支障は無い。

また1段目のバンド終端では、バンド面への汚泥の付着がなく速やかに剥がれて、2段目に容易に落下するようになるまで表面の乾燥が進むことが必要であり、そのために必要な滞留時間の確保が求められる。

2段目以降は仕上げ乾燥ゾーンとして機能し、必要な滞留時間を確保するために、バンド搬送速度の調整を行う(1段目より低速になる)。汚泥は重なり合って移送されるが(写真 2-3 参照)、表面が乾燥しているので、固着することはない。



(a) <最小（最適）搬送速度以下
(汚泥が滞り、重なり合う。)

(b) 最適搬送速度
(汚泥の断面積が一定で
連続的に搬送される。)

(c) > 最適搬送速度以上
(汚泥がちぎれる。)

(参考写真)

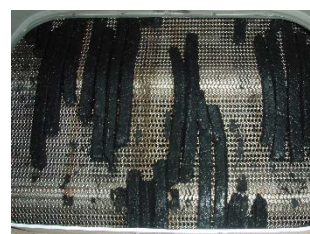


図 2-7 成型汚泥とバンド搬送速度



写真 2-3 2 段目以降の乾燥汚泥の移送状況

(3) 抽気処理装置

バンド乾燥機は、加熱熱量の削減のため乾燥空気を循環させている。循環空気の一部を抽気して、脱水汚泥から蒸発した水分を系外へ排出する。その後、水分は乾燥排気処理塔で除去される。図 2-8 に抽気処理装置の機器構成例を示す。

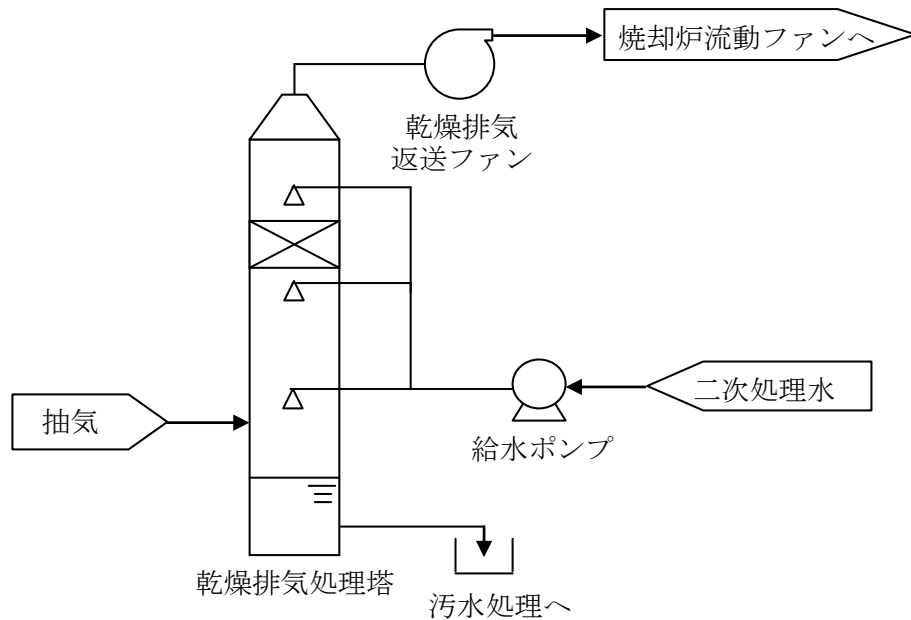


図 2-8 抽気処理装置

抽気された乾燥排ガスは二次処理水で 40～50℃まで冷却され、この温度の飽和湿り空気として排出される。実証施設では既設汚泥焼却炉の燃焼空気として用いることで臭気の排出を防止しており、凝縮水は冷却用に使用した二次処理水とともに処理場内污水处理系統等へ返送される。

§9 廃熱回収利用技術の概要

既設の汚泥焼却炉廃熱の利用を前提に以下の装置により構成される。

- (1) 既設汚泥焼却炉廃熱回収装置
- (2) 乾燥空気加熱装置

【解 説】

多くの下水処理場では汚泥を機械的に脱水した後、汚泥焼却炉によって焼却処理している。この際、燃焼ガスの炉出口温度は 800℃～850℃である。このため、燃焼ガスによって空気予熱器で燃焼空気を予熱し、炉での補助燃料使用量を低減している。燃焼ガスはその後、集塵機や排煙処理塔で除塵や脱硫が行われる。脱硫処理には湿式のスクラバが一般的であり、燃焼ガス温度は 40～50℃程度の飽和湿りガスとなる。

従来から、煙突から飽和湿りガスに由来する白煙が放散することを視覚的に避けるために、集塵機手前で熱回収して白煙防止空気の加熱を行っているが、近年、余剰の白煙防止空気を有効に活用する検討がなされるようになってきた。本技術は、余剰の白煙防止空気の廃熱を回収し、汚泥乾燥空気の熱源として利用するものである。

さらに、下水処理場に隣接する施設からの廃熱の供給が可能な場合、その施設からの廃熱が利用できる。

(1) 既設汚泥焼却炉廃熱回収装置

白煙防止予熱器から発生する予熱空気（一般的に 250～350℃）を汚泥固形燃料化設備の乾燥熱交換器まで引き込む。その際、流量調整装置を設置し、乾燥に必要な空気量に調整するものとする(図 2-9 参照)。

(2) 乾燥空気加熱装置

上記予熱空気から受熱して乾燥空気を加熱するための乾燥熱交換器(ガス-ガス熱交換器)である。この装置により乾燥機入口で 200℃となるまで加熱する。乾燥熱交換器から出た予熱空気は既設の白煙防止空気配管に戻し、煙突で燃焼ガスと混合されて大気放散となる。

また、余剰の消化ガスは熱風炉により高温ガス化し、直接乾燥空気に混入して加温に利用することが可能である(図 2-9 参照)。

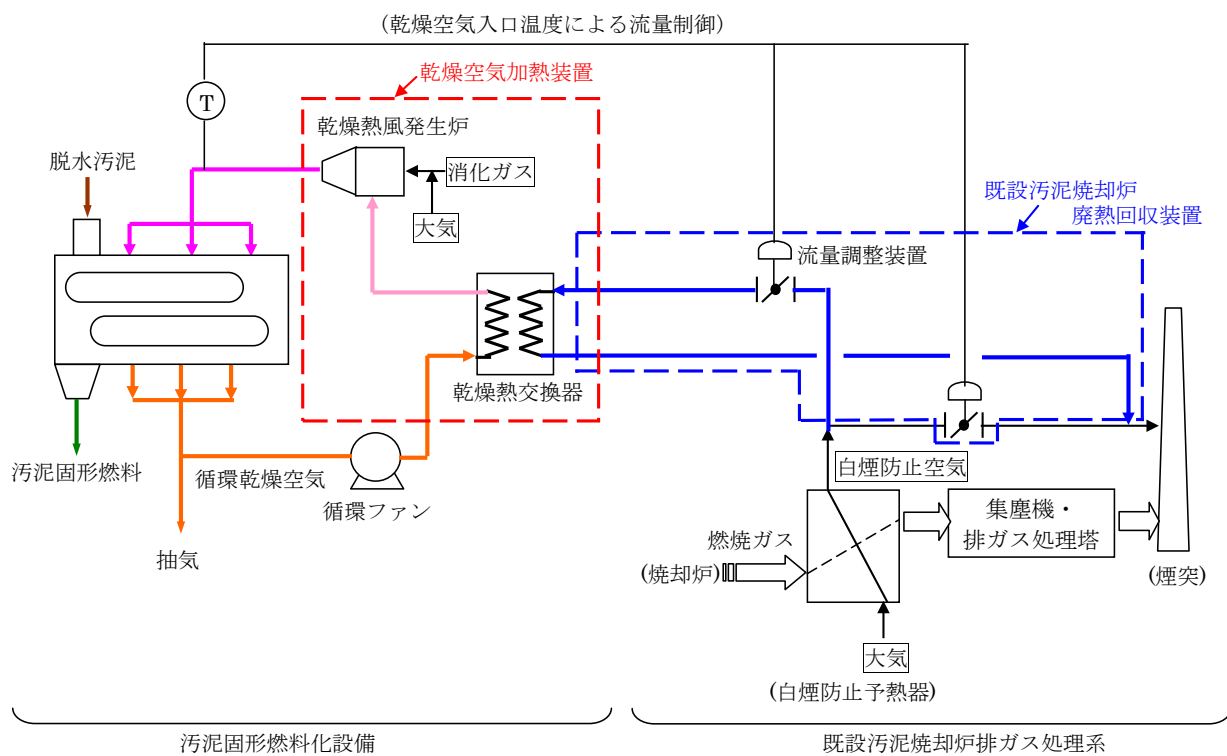


図 2-9 廃熱回収利用技術

§ 10 技術の適用条件

本技術は、処理場内(又は近隣)から安定的に利用可能な廃熱が存在している下水処理場において適用される技術であり、また処理場内(又は近隣)に汚泥燃料を継続的に利用する施設が存在することを基本とする。

【解 説】

本技術の基本となる適用条件は表 2-1 に示すように、処理場内(又は近隣)から安定的に利用可能な廃熱が存在しており、本技術によって製造された汚泥燃料を利用する施設（処理場内の既設焼却炉、処理場外の火力発電所、など）が存在することが基本となる。

本技術の導入効果が高い処理場の条件例とその効果を表 2-2 に示す。本技術は低温廃熱を利用する技術であるが、熱量の大きい廃熱等を得ることが出来る場合や余剰消化ガスが多い場合には、汚泥固形燃料製造量の増加や燃料製造時のコスト・エネルギー消費量・温室効果ガス排出量の更なる削減が可能となる。

なお、消化工程がない場合は、消化工程がある場合に比べ、脱水汚泥の保有熱量が高く、後段の焼却施設における補助燃料使用量が少なくなる一方で、製造する汚泥固形燃料の保有熱量は増大するため、汚泥固形燃料の場外利用のメリットが相対的に大きくなると考えられる。

ただし、本実証研究は消化汚泥を対象として実施したものである。

表 2-1 本技術の基本適用条件

基本適用条件
安定的に利用可能な廃熱が存在する。 ・ 処理場内の既設焼却炉からの白煙防止空気 ・ 近隣施設からの 250℃以上の廃熱
汚泥燃料を継続的に利用する施設が存在する。 ・ 処理場内の既設焼却炉（補助燃料として利用） ・ 処理場外の火力発電所（石炭代替として利用）など

表 2-2 本技術の導入効果が高い処理場の条件例

条件	期待される効果	備考
①高温焼却炉の採用や汚泥集約等で汚泥焼却量が増大することにより、白煙防止空気の有する総熱量が大きい場合	燃料製造時の ・ コスト削減 ・ エネルギー消費量削減 ・ 温室効果ガス排出量削減	採算上最低限必要な廃熱量については、対象となる下水処理場の施設規模、汚泥性状、排ガス処理プロセス構成等により異なるため、個別の試算が必要。
②近隣施設からの廃熱量が多い場合		
③余剰消化ガスが存在する場合		

§11 導入シナリオ例

本技術の導入目的と期待できる効果の具体例を示す。

- (1) 焼却施設の更新時に導入し、製造した固形燃料を処理場内部で利用。
- (2) 焼却施設の更新時に導入し、固形燃料を火力発電所など外部受け入れ先で利用。
- (3) 汚泥量増加による設備増強時に導入し、製造した固形燃料を処理場内部で利用。
- (4) 汚泥量増加による設備増強時に導入し、固形燃料を火力発電所など外部受け入れ先で利用。

【解 説】

本技術は低コストで、温室効果ガス排出量とエネルギー消費量の削減を目標とした汚泥処理技術である。本技術の導入シナリオ例と期待できる導入効果を以下に解説する。

(1) 設備更新時（場内利用）

汚泥焼却施設を複数基有している処理場において、消化汚泥の焼却処理等、補助燃料を使用している焼却施設の一部更新に際し、焼却施設の代わりに本技術を導入して、製造された汚泥固形燃料を既設焼却設備で利用するシステムとする。

焼却炉廃熱、余剰の消化ガス等を有効に利用して、脱水汚泥から低コスト・省エネルギーで乾燥汚泥燃料を製造し、さらに、製造した汚泥燃料を既存の焼却炉で利用することで、焼却炉の補助燃料が低減でき、コスト、温室効果ガスの排出量、エネルギー消費量の縮減が促進される（表 2-3 上段 参照）。

(2) 設備更新時（場外利用）

汚泥焼却施設を複数基有している処理場において、消化汚泥の焼却処理等、補助燃料を使用している焼却施設の一部更新に際し、焼却施設の代わりに本技術を導入して、低コスト・省エネルギーで製造した汚泥固形燃料を周辺の火力発電所、セメント工場などで石炭代替として利用することにより、地域と連携したコスト縮減、消費エネルギー量の削減、温室効果ガス排出削減効果が期待できる。また、下水処理場における焼却灰処分量も低減される（表 2-3 下段 参照）。

(3) 汚泥量増加による設備増強（場内利用）

中規模から大規模の処理場において、汚泥集約化や下水道普及率向上等による汚泥処理量の増加に対応する際、既設焼却炉の廃熱や余剰消化ガスを使用して低コスト・省エネルギーで汚泥固形燃料を製造することが可能となる本設備を増設する。

製造される汚泥固形燃料を場内で利用する場合、(1)と同様に、焼却炉の補助燃料が低減でき、コスト、温室効果ガスの排出量、エネルギー消費量の縮減が促進される（表 2-4 上段 参照）。

(4) 汚泥量増加による設備増強（場外利用）

中規模から大規模の処理場において、汚泥集約化や下水道普及率向上等による汚泥処理量の増加に対応する際、既設焼却炉の廃熱や余剰消化ガスを使用して低コスト・省エネルギーで汚泥固形燃料を製造することが可能となる本設備を増設する。

汚泥固形燃料を場外で利用する場合、(2)と同様に、地域と連携したコスト縮減、消費エネルギー量の削減、温室効果ガス排出削減効果が期待できる（表 2-4 下段 参照）。

※その他の導入シナリオ（固形燃料化設備を新規追加）

既設焼却炉からの廃熱が多く得られる中規模から大規模の処理場において、本技術の汚泥固形燃料化設備を追加導入することで、焼却処分していた汚泥の一部を汚泥固形燃料とする。製造した汚泥固形燃料を内部利用する場合は、既設焼却炉の補助燃料削減によるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の削減効果が期待できる。製造した汚泥固形燃料を外部利用する場合は、既設焼却炉での汚泥処理量が減少するため、補助燃料の削減によるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の削減効果、焼却灰の処分量削減が期待できる。なお、利用可能な廃熱量にもよるが、基本的にはコストについては増加する（資料編 2. ケーススタディに計算例を記載）。

表 2-3 導入シナリオ例（革新的技術 設備更新）

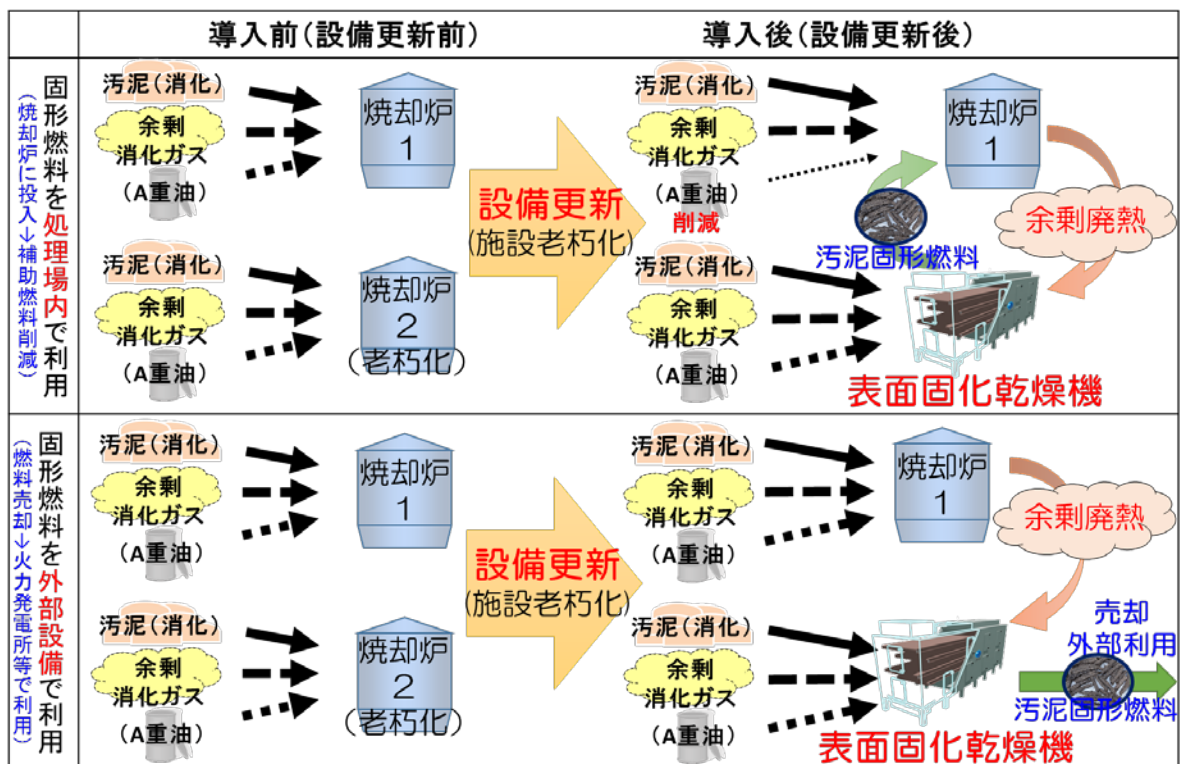
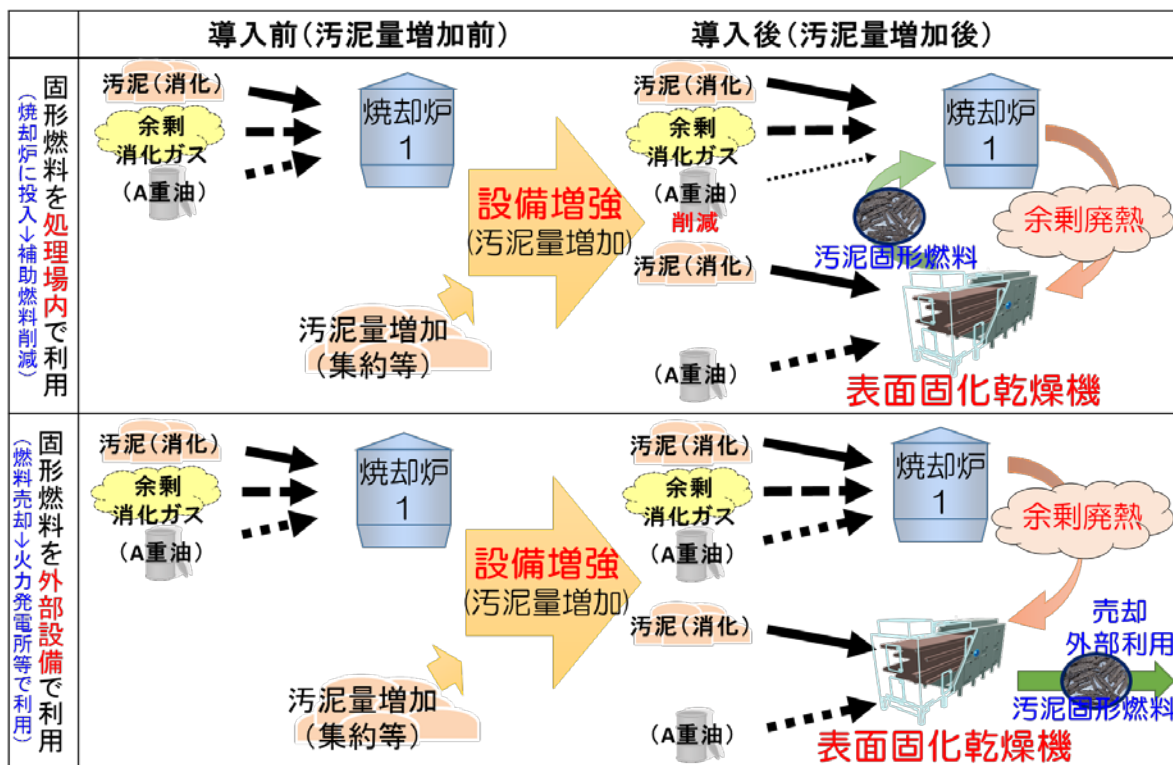


表 2-4 導入シナリオ例（革新的技術 設備増強）



第2節 実証研究に基づく評価の概要

§12 技術の評価項目

本技術の評価項目を以下に示す。

- (1) コスト
- (2) 温室効果ガス排出量
- (3) エネルギー消費量
- (4) 汚泥固形燃料の特性

【解 説】

新技術の導入促進に際しては、各技術の性能指標を定量的に比較し、性能の優れた技術を選定できるように、各技術について、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、消化汚泥より汚泥固形燃料を製造するために必要となる(1)コスト、(2)温室効果ガス排出量、(3)エネルギー消費量について、製造した汚泥固形燃料の総発熱量を基準として示すこととした(試算結果は第3章に詳述)。また、(4)汚泥固形燃料の特性についても評価を行った。

なお、本ガイドラインの本節以降の導入検討においては、廃熱の供給源として既設焼却炉を想定しており、既設焼却炉を1基以上有していることを前提条件として、評価及び試算を行うものとする。(よって、本技術の導入対象となる汚泥量は、処理場全体の汚泥量から既設焼却炉等その他処理施設が受け持つ汚泥量を差し引いたものとなる。)

以下に各評価項目の評価方法を記載する。

(1) コスト

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

建設費は土木建築設備、機械設備、電気設備、および既設焼却炉の改造費について算出する。

2) 維持管理費

①本技術の維持管理費

本技術の維持管理費は電力費、燃料費、補修費、人件費について算出する。

②既設焼却炉の維持管理費増分（場内利用）

製造した汚泥固形燃料を場内利用する場合、既設焼却炉において焼却する汚泥量は、汚泥固形燃料の投入分増加する（表 2-3、表 2-4 の場内利用において、緑の矢印で示す固形燃料がこれにあたる）。これにより、汚泥固形燃料を投入しない場合に比べ維持管理費が増加する※。

この増加分は革新的技術導入による影響であるため、これを算出する。

※補助燃料費は汚泥固形燃料の投入により減少するが、これによる効果は下記 3) ①で別途考慮する。

3) 本技術導入による他設備等への影響

①既存焼却炉の補助燃料費削減分（場内利用）

汚泥固形燃料を場内利用する場合、既設焼却炉の補助燃料が削減されるため、補助燃料費削減分を差し引く。

②製造燃料運搬費・販売益（場外利用）

製造した汚泥固形燃料を場外利用する場合、燃料利用施設への汚泥固形燃料の運搬費及び販売益を算出する。

③灰処分費（場内利用）

汚泥固形燃料を場内利用する場合、投入した汚泥固形燃料の分、焼却灰が増加するので焼却灰の処分費を算出する。

4) 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・廃棄費を算出する。

5) LCC（ライフサイクルコスト）

LCC は前述した 1) ～ 4) より算出する。

①汚泥固形燃料を場内利用する場合

$$\text{LCC} = 1) \text{建設費} + 2) \text{維持管理費} - 3) \text{①既存焼却炉の補助燃料費削減分} + 3) \text{③灰処分費} + 4) \text{解体・廃棄費}$$

②汚泥固形燃料を場外利用する場合

$$\begin{aligned} \text{LCC} &= 1) \text{建設費} + 2) \text{①維持管理費} + 3) \text{燃料運搬・販売費} + 4) \text{解体・廃棄費} \\ &= \text{建設費} + \text{維持管理費} + \text{燃料製造量} \times (\text{運搬費} - \text{製品価格}) + \text{解体・廃棄費} \end{aligned}$$

(2) 温室効果ガス排出量

本技術導入時の温室効果ガス排出量を評価する項目を以下に示す。

1) 燃料化設備からの排出量

燃料化設備の稼働時に使用されるユーティリティ（電力、補助燃料）に由来する温室効果ガス排出量を算出する。また、汚泥を処理する際に排出される N_2O についても考慮する。

2) 既設焼却炉の排出量増分（場内利用）

汚泥固形燃料を場内利用する場合、既設焼却炉の処理量の増加に伴い電力使用量が増加する（(1) コスト における 2) ②と同様の考え方）。それに対応した温室効果ガス排出量増分を算出する。

3) 補助燃料削減に伴う排出量の縮減（場内利用）

汚泥固形燃料を場内利用する場合、既設焼却炉の補助燃料が削減されるため、補助燃料由来の温室効果ガス排出量を差し引く。

4) 製造汚泥固形燃料の運搬に伴う排出量（場外利用）

汚泥固形燃料を場外利用する場合、汚泥固形燃料を燃料利用施設に運搬する際に排出される温室効果ガスについて算出する。

5) 製造汚泥固形燃料利用による排出量の縮減（場外利用）

汚泥固形燃料を場外利用する場合、汚泥固形燃料を燃料利用施設で石炭代替として利用することによって縮減される温室効果ガス排出量を算出する。

6) 建設・解体・廃棄に伴う排出量

燃料化設備の建設・解体・廃棄に伴う温室効果ガス排出量を算出する。

7) 温室効果ガス総排出量

温室効果ガス総排出量は前述した 1) ～ 6) より算出する。

① 汚泥固形燃料を場内利用する場合

温室効果ガス総排出量 = 1) 燃料化設備からの排出量 + 2) 既設焼却炉の排出量増分
－ 3) 補助燃料削減に伴う排出量の縮減
+ 6) 建設・解体・廃棄に伴う排出量

②汚泥固形燃料を場外利用する場合

$$\begin{aligned} \text{温室効果ガス総排出量} = & 1) \text{燃料化設備からの排出量} \\ & + 4) \text{製造汚泥固形燃料の運搬に伴う排出量} \\ & - 5) \text{製造汚泥固形燃料利用による排出量の縮減} \\ & + 6) \text{建設・解体・廃棄に伴う排出量} \end{aligned}$$

(3) エネルギー消費量

本技術導入時のエネルギー消費量を評価する項目を以下に示す。

1) 燃料化設備における消費量

燃料化設備の稼働時に使用されるユーティリティ（電力、補助燃料）に由来するエネルギー消費量を算出する。

2) 既設焼却炉の消費量増分（場内利用）

汚泥固形燃料を場内利用する場合、既設焼却炉の処理量の増加に伴いユーティリティ使用量が増加する（(1) コスト における 2) ②と同様の考え方）。それに対応したエネルギー消費量増分を算出する。

3) 補助燃料削減に伴う消費量の縮減（場内利用）

汚泥固形燃料を場内利用する場合、既設焼却炉の補助燃料が削減されるため、補助燃料由来のエネルギー消費縮減量を差し引く。

4) 製造汚泥固形燃料の運搬に伴う消費量（場外利用）

汚泥固形燃料を場外利用する場合、汚泥固形燃料を燃料利用施設に運搬するのに要する軽油使用量に伴うエネルギー消費量を算出する。

5) 製造汚泥固形燃料利用による消費量の縮減（場外利用）

汚泥固形燃料を場外利用する場合、汚泥固形燃料を燃料利用施設で利用されたときの利用先におけるエネルギー消費縮減量を差し引く。

6) 総エネルギー消費量

総エネルギー消費量は前述した 1) ～ 5) より算出する。

①汚泥固形燃料を場内利用する場合

$$\begin{aligned} \text{総エネルギー消費量} = & 1) \text{燃料化設備における消費量} + 2) \text{既設焼却炉の消費量増分} \\ & - 3) \text{補助燃料削減に伴う消費量の縮減} \end{aligned}$$

②汚泥固形燃料を場外利用する場合

総エネルギー消費量＝ 1) 燃料化設備における消費量
 ＋ 4) 製造汚泥固形燃料の運搬に伴う消費量
 － 5) 製造汚泥固形燃料利用による消費量の縮減

(4) 汚泥固形燃料の特性

1) 汚泥固形燃料の燃焼性

汚泥固形燃料の燃焼性の評価に関する測定項目を表 2-5 に示す。品質目標値は汚泥固形燃料の JIS 化を考慮のうえ設定した。

表 2-5 汚泥燃料の燃焼特性測定項目

測定項目	評価方法等
含水率	品質目標値：20%以下であることの確認
発熱量	品質目標値：8MJ/kg 以上であることの確認
工業分析	灰分、揮発分、固定炭素の把握による燃焼性の評価
元素分析	C、H、O、N、S、Cl、P のデータによる燃焼特性の把握
重金属含有量	Cd、Cr、T-CN、T-Hg 等のデータによる有害物対策等の検討
灰分組成	SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、Fe ₂ O ₃ 等のデータによる燃焼特性及び灰処分時の留意事項の確認

2) 汚泥固形燃料の安全性

汚泥固形燃料の安全性に関する評価方法を表 2-6 に示す。

表 2-6 汚泥固形燃料の安全性測定項目

項 目		評価及び対策等	分析方法
自然発火試験 (50℃保持)	発火の有無	必要な安全対策の選定の根拠となる特性の確認	※1
	温度上昇までの経過時間		
可燃性ガス発生 (26±1℃、10 日間)	水素	可燃限界以下であることの確認	※2
	メタン		
	一酸化炭素		
粉塵爆発試験	着火・爆発の有無	見かけ下限濃度が十分高く、爆発性は低いことの確認	※3
	見かけの下限濃度		
	爆発性評価		

※1 「下水汚泥固形燃料発熱特性評価試験マニュアル」 日本下水道事業団（H20.3）5.2.2 準拠

※2 同上 4.3.2 準拠

※3 JIS Z 8812 準拠

3) 汚泥固形燃料のハンドリング性

汚泥固形燃料のハンドリング性の評価に関する測定項目を表 2-7 に示す。

表 2-7 汚泥固形燃料のハンドリング性

項目	評価方法等	分析方法
真比重	基礎物性として把握	※1
粒度分布	微細粒子の割合により、ハンドリング性を確認	※2
粉碎性	HGI(粉碎性指数)の把握	※3

※ 1 「下水試験方法 上巻 2012 年版」 第 5 編 第 1 章 第 4 節 準拠

※2 JIS K 1474 準拠

※3 JIS M 8801 準拠

4) 汚泥固形燃料の臭気

臭気指数で評価する。

§ 13 技術の評価結果（汚泥固形燃料の特性）

本技術の評価結果のうち、汚泥固形燃料の特性を以下に示す。

【解 説】

§ 12 で示した評価項目のうち、コスト、温室効果ガス排出量、エネルギー消費量についての本技術の評価結果については、ケーススタディに基づく規模別の試算結果として、第3章 第2節で詳述する。ここでは実証研究に基づく汚泥固形燃料の特性についてのみ記載する。

(1) 汚泥固形燃料の燃焼性

1) 含水率

実証試験実績値では 6.2%～14.7% となり、目標値の 20% 以下となる事が確認された。なお、含水率は総乾燥時間を変更する事により操作可能である。（資料編 1. 表資料 1-2 参照）

2) 発熱量

消化汚泥による実証試験で、総発熱量は 15.6～18.2MJ/kg(湿ベース)であった（資料編 1. 実証試験結果 表資料 1-7 参照）。汚泥固形燃料の JIS 原案では、総発熱量（受け渡し時の全水分有の状態）は、15MJ/kg（BSF-15）、8MJ/kg（BSF）の 2 種類が規定されている。本実証施設においては、保有熱量が比較的低い消化汚泥を主原料としているが、全ての分析結果において、目標値である 8MJ/kg を上回っており、より高品質な規格である BSF-15 の総発熱量も満たしていた。

また、図 2-10（資料編 1. 実証試験結果 表資料 1-6 参照）で見るように実証試験で製造された汚泥固形燃料は、灰分（乾ベース）割合が原料の脱水汚泥とほぼ等しく、炭化方式のように灰分割合の上昇はなかった。

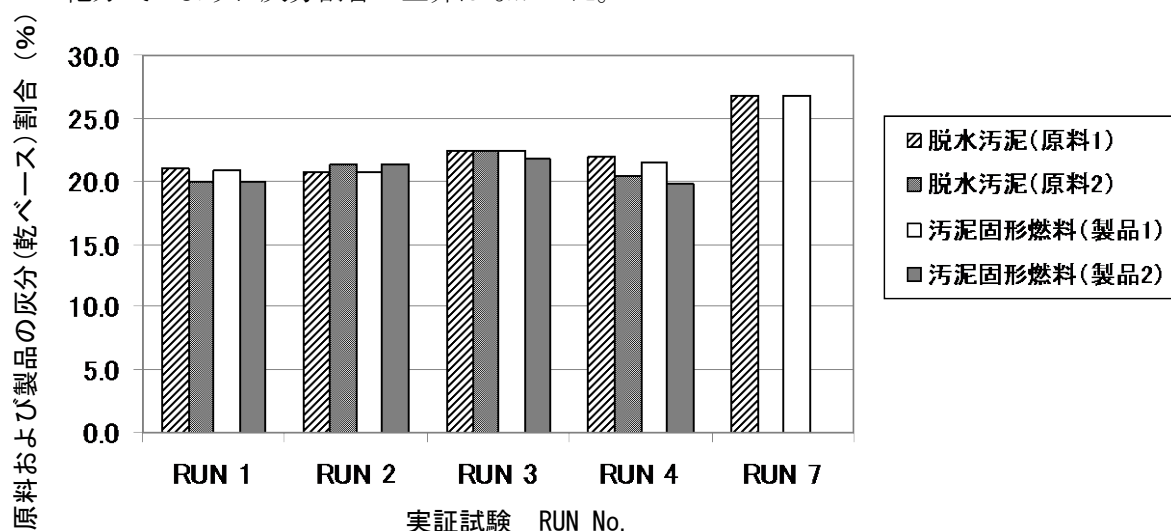


図 2-10 汚泥固形燃料の灰分割合

(2) 汚泥固形燃料の安全性

表 2-8 の結果のとおり安全性が確認された。(資料編 1. 実証試験結果 表資料 1-8、1-9、1-10 参照)。

表 2-8 汚泥固形燃料の安全性評価結果

項 目		評価及び対策
自然発火試験 (50℃保持)	発火の有無	50℃、48 時間保持の試験で発火(急激な温度上昇)が確認された。このため、ホッパでの保管時には、ホッパ内温度管理を実施し、窒素パージ及び散水装置を設置する。
	温度上昇までの経過時間	
可燃性ガス発生 (26±1℃、10 日間)	水素	可燃限界以下であり、爆発可能性は低い。
	メタン	
	一酸化炭素	
粉塵爆発試験	着火・爆発の有無	見かけ下限濃度が十分高く、爆発性は低い。
	見かけの下限濃度	
	爆発性評価	

(3) 汚泥固形燃料のハンドリング性

1) 真比重

本実証試験において、真比重は 1.6kg/L である事を確認した(資料編 1. 実証試験結果 表資料 1-6 RUN7 参照)。

2) 粒度分布

本実証試験において、乾燥物形状について「粒径 1mm 以上の乾燥物が重量比で全体の 95%以上(実測値 99.2%)」であることを確認され、輸送時等に粉末が舞い難く、ハンドリング性が良いことが示された(資料編 1. 実証試験結果 表資料 1-6 RUN7 参照)。

3) 破碎性

脱水汚泥は成型機で棒状に成型された後、乾燥空気との接触で表面から乾燥し、被膜状に乾燥固化層が形成される。これにより、汚泥は一定の強度を保ち、破碎や粉碎し難い形態となり、以後の取扱い時においても粉塵の発生が抑制される。本実証試験結果において HGI が 31 である事を確認した。HGI は大きいほど粉碎されやすい。参考として石炭、炭化汚泥の HGI 値も以下に記載する。炭化汚泥より粉碎されにくく、一定の強度を保っている(資料編 1. 実証試験結果 表資料 1-6 RUN7 参照)。

表 2-9 各燃料における HGI 値

	HGI 値	備考
汚泥固形燃料	31	実証試験結果
石炭	20～70	参考値
炭化汚泥	40～60	参考値

(4) 汚泥固形燃料の臭気

実証運転実績値では臭気指数は 35～39 であり、下水道事業団「下水汚泥固形燃料化システムの技術評価に関する報告書」(平成 20 年度 3 月)の記載値(34)と同程度であった(資料編 1. 実証試験結果 表資料 1-11 参照)。

※工業分析結果、組成分析結果は「参考資料 1. 実証試験結果 表資料 1-6 汚泥固形燃料性状分析結果」に記載

第3章 導入検討

第1節 導入検討手法

§14 導入検討手順

本技術の導入の検討に当たっては、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】

導入検討に当たっては、導入の目的を明確にした後、図3-1に示す導入検討フローに従って、必要な情報を収集し、導入効果の概略試算を行い、導入範囲及び事業形態等を含めた導入判断を行う。

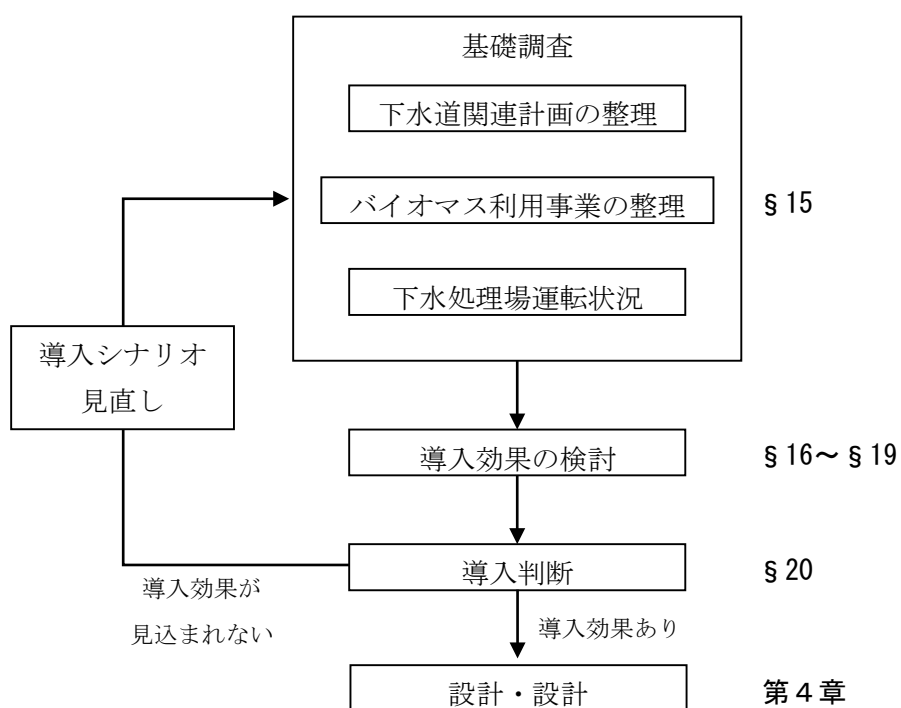


図3-1 導入検討フロー

§ 15 基礎調査

基礎調査では、下水道施設及び取り巻く地域について現況及び課題等を把握する。

【解 説】

本技術導入の詳細な計画策定に先立ち、下水道施設や地域のバイオマス利用の現況ならびに関連計画等を把握する。また、本技術導入検討の基礎となる既存施設の運転データを収集、整理し、運転状況を把握する。計画立案にあたって実施する基礎調査において把握すべき事項を以下に整理する。

(1) 関連計画

- ①関連計画（下水道全体計画及び事業計画、流域別下水道整備総合計画、下水道長寿命化計画等）

(2) 下水処理場の情報調査

- ②下水道ならびに下水処理場の特性(排除方式、処理規模、周辺環境など)
- ③既存施設・設備の整備状況
- ④流入量及び水質
- ⑤当該下水処理場発生汚泥の種類、量及び性状
- ⑥水処理及び汚泥処理施設の運転管理状況
- ⑦関連 PI(業務指標)
- ⑧脱水汚泥の種類（消化汚泥、混合生汚泥等）、量及び性状（他の処理場から持ち込まれる下水汚泥がある場合にはその種類、量及び性状を含む）
- ⑨場内、近隣における活用可能な余剰廃熱に関する調査

「④流入量及び水質」、「⑤当該下水処理場発生汚泥の種類、量及び性状」、「⑧脱水汚泥の種類、量及び性状」について、1年間を通して把握する必要があるため、最低4回/年、可能であれば1回/月の調査が必要である。但し、維持管理年報や運転管理日報、月報を入手することで、ほとんどすべてのデータが入手可能である。「⑥水処理及び汚泥処理施設の運転管理状況」については、処理場の運転管理員等からのヒアリングにより稼働状況（運転日数、停止可能日数等）を把握する。

(3) 利用先の情報調査

- ⑩固形燃料利用事業所状況

固形燃料を場外で利用する場合には、燃料供給計画を作成する必要があるため、固形燃料利用事業所での運転稼働状況（運転日数、定期点検等の設備休止時期および日数）を調査・把握する。また、利用事業所への搬入方法及び荷姿についても最適な方法を選定する。

(4) 導入シナリオの設定

①～⑩の調査結果を考慮し、汚泥固形燃料化設備の設備規模、汚泥固形燃料の利用用途（内部利用または外部利用）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縮減効果、エネルギー消費量縮減効果等を、他の技術と比較して算定する。

【解 説】

（１）導入効果検討の考え方

下水道革新的技術の導入による建設や維持管理に係るコスト、代替エネルギーとしての利用量及び温室効果ガス排出量を算出し、従来技術と比較することで、本技術の導入効果を検討する。

※検討を容易にするため、実証研究から得られたデータに基づき建設費、維持管理費等を算定式化した。なお、算定式以外の単価・条件等については、可能な限り導入を検討している下水処理場の実態に合わせて行うことが望ましい。

（２）導入効果の検討項目

本技術の検討項目を以下に列記する。なお、各項目の計算方法は § 17～ § 19 を、算出例は **第3章 第2節 導入効果の評価例**のケーススタディを参照されたい。

なお、比較対象とする従来技術の算出方法は、**資料編 2. ケーススタディ**の算出例、「バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル」(平成 16 年 3 月 国土交通省都市・地域整備局(社)日本下水道協会)、「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン」国土交通省（平成 23 年 3 月）を参考とされたい。

1) コスト （§ 17 に詳述）

導入によるコスト縮減効果は、本技術を導入した場合に想定されるコストと従来技術を用いた代替施設導入により想定されるコストの差で示す。本技術導入において効果を検討する項目を以下に示す。

- ① 建設費
- ② 維持管理費
- ③ 既設焼却炉の維持管理費増分（場内利用）
- ④ 既存焼却炉の補助燃料費削減分（場内利用）
- ⑤ 製造燃料運搬費・販売益（場外利用）
- ⑥ 灰処分費（場内利用）
- ⑦ 解体・廃棄費

2) 温室効果ガス（GHG）排出量 （§18 に詳述）

導入による温室効果ガス排出量縮減効果は、本技術を導入した場合に想定される温室効果ガス排出量と従来技術を用いた代替施設導入により想定される温室効果ガス排出量の差で示す。本技術導入において効果を検討する項目を以下に示す。

- ① 燃料化設備からの排出量
- ② 既設焼却炉の排出量増分（場内利用）
- ③ 補助燃料削減に伴う排出量の縮減（場内利用）
- ④ 製造汚泥固形燃料の運搬に伴う排出量（場外利用）
- ⑤ 製造汚泥固形燃料利用による排出量の縮減（場外利用）
- ⑥ 建設・解体・廃棄に伴う排出量

3) エネルギー消費量 （§19 に詳述）

導入によるエネルギー消費量縮減効果は、本技術を導入した場合に想定されるエネルギー消費量と従来技術を用いた代替施設導入により想定されるエネルギー消費量の差で示す。本技術導入において効果を検討する項目を以下に示す。

- ① 燃料化設備における消費量
- ② 既設焼却炉の消費量増分（場内利用）
- ③ 補助燃料削減に伴う消費量の縮減（場内利用）
- ④ 製造汚泥固形燃料の運搬に伴う消費量（場外利用）
- ⑤ 製造汚泥固形燃料利用による消費量の縮減（場外利用）

§17 コストの算定

下記の項目について検討し、コストの算定を行う。

- (1) 建設費
- (2) 維持管理費
- (3) 既設焼却炉の維持管理費増分（場内利用）
- (4) 既存焼却炉の補助燃料費削減分（場内利用）
- (5) 製造燃料運搬費・販売益（場外利用）
- (6) 灰処分費（場内利用）
- (7) 解体・廃棄費

【解 説】

本技術の導入コストをCとすると

①場内利用の場合

$$C = (1) \text{建設費} + (2) \text{維持管理費} + (3) \text{既設焼却炉の維持管理費増分} \\ - (4) \text{既存焼却炉の補助燃料費削減分} + (6) \text{灰処分費} + (7) \text{解体・廃棄費}$$

②場外利用の場合

$$C = (1) \text{建設費} + (2) \text{維持管理費} + (5) \text{製造燃料運搬費・販売益} + (7) \text{解体・廃棄費}$$

以下（1）～（7）について解説する。

（1）建設費

本技術の建設費は表 3-1 に示す算定式より算出する。

表 3-1 建設費の算定式

設備区分	単位	費用算定方法	備 考
土木設備工事※	億円	設備規模 Xd による工事費 Y の算定式 $Y = 0.123 \times [Xd]^{0.941}$	Xd:設備規模(t-wet/日) 杭打ち工事は地域条件により大きく異なるので含めず。
機械設備工事	億円	設備規模 Xd による工事費 Y の算定式 $Y = 10.34 \times ([Xd]/30)^{0.7}$	Xd:設備規模(t-wet/日)
電気設備工事	億円	設備規模 Xd による工事費 Y の算定式 $Y = 1.42 \times ([Xd]/30)^{0.7}$	Xd:設備規模(t-wet/日)
既設改造工事	億円	場内利用： 0.02 億円 場外利用： 0.01 億円	

※土木設備工事費は「バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル」（平成16年3月 国土交通省都市・地域整備局(社)日本下水道協会）の費用関数を用いて算出し、表3-2の建設工事費デフレーターを用いて、暫定値を除いた最新年度の価格に補正する。設置予定場所にすでに設置に耐えうる基礎がある場合はこの費用は不要である。標準は屋外設置とする。

表3-2 建設工事費デフレーター例

工事種別	2010年度	2003年度
下水道	104.4	97.6

出典：国土交通省 HP 建設工事費デフレーター

- 1) 機械・電気設備工事費は、容量計算などにより設備規模 30t-wet/日における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する。その結果をもとにスケールアップによる効果を考慮し、費用関数を算出する。
- 2) 本技術は既設焼却炉からの廃熱を利用しており、既設焼却炉の廃熱を取り入れる為の配管改造が必要なため、既設改造工事費を計上する。また、本技術で製造された汚泥固形燃料を既設焼却炉で補助燃料として場内利用する場合は、固形燃料を既設焼却炉へ投入する為の投入口を新たに設ける必要があるため、場外利用よりも既設改造工事費が増加する。汚泥固形燃料の利用計画（場内利用または場外利用）に合わせた既設改造工事費を計上する。
- 3) 建設費については、各整備の償却期間による建設年価換算を行う。建設費の年当たりの費用は、「バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル」の計算例に基づき、以下の式より各係数を乗じて算出する。

$$\text{建設費年価（百万円/年）} = \text{建設費（億円）} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \times 100$$

ここで、 i ：利子率（割引率、2.3%とする）、 n ：耐用年数

耐用年数を表3-3に示す。本技術の土木設備は他の下水処理設備の土木設備の耐用年数（45～50年）と同等とし、機械設備、電気設備については、近年増加しているDBO方式による汚泥固形燃料化設備の契約年数と同じ20年とする。従来技術汚泥焼却設備、燃料化設備の耐用年数は本技術と同等とする。

表 3-3 設備の耐用年数

設備区分	項 目	耐用年数
革新的技術 表面固化乾燥装置	土木設備工事	45 年
	機械・電気設備工事	20 年
	既設改造工事	20 年

(2) 維持管理費

本技術の維持管理費は表 3-4 に示す算定式より算出する。

表 3-4 維持管理費の算定式

設備区分	単位	費用算定方法	備 考
電力費	百万円/年	電力費 Y の算定式 $Y = (10.112 \times \ln[Xd] + 65.447) \times [Xrd] \times \text{年間稼働日数} \times \text{電力単価} \times 10^{-6}$	Xd:設備規模(t-wet/日) Xrd:実処理量(t-wet/日)
燃料費	百万円/年	燃料費 Y の算定式 $Q = 2.5(\text{MJ/kg}) \times [Xrd] \times \{1 - (1 - \text{投入汚泥含水率}/100) / (1 - \text{乾燥燃料含水率}/100)\} \times 1000 \times \eta$ M1=消化ガス使用量(Nm ³ /日)×22.5 M2=焼却炉廃熱量(Nm ³ /日)×0.2149 $Y = \{(Q - M1 - M2) / 39.1\} \times \text{年間稼働日数} \times \text{重油単価} \times 10^{-6}$ $\eta = 1.8$ (実証試験より) ※	Q:乾燥必要熱量(MJ/日) Xrd:実処理量(t-wet/日) M1:消化ガス熱量(MJ/日) M2:廃熱の熱量(MJ/日) 廃熱:白煙防止空気(330℃)の場合
人件費	百万円/年	焼却炉など他施設と連携し、職員配置を調整した場合は人員の削減が可能であり、施設全体の職員配置計画を考慮して決定する。	第3章 第2節におけるケーススタディでは、他施設との連携を考慮せず、3人/8時間×3交代制=9人/年・施設とした。
補修費	百万円/年	工事費の2%とする	

※:資料編 1. 実証試験結果、表資料 1-2 参照

電力費は、容量計算などにより決定した設備の定格出力に対して実証試験をもとに得られた電力負荷率を考慮することで電力使用量を概算し、実処理量あたりの電力使用量として費用関数を算出する。

本技術の維持管理費の単価は、表 3-5 に示される値を採用した。また、年間稼働日数は 320 日/年とする。

表 3-5 維持管理費の単価

項 目	単位	単価
電力	円/kWh	12
補助燃料 (A 重油)	円/L	91

(平成 25 年度時点)

(3) 既設焼却炉の維持管理費増分 (場内利用)

製造した汚泥固形燃料を場内利用する場合、既設焼却炉において焼却する汚泥量は、汚泥固形燃料の投入分増加する。これに伴う既存焼却炉の維持管理費増分を費用関数※から算出する。

既設焼却炉の維持管理費増分 (百万円/年)

＝革新的技術導入後の既設焼却炉維持管理費 (百万円/年)

－革新的技術導入前の既設焼却炉維持管理費 (百万円/年)

※汚泥焼却炉の維持管理費に関する費用関数は、「バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル」等を参考とされたい。

(4) 既存焼却炉の補助燃料費削減分 (場内利用)

汚泥固形燃料を場内利用する場合、既設焼却炉の補助燃料が削減されるため、補助燃料費削減分を差し引く。

補助燃料費削減分 [既設焼却炉] (百万円/年)

＝－A 重油換算補助燃料削減量(kL/年)×A 重油単価 (円/L) ×10⁻³

補助燃料削減量は、以下の式により算出される補助燃料削減可能量と更新前の既設焼却炉補助燃料使用量の小さい方の値を採用する。

A 重油換算補助燃料削減量(kL/年)＝汚泥固形燃料投入量(t-wet/日)×汚泥固形燃料エネルギー(GJ/t-wet)／A 重油エネルギー原単位(39.1GJ/kL)×320 日/年×0.75※

(※実証試験の結果 (資料編 1. 実証試験結果 1.2 (5) 参照) より、汚泥固形燃料投入エネルギーの 75%が補助燃料削減に寄与すると仮定)

(5) 製造燃料運搬費・販売益（場外利用）

製造した汚泥固形燃料を場外利用する場合、燃料利用施設への汚泥固形燃料の運搬費及び販売益を算出する。

製造燃料運搬費＝ 燃料製造量(t/年)×運搬単価(円/t)

製造燃料販売益＝－燃料製造量(t/年)×販売単価(円/t)

(6) 灰処分費（場内利用）

汚泥固形燃料を場内利用する場合、灰の処分費を算出する。

灰処分費＝脱水汚泥固形分量(t/年)×灰発生率(%)×灰処分単価(円/t)

(7) 解体・廃棄費

解体・廃棄費は、設備の耐用年数使用後の撤去に関わる費用である。算出方法は、建設費の10%とした。

§ 18 温室効果ガス排出量の算定

下記の項目について検討し、温室効果ガス排出量の算定を行う。

- (1) 燃料化設備からの排出量
- (2) 既設焼却炉の排出量増分（場内利用）
- (3) 補助燃料削減に伴う排出量の縮減（場内利用）
- (4) 製造汚泥固形燃料の運搬に伴う排出量（場外利用）
- (5) 製造汚泥固形燃料利用による排出量の縮減（場外利用）
- (6) 建設・解体・廃棄に伴う排出量

【解 説】

本技術導入による温室効果ガス排出量をGとすると

①場内利用の場合

$$G = (1) \text{ 燃料化設備からの排出量} + (2) \text{ 既設焼却炉の排出量増分} \\ - (3) \text{ 補助燃料削減に伴う排出量の縮減} + (6) \text{ 建設・解体・廃棄に伴う排出量}$$

②場外利用の場合

$$G = (1) \text{ 燃料化設備からの排出量} + (4) \text{ 製造汚泥固形燃料の運搬に伴う排出量} \\ - (5) \text{ 製造汚泥固形燃料利用による排出量の縮減} + (6) \text{ 建設・解体・廃棄に伴う排出量}$$

以下(1)～(6)について解説する。

(1) 燃料化設備からの排出量

燃料化設備の稼働時に使用されるユーティリティに由来する温室効果ガス量を算出する。また、汚泥を処理するにあたって排出される N_2O 、 CH_4 についても考慮する。算出項目は以下の通りである。

1) 電力由来の温室効果ガス発生量

$$\text{電力由来の発生量}(\text{t-CO}_2/\text{年}) = \text{電力使用量}(\text{kWh}/\text{年}) \times \text{排出係数}(\text{kg-CO}_2/\text{kWh}) \times 10^{-3}$$

2) A 重油由来の温室効果ガス発生量

$$\text{A 重油由来の発生量}(\text{t-CO}_2/\text{年}) = \text{A 重油使用量}(\text{kL}/\text{年}) \times \text{排出係数}(\text{kg-CO}_2/\text{L})$$

3) N_2O 排出由来の温室効果ガス発生量

$$\text{N}_2\text{O 排出由来の発生量}(\text{t-CO}_2/\text{年}) = \text{処理量}(\text{t-wet}/\text{年}) \\ \times \text{N}_2\text{O 発生原単位}(\text{kg-N}_2\text{O}/\text{t-wet}) \times \text{排出係数}(\text{kg-CO}_2/\text{kg-N}_2\text{O}) \times 10^{-3}$$

4) CH_4 排出由来の温室効果ガス発生量（汚泥焼却炉のみ）

$$\text{CH}_4 \text{ 排出由来の発生量}(\text{t-CO}_2/\text{年}) = \text{処理量}(\text{t-wet}/\text{年}) \\ \times \text{CH}_4 \text{ 発生原単位}(\text{kg-CH}_4/\text{t-wet}) \times \text{排出係数}(\text{kg-CO}_2/\text{kg-CH}_4) \times 10^{-3}$$

本技術の二酸化炭素排出量原単位は、表 3-6、表 3-7 に示される値を採用した。

表 3-6 革新的技術の N₂O 発生原単位

設 備	種類	単位	原単位	出典
表面固化乾燥装置	N ₂ O	kg- N ₂ O /t-wet	0.0296	実証試験による※

※Run No.7 における実績 資料編 1. 実証試験結果、表資料 1-2 及び表資料 1-11) より算出。

表 3-7 排出係数

種類	単位	排出係数	出典
電力	kg-CO ₂ /kWh	0.550	※1
A 重油	kg-CO ₂ /L	2.71	※2
N ₂ O	kg-CO ₂ /kg-N ₂ O	310	※2
CH ₄	kg-CO ₂ /kg-CH ₄	21	※2

※1「電気事業者別の CO₂ 排出係数（2012 年度実績）」代替値、環境省 地球環境局 地球温暖化対策課 ウェブサイト (http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/h26_coefficient.pdf)

※2「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」同上のウェブサイト (<http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran.pdf>)

(2) 既設焼却炉の排出量増分（場内利用）

汚泥固形燃料を場内利用する場合、既設焼却炉の処理量の増加に伴い電力使用量が増加する。それに対応した温室効果ガス排出量増分を算出する。

既設焼却炉の排出量増分

$$= \text{汚泥処理量増加分(t/日)} \times \text{電力原単位(kWh/t)} \times \text{年稼働日数} \times \text{排出係数}$$

※汚泥処理量増加分＝汚泥固形燃料投入量

(3) 補助燃料削減に伴う排出量の縮減（場内利用）

汚泥固形燃料を場内利用する場合、既設焼却炉の補助燃料が削減されるため、補助燃料由来の温室効果ガス縮減量を差し引く。

温室効果ガスの縮減量 (t-CO₂/年)

$$= - \text{補助燃料削減量(kL/日)} \times \text{年稼働日数} \times \text{排出係数(kg-CO}_2\text{/L)}$$

(4) 製造汚泥固形燃料の運搬に伴う排出量（場外利用）

汚泥固形燃料を場外利用する場合、汚泥固形燃料を燃料利用先に運搬する際に排出される温室効果ガスを算出する。

走行距離 X km/回

走行回数(回)＝汚泥固形燃料製造量(t-wet/年)/10t （10t 車で運搬）

年間走行距離(km)＝X km/回×走行回数(回)

軽油使用量(L/年)＝年間走行距離(km)/（5km/L）

走行時 N₂O 由来の排出量（t-CO₂/年）＝走行時 N₂O 発生原単位(kg-N₂O/km)
×年間走行距離×排出係数(kg-CO₂/kg-N₂O) ×10⁻³

走行時 CH₄ 由来の排出量（t-CO₂/年）＝走行時 CH₄ 発生原単位(kg-CH₄/km)
×年間走行距離×排出係数(kg-CO₂/kg-CH₃) ×10⁻³

軽油燃料由来の排出量（t-CO₂/年）＝軽油使用量(L/年)×排出係数(kg-CO₂/L) ×10⁻³

本技術で採用した走行時の地球温暖化ガス発生原単位を表 3-8、軽油の地球温暖化ガス発生原単位を表 3-9 に示す。

表 3-8 走行時の地球温暖化ガス発生原単位

種類	単位	発生原単位	出典
走行時 N ₂ O	kg-N ₂ O/km	0.000014	※
走行時 CH ₄	kg-CH ₄ /km	0.000015	※

※下水道における地球温暖化防止対策検討委員会「下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き」（平成21年3月）

表 3-9 軽油の地球温暖化ガス排出係数

種類	単位	排出係数	出典
軽油	kg-CO ₂ /L	2.58	※

※前述「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」

(5) 製造汚泥固形燃料利用による排出量の縮減（場外利用）

汚泥固形燃料を場外利用する場合、汚泥固形燃料を燃料利用先で石炭代替として利用されたときの利用先における温室効果ガス排出縮減量を差し引く。

温室効果ガスの縮減量（t-CO₂/年）

$$= \text{燃料製造量(t/年)} \times \text{燃料のエネルギー(GJ/t-wet)} \\ / \text{石炭のエネルギー(GJ/t)} \times \text{排出係数(kg-CO}_2\text{/kg)}$$

石炭のエネルギー原単位を表 3-10、石炭の排出係数を表 3-11 に示す。

表 3-10 石炭のエネルギー原単位

種類	単位	エネルギー	出典
石炭	GJ/t	28	※

※「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）」国土交通省（平成 23 年 3 月）

表 3-11 石炭の地球温暖化ガス排出係数

種類	単位	排出係数	出典
石炭	t-CO ₂ /t	2.41	※

※「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）」国土交通省（平成 23 年 3 月）

（6）建設・解体・廃棄に伴う排出量

設備の建設及び廃棄に伴う温室効果ガス排出量は、「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）より終末処理場における環境負荷量(LC-CO₂)の算定事例【建設段階 19.3%、供用段階 80.2%、解体・廃棄段階 0.5%】の比率で換算して算出した。

§ 19 エネルギー消費量の算定

下記の項目について検討し、エネルギー消費量の算定を行う。

- (1) 燃料化設備における消費量
- (2) 既設焼却炉の消費量増分（場内利用）
- (3) 補助燃料削減に伴う消費量の縮減（場内利用）
- (4) 製造汚泥固形燃料の運搬に伴う消費量（場外利用）
- (5) 製造汚泥固形燃料利用による消費量の縮減（場外利用）

【解 説】

本技術導入によるエネルギー消費量をEとすると

①場内利用の場合

$$E = (1) \text{ 燃料化設備における消費量} + (2) \text{ 既設焼却炉の消費量増分} \\ - (3) \text{ 補助燃料削減に伴う消費量の縮減}$$

②場外利用の場合

$$E = (1) \text{ 燃料化設備における消費量} + (4) \text{ 製造汚泥固形燃料の運搬に伴う消費量} \\ - (5) \text{ 製造汚泥固形燃料利用による消費量の縮減}$$

以下（1）～（5）について解説する。

（1）燃料化設備における消費量

燃料化設備の稼働時に使用するユーティリティに由来するエネルギー消費量を算出する。
算出項目は以下の通りである。エネルギー原単位は表 3-12 に示す。

1) 電力由来のエネルギー消費量

$$\text{電力由来のエネルギー消費量(GJ/年)} \\ = \text{電力使用量(kWh/年)} \times \text{エネルギー原単位(MJ/kWh)/1000}$$

2) A 重油由来のエネルギー消費量

$$A \text{ 重油由来のエネルギー消費量(GJ/年)} \\ = A \text{ 重油使用量(kL/年)} \times \text{エネルギー原単位(MJ/L)}$$

表 3-12 エネルギー原単位

種類	単位	エネルギー原単位	出典
電力	MJ/kWh	9.68	※1
A 重油	MJ/L	39.1	※2

※1「エネルギーの使用の合理化に関する法律施行規則 別表第三」より
「昼間：9.97MJ/kWh」、「夜間：9.28MJ/kWh」から時間配分を考慮して
 $9.97 \times 14/24 + 9.28 \times 10/24 = 9.68$

※2前述「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」

(2) 既設焼却炉の消費量増分（場内利用）

汚泥固形燃料を場内利用する場合、既設焼却炉の処理量の増加に伴い電力使用量が増加する。それに対応したエネルギー消費量を算出する。

$$\text{電力使用量の増分} = \text{汚泥処理量増加分(t/日)} \times \text{電力原単位(kWh/t)} \times \text{年稼働日数} \\ \times \text{電力のエネルギー原単位(MJ/kWh)}$$

$$\text{※汚泥処理量増加分} = \text{汚泥固形燃料投入量}$$

(3) 補助燃料削減に伴う消費量の縮減（場内利用）

汚泥固形燃料を場内利用する場合、既設焼却炉の補助燃料が削減されるため、補助燃料由来のエネルギー消費縮減量を差し引く。

$$\text{エネルギー消費量の縮減量 (GJ/年)} \\ = - \text{補助燃料削減量(kL/年)} \times \text{エネルギー原単位(MJ/L)}$$

(4) 製造汚泥固形燃料の運搬に伴う消費量（場外利用）

汚泥固形燃料を場外利用する場合、汚泥固形燃料を燃料利用施設に運搬する際に要する軽油使用量に伴うエネルギー消費量を算出する。エネルギー原単位を表 3-13 に示す。

$$\text{エネルギー消費量 (GJ/年)} = \text{軽油使用量 (L/年)} \times \text{軽油原単位 (MJ/L)} / 1000$$

表 3-13 エネルギー原単位

種類	単位	エネルギー原単位	出典
軽油	MJ/L	37.7	※

※前述「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」

(5) 製造汚泥固形燃料利用による消費量の縮減（場外利用）

汚泥固形燃料を場外利用する場合、利用先におけるエネルギー消費縮減量を差し引く。

$$\text{エネルギー消費量の縮減量 (GJ/年)} \\ = - \text{燃料製造量(t/年)} \times \text{燃料のエネルギー(GJ/t-wet)}$$

§ 20 導入判断

導入効果の検討結果を踏まえて、本技術の適切な導入範囲及び事業形態等について判断する。

【解 説】

本技術導入時のコスト、温室効果ガス排出量及びエネルギー消費量等の検討後、従来技術との比較を行い、本技術の導入判断を行う。すべての項目において高い効果が得られることが望ましいが、自治体及び対象とする下水処理場の状況に応じて重視する項目を設定して、導入判断することもある。

検討を行った結果、十分な導入効果が見込まれなかった場合には、原因を把握し、表 3-14 に沿って導入シナリオを見直したうえで、再検討を行う。

なお、本技術の事業化に際し、民間の資金・ノウハウを活用する PFI 方式や、設計・建設・維持管理を一括して発注する DBO 方式等の事業形態の採用も検討する。本技術の機械設備・電気設備の耐用年数は 20 年であり、PFI・DBO 案件の一般的な事業期間と整合している。また、本技術の導入によって有価で固形燃料を販売することが可能であり、PFI 方式や DBO 方式を採用しやすい事業であると考えられる。

表 3-14 導入シナリオの見直し

条 件	導入効果が見込まれなかった原因	対 応 策
概ね安定した性状と発生量の脱水汚泥がある	・脱水汚泥の発生量が少ない ・脱水汚泥の性状が安定しない	汚泥の集約処理等による脱水汚泥量の確保、脱水汚泥の搬入及び投入方法の工夫による性状安定を図る。
焼却炉廃熱や余剰の消化ガスなど、利用できる廃熱がある	・利用できる廃熱量が少なく、コスト削減、温室効果ガス排出量削減及びエネルギー消費量削減効果が少ない。	・処理場や近隣施設より利用できる廃熱の有無を調査する (250℃以上の低温廃熱であれば有効利用が可能である。) ・既存焼却炉の排ガス処理工程の見直しによる回収可能な廃熱量増加の可能性を検討する。
(場内利用) 焼却処理に補助燃料を使用している	・既存施設の補助燃料使用量が少なく、コスト削減、温室効果ガス排出量削減等の効果が少ない。	・余剰の汚泥固形燃料について、場外利用の可能性を検討する。
(場外利用) 近隣に汚泥燃料を継続的に利用する施設がある	・運搬費用が高く、採算が合わない。 ・運搬時の臭気の問題がある	・近隣利用者を調査し、運搬費を低減する ・密閉式運搬車、幌付運搬車、消臭剤の常備等を検討する

第2節 導入効果の検討例

§ 21 試算条件

ケーススタディを行うにあたり、導入目的、処理規模、技術の種類に応じて16ケースに区分した。また、汚泥性状、消化ガス利用量等、試算に必要な条件を設定した。

【解 説】

(1) ケース設定

1) 比較シナリオ

導入目的として設備更新と設備増強の2通りを想定した。

- ・設備更新(ケースA・B)：既設焼却炉を2基有する処理場とし、施設の老朽化・耐用年数超過等による設備更新を想定して、同規模の汚泥処理設備を1基更新する。
- ・設備増強(ケースC・D)：既設焼却炉を1基有する処理場とし、汚泥の集約処理・下水道普及率向上等による汚泥処理量増加のため、処理設備能力が不足した場合を想定する。能力不足分を補うため、汚泥処理設備を1基新たに建設する。

それぞれのケースについて、更新または増強のため、新設する汚泥処理設備を以下の計4ケース設定する。

- 1_汚泥焼却炉
- 2_革新的技術燃料化設備（場内利用）
- 3_革新的技術燃料化設備（場外利用）
- 4_従来技術※の燃料化設備（場外利用）

※「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）平成23年3月」（国土交通省）のケーススタディで費用関数を設定している燃料化技術

2) 処理規模の設定

図3-2に平成23年度現在の全国の下水汚泥焼却炉の規模毎の現存基数を示す。これによると、30t/日、50～60t/日、90～100t/日に集中していることから、試算条件としては30t/日刻みで既設焼却炉の処理規模を設定することとし、更新目的の場合、既存焼却炉の規模を、ケースA：30t/日×2系列、ケースB：60t/日×2系列とした。設備増強目的の場合は、集約処理を実施している施設を想定して比較的規模の大きな定格処理量（90t/日及び120t/日）の既存単独炉施設とした。

また、本技術における汚泥固形燃料化設備である汚泥表面固化乾燥装置はバンド部幅の制限から脱水汚泥投入量は1基あたり最大で50～60t/日程度であるため、新設（または更新）する汚泥処理施設規模は30～60t/日の間で設定した。

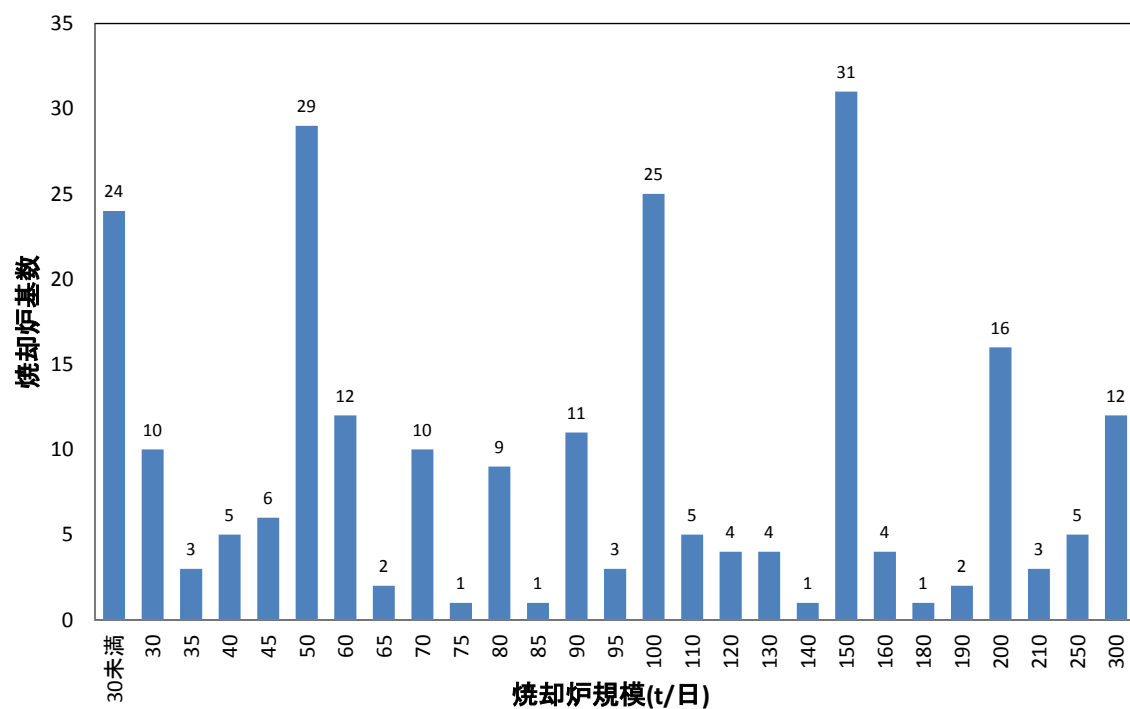


図 3-2 焼却炉の規模毎の現存基数 (平成 23 年度)

1)、2) で設定したケース設定及びモデルケース名を表 3-15 にまとめる。

(詳細な試算条件は表 3-22 に記載)

表 3-15 ケース設定及びモデルケース名

ケース 条件	新設設備及び 処理条件 更新前の既設 焼却炉の規模	従来技術 (汚泥焼却炉)	革新的技術 (固形燃料化)		従来技術 (固形燃料化)
		汚泥は 焼却処分	固形燃料を 場内利用	固形燃料を 外部利用	固形燃料を 外部利用
設備更新	30(t-wet/日)×2基	A_1	A_2	A_3	A_4
	60(t-wet/日)×2基	B_1	B_2	B_3	B_4
設備増強	90(t-wet/日)×1基	C_1	C_2	C_3	C_4
	120(t-wet/日)×1基	D_1	D_2	D_3	D_4

(2) 試算条件

1) 汚泥及び燃料性状

ケーススタディに使用する消化汚泥および固形燃料の性状を表 3-16 に示す。脱水汚泥含水率と強熱減量は平成 23 年度下水道統計より消化汚泥の平均的な値を設定した。

表 3-16 汚泥及び燃料性状

	項 目	内 容	備 考
脱水汚泥性状	汚 泥 種 類	消化汚泥	
	脱水薬品種別	高分子系	
	脱水汚泥含水率	80.0%	
	強 熱 減 量	70.0%	
	強熱減量組成	炭 素	54.4%-VTS
		水 素	7.6%-VTS
		酸 素	24.2%-VTS
		窒 素	8.7%-VTS
		硫 黄	1.9%-VTS
		塩 素	0.1%-VTS 以下
汚革泥新固形燃料性状	固形燃料含水率	10%	従来技術による固形燃料性状は「参考資料 2.1 従来技術の算出方法」に記載
	固形燃料発熱量 (低位) ※	14.8MJ/kg-wet 16.8MJ/kg-DS	

※ 組成からデューロンの経験式で固形物当たりの発熱量を求める。

$$\text{低位発熱量(MJ/kg-DS)} = 33.9c + 120(h - o/8) + 9.2s$$

$$\text{低位発熱量(MJ/kg-wet)} = \text{低位発熱量(MJ/kg-DS)} \times (1 - \text{含水率}(\%)) - 2.5 \times \text{含水率}(\%)$$

2) 負荷率の設定

設備更新の場合、定格処理量に対する実処理量を 75%（燃料内部利用の場合は、固形燃料投入後の既設焼却炉負荷率を 80%）とする。これは日変動と設備の余裕を考慮したもので、平成 23 年度下水道統計より平均的な値を設定した。

また、設備増強の場合、既設焼却炉を最大稼働させたうえで、余剰の汚泥を新設機で処理すると想定し、既設焼却炉は定格の 100%、新設汚泥処理設備は定格の 75%の処理量とする。

3) 利用可能な廃熱量の算定

① 既存焼却炉からの利用可能廃熱

既存焼却設備排ガスからの廃熱利用可能量は焼却炉排ガス工程での熱計算から求められる。この場合、汚泥性状や熱回収率等の排ガス処理機器の条件によって個々に試算することとなる。図 3-3 に既設焼却炉規模 30t-wet/日 で汚泥燃料の場合に革新的技術を導入した場合の試算例を示す。焼却炉の燃焼計算を行い排ガスの流量及び温度が算出され、排ガス処理設備の熱物質収支計算から利用可能な廃熱（白煙防止空気）の条件が決定される。

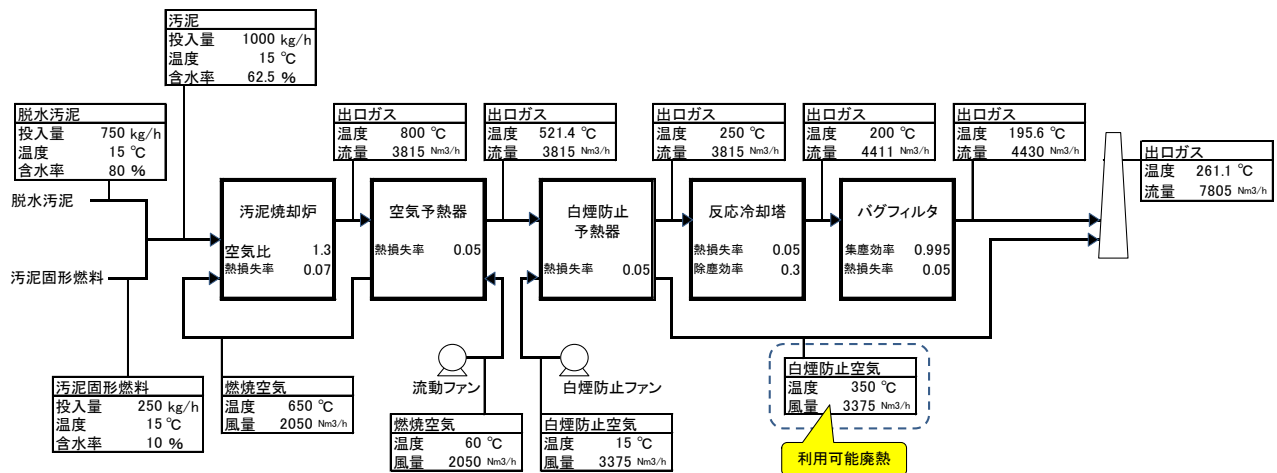


図 3-3 廃熱条件試算例（後述のケース No. A_2 に相当）

②余剰消化ガス

利用可能な余剰消化ガス量は、消化ガス発生量から消化槽加温の使用量（発生量の30%と仮定）を差し引いて算出する。算出結果を表3-17に示す。また、算出方法を図3-4(a)～(d)に示す。

表3-17 余剰消化ガス量

既設焼却炉定格 処理量 t-wet/日	脱水汚泥量 t-wet/日	余剰消化ガス量 Nm ³ /日	図3-3
30	22.5	110	(a)
60	45.0	220	(b)
90	67.5	330	(c)
120	90.0	440	(d)

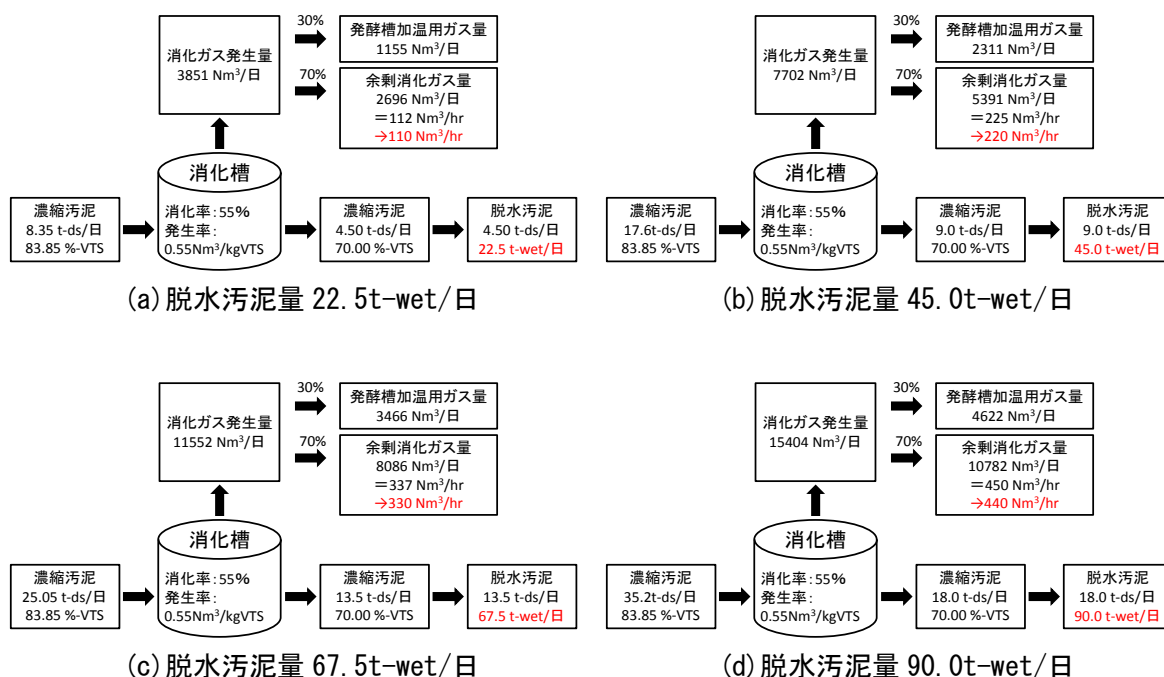


図3-4 各脱水汚泥量での余剰消化ガス量

4) 焼却炉での必要補助燃料の算定

「平成23年度下水道統計」より、消化工程を有し、消化ガスの一部または全量を污泥焼却炉の補助燃料として使用している下水処理場のデータを用いて、污泥焼却設備の補助燃料（消化ガスを除く化石燃料）使用量（A 重油換算値）を推定した。污泥焼却炉における必要補助燃料の推定結果を表3-18に示す。

表3-18 焼却炉の使用補助燃料のA重油換算量推定値※

焼却炉規模 (t-wet/日)	30	60	90	120	90	120
污泥処理量 (t-wet/日)	22.5	45	67.5	90	90	120
補助燃料（消化ガスを除く化石燃料）使用量（A 重油換算値） (L/日) ※	678	882	906	814	1,208	1,086

※污泥焼却設備での補助燃料（消化ガスを除く化石燃料）使用量（A 重油換算値）の算出方法については資料編2. ケーススタディ、表資料2-9、図資料2-1、表資料2-10 参照。

5) 革新的技術の人件費

本ケーススタディにおいて、革新的技術の固形燃料化設備を稼働させるための人件費（維持管理費に含む）の試算条件は表3-19に示される値を採用した。

表3-19 革新的技術の人件費（維持管理費）の採用値

項 目	単位	単価
職員数※	人/年・施設	9
人件費（運転員費）	千円/年・人	5,000

※職員数は、革新的技術の固形燃料化設備を単独で稼働可能な3人/8時間×3交代制=9人/年・施設とする。

6) 運搬・処分

ケーススタディにおいて、汚泥固形燃料の場外利用時における固形燃料運搬費および販売による収益は表 3-20 に示す単価を、場内利用時に灰を処分する単価は表 3-21 に示される値を採用した。

表 3-20 燃料運搬・販売単価(円/t)

項 目	単位	単価
運搬単価	円/t	2,000
販売単価	円/t	105

表 3-21 灰処分費の評価項目

項 目	単位	数値
灰発生率	%	43
灰処分単価	円/t	8,000

また、本技術のケーススタディ算定に当たっては、固形燃料の運搬距離を 94.5km/回 (63km/日×1.5 (往復)) とした。

上記 (1) ケース設定及び (2) 試算条件より、ケーススタディ試算条件をまとめたものを表 3-22 に示す。また、A_1～A_4 (設備更新) 及び C_1～C_4 (設備増強) ケースの処理フローを図 3-5～図 3-6 に示す。

(B_1～B_4 (設備更新) 及び D_1～D_4 (設備増強) の処理フローは、資料編 2. ケーススタディを参照。)

表 3-22 ケーススタディ試算条件

導入目的	既設焼却炉 規模 (t-wet/日・基)	条件	更新新設機 処理規模 (t-wet/日)	負荷率(施設全体) (%)		汚泥処理量 (t-wet/日)		消化ガス 使用量 (Nm3/h)	廃熱利用 予熱空気量 (Nm³/h)	補助燃料 投入量 (ℓ/日)	ケース No.
				既設	新設	既設	新設				
設備更新	30	汚泥焼却炉	30	75	75	22.5	22.5	220	—	1356	A_1
		表面固	36※2	80	75	18.0	27.0	220	3,350	0	A_2
		化乾燥	30	75	75	22.5	22.5	220	2,600	830	A_3
		従来型汚泥燃料化※1	30	75	75	22.5	22.5	220	—	2,411	A_4
	60	汚泥焼却炉	60	75	75	45.0	45.0	440	—	1,764	B_1
		表面固	72※2	80	75	36.0	54.0	440	6,400	0	B_2
設備増強	90	汚泥焼却炉	60	75	75	45.0	45.0	440	4,700	1,252	B_3
		化乾燥	60	75	75	45.0	45.0	440	—	4,347	B_4
		従来型汚泥燃料化※1	60	75	75	45.0	45.0	440	—	—	—
		汚泥焼却炉	30	100	75	90.0	22.5	330	—	1,886	C_1
	表面固	38.7※2	100	75	83.5	29.0	330	8,400	0	C_2	
	化乾燥	30	100	75	90.0	22.5	330	8,800	2,061	C_3	
120	従来型汚泥燃料化※1	30	100	75	90.0	22.5	330	—	2,941	C_4	
	汚泥焼却炉	30	100	75	120.0	22.5	440	—	1,764	D_1	
	表面固	38.7※2	100	75	113.5	29.0	440	11,100	0	D_2	
	化乾燥	30	100	75	120.0	22.5	440	11,500	1,583	D_3	
従来型汚泥燃料化※1	30	100	75	120.0	22.5	440	—	2,818	D_4		

※1 従来技術の汚泥固形燃料化技術（場外利用）は「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）」平成23年3月、国土交通省編、のケース

スタディで費用関数を設定している燃料化技術。

※2 製造した汚泥固形燃料を処理場内の焼却炉に投入する場合、焼却炉から得られる廃熱量が増加し、製造できる汚泥固形燃料の量も増加することとなる。このため、ケーススタディの場内利用ケース（A_2、B_2、C_2、D_2）においては、他のケースよりも更新新設機処理規模を増加させて設定している。

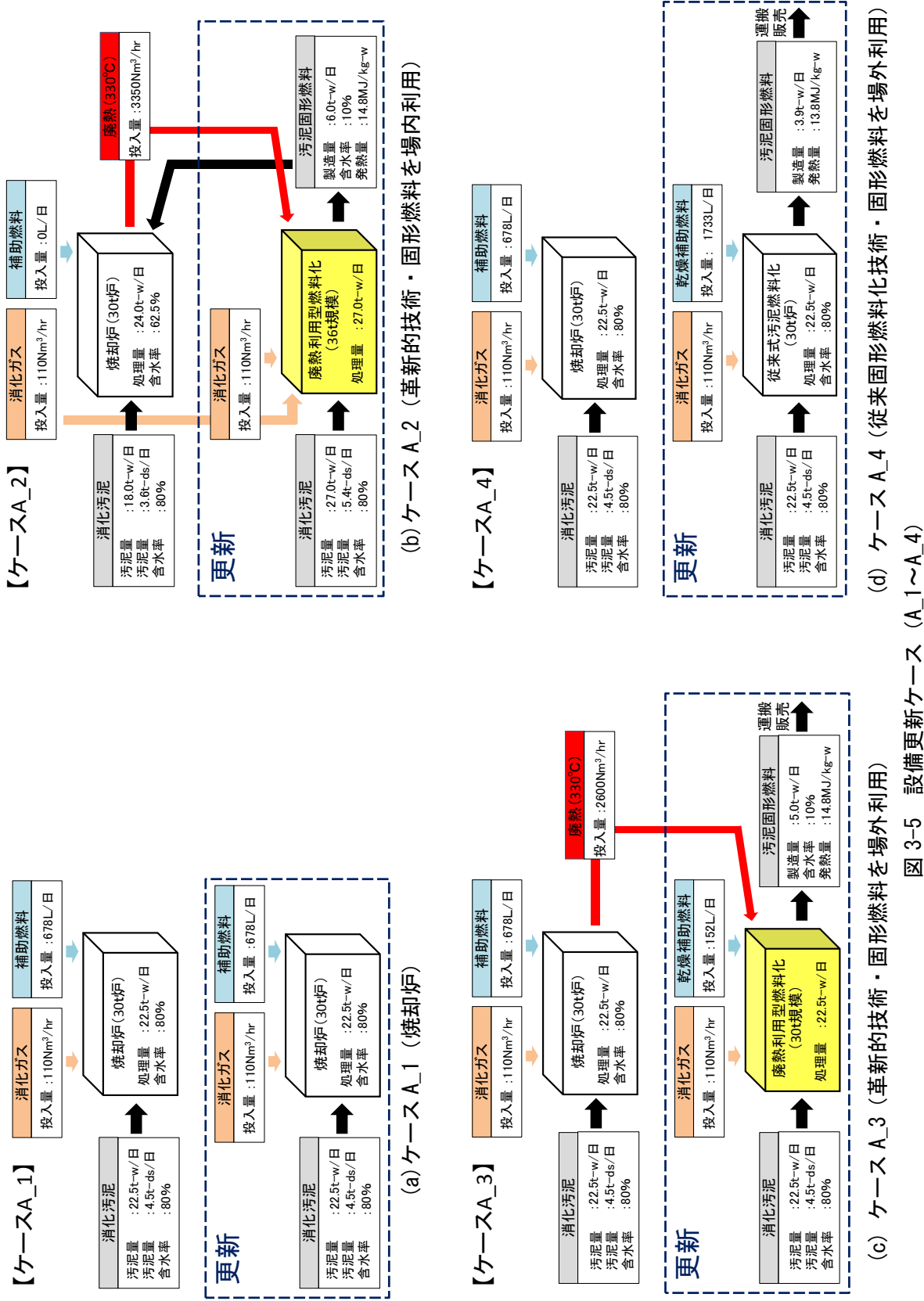
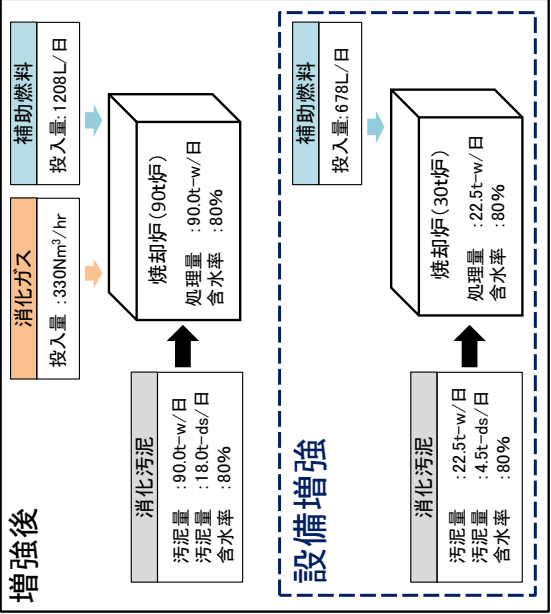
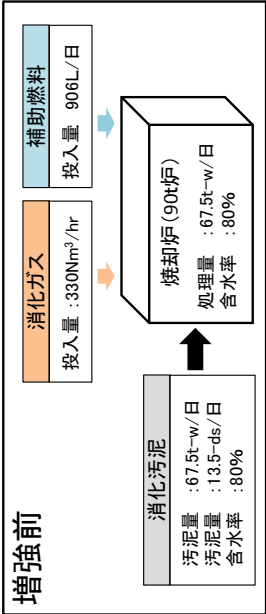


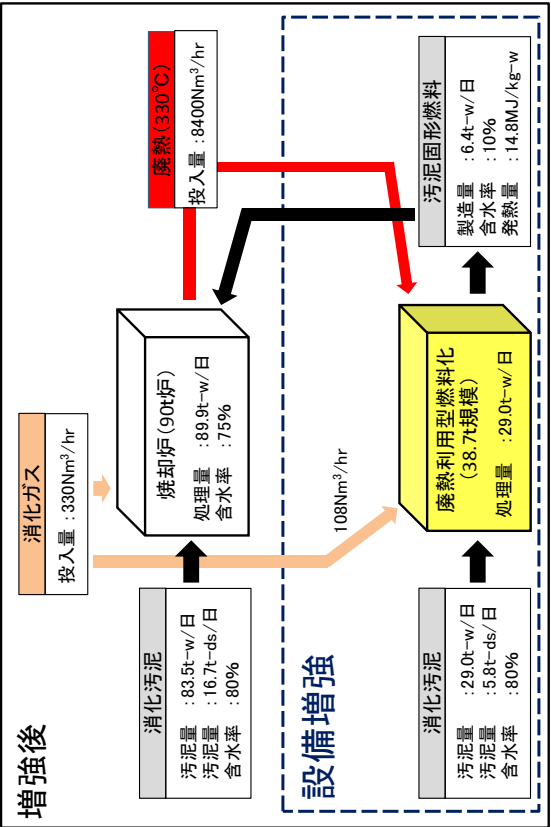
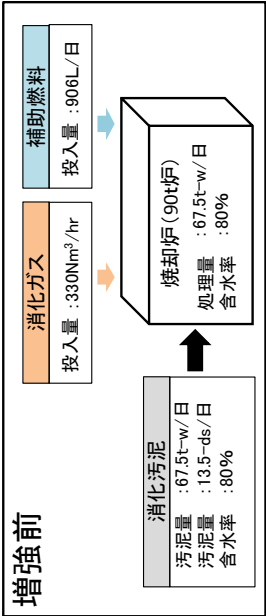
図 3-5 設備更新ケース (A_1~A_4)

【ケースC_1】



(a) ケース C_1 (焼却炉)

【ケースC_2】

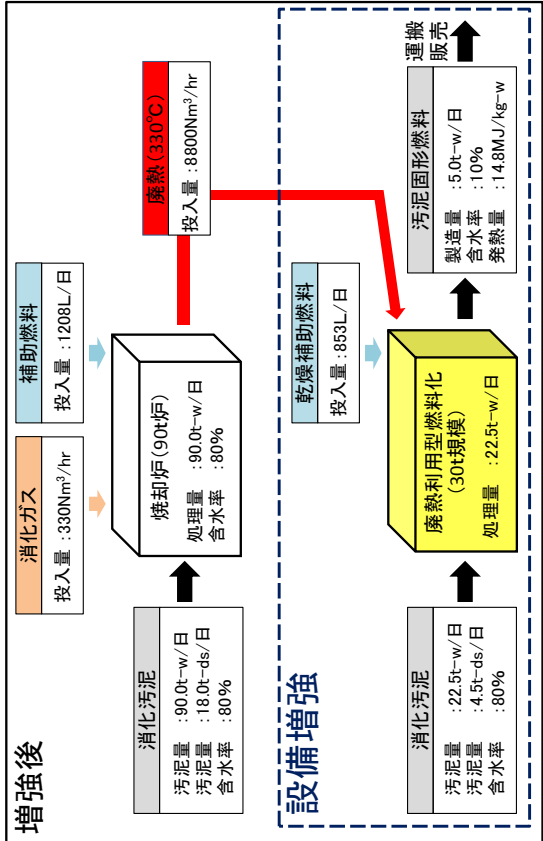
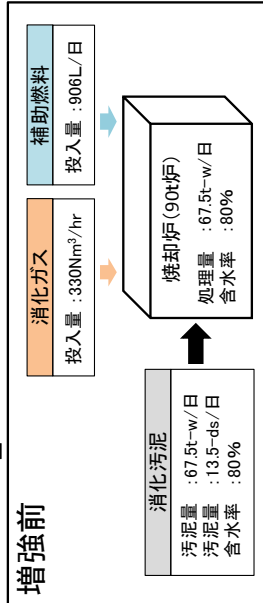


(b) ケース C_2 (革新的技術・固形燃料を場内利用)

図 3-6 (その 1)

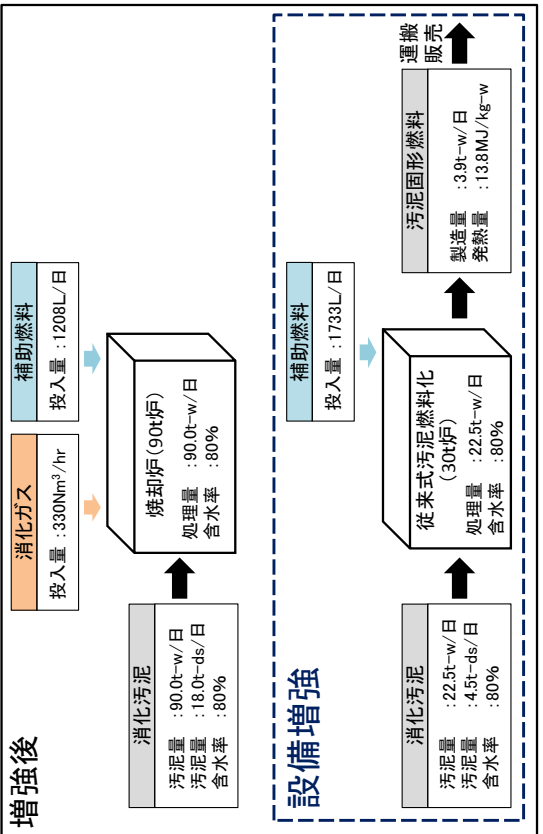
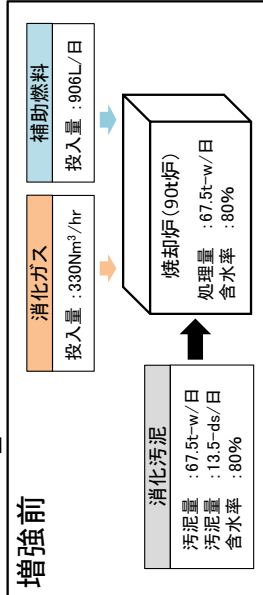
設備増強ケース (C_1~C_4)

【ケースC_3】



(c) ケース C_3 (革新的技術・固形燃料を場外利用)

【ケースC_4】



(d) ケース C_4 (従来固形燃料化技術・固形燃料を場外利用)

図 3-6 (その2) 設備増強ケース (C_1~C_4)

§ 22 導入効果の検討結果

試算条件を基に本技術の導入による効果について従来技術との比較により評価する。導入効果検討項目は以下の通りである（評価方法は § 17～ § 19 に示す。）。

- （１）コスト
- （２）温室効果ガス排出量（GHG）
- （３）エネルギー消費量

【解 説】

- （１）コスト

従来技術に対する革新的技術の LCC 縮減率試算結果を表 3-23 及び図 3-7 に示す（縮減率は焼却炉（従来技術）を基準として算定）。建設費の内訳は資料編 2.2、表資料 2-16 及び表資料 2-19 に記載する。すべてのケースにおいて、28%～39%の縮減率となる。また、従来型燃料化に対しても革新的技術は 13%～30%のコスト縮減が可能である。

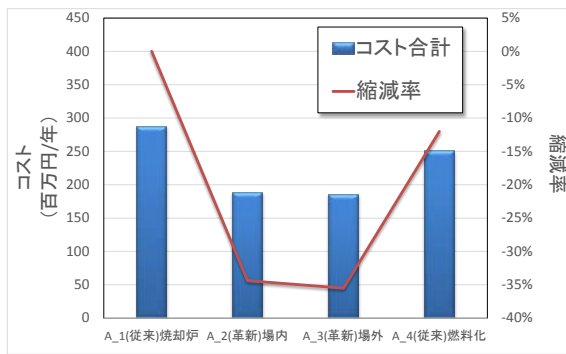
革新的技術の場内利用においては、污泥固形燃料の既設焼却炉への投入により、脱水污泥と固形燃料を併せた焼却炉投入污泥の含水率が減少して、自燃又はそれに近い状況になる。したがって、既設焼却炉で利用していた消化ガスが乾燥処理の熱源として利用可能となり、LCC 縮減効果は増大する。

表 3-23 システム全体での LCC 縮減効果 (単位：百万円/年)

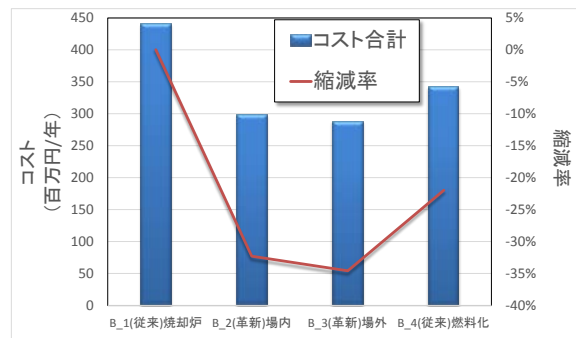
ケース	導入目的	既設焼却炉規模 (t-w/日)	技術種類	更新・新設機 処理規模 (t-w/日)	百万円/年							縮減率	
					建設費※1	維持管理費※1	既設 焼却炉 維持 管理費 増分※2	補助 燃料 削減費	汚泥固 形燃料 運搬費 販売益	灰処分 費	解体・ 廃棄費 ※1		合計
A_1	設備更新	30	(従来)焼却炉	30	146.4	121.1	-	-	-	5.0	14.6	287.1	0%
A_2			(革新)場内	36	98.0	90.0	5.4	-19.7	-	5.0	9.8	188.5	34%
A_3			(革新)場外	30	85.7	88.0	-	-	3.03	-	8.6	185.3	35%
A_4			(従来)燃料化	30	99.8	138.4	-	-	2.38	-	10	250.6	12%
B_1	設備更新	60	(従来)焼却炉	60	215.7	193.1	-	-	-	9.9	21.6	440.3	0%
B_2			(革新)場内	72	163.2	125.7	8.6	-25.7	-	9.9	16.3	298	32%
B_3			(革新)場外	60	142.6	124.9	-	-	6.06	-	14.3	287.9	35%
B_4			(従来)燃料化	60	142.2	180.4	-	-	4.75	-	14.2	341.6	22%
C_1	設備増強	90	(従来)焼却炉	30	146.4	121.1	-	-	-	5.0	14.6	287.1	0%
C_2			(革新)場内	38.7	103.3	92.8	-	-35.2	-	5.0	10.3	176.2	39%
C_3			(革新)場外	30	85.7	108.5	-	-	3.03	-	8.6	205.8	28%
C_4			(従来)燃料化	30	99.8	138.4	-	-	2.38	-	10	250.6	12%
D_1	設備増強	120	(従来)焼却炉	30	146.4	121.1	-	-	-	5.0	14.6	287.1	0%
D_2			(革新)場内	38.7	103.3	92.8	-	-31.6	-	5.0	10.3	179.8	37%
D_3			(革新)場外	30	85.7	98.1	-	-	3.03	-	8.6	195.4	32%
D_4			(従来)燃料化	30	99.8	138.4	-	-	2.38	-	10	250.6	12%

※1 建設費、維持管理費、解体・廃棄費は更新した設備 1 基分について試算。

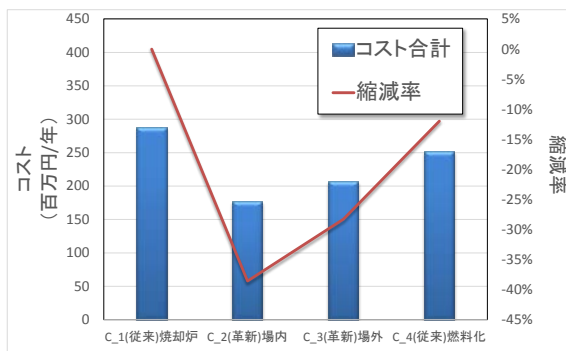
※2 固形燃料投入による既設焼却炉の処理量増加に伴って増加する維持管理費の増加分



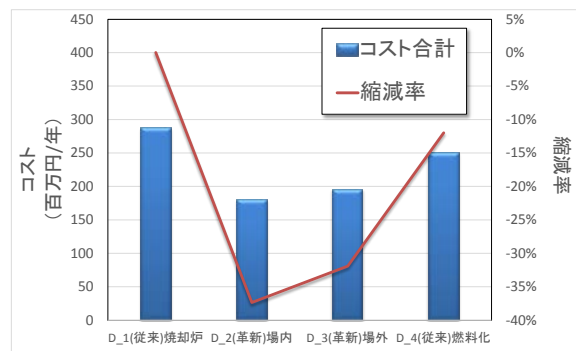
(a) 設備更新ケース (A_1～A_4)



(b) 設備更新ケース (B_1～B_4)



(c) 設備増強ケース (C_1～C_4)



(d) 設備増強ケース (D_1～D_4)

図 3-7 コスト試算結果及び各ケース縮減率
(縮減率は(従来)焼却炉を基準(0%)とする。)

(2) 温室効果ガス排出量 (GHG)

従来技術に対する革新的技術の温室効果ガス排出量縮減率試算結果を表 3-24 及び図 3-8 に示す（縮減率は LCC と同様、焼却炉（従来技術）を基準として算定）。汚泥燃料の場合内利用の場合では 86%～108%の縮減率となり、場外利用の場合では 115%以上の縮減率となる。従来型汚泥燃料化設備と比較した場合でも、革新的技術の温室効果ガス排出量の縮減が可能である。

固形燃料化技術の場内利用では、既設焼却炉補助燃料の削減可能量には上限があるため、場外利用に比べ削減効果が低下する結果となった（A_2、B_2 が該当。）。

固形燃料化技術の場外利用では、製造した汚泥固形燃料のほぼ全量を燃料利用先での温室効果ガス排出量の縮減に利用できるため、全体として温室効果ガス排出量の縮減効果は増大する場合が多い。

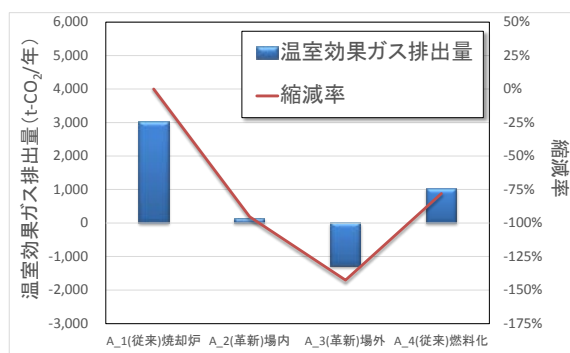
表 3-24 システム全体での温室効果ガス排出量縮減効果(単位：t-CO₂/年)

ケース	導入目的	既設 焼却炉 規模 (t-w/日)	技術種類	更新・ 新設機 処理 規模 (t-w/日)	t-CO ₂ /年							縮 減 率
					処理 設備の 排出量※1	既設 焼却炉 増分※2	補助 燃料削減 での 縮減量	固形燃料 運搬 由来 排出量	製造燃料 利用によ る縮減量	建設・解 体・廃棄に 伴う 排出量※1	合計	
A_1	設備更新	30	(従来)焼却炉	30	2,425.1	-	-	-	-	598.7	3,023.8	0%
A_2			(革新)場内	36	562.5	26.4	-588.0	-	-	138.9	139.8	95%
A_3			(革新)場外	30	593.2	-	-	9.52	-2,038.2	146.4	-1,289.1	143%
A_4			(従来)燃料化	30	2,010.3	-	-	7.45	-1,488.1	496.3	1,026.0	78%
B_1		60	(従来)焼却炉	60	4,438.8	-	-	-	-	1,095.9	5,534.7	0%
B_2			(革新)場内	72	1,191.6	52.8	-764.9	-	-	294.2	773.7	86%
B_3			(革新)場外	60	1,299.1	-	-	19.03	-4,076.3	320.7	-2,437.5	144%
B_4			(従来)燃料化	60	4,020.7	-	-	14.90	-2,676.1	992.6	2,352.1	69%
C_1	設備増強	90	(従来)焼却炉	30	2,884.7	-	-	-	-	712.2	3,596.9	0%
C_2			(革新)場内	38.7	607.9	-	-1,047.6	-	-	150.1	-289.6	108%
C_3			(革新)場外	30	1,201.4	-	-	9.52	-2,038.2	296.6	-530.7	115%
C_4			(従来)燃料化	30	2,010.3	-	-	7.45	-1,488.1	496.3	1,026.0	82%
D_1		120	(従来)焼却炉	30	2,778.9	-	-	-	-	686.1	3,465.0	0%
D_2			(革新)場内	38.7	607.9	-	-941.8	-	-	150.1	-183.8	105%
D_3			(革新)場外	30	892.5	-	-	9.52	-2,038.2	220.4	-915.7	126%
D_4			(従来)燃料化	30	2,010.3	-	-	7.45	-1,488.1	496.3	1,026.0	81%

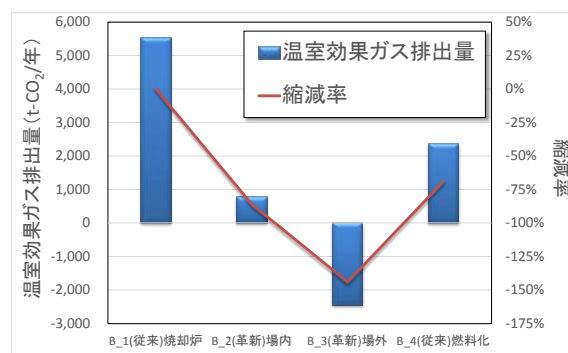
※1 処理設備の排出量、建設・解体・廃棄に伴う排出量は更新した設備 1 基分について試算。

※2 固形燃料投入による既設焼却炉の処理量増加に伴って増加する電力由来の温室効果ガス増加分

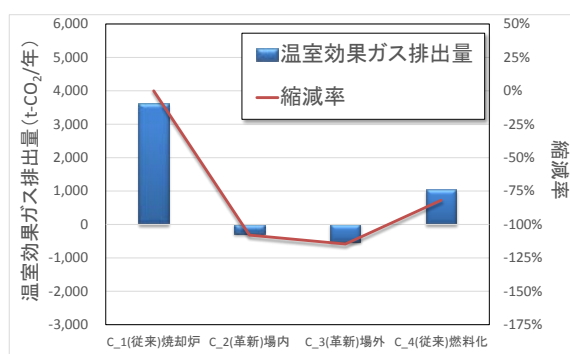
第2節 導入効果の検討例



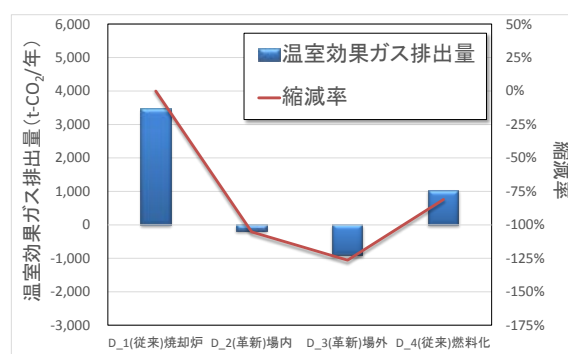
(a) 設備更新ケース (A_1～A_4)



(b) 設備更新ケース (B_1～B_4)



(c) 設備増強ケース (C_1～C_4)



(d) 設備増強ケース (D_1～D_4)

図 3-8 温室効果ガス排出量試算結果及び各ケース縮減率
(縮減率は(従来)焼却炉を基準(0%)とする。)

(3) エネルギー消費量

従来技術に対する革新的技術のエネルギー消費量縮減率試算結果を表3-25及び図3-9に示す（縮減率はLCCと同様、焼却炉（従来技術）を基準とした算定結果）。革新的技術はいずれのケースにおいても68%以上の縮減率となる。従来型汚泥燃料化設備とした場合でも革新的技術のエネルギー消費量の縮減が可能である。

固形燃料化技術の場内利用では、既設焼却炉補助燃料の削減可能量には上限があるため、場外利用に比べ削減効果が低下する結果となった（A_2、B_2が該当。）。

革新的技術の場外利用では、固形燃料の有する総エネルギー量が大きく、燃料利用先での消費量の縮減に大きく寄与し、全体としてエネルギー消費量の縮減効果は増大する。

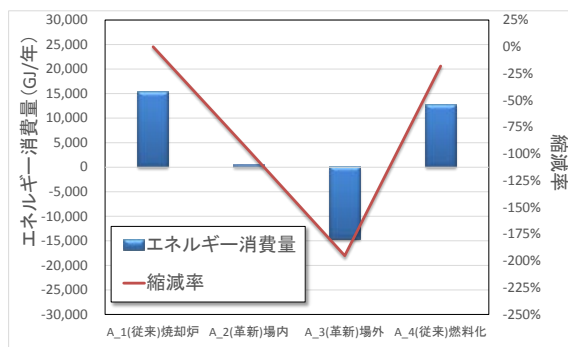
表3-25 システム全体でのエネルギー消費量縮減効果(単位：GJ/年(除縮減率))

ケース	導入目的	既設焼却炉規模(t-w/日)	技術種類	更新・新設機処理規模(t-w/日)	GJ/年						縮減率
					処理設備の消費量※1	既設焼却炉増分※2	補助燃料削減での縮減量	固形燃料運搬での消費量	燃料利用での縮減量	合計	
A_1	設備更新	30	(従来)焼却炉	30	15,453	-	-	-	-	15,453	0%
A_2			(革新)場内	36	8,504	465	-8,483	-	-	486	97%
A_3			(革新)場外	30	8,859	-	-	138	-23,680	-14,683	195%
A_4			(従来)燃料化	30	29,831	-	-	108	-17,289	12,650	18%
B_1		60	(従来)焼却炉	60	24,975	-	-	-	-	24,975	0%
B_2			(革新)場内	72	18,181	929	-11,036	-	-	8,075	68%
B_3			(革新)場外	60	19,521	-	-	276	-47,360	-27,563	210%
B_4			(従来)燃料化	60	59,663	-	-	216	-34,577	25,302	-1%
C_1	設備増強	90	(従来)焼却炉	30	22,084	-	-	-	-	22,084	0%
C_2			(革新)場内	38.7	9,200	-	-15,114	-	-	-5,915	127%
C_3			(革新)場外	30	17,635	-	-	138	-23,680	-5,907	127%
C_4			(従来)燃料化	30	29,831	-	-	108	-17,289	12,650	43%
D_1		120	(従来)焼却炉	30	20,558	-	-	-	-	20,558	0%
D_2			(革新)場内	38.7	9,200	-	-13,588	-	-	-4,388	121%
D_3			(革新)場外	30	13,178	-	-	138	-23,680	-10,364	150%
D_4			(従来)燃料化	30	29,831	-	-	108	-17,289	12,650	39%

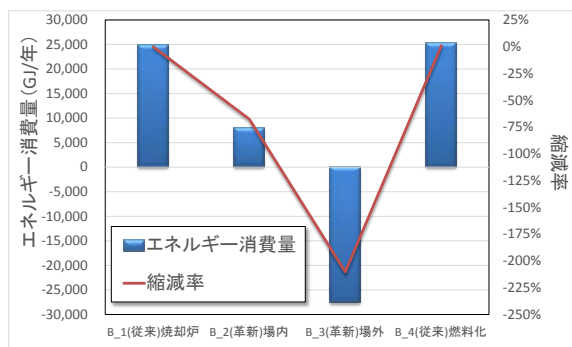
※1 処理設備の消費量は更新した設備1基分について試算。

※2 固形燃料投入による既設焼却炉の処理量増加に伴って増加する電力由来のエネルギー増加分

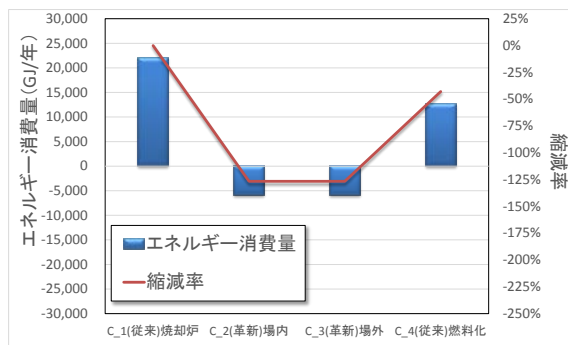
第2節 導入効果の検討例



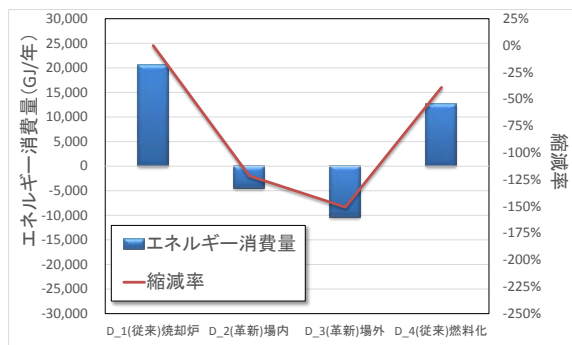
(a) 設備更新ケース (A_1～A_4)



(b) 設備更新ケース (B_1～B_4)



(c) 設備増強ケース (C_1～C_4)



(d) 設備増強ケース (D_1～D_4)

図 3-9 エネルギー消費量試算結果及び各ケース縮減率
(縮減率は(従来)焼却炉を基準(0%)とする。)

(4) 更なる廃熱の利用による効果

処理場内や近隣施設からのさらなる余剰の廃熱を有効利用することで、本技術の導入効果がいっそう高まる。他の技術では十分活用できない 250℃以上の低温廃熱の利用が可能であり、この場合本技術の最大の導入効果を生み出すと想定される。

また、本試算では、250℃以上の低温廃熱として 350℃の廃熱を想定したが、利用する廃熱の温度がより高い場合には熱回収がより容易となり、より大きな効果が得られる。

§ 23 技術の評価結果（コスト、温室効果ガス、エネルギー消費量）

ケーススタディに基づき、以下の評価項目について、本技術の評価結果を示す。

- （１）コスト
- （２）温室効果ガス排出量
- （３）エネルギー消費量

【解 説】

本技術の性能を評価する項目のうち、消化汚泥から汚泥固形燃料製造までに係るコスト、温室効果ガス排出量及びエネルギー消費量について、製造した汚泥固形燃料の発熱量あたりの値として示す。

なお、本技術自体の性能を評価するため、汚泥固形燃料の活用によるコスト、温室効果ガス排出量及びエネルギー消費量の増減分は除外して試算することとし、ケーススタディにおける検討モデルは A_3、B_3、C_3、D_3（革新的技術の場外利用のケース）とした。

(1) コスト

コストについて、本技術の性能評価結果を以下の式から求める。

$$\begin{aligned} \text{コストの評価結果} &= \text{コスト合計(百万円/年)} \div \text{固形燃料の総保有エネルギー(GJ/年)} \\ &= (\text{建設費} + \text{維持管理費} + \text{解体・廃棄費}) \\ &\quad \div (\text{年間の固形燃料製造量(t/年)} \times \text{固形燃料の低位発熱量(GJ/t)}) \end{aligned}$$

本技術の性能評価結果として、汚泥固形燃料の単位発熱量あたりのコストの試算結果を表 3-26 に示す。

表 3-26 汚泥固形燃料の単位発熱量あたりのコスト
(消化汚泥投入から汚泥固形燃料製造まで)

	設備更新		設備増強	
ケース	A_3	B_3	C_3	D_3
施設規模 (t-w/日)	30	60	90	120
①コスト合計※1 (百万円/年)	182.3	281.8	202.8	192.4
②固形燃料の 総発熱量※2 (GJ/年)	23,680	47,360	23,680	23,680
①/② (千円/GJ)	7.70	5.95	8.56	8.13

※1 コスト合計(百万円/年)=建設費+維持管理費+解体・廃棄費
(表 3-23 参照)

※2 固形燃料の総発熱量(GJ/年)
=年間の固形燃料製造量(t/年)×固形燃料の低位発熱量(MJ/kg=GJ/t)

(2) 温室効果ガス排出量

温室効果ガス排出量について、本技術の性能評価結果を以下の式から求める。

温室効果ガス排出量の評価結果

＝温室効果ガス排出量(t-CO₂/年)÷固形燃料の総発熱量(GJ/年)

＝(燃料化設備の排出量(t-CO₂/年)＋建設・解体・廃棄に伴う排出量(t-CO₂/年))

÷(固形燃料製造量(t/年)×固形燃料の低位発熱量(GJ/t))

本技術の性能評価結果として、汚泥固形燃料の単位発熱量あたりの温室効果ガス排出量の試算結果を表 3-27 に示す。

表 3-27 汚泥固形燃料の単位発熱量あたりの温室効果ガス排出量
(消化汚泥投入から汚泥固形燃料製造まで)

ケース	設備更新		設備増強	
	A_3	B_3	C_3	D_3
施設規模 (t-w/日)	30	60	90	120
①温室効果ガス 排出量※1 (t-CO ₂ /年)	739.6	1,619	1,498	1,113
②固形燃料の 総発熱量※2 (GJ/年)	23,680	47,360	23,680	23,680
①/② (t-CO ₂ /GJ)	31.23	34.20	63.26	47.00

※1 温室効果ガス排出量(t-CO₂/年)＝燃料化設備の排出量＋建設・解体・廃棄に伴う排出量（表 3-24 参照）

※2 固形燃料の総発熱量(GJ/年)

＝年間の固形燃料製造量(t/年)×固形燃料の低位発熱量(MJ/kg＝GJ/t)

(3) エネルギー消費量

エネルギー消費量について、本技術の性能評価結果を以下の式から求める。

エネルギー消費量の評価結果

＝エネルギー消費量(GJ/年)÷ 固形燃料の総発熱量(GJ/年)

＝燃料化設備の消費量(GJ/年)÷(固形燃料製造量(t/年)× 固形燃料の低位発熱量(GJ/t))

本技術の性能評価結果として、汚泥固形燃料の単位発熱量あたりのエネルギー消費量の試算結果を表 3-28 に示す。

表 3-28 汚泥固形燃料の単位発熱量あたりのエネルギー消費量
(消化汚泥投入から汚泥固形燃料製造まで)

	設備更新		設備増強	
ケース	A_3	B_3	C_3	D_3
施設規模 (t-w/日)	30	60	90	120
①エネルギー 消費量※1 (GJ/年)	8,859	19,520	17,640	13,180
②固形燃料の 総発熱量※2 (GJ/年)	23,680	47,360	23,680	23,680
①/② (GJ/GJ)	0.374	0.412	0.745	0.557

※1 エネルギー消費量(GJ/年)＝燃料化設備の消費量 (表 3-25 参照)

※2 固形燃料の総発熱量(GJ/年)

＝年間の固形燃料製造量(t/年)×固形燃料の低位発熱量(MJ/kg=GJ/t)

第4章 計画・設計

第1節 導入計画

§ 24 計画の手順

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) 汚泥固形燃料製造量の設定
- (3) 施設計画の検討
- (4) 導入計画の検討

【解 説】

第3章 導入検討において、導入効果が見込まれると判定された導入目的に沿って、図 4-1 の手順で基本計画を実施する。

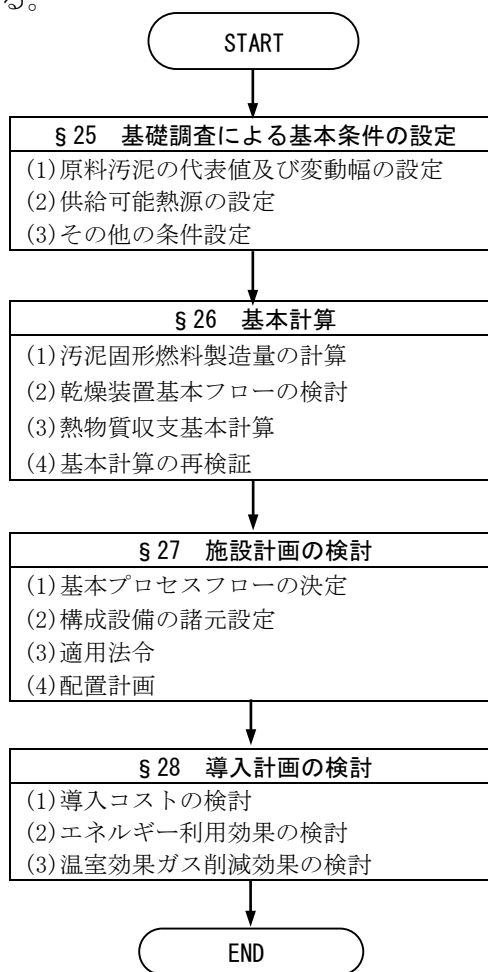


図 4-1 基本計画手順

§ 25 基礎調査による基本条件の設定

導入計画の検討に先立ち、基礎調査情報に基づき、以下の基本条件の設定を行う。

- (1) 原料汚泥の代表値及び変動幅の設定
- (2) 供給可能熱源の設定
- (3) その他の条件設定

【解 説】

(1) 原料汚泥の代表値及び変動幅の設定

導入検討での基礎調査情報（§ 15）を基に年間変動を考慮して、施設計画の基本となる脱水汚泥処理量及び性状の代表値を設定する。導入施設での脱水汚泥処理量は、脱水汚泥発生施設の計画年間発生量を基に、導入施設の稼働率及び変動率を加味して以下のように1日あたりの脱水汚泥処理量日最大値を設定する。

日平均の脱水汚泥処理量は処理対象となる脱水汚泥の年間発生量（年間汚泥発生量）から算出する日平均発生量とする。これに施設稼働率及び汚泥発生量変動率（日平均発生量に対する日あたりの変動増加割合）を考慮して施設における脱水汚泥処理量の日最大値を算出する（表 4-1 参照）。

表 4-1 日最大値の考え方

項目	単位	算式
年間汚泥発生量	t-ケ-キ/年	A
日平均処理量(=日平均発生量)	t-ケ-キ/日	$A \div 365$
施設稼働率	—	α
汚泥発生量変動率	—	β
脱水汚泥処理量日最大値	t-ケ-キ/日	$A \div (365 \times \alpha) \times (1 + \beta)$

汚泥発生量の変動が大きく、設定した汚泥量変動率を越える可能性がある場合は、脱水汚泥ホッパ容量に余裕を持たせ、変動を吸収するものとする。

脱水汚泥性状として、表 4-2 のような含水率、強熱減量、強熱減量組成及び発熱量の計画値を設定する。

表 4-2 汚泥性状

項 目	内 容		備 考
汚泥種類	消化汚泥		脱水性の推定
脱水薬品種別	有機系凝集剤		
含水率(%)	変動幅 a1～a2		代表値 $a_m=(a1+a2)/2$ ※1
強熱減量(%)	変動幅 b1～b2		代表値 $b_m=(b1+b2)/2$ ※1
強熱減量組成 (%-VTS)	炭素	C _C	至近の分析データ
	水素	C _H	
	窒素	C _N	
	酸素	C _O	
	硫黄	C _S	
高位発熱量(MJ/kg-DS)	θ _H		至近の分析データ又は組成より算出 ※2
低位発熱量(MJ/kg-DS)	θ _L		至近の分析データ又は組成より算出 ※3

※1: 図 4-2 参照

※2: 組成より算出する場合は以下の式にて算出

$$\text{高 位 発 熱 量 } \theta_H(\text{MJ/kg-DS}) = (33.9 \times (C_C/100) + 142.3 \times ((C_H/100) - (C_O/100)/8) + 9.2 \times (C_S/100)) \times (b_m/100)$$

※3: 組成より以下の式にて算出

$$\text{低位発熱量 } \theta_L(\text{MJ/kg-DS}) = (33.9 \times (C_C/100) + 120 \times ((C_H/100) - 9/8 \times (C_O/100)) + 9.2 \times (C_S/100)) \times (b_m/100)$$

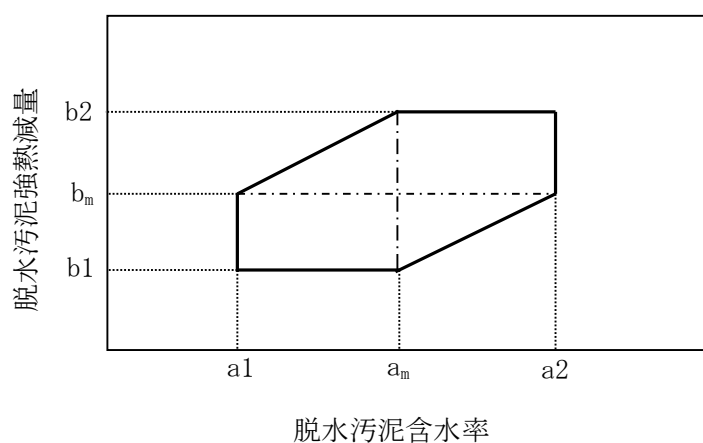


図 4-2 計画汚泥性状

(2) 供給可能熱源の設定

燃料化施設で使用可能な熱源及び燃料について整理する。既存設備から供給可能な熱源について種別、熱量、性状等、及び外部購入燃料に関して、表 4-3 のようにまとめる。

表 4-3 供給可能熱源諸元整理

種 別		性 状		備 考
既存設備から供給	廃熱	ガス種類	—	必要に応じてガス組成(腐食対策)
		温度	℃	変動幅
		流量	Nm ³ /h	最小流量
		供給熱量	MJ/h	ガス組成からエンタルピー算出
	消化ガス	発熱量	MJ/Nm ³	季節変動
		供給量	Nm ³ /h	最小流量
		供給圧	kPa	変動幅
	その他(温風等)	温度/流量	—	利用可能な廃熱がある場合
外部購入燃料	ガス燃料	ガス種類	—	
		発熱量	MJ/Nm ³	
		供給形態	—	配管、ポンプ等
		供給量	Nm ³ /h	安定供給上限
		供給圧	kPa	
	液体燃料	種類	—	
		発熱量	MJ/kg	

(3) その他の条件設定

その他の条件設定として、以下の事項について諸条件を設定する。

1) 脱水汚泥受入れ（供給）条件

①脱水汚泥受入れ（供給）方法

既存汚泥ホッパからの切出しや既存搬送ラインからの分岐等、汚泥受入れ(供給)方法を明確にする。これにより、燃料化施設でのバッファー用汚泥ホッパの有無、容量等、設備の設計が変わる。

②燃料化施設設置場所と脱水汚泥発生場所

燃料化施設設置場所と脱水汚泥発生場所を明確にする。移送方法は燃料化施設と脱水汚泥発生場所の立地や移送距離等によって選定される。同一敷地内或いは隣接している場合は、コンベヤやポンプ及び配管による圧送が基本となり、離れた施設からの脱水汚泥供給の場合は、トラック移送を考慮する必要がある。トラック移送の場合、汚泥受入設備及び洗車場等の屋内化や建屋内脱臭、排水処理の他、構外運搬ルートにおける臭気対策や交通対策等の環境面への配慮が必要である。

2) 廃熱供給条件

廃熱供給場所を明確にする。廃熱供給場所が遠く、さらに供給圧力が低い場合には、ブースターファン（ブロワ）等の設置が必要となる。

3) 排水条件

排水の返流箇所、排水量上限値、排水水質基準等を設定する。燃料化施設では、乾燥空気を一部抽気し、排気処理塔で除湿するため、排水が発生する。排水中には飛散した乾燥汚泥を含むため、既存水処理系に返流することを基本とする。ただし、排水負荷が既存水処理系で吸収可能かを確認しておく必要がある。既存水処理系の処理能力を超える可能性が想定される場合には、別途排水処理設備を設ける必要がある。

4) 乾燥排ガス条件

乾燥排ガスを既存施設で処理が可能であるか検討する。既設焼却炉の流動空気として利用可能であればコストは低減される。排気処理塔で除湿された抽気ガス(乾燥排ガス)は臭気成分を含んでいるため、排気にあたっては、臭気対策が必要である。

§ 26 基本計算

本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) 汚泥固形燃料製造量の計算
- (2) 乾燥装置基本フローの検討
- (3) 熱物質収支基本計算
- (4) 基本計算の再検証

【解 説】

基本計算フローを図 4-3 に示す。

(1) 汚泥固形燃料製造量の計算

基礎調査で設定した脱水汚泥処理量及び含水率から汚泥固形燃料製造量を算出して、施設規模を決定する。

脱水汚泥処理量日最大値： $W_s(t/日)$

脱水汚泥含水率(代表値)： $a_m(\%)$

同上 (変動幅上限値)： $a_2(\%)$

同上 (変動幅下限値)： $a_1(\%)$

汚泥固形燃料含水率(目標値)： $d(\%)$ (通常 10%で計算する)

1日あたりの汚泥固形燃料製造量(代表値)： $W_{Fm}(t/日)$

$$W_{Fm} = W_s \times (1 - a_m/100) \div (1 - d/100)$$

1日あたりの汚泥固形燃料最大製造量： $W_{Fh}(t/日)$

$$W_{Fh} = W_s \times (1 - a_1/100) \div (1 - d/100)$$

1日当りの汚泥固形燃料最小製造量： $W_{Fl}(t/日)$

$$W_{Fl} = W_s \times (1 - a_2/100) \div (1 - d/100)$$

よって、1日あたりの脱水汚泥の受入れ及び処理設備の能力は $W_s(t/日)$ とし、汚泥固形燃料製品を取扱う設備の能力は $W_{Fh}(t/日)$ とする。

また、燃料利用量に制約があり、汚泥固形燃料製造量が指定されるときは、上記の逆算を行い、脱水汚泥処理量を算出する。

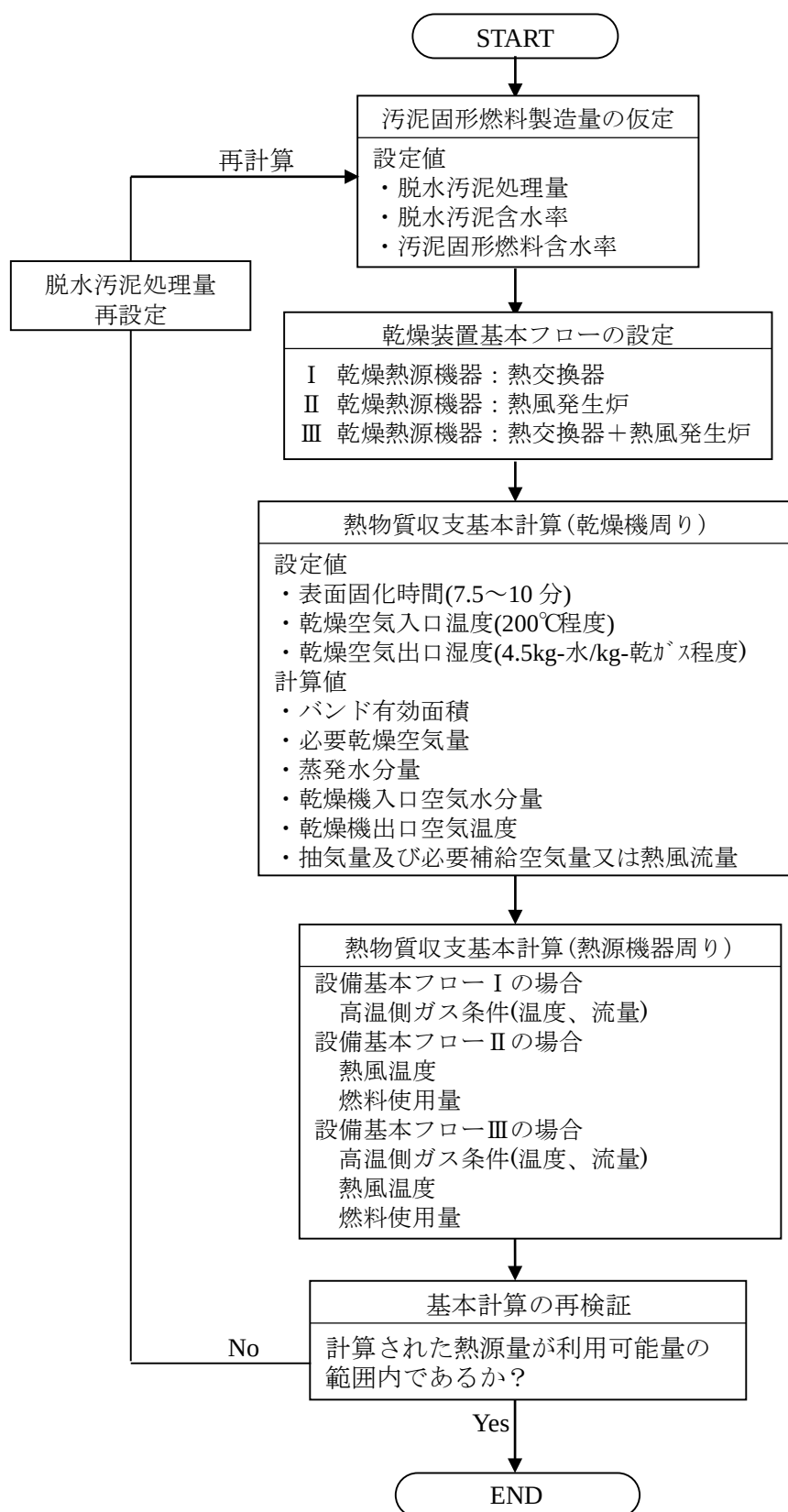


図 4-3 基本計算フロー

(2) 乾燥装置基本フローの検討

本技術では、§ 25 基礎調査 (2) で設定した利用可能な乾燥熱源の状況により以下図 4-4 から図 4-6 に示す 3 通りの基本フローが想定される。表 4-4 に乾燥熱源による設備基本フローの選定についてまとめる。

表 4-4 乾燥熱源供給フローの選定について

熱源種別	乾燥熱源 機器	設備基本 フロー
廃熱(高温ガス等)	熱交換器	I (図 4-4)
消化ガス 又は化石燃料	熱風発生炉	II (図 4-5)
廃熱及び 消化ガスまたは化石燃料	熱交換器 + 熱風発生炉	III (図 4-6)

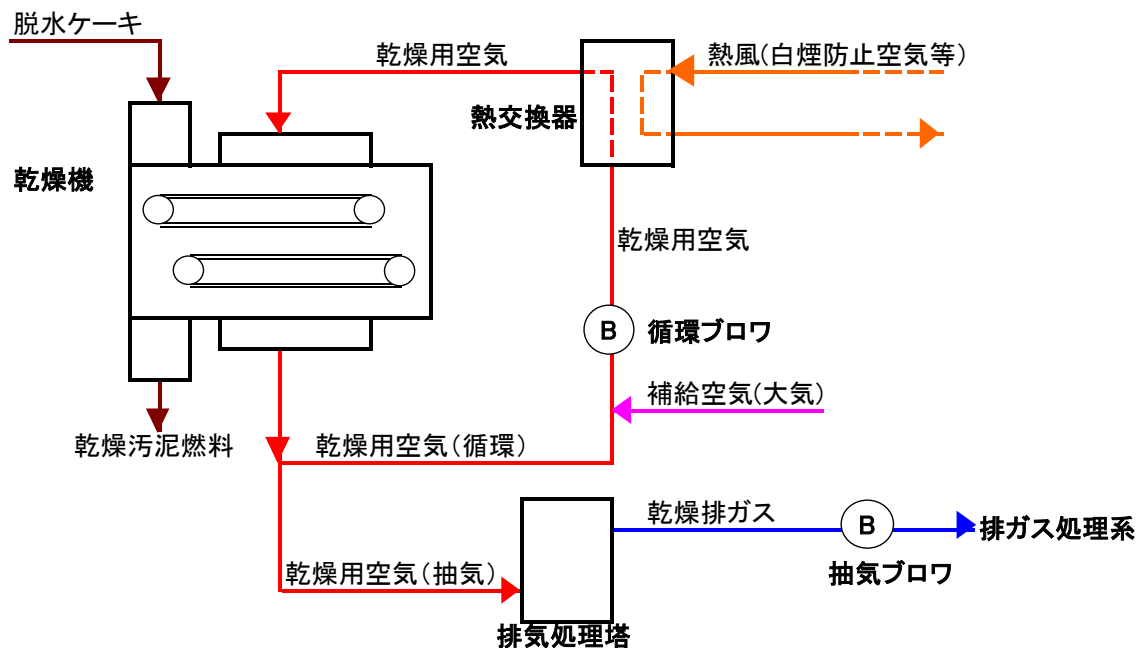


図 4-4 乾燥装置基本フロー I (既存設備の廃熱を熱交換器で利用の場合)

図 4-4 は乾燥熱源を全て高温ガスとの熱交換で賄う場合である。乾燥機から排気される乾燥用空気は蒸発水分と同量の水分を系外に排出するために抽気を行う。抽気された空気量に相当する空気を大気で補給した後、廃熱等を高温側熱源とする熱交換器で所定の乾燥空気温度（200～220℃）まで加温して乾燥機に送風される。

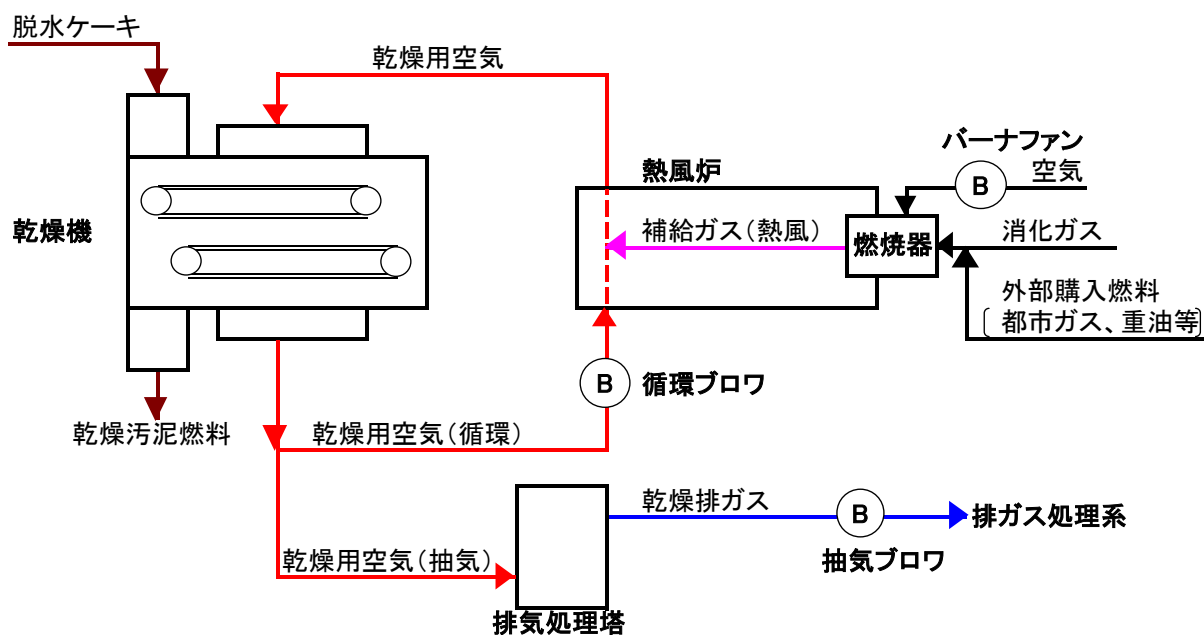


図 4-5 乾燥装置基本フローⅡ（熱風炉使用の場合）

図 4-5 は熱風炉により乾燥空気を加温するフローである。熱風炉の燃料には、既存汚泥消化設備からの消化ガス或いは外部からの燃料（都市ガスや重油等）が利用され、所定温度の熱風が乾燥空気を加温するとともに乾燥空気の補給を行う。

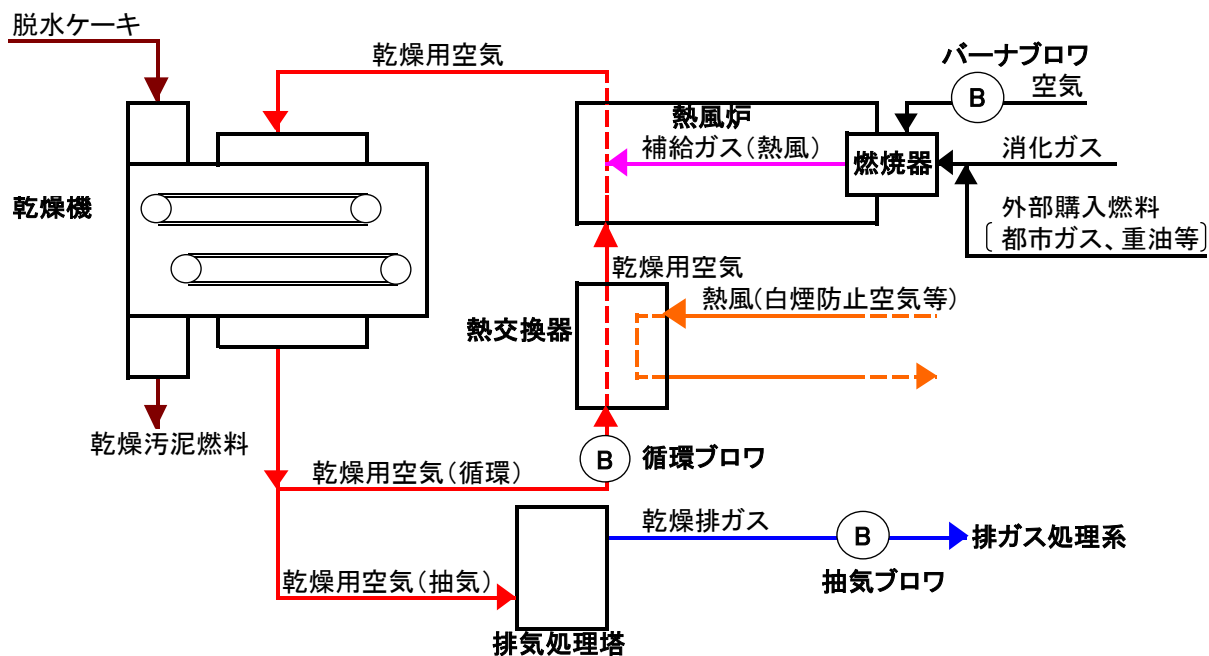


図 4-6 乾燥装置基本フローⅢ（熱交換器・熱風炉併用の場合）

図 4-6 は熱交換器と熱風炉を併用する場合で、既存設備からのエネルギー供給の他、外部からの燃料の利用も可能な方式である。

(3) 熱物質収支基本計算

仮定した脱水汚泥処理量や各設定値より熱物質収支基本計算を行う。乾燥空気は循環しているために熱物質収支計算も繰返し計算となる。計算方法の概略説明を以下に示す。

1) 必要な条件設定を行う。設定項目および設定値例を以下に示す。

- ・ 表面固化乾燥時間 : 7.5～10 分
- ・ 乾燥空気入口温度 : 200℃程度
- ・ 乾燥空気出口湿度 : 4.5kg-水/kg-乾ガス程度

2) 投入脱水汚泥量に表面固化乾燥時間を乗じ、1 段目バンド面の脱水汚泥量を計算して、充填率(単位面積当たりの汚泥重量)で除し、バンド面積を算出する。脱水汚泥の充填率は実証実験から設計定数として得られている。

$$\text{バンド面積(m}^2\text{)} = \text{投入脱水汚泥量(kg/min)} \times \text{表面固化乾燥時間(min)} / \text{充填率(kg/m}^2\text{)}$$

3) 乾燥空気流量は 1 段目のバンド面積に所定の風速(実証実験から求められた設計定数)を乗じたものである。乾燥空気は乾燥機出口温度 $T_{\text{out}}(^{\circ}\text{C})$ で循環ファンに流入する。このときの絶対湿度は最大 0.45kg-水/kg-乾空気である。

$$\text{乾燥空気流量(Nm}^3\text{/h)} = \text{バンド面積(m}^2\text{)} \times \text{風速(m/h)}$$

ここで、風速はバンド面積あたりの風量($\text{Nm}^3\text{/h} \cdot \text{m}^2$)であり、実証実験から設計定数として得られている。

4) 表 4-5 に示す総入熱量と総出熱量が等しくなるように乾燥機周りの設計値として以下が算出される。

- ・ 蒸発水分量
- ・ 乾燥機入口空気水分量
- ・ 乾燥機出口空気温度

表 4-5 乾燥機の熱収支

	入熱	出熱
項 目	乾燥空気保有熱	乾燥空気保有熱
	脱水汚泥固形分顕熱	汚泥固形燃料固形分顕熱
	脱水汚泥水分顕熱	汚泥固形燃料水分顕熱
		脱水汚泥水分蒸発潜熱
		蒸発水分顕熱
		放散熱
計	総入熱	総出熱

- 5) 脱水汚泥からの蒸発水分を系外に排出するための抽気量を算出する。蒸発水分を含んだ乾燥空気を乾燥機出口で分岐し、抽気する。抽気量は脱水汚泥からの蒸発水分量と同量の水分を保有する乾燥空気量となる。さらに、抽気による乾き空気分の補給量を算出する。
- 6) 熱源の投入方法により、熱源機器周りの熱物質収支は、以下のような計算手順となる。
- ①熱源機器が熱交換器のみの場合(基本フローⅠ)：抽気分を空気で補給した後、熱交換器で乾燥空気入口温度まで加熱するための高温側ガス条件（必要空気量及び空気温度）を算出する。
 - ②熱源機器が熱風発生炉の場合(基本フローⅡ)：抽気分のガス量に相当する熱風を投入して、乾燥空気入口温度まで加熱に必要な熱風温度と燃料使用量を算出する。
 - ③熱源機器が熱風発生炉と熱交換器両方の場合(基本フローⅢ)：熱交換で加熱可能な温度まで乾燥空気を加温し、その後、抽気分のガス量に相当する熱風を投入して、乾燥空気入口温度まで加熱に必要な熱風温度と燃料使用量、廃熱の空気量及び空気温度を算出する。

(4) 基本計算の再検証

熱物質収支基本計算で算出された必要投入熱量が、基礎調査の供給可能熱源（§ 25）で設定した範囲内に収まるか再検証する。供給可能熱源条件を超えるものであった場合、脱水汚泥処理量を変更（小さく）して再度基本計算を行う。

§ 27 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) 基本プロセスフローの決定
- (2) 構成設備の諸元設定
- (3) 適用法令
- (4) 配置計画

【解 説】

(1) 基本プロセスフローの決定

汚泥固形燃料製造量が決定し、熱源の供給形態を設定したことにより、既存設備との境界を含めた設備のプロセスフローを決定する。

(2) 構成設備の諸元設定

基本計算をもとに、プロセスを構成する主要設備について諸元を設定する。諸元の項目例を以下に示す。

- ・ 機器名称
- ・ 型式
- ・ 能力(風量、移送量等)
- ・ 形状
- ・ 使用条件(温度、運転計画等)
- ・ 数量
- ・ その他

(3) 適用法令

1) 消防法

乾燥機及び付属する熱風炉は、消防法で設置届出の対象であり、消防法、条例の適用について所管の消防部局に確認し、必要な手続きを行う必要がある。

さらに、汚泥固形燃料は「再生資源燃料」として分類され、乾燥汚泥ホoppaは指定可燃物貯蔵として届出が必要であり、安全対策等が規定されている。このため、消防法、条例の適用に関して、所管の消防部局に確認し、必要な手続きを行う必要がある。

2) 大気汚染防止法

既に、ばい煙発生施設設置届出がなされている既存焼却炉施設の改良工事を伴う場合、変更届出対象であり、大気汚染防止法、条例の適用について所管の環境部局に確認し、必要な手続きを行う必要がある。

3) ダイオキシン類対策特別措置法

既に、特定施設設置届出がなされている既存焼却炉施設の改良工事を伴う場合、変更届出の対象であり、ダイオキシン類対策特別措置法、条例の適用について所管の環境部局に確認し、必要な手続きを行う必要がある。

4) 騒音規制法

乾燥空気循環ファン、抽気ファン、空気圧縮機等に関して、騒音規制法、条例の適用について所管の環境部局に確認し、必要な手続きを行う必要がある。

5) 振動規制法

空気圧縮機等に関して、振動規制法、条例の適用について所管の環境部局に確認し、必要な手続きを行う必要がある。

6) 悪臭防止法

施設の計画に当っては、悪臭防止法、条例の適用について所管の環境部局に確認し、必要な手続きを行う必要がある。

(4) 配置計画

設備配置については以下の方針で計画する。

1) 熱源系統及び乾燥空気循環系統距離の最短化

汚泥燃料化のための乾燥機は既存焼却炉排ガス系の白煙防止空気を主熱源とし、白煙防止空気を高温側とするプレート式の熱交換器で乾燥空気を所定の温度まで加温する。このため、白煙防止空気及び乾燥空気の放熱損失を極力防止することが重要であり、配管の高断熱化とともに配管距離を最短とする機器配置に留意する。

2) 乾燥機周辺の保全空間の確保

メンテナンスを考慮して、乾燥機及び乾燥空気循環系周辺には、保全用の作業空間及び歩廊を配置し、全ての装置類に人が接近可能となるような配置とする。

3) 乾燥汚泥移送ルート of 最適化

汚泥は乾燥機最上段のバンド面に成型機から押し出されるが、その後は重力によりバンド面を落下しながら乾燥機の最下面の排出ホッパから排出される。このため、乾燥汚泥ホッパへは必ず水平方向と上向き方向への移動が必要となる。乾燥汚泥の移送にはフライトコンベヤやスクリーコンベヤを用いるが、コンベヤの乗換えは機器点数の増加とともに、乗換え時の汚泥粉塵の発生等の問題を生じる。そこで、乾燥機排出口から乾燥汚泥ホッパへは水平方向に直線で移動可能とするのが望ましく、架台支柱や他の配管との競合を考慮して計画する。

上記から、次の手順で設備配置を計画する。

- ①既設焼却系の白煙防止予熱器の位置を念頭に置いて、乾燥空気熱交換器と乾燥機の位置及び向きを決定する。
- ②乾燥機排出口からの移送ルートから乾燥汚泥ホッパの位置を決定する。
- ③汚泥への接近が可能となる足場を確保しながら他の機器類の配置を決定する。

§ 28 導入効果の検証

導入検討時に評価した導入効果について、基本計画の策定段階でより詳細な情報に基づいて再検討を行い、目的とする導入効果が得られるか検証する。

【解 説】

第3章の導入検討の際に評価した導入効果の検証のために、以下の項目を実施する。

①導入コストの検討

第3章の導入検討の際に行った導入効果の算出に対して、基本計画によって設備技術や汚泥固形燃料の利用計画を具体化し、より精度の高いコスト把握を行う。

②エネルギー利用効果の検討

本技術のエネルギー利用面からの効果を定量的に示し、汚泥固形燃料としての位置付けを明確にする。

③温室効果ガス削減効果の検討

②で検討したエネルギー利用量から温室効果ガス排出量を算出して、本技術の温室効果ガス排出削減効果を示す。

④導入計画のとりまとめ

本技術の導入についての検討結果を取りまとめるとともに、認可設計図書など必要な資料及び図書を作成する。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

§ 29 下水汚泥燃料化施設設計の考え方

下水汚泥燃料化施設設計は、以下の項目に大別して実施する。

- (1) 表面固化乾燥技術の設計
- (2) 廃熱回収利用技術の設計
- (3) 安全対策及び臭気対策

【解 説】

(1) 表面固化乾燥技術の設計

計画段階で設定された脱水汚泥条件から設備機器の設計点となる条件を設定する。設定された脱水汚泥処理量日最大値： W_s に対して、汚泥供給機、乾燥機、乾燥汚泥移送設備の容量を設定する。

(2) 廃熱回収利用技術の設計

基本計画において把握した既存設備の運転状況や設備条件等から、具体的に表面固化乾燥装置の熱源としての廃熱回収技術を構築する。

(3) 安全対策及び臭気対策

汚泥燃料化施設の安全対策および臭気対策の検討を行う。

§ 30 表面固化乾燥技術の設計

基本計算を基に、表面固化乾燥技術の設計を行う。

- (1) 脱水汚泥設計条件の設定
- (2) 乾燥機の設計
- (3) 乾燥汚泥移送・貯留・供給系の設計
- (4) 乾燥空気系の設計

【解 説】

- (1) 脱水汚泥設計条件の設定

- 1) 脱水汚泥ホッパー

既存汚泥処理施設からの汚泥供給パターン（連続、間欠）を確認して、燃料化施設へ連続して供給するためのバッファーとして設置する。設定された脱水汚泥処理量日最大値： W_s (t/日)に対して必要な日数または時間分を貯留可能な容量を設定する。

- 2) 汚泥供給ポンプ

汚泥供給ポンプは一軸ネジ式ポンプ等、定量性のあるものを採用し、ポンプの吐出配管それぞれに電磁流量計を設置し、インバータにより流量制御を行う。

連続運転の場合、時間あたりの定格供給能力： w_s (kg/h)は

$$w_s \text{ (kg/h)} = W_s \text{ (t/日)} \times 1000 \div 24$$

燃料製造量の変更や脱水汚泥量の変動により、汚泥供給量を変化させることが考えられるため、ポンプは定格供給量の50～150%程度の範囲で可変とする。また、脱水汚泥中に気泡が混入すると、汚泥の破断や供給量の変動が生じ、ひいては乾燥汚泥性状が不安定となるので極力空気の混入を防止する必要がある。その為、成型機にはある程度の圧力となるように供給ポンプを選定する。

- (2) 乾燥機の設計

表面固化乾燥装置の全体寸法に最も影響するバンド部の段数及び寸法、乾燥空気循環風量及び抽気量は、表 4-6 に示す各設計定数を用いる。

表 4-6 表面固化乾燥装置基本諸量の計画

計画項目	設計定数として設定される項目		
	項目	設定値	単位
バンド寸法、バンド段数	バンド上充填率※1	7.4	kg/m ²
	バンド幅	3,000 以下	mm
	表面固化乾燥時間※2	7.5～10	分
	標準仕上げ乾燥時間※3	70	分
乾燥空気循環風量	バンド面積あたりの風量	1,200	Nm ³ /m ² ・h
抽気量	乾燥機出口乾燥空気湿度	最大 0.45	kg-水/kg-乾ガス
	抽気率の目安	約 10	%

※1：1 段目のバンド面積当りの脱水汚泥量投入量（実証実験等からの経験値）

※2：1 段目の滞留時間

（財団法人下水道新技術推進機構「建設技術審査証明（下水道技術）報告書－表面固化式汚泥乾燥装置」2010 年 3 月、p.12、及び p.17、表 4-3 参照）

※3：2 段目以降の総滞留時間

実証試験結果(※2 と同じ)から安全側で 70 分と設定。投入脱水汚泥含水率に応じて変更。

1) 乾燥機本体

バンド部の設計は以下による。

$$\text{①1 段目バンド面積} = \frac{\text{脱水汚泥処理量} \times \text{表面固化乾燥時間}}{\text{バンド上充填率}}$$

ここで、

脱水汚泥処理量(kg/分)

$$= \text{脱水汚泥処理量日最大値 } W_s (\text{t/日}) \div 24 \div 60 \times 1000$$

②バンド長さ $\geq$ 1 段目バンド面積 / バンド幅

バンド幅は最大 3,000mm の範囲で設定する。1 段目は表面固化乾燥ゾーンとして、汚泥表面に固化層が形成する（汚泥の付着がなくなる）までの時間（表面固化乾燥時間）以上の滞留時間が必要となり、これによりバンド長さ、即ち乾燥機の機長が決定されることとなる。バンド長さに制約が生じる場合は、乾燥機 1 基当りの脱水汚泥を分割し、乾燥機基数の増数を検討する。

③バンド段数：

$$\frac{\text{バンド長さ} \times 2 \text{ 段目以降のバンド段数}}{2 \text{ 段目以降のバンド走行速度}} > \text{標準仕上げ乾燥時間}$$

を満たす 2 段目以降のバンド走行速度とバンド段数を設定する。

バンド走行速度は、インバータによる可変として、適切な乾燥時間に調節可能とする。

2) 汚泥成型機

汚泥成型機は、汚泥供給ポンプから高い圧力で供給された脱水汚泥を断面が1cm 角の角柱状に成型し、乾燥機へ投入する。設計上の留意事項は以下の通りである。

- ・汚泥供給ポンプの圧力に耐えうる構造とする。
- ・安定して、均一投入が可能のように、異物除去機構を設置する。

バンド巾が大きくなると巾方向への均一投入が困難になるために、成型機を複数系列に分けて分散投入する。実証試験機では、バンド巾 500mm に 1 つの成型機を設置している。

(3) 乾燥汚泥移送・貯留・供給系の設計

時間あたりの汚泥固形燃料最大製造量 $w_{Fh}(\text{kg/h})$ は、

1 日あたりの汚泥固形燃料最大製造量 $W_{Fh}(\text{t/日})$ (§ 26 参照) より

$$w_{Fh} = W_{Fh} \times 1000 \div 24$$

基本計算書を基に以下のような機器を設計する。

1) 集合コンベア (スクリュコンベア)

乾燥機出口に設置して、バンド巾いっぱい広がる乾燥汚泥(汚泥固形燃料)を 1 箇所へ寄せる。

搬送能力は、乾燥機からの汚泥固形燃料供給量の変動、かさ比重が小さいことを考慮して、時間あたりの汚泥固形燃料最大製造量 $w_{Fh}(\text{kg/h})$ に対し、余裕をみる必要がある。

2) 定量供給機 (ロータリフィーダ)

集合コンベアの出口に設置し、乾燥機内部を負圧に保つために、外気との縁を切るシール機構を有する。

3) 乾燥汚泥移送コンベア (フライトコンベア等)

乾燥汚泥(汚泥固形燃料)を乾燥汚泥ホッパに移送する。乾燥汚泥ホッパの設置場所や乾燥汚泥ホッパ高さ等を決定した後、搬送方法を検討する。配置決定をすることで搬送装置の機種、基数、仕様(機長等)も決定される。能力は集合コンベアと同様な方法で計算する。

4) 乾燥汚泥ホッパ

乾燥汚泥(汚泥固形燃料)の利用方法(場内利用、場外利用)を検討して、1 日あたりの汚泥固形燃料最大製造量 $W_{Fh}(\text{t/日})$ に対して必要な日数分または時間分を貯留可能な容量を設定する。

場内利用の場合、連続的に燃料を利用することが考えられるので、数時間分の貯留量で問題ない。

場外利用の場合、利用先への運搬頻度、運搬車容量を検討して、適切な貯留日数の設定が必要である。ただし、過剰に長期間の燃料貯留は汚泥固形燃料の安全性の観点から適切でない。

5) 乾燥汚泥供給機（ロータリフィーダ、スクリー切出し装置）

燃料の利用方法を検討して、最適な機種、供給量を選定する。

(4) 乾燥空気系の設計

基本計算書を基に以下の機器を設計する。

1) 循環ファン

ファンの供給風量は、通常の公共下水道と同様な設計とし、負荷変動等を考慮して基本計算値から 20～30%の余裕をとる。

吸込側ダンパまたはインバータにより、風量を運転設計値に制御する。

乾燥機および熱源供給設備（熱交換器、熱風発生炉）等の圧損を考慮して、吐出圧力を設定する。

2) 乾燥排気処理塔

処理風量は、負荷変動等を考慮して基本計算値から 20～30%の余裕をとる。

処理ガスの温度は任意に設計できるが、焼却炉流動ブロワへの供給を考えた場合、常温に近い温度(40℃程度)が望ましい。

3) 乾燥排気返送ファン

ファンの供給風量は、通常の公共下水道と同様な設計とし、負荷変動等を考慮して基本計算値から 20～30%の余裕をとる。

吸込側ダンパまたはインバータにより、乾燥機内部圧力が負圧(-0.3kPa 程度)となるように制御する。

§ 31 廃熱回収利用技術の設計

基本計算を基に、廃熱回収利用技術の設計を行う。

- (1) 乾燥熱交換器の設計
- (2) 熱風発生炉の設計

【解 説】

(1) 乾燥熱交換器の設計

熱源として白煙防止空気や廃熱風を利用する場合、熱交換器を介して乾燥空気に入熱する。供給される熱源条件により、廃熱の流量、温度（熱交換器入口、熱交換器出口）が、また熱物質収支基本計算で必要な交換熱量が計算されている。それらの条件から、熱交換器伝熱面積を決定し、仕様が確定される。

交換熱量 Q (kJ/h)

乾燥空気熱交換器入口熱源空気温度： $t_{Ain}(^{\circ}\text{C})$

乾燥空気熱交換器入口乾燥空気温度： $t_{Din}(^{\circ}\text{C})$

乾燥空気熱交換器出口熱源空気温度： $t_{Aout}(^{\circ}\text{C})$

乾燥空気熱交換器出口乾燥空気温度： $t_{Dout}(^{\circ}\text{C})$

総括伝熱係数： h (kJ/m²・℃・h)

乾燥熱交換器の温度条件を図 4-7 及び表 4-7 に示す。

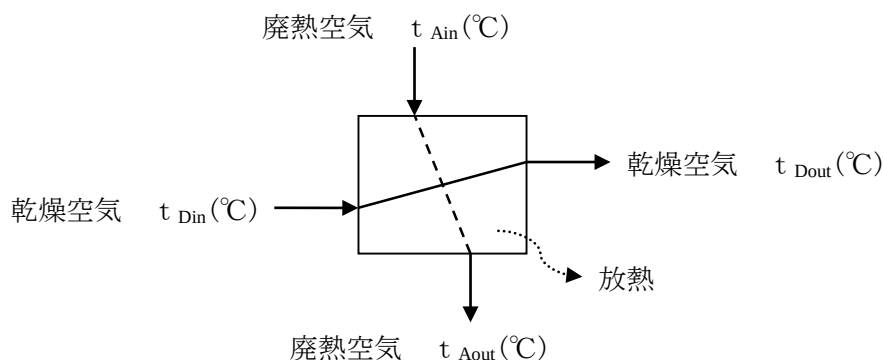


図 4-7 乾燥熱交換器

表 4-7 乾燥熱交換器の標準的な温度条件

		入口	出口
高温側	白煙防止空気	250～350℃	150～200℃
低温側	乾燥空気	120～170℃	200～220℃

対数平均温度差 ΔT は以下の式で与えられる。

$$\Delta T = \frac{|T_{Ain} - T_{Din}| - |T_{Aout} - T_{Dout}|}{\ln \frac{|T_{Ain} - T_{Din}|}{|T_{Aout} - T_{Dout}|}}$$

伝熱面積 $A(m^2)$ は、以下の式で与えられる。

$$A = \frac{Q}{h \times \Delta T}$$

熱交換器は効率の良いプレート式とする。乾燥空気には僅かながらダストを含んでいるので、払落とし機を設置するのが望ましい。

(2) 熱風炉の設計

熱源として消化ガスや燃料（重油、都市ガス）を使用する場合、熱風発生炉により乾燥空気に直接入熱する。熱物質収支基本計算で必要な投入熱量が決定されている。熱風発生炉の放熱ロス等を考慮して、5%程度の余裕をみる。

消化ガスを使用する場合、供給圧力を確認する必要がある。ガスフォルダの圧力では供給圧力が足りない場合には、ガスブースターの設置が必要である。また、燃料として重油を使用する場合には、重油タンク、ポンプの設置が必要となる。

§ 32 安全対策及び臭気対策

汚泥燃料化施設の安全対策および臭気対策について検討する。

- (1) 安全対策
- (2) 臭気対策

(1) 安全対策

下水汚泥は、嫌気雰囲気では可燃性ガスの発生、酸化雰囲気での発熱等による自己着火性がある。また、乾燥汚泥粉塵は粉塵爆発性がある。このため、汚泥燃料の取扱い、保管の際は、必要に応じて以下の装置等の付帯を検討する必要がある。

①窒素封入装置

乾燥汚泥貯留ホッパ内の酸素濃度を低下させ、着火しにくい条件を維持するために槽内に窒素を送気する。窒素供給装置は使用量等により、貯槽方式(ポンベによる供給)や製造方式(PSA 等による)から選定する。

②水噴霧装置

汚泥燃料の温度上昇の検知により作動し、加湿と冷却により発火を防止する。

③破裂板

可燃性ガスが滞留する可能性のある部位には破裂板を設置して爆発時の衝撃を逃がし、機器類の破壊を防止する。

(2) 臭気対策

汚泥が滞留する箇所、汚泥が加温される箇所(乾燥機)、排気、排水等、臭気の発生が予想される箇所には必要に応じて、

- ・密閉
- ・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。

脱臭方式としては既設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。焼却炉がない場合や、焼却炉の休止計画が予定されている場合は、脱臭条件等を考慮の上、適切な脱臭方式を選定することとする。

第5章 維持管理

第1節 導入システム全体の管理

§ 33 導入システム全体としての維持管理の要点

導入目的の観点 considering、乾燥汚泥燃料品質維持、汚泥処理施設全体としてのエネルギーマネジメント及び災害時の対応が可能となるよう、システム全体を管理する。

【解説】

本技術は、システム全体で良好なエネルギーマネジメントを行うという観点から、表面固化乾燥装置による乾燥汚泥燃料の品質、乾燥用熱源の利用状況、循環する乾燥空気の状態、装置内の状況、乾燥汚泥燃料の保管状況、臭気発生状況について、常時状況を把握するとともに、予め定めた基準から外れる事態が生じた場合、迅速に事態を復旧する対策が講じられる必要がある。また、廃熱回収系にあっては、高温側熱源変動状況、装置内の清浄を含む熱交換器の状況について廃熱源を有する焼却炉の運転状況を把握しておく必要があり、汚泥焼却系の管理部署との情報共有等、汚泥処理施設全体のエネルギーマネジメントや保守点検計画の中で最適な管理を行うこととなる。

第2節 導入システムの運転管理

§ 34 導入システムの運転管理項目

導入システムの運転管理では、以下に示す項目に対して、測定、分析、解析を行い、適正な運転が行われているかを確認する。

- (1) 脱水汚泥原料
- (2) 表面固化乾燥装置
- (3) 熱風発生炉
- (4) 乾燥空気抽気処理装置
- (5) 乾燥汚泥燃料
- (6) 乾燥汚泥燃料貯留装置
- (7) 乾燥熱交換器

【解 説】

(1) 脱水汚泥原料

乾燥汚泥燃料の品質を維持するために、原料となる脱水汚泥の性状変動を把握しておく必要がある。管理基準を下記に示す。

表 5-1 原料汚泥性状管理基準

項 目		測定頻度	管理基準	備 考
性状	含水率	4 回/日	汚泥性状の基本計画値と差異がないことを確認	
	強熱減量	1 回/週		
	組成	1 回/週		
	発熱量	1 回/日		
投入量		瞬時値(1 時間値) : 1 回/時 累積値 : 1 回/日	設計値と差異がないこと	

(2) 表面固化乾燥装置

原料汚泥の性状変動に対して適切な乾燥処理が行えているように乾燥機各部の状況を把握する。表面固化乾燥装置の管理基準を下記に示す。

表 5-2 表面固化乾燥装置管理基準

部 位	項 目	測定頻度	管理基準	備 考
乾燥機	汚泥成型機圧力	連続	大きな圧力上昇がないこと	
	入口乾燥空気温度	連続	190℃ ～ 210℃	
	入口乾燥空気圧力	連続	大きな変動がないこと	
	出口乾燥空気温度	連続	120℃ ～ 150℃	結露防止
	出口乾燥空気湿度	1 回/時	0.45kg-水/kg-DA 以下	結露防止
乾燥空気ダクト	乾燥空気温度	連続	120℃以上	結露防止
	乾燥空気流量	連続	運転計画値	

(3) 熱風発生炉

熱風発生炉を安全かつ効率的に運転するために、以下の項目を計測する。

表 5-3 熱風発生炉運転管理基準

部 位	項目	測定頻度	管理基準	備 考
燃焼器	燃料消費量	瞬時値：1 回/時 累積値：1 回/日	大きな変動がないこと	
	燃焼空気量	連続	大きな変動がないこと	

(4) 乾燥空気抽気処理装置

乾燥空気抽気処理設備での適切な抽気処理が行われるために、以下を測定、分析を行う。

表 5-4 乾燥空気抽気処理系運転管理基準

部 位	項 目		測定頻度	管理基準	備 考
抽気配管	抽気流量		連続	運転計画値	
	温度		連続	運転計画値	
	圧力		連続	運転計画値	負圧
乾燥排気処理塔	出口ガス温度		連続	50℃以下	
	出口ガス組成		適宜	—	
	出口ガス臭気濃度		適宜	—	
	排水温度		適宜	—	
	排水水質	pH	適宜	—	
		SS			
		BOD			

(5) 乾燥汚泥燃料

乾燥汚泥燃料の品質を確認するために、以下の測定、分析を行う。

表 5-5 乾燥汚泥燃料（製品）の品質管理基準

項 目		測定頻度	管理基準	備 考
製造量		瞬時値：1 回/時 累積値：1 回/日	運転計画値	
乾燥汚泥 燃料	含水率	4 回/日	20%以下	目標値
	形状寸法	1 回/日	—	
	灰分	1 回/週	—	
	総発熱量	1 回/日	8MJ/kg(湿)以上	目標値

(6) 乾燥汚泥燃料貯留装置

乾燥汚泥燃料の保管時の安全性及び環境性を確保するために、以下の測定、分析を行う。

表 5-6 乾燥汚泥燃料貯留装置運転管理基準

部 位	項 目	測定頻度	管理基準	備 考
貯留ホッパ	温度	連続	温度や可燃性ガス 濃度の大きな上昇 が無いこと	
	可燃性ガス濃度	連続		
	酸素濃度	連続		

(7) 乾燥熱交換器

既設廃ガスとの熱交換の効率維持、必要熱量の確保のため、以下の項目について計測する。

表 5-7 乾燥熱交換器管理基準

項目	頻度	管理基準	備 考
高温側ガス（廃ガス）入口温度	連続	設計値と差異が ないこと	
同上出口温度	連続		
高温側ガス流量	連続		
低温側ガス（乾燥空気）入口温度	連続		
同上出口温度	連続		

§ 35 導入システムの運転操作および運転管理

導入システムの正しい運用をするために、適正な運転操作および運転管理が必要である。

【解 説】

本システムの正しい運用には、適正な運転操作が必要である。運転操作の項目および運転操作概要を下記に示す。

表 5-8 導入システムの運転操作

運転操作項目	操作概要	備考
廃熱量（白煙防止空気量）	乾燥機入口の乾燥空気温度を適正範囲（200℃程度）に保持するために、焼却炉廃熱（白煙防止空気）の利用量を調節する。	
乾燥熱風発生炉 消化ガス量	上記焼却炉廃熱（白煙防止空気）以外に消化ガスを使用する場合、熱風発生炉燃料（消化ガス）流量を調整して、乾燥空気温度を適正範囲に保持する。	
乾燥空気風量	脱水汚泥投入量、乾燥機出口乾燥空気湿度、乾燥汚泥含水率等に応じて設定値を調節する。	
脱水汚泥投入量	脱水汚泥含水率の変動により機器の蒸発可能量を越える水分が投入された場合、脱水汚泥投入量を調節して、製造燃料の含水率を適正な値にする。	
滞留時間	バンド速度を調節する。	

導入システムの運転管理には、§ 30 に示した運転管理項目を適正に管理する必要がある。運転管理値を適当な頻度で測定して、日報・月報等にまとめることにより常に処理状況を把握し、異常値が発生したら、すぐに対応できるようにしておくことが重要である。導入システムの運転管理項目の一覧（例）を表 5-9 に示す。

同じ条件で乾燥処理をする場合、投入する脱水汚泥の含水率が高くなると、乾燥汚泥の含水率も高くなる。乾燥汚泥の含水率が目標値より高くなった場合、2、3 段目のバンド速度を遅くし、滞留時間を長くすることで、製品の含水率は低下する。試運転時に汚泥含水率と滞留時間の相関を設定し、運転管理の指標とする。

表 5-9 導入システムの運転管理項目一覧（例）

監視項目		単位	測定頻度	備考
外気	気温	℃	連続	
	相対湿度	%	連続	
	飽和水蒸気圧	hPa	1 回/時算出	
	絶対湿度	kg/kg-DA	1 回/時算出	
脱水汚泥供給装置	脱水汚泥投入量	m3/h	1 回/時	
	脱水汚泥ホッパ重量	kg	連続	
	脱水汚泥密度	kg/m3	2 回/日算出	
	脱水汚泥含水率	%	2 回/日	
	汚泥供給圧力	kPa	1 回/時	
	汚泥供給量	m3/h	連続	
表面固化乾燥装置	入口乾燥空気風量	Nm3/h	連続	
	入口乾燥空気温度	℃	連続	
	入口乾燥空気湿度	kg-水/kg-DA	連続	
	入口乾燥空気圧力	kPa	1 回/時	
	乾燥機内温度	℃	連続	
	出口乾燥空気温度	℃	連続	
	出口乾燥空気湿度	kg-水/kg-DA	連続	
	出口乾燥空気圧力	kPa	連続	
循環ファン	外装表面温度	℃	1 回/時	
	ミストセパレータ入口乾燥空気圧力	kPa	1 回/時	
	循環ファン入口圧力	kPa	1 回/時	
熱交換器	循環ファン出口圧力	kPa	1 回/時	
	入口乾燥空気圧力	kPa	1 回/時	
	出口乾燥空気圧力	kPa	1 回/時	
	熱交出口乾燥空気温度	℃	1 回/時	
	入口白防空気風量	Nm3/h	連続	
	入口白防空気温度	℃	連続	
	入口白防空気圧力	kPa	1 回/時	
	出口白防空気圧力	kPa	1 回/時	
熱風炉発生炉	出口白防空気温度	℃	連続	
	熱風炉消化ガス使用量	Nm3/h	連続	
	熱風炉供給消化ガス圧力	kPa	1 回/時	
乾燥汚泥貯留・切出装置	乾燥汚泥含水率	%	4 回/日	
	乾燥汚泥貯留ホッパ温度	℃	連続	
	乾燥汚泥貯留ホッパ重量	kg	連続	
	乾燥汚泥排出量	kg/h	1 回/時	
乾燥排気処理装置	抽気流量	Nm3/h	1 回/時	
	処理塔出口乾燥排気温度	℃	連続	
	乾燥排気ファン入口圧力	kPa	1 回/時	
	乾燥排気ファン出口圧力	kPa	1 回/時	
	処理塔供給水流量	m3/h	1 回/時	
	処理塔供給水ポンプ出口圧力	kPa	1 回/時	
	処理塔供給水注入圧力	kPa	1 回/時	
	処理塔差圧	kPa	1 回/時	

第3節 導入システムの保守点検

§ 36 導入システムの保守点検

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

【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運転状態のまま実施する。付帯機器等を含めた施設の日常点検リストを表 5-10 に示す。日常点検では各機器が正常に運転されているか、脱水汚泥や汚泥固形燃料が滞りなく移送、貯留されていないかを確認する。

(2) 定期点検

設備の性能を長期的に維持するために、年に一度程度設備を停止して定期点検整備を実施する。主要機器（特に表面固化乾燥装置）の定期点検リストを表 5-11 に示す。

表 5-10 日常点検リスト

機器名称	点検項目
脱水汚泥供給装置	・汚泥ホッパ外観点検（腐食、塗装剥離、変形） ・汚泥供給ポンプケーシング点検（腐食、割れ） ・汚泥供給ポンプ駆動部の点検（異音、振動、発熱、油量）
表面固化乾燥装置	・ケーシング点検（温度、腐食、塗装剥離、変形） ・投入（成型機）の均一性、詰まり確認 ・内部結露状況確認 ・汚泥固着状況確認及び固着汚泥の除去 ・メッシュコンベヤの点検（たわみ、汚泥固着） ・駆動部の点検（異音、振動、発熱、油量）
集合コンベヤ	・ケーシングの点検（腐食、割れ） ・駆動部の点検（異音、振動、発熱、油量） ・汚泥閉塞の点検
定量供給機	
乾燥汚泥移送コンベヤ	
乾燥汚泥供給機	
乾燥汚泥貯留ホッパ	・外観点検（腐食、塗装剥離、変形）
循環ファン	・ケーシングの点検（温度、腐食、塗装剥離、割れ） ・駆動部の点検（異音、振動、発熱、油量）
乾燥熱交換器	・外観点検（漏れ、腐食、塗装剥離、変形）
乾燥熱風発生炉	・ケーシングの点検（温度、腐食、塗装剥離、割れ） ・ガス漏れ ・燃焼状況の確認（火炎）
乾燥排気処理塔	・外観点検（温度、漏れ、腐食、変形） ・ケーシングの点検（温度、腐食、塗装剥離、割れ） ・駆動部の点検（異音、振動、発熱、油量）
乾燥排気返送ファン	
給水ポンプ	
バーナファン	
熱風発生炉用ガスブロワ	

表 5-11 定期点検リスト

機器名称	点検整備項目	点検整備頻度			
		各運転後 (24Hr 毎)	1 ヶ月毎	3 ヶ月毎	1 年毎
乾燥機	・汚泥固着状況確認 ・固着汚泥の除去清掃※¹ ・バンドコンベヤ張力 ・バンドコンベヤ汚泥付着量計測 ・バンドコンベヤ付着汚泥除去※² ・投入ノズル磨耗状況確認 ・バンドコンベアテークアップ※³ ・パッキン類の交換	○	(○) ○ ○ (○) ○	(○) (○) (○)	 ○ ○
その他 機器	・ファン、ポンプ内部点検 (ケーシング、インペラ) ・熱風発生炉火炎検出器 ・パッキン類の交換				○ ○ ○

※1：運転初期に 100Hr 毎に乾燥機内部の固着汚泥量を計測。その後、清掃周期を延長。

※2：運転初期に 100Hr 毎にバンドコンベヤの固着汚泥量を計測。その後、清掃周期を延長。

※3：500Hr 毎にコンベヤのたわみ具合を確認し、必要に応じてテークアップ実施。

第4節 緊急時の対応と対策

§37 緊急時の対応と対策

緊急時に本導入システムを含む汚泥処理設備が機能停止した場合、確実な熱風発生炉緊急停止及び乾燥途上の汚泥による乾燥機内閉塞や貯留槽内長期滞留による発熱を防止するため、以下を実施する。

- (1) 熱風発生炉緊急停止
- (2) 脱水汚泥の乾燥機内流下の防止
- (3) 表面固化乾燥装置緊急冷却
- (4) 汚泥固形燃料貯留装置の散水および窒素置換による発火防止

【解 説】

(1) 熱風発生炉緊急停止

地震発生時等、緊急時には確実に消火し、各部が降温するような機構を設ける。地震発生時及び停電時には燃料配管の緊急遮断弁が閉止し、燃料供給が停止する。

(2) 脱水汚泥の乾燥機内流下の防止

緊急時、設備が一斉停止した際、乾燥機においてはバンドコンベヤが停止し、汚泥の搬出が止まる。このとき、脱水汚泥投入から自重で汚泥が乾燥機内に流下する場合があります。一段目のコンベヤ上に汚泥が堆積し、装置内に充満して閉塞状態となり、速やかな復旧ができなくなる可能性がある。このため、脱水汚泥成型機直前には遮断弁を設置し、電源停止時には自動的に弁が閉まり、汚泥の流下を最小限に止める機構を設ける。

(3) 表面固化乾燥装置緊急冷却

緊急時、設備が一斉停止した際、乾燥機においてはバンドコンベヤが停止し、汚泥の搬出が止まる。このとき、乾燥機内は高温（最大 200℃）状態であり、乾燥して機内に留まっている汚泥が発熱・発火する恐れがある。したがって、外気導入ダクトを設けて、外気を取り入れ、乾燥機の緊急冷却を行う。

(4) 窒素置換による発火防止

乾燥汚泥貯留ホッパでの貯留が長期間に亘る場合、酸化による発熱の危険がある。対策として、散水により、冷却を行うことが考えられるが、場合によっては発熱反応や可燃性ガス発生を誘引する場合があります。この場合、窒素置換を行うための専用の窒素発生装置を設置する。

資料編

1. 実証試験結果	111
1. 1 実証試験の概要と結果	111
1. 2 汚泥固形燃料化設備（表面固化乾燥装置）の性能確認	116
2. ケーススタディ	131
2. 1 従来技術の試算条件及び算出方法	131
2. 2 モデルケース条件	141
2. 3 試算結果	149
3. 参考文献	160
4. 問い合わせ先	161

1. 実証試験結果

1. 1 実証試験の概要と結果

- ### (1) 実証プラント設置場所

松山市西部浄化センター（所在地：松山市南吉田町 2798-80）

- (2)脱水汚泥固形物を 1.4t-DS/日（含水率 83%の場合、8.24t-wet/日）以上処理できる規模とした。

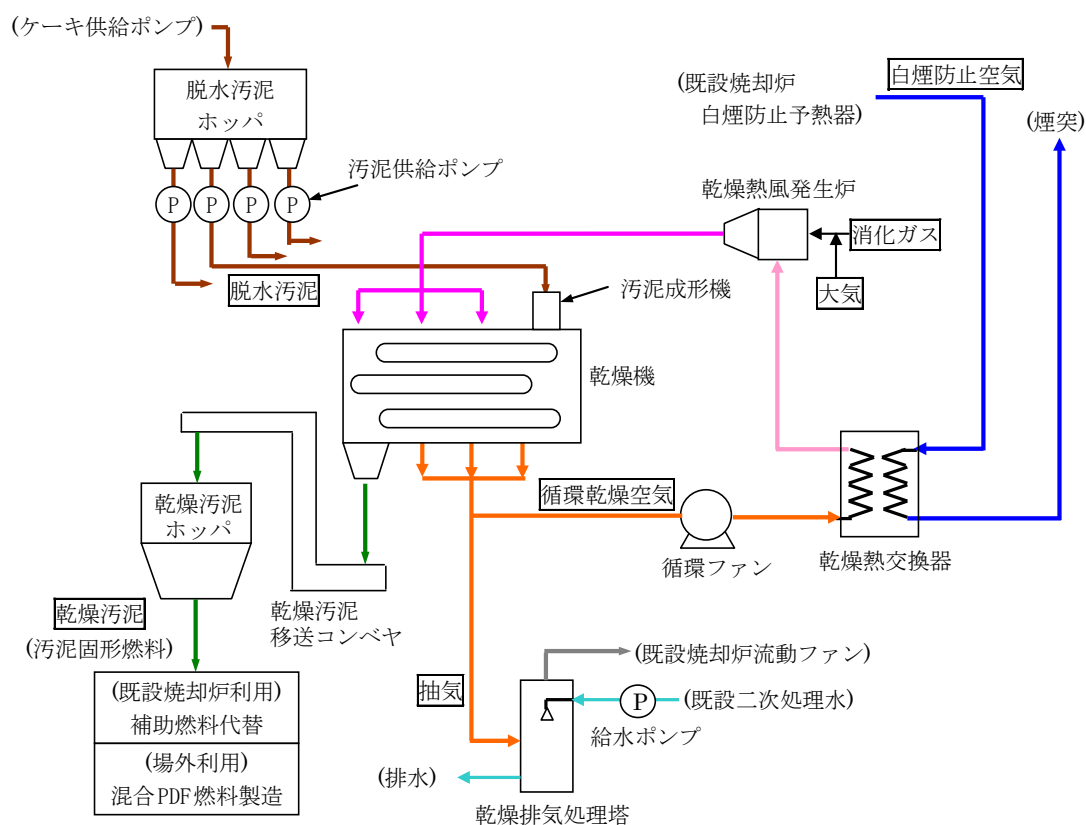
- ### (3) 実証期間

平成24年6月～平成25年3月（平成24年度委託研究）

平成 25 年 7 月～平成 26 年 3 月（平成 25 年度委託研究）

- #### (4) 実証プラントフロー

実証プラントフローを図資料 1-1 に示す。



図資料 1-1 実証プラントフロー

(5) 実証プラント基本仕様

実証プラント基本仕様を表資料 1-1 に示す。

表資料 1-1 実証プラント基本仕様

	機器名称	仕 様	数量 [台]	出力 [kW/台]	出力計 [kW]	備 考
脱水汚泥供給系	汚泥ホッパ	鋼板製角型 多重スクリー切出式 容量 15m ³ , 切出量 200～1,200kg/hr	1	3.7	3.7	
	汚泥供給ポンプ	一軸ねじ式 (ホッパ付) Φ80×50～230kg/hr×1.6MPa	4 4	1.5 1.5	6.0 6.0	駆動 フィーダー
乾燥機	乾燥機	表面固化方式 (ベルト式) 15t/日, ベルト巾 2,150mm, 長 7,000mm	1	0.75	0.75	1 段目
			2	0.2	0.4	2,3 段目
			2	0.75	1.5	クリーンブレイシ
			1	0.75	0.75	解砕機
			1	0.2	0.2	ダストコンベア
乾燥汚泥移送・貯留・供給系	集合コンベア	スクリーコンベア 400kg/hr, 機長 3,700mm	1	1.5	1.5	
	定量供給機	ロータリバルブ Φ300×400kg/hr	1	1.5	1.5	
	乾燥汚泥移送コンベア	フライト付ケースコンベア 400kg/hr, 機長 水平 5,377mm, 垂直 18,015mm	1	2.2	2.2	
	乾燥汚泥貯留ホッパ	鋼板製角型 下部コーン型 容量 4m ³	1	—	—	
	乾燥汚泥供給機	ロータリバルブ Φ300×200kg/hr	1	1.5	1.5	
乾燥空気系	循環ファン	ターボファン (デミスター付) 315m ³ (N)/min×5.5kPa	1	75	75	
	乾燥熱交換器	プレート式, 伝熱面積 148.6m ²	1	—	—	
	乾燥熱風発生炉	横置円筒型 LPG/消化ガス切替式 910MJ/hr	1	1.0	1.0	AC100V
	乾燥排気処理塔	スクラバー式, 2,350m ³ (N)/hr	1	—	—	
	乾燥排気返送ファン	ターボファン (デミスター付) 28m ³ (N)/min×4.5kPa	1	5.5	5.5	
	給水ポンプ	片吸込渦巻ポンプ Φ65×50×0.5m ³ /min×40m	1	7.5	7.5	
	熱風発生炉用ガスブロワ	ガスブースター 48m ³ (N)/hr×42kPa	1 1	3.7 0.4	3.7 0.4	駆動 空冷ファン
合 計					119.1	

1. 実証試験結果

(6) 実証試験条件と結果の概要

実施した実証試験の条件と結果を表資料 1-2 に示す。RUN1～4 は冬季データで平成 25 年 2 月～3 月、RUN5～8 は夏季データで平成 25 年 7 月に行った。

実施した実証運転において、連続運転は原則 48 時間であるが、RUN3' 及び RUN6 は RUN3 との比較のために実施したものであり、運転の安定性が確認できている条件であるため、それぞれ 6 時間(日中)、及び 24 時間運転の結果である。

なお、乾燥システム全体の放熱ロスを減少させるため、乾燥機下部の保温工事を行った。

- ・保温工事前後の差異を見るために、RUN3' は RUN3(平成 24 年度実施)とほぼ同条件で実施した。乾燥污泥含水率が 10.3% であり、RUN3 に比べ含水率が高くなっているが、蒸発水分量は RUN3 より大きくなっており、投入した脱水污泥の含水率が高かったことが原因であると考えられる。
- ・RUN5 は本設備の想定される最大負荷の運転である。
- ・RUN6 と RUN7 はほぼ同条件で乾燥機を運転しており、RUN6 はペレット加工した燃料を使用し、焼却炉の燃焼性向上による助燃量削減効果を検証したものである。補助燃料の削減量が 23% 程度(RUN7 : 54.6ℓ/h、RUN6 : 70.9ℓ/h)向上しており、CO₂ 排出量の削減効果が 44% 向上している。
- ・RUN7 は RUN3 と同条件で運転し、冬季と夏季のデータを比較したものである。乾燥污泥含水率、投入熱量/蒸発熱量、消化ガス使用量等は同程度であり、季節による污泥性状変動の差異はほとんど無く、再現性が確認された。
- ・RUN8 は RUN1 と同様に、焼却炉廃熱のみで乾燥熱源を賄った場合の最大負荷を目指した運転である。乾燥污泥含水率は 13.5% 程度であった。

表資料 1-2 実証運転結果一覧

項目	単位	RUN1 2013 2/25	RUN2 3/4	RUN3 3/18	RUN4 3/26	RUN3' 4/10 RUN3と比較	RUN5 7/3 最大処理量	RUN6 7/11 ペレット投入	RUN7 7/17 夏データ RUN3と比較	RUN8 7/24 消化ガス無 最大処理量
運転時間	h	50	50	50	50	6	50	24	50	50
総処理汚泥量	t/日	44.62	47.33	45.96	46.49	49.51	46.68	46.06	47.38	47.30
脱水汚泥含水率	%	84.4	84.3	84.1	84.6	85.4	83.6	83.3	83.6	83.4
乾燥機処理汚泥量	t/日	7.03	4.97	11.26	10.08	11.45	14.42	11.62	11.52	9.14
直接焼却炉投入汚泥量	t/日	37.58	42.36	34.70	36.41	38.06	32.26	34.44	35.86	38.16
乾燥汚泥含水率	%	14.7	7.7	6.2	6.4	10.3	9.9	13.8	7.3	13.5
蒸発水分量	t/日	5.746	4.123	9.348	8.422	9.585	11.799	9.366	9.482	7.389
乾燥空気流量(乾燥機入口)	Nm ³ /hr	15,010	15,010	18,003	15,989	17,998	18,006	15,988	17,966	15,994
乾燥空気流速(入口付近)	m/s(actual)	0.505	0.524	0.632	0.561	0.632	0.632	0.561	0.631	0.539
乾燥機入口空気温度	°C	190	207	210	210	210	210	210	210	191
乾燥機出口空気温度	°C	147	174	171	166	170	159	166	169	147
白煙防止空気量	Nm ³ /h	6520	6610	3810	4338	4,101	4,545	3,787	4,096	6,868
白防入口温度	°C	322	321	335	335	332	335	336	335	324
消化ガス使用量	Nm ³ /h	0.0	0.0	40.0	31.1	39.7	46.4	39.6	39.0	0.0
投入熱量/蒸発熱量	—	2.21	2.71	1.79	1.89	1.76	1.67	1.78	1.81	1.80
燃料化設備導入前燃料使用量	ℓ/h	113.6	113.5	115.2	115.8	125.6	117.0	122.9	115.5	121.8
燃料化設備導入後燃料使用量	ℓ/h	90.0	95.3	64.4	71.1	81.2	47.5	52.0	60.9	76.1
補助燃料削減量	ℓ/h	23.6	18.2	50.8	44.7	44.4	69.5	70.9	54.6	45.7
補助燃料代替効率	%	61.9	70.3	82.7	82.5	70	92	100	92	95
電力使用量	kWh/h	72.3	72.1	79.0	75.8	79.5	77.6	73.7	77.2	71.6
補助燃料単価(仮定)	円/L	91	91	91	91	91	91	91	91	91
電気単価(仮定)	円/kWh	12	12	12	12	12	12	12	12	12
年間稼働日数(仮定)	日/年	320	320	320	320	320	320	320	320	320
補助燃料削減費用	千円/年	16,493.6	12,719.6	35,503.1	31,239.9	31,030.3	48,572.2	49,550.6	38,158.8	31,938.8
電力使用量	千円/年	6,663.2	6,644.7	7,280.6	6,985.7	7,326.7	7,151.6	6,792.2	7,114.8	6,598.7
維持管理費削減費用	千円/年	9,830.4	6,074.9	28,222.5	24,254.2	23,703.6	41,420.5	42,758.4	31,044.1	25,340.2
A重油排出係数	t-CO ₂ /kL	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71
電力拂出係数	t-CO ₂ /kWh	0.00055	0.00055	0.00055	0.00055	0.00055	0.00055	0.00055	0.00055	0.00055
CO ₂ 排出量	t-CO ₂ /年	-185.8	-74.2	-723.6	-610.2	-588.3	-1,118.7	-1,164.3	-810.3	-648.7

保温工事前 ← 保温工事後 →

1. 実証試験結果

(7) 実証試験の評価

実証試験の評価を**表資料 1-3**に示す。

表資料 1-3 実証試験の評価

実証項目		各項目の実証方法	成 果	評 価
汚泥固形燃料化設備 処理能力		実証運転で安定状態での能力確認	表資料 1-2 の汚泥固形燃料化設備処理量を確認した	○
焼却炉補助燃料使用 量		実証運転で測定	汚泥固形燃料の焼却炉での使用により、補助燃料が削減された	○
汚泥固形燃料化設備 電力使用量		実証運転で測定	電力使用量を算定した (電力費用を差し引いても十分なコスト削減があることを確認した)	○
汚 泥 固 形 燃 料 の 品 質	含水率	分析	20%以下を確認	○
	灰分	分析	50%以下を確認	○ 表資料 1-6 参照
	総 発 熱 量	分析	8MJ/kg-湿以上を確認	○ 表資料 1-6 参照

1. 2 汚泥固形燃料化設備（表面固化乾燥装置）の性能確認

(1) 乾燥時間

乾燥機には3段のバンドコンベヤが設置されており、その搬送速度は、汚泥投入量や必要乾燥時間等により適正に設定される。また、各段バンドの移動速度は各段の役割によって設定されることとなる。即ち、以下の条件を満たすように調整される。

① 最小搬送速度の確保

1段目のバンドは投入される脱水汚泥をバンド上に堆積させることなく下流に搬送することが求められる。図資料 1-2(b)に示すように射出された脱水汚泥の形状が崩れることなく移送される時のバンド搬送速度を、その投入汚泥量に対する最小搬送速度とする。最小搬送速度未満の搬送速度では汚泥はバンド面に堆積してしまい（図資料 1-2 (a)）、乾燥空気流の偏り、表面固化乾燥不十分、更には閉塞の原因となる。また、最小搬送速度を超える搬送速度では、汚泥のちぎれが発生するものの、汚泥搬送上の不具合は発生しない（図資料 1-2 (c)）。

② 必要滞留時間の確保

最小搬送速度確保の一方で、1段目の終了段階でバンド面への付着がなく、剥がれ、2段目に容易に落下するまで表面の乾燥がなされる滞留時間の確保が必要となる。このため、バンドの搬送速度には上限がある。すなわち、バンドの搬送速度の上限値で移送可能な汚泥量が本機の処理能力の上限となる。

表資料 1-4 は脱水汚泥投入量における最小搬送速度となるバンド搬送速度を示したものである。バンド搬送速度の算出は以下である。

最小搬送速度(図資料 1-2(b)の状態)において、1段目バンドの搬送速度 $v(\text{mm/s})$ は

$$\begin{aligned} v &= (\text{汚泥投入量} / \text{脱水汚泥比重}) \div (\text{成型物断面縦} \times \text{成型物断面横} \times \text{射出口数}) \\ &= \text{汚泥投入量}(\text{kg/h}) \div 1000(\text{kg/m}^3) \times 1000 \div 3600(\text{s/h}) \div (0.01(\text{m}) \times 0.012(\text{m}) \times 144(\text{個})) \\ &= \text{汚泥投入量}(\text{kg/h}) \div 62.2 \end{aligned}$$

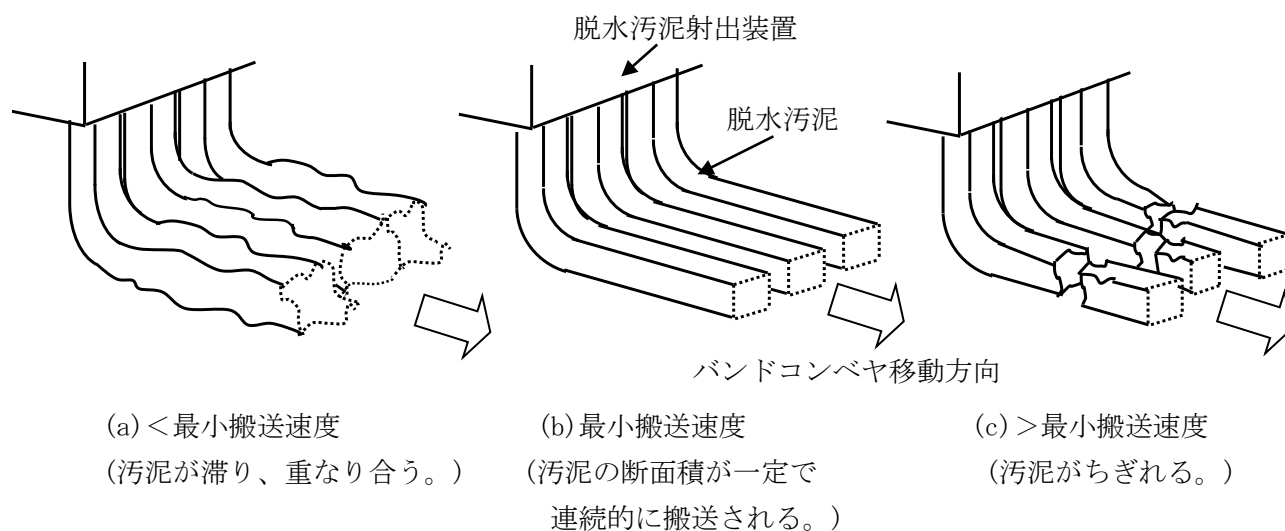
滞留時間 $t(\text{min})$ は

$$\begin{aligned} t &= \text{バンド長さ} \div v \\ &= 7000(\text{mm}) \div v \div 60(\text{s/min}) \\ &= 116.67 \div v \end{aligned}$$

平成 24 年度実証運転に先立つ予備実験（平成 25 年 2 月）の結果から、1段目の滞留時間は最短でも 10 分程度必要であることが明らかとなった。本実証設備では1段目の滞留時間に余裕を見込み、10～15 分程度に設定することとした。投入汚泥の限界処理量は約 600kg/h(14.4t/h)である。

一方、2、3段目のバンドコンベヤ速度は、所定含水率まで汚泥を乾燥するのに必要な総計の滞留時間の確保から設定される。平成 24 年度予備実験での実験結果から総滞留時間は約 60～75 分程度であったので、2、3段目の滞留時間を各段 25～30 分程度で運転することとした。実証運転では予め熱計算で算出した乾燥空気条件を中心に、コンベヤ搬送速度を変化させ、汚泥の乾燥状況や機器の運転状況を観察して安定運転条件を把握することとした。

1. 実証試験結果



(参考写



図資料 1-2 1 段目バンドコンベヤ搬送速度

表資料 1-4 実証設備のバンド搬送速度と滞留時間の目安

脱水汚泥投入量		1 段目			2 段目	3 段目	総滞留時間
		最小搬送速度	滞留時間	設定滞留時間	設定滞留時間	設定滞留時間	
t/日	kg/h	mm/s	分	分	分	分	分
4.8	200	3.22	36.2	10～20	25～30	25～30	65～75
7.2	300	4.82	24.2				
9.6	400	6.43	18.1	10～14.5	25～30	25～30	65～75
12.0	500	8.04	14.5				
14.5	600	9.65	12.1	10～12	25～30	30～43	70～80
15.0	625	10.05	11.6				

1) 表面固化乾燥時間

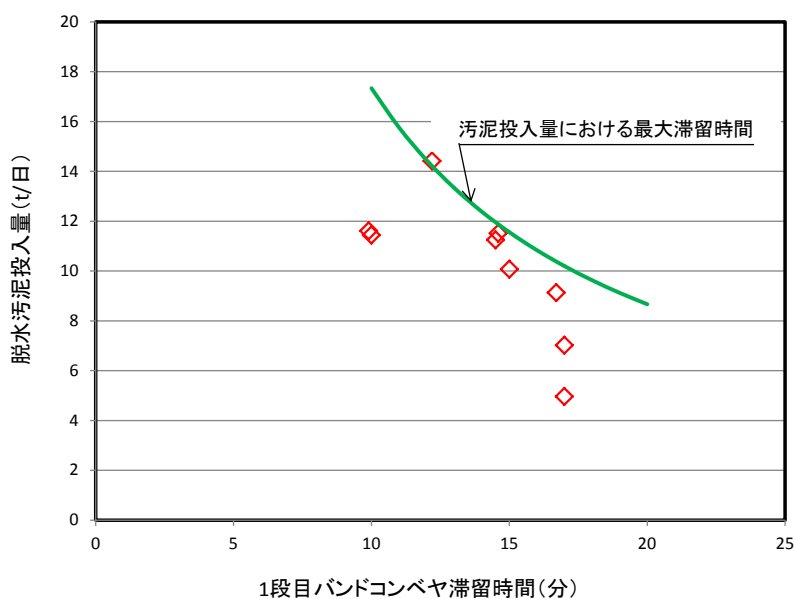
表資料 1-5 に各実証運転における各段のバンドコンベヤの設定した滞留時間を示す。

表資料 1-5 バンドコンベヤ滞留時間設定値

(単位：分)

	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN3'	RUN5	RUN6	RUN7	RUN8
1段目	17.0	17.0	14.5	15.0	10.0	12.0	10.0	14.5	16.9
2段目	25.0	30.0	30.0	30.0	30.0	25.0	30.0	30.0	30.0
3段目	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	43.0	26.0	30.0	30.0
合計	72.0	77.0	74.5	75.0	70.0	80.0	66.0	74.5	76.9

図資料 1-3 に実証運転における 1 段目のバンドコンベヤ滞留時間と脱水汚泥投入量の設定値を示す。図中、緑線は投入汚泥量と最小搬送速度時の滞留時間(最大滞留時間と言う)の関係(表資料 1-4 参照)を示すものである。安定した運転が確認された実証実験は、**最大滞留時間以下**で運転されたおり、搬送上の不具合が発生しない条件で実施されていることを示している。

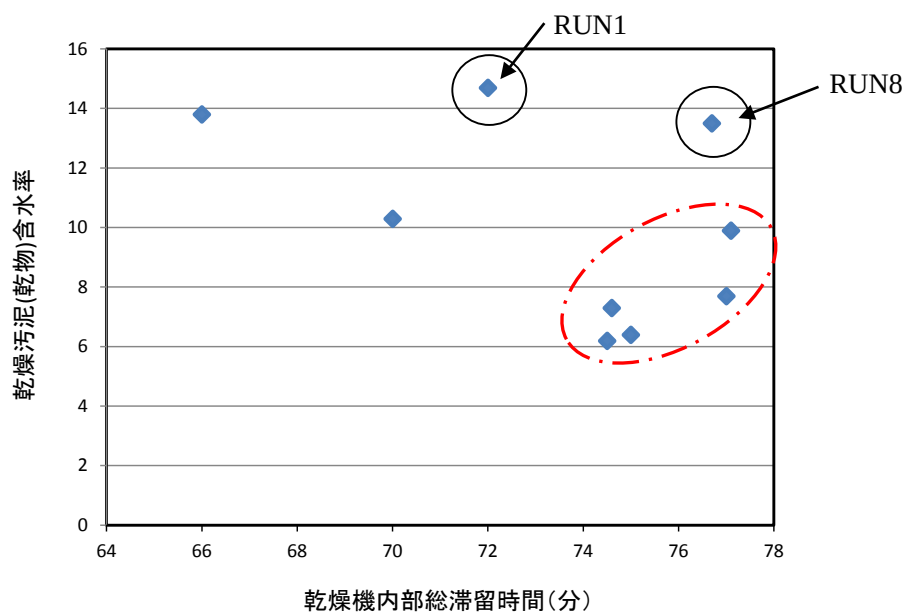


図資料 1-3 1 段目滞留時間の設定

2) 総滞留時間

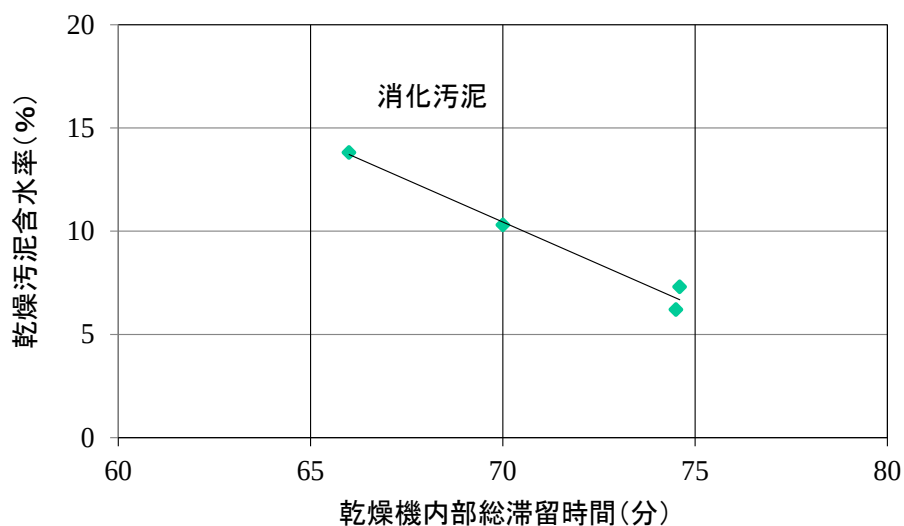
図資料 1-4 に各実証運転の機内総滞留時間設定値と排出された乾燥汚泥含水率の関係を示す。乾燥機内の総滞留時間に対して乾燥汚泥の含水率はバラツキがあるが、負の相関が見られ、10%の含水率を得るためには概ね **75 分程度の滞留時間が必要**(赤破線で囲った点)と考えられる。図中に示した RUN1 及び RUN8 は乾燥空気加熱源として焼却炉廃熱のみを利用した場合の結果であり、乾燥機入口温度が他に比べて低かったことにより、乾燥機内のガス温度が低く、含水率が高くなったものと考えられる。乾燥機入口温度は 200℃以上が望ましい。

1. 実証試験結果



図資料 1-4 乾燥汚泥含水率の結果

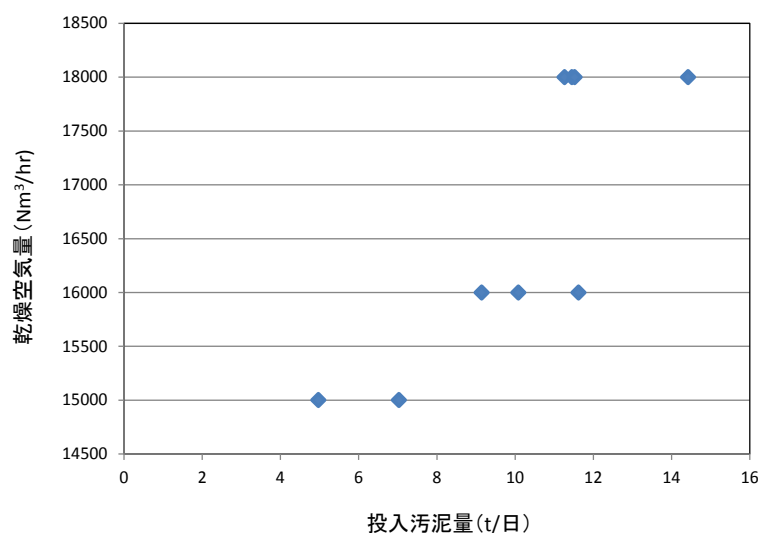
図資料 1-4 から投入エネルギーが同程度の RUN のみを抽出したものを図資料 1-5 に示す。総滞留時間と乾燥汚泥含水率がほぼ直線的に相関しており、乾燥汚泥の含水率は総滞留時間によって調整可能である。1 段目バンドコンベヤの滞留時間は前述のように最大滞留時間以下とする必要があるため、2 段目及び 3 段目のバンドコンベヤの速度調整により、総滞留時間を設定することとなる。このため、実設備においては総滞留時間が 40 分から 100 分程度に調整可能となるように 2 段目、3 段目のバンドコンベヤを可変とする。



図資料 1-5 総滞留時間の調整

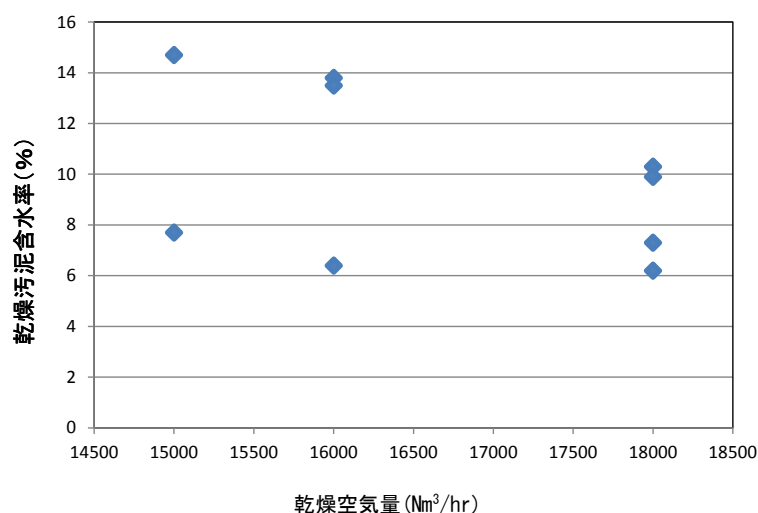
(2) 乾燥空気量

乾燥空気量と乾燥汚泥含水率の関係を示す。汚泥の乾燥には乾燥機内にある程度の流速が必要であることから、本実証運転では**乾燥空気量/有効乾燥面積=1000～1200Nm³/m²・hr**の範囲で乾燥空気量を設定した。投入汚泥量と乾燥空気量の関係を図資料 1-6 に示す。投入汚泥量の増加に伴い乾燥空気量を増加させることで、安定した乾燥が行われることが確認できた。



図資料 1-6 実証運転時の乾燥空気量

また、乾燥空気量と乾燥汚泥含水率の関係を図資料 1-7 に示す。乾燥空気量が 15000Nm³/hr と 16000Nm³/hr の場合に比較的含水率が高めのデータがあるが、この範囲であれば良好な結果が得られた。したがって、乾燥空気量は **1200 Nm³/m²・hr** を基準として、インバータ等で適宜調整することとする。

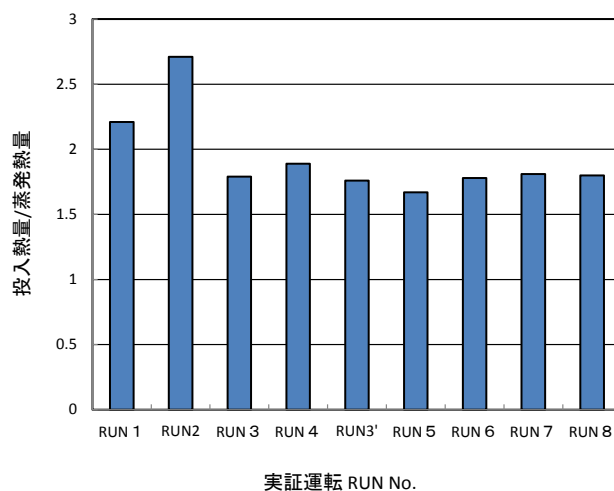


図資料 1-7 乾燥空気量と乾燥汚泥含水率

1. 実証試験結果

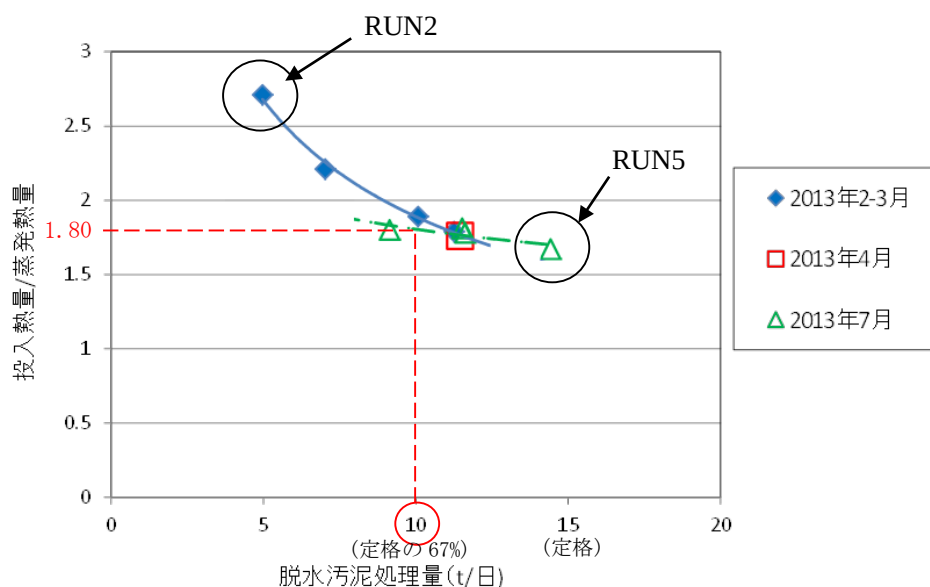
(3) 乾燥熱源

脱水汚泥中の水分で蒸発した蒸気熱量に対して、焼却炉廃熱や消化ガス等で固形燃料化設備に投入した熱量の比を、運転時の設備トータル熱効率を評価する指数として算出した。結果は表資料 1-2 に示してあるが、図資料 1-8 に図示する。RUN1 及び RUN2 で投入熱量が蒸発熱量の 2 倍以上必要としているが、その他の運転では 2 倍以下であった。RUN2 が最も大きく 2.71 であり、RUN5 が最も小さく 1.67 であった。



図資料 1-8 実証運転の投入熱量/蒸発熱量

図資料 1-9 は各運転での脱水汚泥処理量と投入熱量/蒸発熱量の関係を示したものである。脱水汚泥処理量の増加に伴い投入熱量/蒸発熱量は減少しており、処理量が多い、即ち、負荷の高い条件での運転の方が乾燥機の熱効率が高いことを示している。RUN5 は設計上、最大処理量での運転例であり、投入汚泥量が最も多い運転であった。RUN2 は本実証運転中、最も投入汚泥量が少ない運転であった。



図資料 1-9 乾燥機負荷と熱効率－保温工事の影響

(4) 保温工事の影響

図資料 1-9 で、青のシンボル(◆)は保温工事前の平成 24 年度実施の連続運転のデータである。赤(□)及び緑(△)のシンボルは保温工事後に行った平成 25 年度の運転結果である。9t/日付近では保温工事により投入熱量/蒸発熱量が低下している。実証設備は定格が 15t/日であったが、**処理負荷が定格の約 70%の 10t/日以上ではともに 1.8 以下**となり、約 11t/日以上では工事前後での差異はほとんどなく、処理量の増加に対する投入熱量/蒸発熱量は、概ね同一の傾向で低下(効率が向上)している。

一般に温度条件が同一の場合には、乾燥機本体からの熱損失は、放熱する表面積に影響するので、投入汚泥量(蒸発熱量)の大小によらず一定と考える。したがって、投入熱量/蒸発熱量は、低負荷運転時には相対的に大きく、処理量が大きくなると相対的に小さくなると考えられる。このため、図資料 1-10 のように、保温の効果は汚泥処理量の比較的小さい条件のときに顕著になると考えられる。

1. 実証試験結果

(5) 汚泥固形燃料の補助燃料代替使用

固形燃料となった乾燥汚泥を既設焼却炉の補助燃料として使用することで、従来から使用しているA重油の使用量を低減することが可能である。焼却炉に投入した汚泥固形燃料のエネルギーが、A重油の削減に寄与した割合(補助燃料代替効率と称する。)を算出して汚泥固形燃料を評価した。

図資料1-10に各RUNにおける既設焼却炉へ投入した汚泥固形燃料の総熱量(汚泥固形燃料投入熱量)と、既設焼却炉の補助燃料削減熱量を示す。

ここで、

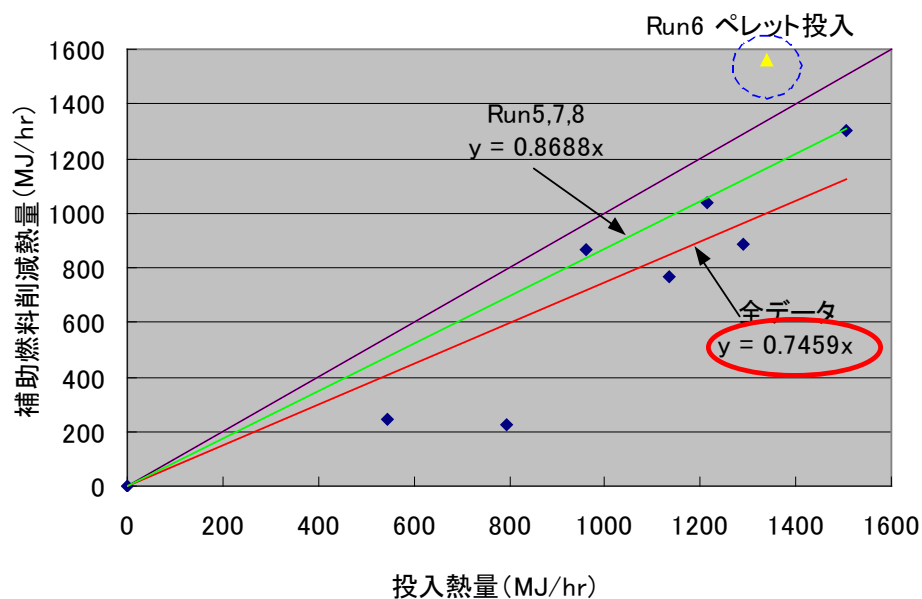
汚泥固形燃料投入熱量

=既設焼却炉への汚泥固形燃料投入量×汚泥固形燃料発熱量(湿ベース低位)

補助燃料削減熱量=既設焼却炉での補助燃料(A重油)削減量×A重油発熱量

である。

よって、全ての RUN のデータ(ただし、RUN6 はペレット化しているため除く)から、汚泥固形燃料投入熱量あたりの補助燃料削減熱量の割合(補助燃料代替効率)を75%とする。



図資料 1-10 補助燃料削減熱量

(6) 汚泥固形燃料性状及び臭気分析結果

冬季(RUN1、RUN2、RUN3、RUN4)及び夏季(RUN7)連続運転時の脱水汚泥及び汚泥固形燃料の性状分析、安全性評価試験及び運転時の排ガス分析を実施した。

1) 汚泥固形燃料性状分析

各 RUN の脱水汚泥と汚泥固形燃料について以下の分析を実施した。

- ・工業分析
- ・元素分析
- ・重金属含有量
- ・灰分組成
- ・発熱量
- ・比重
- ・HGI
- ・粒度分布

結果を表資料 1-6 に示す。比較のために冬季連続運転実施期間中の分析例を掲載しておく。夏季は冬季に比べ灰分が増加し、揮発分が 10%以上低下している。このため、発熱量も同程度の低下が見られる。

1. 実証試験結果

表資料 1-6 汚泥固形燃料性状分析結果

分析項目	単位	RUN1 (7t/日)				RUN2 (5t/日)				RUN3 (11.3t/日)				RUN4 (100t/日)				RUN7 (11.3t/日)	
		脱水汚泥 検体1	脱水汚泥 検体2	乾燥汚泥 検体1	乾燥汚泥 検体2	脱水汚泥 検体1	脱水汚泥 検体2	乾燥汚泥 検体1	乾燥汚泥 検体2	脱水汚泥 検体1	脱水汚泥 検体2	乾燥汚泥 検体1	乾燥汚泥 検体2	脱水汚泥 検体1	脱水汚泥 検体2	乾燥汚泥 検体1	乾燥汚泥 検体2	脱水汚泥	乾燥汚泥
工業 分析	含水率	84.8	85	10.2	10.5	84.6	84.5	2.2	2.4	84.8	84.8	5.9	4.7	84.9	84.8	1.7	2.9	83.6	4.6
	灰分	3.2	3	18.7	17.9	3.2	3.3	20.2	20.8	3.4	3.4	21	20.8	3.3	3.1	21.1	19.2	4.4	25.6
	揮発分	10.6	10.8	63.5	65.5	11.3	10.7	71.2	64.6	10.2	10.2	62.7	63.4	11.2	10.9	66.3	65.8	9.9	57.1
	固定炭素	1.4	1.2	7.6	6.1	0.9	1.5	6.3	12.2	1.6	1.6	10.4	11.1	0.7	1.2	10.9	12.1	2.1	12.7
元素 分析	元素組成C	41.6	41.1	-	42.1	41.7	41.1	-	41.6	40.1	40.1	-	42.1	40.8	41.6	-	40.1	37.2	38.1
	元素組成H	6.54	6.23	-	6.22	6.57	6.32	-	6.26	5.95	5.95	-	6.26	6.74	6.62	-	6.08	6.22	5.99
	元素組成N	7.35	7.21	-	7.34	7.43	7.08	-	7.06	6.49	6.49	-	7.18	7.35	7.4	-	6.92	6.47	6.33
	全硫黄	10000	9700	-	9300	9500	9600	-	10000	9700	9700	-	10000	9200	8500	-	8400	11000	11000
	燃焼性硫黄	10000	9600	-	9000	8900	9200	-	9900	8900	8900	-	9400	8700	8000	-	8000	11000	11000
	元素組成O	22.3	24.1	-	23.4	22.4	23	-	22.7	24.3	24.3	-	21.6	22.5	23.4	-	26.2	22.2	21.6
	全塩素	820	790	-	890	900	850	-	970	900	900	-	810	800	750	-	740	950	1000
	全りん	27000	26000	-	26000	27000	27000	-	28000	30000	30000	-	29000	28000	27000	-	25000	27000	28000
	カルシウム	-	-	-	1.6	-	-	-	1.7	-	-	-	1.1	-	-	-	1	-	1.3
	六角クロム	-	-	-	1未満	-	-	-	1未満	-	-	-	1未満	-	-	-	1未満	-	1未満
重金屬含有 量	全シアン	-	-	-	1未満	-	-	-	1未満	-	-	-	1未満	-	-	-	1未満	-	1未満
	総水銀	-	-	-	0.3	-	-	-	0.25	-	-	-	0.31	-	-	-	0.25	-	0.28
	セレン	-	-	-	2	-	-	-	3	-	-	-	2	-	-	-	2	-	3
	鉛	-	-	-	1未満	-	-	-	1未満	-	-	-	3	-	-	-	1未満	-	1未満
	砒素	-	-	-	7	-	-	-	5	-	-	-	6	-	-	-	6	-	7
	ふっ素	-	-	-	350	-	-	-	340	-	-	-	220	-	-	-	280	-	280
	ほう素	-	-	-	33	-	-	-	29	-	-	-	39	-	-	-	34	-	40
	全クロム	-	-	-	38	-	-	-	28	-	-	-	59	-	-	-	61	-	-
	アルミニウム	-	-	-	14000	-	-	-	14000	-	-	-	13000	-	-	-	13000	-	-
	SiO ₂	-	-	-	23.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25.3	-	31.7
灰分組 成	Al ₂ O ₃	-	-	-	12.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	10.7
	Fe ₂ O ₃	-	-	-	6.81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.94	-	6.67
	CaO	-	-	-	11.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.4	-	10.3
	P ₂ O ₅	-	-	-	28.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30.4	-	23.1
	TiO ₂	-	-	-	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.27	-	0.29
	MgO	-	-	-	5.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.48	-	4.98
	Na ₂ O	-	-	-	0.81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.82	-	0.72
	K ₂ O	-	-	-	1.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.96	-	1.25
	MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.12
	MnO ₂	-	-	-	0.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.11	-	-
	ZnO	-	-	-	0.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.37	-	-
	PbO	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01未満	-	-
	V ₂ O ₅	-	-	-	0.01未満	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01未満	-	0.01
	SO ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.52
	高位発熱量	19.3	19.4	19.3	19.4	18	18.6	19.2	18.4	18.9	18.9	18.7	19.3	18.8	19.3	19.1	19.6	17	17
	低位発熱量	17.8	18	17.8	18	16.5	17.2	17.8	16.9	17.6	17.6	17.4	17.9	17.3	17.8	17.7	18.2	15.6	15.6
	比重	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6
	HGI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31
	粒度分布	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.80
		1mm以下の割合																	

注) 冬季データ RUN1～RUN4 の工業分析、元素分析、発熱量の分析に関しては、汚泥性状のばらつきをみるために連続運転中に2回 (別日) 行った。

冬季データの結果、汚泥性状のばらつきはなく、夏季データ RUN5～RUN8 は同時期に行ったため、代表として RUN7 のみの分析を行った。

発熱量の測定は各 RUN で 1 ないし 2 サンプルを採取し、乾ベースの総発熱量（高位発熱量）及び低位発熱量を測定した。湿ベースでの発熱量は各 RUN の安定した運転状態の 12 時間に現場にて計測した 5 回の平均値を以って乾ベースから次式より算出した。表資料 1-7 に結果を示す。

$$\text{総発熱量(湿ベース)} = \text{総発熱量(乾ベース)} \times (1 - \text{含水率}/100) - 2.50 \text{ 含水率}/100$$

表資料 1-7 汚泥燃料発熱量

RUN No.		RUN1		RUN2		RUN3		RUN4		RUN7
試料 No.		1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2	4-1	4-2	7
総発熱量(乾ベース)	MJ/kg-dry	19.3	19.4	19.2	18.4	18.7	19.3	19.1	19.6	17.0
低位発熱量(乾ベース)	MJ/kg-dry	17.8	18.0	17.8	16.9	17.4	17.9	17.7	18.2	15.6
含水率※	%	14.7		7.7		6.2		6.4		7.3
総発熱量(湿ベース)	MJ/kg-wet	16.1	16.2	17.5	16.8	17.4	17.9	17.7	18.2	15.6
低位発熱量(湿ベース)	MJ/kg-wet	14.8	15.0	16.2	15.4	16.2	16.6	16.4	16.9	14.3

※各 RUN で安定した運転状態の 12 時間に現場で計測した 5 回の平均値

2) 製品の安全性評価

①粉塵爆発試験

可燃性粉塵の爆発下限濃度測定方法(JIS Z8188)により各 RUN の汚泥固形燃料の試験を実施した。結果を表資料 1-8 に示す。全ての試料で着火・爆発性が確認されたが、爆発下限濃度は 120g/m³ 以上であり、十分大きく、爆発性は「低」と評価された。

表資料 1-8 粉塵爆発試験結果

	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN7
	乾燥燃料	乾燥燃料	乾燥燃料	乾燥燃料	乾燥燃料
着火、爆発の有無	有	有	有	有	有
見かけの下限濃度	150g/m ³	130g/m ³	150g/m ³	120g/m ³	120g/m ³
爆発性	低	低	低	低	低

②発生ガス分析

「下水汚泥固形燃料発熱特性評価試験マニュアル 4.3.2」に準拠し、試料 50g、試料 50g＋水 12.5g を別々の 1000ml ガラス瓶に入れ、26±1℃の環境下で 10 日間密栓保持した後、発生したガスをガスクロマトグラフで測定した。結果を表資料 1-9 に示す。水素及び一酸化炭素は水添加の有無に限らずに 0.1%未満であり、発生はなかった。メタンガスについては爆発限界値 5.3%に比して、最大でも 6ppm(=0.0006%)であり、爆発にいたる可能性は低いと判断される。

1. 実証試験結果

表資料 1-9 発生ガス分析結果

	RUN1		RUN2		RUN3		RUN4		RUN7	
	燃料	燃料+水	燃料	燃料+水	燃料	燃料+水	燃料	燃料+水	燃料	燃料+水
水素(%)	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満
メタン(ppm)	1未満	2	1未満	5	1未満	6	1未満	4	2	1未満
一酸化炭素(%)	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満
二酸化炭素(%)	0.6	2.2	0.2	2	0.2	3.6	0.1未満	4.1	0.1未満	0.4

③自然発火試験

250 μ m 以下に調整した試料を自然発火試験装置(島津製作所製 SIT-2)の専用セルに約 2ml 装填し、50℃に設定した装置内に保持した。試料の温度が 50℃で安定するまで窒素 5ml/min を流通させ、温度安定後流通ガスを空気 5ml/min に切り替え、発火に至るまでの時間と温度履歴データを採取した。尚、発火に至らなかった際のモニタリング上限時間は 48 時間とした。結果を表資料 1-10 に示す。50℃程度である程度時間が経過すると発火の危険性がある。ホッパー内の温度管理、発火時の対策（窒素パージや散水設備の設置）は必要と考える。

表資料 1-10 自然発火試験結果

	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN7
	乾燥燃料	乾燥燃料	乾燥燃料	乾燥燃料	乾燥燃料
発火	発火有	発火有	発火有	発火有	発火無
急激な温度上昇	40hr	30hr	22hr	40hr	—

④熱重量測定/示差熱分析

RUN7 の汚泥固形燃料について示差熱熱重量同時測定装置(セイコーインスツルメンツ製 TG/DTA320)で分析を行った。発火温度は 451℃であった。

3) 製品臭気

有姿の汚泥固形燃料 1g につき 6L の無臭空気に入れ、24 時間放置したものをサンプル空気として、三点比較式臭袋法による官能試験を行った。結果を表資料 1-11 に示す。

(臭気濃度とは、無臭の清浄な空気希釈したとき、無臭に至るまでに要した希釈倍率である。臭気指数とは、臭気濃度の常用対数に 10 倍したものである。)

測定された臭気指数は 35～39 であり、下水道事業団「下水汚泥固形燃料化システムの技術評価に関する報告書」(平成 20 年度 3 月)の記載値(34)と同程度である。

表資料 1-11 汚泥固形燃料臭気分析結果

分析項目	単位	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4
		乾燥汚泥	乾燥汚泥	乾燥汚泥	乾燥汚泥
臭気濃度	—	4000	7900	3200	5000
臭気指数	—	36	39	35	37
アンモニア	ppm	0.9	—	—	0.8
硫化水素	ppm	0.006未満	—	—	0.006未満
メチルメルカプタン	ppm	0.0072	—	—	0.0052
硫化メチル	ppm	0.004	—	—	0.002未満
二硫化メチル	ppm	0.004	—	—	0.006
アセトアルデヒド	ppm	0.01未満	—	—	0.01未満
スチレン	ppm	0.2未満	—	—	0.2未満
トリメチルアミン	ppm	0.001未満	—	—	0.001未満

4) 排気性状等

汚泥固形燃料化設備の乾燥空気系のガス性状を分析した。表資料 1-12 は抽気ガスのスクラバー式排気処理後の臭気分析及び組成性状を示すものである。排気には臭気成分が多く、大気放散する前に、何らかの除去設備が必要である。

1. 実証試験結果

表資料 1-12 排気処理後の排ガス臭気成分結果

	単位	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN7※2
臭気濃度	—	25000	40000	79000	16000	13000
臭気指数	—	44	46	49	42	41
アンモニア	ppm	3.1	4.9	1.6	2.5	4.1
硫化水素	ppm	0.28	0.32	0.64	0.14	0.15
メチルメルカプタン	ppm	0.79	0.63	0.46	0.047	0.1
硫化メチル	ppm	0.001未満	0.001未満	0.32	0.12	0.11
二硫化メチル	ppm	0.041	0.034	0.08	0.073	0.013
アセトアルデヒド	ppm	0.081	0.02	0.005未満	0.005未満	0.005未満
スチレン	ppm	0.04未満	0.04未満	0.04未満	0.04未満	0.04未満
トリメチルアミン	ppm	0.0011	0.0009	0.0029	0.0034	0.0007
水分量	v/v%	1.85 ※1	2.05 ※1	2.25 ※1	2.1 ※1	3.1
ダスト濃度	g/Nm ³	—	0.004未満	—	—	0.005未満
残存酸素量	v/v%	—	—	—	—	15.9
窒素酸化物濃度	volppm	—	—	—	—	81
硫黄酸化物濃度	volppm	—	—	—	—	2未満
塩化水素濃度	mg/Nm ³	—	—	—	—	5未満
亜酸化窒素濃度	volppm	—	—	—	—	6.3

※1 サンプル2回の平均値

※2 排ガス量(測定値): 1,150Nm³/h

表資料1-13および表資料1-14は乾燥機入口及び出口の乾燥空気の水分及びダスト濃度である。

表資料 1-13 乾燥機入口水分量測定結果

	単位	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN7
水分量	v/v%	23 ※1	20.1 ※1	37.15 ※1	31.4 ※1	38.7
ダスト濃度	g/Nm ³	—	—	—	—	0.007未満

※1 サンプル2回の平均値

表資料 1-14 乾燥機出口水分量測定結果

	単位	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN7
水分量	v/v%	20.45 ※1	19.05 ※1	35.3 ※1	30.05 ※1	33.6
ダスト濃度	g/Nm ³	—	0.005未満	—	—	0.006未満

※1 サンプル2回の平均値

表資料 1-15 は排気処理塔排水の分析例である。

表資料 1-15 排気処理塔排水分析結果

	単位	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN7
pH	—	—	—	9.2 ※1	9.2 ※1	—
浮遊物質	mg/L	—	—	6 ※1	5.5 ※1	—
化学的酸素要求量	mg/L	—	—	12 ※1	13 ※1	—
シアン化合物	mg/L	—	—	0.1未満	0.1未満	—
窒素含有量	mg/L	—	—	42 ※1	49 ※1	—
アンモニア性窒素	mg/L	—	—	36.5 ※1	48 ※1	—
亜硝酸性窒素	mg/L	—	—	0.58 ※1	0.35 ※1	—
りん含有量	mg/L	—	—	0.75 ※1	0.8 ※1	—

※1 サンプル2回の平均値

(7) 本技術の N₂O 発生原単位

本技術の N₂O 発生原単位は、Run No.7 における実績（表資料 1-2 及び表資料 1-12）より次式で算出。

N₂O 排出量(kg/日)

= 排ガス量(Nm³/h)×N₂O 濃度(Nm³/Nm³)×24(h/日)×N₂O 分子量(kg/kmol)/22.4(Nm³/kmol)

= $1,150 \times 6.3 \times 10^{-6} \times 24 \times 44 / 22.4 = 0.3416$

原単位(kg-N₂O/t-w)

= N₂O 排出量(kg/日)/乾燥機処理汚泥量(t-w/日)

= $0.3416 / 11.52 = 0.0296$ (kg-N₂O/t-w)

表資料 1-16 革新的技術の N₂O 発生原単位

設 備	種類	単位	原単位	出典
表面固化乾燥装置	N ₂ O	kg- N ₂ O /t-wet	0.0296	実証試験による※

※Run No.7 における実績 表資料 1-2 及び表資料 1-12 より算出

2. ケーススタディ

本ガイドライン第3章 第2節 導入効果の評価例で行ったケーススタディについて、従来技術の算出方法及び革新的技術（固形燃料化技術）の試算条件、試算結果を補足する。

なお、本ガイドラインで革新的技術との比較に用いた従来技術及び参考資料は、下記のとおりである。

- ・汚泥焼却炉：「バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル」平成16年3月
- ・汚泥固形燃料化施設：「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）」平成23年3月

2. 1 従来技術の試算条件及び算出方法

本節では、従来技術の試算条件及び算出方法について記載する。

2. 1. 1 コスト

(1) 建設費

建設費の算出には、工種別に積算して、以下の係数を乗じて算出した年価について比較を行う。

$$\text{建設費年価（百万円/年）} = \text{建設費（億円）} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \times 100$$

ここで

i：利子率（割引率）、2.3% とする

n：耐用年数

耐用年数を表資料2-1に示す。

表資料2-1 設備の耐用年数

設 備	項 目	耐用年数
汚泥焼却炉	土木・建築工事	45 年
	機械設備工事	20 年
	電気設備工事	20 年
従来型燃料化設備	燃料化施設建設 （土木・建築、機械、 電気設備工事含む）	20 年

建設工事費は費用関数を用いて算出した。

表資料 2-2 従来技術の費用関数

技 術	設 備	建設費（億円）	備考	出典
従来技術	流動床焼却処理設備 土木・建築工事費※2	$Y=1.361Xd^{0.380}$	Xd：施設規模 (t-wet/日)	※1
	流動床焼却処理設備 機械設備工事費※2	$Y=1.888Xd^{0.597}$	Xd：施設規模 (t-wet/日)	※1
	流動床焼却処理設備 電気設備工事費※2	$Y=0.726Xd^{0.539}$	Xd：施設規模 (t-wet/日)	※1
	汚泥燃料化設備 工事費（土木・建築、 機械、電気工事含む）	$Y=2.7774Xd^{0.5122}$	Xd：施設規模 (t-wet/日)	※2

※1 「バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル」国土交通省、社団法人日本下水道協会（平成 16 年 3 月）

※2 「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）」国土交通省（平成 23 年 3 月）

※3 流動焼却炉の費用関数に関しては、下記の建設工事費デフレーターにより補正した。

表資料 2-3 建設工事費デフレーター

工事種別	2010 年度	2003 年度
下水道	104.4	97.6

出典：国土交通省 HP 建設工事費デフレーター

(2) 維持管理費

維持管理費は費用関数より算出する。

表資料 2-4 維持管理費（流動床焼却処理）の費用関数

技 術	設 備	維持管理費 (百万円/年)	備考	出典
従来技術	流動焼却処理 維持管理費※3	$Y=0.287Xy^{0.673}$	Xy：施設規模 (t-wet/年)	※1
	従来型汚泥燃料化施設 維持管理費	$Y=1.8697Xd+96.31$	Xd：施設規模 (t-wet/日)	※2

※1 「バイオソリッド利活用基本計画 策定マニュアル」国土交通省、社団法人日本下水道協会（平成 16 年 3 月）

※2 「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）」国土交通省（平成 23 年 3 月）

※3 建設工事費デフレーターにより補正（表資料 2-3 参照）

2. ケーススタディ

(3) 製造燃料運搬費・販売益（場外利用）

場外利用については、汚泥固形燃料の運搬費および販売による収益を考慮する。

燃料運搬費＝ 燃料製造量(t/年)×運搬単価(円/t)

燃料販売益＝－燃料製造量(t/年)×販売単価(円/t)

本ガイドラインのケーススタディで採用した単価を表資料 2-5 に示す。

表資料 2-5 燃料運搬・販売単価(円/t)

項 目	単位	単価
運搬単価	円/t	2,000
販売単価	円/t	105

(4) 灰処分費

場内利用については、灰を処分する費用を考慮する。

灰処分費＝脱水汚泥固形分量(t/年)×灰発生率(%)×灰処分単価(円/t)

灰発生率：43%

本ガイドラインのケーススタディで採用した単価を表資料 2-6 に示す。

表資料 2-6 灰処分単価

項 目	単位	単価
灰処分単価	円/t	8,000

(5) 解体・廃棄費

解体・廃棄費は、設備の耐用年数使用後の撤去に関わる費用である。算出方法は、建設費の 10%とした。

(6) LCC の算出

(1)～(5)で計算された項目の総和で、各技術を評価する。

2. 1. 2 温室効果ガス排出量

(1) 処理設備からの温室効果ガス排出量

設備稼働時に排出される温室効果ガス量を算出する。算出項目は以下の通りである。
また、それぞれの消費及び発生原単位および排出係数をそれぞれ表資料 2-7、表資料 2-8 に示す。

1) 電力由来の温室効果ガス発生量

$$\text{電力由来の発生量(t-CO}_2\text{/年)} = \text{電力原単位(kWh/t-wet)} \times \text{処理量(t-wet/年)} \\ \times \text{排出係数(kg-CO}_2\text{/kWh)} \times 10^{-3}$$

2) A 重油由来の温室効果ガス発生量

$$\text{A 重油由来の発生量(t-CO}_2\text{/年)} = \text{A 重油使用量(kL/年)} \times \text{排出係数(kg-CO}_2\text{/L)}$$

3) N₂O 排出由来の温室効果ガス発生量

$$\text{N}_2\text{O 排出由来の発生量(t-CO}_2\text{/年)} = \text{処理量(t-wet/年)} \\ \times \text{N}_2\text{O 発生原単位(kg-N}_2\text{O/t-wet)} \times \text{排出係数(kg-CO}_2\text{/kg-N}_2\text{O)} \times 10^{-3}$$

4) CH₄ 排出由来の温室効果ガス発生量（污泥焼却炉のみ）

$$\text{CH}_4\text{ 排出由来の発生量(t-CO}_2\text{/年)} = \text{処理量(t-wet/年)} \\ \times \text{CH}_4\text{ 発生原単位(kg-CH}_4\text{/t-wet)} \times \text{排出係数(kg-CO}_2\text{/kg-CH}_4\text{)} \times 10^{-3}$$

表資料 2-7 原単位

技 術	設 備	種 類	単 位	原単位	出典
従来 技術	污泥焼却設備 (・ 高分子凝集剤使用 脱水污泥 ・ 流動床 (高温))	電力	kWh /t-wet	100	※2
		A 重油	図資料 2-1、表資料 2-10 参照		※3
		N ₂ O	kg- N ₂ O /t-wet	0.645	※1
		CH ₄	kg- CH ₄ /t-wet	0.0097	
	従来型污泥燃料化設 備	電力	kWh /t-wet	117	※2
		A 重油	L /t-wet	77	※3
		N ₂ O	kg- N ₂ O /t-wet	0.02	※1

※1 「下水污泥エネルギー化技術ガイドライン（案）」国土交通省（平成 23 年 3 月）

※2 「污泥熱分解燃料化マニュアル」財団法人下水道新技術推進機構（2010 年 3 月）

※3 実績調査値

2. ケーススタディ

表資料 2-8 排出係数

種類	単位	排出係数	出典
電力	kg-CO ₂ /kWh	0.550	※1
A 重油	kg-CO ₂ /L	2.71	※2
N ₂ O	kg-CO ₂ /kg- N ₂ O	310	※2
CH ₄	kg-CO ₂ /kg- CH ₄	21	※2

※1 「電気事業者別の CO₂ 排出係数（2012 年度実績）」代替値， 環境省 地球環境局 地球温暖化対策課 ウェブサイト

(http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/h26_coefficient.pdf)

※2 「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」同上のウェブサイト

(<http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran.pdf>)

なお、上記(1) 2) A 重油由来の温室効果ガス発生量の算出に必要となる、消化工程と汚泥焼却炉を有し、消化ガスの一部または全量を汚泥焼却炉の補助と燃料として使用している下水処理場における汚泥焼却設備の補助燃料（消化ガスを除く化石燃料）使用量（A 重油換算値）の原単位は以下の手順で算出した。

①「下水道統計(平成 23 年度版)，公益社団法人日本下水道協会著」より、消化汚泥を投入している汚泥焼却炉において、消化ガスを除いた補助燃料（化石燃料）使用量を調査し、焼却施設規模ごとの A 重油換算原単位を算出した（表資料 2-9 参照）。

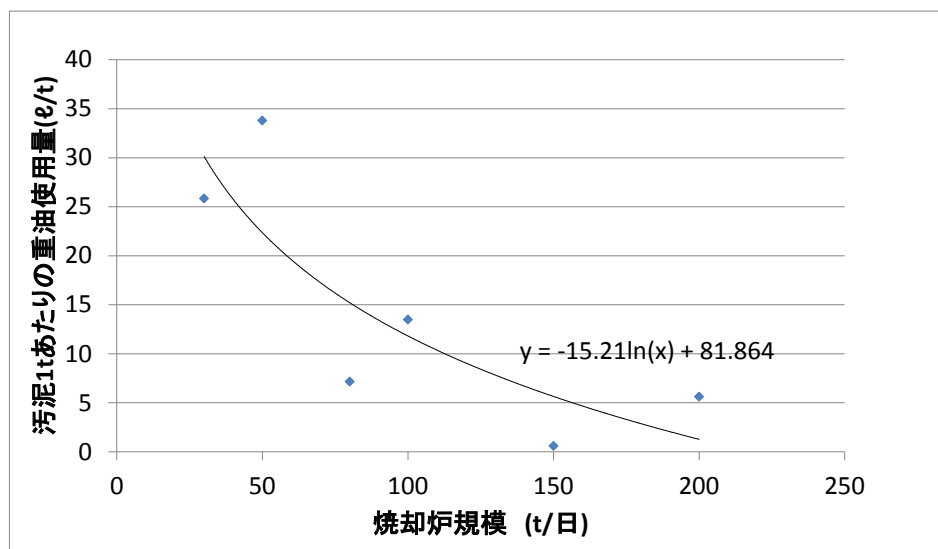
表資料 2-9 焼却炉規模ごとの A 重油換算原単位

（下水道統計(平成 23 年度版)より）

焼却炉規模(t/日)	焼却量範囲(t/日)	個所数	補助燃料消費量原単位(L/t)
30	～35	7	25.83
50	45～60	9	33.78
80	70～80	5	7.14
100	84～120	6	13.48
150	150	4	0.58
200	200	6	5.61

②焼却炉規模(x)毎における汚泥 1t あたりの重油使用量(y)を図示し、近似曲線を求めた。(図資料 2-1 参照)

$$y = -15.21 \times \ln(x) + 81.864$$



図資料 2-1 汚泥焼却炉の A 重油使用原単位

③焼却施設規模毎の実処理量 x_a から A 重油使用量 $q_{oil}(L/日)$ は

$$q_{oil} = y \times x_a$$

で算出される。A 重油使用量の例を表資料 2-10 に示す。

表資料 2-10 汚泥焼却炉の A 重油使用量 (例)

汚泥処理量 (x_a) (t-wet/日)	22.5	45	67.5	90	90	120
焼却炉規模 (x) (t-wet/日)	30	60	90	120	90	120
A 重油使用量原単位(y) (L/t)	30.13	19.59	13.42	9.05	13.42	9.05
消化ガスを除く使用補助 燃料の A 重油換算量(q_{oil}) (L/日)	678	882	906	814	1,208	1,086

表資料 2-10 で算出した汚泥焼却炉の A 重油使用量は、エネルギー消費量の算出、革新的技術導入時のコスト、温室効果ガス排出量、エネルギー消費量の削減効果の算出等にも使用している。

2. ケーススタディ

(3) 製造汚泥固形燃料の運搬に伴う排出量（場外利用）

場外利用については、製造した汚泥固形燃料の運搬により温室効果ガスが排出される。

走行距離 94.5km/回 (63km/日×1.5 (往復))

走行回数(回)=汚泥固形燃料製造量(t-wet/年)/10t (10t 車で運搬)

年間走行距離(km)=94.5km/回×走行回数(回)

軽油使用量(L/年)=年間走行距離(km)/4.13km/L

走行時 N₂O 由来の排出量 (t-CO₂/年) = 走行時 N₂O 発生原単位(kg-N₂O/km)
×年間走行距離×排出係数(kg-CO₂/kg-N₂O) ×10⁻³

走行時 CH₄ 由来の排出量 (t-CO₂/年) = 走行時 CH₄ 発生原単位(kg-CH₄/km)
×年間走行距離×排出係数(kg-CO₂/kg-CH₃) ×10⁻³

軽油燃料由来の排出量 (t-CO₂/年) = 軽油使用量(L/年)×排出係数(kg-CO₂/L) ×10⁻³

走行時の発生原単位を表資料 2-11、軽油の排出係数を表資料 2-12 に示す。

表資料 2-11 発生原単位

種類	単位	発生原単位	出典
走行時 N ₂ O	kg-N ₂ O/km	0.000014	※
走行時 CH ₄	kg-CH ₄ /km	0.000015	※

※下水道における地球温暖化防止対策検討委員会「下水道における地球温暖化防止推進計画
策定の手引き」（平成 21 年 3 月）

表資料 2-12 排出係数

種類	単位	排出係数	出典
軽油	kg-CO ₂ /L	2.58	※

※「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」環境省 地球環境局
地球温暖化対策課のウェブサイト
(<http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran.pdf>)

(4) 製造汚泥固形燃料利用による排出量の縮減（場外利用）

場外利用については、汚泥固形燃料を石炭代替等で使用したときの利用先における温室効果ガスの排出量が縮減される。

温室効果ガスの縮減量（t-CO₂/年）

$$= - \text{燃料製造量(t/年)} \times \text{燃料のエネルギー(GJ/t-wet)} \\ / \text{石炭のエネルギー(GJ/t)} \times \text{排出係数(kg-CO}_2\text{/kg)}$$

燃料のエネルギーを表資料 2-13、石炭の排出係数を表資料 2-14 に示す。

表資料 2-13 燃料のエネルギー原単位

種類	単位	エネルギー	出典
従来燃料化 燃料	GJ/t	13.8	※
石炭	GJ/t	28	※

※「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）」国土交通省（平成 23 年 3 月）

表資料 2-14 排出係数

種類	単位	排出係数	出典
石炭	t-CO ₂ /t	2.41	※

※「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）」国土交通省（平成 23 年 3 月）

(5) 処理設備の建設・解体・廃棄に伴う温室効果ガス排出量

設備の建設及び廃棄に伴う温室効果ガス排出量は、「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）より終末処理場における環境負荷量（LC-CO₂）の算定事例【建設段階 19.3%、供用段階 80.2%、解体・廃棄段階 0.5%】の比率で換算して算出した。

(6) 温室効果ガス排出量の算出

(1)～(5)で計算された温室効果ガス排出量の総和で、各技術を評価する。

2. ケーススタディ

2. 1. 3 エネルギー消費量

(1) 処理設備でのエネルギー消費量

処理設備の稼働時に使用するユーティリティに由来するエネルギー消費量を算出する。
算出項目は以下の通りである。エネルギー原単位は表資料 2-15 に示す。

1) 電力由来のエネルギー消費量

$$\begin{aligned} & \text{電力由来のエネルギー消費量(GJ/年)} \\ & = \text{電力使用量(kWh/年)} \times \text{エネルギー原単位(MJ/kWh)} / 1000 \end{aligned}$$

2) A 重油由来のエネルギー消費量

$$\begin{aligned} & \text{A 重油由来のエネルギー消費量(GJ/年)} \\ & = \text{A 重油使用量(kL/年)} \times \text{エネルギー原単位(MJ/L)} \end{aligned}$$

表資料 2-15 エネルギー原単位

種類	単位	エネルギー原単位	出典
電力	MJ/kWh	9.68	※1
A 重油	MJ/L	39.1	※2

※1 「エネルギーの使用の合理化に関する法律施行規則 別表第三」 より

「昼間：9.97MJ/kWh」、「夜間：9.28MJ/kWh」 から時間配分を考慮して

$$9.97 \times 14/24 + 9.28 \times 10/24 = 9.68$$

※2 前述「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」

(2) 製造汚泥固形燃料の運搬に伴う消費量（場外利用）

汚泥固形燃料を場外利用する場合、汚泥固形燃料を燃料利用施設に運搬する際に要する
軽油使用量に伴うエネルギー消費量を算出する。エネルギー原単位を表資料 2-16 に示す。

$$\text{エネルギー消費量 (GJ/年)} = \text{軽油使用量 (L/年)} \times \text{軽油原単位 (MJ/L)} / 1000$$

表資料 2-16 エネルギー原単位

種類	単位	エネルギー原単位	出典
軽油	MJ/L	37.7	※

※ 前述「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」

(3) 製造汚泥固形燃料利用による消費量の縮減（場外利用）

場外利用については、汚泥固形燃料を使用したときの利用先におけるエネルギー消費量が縮減される。燃料のエネルギー原単位は前述の**表資料 2-13**に示すとおりである。

$$\text{エネルギー消費量の縮減 (GJ/年)} = -\text{燃料製造量(t/年)} \times \text{燃料のエネルギー(GJ/t-wet)}$$

(4) 温室効果ガス排出量の算出

(1)～(3)で計算されたエネルギー消費量の総和で、各技術を評価する。

2. ケーススタディ

2. 2 モデルケース条件

ケーススタディで設定したモデルケースについて、表資料 2-17 にケース設定及びモデルケース名を、表資料 2-18 にケーススタディ試算条件を示す。また、全ケースの処理フローを図資料 2-2～図資料 2-5 に示す。

※資料編に記載していない設定条件は、本ガイドライン第3章 第2節 導入効果の評価例を参照。

表資料 2-17 ケース設定及びモデルケース名

ケース 条件	新設設備及び 処理条件 既設焼却炉の 規模（1基分）	従来技術 （污泥焼却炉）	革新的技術 （固形燃料化）		従来技術 （固形燃料化）
		污泥は 焼却処分	固形燃料を 場内利用	固形燃料を 外部利用	固形燃料を 外部利用
設備更新	30(t-wet/日)	A_1	A_2	A_3	A_4
	60(t-wet/日)	B_1	B_2	B_3	B_4
設備増強	90(t-wet/日)	C_1	C_2	C_3	C_4
	120(t-wet/日)	D_1	D_2	D_3	D_4

表資料 2-18 ケーススタディ試算条件

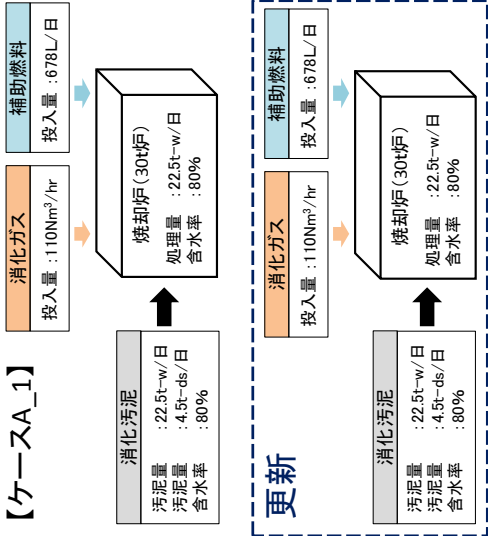
導入 目的	既設焼却炉 規模 (t-wet/日・基)	技術種類	条件	更新新設機 処理規模 (t-wet/日)	負荷率(施設全体) (%)		汚泥処理量 (t-wet/日)		消化ガス 使用量 (Nm ³ /h)	廃熱利用 予熱空気量 (Nm ³ /h)	補助燃料 投入量 (ℓ/日)	ケース No.
					既設	新設	既設	新設				
設備 更新	30	従来技術	汚泥焼却炉	30	75	75	22.5	22.5	220	—	1,356	A_1
		革新的技術	表面固	36※2	80	75	18.0	27.0	220	3,350	0	A_2
			化乾燥	30	75	75	22.5	22.5	220	2,600	830	A_3
	60	従来技術	従来型汚泥燃料化※1	30	75	75	22.5	22.5	220	—	2,411	A_4
		革新的技術	汚泥焼却炉	60	75	75	45.0	45.0	440	—	1,764	B_1
			表面固	72※2	80	75	36.0	54.0	440	6,400	0	B_2
設備 増強	90	化乾燥	汚泥燃料場外利用	60	75	75	45.0	45.0	440	4,700	1,252	B_3
		従来技術	従来型汚泥燃料化※1	60	75	75	45.0	45.0	440	—	4,347	B_4
		従来技術	汚泥焼却炉	30	100	75	90.0	22.5	330	—	1,886	C_1
		革新的技術	表面固	38.7※2	100	75	83.5	29.0	330	8,400	0	C_2
			化乾燥	30	100	75	90.0	22.5	330	8,800	2,061	C_3
		従来技術	従来型汚泥燃料化※1	30	100	75	90.0	22.5	330	—	2,941	C_4
	120	従来技術	汚泥焼却炉	30	100	75	120.0	22.5	440	—	1,764	D_1
		革新的技術	表面固	38.7※2	100	75	113.5	29.0	440	11,100	0	D_2
			化乾燥	30	100	75	120.0	22.5	440	11,500	1,583	D_3
		従来技術	従来型汚泥燃料化※1	30	100	75	120.0	22.5	440	—	2,818	D_4

※1 従来技術の汚泥固形燃料化技術（場外利用）は「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）」平成 23 年 3 月、国土交通省編、で評価している燃料化技術である。

※2 製造した汚泥固形燃料を処理場内の焼却炉に投入する場合、焼却炉から得られる廃熱量が増加し、製造できる汚泥固形燃料の量も増加することとなる。このため、ケーススタディの場内利用ケース（A_2、B_2、C_2、D_2）においては、他のケースよりも更新新設機処理規模を増加させて設定している。

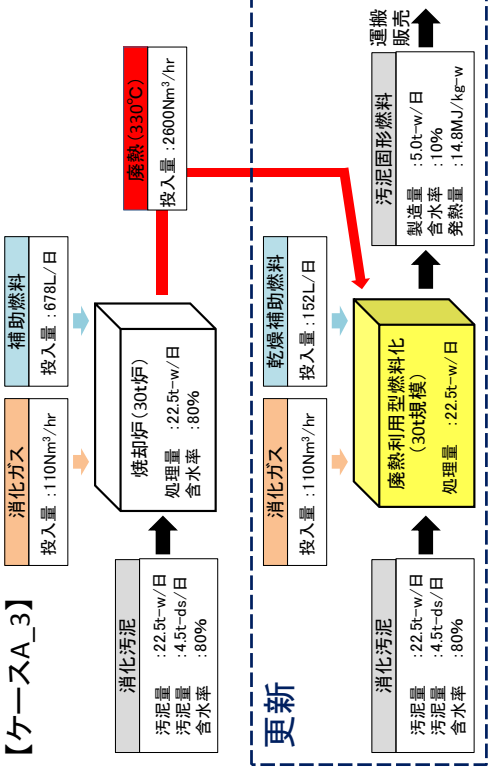
2. ケーススタディ

【ケースA_1】



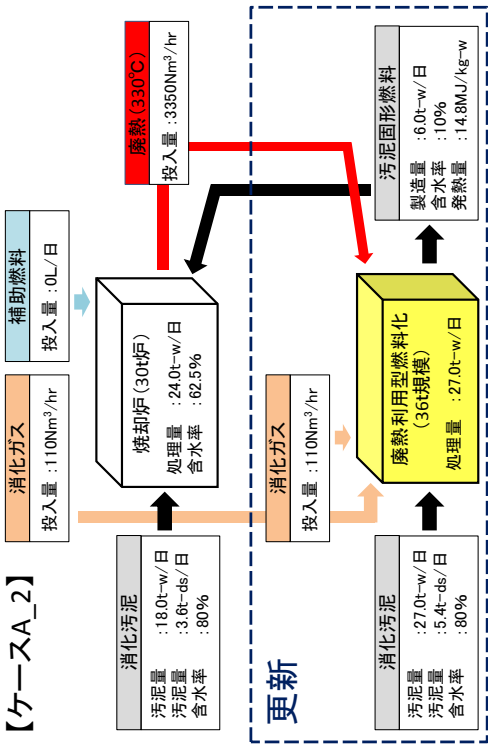
(a) ケースA_1 (焼却炉)

【ケースA_3】



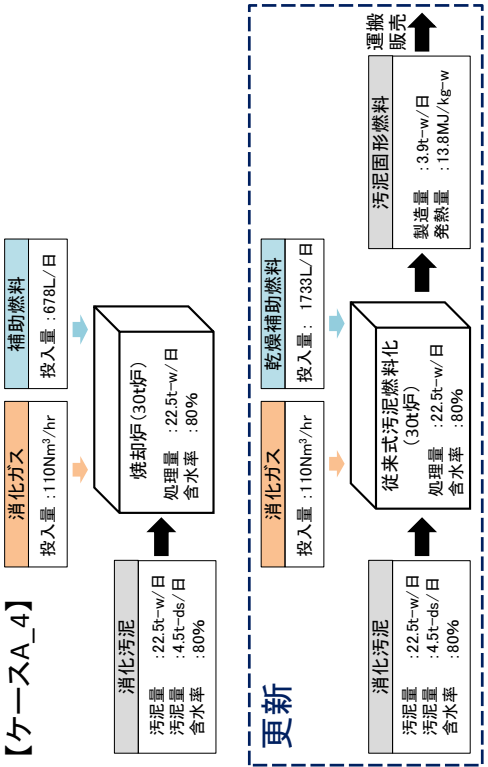
(c) ケースA_3 (革新的技術・固形燃料を場外利用)

【ケースA_2】



(b) ケースA_2 (革新的技術・固形燃料を場内利用)

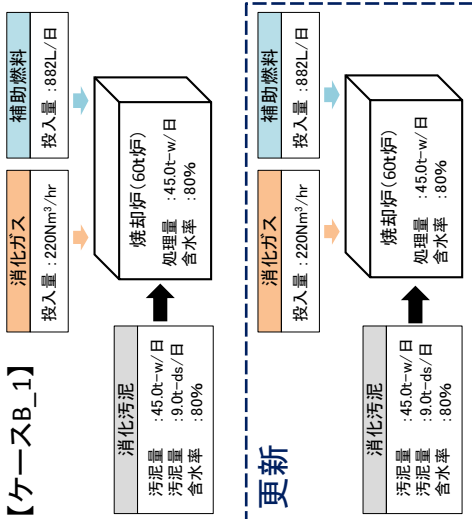
【ケースA_4】



(d) ケースA_4 (従来固形燃料化技術・固形燃料を場外利用)

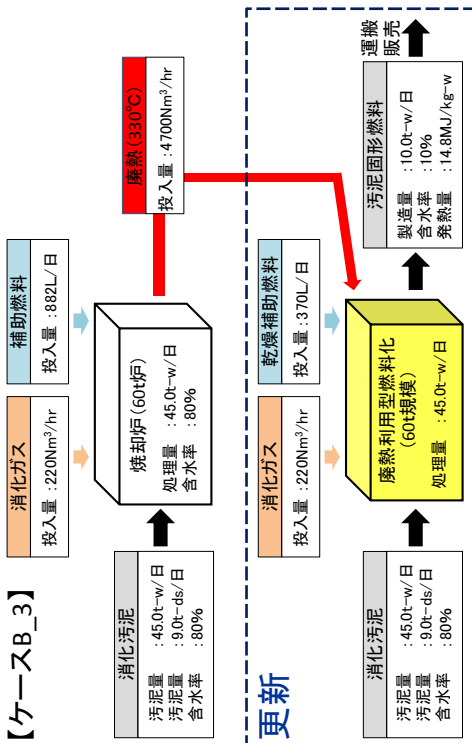
図資料 2-2 設備更新ケース (A_1~A_4)

【ケースB_1】



(a) ケース B_1 (焼却炉)

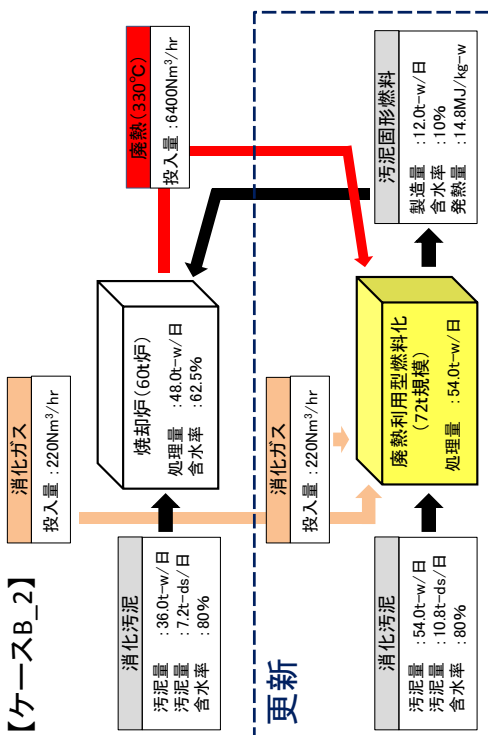
【ケースB_3】



(c) ケース B_3 (革新的技術・固形燃料を場外利用)

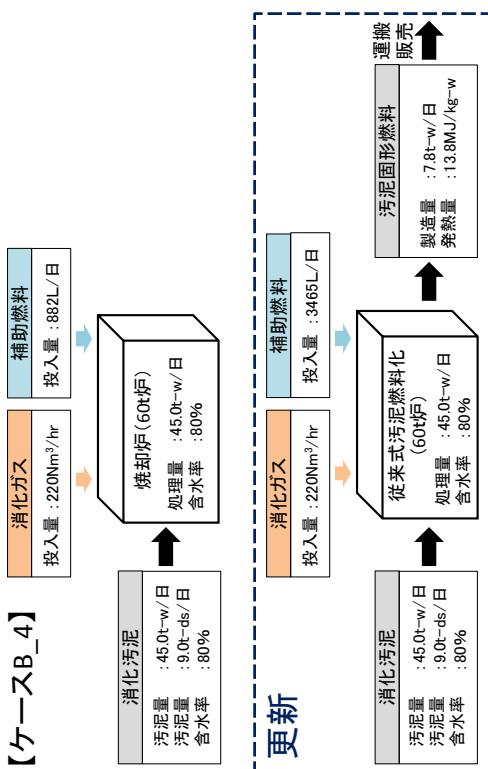
図資料 2-3

【ケースB_2】



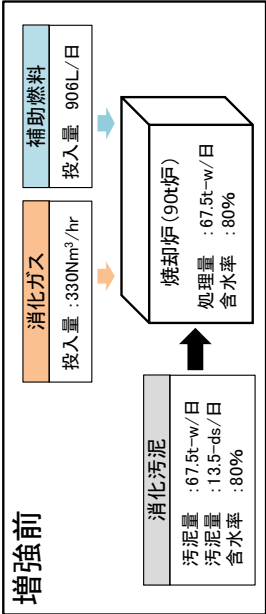
(b) ケース B_2 (革新的技術・固形燃料を場内利用)

【ケースB_4】

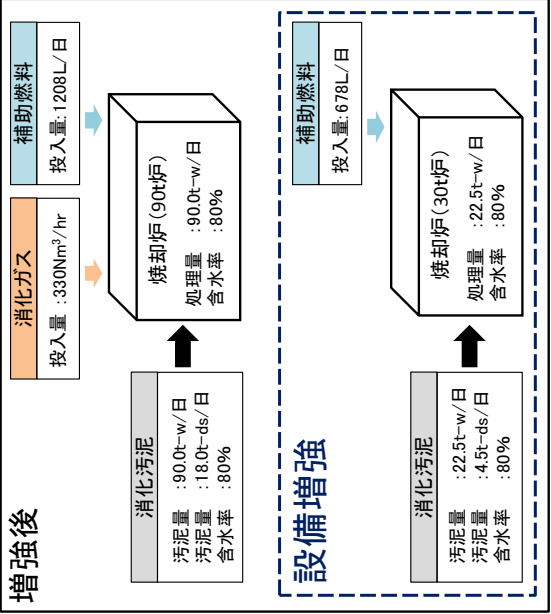


(d) ケース B_4 (従来固形燃料化技術・固形燃料を場外利用)

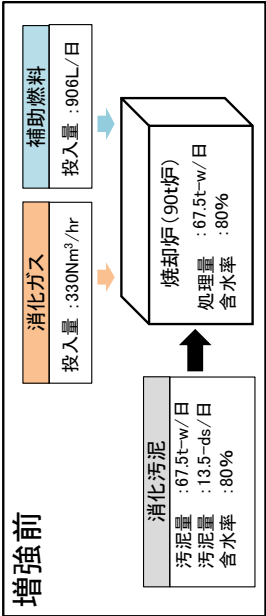
【ケースC_1】



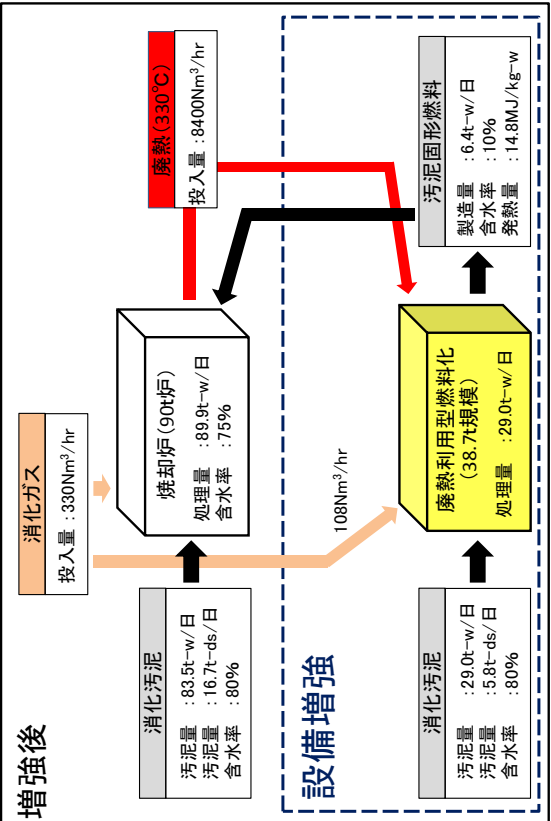
増強後



【ケースC_2】



増強後

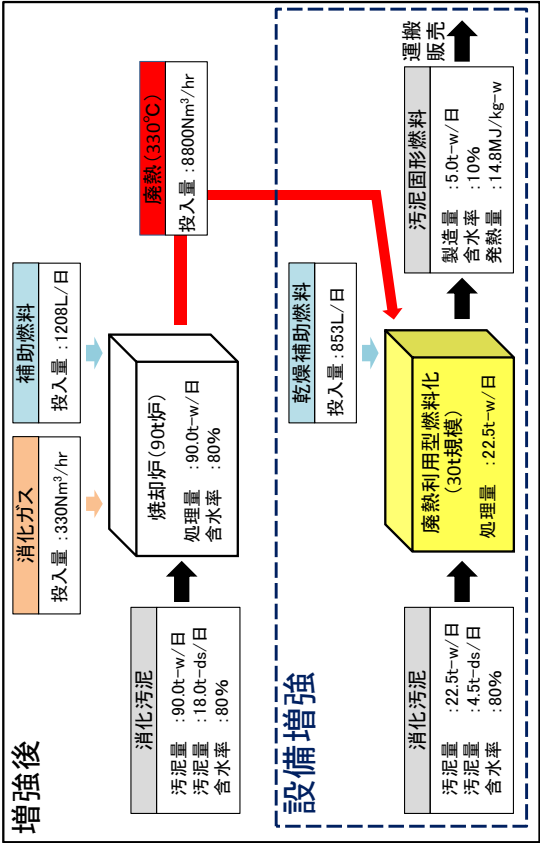
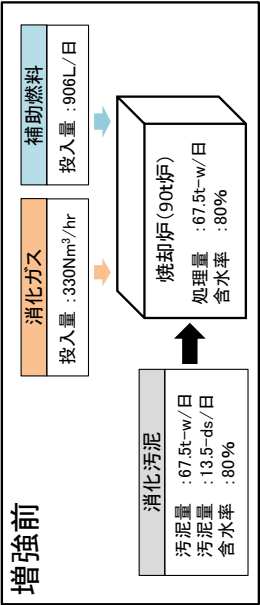


(a) ケース C_1 (焼却炉)

(b) ケース C_2 (革新的技術・固形燃料を場内利用)

図資料 2-4 (その1) 設備増強ケース (C_1~C_4)

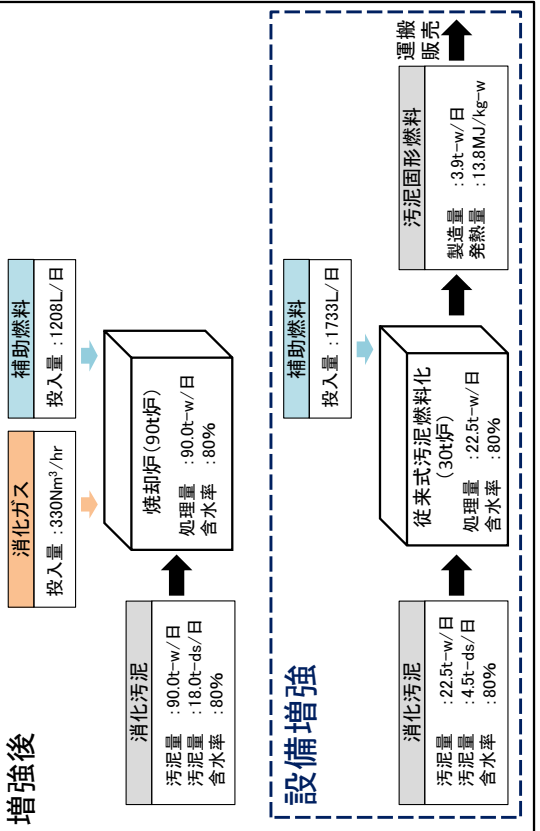
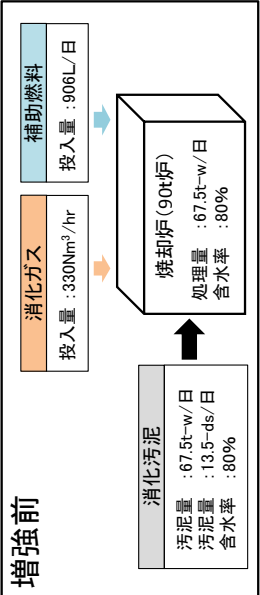
【ケースC_3】



(c) ケース C_3 (革新的技術・固形燃料を場外利用)

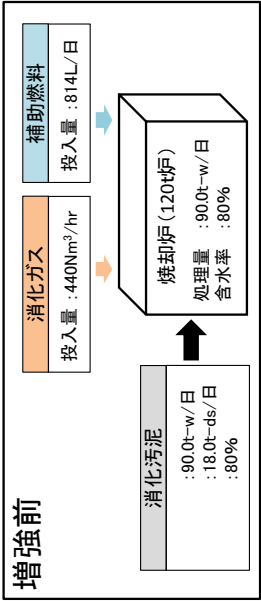
図資料 2-4 (その2)

【ケースC_4】

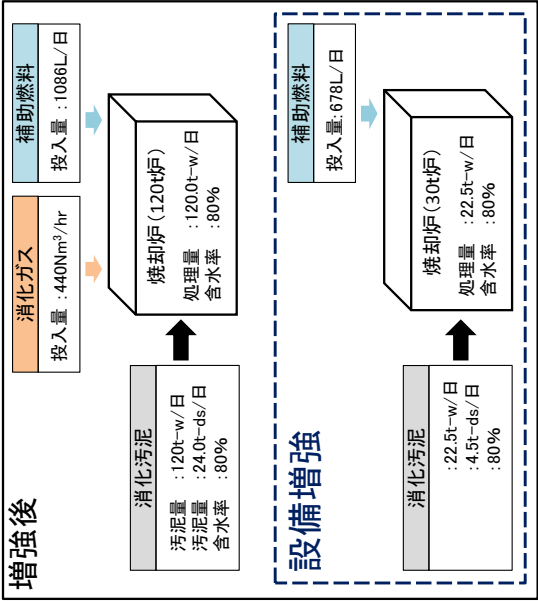


(d) ケース C_4 (従来固形燃料化技術・固形燃料を場外利用)

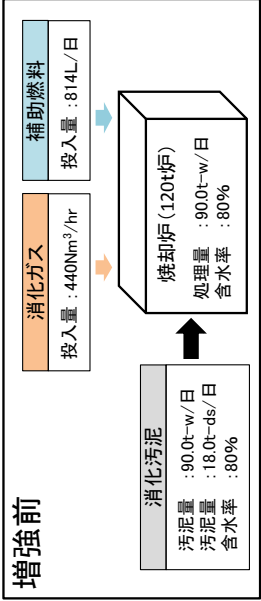
【ケースD_1】



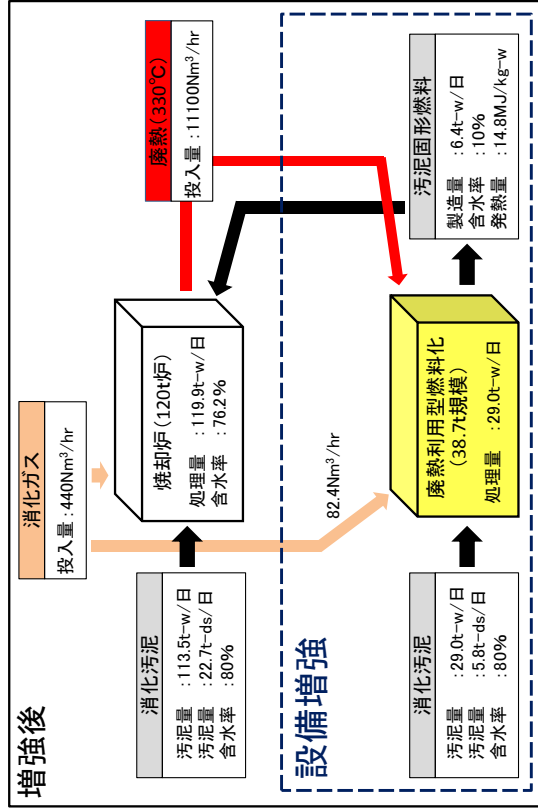
増強後



【ケースD_2】



増強後

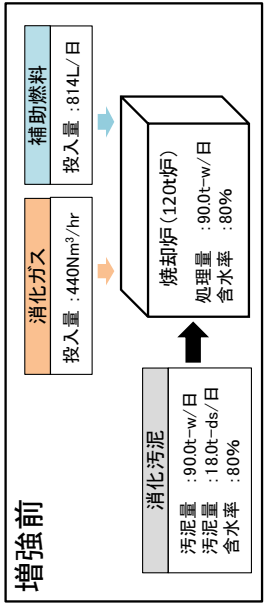


(a) ケースD_1 (焼却炉)

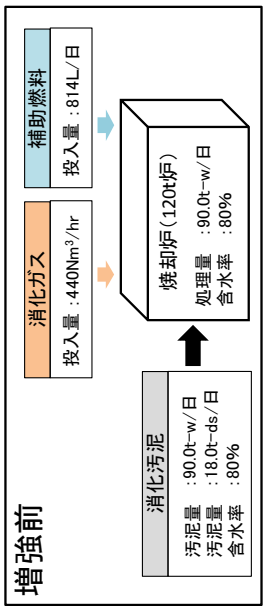
(b) ケースD_2 (革新的技術・固形燃料を場内利用)

図資料 2-5 (その1) 設備増強ケース (D_1~D_4)

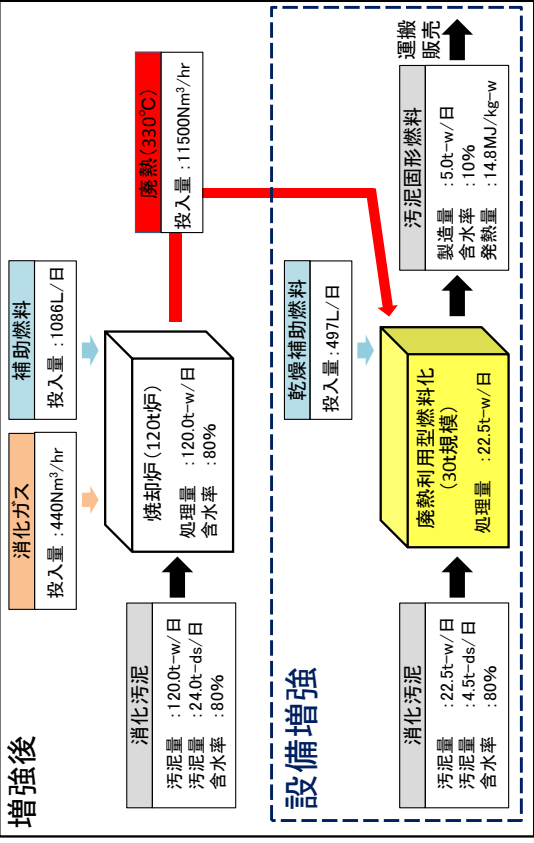
【ケースD_3】



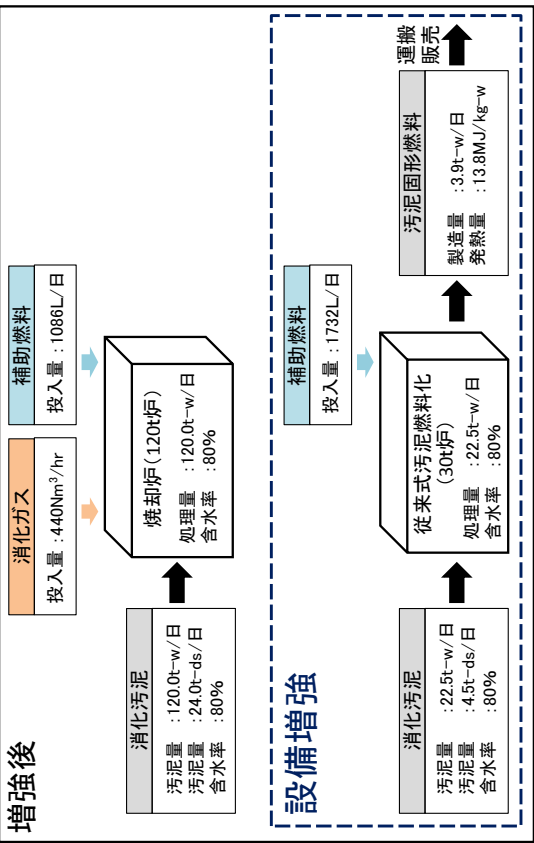
【ケースD_4】



増強後



増強後



(c) ケースD_3 (革新的技術・固形燃料を場外利用)

(d) ケースD_4 (従来固形燃料化技術・固形燃料を場外利用)

図資料 2-5 (その2) 設備増強ケース (D_1~D_4)

2. ケーススタディ

2. 3 試算結果

本節では、従来技術の試算条件及び算出方法について記載する。

2. 3. 1 コスト

表資料 2-19 及び図資料 2-6 に従来技術に対する革新的技術の LCC 縮減率試算結果を、建設費の内訳を表資料 2-20、表資料 2-21 に示す（縮減率は焼却炉（従来技術）を基準として算定）。

すべてのケースにおいて、28%～39%の縮減率となる。また、従来型燃料化に対しても革新的技術は 13%～30%のコスト縮減が可能である。

革新的技術の場内利用においては、汚泥固形燃料の既設焼却炉への投入により、脱水汚泥と固形燃料を併せた焼却炉投入汚泥の含水率が減少して、自燃又はそれに近い状況になる。したがって、既設焼却炉で利用していた消化ガスが乾燥処理の熱源として利用可能となり、LCC 縮減効果は増大する。

表資料 2-19 システム全体でのLCC縮減効果(単位：百万円/年)

ケース	導入目的	既設焼却炉規模 (t-w/日)	技術種類	更新・新設機 処理規模 (t-w/日)	百万円/年							縮減率	
					建設費※1	維持管理費※1	既設焼却炉維持管理費増分※2	補助燃料削減費	汚泥固形燃料運搬費販売益	灰処分費	解体・廃棄費※1		合計
A_1	設備更新	30	(従来)焼却炉	30	146.4	121.1	-	-	-	5.0	14.6	287.1	0%
A_2			(革新)場内	36	98.0	90.0	5.4	-19.7	-	5.0	9.8	188.5	34%
A_3			(革新)場外	30	85.7	88.0	-	-	3.03	-	8.6	185.3	35%
A_4			(従来)燃料化	30	99.8	138.4	-	-	2.38	-	10	250.6	12%
B_1	設備更新	60	(従来)焼却炉	60	215.7	193.1	-	-	-	9.9	21.6	440.3	0%
B_2			(革新)場内	72	163.2	125.7	8.6	-25.7	-	9.9	16.3	298	32%
B_3			(革新)場外	60	142.6	124.9	-	-	6.06	-	14.3	287.9	35%
B_4			(従来)燃料化	60	142.2	180.4	-	-	4.75	-	14.2	341.6	22%
C_1	設備増強	90	(従来)焼却炉	30	146.4	121.1	-	-	-	5.0	14.6	287.1	0%
C_2			(革新)場内	38.7	103.3	92.8	-	-35.2	-	5.0	10.3	176.2	39%
C_3			(革新)場外	30	85.7	108.5	-	-	3.03	-	8.6	205.8	28%
C_4			(従来)燃料化	30	99.8	138.4	-	-	2.38	-	10	250.6	12%
D_1		120	(従来)焼却炉	30	146.4	121.1	-	-	-	5.0	14.6	287.1	0%
D_2			(革新)場内	38.7	103.3	92.8	-	-31.6	-	5.0	10.3	179.8	37%
D_3			(革新)場外	30	85.7	98.1	-	-	3.03	-	8.6	195.4	32%
D_4			(従来)燃料化	30	99.8	138.4	-	-	2.38	-	10	250.6	12%

※1 建設費、維持管理費、解体・廃棄費は更新した設備1基分について試算。

※2 固形燃料投入による既設焼却炉の処理量増加に伴って増加する維持管理費の増加分

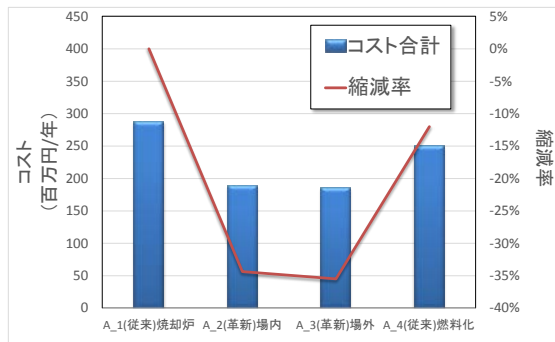
2. ケーススタディ

表資料 2-20 建設費の内訳

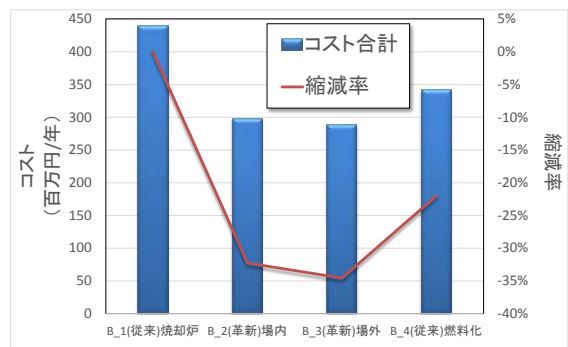
ケース	導入目的	既設焼却炉規模	技術種類	更新・新設機処理規模	億円				
		(t-w/日)		規模 (t-w/日)	土木	機械	電気	既設	合計
					工事費	工事費	工事費	改造費	
A_1	設備更新	30	(従来)焼却炉	30	5.3	15.4	4.8	-	25.5
A_2			(革新)場内	36	3.8	11.7	1.6	0.02	17.2
A_3			(革新)場外	30	3.2	10.3	1.4	0.01	15
A_4			(従来)燃料化	30	15.9			-	15.9
B_1		60	(従来)焼却炉	60	6.9	23.3	7	-	37.2
B_2			(革新)場内	72	7.4	19.1	2.6	0.02	29.1
B_3			(革新)場外	60	6.2	16.8	2.3	0.01	25.3
B_4			(従来)燃料化	60	22.6			-	22.6
C_1	設備増強	90	(従来)焼却炉	30	5.3	15.4	4.8	-	25.5
C_2			(革新)場内	38.7	4.1	12.4	1.7	0.02	18.2
C_3			(革新)場外	30	3.2	10.3	1.4	0.01	15
C_4			(従来)燃料化	30	15.9			-	15.9
D_1		120	(従来)焼却炉	30	5.3	15.4	4.8	-	25.5
D_2			(革新)場内	38.7	4.1	12.4	1.7	0.02	18.2
D_3			(革新)場外	30	3.2	10.3	1.4	0.01	15
D_4			(従来)燃料化	30	15.9			-	15.9

表資料 2-21 建設費の内訳（年価）

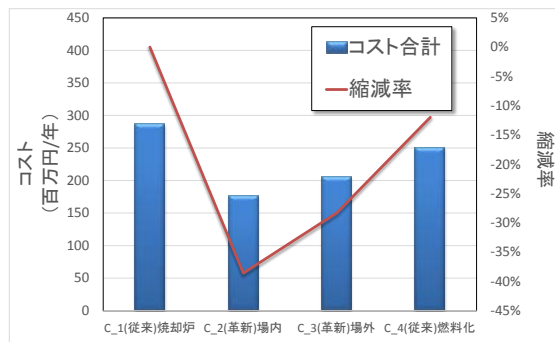
ケース	導入目的	既設焼却炉規模	技術種類	更新・新設機処理規模	百万円/年				
		(t-w/日)		規模 (t-w/日)	土木	機械	電気	既設	合計
					工事費	工事費	工事費	改造費	
A_1	設備更新	30	(従来)焼却炉	30	19	96.8	30.6	-	146.4
A_2			(革新)場内	36	13.8	73.9	10.2	0.1	98
A_3			(革新)場外	30	11.6	65.1	8.9	0.1	85.7
A_4			(従来)燃料化	30	99.8			-	99.8
B_1		60	(従来)焼却炉	60	24.8	146.5	44.4	-	215.7
B_2			(革新)場内	72	26.4	120.1	16.5	0.1	163.2
B_3			(革新)場外	60	22.3	105.7	14.5	0.1	142.6
B_4			(従来)燃料化	60	142.4			-	142.4
C_1	設備増強	90	(従来)焼却炉	30	19	96.8	30.6	-	146.4
C_2			(革新)場内	38.7	14.7	77.8	10.7	0.1	103.3
C_3			(革新)場外	30	11.6	65.1	8.9	0.1	85.7
C_4			(従来)燃料化	30	99.8			-	99.8
D_1		120	(従来)焼却炉	30	19	96.8	30.6	-	146.4
D_2			(革新)場内	38.7	14.7	77.8	10.7	0.1	103.3
D_3			(革新)場外	30	11.6	65.1	8.9	0.1	85.7
D_4			(従来)燃料化	30	99.8			-	99.8



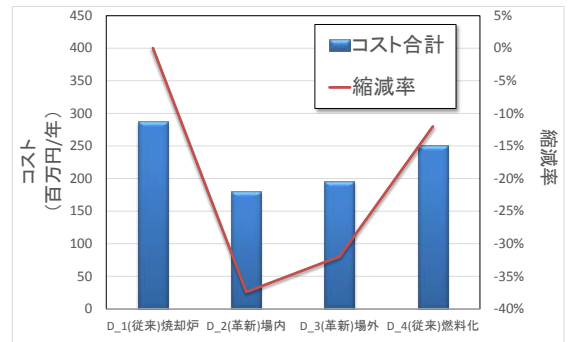
(a) 設備更新ケース (A_1～A_4)



(b) 設備更新ケース (B_1～B_4)



(c) 設備増強ケース (C_1～C_4)



(d) 設備増強ケース (D_1～D_4)

図資料 2-6 コスト試算結果及び各ケース縮減率
(縮減率は(従来)焼却炉を基準(0%)とする。)

2. ケーススタディ

(2) 温室効果ガス（GHG）排出量

従来技術に対する革新的技術の温室効果ガス排出量縮減率試算結果を表資料 2-22 及び図資料 2-7 に示す（縮減率は LCC と同様、焼却炉（従来技術）を基準として算定）。汚泥燃料の場内利用の場合では 86%～108%の縮減率となり、場外利用の場合では 115%以上の縮減率となる。従来型汚泥燃料化設備と比較した場合でも、革新的技術の温室効果ガス排出量の縮減が可能である。

固形燃料化技術の場内利用では、既設焼却炉補助燃料の削減可能量には上限があるため、場外利用に比べ削減効果が低下する結果となった。（A_2、B_2 が該当。）

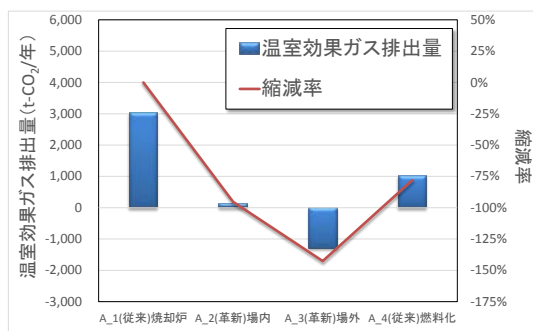
固形燃料化技術の場外利用では、製造した汚泥固形燃料のほぼ全量を燃料利用先での温室効果ガス排出量の縮減に利用できるため、全体として温室効果ガス排出量の縮減効果は増大する場合が多い。

表資料 2-22 システム全体での温室効果ガス排出量縮減効果（単位：t-CO₂/年）

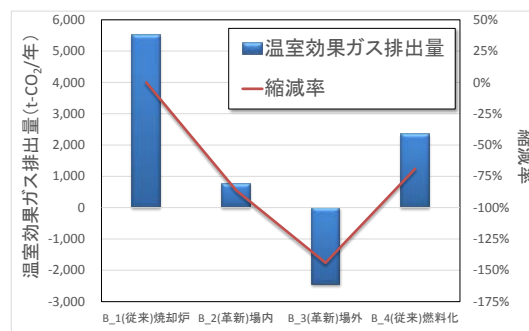
ケース	導入目的	既設 焼却炉 規模 (t-w/日)	技術種類	更新・ 新設機 処理 規模 (t-w/日)	t-CO ₂ /年							縮 減 率
					処理設備 の排出量 ※1	既設 焼却炉 増分※2	補助 燃料削減 での 縮減量	固形燃料 運搬 由来 排出量	製造燃料 利用によ る縮減量	建設・解 体・廃棄に 伴う 排出量※1	合計	
A_1	設備更新	30	(従来)焼却炉	30	2,425.1	-	-	-	-	598.7	3,023.8	0%
A_2			(革新)場内	36	562.5	26.4	-588.0	-	-	138.9	139.8	95%
A_3			(革新)場外	30	593.2	-	-	9.52	-2,038.2	146.4	-1,289.1	143%
A_4			(従来)燃料化	30	2,010.3	-	-	7.45	-1,488.1	496.3	1,026.0	78%
B_1		60	(従来)焼却炉	60	4,438.8	-	-	-	-	1,095.9	5,534.7	0%
B_2			(革新)場内	72	1,191.6	52.8	-764.9	-	-	294.2	773.7	86%
B_3			(革新)場外	60	1,299.1	-	-	19.03	-4,076.3	320.7	-2,437.5	144%
B_4			(従来)燃料化	60	4,020.7	-	-	14.90	-2,676.1	992.6	2,352.1	69%
C_1	設備増強	90	(従来)焼却炉	30	2,884.7	-	-	-	-	712.2	3,596.9	0%
C_2			(革新)場内	38.7	607.9	-	-1,047.6	-	-	150.1	-289.6	108%
C_3			(革新)場外	30	1,201.4	-	-	9.52	-2,038.2	296.6	-530.7	115%
C_4			(従来)燃料化	30	2,010.3	-	-	7.45	-1,488.1	496.3	1,026.0	82%
D_1		120	(従来)焼却炉	30	2,778.9	-	-	-	-	686.1	3,465.0	0%
D_2			(革新)場内	38.7	607.9	-	-941.8	-	-	150.1	-183.8	105%
D_3			(革新)場外	30	892.5	-	-	9.52	-2,038.2	220.4	-915.7	126%
D_4			(従来)燃料化	30	2,010.3	-	-	7.45	-1,488.1	496.3	1,026.0	81%

※1 処理設備の排出量、建設・解体・廃棄に伴う排出量は更新した設備 1 基分について試算。

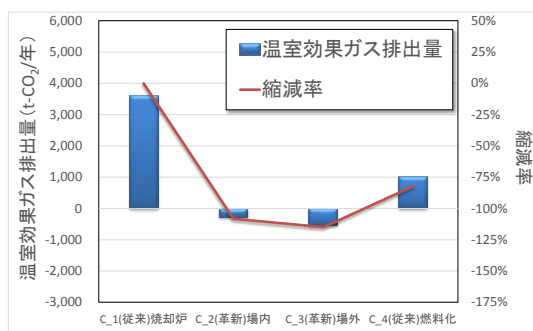
※2 固形燃料投入による既設焼却炉の処理量増加に伴って増加する電力由来の温室効果ガス増加分



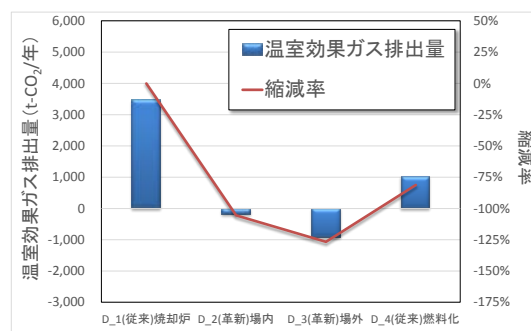
(a) 設備更新ケース (A_1～A_4)



(b) 設備更新ケース (B_1～B_4)



(c) 設備増強ケース (C_1～C_4)



(d) 設備増強ケース (D_1～D_4)

図資料 2-7 温室効果ガス排出量試算結果及び各ケース縮減率
(縮減率は(従来)焼却炉を基準(0%)とする。)

2. ケーススタディ

(3) エネルギー消費量

従来技術に対する革新的技術のエネルギー消費量縮減率試算結果を表資料 2-23 及び図資料 2-8 に示す（縮減率は LCC と同様、焼却炉（従来技術）を基準とした算定結果）。革新的技術はいずれのケースにおいても 68%以上の縮減率となる。従来型污泥燃料化設備とした場合でも革新的技術のエネルギー消費量の縮減が可能である。

固形燃料化技術の場内利用では、既設焼却炉補助燃料の削減可能量には上限があるため、場外利用に比べ削減効果が低下する結果となった。（A_2、B_2 が該当。）

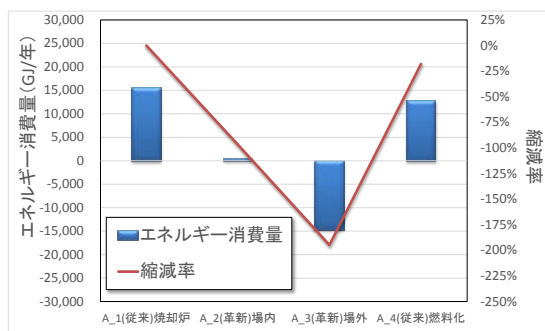
革新的技術の場外利用では、固形燃料の有する総エネルギー量が大きく、燃料利用先での消費量の縮減に大きく寄与し、全体としてエネルギー消費量の縮減効果は増大する。

表資料 2-23 システム全体でのエネルギー消費量縮減効果(単位：GJ/年(除縮減率))

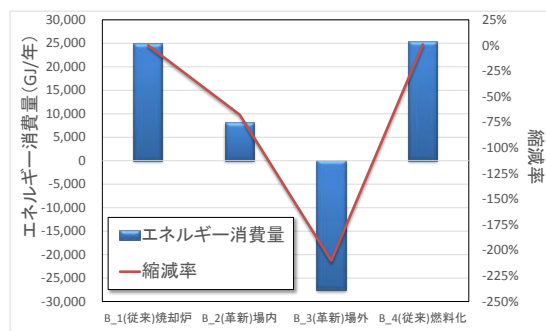
ケース	導入目的	既設焼却炉規模(t-w/日)	技術種類	更新・新設機処理規模(t-w/日)	GJ/年						縮減率
					処理設備の消費量※1	既設焼却炉増分※2	補助燃料削減での縮減量	固形燃料運搬での消費量	燃料利用での縮減量	合計	
A_1	設備更新	30	(従来)焼却炉	30	15,453	-	-	-	-	15,453	0%
A_2			(革新)場内	36	8,504	465	-8,483	-	-	486	97%
A_3			(革新)場外	30	8,859	-	-	138	-23,680	-14,683	195%
A_4			(従来)燃料化	30	29,831	-	-	108	-17,289	12,650	18%
B_1		60	(従来)焼却炉	60	24,975	-	-	-	-	24,975	0%
B_2			(革新)場内	72	18,181	929	-11,036	-	-	8,075	68%
B_3			(革新)場外	60	19,521	-	-	276	-47,360	-27,563	210%
B_4			(従来)燃料化	60	59,663	-	-	216	-34,577	25,302	-1%
C_1	設備増強	90	(従来)焼却炉	30	22,084	-	-	-	-	22,084	0%
C_2			(革新)場内	38.7	9,200	-	-15,114	-	-	-5,915	127%
C_3			(革新)場外	30	17,635	-	-	138	-23,680	-5,907	127%
C_4			(従来)燃料化	30	29,831	-	-	108	-17,289	12,650	43%
D_1		120	(従来)焼却炉	30	20,558	-	-	-	-	20,558	0%
D_2			(革新)場内	38.7	9,200	-	-13,588	-	-	-4,388	121%
D_3			(革新)場外	30	13,178	-	-	138	-23,680	-10,364	150%
D_4			(従来)燃料化	30	29,831	-	-	108	-17,289	12,650	39%

※1 処理設備の消費量は更新した設備 1 基分について試算。

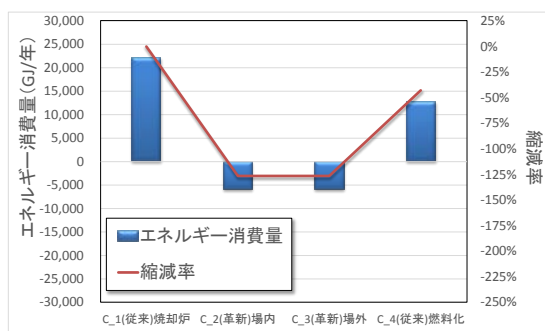
※2 固形燃料投入による既設焼却炉の処理量増加に伴って増加する電力由来のエネルギー増加分



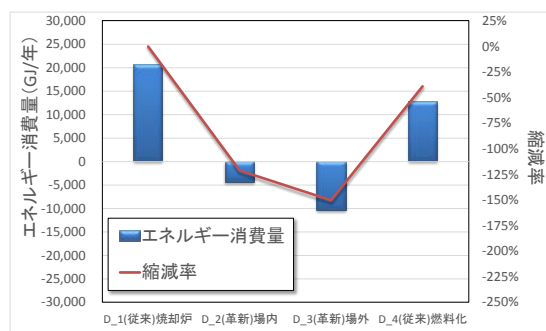
(a) 設備更新ケース (A_1～A_4)



(b) 設備更新ケース (B_1～B_4)



(c) 設備増強ケース (C_1～C_4)



(d) 設備増強ケース (D_1～D_4)

図資料 2-8 エネルギー消費量試算結果及び各ケース縮減率
(縮減率は(従来)焼却炉を基準(0%)とする。)

2. ケーススタディ

※参考

ガイドライン § 11 導入シナリオ例において“その他の導入シナリオ”として示した『既設焼却炉からの廃熱が多く得られる中規模から大規模の処理場において、本技術の汚泥固形燃料化設備を追加導入する』ケースについて試算を行った。

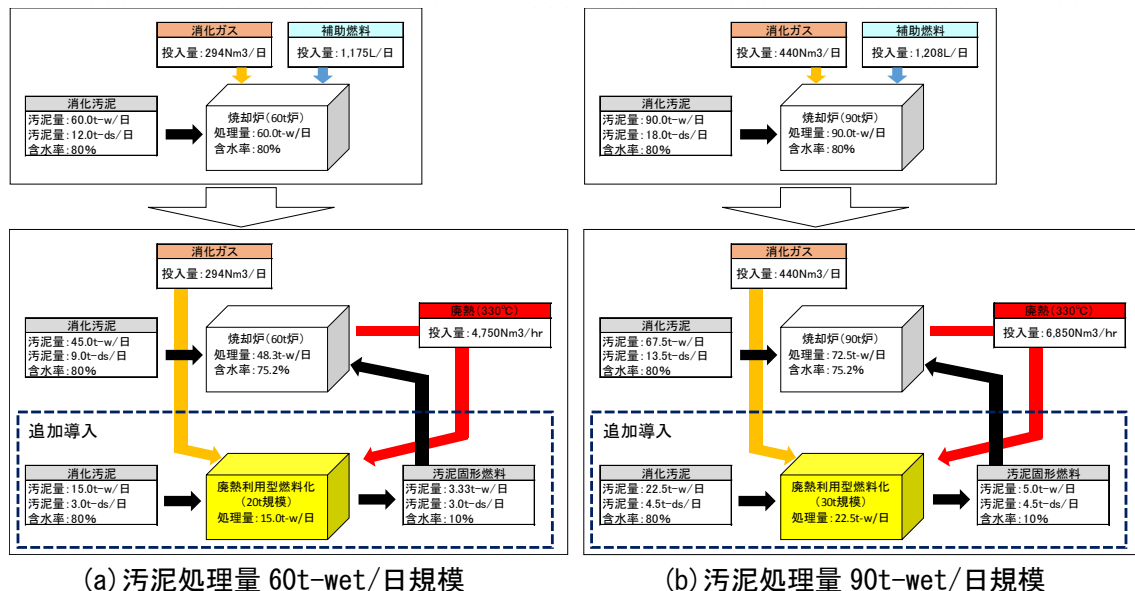
処理規模については 60t-wet/日規模および汚泥処理量 90t-wet/日の2ケースを想定し、それぞれ既設焼却炉で負荷率 100%で処理していることとする。ここに本技術の汚泥固形燃料化設備を追加導入することで、消化汚泥の一部から汚泥固形燃料を製造し、これを既設焼却炉の補助燃料として利用（場内利用）する。

試算条件の詳細は下記の表資料 2-24 および図資料 2-9 に示す。ここで示されていない試算条件については、前述のケース A～D の試算を行った際の条件と同様とする。

以下（１）～（３）に各試算結果を示す。

表資料 2-24 試算条件

導入目的	既設焼却炉 規模 (t-wet/日・基)	新設設備 処理規模 (t-wet/日)	汚泥処理量 (t-wet/日)		負荷率(施設全体) (%)		消化ガス 使用量 (Nm ³ /h)	廃熱利用 予熱空気量 (Nm ³ /h)	既設焼却炉 補助燃料投入量 (t/日)	
			既設	新設	既設	新設			導入前	導入後
追加導入	60	20	45.0	15.0	80.5	75	294	4,750	1,175	0
	90	30	67.5	22.5	80.5	75	440	6,850	1,208	0



図資料 2-9 設備追加導入ケース

(1) コスト

表資料 2-25 に革新的技術を追加導入することによる LCC の試算結果を示す。

汚泥処理量 60 t -wet/日規模および 90t-wet/日規模どちらのケースにおいても、既設焼却炉の維持管理費および補助燃料費は縮減されるが、革新的技術の追加導入による建設費、維持管理費および解体・廃棄費が計上されるため、システム全体での LCC は増加する結果となった。

表資料 2-25 システム全体での LCC (単位：百万円/年)

既設焼却炉 規模 (t-w/日)	新設機 処理規模 (t-w/日)	百万円/年					
		建設費	維持 管理費	既設焼却炉 維持管理費 縮減分※	補助 燃料 削減費	解体・廃棄 費	合計
60	20	63.8	72.7	-31.7	-25.7	6.4	85.5
90	30	85.7	83.6	-41.7	-35.2	8.6	101.0

※処理していた汚泥の一部燃料化に伴い、既設焼却炉の汚泥処理量が減少することによる維持管理費の縮減分

(2) 温室効果ガス (GHG) 排出量

表資料 2-26 に革新的技術を追加導入することによる温室効果ガス排出量の試算結果を示す。

汚泥処理量 60 t -wet/日規模および 90t-wet/日規模どちらのケースにおいても、既設焼却炉処理汚泥量の減量および補助燃料削減による GHG 排出量の縮減によって、革新的技術の追加導入による GHG 排出量を計上したとしても、システム全体での GHG は縮減する結果となった。

表資料 2-26 システム全体での温室効果ガス排出量 (単位：CO₂/年)

既設焼却炉 規模 (t-w/日)	新設機 処理規模 (t-w/日)	t-CO ₂ /年				合計
		処理設備から の排出量	既設焼却炉 縮減分※	補助燃料 削減での 縮減分	処理設備の建 設・解体・廃棄に 伴う排出量	
60	20	297	-953	-1,019	73.3	-1,602
90	30	461	-1,429	-1,048	113.9	-1,901

※処理していた汚泥の一部燃料化に伴い、既設焼却炉の汚泥処理量が減少することによる温室効果ガス排出量の縮減分

2. ケーススタディ

(3) エネルギー消費量

表資料 2-27 に革新的技術を追加導入することによるエネルギー消費量の試算結果を示す。

汚泥処理量 60t-wet/日規模および 90t-wet/日規模どちらのケースにおいても、既設焼却炉処理汚泥量の減量および補助燃料削減によるエネルギー消費量の縮減によって、革新的技術の追加導入によるエネルギー消費量を計上したとしても、システム全体でのエネルギー消費量は縮減する結果となった。

表資料 2-27 システム全体でのエネルギー消費量

既設焼却炉 規模 (t-w/日)	新設機 処理規模 (t-w/日)	GJ/年			
		処理設備から の排出量	既設焼却炉 縮減分※	補助燃料 削減での 縮減分	合計
60	20	4,448	-3,614	-14,706	-13,871
90	30	6,958	-5,421	-15,114	-13,576

※処理していた汚泥の一部燃料化に伴い、既設焼却炉の汚泥処理量が減少することによるエネルギー消費量の縮減分

3. 参考文献

下水道施設計画・設計指針と解説（2009 年版）、社団法人日本下水道協会

下水道用語集（2000 年版）、社団法人日本下水道協会

合流式下水道改善対策と解説（2002 年版）、社団法人日本下水道協会

建設技術審査証明（下水道技術）報告書「表面固化式汚泥乾燥装置」、2010 年 3 月、財団法人下水道新技術推進機構

下水汚泥固形燃料発熱特性評価試験マニュアル、平成 20 年 3 月、日本下水道事業団

下水試験方法（2012 年版）、公益社団法人日本下水道協会

下水汚泥固形燃料化システムの技術評価に関する報告書、平成 20 年 3 月、日本下水道事業団

バイオソリッド利活用基本計画策定（下水汚泥処理総合計画）マニュアル、平成 16 年 3 月、国土交通省都市・地域整備局下水道部 社団法人日本下水道協会

下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き、平成 21 年 3 月、下水道における地球温暖化防止対策検討委員会

下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）、平成 23 年 3 月、国土交通省

汚泥熱分解燃料化システム技術マニュアル、2010 年 3 月、財団法人下水道技術推進機構

下水道統計（平成 23 年版）、公益社団法人日本下水道協会

4. 問い合わせ先

4. 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>

JFE エンジニアリング株式会社	アクアソリューション本部 水処理プラント事業部 技術部 〒230-8611 神奈川県横浜市鶴見区末広町 二丁目1番地 TEL 045-505-7668 FAX 045-505-7884 URL http://www.jfe-eng.co.jp/
------------------	---

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No.803

August 2014

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