

§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。

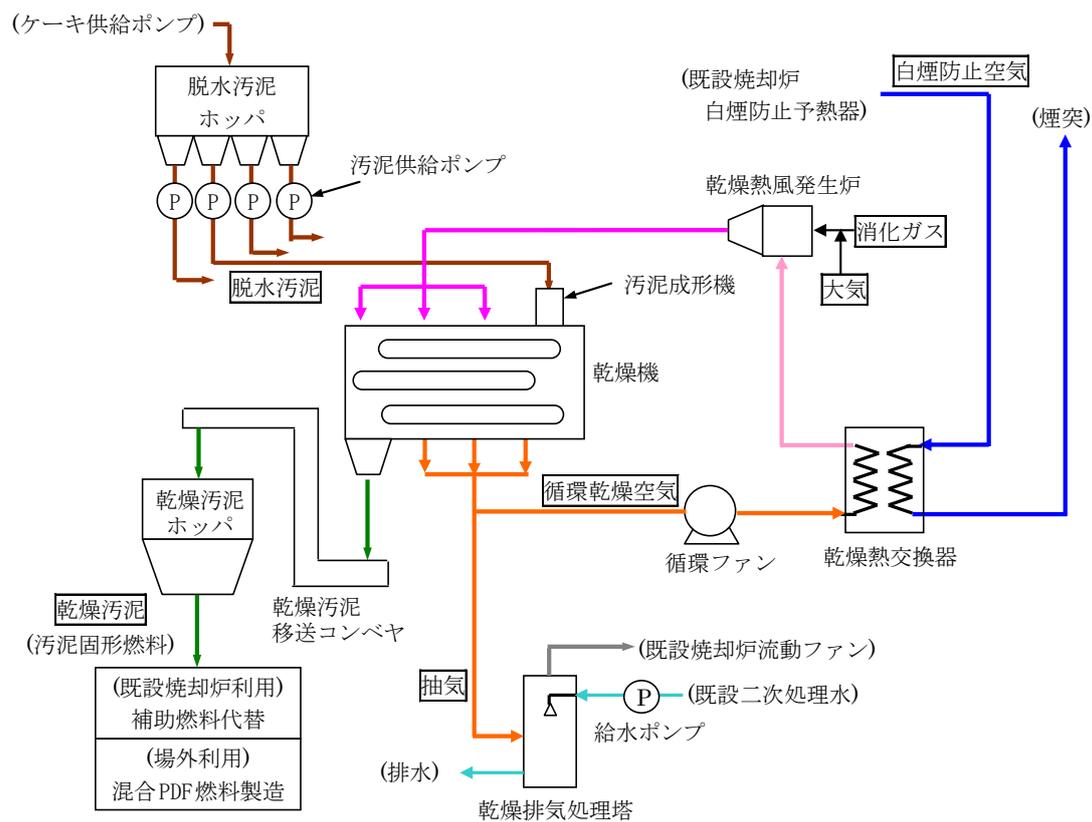


図 2-2 汚泥固形燃料化設備の基本構成

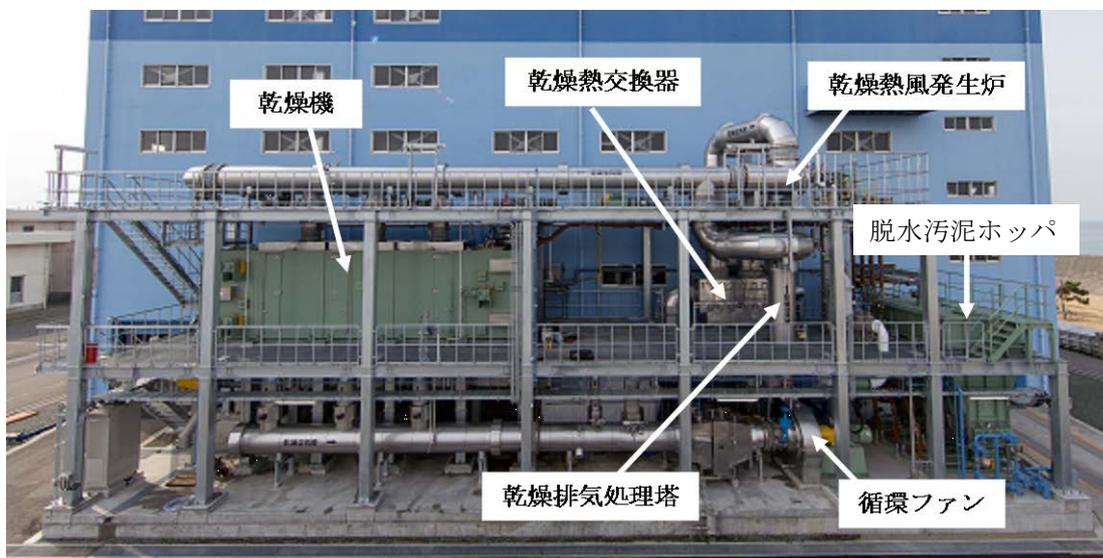


写真 2-1 汚泥固形燃料化設備

§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高い。

※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）。

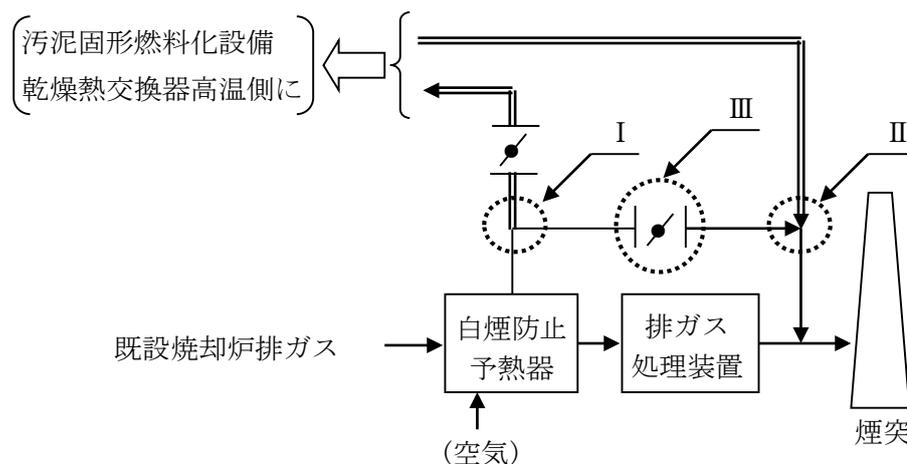


図 2-3 既設改造部

(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。

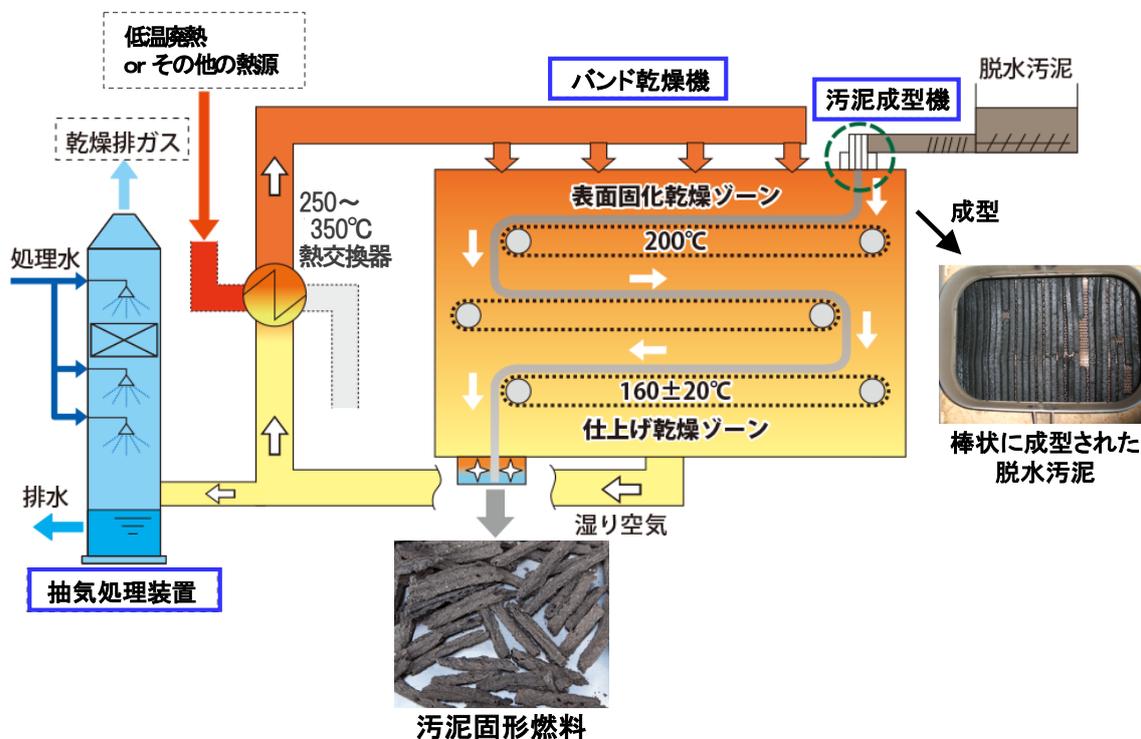


図2-4 表面固化乾燥装置のフロー

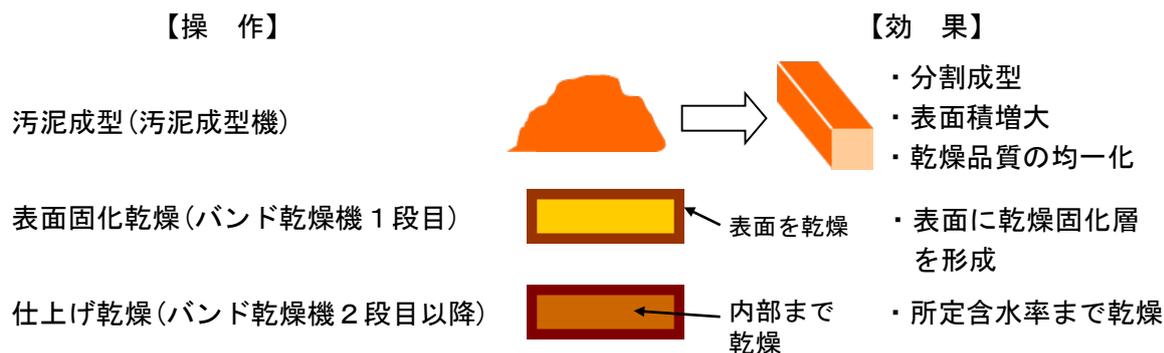


図 2-5 表面固化乾燥

(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、汚泥が幅方向に一様に供給される。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。

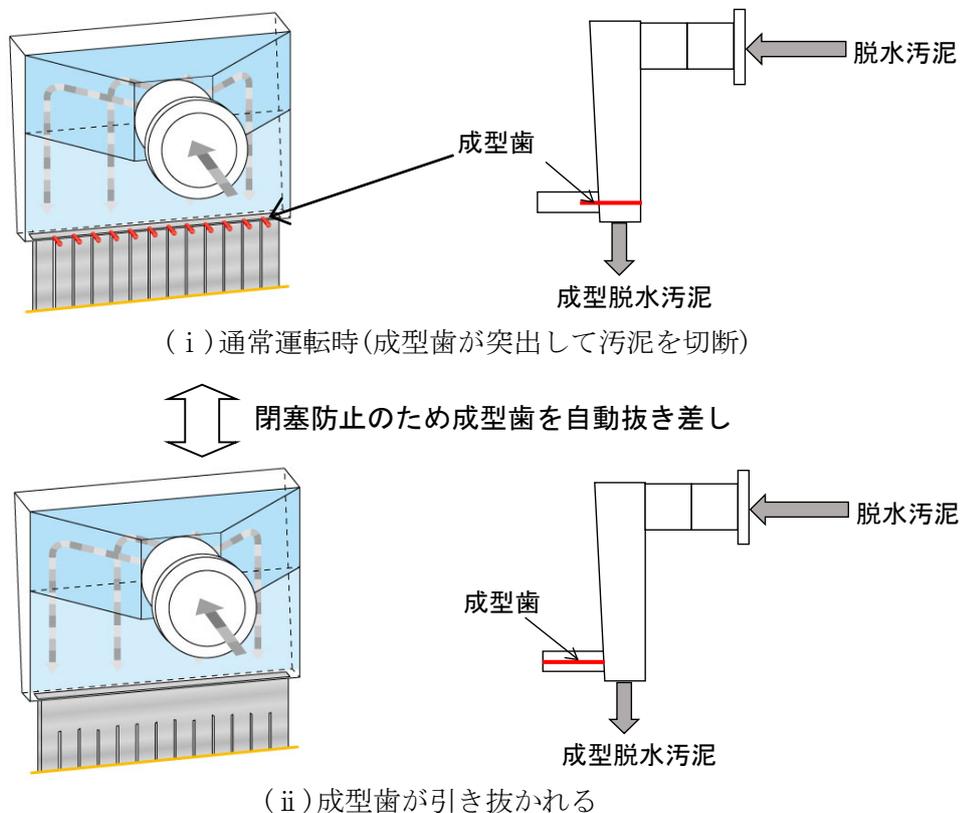


図 2-6 汚泥成型部詳細

(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)。

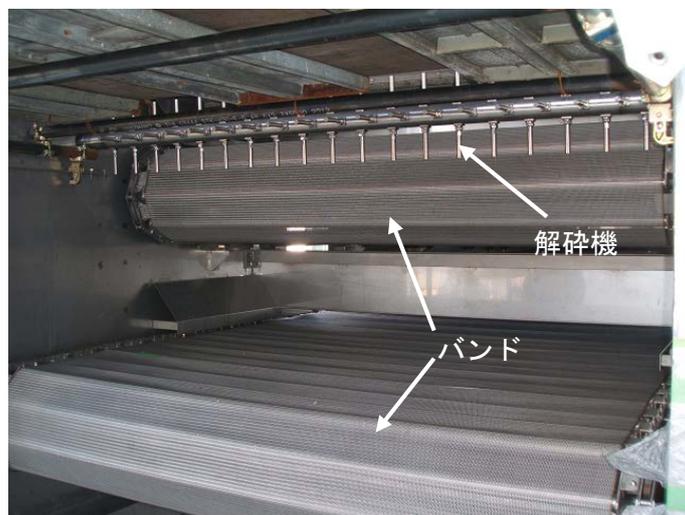
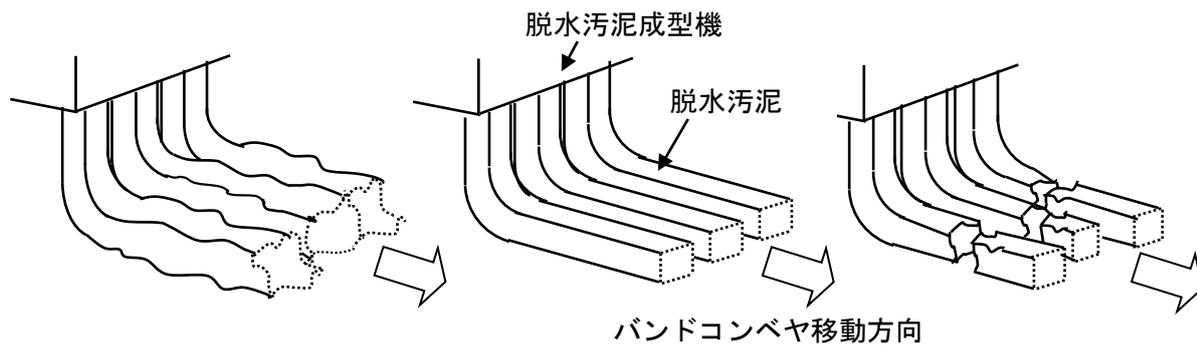


写真2-2 乾燥機内部

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ため、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)

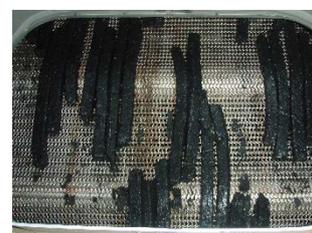


図 2-7 成型汚泥とバンド搬送速度



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。

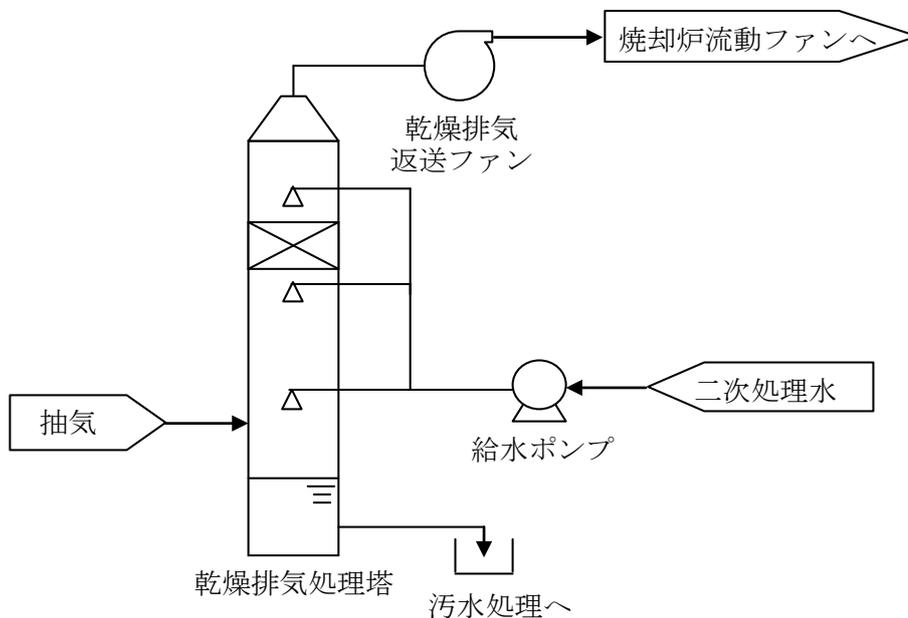


図2-8 抽気処理装置

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)。

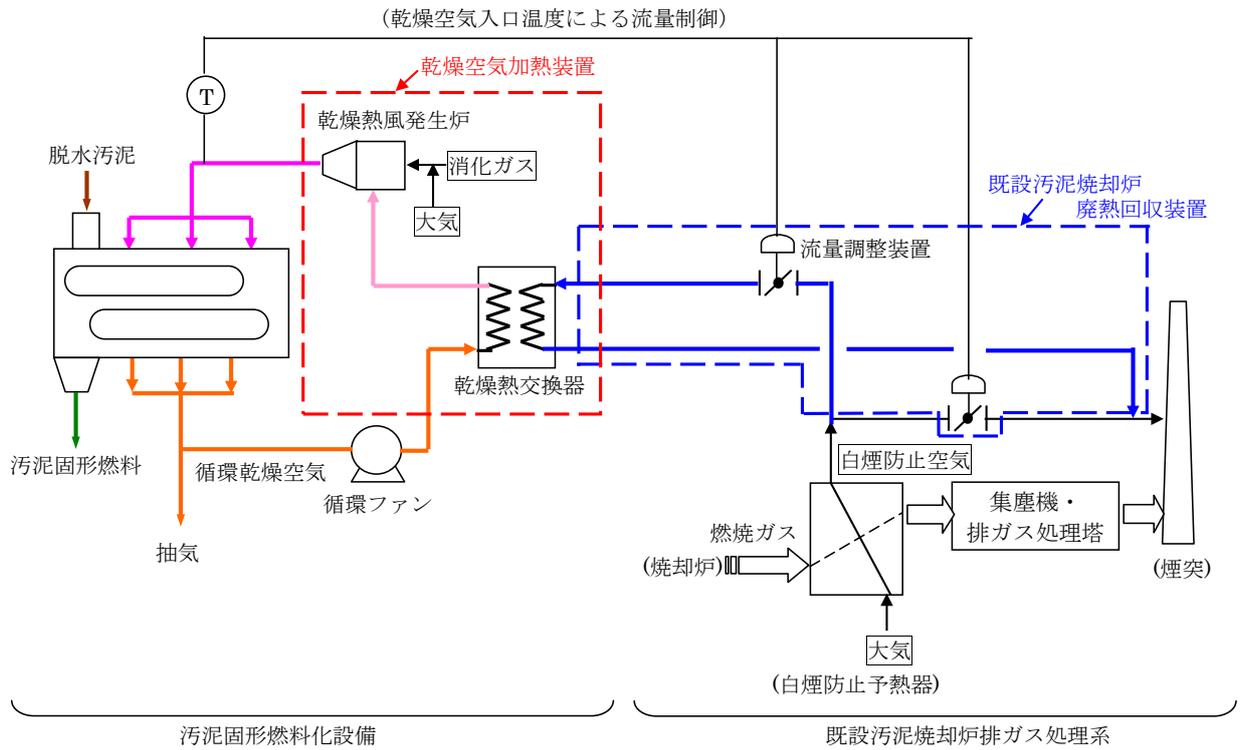


図 2-9 廢熱回収利用技術

§ 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）

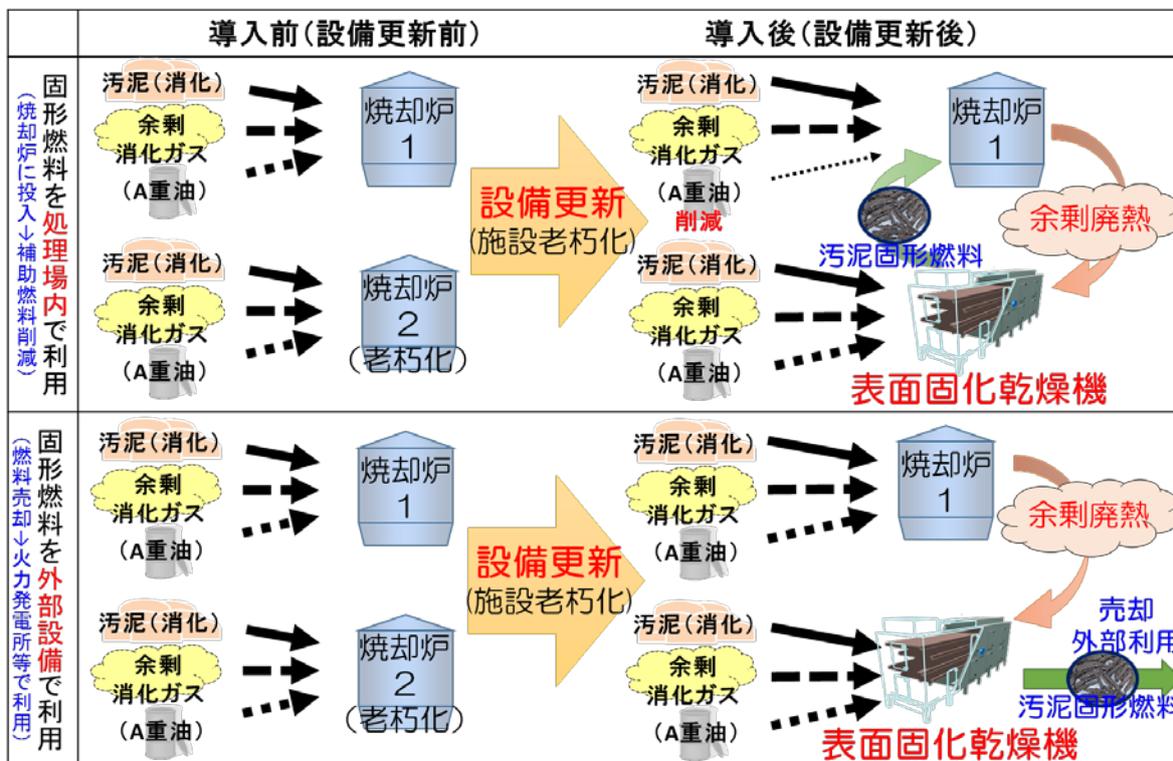
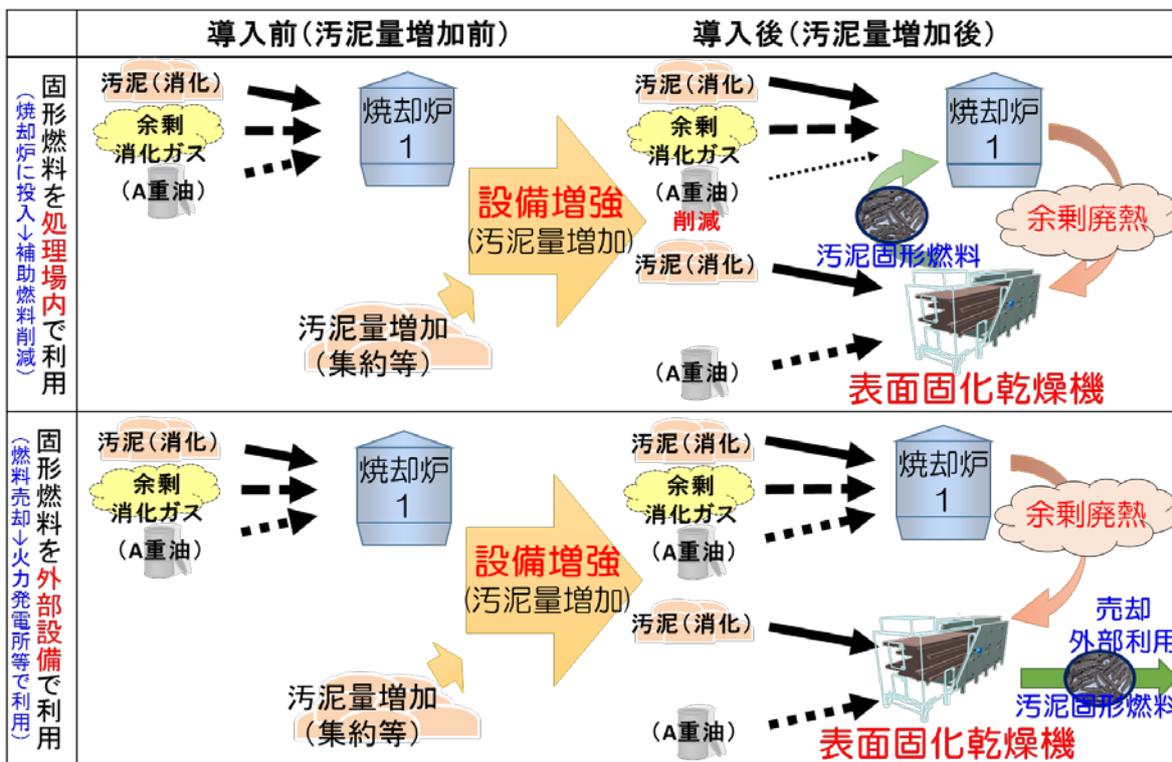


表 2-4 導入シナリオ例 (革新的技術 設備増強)



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

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

(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
粉砕性	HGI(粉砕性指数)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)で見ると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。

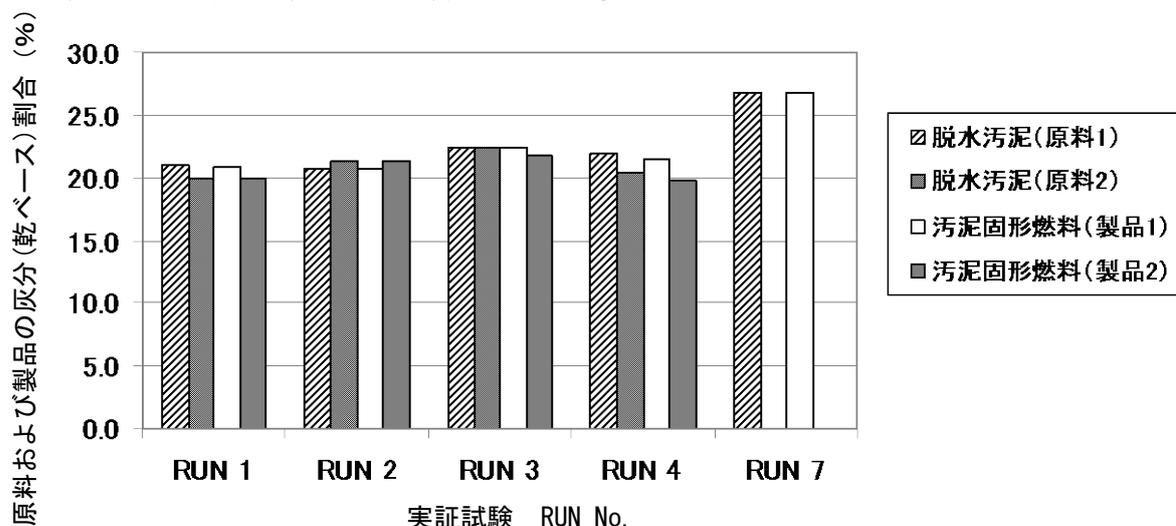


図 2-10 汚泥固形燃料の灰分割合

(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) 破砕性

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、破砕や粉砕し難い形態となり、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 は大きいほど粉砕されやすい。参考として石炭、炭化汚泥の HGI 値も以下に記載する。炭化汚泥より粉砕されにくく、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

