

第4章 計画・設計

第1節 導入計画

§ 20 導入計画手順

本技術の導入検討は、詳細調査、施設計画の検討及び導入効果の検証の手順で行う。

【解説】

本技術の導入計画手順を図 4-1 に示す。本技術の導入にあたっては、計画・設計に係る基本事項の詳細調査から開始し、施設計画の検討、及び導入効果の検証の手順で行う。

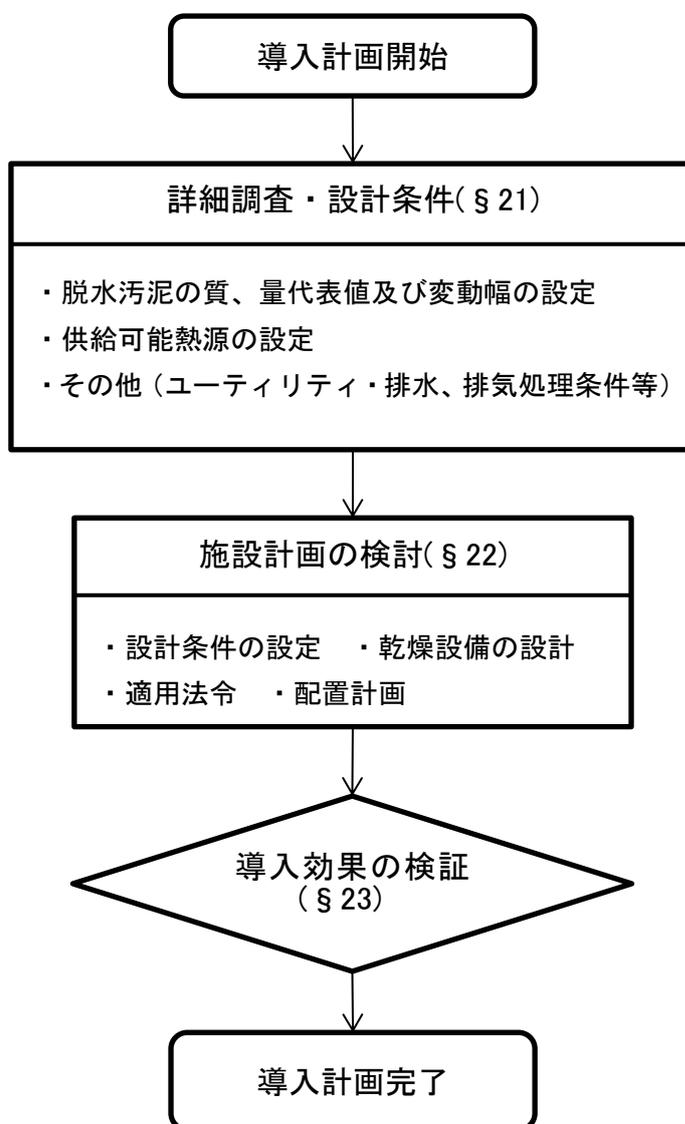


図 4-1 導入計画手順フロー

§ 21 詳細調査・設計条件

施設計画の検討に先立ち、本技術の計画・設計にあたり必要な基本事項について、詳細調査を行う。

【解説】

導入検討時に § 15 にて基礎調査を実施しているが、ここでは導入検討時から導入計画する段階での状況変化の確認を行うとともに、表 4-1 に示す本技術の計画・設計にあたり必要な基本事項について、詳細調査を行う。

また、本技術の導入に関連する汚泥脱水機等の汚泥処理設備の運転状況を調査する。調査内容は、脱水汚泥発生量と含水率、乾燥汚泥含水率、脱水機運転パターン、脱臭設備の条件や維持管理の設定に必要な条件について、可能な範囲でより精度の高い調査を行う。

表 4-1 詳細調査項目

| 項目 | 調査内容 |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 脱水汚泥発生状況 | 年間脱水汚泥発生量、年平均脱水汚泥含水率、月ごとの日平均脱水汚泥発生量と変動幅 水処理及び脱水方式、脱水設備の性能・設置場所・稼動状況、脱水設備の連続運転可否 |
| 施設構造 | 脱水汚泥排出場所、排出方式・装置、空地の有無、建設年 電力設備、燃料供給設備、用水供給設備 |
| 排水処理 | 間接加熱型乾燥機排水及び凝縮水取り合いと処理 |
| 脱臭、排ガス | 脱臭設備の性能、設置場所、稼動状況、排気取り合いと処理 |
| 汚泥利活用・処分 | 脱水汚泥の利用・処分状況（委託先、量、含水率、運搬距離、処分単価、頻度、生産計画） |

(1) 脱水汚泥処理量及び汚泥性状の設定

導入検討での § 15 基礎調査の情報を基に乾燥設備設計の基本となる脱水汚泥量及び性状の代表値を設定する。本技術は乾燥機水分蒸発能力が小型乾燥機と中型乾燥機の2通りで既定値であるため一定で、含水率条件から乾燥機日脱水汚泥処理量設計値 X_{rd} を計算で求める。これに年間変動率を乗じて乾燥機日脱水汚泥処理量最大値 X_{rdmax} を求める。本技術の乾燥機は加熱温度変更で110%の処理能力が得られ、さらに脱水汚泥処理量最大月の稼働率を増して、併せて130%の処理能力まで対応できるが、脱水汚泥発生量がこれを超える場合は、月変動に対しては場外搬出で、日変動に対しては脱水汚泥ホoppa容量の余裕で対応する（表 4-2 参照）。

表 4-2 乾燥機日脱水汚泥処理量設計値について※1

| 項目 | 記号 | 単位 | 小型乾燥機 | 中型乾燥機 | 備考 |
|----------------|---------|-----------|-------|---------|------------------------------------------------------------|
| 年間脱水汚泥発生量 | Xy | [t-wet/年] | 8,280 | 16,296 | 実績値 |
| 日平均脱水汚泥発生量 | | [t-wet/日] | 22.68 | 44.6 | $X_y \div 365$ |
| 脱水汚泥含水率設計値 | W1 | [%W.B.] | 78.0 | 79.0 | |
| 脱水汚泥含水比設計値 | w1db | [%D.B.] | 354.5 | 376.2 | |
| 乾燥汚泥含水率設計値 | w2 | [%W.B.] | 20.0 | 20.0 | |
| 脱水汚泥含水比設計値 | w2db | [%D.B.] | 25.0 | 25.0 | |
| 年間乾燥汚泥生産量 | F2y | [t-wet/年] | 2,277 | 4,277.7 | $X_y - (100 - w1) \div (100 - w2)$ |
| 年間水分蒸発量 | Wy | [t /年] | 6,003 | 12,018 | $X_y - F2y$ |
| 小型乾燥機の年間水分蒸発量 | | [t /年] | 6,003 | | 6,003 (年間300日稼働) |
| 中型乾燥機の年間水分蒸発量 | | [t /年] | | 12,018 | 12,018 (年間300日稼働) |
| 施設稼働率 | B | [%] | | | 施設運転日数 \div 365 \times 100 (実証では年間300日稼働 ; 82.2) |
| | | | 82.2 | | $W_y \div 6,003 \times 300 \div 365 \times 100$ |
| | | | | 82.2 | $W_y \div 12,018 \times 300 \div 365 \times 100$ |
| 脱水汚泥発生量変動率 | C | [%] | 110 | 110 | 発生量最大月の日平均脱水汚泥発生量 \div 日平均脱水汚泥発生量 \times 100 (実証では110) |
| 乾燥機日脱水汚泥処理量設計値 | Xrd | [t-wet/日] | 27.6 | 54.3 | $X_y \div 365 \div B \times 100$ |
| 乾燥機日乾燥汚泥生産量設計値 | F2rd | [t-wet/日] | 7.6 | 14.3 | $Xrd \times (1 - w1/100) \div (1 - w2/100)$ |
| 乾燥機日脱水汚泥処理量最大値 | Xrdmax | [t-wet/日] | 30.4 | 59.8 | $Xrd \times (C \div 100)$ 加熱温度と最大月稼働率で調整 |
| 乾燥機日乾燥汚泥生産量最大値 | F2rdmax | [t-wet/日] | 8.3 | 15.7 | $F2rdmax \times (1 - w1/100) \div (1 - w2/100)$ |

※1 乾燥機日脱水汚泥処理量設計値 Xrd は、乾燥機の水分蒸発量が小型乾燥機と中型乾燥機でそれぞれ既定値のため、実際の処理量と含水率から上記の計算により求める。

脱水汚泥性状として表 4-3 に示す含水率、組成及び発熱量などについて直近数年の脱水記録(月報)や分析記録を基に設計値を設定する。

表 4-3 脱水汚泥性状

| 項目 | 内容 | 備考 |
|---------------|-------|------------------|
| 汚泥種類 | 未消化 | 本技術適用判断、有効活用判断項目 |
| 脱水薬品種別 | 有機系 | |
| 含水率 [%W.B.] | 変動幅 | 適用条件及び乾燥能力検討 |
| 有害物質 | 含有、溶出 | 乾燥汚泥用途別の許容値 |
| 組成 | 炭素 | 分析データ |
| | 水素 | |
| | 窒素 | |
| | 酸素 | |
| | 硫黄 | |
| 高位発熱量 [MJ/kg] | — | |
| 低位発熱量 [MJ/kg] | — | |
| 強熱減量 [%] | — | |

(2) 供給可能熱源の設定

当該処理場内で使用する熱源について設定する。本技術ではボイラにLPGを使用するが、条件によっては、これに代わる燃料も使用できる。また、同様にボイラで発生する補助蒸気の代わりに蒸気の供給を受けることも可能である。既存設備から供給可能な熱源、燃料及び外部購入燃料について種別、熱量、性状等を整理する（表4-4参照）。

表4-4 供給可能熱源について

| 種別 | | 内容 | | 備考 |
|-----------|------|--------|------------------------|------------|
| 既存設備からの供給 | 蒸気 | 供給量 | [kg/h] | |
| | | 供給圧 | [MPaG] | 安定供給、最高使用圧 |
| | | 温度 | [°C] | |
| | | 供給形態 | [-] | 配管、稼働状況 |
| | | 蒸気品質 | [-] | 蒸気圧縮機への影響 |
| | 消化ガス | 発熱量 | [MJ/N m ³] | 季節変動 |
| | | 供給量 | [N m ³ /h] | 安定供給上限 |
| | | 供給圧 | [kPaG] | 変動幅 |
| ガス品質 | | - | 燃焼機器への影響 | |
| 外部購入燃料 | ガス燃料 | 種類 | - | |
| | | 発熱量 | [MJ/N m ³] | |
| | | 供給形態 | - | 配管、バルク |
| | | 供給量 | [N m ³ /h] | 安定供給上限 |
| | | 供給圧 | [kPaG] | |
| | 液体燃料 | 種類 | - | |
| | | 発熱量 | [MJ/kg] | |
| | | 供給量 | [L/h] | |
| 供給圧 | | [MPaG] | | |

(3) その他条件

その他の条件設定として、以下の事項について確認する。

1) 脱水汚泥の受入れ（供給）条件

既存の脱水汚泥ホップからの切り出しや既存搬送ラインからの分岐など、汚泥受入れ（供給）方法を明確にする。これにより乾燥設備での脱水汚泥ホップ容量や基数を設定する。（詳細は § 25 参照）

2) 乾燥設備設置場所と脱水汚泥発生場所

乾燥設備設置場所と脱水汚泥発生場所を明確にする。移送方法は脱水汚泥発生場所の立地や移送距離によって選定される。同一建屋や隣接空地に乾燥設備を設置する場合はコンベヤ移送やポンプ圧送が基本となる。いずれにしても汚泥受入（搬出）設備の屋内化や脱臭、排水処理などに

おける臭気対策など環境面への配慮が必要である。

3) 用水、電源、熱源供給場所

用水、電源、熱源の供給場所を明確にする。用水の供給場所が遠く、さらに供給圧力が低い場合には貯留、昇圧などの設備設置が必要となる。

4) 排水処理条件

排水取り合い箇所、排水量上限値、排水水質設計値などを設定する。乾燥設備では汚泥から蒸発した揮発分の凝縮水や余剰熱源蒸気ドレンが排水として発生する。排水処理設備への影響は乾燥機凝縮水量×BODとし、小型乾燥機の場合は凝縮水量：900 kg/h×BOD：5000mg/kg=5000mg/h程度が予測される（表 2-18[p. 39]参照）。処理場の流入水量、水質に対し影響ないレベルであるが、既存水処理設備能力を超える場合には別途排水処理設備を設ける必要がある。

5) 乾燥排気処理条件

乾燥排気の脱臭は直接燃焼式脱臭炉を新設して行なうものとしているが、既存脱臭設備で処理可能であれば活用を検討する。既存脱臭設備がある場合は脱臭設備の処理能力について確認し、処理能力を超える可能性が想定される場合には直接燃焼式脱臭炉を新設し、最終排ガスは既存若しくは新設の排気塔から排気する。

6) 試験機による試験結果の反映

§ 25 に示したように、乾燥機メーカー試験工場内の試験機で実際の脱水汚泥を用いて乾燥試験を行ない間接加熱乾燥機選択の妥当性を確認するが、試験結果で求めた加熱温度 165℃における単位面積当りの蒸発量と実証値 4.1kg/(m²h)に差がある場合は、表 4-2 の小型乾燥機または中型乾燥機の年間水分蒸発量に試験結果を実証値で除した数値を乗じて補正することで乾燥機日脱水汚泥処理量設計値等が定まる。

補正例：試験結果が 4.5 kg/(m²h)の場合（実証値は 4.1）

小型乾燥機年間水分蒸発量 $W_y=6,003 \times 4.5 \div 4.1$

中型乾燥機年間水分蒸発量 $W_y=12,018 \times 4.5 \div 4.1$

§ 22 施設計画の検討

本技術の導入にあたり、各施設計画の検討を行う。

- (1) 設計条件の設定
- (2) 設計項目の設定
- (3) 適用法令
- (4) 配置計画

【解説】

(1) 設計条件の設定

「§ 21 詳細調査」の調査内容に基づき、脱水汚泥処理量の設計条件設定を行う。

脱水汚泥処理量は、年間発生量、日平均発生量、日処理量最大値の他、脱水汚泥性状等から設定する（表 4-5 参照）。

1) 年間脱水汚泥発生量

施設計画・設計の基本となる諸元として、年間脱水汚泥発生量を設定する。

2) 乾燥機日処理量平均値、最大値

直近数年の実績から稼働日当りの乾燥機日処理量平均値、最大値を設定する。

3) 乾燥機日処理量設計値

乾燥設備の設計処理量とする数値で、小型乾燥機、中型乾燥機の年間水分蒸発量既定値と実際の含水率条件から設定する。

4) 脱水汚泥及び乾燥汚泥含水率の設計値

直近数年の実績から脱水汚泥含水率設計値を、利活用の用途に合わせた乾燥汚泥含水率の設計値、変動幅を設定する。本技術の脱水汚泥含水率適用範囲は 72～83%W.B. であり、乾燥汚泥含水率は肥料化で概ね 20%W.B. 以上、燃料化で 20%W.B. 以内が目安となる（表 2-7、表 2-8 [p. 28, 29] 参照）。

5) 時間最大汚泥量の変動パターン

汚泥量発生量ピークの継続時間や変動パターンを考慮して乾燥設備の容量計算を行なう。

表 4-5 設計条件 計画

| | |
|------------|--------------------------------|
| 年間脱水汚泥発生量 | 直近数年の実績、傾向、関連する計画を基に設定 |
| 乾燥機日処理量最大値 | 月発生量最大値と月稼働日数より設定 |
| 乾燥機日処理量設計値 | 年間水分蒸発量既定値と実際の含水率条件から設定 |
| 脱水汚泥含水率設計値 | 直近数年の実績、傾向、関連する計画を基に設定（72～83%） |
| 乾燥汚泥含水率設計値 | 利活用用途に合わせて設定（15～30%） |

(2) 設計項目の設定

設計条件の設定に基づき設計項目を設定する。項目例を以下に示す。

- ・ 機器名称
- ・ 型式
- ・ 能力（容量など）
- ・ 形状
- ・ 使用条件（温度、運転計画など）
- ・ 基数
- ・ その他

(3) 適用法令（資料編4参照）

1) 消防法

乾燥設備及び、熱源である蒸気を発生するボイラなど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部局に確認し、必要な手続きを行う必要がある。

さらに乾燥汚泥を燃料として扱う場合は「再生資源燃料」として分類され、乾燥汚泥ホッパは指定可燃物貯蔵として届出が必要であり、安全対策等の規定がされている。このため、消防法、条例の適用に関して、所轄の消防部局に確認し、必要な手続きを行う必要がある。

2) 大気汚泥防止法

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) 騒音規制法

蒸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。

4) 振動規制法

蒸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) 悪臭防止法

施設の計画に当たっては、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に留意する。

具体的には資料編1 図資 1-3 (p. 123) 実証設備配置を参照する。

1) 用水系統及び凝縮水系統、乾燥排気系統距離の最短化

汚泥乾燥のための間接加熱型乾燥機は蒸気を主熱源としており、用水（上水）を利用する。乾燥で発生する排気及び蒸発水分である凝縮水は脱臭設備と水処理設備で処理する。これらの取合う配管距離を最短とする機器配置に留意する。

2) 間接加熱型乾燥機など周辺の保全空間の確保

日常点検やメンテナンスを考慮し、間接加熱型乾燥機をはじめとする主要機器の周辺には、保全用の作業空間及び歩廊を配置し、装置類にオペレータが接近可能なように配置する。

3) 脱水汚泥及び乾燥汚泥移送ルート最適化

脱水汚泥は汚泥ポンプにより間接加熱型乾燥機の上部より機内に投入されるが、脱水機から既設脱水汚泥貯留ホoppaへの移送ラインから分岐する。また、間接加熱型乾燥機からの乾燥汚泥は上記の貯留ホoppaに移送するようにコンベアを配置する。外部搬出を集約し、脱水汚泥又は乾燥汚泥を同じホoppaから搬出することができるため、間接加熱型乾燥機の稼働調整に活用できる。

§ 23 導入効果の検証

施設計画の検討に基づいて導入効果について再検討を行い、脱水汚泥の外部委託処分費及び従来技術と比較して本技術の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行った導入効果の算定及び評価結果に対して、施設計画の検討に基づいて再検討を行う。具体的には、施設計画の検討結果に基づき、本技術の導入時の建設費・維持管理費から総費用（年価換算値）、そして維持管理でのエネルギー使用量及び温室効果ガス排出量を算定し、脱水汚泥の外部委託処分費及び従来技術と比較して本技術の導入効果が得られるか検証を行う（表 3-3、表 3-4、表 3-6、表 3-7、表 3-8、及び表 3-9 参照）。

第2節 高効率乾燥設備の設計

§ 24 高効率乾燥設備の設計手順

設備の設計手順は以下のとおりである。

- (1) 高効率乾燥設備の設計
 - ・乾燥設備
 - ・安全対策
- (2) 脱臭設備の設計

【解説】

設備の設計フローを図4-2に示す。なお、各設備の一般的な機器・配管等の設計は、設計指針に基づき実施する。

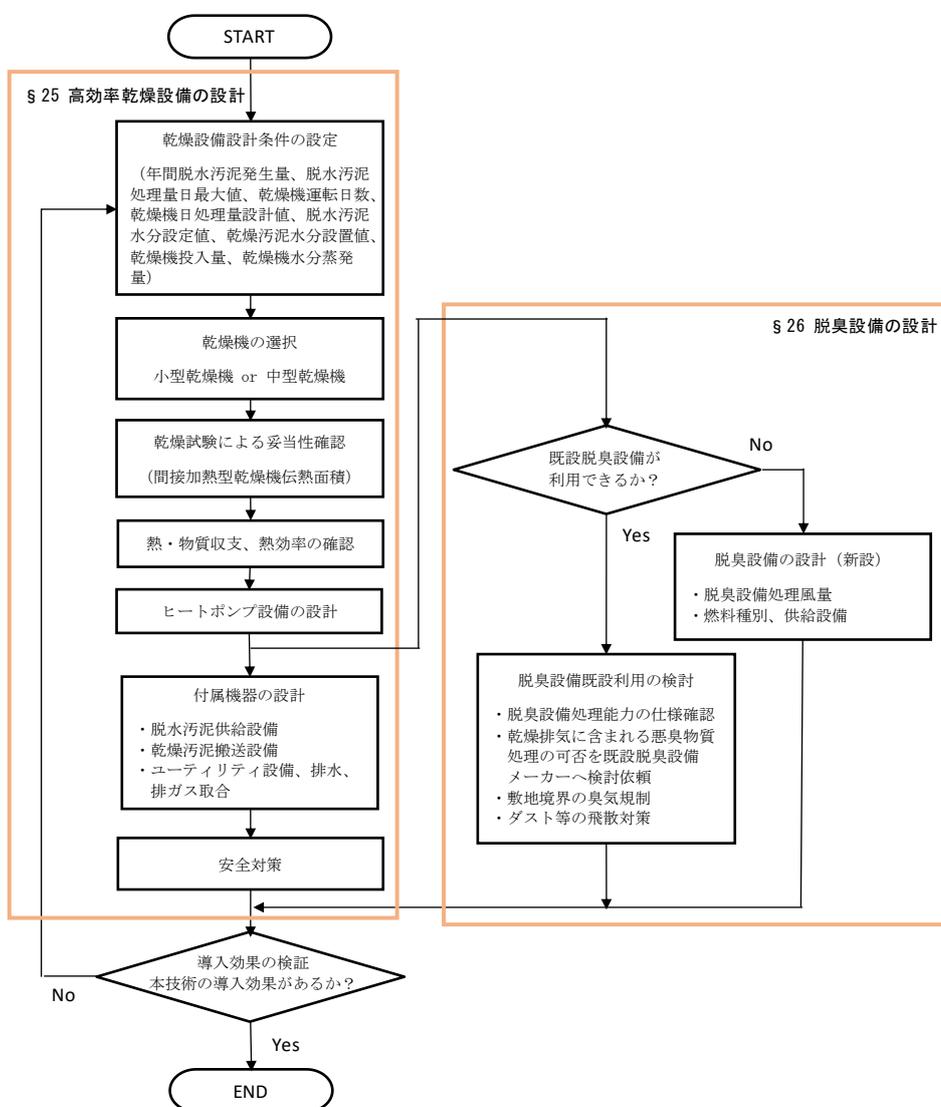


図4-2 乾燥設備の設計フロー

§ 25 高効率乾燥設備の設計

高効率乾燥設備は、脱水汚泥供給設備、間接加熱型乾燥機、ヒートポンプシステム、乾燥汚泥搬送・貯留設備等で構成する。

【解説】

本技術の処理規模は2通りあり、第1節 導入計画で設定した乾燥機日処理量設計値に合わせて、どちらか一方を選択する（表4-6参照）。

実際の脱水汚泥を使用して本技術試験機で乾燥試験を行い間接加熱型乾燥機選択の妥当性を確認するとともに、得られた乾燥汚泥試作品の安全性や利活用にかかわる分析を行なう。

実際の設計条件で熱容量計算を行なって、これを基に付属機器、脱臭設備を設計する。また、乾燥汚泥の安全性分析結果を基に搬送機器や乾燥汚泥貯留設備の安全対策を行う。

実証結果から求めた小型乾燥機、中型乾燥機の機器仕様を表4-7及び資料編3 表資3-49(p.294)に示し、概略フローを図4-3に、熱・物質収支を図4-4～図4-5に示す。

表4-6 適用条件 処理規模

| ケース | 脱水汚泥処理量 ※1 | | 間接加熱型乾燥機 伝熱面積 [m ²] | 圧縮機系列数 [-] |
|-------|---------------|------------|---------------------------------------|---------------|
| | [t-wet/年] | [kg-wet/h] | | |
| 小型乾燥機 | 6,000～9,200 | 1,150 | 250 | 1 |
| 中型乾燥機 | 10,000～16,300 | 2,263 | 450（最大面積） | 2 |

※1 適用脱水汚泥含水率は72～83%W.B.、乾燥汚泥含水率は15～30%W.B.

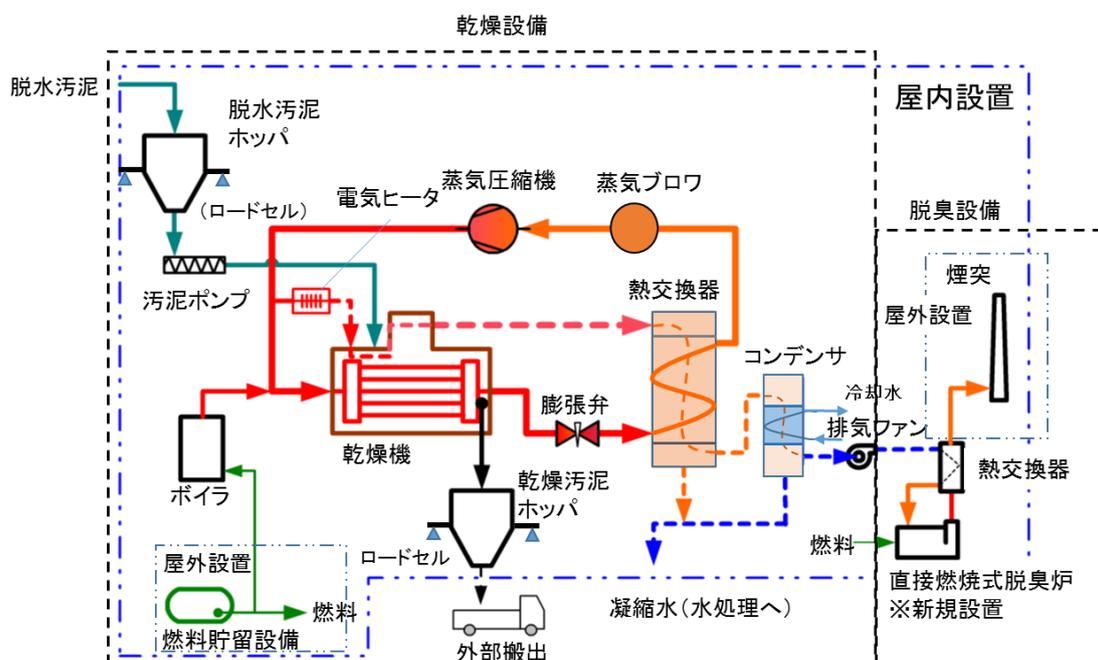


図4-3 本技術の概略フロー

表 4-7 ケース別の機器仕様例

| 区分 | 機器名称 | 小型乾燥機 | | | 中型乾燥機 | | |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------|------------|------------------------------------------|---------|-----|
| | | 仕様 | 動力 [kW] | 基数 | 仕様 | 動力 [kW] | 基数 |
| 脱 水 汚 泥 設 備 | 脱水汚泥ホッパ | 鋼板製角型下部スクリー排出式 ^{※1} 有効(5)m ³ ^{※1} | 0.75 | 1 | 同左 有効(10)m ³ ^{※1} | 1.5 | 1 |
| | 汚泥供給ポンプ | 一軸ネジ式 ^{※2} | 11 | 1 | 同左 | 22 | 1 |
| | | フィーダ | | 2.2 | 1 | 同左 | 3.7 |
| 自 己 熱 再 生 型 汚 泥 乾 燥 設 備 | 乾燥機 | 連続式伝導伝熱型乾燥機 伝熱面積250m ² | 37.4 | 1 | 同左 伝熱面積450m ² | 75.4 | 1 |
| | | 乾燥汚泥排出ロータリーバルブ ヒータ付、RV-250 | 0.4 | 1 | 同左 RV-320 | 0.4 | 1 |
| | 電気ヒータ | 縦型シェル&チューブ式 | 5 | 1 | - | 10 | 1 |
| | 集塵機 | バグフィルタ式、処理風量26m ³ /min | - | 1 | 同左、処理風量55m ³ /min | - | 1 |
| | 熱交換器 | シェル&チューブ式、 伝熱面積 183m ² | - | 1 | 伝熱面積 183m ² | - | 2 |
| | コンデンサ | シェル&チューブ式、 伝熱面積 21.7m ² | - | 1 | 同左 伝熱面積 44m ² | - | 1 |
| | 排気ファン | 5m ³ /min × 7.6kPa | 3.7 | 1 | 10m ³ /min × 7.6kPa | 3.7 | 1 |
| | 蒸気ブロウ | 容積式、(-0.036→0.06MPaG) 吸込蒸気量:約900kg/h、予備部品1基 | 185 | 1 | 同左 | 185 | 2 |
| | 蒸気圧縮機 | 容積式、(0.06MPaG→0.44~0.6MPaG) 吸込蒸気量0.2~1.3t/h | 160 | 1 | 同左 | 160 | 2 |
| | ドレンタンク | 500L | - | 1 | 500L | - | 2 |
| | ドレンポンプ | カスケード式、30L/min | - | 1 | 同左 60L/min | - | 2 |
| | 凝縮水ポンプ | カスケード式、25L/min | - | 1 | 同左 50L/min | - | 1 |
| | No.1補給水ポンプ | カスケード式、10L/min | - | 1 | 同左 20L/min | - | 1 |
| | No.2補給水ポンプ | カスケード式、17L/min | - | 1 | 同左 24L/min | - | 1 |
| ユ ー テ ィ リ テ ィ 設 備 | ボイラ | 2tボイラ、軟水装置、純水装置 | 13.8 | 1 | 同左 2tボイラ | 22.3 | 1 |
| | コンプレッサ | 吐出空気量1m ³ /min、吐出圧力0.7MPa、 ドライヤ付属 | 7.5 | 2 | 吐出空気量2m ³ /min 同左 | 11 | 2 |
| | ラインポンプ | 3.5m ³ /h、0.3MPa以上 ^{※4} | 1.5 | 1 | 6.5m ³ /h | 3.7 | 1 |
| | クーリングタワー | ファン、ヒータ付属 冷却能力209kW | 3.5 | 1 | 同左 冷却能力400kW | 7.5 | 1 |
| | | 冷却水ポンプ(片吸込渦巻式) 600L/min | 3.7 | 1 | 同左 1200L/min | 7.5 | 1 |
| LPGバルク | LPGガスバルク貯槽 容量2.9t | 14 | 1 | 同左 容量6t | 28 | 1 | |
| 乾 燥 汚 泥 設 備 | 乾燥汚泥コンベヤ | スクリー式、φ 250 ^{※5} 水冷式 | 1.5 | 1 | 同左 φ 300 | 2.2 | 1 |
| | 乾燥汚泥コンベヤ (水平、垂直搬送) | フライト式(フライト巾250mm) | 0.75 | 1 | 同左、(フライト巾300mm) | 1.5 | 1 |
| | 乾燥汚泥ホッパ | 鋼板製角型下部スクリー排出式 水冷式 容量10m ³ | 1.5 | 2 | 同左 | 1.5 | 3 |
| 脱 臭 設 備 | 燃焼脱臭炉 | 燃焼温度700℃ 脱臭バーナ付 | 0.75 | 1 | 同左 | 0.75 | 1 |
| | 脱臭用熱交換器 | シェル&チューブ式、またはプレート式 | - | 1 | 同左 | - | 1 |
| 備 考 | ※1 脱水汚泥ホッパ容量は脱水機運用に合わせて設定する。※2 汚泥ポンプは実際の脱水汚泥にあわせて選定する。※3 滑材注入ポンプは実際の脱水汚泥により要否を設定する。※4 ポンプは必要揚程により選定する。※5 コンベヤは実際の汚泥、機器配置等により選定する。 | | | | | | |

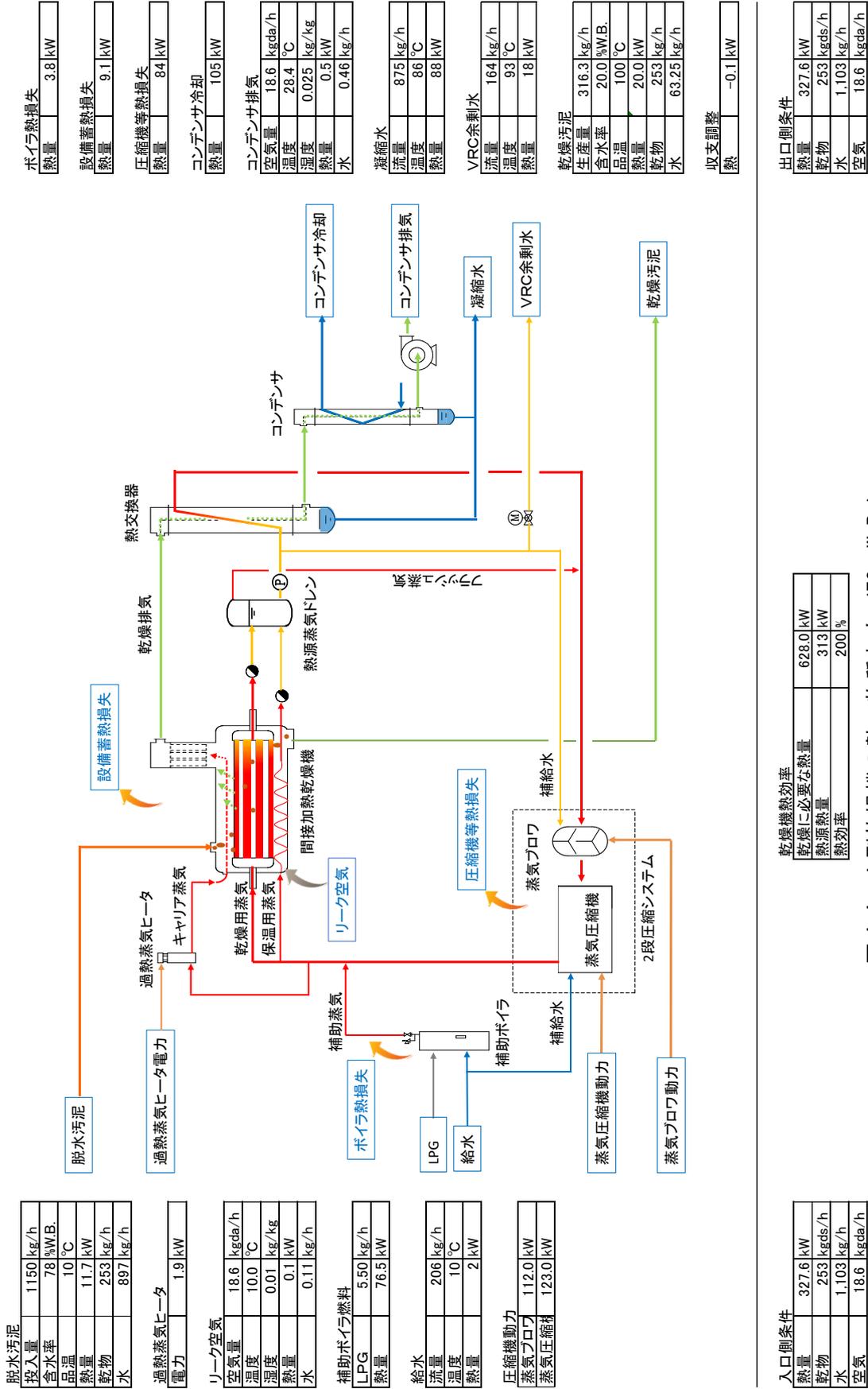


図 4-4 小型乾燥機の熱・物質収支 (78%W.B.)

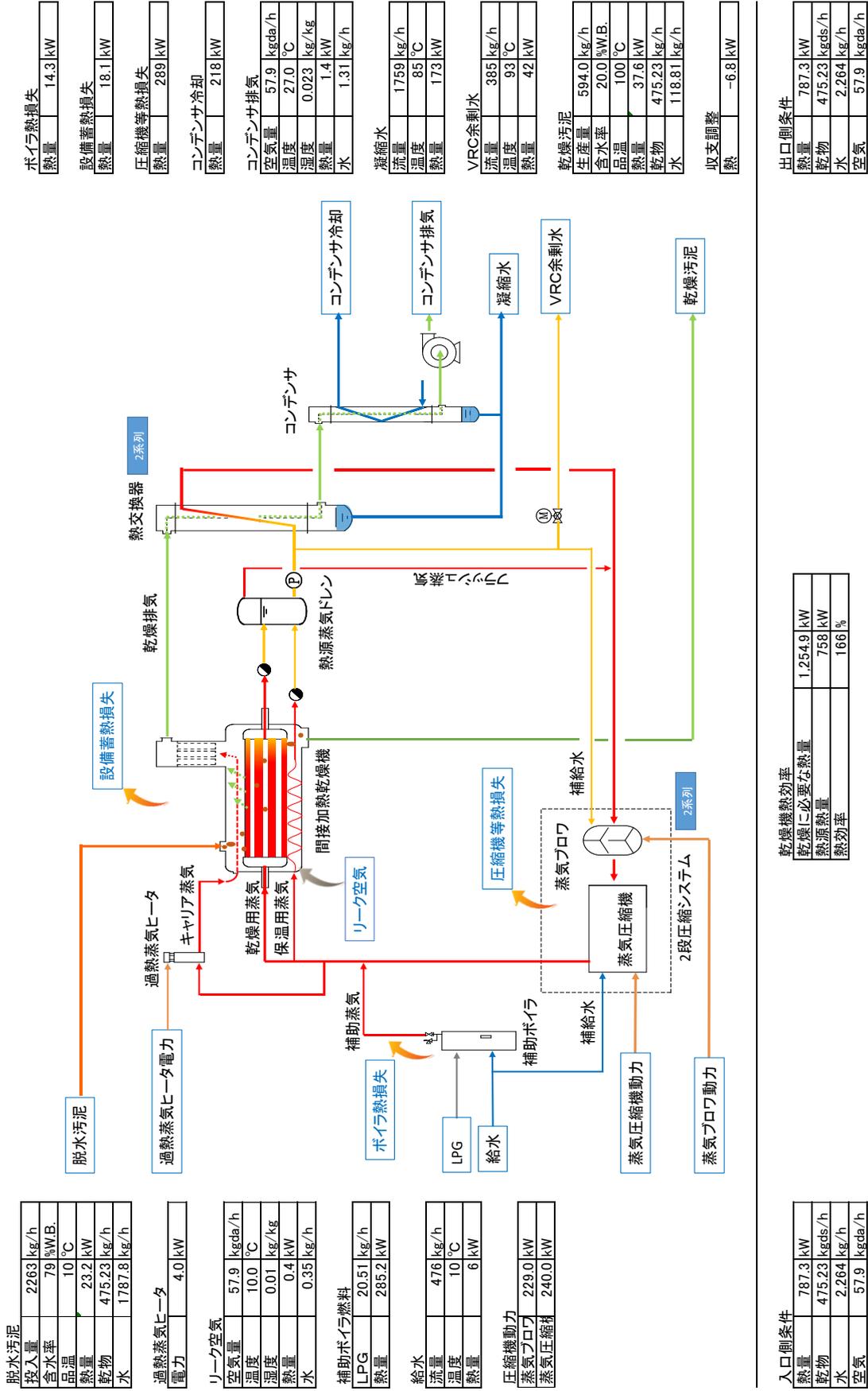


図 4-5 中型乾燥機の熱・物質収支 (79%W.B.)

(1) 乾燥設備の設計

計画初期段階では、脱水汚泥処理量が小型乾燥機、中型乾燥機のいずれに該当するかを確認し、乾燥設備の基本フローを設定する。詳細計画時には、本技術試験機を用いて実際の脱水汚泥で乾燥試験を実施し、間接加熱型乾燥機伝熱面積の妥当性確認を行う(p.79 6)項, p.91 4)項参照)。

各ケースの熱・物質収支は概ね図 4-4 又は図 4-5 となるが、設計条件にて熱容量計算を実施して乾燥設備及び付属機器の仕様を決定する。下水汚泥は有機物を多く含み、その乾燥汚泥は条件によって発熱、発火する可能性があるので上記試験機による乾燥汚泥試作品の安全性試験結果に基づき安全対策を決定する。

1) 乾燥設備設計条件の設定

乾燥設備設計条件の項目は下記のとおりで、設定例を表 4-8 に示す。

表 4-8 乾燥設備設計条件の設定

| 項目 | 単位 | 設定例 | 備考 |
|-------------|------------|-------|---------------|
| 年間脱水汚泥発生量 | [t-wet/年] | 8,280 | 実績値 |
| 脱水汚泥処理量日最大値 | [t-wet/日] | 30.4 | 月平均実績値より |
| 乾燥機運転日数 | [日/年] | (300) | 運転日数で調整 |
| 乾燥機日処理量設計値 | [t-wet/日] | 27.6 | 既定値、含水率より |
| 脱水汚泥含水率設計値 | [%W. B.] | 78 | 実績値 |
| 乾燥汚泥含水率設計値 | [%W. B.] | 20 | 利活用用途より |
| 乾燥機投入量 | [kg-wet/h] | 1,150 | 時間当たりの脱水汚泥処理量 |
| 乾燥機水分蒸発量 | [kg/h] | 834 | 時間当たりの水分蒸発量 |

① 年間脱水汚泥発生量

小型乾燥機、中型乾燥機の選定に用いる重要な数値で、直近数年の実績値や計画から設定する。実証フィールドでは過去4年間の脱水設備月報を参考とした。

② 脱水汚泥処理量日最大値

前項と同様に月平均の変動実績から設定する。実証フィールドでは夏季1ヶ月が-10%、冬季1ヶ月が+10%であった。

③ 乾燥機運転日数

乾燥設備は24時間連続運転を基本とする設備であり、週単位の運転においても連続運転としたほうが省エネ運転となるなど有利である。

運転日数は年間300日を基本とするが、間接加熱型乾燥機の運転は表 4-8 の乾燥機水分蒸発量を基準として小型乾燥機または中型乾燥機の既定水分蒸発量となるよう運転時間や運転日数を調整する。

④ 乾燥機日処理量設計値

前項の調整により小型乾燥機または中型乾燥機の既定水分蒸発量(表 4-2 参照)となる数値を設定する。

⑤ 脱水汚泥含水率設定値

本技術の脱水汚泥含水率適用範囲は 72～83%W. B. である。直近数年の実績値や計画から設定する。実績値については水分測定基準の違いが乾燥機水分蒸発量や乾燥汚泥生産量に影響するので、採用データの水分測定基準に注意する。

⑥ 乾燥汚泥含水率設定値

本技術の乾燥汚泥含水率適用範囲は 15～30%W. B. で、自動制御により安定した含水率の乾燥汚泥が得られる。肥料化の場合概ね 20%以上、燃料化の場合は 20%以下だが利活用先により異なるので注意する。

⑦ 乾燥機投入量

乾燥機日処理量設計値を 24 時間で除して設定する。

⑧ 乾燥機水分蒸発量

時間当たり乾燥機水分蒸発量[kg/h]で小型乾燥機または中型乾燥機の既定水分蒸発量(図 4-5、図 4-6 参照)の数値に設定する。

2) 乾燥設備の選択

年間脱水汚泥発生量から小型乾燥機か中型乾燥機を選択する。

それぞれのフローシート、配置図を資料編 1 図資 1-51～56(p. 227～233)に示し、設置スペースを表 4-9、ユーティリティを表 4-10 に示す。

表 4-9 設置スペース

| ケース | 設置スペース (参考値) |
|-------|-----------------------|
| 小型乾燥機 | 350 [m ²] |
| 中型乾燥機 | 775 [m ²] |

表 4-10 ユーティリティ

| ケース | 入 | | | | 出 | | |
|-------|---------------------|------------------|----------------------|------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------|
| | 上水 | | LPG | | 電力 | 設備排水 (凝縮水及び排水) | |
| | 定常時 | 最大 ^{※1} | 定常時 | 最大 ^{※2} | 設備動力 ^{※3} (定常時) | 定常時 凝縮水量 | 定常時 側溝排水量 |
| | [m ³ /h] | | [m ³ N/h] | | [kW] | [m ³ /h] | [m ³ /h] |
| 小型乾燥機 | 1 | 6.5 | 7 | 50 | 460 (280) | 1 | 0.5 |
| 中型乾燥機 | 2 | 13 | 16 | 100 | 920 (520) | 2 | 1.0 |

※1 軟水装置、純水装置等の再生運転及び緊急水噴霧重複時の合計使用量を示す。

※2 起動時の最大使用量を示す。

※3 設備動力は電動機などの合計した定格、カッコ内は実負荷電力の参考値を示す。

3) 乾燥試験による妥当性確認 (間接加熱型乾燥機伝熱面積)

本技術の試験機を用いて実際の脱水汚泥による乾燥試験を実施し、単位伝熱面積あたりの蒸発量を確認し、間接加熱型乾燥機選定の妥当性を判断する(表4-11参照)。

本表では小型乾燥機の水分蒸発量は加熱温度 165℃において 1,025kg/h でこれに対し、設計条件における水分蒸発量に変動率を乗じた値が 917kg/h となることを例示しているが、この蒸発量が 250 m²蒸発量 (1,025kg/h) よりも少なければ、乾燥機の選定が妥当であると判断できる。

また、得られた乾燥汚泥試作品は安全性や利活用にかかわる分析評価に用いる。

表 4-11 試験機による間接加熱型乾燥機選定の妥当性確認

| 項目 | 単位 | 試験結果(例) | 備考 |
|-----------------------|------------------------|---------|----------------|
| 加熱温度 | [℃] | 165 | 小型乾燥機の設計最高温度 |
| 単位蒸発量 | [kg/m ² ・h] | 4.1 | 試験結果として |
| 250m ² 蒸発量 | [kg/h] | 1,025 | =単位蒸発量×乾燥機伝熱面積 |
| 水分蒸発量 | [kg/h] | 834 | 設計条件における |
| 変動率 | [%] | 110 | |
| 蒸発量 | [kg/h] | 917 | =水分蒸発量×変動率÷100 |

4) 熱・物質収支確認

小型乾燥機 (1,150 kg-wet/h)、中型乾燥機 (2,263 kg-wet/h) の熱・物質収支はそれぞれ図4-4、図4-5 となり、これを基に付属機器の仕様確認や脱臭設備の設計を行なう。脱水汚泥処理量や含水率が異なる場合は、その条件で熱・物質収支計算を行なう。

5) 熱効率確認

熱・物質収支から熱効率が本技術の目標効率となっていることを確認する。155%以下の場合は別途検討し、導入効果があれば進める。熱効率計算式を以下に示す。

・熱効率計算式 $\text{熱効率} = \frac{\text{乾燥に必要な熱量}^{\ast 1}}{\text{熱源熱量}^{\ast 2}} \times 100$

※1 乾燥に必要な熱量 $Q = \text{固形物と水分の予熱必要熱量} + \text{水分の蒸発熱量} + \text{乾燥汚泥の昇温熱量} = Q_{ph} + Q_e + Q_{dh}$ (kJ/h)

Q_{ph} ; 固形物と水分の予熱熱量 $Q_{ph} = F_0 \times (C_m + C_w \times DW_1 \div 100) \times (t_w - t_{m1})$ (kJ/h)

Q_e ; 水分の蒸発熱量 $Q_e = F_0 \times (DW_1 - DW_2) \div 100 \times r_m$ (kJ/h)

Q_{dh} ; 乾燥汚泥の昇温熱量 $Q_{dh} = F_0 \times (C_m + C_w \times DW_2 \div 100) \times (t_{m2} - t_w)$ (kJ/h)

F_0 ; 乾燥機へ投入する脱水汚泥の固形物量 (kg-ds/h), C_m ; 固形物の比熱 (kJ/kg-ds・K),

C_w ; 水分の比熱 (kJ/kg・K), DW_1 ; 脱水汚泥の含水比(%D.B.), DW_2 ; 乾燥汚泥の含水比(%D.B.), 含水比(%D.B.) =

$\omega_w \div (1 - \omega_w) \times 100$, ω_w ; 湿潤基準の水分量 (kg/kg-wet), t_w ; 乾燥機内汚泥温度・湿球温度 (℃), r_m ; t_w における水の蒸発潜熱 (kJ/kg), t_{m1} ; 乾燥機へ投入する脱水汚泥の温度 (℃), t_{m2} ; 乾燥汚泥の温度 (℃)

※2 熱源熱量 $Q_{hs} = \text{蒸気圧縮機、蒸気ブロー及び過熱蒸気ヒータの電力} + \text{ボイラ燃料熱量} = E_{pc1} + E_{pc2} + E_{peh} + G_{bf}$

E_{pc1} ; 時間当たり蒸気ブローへ投入電力 (kW) × 3,600s (kJ/h), E_{pc2} ; 時間当たり蒸気圧縮機へ投入電力 (kW) × 3,600s (kJ/h), E_{peh} ; 時間当たり過熱蒸気ヒータへ投入電力 (kW) × 3,600s (kJ/h)

G_{bf} ; 補助ボイラへ投入燃料量 (kg/h) × 発熱原単位 (kJ/kg), 使用燃料 LPG, 発熱量原単位 50.8(kJ/kg)

6) ヒートポンプシステムの設計

本システムは乾燥熱源として使用後の熱源蒸気ドレンを膨張弁で減圧して沸点を下げ、乾燥排気と熱交換させて減圧蒸気とする。これを熱源蒸気の温度・圧力に圧縮して乾燥熱源に再利用するものである。主要機器は間接加熱型乾燥機以外に熱交換器及び蒸気ブロワ、蒸気圧縮機である。蒸気圧縮機の型式が1機種のみである為、小型乾燥機か中型乾燥機の2通りの設計となる。

小型乾燥機は実証設備と同じヒートポンプシステム、中型乾燥機は同様のヒートポンプシステム2系列を並列で用いる（表4-7参照）。

① 熱交換器

廃熱回収を行うためシェル&チューブ式の熱交換器にて、気-液熱交換を行う（図4-6参照）。

- ・放熱側（気体）／チューブ内側：乾燥排気（凝縮する水蒸気）
- ・受熱側（液体）／チューブ外側（シェル側）：減圧熱源蒸気ドレン（沸騰する液体）

受熱側の熱源蒸気ドレンは、ドレンタンクからポンプ圧送にて熱交換器へ供給させる。熱源蒸気ドレンは熱交換器で蒸発し2段圧縮システムに送られる。

放熱側の乾燥排気は汚泥から揮発した油分など汚れの原因物質を含むため、熱交換器放熱側入口にマンホールを設けるとともに、熱交換器のチューブは内部清掃可能な長さ迄とすることが望ましい。間接加熱型乾燥機の熱容量計算から必要交換熱量を求め、伝熱に必要なチューブの表面積を計算する。

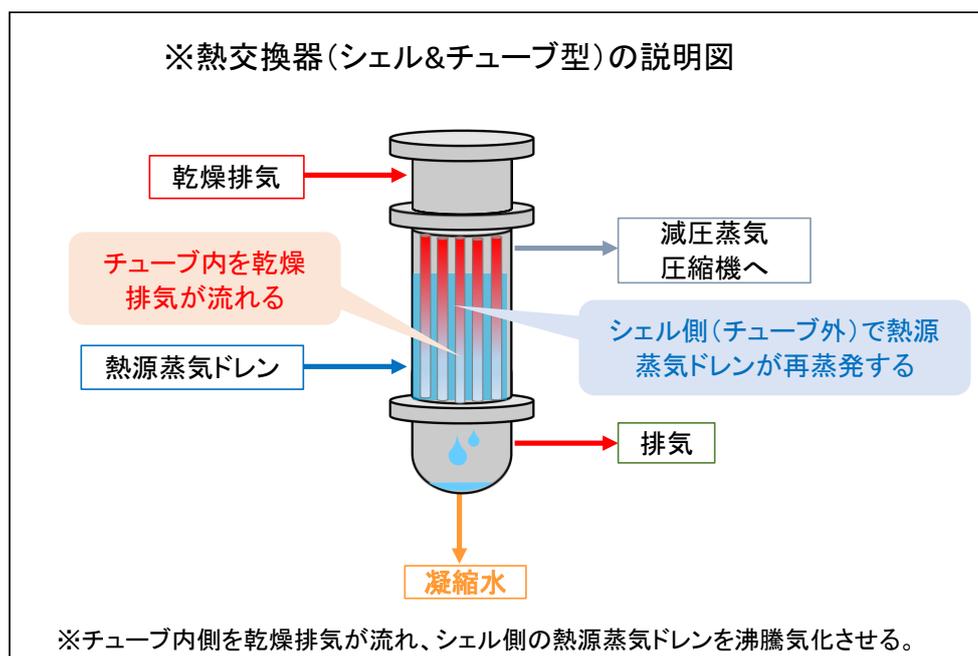


図4-6 熱交換器

② 蒸気ブロワ

2段圧縮機システムの1段目の圧縮機でインバータにて回転数を操作し入口側圧力制御を行う。熱交換器からの減圧蒸気圧力をおよそ -0.023MPaG に保ち、圧縮して 0.06MPaG まで昇圧する。液体や、施工時の残留異物（スパッタ）等が混入すると故障の原因となるので入口側で除去する必要がある。施工時に内部清掃が可能なダクト設計が必要で、実証フィールドでは異物を除去するため20meshの網を蒸気ブロワ入口側配管に設置している。また、本体の耐熱温度以上にならない

よう、内部に補給水をポンプ圧送して本体内の過熱を防止する。補給水は蒸気ブロウ内で蒸発する量より多めに供給されるため、出口側に排水配管を設けて余剰分を排出する。軸受は水冷式とする。

乾燥設備停止後は、排水や腐食防止目的で外気を導入し乾燥運転を行う。

吸入圧力、蒸気量、圧縮比から排気量、動力を求め、該当する機器を選定する。

③ 蒸気圧縮機

2段圧縮システムの2段目で、入口側圧力制御にて運転し、入口側圧力0.06MPaGから出口側圧力0.44～0.6MPaGまで昇圧する。②の蒸気ブロウと同様、耐熱温度以上とならないよう、内部に補給水を送り、本体内の過熱を防止する。蒸気圧縮機への空気や液混入は故障の原因となるため混入しないよう配管設計時に考慮する。吸入圧力蒸気量、吸入圧力、吐出圧力から該当する機器を選定するが、本技術で使用できる蒸気圧縮機は1種類のみであるため、小型乾燥機又は中型乾燥機のどちらかとなる（表4-7参照）。

7) 付属機器の設計

小型乾燥機、中型乾燥機の付属機器は表4-7のとおりである。貯留設備等は使用条件に合わせて容量を設定する。

① 脱水汚泥ホッパ

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、乾燥設備への連続供給のためのバッファとして設置する。設定された乾燥機日処理量最大値に対して必要な時間分を貯留可能な容量を設定する。

また、脱水汚泥ホッパ内で発生する臭気や有害ガス等の処理は臭気処理配管を脱臭設備に接続して行なう。

② 汚泥ポンプ

間接加熱型乾燥機内へ漏れこむ空気を低減させるため、間接加熱型乾燥機への脱水汚泥供給に汚泥ポンプを用いる。ポンプは定量性のあるものを採用し、計画する脱水汚泥処理量から能力を検討し、インバータ制御により供給速度を調節する。インバータ出力に対する供給量を計測し、検量線を作成して供給速度の目安とする。

連続運転の場合、時間当たりの定格供給能力：ws (kg/h) は下記となる。

$$ws(\text{kg/h}) = X_{rd} \left(t / \text{日} \right) \times 1000 \div 24$$

脱水汚泥含水率の変動に対しては、乾燥汚泥含水率が一定になるようにポンプの供給速度が自動制御される。また、汚泥ポンプで発生する臭気や有害ガス等の処理は脱水汚泥ホッパと同様に行う。

なお、脱水汚泥供給速度は自動制御により随時変わるので、単位時間当たりの平均処理速度を把握するには汚泥ポンプ配管に電磁流量計を設置するか、脱水汚泥ホッパにロードセルを設置することを推奨する。

③ 乾燥汚泥コンベヤ

乾燥汚泥を乾燥汚泥ホッパに移送するために設置し、間接加熱型乾燥機及び乾燥汚泥ホッパの設置位置や高さなどから移送方法を検討する。搬送能力についてはスクリュコンベヤで約3倍、フライトコンベヤで約2倍の余裕を見る。

④ 乾燥汚泥ホッパ

乾燥汚泥の利用方法を検討し、生産した乾燥汚泥貯留に必要な容量と時間を検討する。

生産した乾燥汚泥は搬出計画により一括又は分配して貯留し、搬出車両に払い出す。既存の脱水ケーキ搬出ホッパを使用し、当該ホッパの容量が不足する場合や、利用できる既存ホッパが無い場合は乾燥汚泥ホッパを新たに設ける必要がある。搬出頻度、車両容量を検討して適切な容量を決定する。

⑤ ユーティリティ設備、排水、排ガス取合

乾燥設備のユーティリティとして用水、電力があり、既設設備で賄えるかを検討する。また、設備から出る排水や排ガスの処理が既設設備で可能か確認する。不足の場合は既設を増強する若しくは新規設備の設置を検討する。

(2) 安全対策

下水汚泥は有機物を多く含み、その乾燥汚泥は条件によって発熱、発火する可能性がある。上記試験機による乾燥汚泥試作品の安全性試験結果に基づく安全対策を決定する。

1) 間接加熱型乾燥機

乾燥汚泥が過乾燥の状態とならないように、間接加熱型乾燥機から排出される乾燥汚泥の含水率は乾燥汚泥コンベヤに設置された水分計で連続測定し、間接加熱型乾燥機への脱水汚泥投入量を自動制御して設定含水率の乾燥汚泥を得る。

2) 乾燥汚泥コンベヤ

間接加熱型乾燥機の乾燥汚泥排出直後に連結するコンベヤは、品温が約 100℃の乾燥汚泥を冷却し安全にホッパ内に供給・貯留する必要があるため、水冷ジャケット式とする。乾燥汚泥の管理温度域は汚泥含水率、性状、形状によって異なるため、自然発火性試験(表 2-10 参照)を行い、管理温度域を検討する。また、乾燥汚泥含水率を連続測定し自動制御して過乾燥を防止するためにコンベヤに水分計を設置する。

3) 乾燥汚泥ホッパ

安全対策におけるホッパ貯留サイズは、実際の脱水汚泥を本技術試験機で乾燥したサンプルを用いて自然発火性試験を行い、SIT 分析結果から限界温度と貯留サイズの関係性を求めて決定する。

図 4-7 に限界温度と貯留サイズ計算例を示す。限界温度とは乾燥汚泥ホッパ周囲温度で、図の場合貯留サイズが 2m の限界温度は 20℃となる。

乾燥汚泥ホッパは外面水冷式とし、内部にも冷却管を設けて貯留時の品温上昇を抑える。水冷式への改造が難しい既存の脱水ケーキ搬出ホッパへの貯留は前段に水冷コンベヤを設け、品温を下げて貯留し、長期間の貯留を避ける。乾燥汚泥を貯留している際、ホッパ外面ではなく中央部の乾燥汚泥は蓄熱しやすく品温が上がる傾向があり、ホッパ中央部の温度が測定できるように品温測定器を設けることを推奨する。

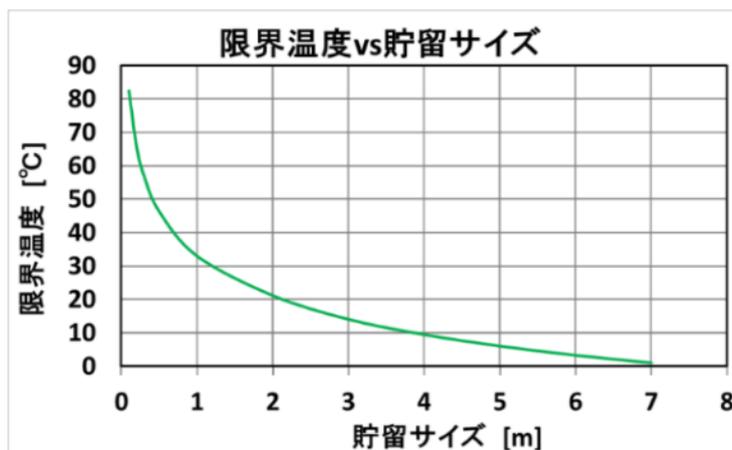


図 4-7 乾燥汚泥ホッパ限界温度と貯留サイズ

安全対策は乾燥汚泥の冷却、ホッパ冷却、ホッパ通気遮断、温度・CO 自動監視による水噴霧などとする (図 4-8 参照)。また、CO が発生することを想定し、ホッパ内の換気のために給気・排気口を設け脱臭設備へ接続する。乾燥汚泥ホッパ排気はダストを含むためフィルタで除塵して脱臭設備への悪影響を防止する。

運転管理においては、乾燥汚泥の排出量や速度の把握が有効であることから、ロードセル (重量計) を乾燥汚泥ホッパに付属することを推奨する。

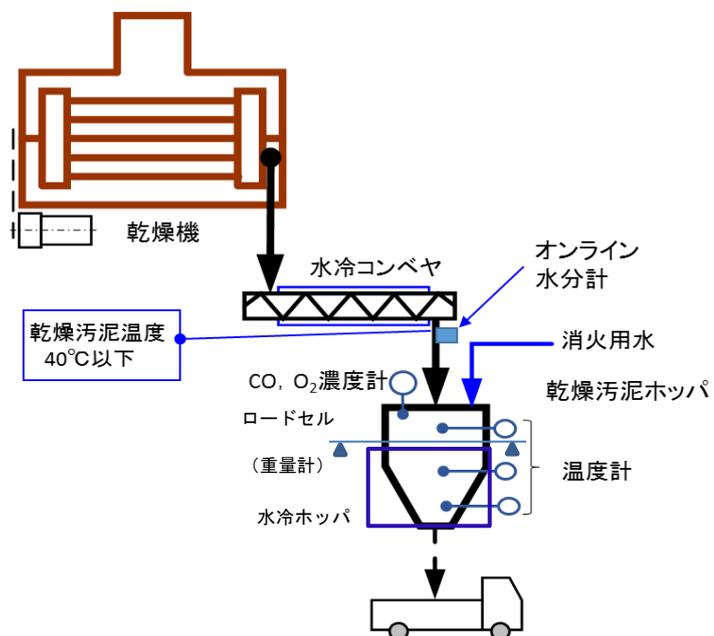


図 4-8 ホッパ内乾燥汚泥の発火防止

§ 26 脱臭設備の設計

脱臭設備は、既設脱臭設備が存在する場合はまず乾燥排気の入力可否を検討する。既設脱臭設備で入力が困難な場合は直接燃焼式脱臭炉の新設を検討する。

- (1) 既設脱臭設備流用可否の検討
- (2) 新設直接燃焼式脱臭炉の検討
 - 1) 脱臭設備処理風量
 - 2) 燃料種別、供給装置
 - 3) 直接燃焼式脱臭炉

【解説】

既設脱臭設備が存在する場合は乾燥排気の入力可否を検討する。既設脱臭設備で受入が困難な場合は直接燃焼式脱臭炉新設を検討する。本技術からの乾燥排気の臭気に対しては、直接燃焼脱臭炉を標準的に用いる。

(1) 既設脱臭設備流用可否の検討

既設脱臭設備について以下の確認を行う。

1) 脱臭設備処理能力の仕様確認

既設脱臭設備のファン風量、静圧、許容温度や悪臭物質の処理能力を確認し、乾燥排気入力の可否を検討する。本技術の小型乾燥機及び中型乾燥機における脱臭設備処理風量を表 4-12 に示す。

2) 乾燥排気に含まれる悪臭物質処理の可否検討（既設脱臭設備メーカーに依頼）

施設計画時に実際の脱水汚泥を用いた乾燥試験を実施し、乾燥排気の悪臭 22 物質・臭気指数を測定する。測定結果を既設脱臭設備メーカーへ提示し、乾燥排気の入力可否を検討依頼する。入力不可である場合は、直接燃焼式脱臭炉の新設を検討する。

3) 敷地境界の臭気規制

既設脱臭設備メーカーの検討結果から排出口臭気指数の予測値を検討し、検討地区が 1 号規制基準か 2 号規制基準かを確認して、環境省臭気指数規制第 2 号基準算定ソフト（においシミュレーター）等により規制基準値以内であることを確認する。基準値を上回る場合は、直接燃焼式脱臭炉の新設を検討する。

4) ダスト等の飛散対策

乾燥排気は集塵機（バグフィルタ）で除塵されるが、乾燥汚泥ホップ臭気配管を脱臭設備へ接続する場合はダストが同伴される為、ホップ臭気配管等にダストフィルタを設置する。

(2) 新設直接燃焼式脱臭炉の検討

脱臭設備を新設する場合、本技術では標準的に直接燃焼式脱臭炉を採用する。脱臭設備処理風量を確認し表 4-12、表 4-14 及び表 4-15 を参照して直接燃焼式脱臭炉を選定するが、本技術では小型乾燥機、中型乾燥機も同型式となる。

直接燃焼式脱臭炉の処理フローと機器仕様を図 4-9 及び表 4-7 に示す。調達可能な燃料種別を選択し、必要に応じて供給設備を設置する。

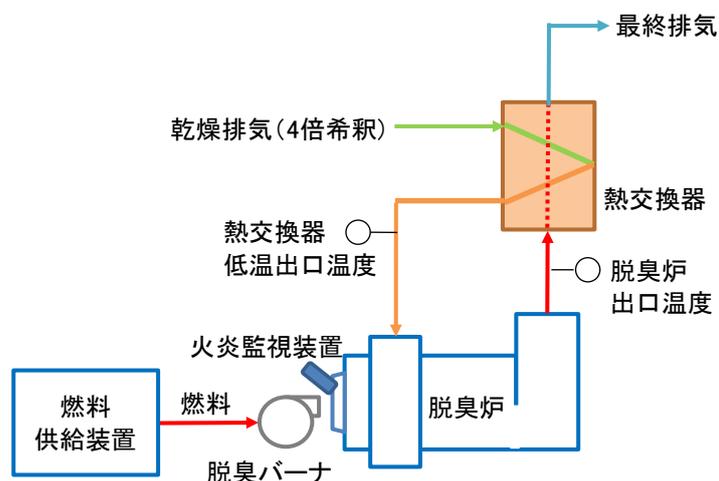


図 4-9 直接燃焼式脱臭炉

1) 脱臭設備処理風量

間接加熱型乾燥機への空気混入率を本技術許容値の 10% (実証では 2%を確認) とした場合のコンデンサ後の乾燥排気 (本技術で想定される最大の風量) を、さらに 4 倍希釈して燃焼脱臭する。各ケースの直接燃焼式脱臭炉入口ガス条件を表 4-12 に示す。

表 4-12 直接燃焼式脱臭炉入口ガス条件 (コンデンサ排気 4 倍希釈後)

| ケース | 脱臭設備処理風量 | 乾ガス量 | 温度 | 絶対湿度 |
|-------|-----------------------|--------|------|---------|
| | [m ³ /min] | [kg/h] | [°C] | [kg/kg] |
| 小型乾燥機 | 9.0 | 637 | 20 | 0.015 |
| 中型乾燥機 | 16.4 | 1,160 | 20 | 0.015 |

2) 燃料種別、供給装置

燃料は本技術の補助ボイラの燃料と同じものが望ましく、供給設備の設置都合も考慮して安価に調達ができるものを選択する。

表 4-13 に燃料種別と供給装置を例示する。

表 4-13 直接燃焼式脱臭炉燃料種別及び供給設備の例

| 燃料種別 | 種別の例 | 供給設備の例 |
|------|----------|--------------|
| ガス燃料 | LPG、都市ガス | バルク又は配管接続 |
| 液体燃料 | 灯油、A 重油 | 貯蔵タンク及び供給ポンプ |

3) 直接燃焼式脱臭炉

直接燃焼式脱臭炉は脱臭炉、熱交換器、燃焼監視装置、排気筒により構成される。

① 脱臭炉

燃焼脱臭温度は700℃とし、熱交換器低温出口温度を500℃として脱臭炉の熱容量計算を行う。熱容量計算結果を表4-14に示し、資料編1 表資1-35(p.203)及び表資1-39(p.207)に熱容量計算書を示した。

本技術に対応する直接燃焼式脱臭炉仕様を表4-15に示す。ただし、処理する汚泥によって臭気の成分が異なるため、実際の脱水汚泥を用いて乾燥脱臭試験を行ない、排ガス臭気分析を実施して検討する。

表4-14 直接燃焼式脱臭炉熱容量計算結果

| ケース | 脱臭温度 | 熱交低温出口温度 | 熱交回収熱量 | LPG 燃焼量 | 燃焼熱量 |
|-------|------|----------|--------|---------|------|
| | [℃] | [℃] | [kW] | [kg/h] | [kW] |
| 小型乾燥機 | 700 | 500 | 91 | 8.8 | 123 |
| 中型乾燥機 | 700 | 500 | 166 | 12.7 | 178 |

直接燃焼式脱臭炉は、熱容量計算書の燃焼熱量により表4-15に示す製品ラインアップから選定する。燃焼熱量が小さいのでどちらのケースも最小機種のDOC50となる。

表4-15 直接燃焼式脱臭炉型式

| 項目 | 円筒横型脱臭炉 | | | | |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| | DOC50 | DOC100 | DOC150 | DOC200 | DOC300 |
| 容量 [kW] | 581 | 1,163 | 1,744 | 2,326 | 3,488 |

② 熱交換器

脱臭炉熱容量計算書の熱交回収熱量から選定する。

③ 燃焼監視装置

工業用炉の安全通則に則したものとする。脱臭炉出口温度計（設定温度となるように燃焼量を自動制御、過熱時燃料遮断）、火炎監視装置（不完全燃焼時燃料遮断）、設備インタロック（安全装置）を設ける。

④ 排気口

各自治体の規定の排気筒を設け、排気筒には排ガス測定用の測定口を設ける。