

## 第4章 計画・設計

### 第1節 導入計画

#### §19 導入計画手順

第3章第1節での検討結果を踏まえ、以下の手順で導入計画を策定する。

- (1) 詳細調査
- (2) 基本計算
- (3) 施設計画の検討
- (4) 導入効果の検証
- (5) 導入計画の策定

#### 【解説】

第3章にて、導入効果が見込まれると判断された場合には、図4-1の手順で導入計画を策定する。

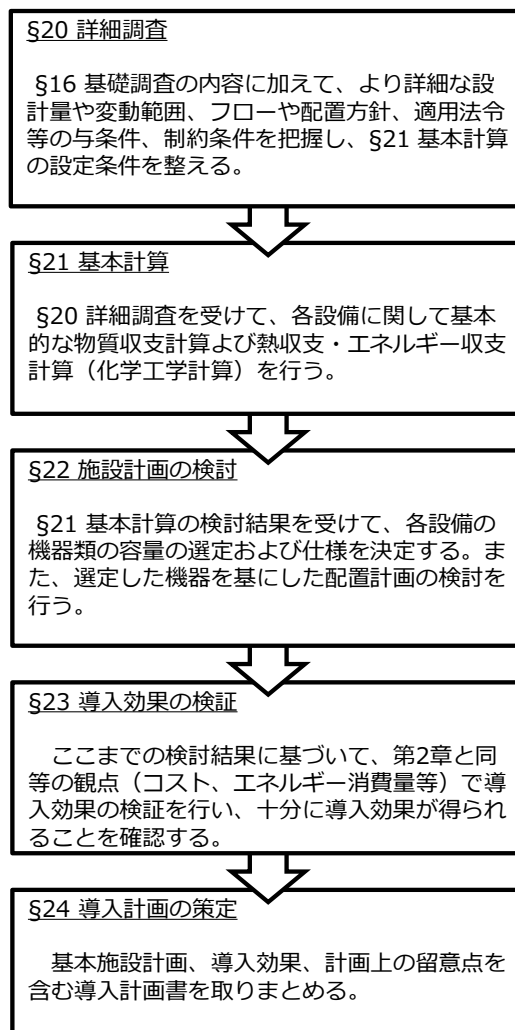


図4-1 導入計画手順

## § 20 詳細調査

設計に先立ち以下の項目を明確化するために詳細調査を行う。

- (1) 設計濃縮汚泥量および性状
- (2) 設計脱水汚泥量および性状
- (3) 二次処理水温度およびその変動、二次処理水利用可能量
- (4) 基本設備フローおよび配置方針
- (5) 適用法令の確認

### 【解 説】

#### (1) 設計濃縮汚泥量および性状

導入検討での基礎調査情報（§ 16）を基に年間変動を考慮して、計画処理汚泥量および表 4-1 に示した施設計画の基本となる処理汚泥性状の代表値および変動範囲を設定する。導入施設での計画処理汚泥量は、計画 1 日最大汚水量と計画流入水質を用いて算出するが、汚泥処理施設の計画には実績値を考慮し汚泥処理施設からの返流水による負荷も加味した量とする。また計画処理汚泥量の設定にあたっては、将来的な流入水量の変化だけではなく、流入水質の変化等に起因する流入水量当たりの発生汚泥量の変化や、一年を通じた季節変動パターン特性も考慮し、固形物収支計算により計画処理汚泥量を算出する。

表 4-1 濃縮汚泥の設定

| 項目      | 内容         | 備考                           |
|---------|------------|------------------------------|
| 汚泥種類    | 混合生汚泥等     | 低含水率化技術の性能（含水率代表値）および機種選定に使用 |
| 濃度（％）   | 代表値および変動範囲 |                              |
| 強熱減量（％） | 代表値および変動範囲 |                              |
| 繊維状物（％） | 代表値        | 100 メッシュとする                  |

#### (2) 設計脱水汚泥量および性状

(1) で設定した設計濃縮汚泥に対し、表 4-2 に示す施設計画の基本となる脱水汚泥性状の代表値及び変動幅を設定する。脱水汚泥量は設計濃縮汚泥の固形分と、脱水機の性能により決定される含水率によって算出される。含水率は表 4-3 により設定する方法と、実設備を用いた試験や遠沈管試験といった手法によって設定する方法があり、後者の方がより実態に沿った結果となることから好ましい。可燃分率は表 4-3 により設定する方法と、過去の分析結果から設定する方法がある。なお、脱水汚泥の性状範囲としては図 4-2 に示す P1～P6 の範囲を基本とする。P5 の上部および、P2 の下部を想定していないのは、表 4-3 に示されているように、可燃分率が高い場合には含水率が高い可能性が高く、可燃分率が低い場合には含水率が低い可能性が高いという、脱水機に一般的に適用される含水率と可燃分率の相関を反映したものである。

表 4-2 脱水汚泥性状

| 項目                | 内容                           | 備考                                    |
|-------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 含水率 [%]           | 変動幅 $W_{\min} \sim W_{\max}$ | 代表値 $W_s = (W_{\min} + W_{\max}) / 2$ |
| 可燃分率 [%]          | 変動幅 $V_{\min} \sim V_{\max}$ | 代表値 $V_s = (V_{\min} + V_{\max}) / 2$ |
| 可燃分組成 [%-VS]      | 炭素                           | $Z_C$                                 |
|                   | 水素                           | $Z_H$                                 |
|                   | 窒素                           | $Z_N$                                 |
|                   | 酸素                           | $Z_O$                                 |
|                   | 硫黄                           | $Z_S$                                 |
| 高位発熱量 [MJ/kg-DS]  | $H_{HV}$                     | 試算式より算出※ <sup>1</sup>                 |
| 低位発熱量 [MJ/kg-wet] | $L_{HV}$                     | 試算式より算出※ <sup>2</sup>                 |

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

※2 :  $L_{HV}[\text{MJ/kg-wet}] = (H_{HV} - (Z_H \times 9 \times V_s) \times 2.5) \times (1 - W_s) - W_s \times 2.5$

汚泥焼却炉の省エネルギー化に関する調査報告書より引用。なお、ここでの低位発熱量には汚泥中の水素に由来する水分だけでなく、元々保有している水分も含んでいることに留意すること。

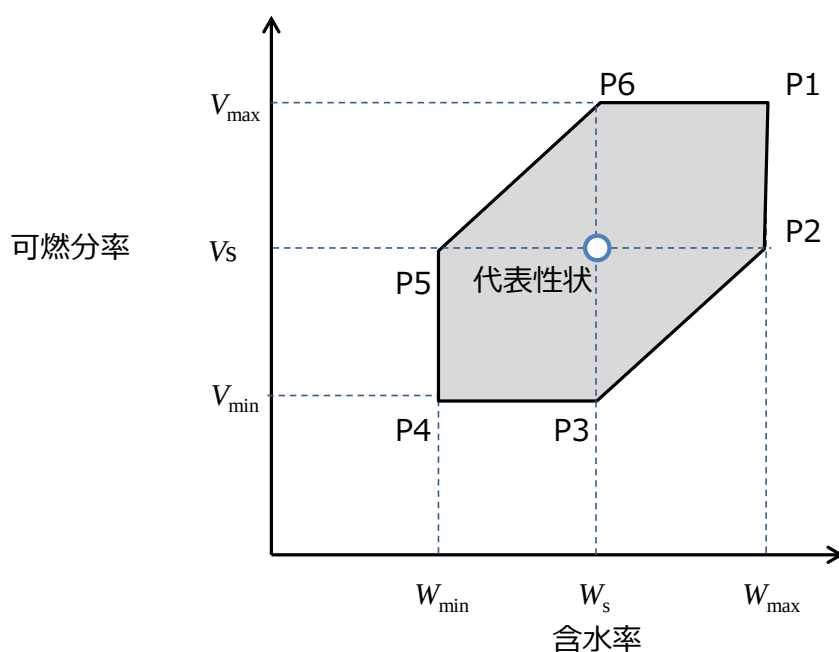


図 4-2 脱水汚泥性状範囲

表 4-3 機内二液調質型遠心脱水機 標準性能表

| 対象汚泥性状       |      | 水処理方式 |               |       | 標準活性汚泥法・高度処理法      |        |             |              |            |        |             |              |            |       |    |
|--------------|------|-------|---------------|-------|--------------------|--------|-------------|--------------|------------|--------|-------------|--------------|------------|-------|----|
|              |      | 汚泥の種類 |               |       | 混合性汚泥              |        |             |              |            |        |             |              |            |       |    |
|              |      |       | 強熱減量（VTS）     | 【％】   | 86.0 ～ 83.0        |        | 83.0 ～ 80.0 |              | 80.0 ～77.0 |        | 77.0 ～ 75.0 |              | 75.0 ～72.0 |       |    |
|              |      | 汚泥性状  | 供給汚泥場物（TS）    | 重力式   | 【％】                | 1      |             | （分流式）<br>1.5 |            | 2      |             | （合流式）<br>2.5 |            | 3     |    |
| 機械式          | 【％】  |       |               | 3.5程度 |                    | 3.5程度  |             | 3.5程度        |            | 3.5程度  |             | -            |            |       |    |
|              |      |       | 繊維状物（100メッシュ） |       | 【％】                | 10     | 20          | 10           | 20         | 10     | 20          | 10           | 20         | 10    | 20 |
| 機内二液調質型遠心脱水機 | 重力濃縮 | 2液調質  | 脱水汚泥含水率       |       | 【％】                | 75     | 74          | 74           | 72         | 73     | 71          | 71           | 69         | 69    | 68 |
|              |      |       | 処理量           |       | 【m <sup>3</sup> /h | 標準処理量  |             | 標準処理量        |            | 標準処理量  |             | 標準処理量        |            | 標準処理量 |    |
|              |      |       | 固形物（SS）回収率    |       | 【％】                | 96以上   |             | 96以上         |            | 96以上   |             | 96以上         |            | 96以上  |    |
|              |      |       | 薬注率（対TS：無機）   |       | 【％】                | 20以下   |             | 20以下         |            | 20以下   |             | 20以下         |            | 20以下  |    |
|              |      |       | 薬注率（対TS：ホリマー） |       | 【％】                | 1.2以下  |             | 1.0以下        |            | 0.9以下  |             | 0.8以下        |            | 0.7以下 |    |
|              | 機械濃縮 | 2液調質  | 脱水汚泥含水率       |       | 【％】                | 75     | 74          | 74           | 72         | 73     | 71          | 71           | 69         | -     | -  |
|              |      |       | 処理量           |       | 【m <sup>3</sup> /h | 標準0.7倍 |             | 標準0.7倍       |            | 標準0.8倍 |             | 標準0.8倍       |            | -     |    |
|              |      |       | 固形物（SS）回収率    |       | 【％】                | 97以上   |             | 97以上         |            | 97以上   |             | 97以上         |            | -     |    |
|              |      |       | 薬注率（対TS：無機）   |       | 【％】                | 20以下   |             | 20以下         |            | 20以下   |             | 20以下         |            | -     |    |
|              |      |       | 薬注率（対TS：ホリマー） |       | 【％】                | 1.2以下  |             | 1.0以下        |            | 0.9以下  |             | 0.8以下        |            | -     |    |

※日本下水道事業団機械設備工事一般仕様書より引用

### (3) 二次処理水温度およびその変動、二次処理水利用可能量

二次処理水温度等は、排熱発電設備の発電量の試算に不可欠な情報である。二次処理水温度には年間変動があり、地域差や処理場による差が大きい。そのため、少なくとも年間の最低水温、最高水温を把握し、できるだけ各月の水温も把握する。また、既存設備で利用している二次処理水の使用量、既存供給設備の最大供給能力と、ストレーナ、急速ろ過装置等のスペックを確認することが必要である。排熱発電設備の冷却水は、基本的に燃焼設備の排煙処理に利用していた水量を排熱発電設備の冷却水に振り分け、凝縮器で冷熱を利用されたのちに排煙処理塔へ導入するカスケード利用をすることで、二次処理水使用量の増加および消費電力の増加を抑制することができる。

### (4) 基本設備フローおよび配置方針

§ 19 において導入効果を確認したシナリオと、既存設備との取り合いを踏まえて、導入する設備の基本的なフローを設定する。また、基本設備フローを踏まえて、導入を予定する下水処理場の敷地条件を調査し、概略の配置方針を検討する。なお、ここでの配置方針の検討は、基本設備フローが敷地の制約条件から明らかに不適となる可能性を排除することを目的としており、詳細な配置検討は § 22 以降で決定する。一般的に燃焼設備は焼却炉の更新用地等が確保されていることが多いため、燃焼設備の配置を軸に、脱水設備と発電設備を近接して配置することを原則とする。ここで決定したフローをもとに、§ 21 で基本計算を実施する。

### (5) 適用法令の確認

本システムを構成する3設備の関係法令を表 4-4 にまとめた。設計および運転時にはこれら法令を順守する必要があるため、ポイントを良く確認し、対応に漏れが無いように留意する。ここに示

した法令以外にも、水質汚濁、騒音、振動、悪臭等の公害防止措置が各法令で求められているが一般的な脱水、焼却設備と共通するため、ここでは省略する。なお、各自治体による上乘せ規制がある場合があるので、個別の確認が必要である。

高効率排熱発電設備については、下水道設備で通常用いられている非常用発電設備とは異なり、電気事業法に基づくボイラー・タービン主任技術者等の有資格者の選定や、工事計画書の提出等の事前に準備が必要な事項、維持管理上対応が必要な事項が多くあるため、その対応について早期に計画をすることが求められる。

表 4-4 関係法令

| 設備          | 関係法令                      | 内容                                                             |
|-------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 低含水脱水設備     | 労働安全衛生法・安衛則 <sup>※1</sup> | 定期自主検査義務                                                       |
| 低空気比省エネ燃焼設備 | 廃掃法 <sup>※2</sup>         | 方法・構造要件、作業環境測定                                                 |
|             | 大気汚染防止法                   | 設置届出、ばいじん等の定期測定                                                |
|             | D X N 類特措法 <sup>※3</sup>  | DXN 類濃度測定                                                      |
| 高効率排熱発電設備   | 電気事業法                     | 電気主任技術者、ボイラー・タービン主任技術者の選任、保安規程の作成届出、工事計画書提出、溶接検査、使用前検査、定期事業者検査 |
|             | 消防法・消防活動阻害物質              | 貯蔵届出（アンモニア 200 kg 以上）                                          |
|             | 労働安全衛生法・特化則 <sup>※4</sup> | 特定化学設備の設置届け出                                                   |

※1 安衛則：労働安全衛生規則、※2 廃掃法：廃棄物の処理及び清掃に関する法律

※3 D X N 類特措法：ダイオキシン類対策特別措置法、※4 特化則：特定化学物質障害予防規則

#### （電気事業法について）

高効率排熱発電設備の設置時には、電気事業法の規定により表 4-4 に示す事項について、定められた時期に設置者（発注者）が必要な手続き及び主任技術者の選任等を行う必要がある。期限等を図 4-3 に示した。

最初に必要な手続きは、電気主任技術者の選任、ボイラー・タービン主任技術者の選任、保安規程の届出である。ボイラー・タービン主任技術者には、有資格者または学歴等の条件を満たすものの中から主務大臣の許可を受けて主任技術者に選任（許可選任）することや、外部選任することも可能である。また、選任者は常時勤務することが求められるが、30 分以内の事業場であれば兼任することも可能である。

主任技術者の選任等が受理された後、工事計画届出書の提出を行う。届出書は着工 30 日前までに受理される必要がある。着工とは、基礎杭を打つ場合は「基礎杭打ちが行われる日」、基礎杭を打たない場合は「基礎コンクリートの打設工事が行われる日」となる事を考慮した工程とする必要がある。

工事着手後には、技術基準に従い熱交換器、圧力容器等の一部の機器に対する溶接事業者検査お

よび第三者が実施する溶接安全管理審査の受審、工事完了後には使用前自主検査および第三者が実施する使用前安全管理審査の受審が必要である。

供用開始後には、定期事業者検査および第三者が実施する定期安全管理審査を実施しなければならない。

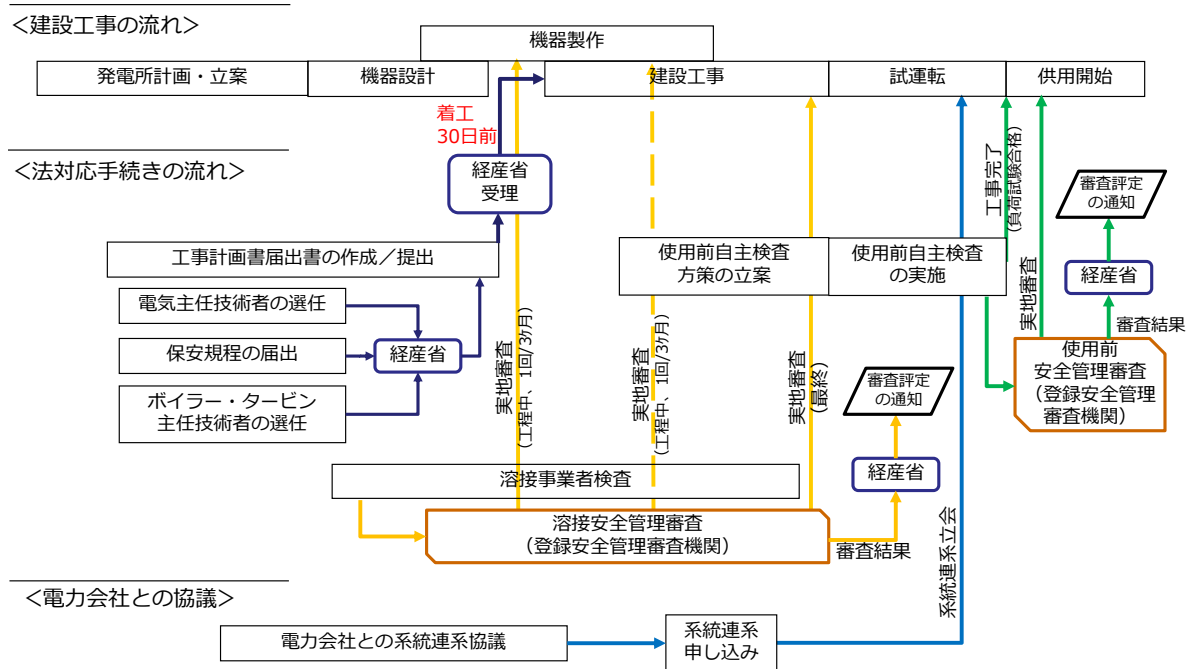


図 4-3 排熱発電設備建設時の電気事業法に関わる各種手続き

## § 21 基本計算

明確化された設計条件を踏まえて、以下の基本計算を実施する。

- (1) 物質収支計算
- (2) 熱収支計算

## 【解 説】

§ 20 で設定した基本フローおよび諸条件にて、以下の化工計算（物質収支計算、熱収支計算）を行う。図 4-4 に手順を示した。計算は污泥処理のフローに従って実施する。本計算によって、導入効果検討を行う際に必要な定量的な数値を合わせて取得できる。なお、導入効果検討において諸条件を変更した場合には、基本計算を再度実施し、条件変更が及ぼす効果を定量化し、条件変更の方向性および変更幅を検討する材料ともする。

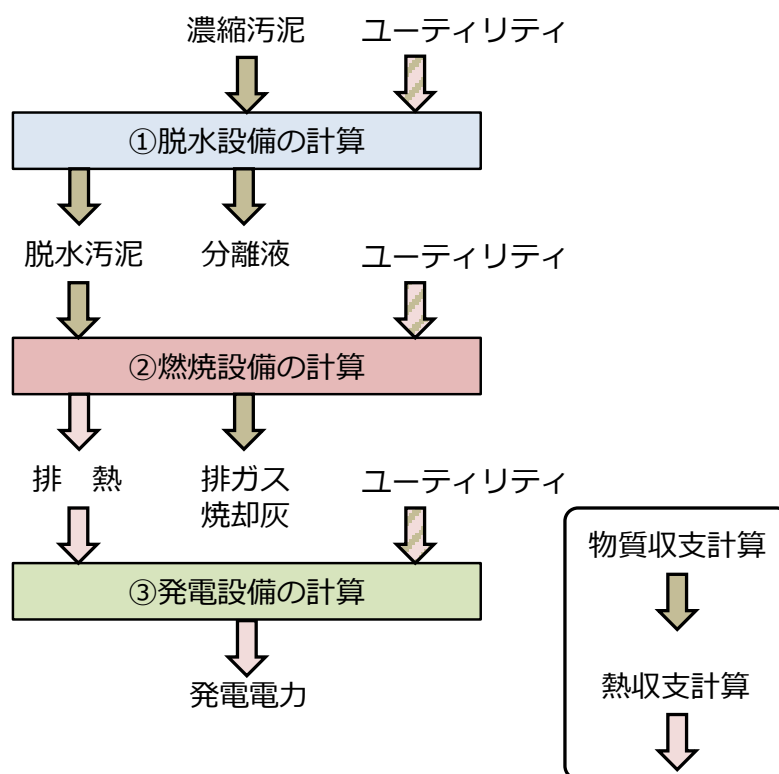


図 4-4 基本計算手順

### (1) 物質収支計算

濃縮汚泥から、焼却灰および排ガスになるまでの一連のプロセスにおいて、固形分（有機分、無機分）および水の挙動の収支を計算する。本計算によって、消費電力量や各種薬品消費量等が算出される。基本的なフローを以下に示す。

#### 1) 脱水設備物質収支計算（濃縮汚泥から脱水汚泥）

与えられた濃縮汚泥量および濃縮汚泥濃度等と各種の設定値から固形分および水分収支を取り、生成する脱水汚泥の量および含水率、分離液量および分離液 SS 濃度を算出する。入出力関係を図 4-5 に示した。含水率の設定においては、遠沈管試験等の実験的手法を組み合わせ推定することが望ましい。また、その際に必要な薬品類の消費量は濃縮汚泥中の固形分量比例で算出することを基本とする。

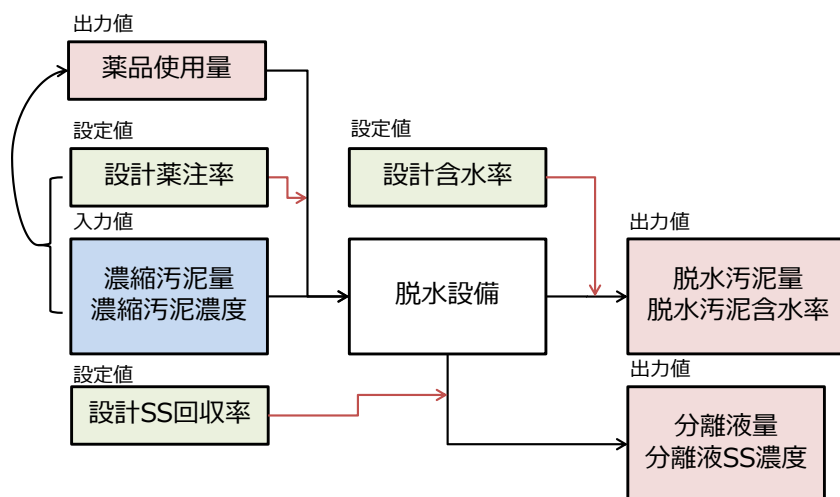


図 4-5 脱水設備収支計算の入出力関係

#### 2) 燃焼設備物質収支計算（脱水汚泥から排ガス・焼却灰）

燃焼設備の入力値は脱水汚泥量や組成、補助燃料の組成である。これら入力値を決定すると設定値の条件における燃焼の物理化学的關係より排ガス量や焼却灰量等の出力値が算出される。入出力関係を図 4-6 に示した。



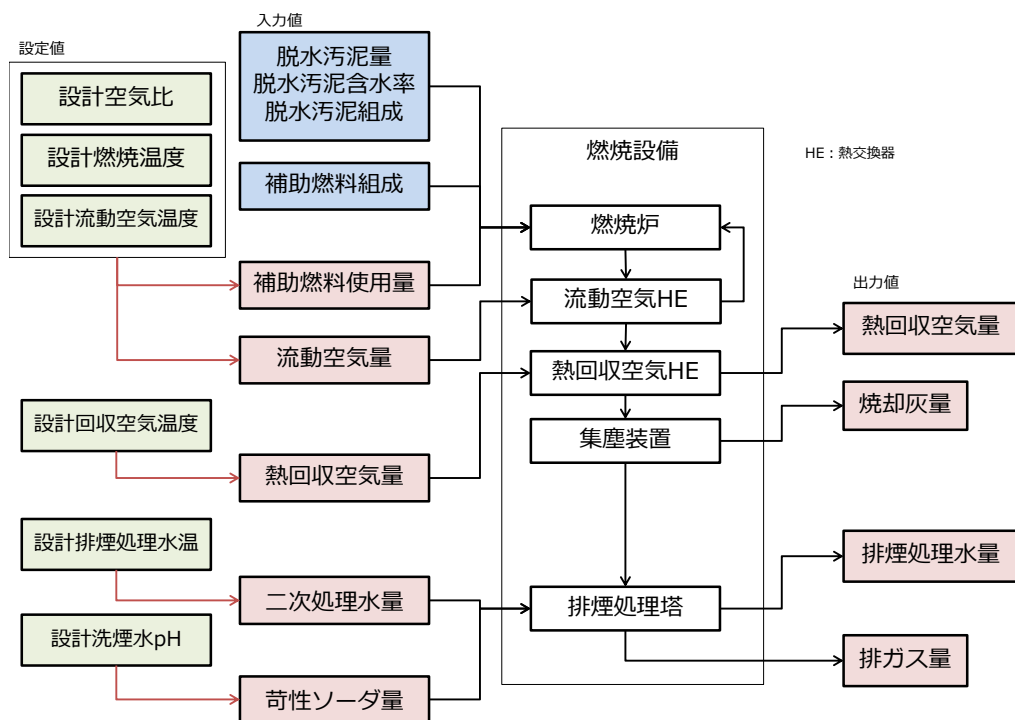


図 4-6 燃焼設備収支計算の入出力関係

### 3) 発電設備物質収支計算（燃焼設備排熱から発電）

発電設備においては、燃焼設備から供給される熱量（流量および温度）を入力値として、熱媒循環量、発電量等を算出する。入出力関係を図 4-7 に示した。

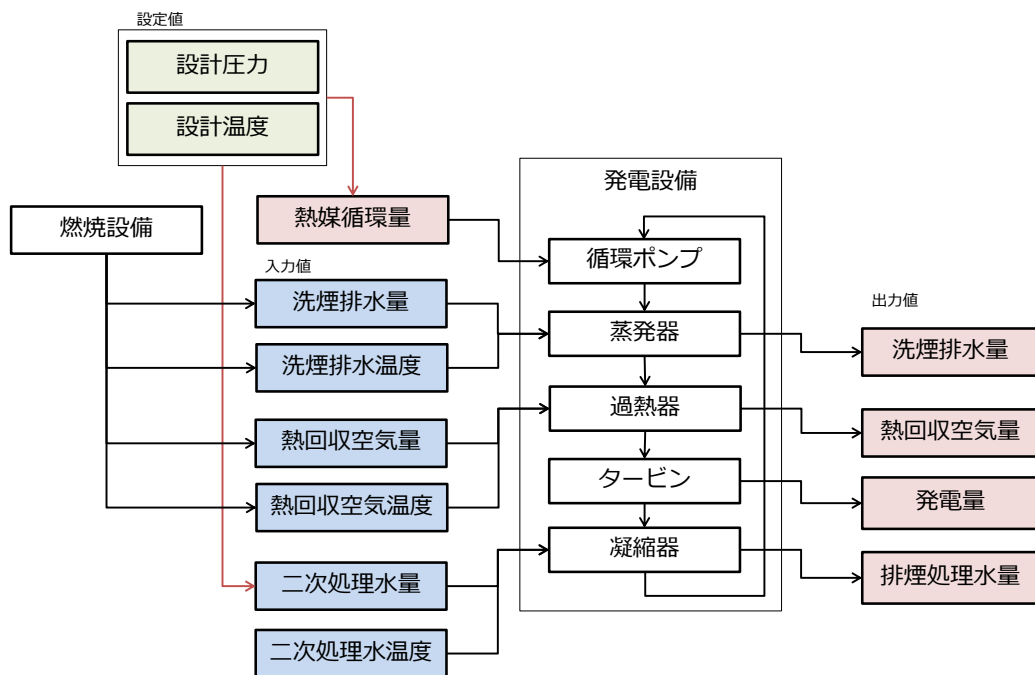


図 4-7 発電設備収支計算の入出力関係

## (2) 熱収支計算

物質収支と同様に一連のプロセスにおいて、単位操作ごとに熱（電力は除く）の出入りを計算する。燃焼設備および発電設備については物質収支計算と同時に計算を行う。第2章の試算条件（100 t-wet/d）における燃焼・発電設備の熱収支例を図4-8に示す。

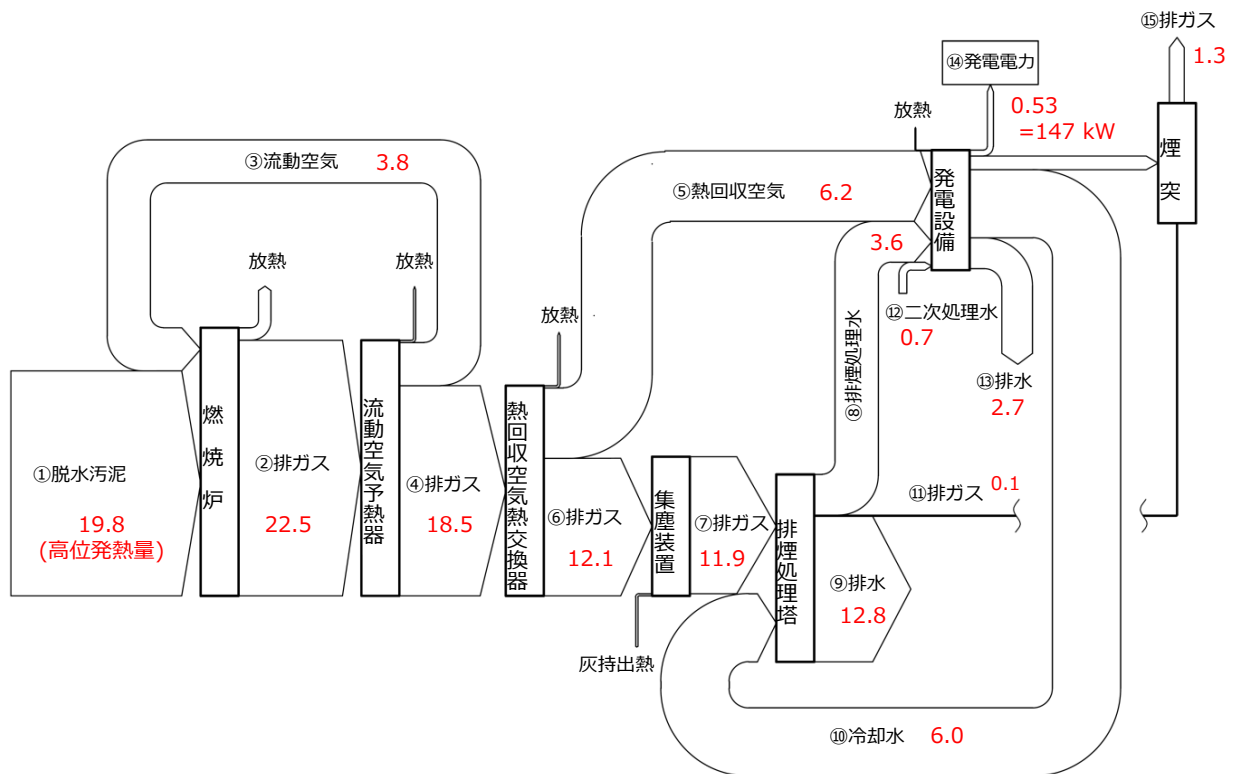


図4-8 燃焼・発電設備の熱収支（例）（単位：GJ/h）

## § 22 施設計画の検討

- (1) 構成機器の容量および仕様の決定
- (2) 配置計画

### 【解 説】

#### (1) 構成機器の容量および仕様の決定

基本計算をもとに、各設備の主要設備の仕様を決定する。具体的な決定方法は第2節を参照のこと。

#### (2) 配置計画

本システムは、脱水設備、燃焼設備、発電設備をコンパクトかつ一体的に設置できることを特徴としているため、脱水污泥搬送と熱回収系の最短化に配慮した配置とすることを基本とする。従来の焼却設備の施工面積内に、脱水設備と発電設備を含めて配置することで総面積が縮小される。なお、脱水設備は従来の計画では脱水機棟内に配置されることが一般的だが、本システムでは燃焼設備の上部の空間に設置することが基本である。既存の更新計画があり、更新用地が確保されている場合でも、抜本的に配置計画を見直す必要がある。

##### 1) 脱水污泥搬送の最短化

従来の設計では、脱水設備と焼却設備を別個に配置しているが、本システムでは脱水設備は十分な架台強度を確保するとともに脱水機と架台が共振しないように配慮した上で、図4-9に示したように燃焼設備の上部に配置し、スペースの有効活用と低含水率脱水污泥の問題に対応することを基本とする。なお、臭気対策および搬送系の建設費低減のために、脱水機～污泥貯留槽～定量フィーダ～コンベア～燃焼設備の経路を最短化することが望ましい。また、燃焼設備に設置する際には、むやみに高層化すると架台強度の確保に多くのコストを要するため、他の機器との干渉を避けつつ、可能な限り低層に配置すると良い。

なお、配置や搬送能力等の条件が整えば従来の污泥搬送系を活用することも可能である。ただし、燃焼設備と脱水機棟が数十m範囲の近傍に設置され、コンベヤ等で搬送されている場合には限り、一軸ねじポンプやピストンポンプ等で圧送をしている場合には、搬送距離の長さや脱水污泥の含水率低下に応じた圧力損失の顕著な増大がみられ、流用が困難な場合があるので留意する。

低含水脱水設備



図 4-9 脱水設備の燃焼設備上部空間への配置

## 2) 熱回収系ルート of 最短化

発電設備は、燃焼設備敷地内に配置することを基本とする。発電設備に排熱を供給する熱移送ルートは、長距離化すると放熱による温度低下が避けられないことと、放熱を低減する保温に費用が掛かることから、熱回収空気熱交換器以降の排ガス処理系設備に優先して配置し、最短化することが望ましい。

**§ 23 導入効果の検証**

ここまでの検討結果を踏まえて導入効果を算出し、**第3章 導入検討** で試算された値および現状の値と比較し、十分な導入効果が得られることを確認する。

**【解 説】**

**第3章**で簡易的に評価した導入効果量と比較するために、ここまでの検討に基づいて、コスト(建設費、維持管理費、ライフサイクルコスト)、エネルギー消費量等を比較し、導入効果の増減を明確にする。

#### § 24 導入計画の策定

ここまでの検討結果を踏まえて、基本施設計画、導入効果、計画上の留意点を含む導入計画書を取りまとめる。

#### 【解 説】

ここまでの検討に基づいて、本システムの導入についての導入計画書を取りまとめる。導入計画書には、基本施設計画、導入効果、計画上の留意点を含む。

## 第2節 設備設計

## § 25 低含水脱水設備の設計

導入計画で決定した設備仕様に基づいて以下について設計する。

- (1) 脱水機機種選定
- (2) 濃縮汚泥供給系
- (3) 高分子凝集剤・無機凝集剤供給系
- (4) 返流水系
- (5) 計装機器類
- (6) 臭気・騒音対策
- (7) 自律運転機能

## 【解 説】

低含水脱水設備の設計にあたっては、基本的に下水道施設計画・設計指針と解説 2009 年版（社）日本下水道協会、および低動力型高効率遠心脱水機技術マニュアル（公財）日本下水道新技術機構に準拠するものとする。図 4-10 に本設備の 1 系列分の基本フローを示した。

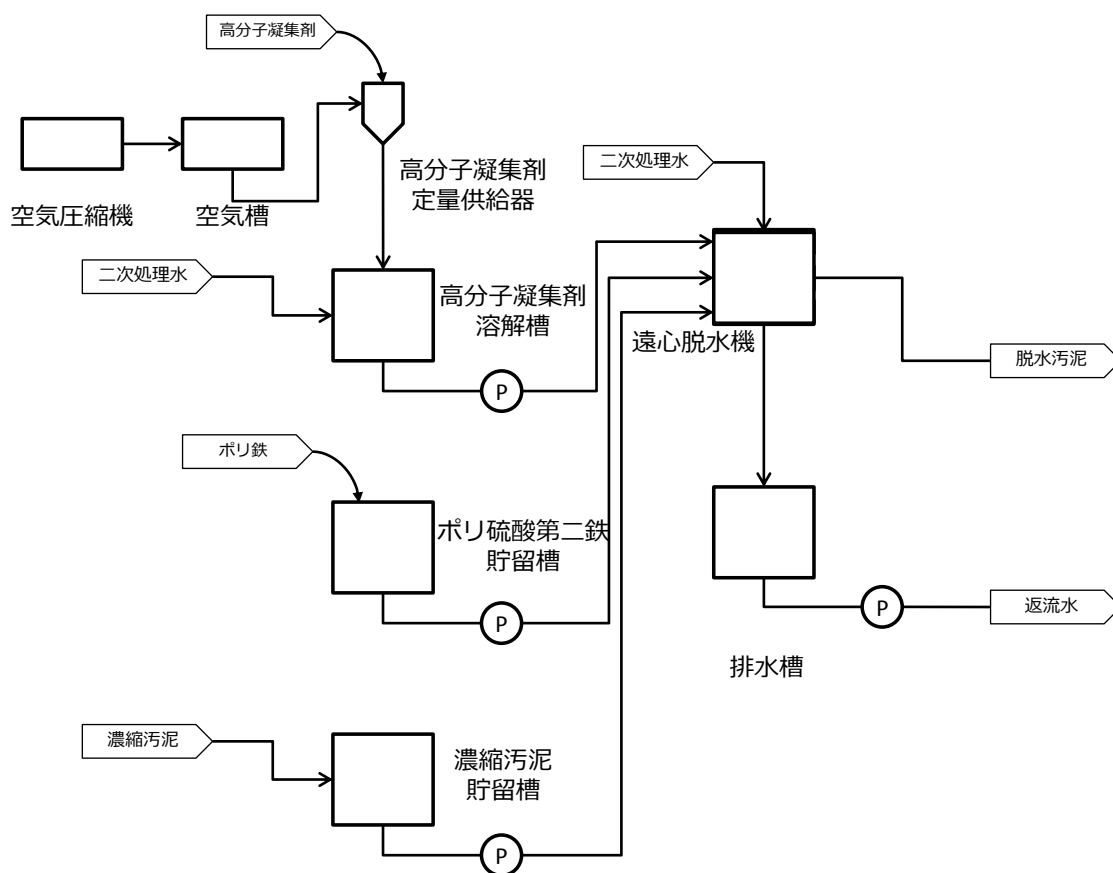


図 4-10 低含水脱水設備の基本フロー

## (1) 脱水機機種選定

本脱水設備の容量は単位時間あたりの処理濃縮汚泥量で表し、一般的に  $\text{m}^3/\text{h}$  の単位で表現される。利用可能な設備容量は段階的に決められており、§ 20 で設定している濃縮汚泥量を踏まえて表 4-5 に示した機種から選定をする。機種選定においては、所要の処理能力に対し大きな機種を選択すると、汚泥量変動に対応する処理の時間的な余裕が確保でき、より低含水率の脱水汚泥を得られやすい傾向があるが、図 4-11 に示したように、定格処理量以下の低負荷で運転をすると、単位汚泥処理量あたりの消費電力量 ( $\text{kWh}/\text{m}^3$ ) が増加するため、その得失を踏まえて機種選定をする必要がある。

なお、脱水機の台数は、2 台以上として、1 台以上は予備機として常に待機する運用が取れるようにする。また、脱水機の運転時間は後段の燃焼設備への供給を前提として 24 時間連続して運転することが望ましいが、単独で導入する場合にはこの限りではない。

表 4-5 低含水脱水設備 機種一覧

| 機種名                        | 処理能力<br>$\text{m}^3/\text{h}$ | 主動機<br>kW | 差動機<br>kW | L×W×H<br>mm       |
|----------------------------|-------------------------------|-----------|-----------|-------------------|
| 3 $\text{m}^3/\text{h}$ 機  | 2～4                           | 5.5～7.5   | 3.7       | 2,000×1,410×840   |
| 5 $\text{m}^3/\text{h}$ 機  | 4～6                           | 7.5～11    | 3.7～5.5   | 2,600×1,800×1,000 |
| 7 $\text{m}^3/\text{h}$ 機  | 6～8                           | 11～15     | 5.5       | 3,100×2,000×1,000 |
| 10 $\text{m}^3/\text{h}$ 機 | 9～11                          | 22～30     | 7.5       | 4,200×2,300×1,300 |
| 15 $\text{m}^3/\text{h}$ 機 | 14～16                         | 30～37     | 7.5～11    | 4,650×2,450×1,300 |
| 20 $\text{m}^3/\text{h}$ 機 | 18～22                         | 37～45     | 11～15     | 5,100×2,450×1,300 |
| 30 $\text{m}^3/\text{h}$ 機 | 28～33                         | 55～75     | 15～18.5   | 5,300×3,000×1,350 |
| 40 $\text{m}^3/\text{h}$ 機 | 35～43                         | 75～90     | 22        | 6,000×3,150×1,580 |
| 50 $\text{m}^3/\text{h}$ 機 | 45～60                         | 110～132   | 22～30     | 6,550×3,400×1,620 |
| 60 $\text{m}^3/\text{h}$ 機 | 60～80                         | 132～160   | 30～37     | 7,000×3,620×1,750 |
| 80 $\text{m}^3/\text{h}$ 機 | 80～100                        | 160～220   | 37～45     | 7,800×3,950×1,850 |



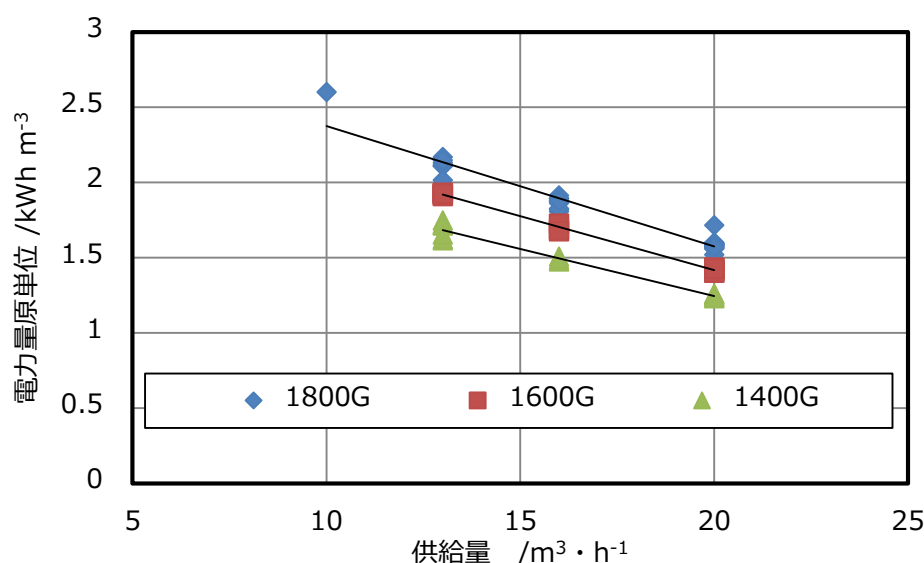


図 4-11 低負荷運転時の主動機の消費電力原単位（実証試験結果より）

## （２）濃縮汚泥供給系

濃縮汚泥供給系には濃縮汚泥貯留槽より濃縮汚泥を引き抜き脱水機に供給する、濃縮汚泥ポンプが含まれる。濃縮汚泥ポンプは、脱水機 1 台ごとに 1 台以上の一軸ねじ式ポンプ等の定量性を有するポンプを採用し、インバータ等で流量を任意の量に可変できることが必要である。また、その変動範囲は基本的に脱水機的能力および対応範囲と整合を図る。また、脱水設備を燃焼設備の上部等に配置する場合には、より揚程の高いポンプが必要になるとともに、垂直方向に長大な配管を有することになるため、停止時の配管内沈殿に由来する閉塞に配慮して、容易に清掃ができる構造とすることが望ましい。同様に、濃縮汚泥に粗大なきょう雑物等を含むと脱水機内での閉塞や摩耗等の原因となる可能性があるため、除去、あるいは破碎がなされていることが必要である。

## （３）高分子凝集剤・無機凝集剤供給系

高分子凝集剤はライン注入または機内注入、無機凝集剤（ポリ硫酸第二鉄）は機内注入を原則とする。それぞれ濃縮汚泥供給系で測定される濃縮汚泥の固形物濃度（TS）に対して § 21 で設定した薬品注入率を含んだ範囲で可変できるように、定量性のあるダイヤフラムポンプ等で供給する。また、貯留量は個別の供給事情（配送頻度、配送単位）を踏まえて余裕を持って選定する。

## （４）返流水系

脱水設備から排出された分離液は共通排水槽等に集約され水処理系に返流される。§ 21 で算出した分離液量、および機内洗浄時に排出される洗浄水量を考慮して、返流水を受ける排水槽や排水移送ポンプの選定を行う。なお、脱水設備の運転状況の把握のために、SS 濃度計や濁度計等を用いて分離液側への固形物の移行をモニターすることは有効である。なお、基本的に脱水設備を燃焼設備の上部に設置するため分離液の自然流下高さが大きくなり、排水槽内で高分子凝集剤に由来する

発泡等がみられる場合があるため、直線的な落下距離を短縮する等して流下配管経路を工夫することや、適切な消泡装置を設けることが望ましい。

### （５）計装機器類

本脱水設備の主な計装機器類を表 4-6 に示した。

表 4-6 低含水脱水設備の主な計装機器類

| 測定対象  | 計測項目       | 備考             |
|-------|------------|----------------|
| 濃縮汚泥系 | 供給汚泥量      |                |
|       | 供給汚泥濃度（TS） |                |
| 凝集剤系  | 凝集剤注入量     | 高分子凝集剤・ポリ硫酸第二鉄 |
|       | 薬品貯留量      |                |
| 脱水機   | 回転数／遠心力    |                |
|       | 差速回転数      |                |
|       | トルク        |                |
|       | 軸受温度       |                |
| 分離液   | 振動値        | 両振幅            |
|       | SS 濃度／濁度   | オプション          |

### （６）臭気・騒音対策

一般に臭気を持つ濃縮汚泥と脱水汚泥が供給、排出されるため脱水機の周辺での臭気対策は重要である。本設備は遠心脱水機を採用しているため、開放型のベルトプレス等に比較し臭気の対策は容易である。脱水機自体のカバーの設置に加えて、パッケージに格納し、内部に漏えいする臭気を常に吸引換気、排出、処理（流動空気ブロワの給気とし燃焼設備に供給することが多い）することで、燃焼設備の上部のような屋外に設置した場合でも対応が可能である。

また、遠心脱水機は高速回転に起因する騒音の発生が避けられないが、防臭に資する気密性に加え、吸音材等を配した防音にも配慮したパッケージに格納することで、対応が可能である。防音仕様は敷地境界との距離や、満足すべき騒音レベルに応じて適切に選定する。

### （７）自律運転機能

本設備の特徴は、所要の含水率を設定し、遠心力や薬注率の脱水条件を自動的に調整して運転する機能（自律運転機能）を持つことである。脱水機の基本的な制御因子として、遠心力、トルク、薬注率があるが、自律運転機能は「遠心力および薬注率（ポリ硫酸第二鉄）とトルクの関係」、さらに「トルクと含水率の関係」を示す表を制御装置内に持ち、その関係表（含水率テーブル）に従って含水率の調整を行う。

## § 26 低空気比省エネ燃焼設備の設計

導入計画で決定した設備仕様に基づいて以下について設計する。

- (1) 脱水汚泥供給系
- (2) 燃焼炉
- (3) 流動空気予熱器
- (4) 熱回収空気用熱交換器
- (5) 集塵装置
- (6) 排煙処理塔
- (7) ファン・ブロワ類
- (8) 計装機器類
- (9) 概略所要面積

## 【解 説】

低空気比省エネ燃焼設備の設計にあたっては、基本的に下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版（社）日本下水道協会における汚泥焼却の項に準拠するものとする。図 4-12 に本設備の基本フローを示した。

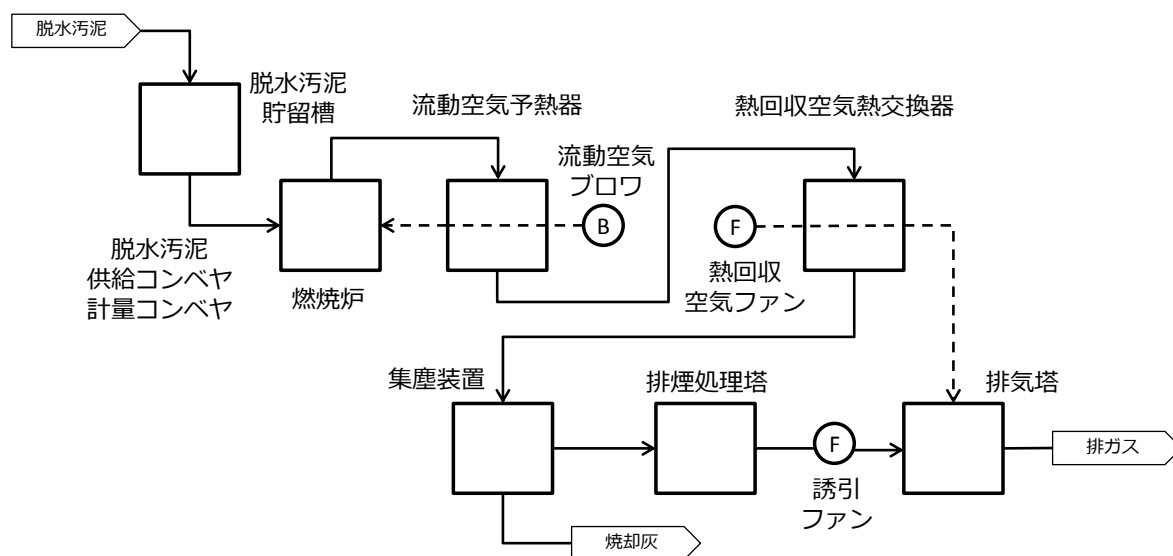


図 4-12 燃焼設備の基本フロー

### (1) 脱水污泥供給系

脱水機から排出された脱水汚泥を燃焼設備に供給する系統である。脱水機出口から脱水汚泥貯留槽前後の圧送管、コンベアや定量フィーダが含まれる。脱水汚泥を一時的に貯留する脱水汚泥貯留槽は、脱水設備からの排出量と燃焼設備の処理量の差や汚泥性状の変動を吸収、均一化することや、燃焼設備小停止時（数日間程度）等の一時的なバッファとして機能することを目的とする。その容

量は、§ 21 で計算した脱水汚泥量に対して少なくとも6時間から24時間分以上の容量を確保する。なお、連携・最適化効果を最大化するためには、貯留量を可能な限り小さく保ち、脱水汚泥の排出と燃焼設備への投入の時間差が少なくなるように運転することが望ましい。時間差を小さくすると、連携・最適化効果による最適状態への遷移が早まる。

脱水汚泥貯留槽から燃焼炉へ汚泥を供給する際には、臭気対策と定量供給が重要なポイントである。従来の汚泥搬送には一軸ねじポンプやピストンポンプ等によるポンプ圧送方式が用いられてきたが、脱水設備を燃焼設備の近傍に配置する場合には、低含水率汚泥のポンプ圧送による消費電力の問題が比較的生じにくいスクリーコンベヤ等のポンプ以外の搬送手段を優先的に検討すると良い。また、ポンプ以外の搬送手段では脱水汚泥の炉内への直接投入が困難であるため、スクリー一式等のケーキ投入装置を設ける必要があるが、脱水汚泥供給の定量性は炉内の低空気比維持に重要な要素であるため、炉内での脱水汚泥の分散等に配慮し安定的に定量性が確保できる構造とすることが望ましい。

## (2) 燃焼炉

図 4-13 に示した多層燃焼に対応した流動床式の気泡炉を採用する。従来の焼却設備と機器構成、設計方法に大きな差は無く、既存の焼却炉の炉体を活かして多層燃焼用のノズルおよび各燃焼ゾーンの温度を測定する温度計を追加することによる改造も可能である。フリーボード部の面積と炉高は、§ 21 で計算の前提とした脱水汚泥性状や量から計算の結果求めたガス量に応じて、炉内の空塔速度が流動媒体の最小流動化速度と飛散限界終末速度の間となるように設定し、完全燃焼に必要な滞留時間を確保する。

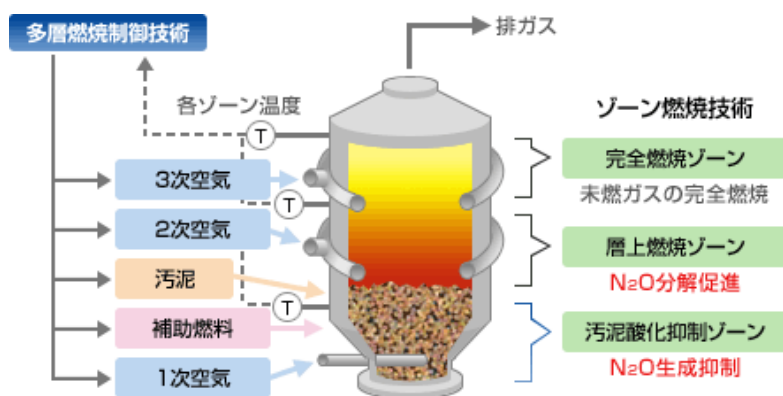


図 4-13 多層燃焼炉

## (3) 流動空気予熱器

燃焼炉からの排熱を回収し、流動空気の加熱に利用する熱交換器である。一般にUチューブ式の熱交換器等が用いられる。燃焼炉出口の多くの焼却灰を含む  $800^{\circ}\text{C}$  以上の高温排ガスと常温の空気が薄い金属の伝熱面を隔てて接するため、耐久性の大きい材質を使用するとともに、熱交換効率に影響を与えない範囲で腐食しるを十分にとり、腐食や劣化に対して備える必要がある。また、費用

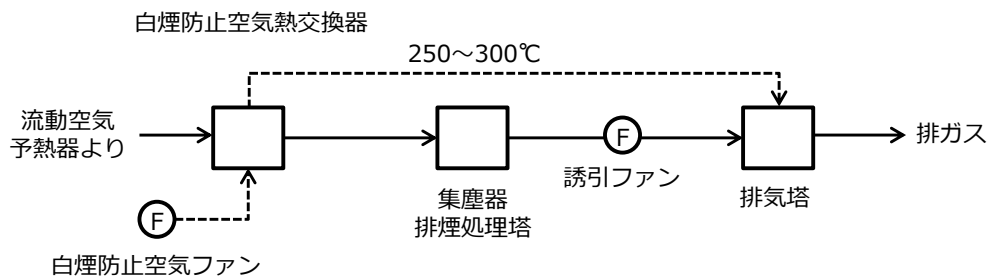
対効果の観点から踏まえて可能な限り熱交換面積を大きく取り、回収熱量を大きくすることで、補助燃料の消費量を減らしシステム全体の省エネ性の改善を図ることが重要である。流動空気予熱の容量は § 21 で計算した排ガス量および熱交換量に基づいて決定する。

#### (4) 熱回収空気熱交換器

図 4-14 に示した通り、従来は、煙突からの白煙の放出を防止するために排ガスの希釈加熱に利用していた白煙防止空気用の熱交換器を熱回収用に置き換え、積極的な熱回収に利用することを目的としたものである。§ 21 で計算した排ガス量および必要な熱交換量に基づいて容量を決定する。従来の白煙防止用熱交換器では回収空気温度は 250～300℃が一般的であるが、排熱発電設備を導入する予定の場合には、回収空気温度は 350℃以上（発電効率を高めるためには 400℃が望ましい）の設計とする。既存の焼却設備に排熱発電設備を付加する場合には、長寿命化対応等と合わせてこの熱交換器を更新し、350℃以上の対応とすることで効率的な発電が可能となる。

一方で、排熱発電設備にて熱利用後の空気は概ね 100℃程度まで温度が低下しているため、排煙処理塔出口ガス温度の設計値と合わせて、白煙防止効果を得られることを確認する。なお、排熱発電設備が停止している際にはより温度の高い熱回収空気がダクト、排気塔に導入されることとなるため、それを考慮した口径等の設計をしなければならない。

##### 従来のフロー



##### 本システムのフロー

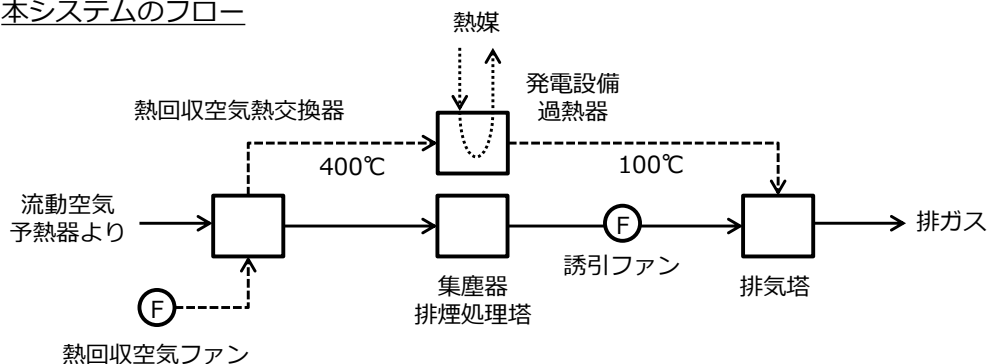


図 4-14 従来との熱回収フローの違い

### （５）集塵装置

排熱発電設備を導入する予定の場合には、効率的に集塵が可能なバグフィルタ等のろ過式の集塵装置を用いることが望ましい、排煙処理塔で回収されるばいじん量が減少することで、発電設備内の熱交換器の不具合発生の可能性を低減する。特に高温での集塵が可能なセラミックフィルタを用いると、排ガス冷却装置等を用いる場合よりも、排煙処理塔にて多くの温水を回収できるため有利である。§ 21 で計算した排ガス量およびダスト量に基づいて適切な容量を決定する。

### （６）排煙処理塔

排煙処理塔は本来の目的である排ガス中の硫黄酸化物等の除去に加えて、排熱発電設備の熱源となる最高 80℃程度の温水の回収を行う。排煙処理塔の容量は § 21 で算出された、排ガス中の有害物質濃度や排ガス量に基づき設計する。

集塵装置で除塵されたあとの排ガスとはいえ、排煙処理水中にはばいじん等を含むため、集塵方式によって発電設備の蒸発器の閉塞、熱交換効率の低下等の影響が懸念される場合には、除塵、硫黄酸化物等の吸収を主に担う洗浄水系と、温水回収を主に担う熱回収系の２つの系統を分けて設計することも可能である。

また、排煙処理塔では排ガス中の硫黄酸化物、塩酸、塩素等の酸性の有毒ガスを吸収するために苛性ソーダを添加し、排煙水の pH の低下を抑える必要があるが、脱水設備でポリ硫酸第二鉄を添加することにより、排ガス中の硫黄酸化物量が増加する傾向があるため、その増加分を踏まえて苛性ソーダ貯留槽等の容量を決定する必要がある。

### （７）ファン・ブロワ類

図 4-15 に示したように、燃烧用空気を送る流動空気ブロワ、排ガスを排出し系統を負圧に保つ誘引ファン、排ガスの冷却と発電設備への熱供給および白煙防止空気の供給を担う熱回収空気ファンがある。それぞれ、§ 21 で計算したガス量を供給、処理できる能力の機種を選定する。なお、それぞれインバータによる可変速運転が可能な構成とすることで消費電力の低減を図る。

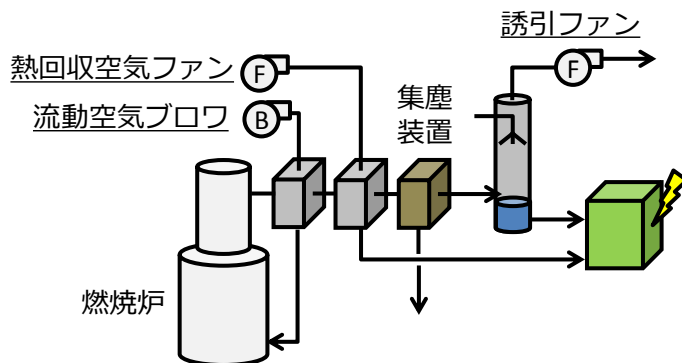


図 4-15 燃烧設備のファン・ブロワ類

## (8) 計装機器類

一般的な焼却設備と異なる計装機器類は基本的に無い。流動空気量の調整のために排ガス系に酸素濃度計が必要であるが、白煙防止空気混合前の設置位置であれば、従来の公害防止用のガス分析装置を流用することも可能である。本設備に備えられる主要な計装機器を表 4-7 に示す。

表 4-7 低空気比省エネ燃焼設備の主要な計装機器

| 測定対象物      | 計装機器              |
|------------|-------------------|
| 脱水汚泥貯留槽    | 脱水汚泥貯留量計          |
| 脱水汚泥計量コンベヤ | 汚泥投入量計            |
| 燃焼炉        | 各部温度計、炉内圧力計、酸素濃度計 |
| 熱交換器類      | 各部圧力計、各部温度計       |
| 集塵機        | 各部温度計、差圧計         |
| 排煙処理塔・排気塔  | ガス濃度計、pH 計、各部温度計  |
| 焼却灰ホッパ     | 重量計               |

## (9) 概略所要面積

燃焼設備は補助燃料等の危険物を取り扱う施設であるため消防法等の法規制を受ける。表 4-8 に示した標準的な処理量毎の所要面積に加えて、消防法上の保有空地を確保する必要があることに留意する。なお、本所要面積は一般的な値であり、周辺状況やフローの違い、設計思想等によって増減することがある。また、3 技術を一体的に導入する場合には、脱水設備は燃焼設備の上部を利用し、発電設備も配置の工夫により設置することが可能である場合が多いため、表 4-8 の所要面積は 3 技術を一括導入する場合にその所要面積と目安とすることができる。

表 4-8 燃焼設備の標準的な所要面積例

| 規模          | 幅 /m | 奥行 /m |
|-------------|------|-------|
| 50 t-wet/d  | 40.0 | 18.0  |
| 100 t-wet/d | 45.0 | 18.5  |
| 200 t-wet/d | 55.0 | 19.5  |
| 300 t-wet/d | 65.0 | 22.0  |

### § 27 高効率排熱発電設備の設計

導入計画で決定した設備仕様に基づいて以下について設計する。

- (1) タービン・発電機選定
- (2) 熱交換器類
- (3) 熱回収空気ダクト・配管類
- (4) 安全対策設備
- (5) 計装機器類
- (6) 概略設置面積

#### 【解 説】

高効率排熱発電設備の設計にあたっては、電気事業法上の制約に対応した設計を行うことが不可欠である。図 4-16 に本設備の基本フローを示した。なお、§ 11 の表 2-4 および図 2-15 で説明したように、十分な水量かつ低い温度、そしてストレーナ等できょう雑物を除去された二次処理水が供給されることが不可欠である。なお、使用する二次処理水の SS 濃度等の性状によっては、発電設備熱交換器類の点検清掃頻度への影響も勘案の上、砂ろ過水、繊維ろ過水等のより清浄な冷却水源の使用も個別に検討する。

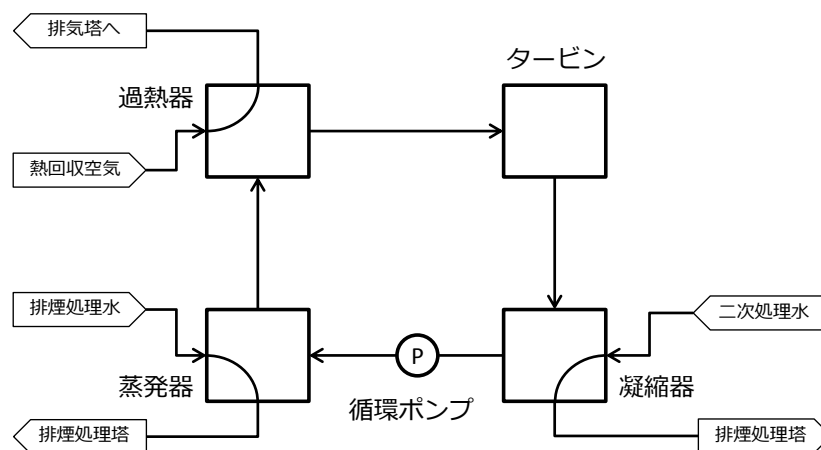


図 4-16 高効率排熱発電設備の基本フロー

#### (1) タービン・発電機選定

本設備のタービンには、汎用の蒸気タービンをアンモニア水サイクル用にカスタマイズしたものを採用する。容量は § 21 の熱収支計算の結果から算出された発電量に見合ったタービンおよび発電機を選定する。なお、熱媒体にアンモニアを利用していることから、タービンの軸シールについては、通常の水蒸気タービンに用いられているラビリンスシールとは別の気密性に配慮した設計が必要である。

本設備の発電機には誘導発電機を選定すると良い。本設備の発電量（送電端）は一般的に燃焼設備を含めた全体の消費電力量より小さくなるため、商用電力が停電した場合には設備の運転を自律



的に継続することができない。したがって、常時商用電力との並列運転となるため、誘導発電機を採用し系統連系に係る電気設備を簡素化することが望ましい。

## （２）熱交換器類

本設備の熱交換器には排煙処理水からの熱を受け取り、熱媒を蒸発させる「蒸発器」、熱回収空気からの熱を受け取り、熱媒を過熱蒸気にする「過熱器」、タービン通過後の熱媒を冷却、凝縮する「凝縮器」等がある。それぞれ、異なる温度、熱交換対象物質となっているため、それぞれの環境に合わせた型式、材質の選定を行う。

例として、液体のアンモニア水と、70～80℃の排煙処理水が接する蒸発器では、コンパクトで効率が高いプレート式熱交換器等が使用でき、蒸気となったアンモニア水と 300～400℃の熱回収空気が接する過熱器では、気体同士の熱交換で良く用いられるシェル&チューブ式熱交換器等が適用可能である。なお、この他の方式の熱交換器でも、使用温度・圧力、設置スペース等の制限をクリアできれば使用可能であるため、コストや信頼性も踏まえて選定をする。

また、熱交換器類の製造時には、型式によって電気事業法上の溶接検査が必要となることに留意する。

## （３）熱回収空気ダクト・配管類

本設備に熱を導く、熱回収空気のダクトと排煙処理水の配管は、放熱による熱損失を最小化するため、それぞれ可能な限り距離を短縮し十分な保温を施す。熱回収空気ダクトは最高 400℃の空気が通じているため、接触による火傷等の防止の対策としても不可欠である。

## （４）安全対策設備

本設備で、最も重要な安全対策は、強い刺激臭を持ち、呼吸器系や目などの粘膜に障害を引き起こし、可燃性や一部金属（銅合金、アルミニウム合金）に対する腐食性のあるアンモニアの漏えいに対する備えである。アンモニアに接触する配管等の材料には、アンモニアに対する腐食がないものを選択し、ガスケットに気密性の高い渦巻ガスケットを適用するとともに、Oリング等にもアルカリ性に侵されにくい耐薬品ゴム等を用いる。また、万一のアンモニア漏洩が懸念される箇所については、アンモニア濃度計、pH 計等で監視を行い、異常検知時の設備のインターロック停止や立入禁止アラーム発報、散水による除害設備を設けることも検討する。

## (5) 計装機器類

本設備に備えられる主要な計装機器を表 4-9 に示す。

表 4-9 高効率排熱発電設備の主要な計装機器

| 測定対象物         | 計装機器             |
|---------------|------------------|
| 排煙処理水（蒸発器出入口） | 温度計、流量計、pH 計     |
| 熱回収空気（過熱器出入口） | 温度計、流量計          |
| 冷却水（凝縮器出入口）   | 水温計、流量計          |
| 熱媒（アンモニア水）    | 比重計、循環流量計、圧力計    |
| タービン          | 回転数計、軸受温度計       |
| 発電ヤード内空気      | アンモニア濃度計（漏えい検知用） |

## (6) 概略所要面積

本設備の標準的な処理量毎の出力と所要面積を表 4-10 に示した。なお、この出力および所要面積は第 2 章において設定した条件におけるものであり、各種条件によって変化することに留意する。

表 4-10 発電設備の標準的な所要面積

| 規模          | 出力     | 幅 /m | 奥行 /m | 高さ /m |
|-------------|--------|------|-------|-------|
| 100 t-wet/d | 140 kW | 6    | 8     | 7     |
| 200 t-wet/d | 310 kW | 6    | 16    | 9     |
| 300 t-wet/d | 485 kW | 6    | 18    | 10    |

### § 28 連携・最適化機能の設計

導入された各設備を相互に結び付ける「連携機能」と「最適化機能」は以下の項目に留意して設計をする。

- (1) 段階的な連携先の増加
- (2) 設備の改良・構成変更に対する柔軟性確保

#### 【解 説】

本機能の設計では、システムの周辺環境、使い方、他設備との設計思想の共通化の程度によって個別の対応が必要となる。連携機能と最適化機能が持つ基本的な機能は、それぞれ以下の通りである。ただし、全ての機能を具備する必要はなく、目的に応じて機能ごとに採用することも可能である。

#### (連携機能)

- ・脱水設備－燃焼設備：
 

燃焼状態（各部温度トレンド）を目安に脱水設備の目標含水率を上下させる
- ・燃焼設備－発電設備：

発電量を目安に、熱回収空気と排煙処理水量での回収熱量バランスを調整する
- ・脱水設備－発電設備：

発電量を目安に、目標含水率を調整する

#### (最適化機能)

コストおよび温室効果ガス排出量を評価軸とし、各設備で消費する消費電力、補助燃料、薬品等の量をシステム全体で最小化するように、脱水汚泥の含水率目標値を設定する。

なお、本機能の構築にあたって取り込みが必要な温度や流量等の因子は、各設備の運転管理に必要な計装から抽出することが可能であり、改めて設置が必要な計装機器は少ない。ただし、一般的に消費電力量については個別の機器単位でモニタリングすることはないため、本機能の構築に当たっては少なくとも各設備の総合的な消費電力および、制御の対象となる電動機の消費電力を個別に測定する電力計等の計装機器を付加することが必要である。連携・最適化機能を設計する際に、共通して留意すべき事項について以下に示した。

#### (1) 段階的な連携先の増加

本機能は、燃焼設備における制御機能の1つとして提供される。そのため、燃焼設備を導入した段階で他の設備が未導入であっても、脱水設備、発電設備が段階的に導入されることを見越して、少なくともソフトウェア的な入出力を備えておくことで段階的な連携先の増加にスムーズな対応が可能となる。また、燃焼設備単独で導入され、脱水設備と接続されないとしても、燃焼設備の燃焼状態から理想的な含水率を提示する「最適運転支援機能」を提供することが可能である。この場

合は、この支援機能から提示された含水率を目指して脱水設備等の条件を手動で操作することで、最適化方向への調整が行える。

## （２）設備の改良・構成変更に対する柔軟性確保

本機能の耐用年数期間中には、関係する多くの機器・設備の改築更新が想定される。本機能を適切に運用するためには、改築更新によって機器・設備ごとの特性が変化する度に汚泥処理系のモデルの更新が必要となる。そのため、連携・最適化システムは、大きな電力を消費する主要な設備の改良や構成変更に対して、柔軟にモデルを更新、修正できる機能を有することが望ましい。