

# 汚泥由来の可燃性ガスと汚泥製品の安全対策に関する技術資料

## 1. はじめに

下水汚泥の有効利用が進むにつれ、下水汚泥から発生する可燃性ガスに起因する事故の発生が顕在化している。また、下水汚泥は発熱量が高く、その燃料的価値も高いが、自己発熱や粉塵爆発等の可能性があり、その取り扱いには十分な注意が必要である。しかし、その危険性に対する認識は一般化されておらず、事故防止対策も整理されておらず、事故防止対策も整理されていないのが現状である。

本技術資料は、下水汚泥の有効利用を促進させるために、下水汚泥を処理・有効利用する際に問題となる下水汚泥由来の可燃性ガスと汚泥製品に対する対策や取り扱い方法を示している。

## 2. 技術資料の概要

本技術資料では、まず調査の前段として、汚泥処理設備における可燃性ガスの発生要因や危険性、汚泥製品の危険性について整理した。また、トラブル事例について、自治体およびメーカーを対象としたアンケートにより調査を行い、代表的なトラブル事例を整理した。その調査結果をF T A（フォルトツリー分析）により要因分析を行い、それらを踏まえた設備設計、運転管理面での安全対策を検討した。

なお、本資料では、下記に示す汚泥処理設備と関連する工程を調査対象設備としている。

- ①脱水汚泥の搬送および貯留
- ②脱水汚泥の乾燥、炭化、焼却、溶融
- ③乾燥汚泥、炭化製品の搬送および貯留設備
- ④送受泥設備

## 3. 可燃性ガス等の危険性の概要

汚泥輸送配管等の密閉状態となる環境で、腐敗ガスを原因とするトラブルが近年発生しており、危険性が認識され始めている。また汚泥製品においては、炭化製品の自己発熱や、乾燥汚泥のコンポスト化による発熱や、低水分状態での粉塵爆発の危険性が高いことが認識されてきている。

## 4. トラブル事例の調査

トラブル事例の傾向把握を目的として、乾燥、焼却、溶融、汚泥管路輸送受入のある自治体（処理場数 206 箇所）及びメーカー 14 社に対してアンケート調査を実施した。その結果、処理場 158 箇所（回答率 76.7%）よりの 51 件、及びメーカーよりの 49 件の中から、重複事例を除いた 88 件を有効回答数とした。

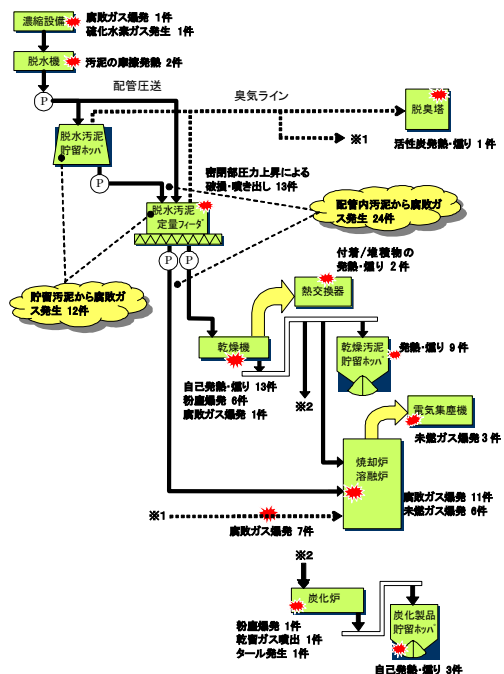


図-1 汚泥処理におけるトラブル事例マップ

汚泥処理におけるトラブル事例マップを図-1に示す。トラブルとしては、圧力異常上昇、爆発、くすぶり、発火、温度異常上昇等が発生している。主なトラブル事例を整理、分類すると下記の通りとなる。

【汚泥由来の可燃性ガスのトラブル事例】

- ①焼却設備の炉内圧力異常上昇
- ②排ガス処理での爆発
- ③溶融炉設備での圧力異常上昇（ガス爆発）
- ④汚泥取り扱い密閉部分の圧力上昇による破損
- ⑤炉燃焼空気ラインでのガス爆発

【汚泥製品のトラブル事例】

- ⑥乾燥機内での汚泥発火
- ⑦ホッパ内での乾燥汚泥、炭化製品の自己発熱
- ⑧乾燥汚泥の粉塵爆発

これらのトラブル発生件数は近年やや増加傾向にあるが、これは脱水汚泥の配管圧送方式が普及し、圧送配管内の汚泥から発生した腐敗ガスに起因するトラブルが増加していることが原因として挙げられる。

トラブル発生までの設備稼働年数について整理したものを図-2に示す。稼働年数1年以内での発生件数が際立って多く、全体の60%を占める。これは、設計上の不具合や運転操作・維持管理の習熟不足が要因となり、設備稼働開始直後に初期トラブルとして顕在化するためと考えられる。

トラブル発生のタイミングについて図-3に示す。焼却設備のトラブルはほとんどが起動工程中に発生しているが、これは焼却設備の停止中に発生した腐敗ガスや未燃ガスが再起動時にバーナや電気集塵機のスパーク等を火種としてガス爆発を起こす事例が多いためである。一方、貯留・搬送設備のトラブルは設備停止中に多く、汚泥腐敗に起因する圧力上昇による密閉部分の機器破損等と考えられる。また、乾燥設備に関わるトラブルは、正常運転中が多いが、その他にも起動・停止、乾燥汚泥保管時の各タイミングで発生している。

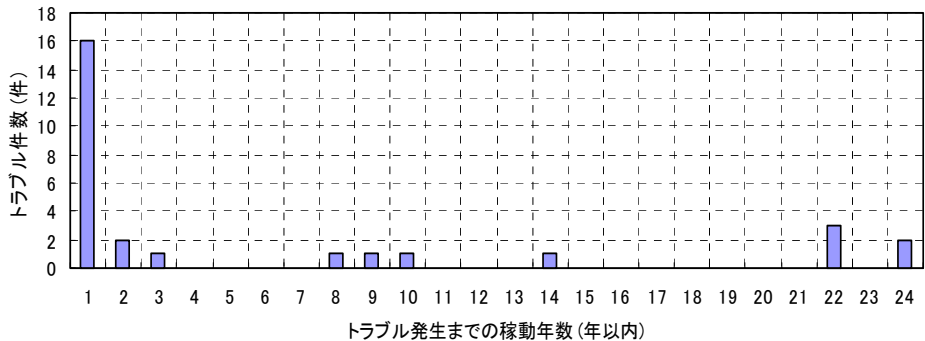


図-2 トラブル発生までの稼働年数

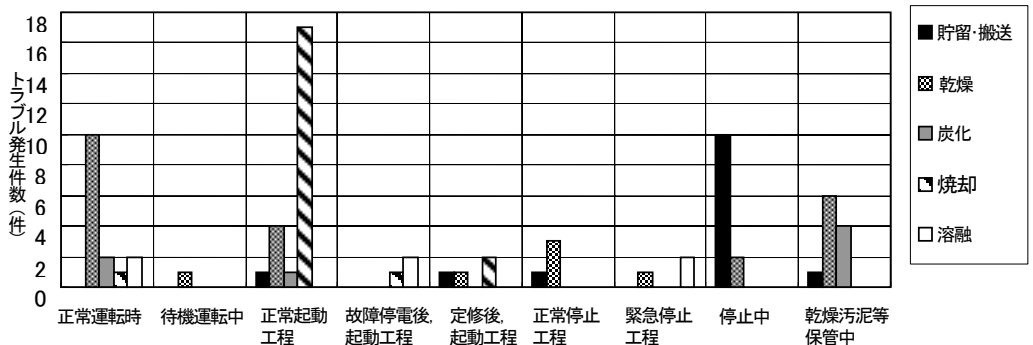


図-3 設備稼働時におけるトラブル発生タイミング

## 5. 要因分析

### 5.1 要因分析手法の選定

トラブルの要因分析については様々な手法が提案されている。主なものとしては、ツリー分析手法である①FTA、②ETA、定性的分析手法である③FMEA、④HAZOPが挙げられる。これらのうち①FTAは、一つの故障事象を分析限界まで追跡し、種々の一次的、二次的原因を可視化するトップダウン分析手法である。分かりやすい理論構造で視覚的な解釈がし易い特徴を持っており、従って事故等に至る経緯や原因を明確にし、対策を立案することが容易である。この理由から、要因分析としてFTAの考え方を採用した。

### 5.2 FTA図の作成および結果

各々のトラブル事例においてFTA図を作成することにより、トラブル発生の原因を明確にすることができた。トラブル事例の発生件数が最も多い「①汚泥焼却設備の炉内圧力異常上昇」ケースのFTAを図-4に示す。

## 6. 安全対策

トラブル事例の要因分析結果から、安全対策を考慮した設計および維持管理を行うことによりトラブ

ルを未然に回避することが可能となる。本技術資料では、安全対策例を主なトラブル毎に記述しているが、「①汚泥焼却設備の炉内圧力異常上昇」と「⑦ホップ内での乾燥汚泥、炭化製品の自己発熱」の各ケースの安全対策例を示す。

### 6.1 汚泥焼却設備の炉内圧力異常上昇

#### (1) 汚泥プレ循環の実施

脱水汚泥配管において、脱水汚泥の搬送を開始する前に、配管内のガス抜きのため配管内の脱水汚泥をプレ循環させる例を図-5に示す。プレ循環は汚泥圧送ポンプ吐出から分岐までの間の脱水汚泥が、汚泥循環ライン側に移動可能な時間実施する。配管径は汚泥循環量から配管圧損を考慮して決定する。

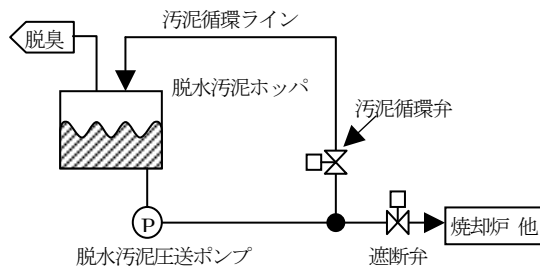


図-5 汚泥のプレ循環例

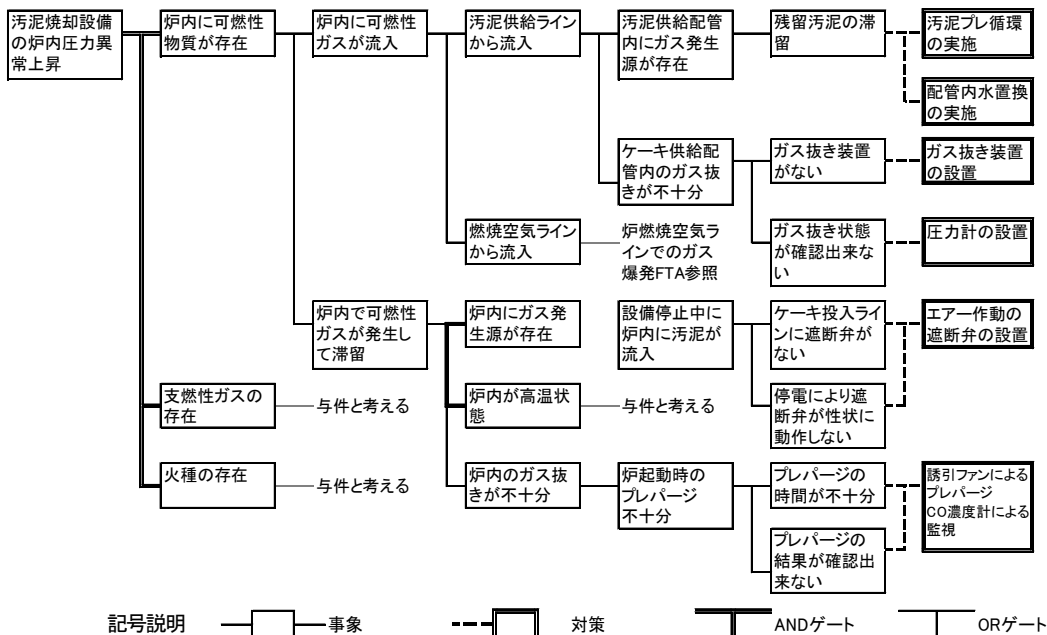


図-4 汚泥焼却設備の炉内圧力異常上昇に関するFTA図

## (2) ガス抜き装置の設置

脱水汚泥配管において、遮断弁の上流側直近に配管内のガスを系外に抜き出すガス抜き装置を設置する例を図-6に示す。汚泥圧送ポンプ停止中は、ガス抜き装置から常にガスが抜けるよう、ガス抜き装置側の弁は全開とし、汚泥圧送ポンプ運転時は全閉とする。

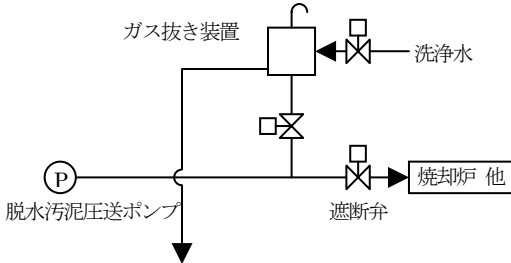


図-6 ガス抜き装置の設置例

## (3) 圧力計の設置

脱水汚泥配管において、遮断弁の上流側直近に圧力計を設置し、配管内の圧力を監視する例を図-7に示す。圧力計により危険性の有無を判断し、圧力が高い場合は、安全に配管内圧力を下げる対応を実施する。

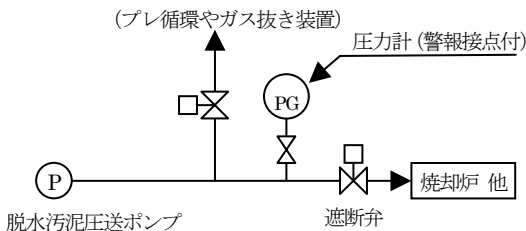


図-7 圧力計の設置例

## 6.2 ホッパ内での乾燥汚泥、炭化製品の自己発熱

(1) ホッパの温度の常時監視し、温度上昇時に窒素パージを実施

乾燥汚泥、炭化品等をホッパに貯留する場合、貯留物の自己発熱によるトラブル防止対策として、ホッパ内温度を常時監視し、温度上昇時には窒素パージを実施する（図-8）。

(2) 貯留物のプレ冷却

乾燥汚泥、炭化品等をホッパに貯留する際の搬送ラインにおいて、貯留物をプレ冷却することで自己発熱から発火のトラブルの危険性を減少させる。具体的には搬送ラインのコンベヤを水冷ジャケット付とし、間接的に水冷する方法が採用されている。

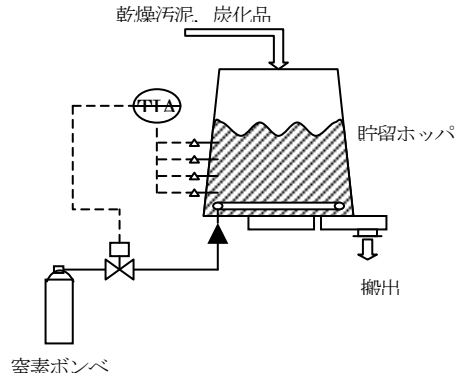


図-8 窒素パージ例

## 7. トラブル対応

### 7.1 予防保全

以下の項目について、基本的手順を示した。

- ・日常点検 ・定期点検 ・運転教育
- ・災害訓練 ・緊急連絡体制の整備

特に設備稼働直後の時期は、設計上の不具合や運転操作、維持管理の習熟不足を要因とするトラブルの発生が多いため、十分な運転教育を必要とする。また、万が一のトラブル発生に備え、関係者に対する災害訓練が重要である。

### 7.2 トラブル発生時の処置

万一トラブルが発生した場合、被害や災害の拡大を回避するために講じるべき処置を整理し、以下の優先順位で示した。

- ①関係労働者の避難、被災者の救護
- ②施設の緊急停止
- ③燃料や原料供給源の停止
- ④安全設備の稼働

## 8. まとめ

本技術資料では、汚泥由来の可燃性ガスや汚泥製品の危険性を整理し、アンケート調査により過去のトラブル事例を明らかにしたうえで、それぞれの要因を分析し、安全対策や留意事項をまとめることができた。また、日頃の予防保全やトラブルが発生した場合の処置についても、整理することができた。

今後、本資料の適切な利用が図られることで、安全な作業環境のもと、下水汚泥の有効利用が促進するものと考えている。