

## 第4章 計画・設計

### 第1節 基本計画

#### § 25 計画の手順

本技術の導入に関する計画手順は以下のとおりである。

- (1) 基礎調査
- (2) 施設計画の検討
- (3) 計画上の留意点の整理
- (4) 導入効果の検証
- (5) 導入計画のとりまとめ

#### 【解説】

計画手順のフローを図4-1に示す。

計画の策定にあたっては、第3章 第1節 導入判断 (§ 16) にて設定した導入目的に対する目標設定を再確認して、基礎調査から開始する。

詳細について、次節以降に記述する。

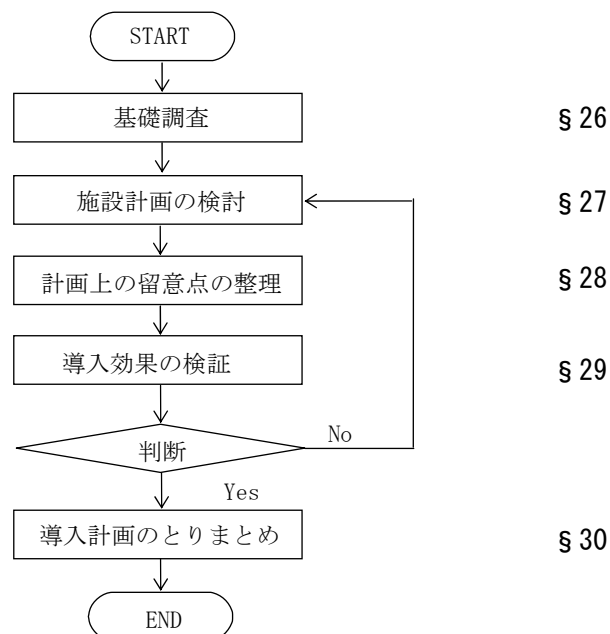


図4-1 計画の手順

## § 26 基礎調査

本技術の導入にあたり，以下に示す基礎調査を行うことにより，施設・設備の計画・現状等について把握する。

- (1) 全体調査（各技術に共通した基礎調査）
- (2) 個別調査（個別技術毎の基礎調査）

### 【解 説】

(1) 全体調査，(2) 個別調査の詳細内容に関しては § 14 に記述している。

導入検討時に § 14 に記載する基礎調査を実施しているが，本節は既に導入を決定し，計画する段階での基礎調査を行う。

調査内容は，基本的には § 14 の基礎調査と同等であるが，ここでは導入決定時から計画時までの状況の変化・関連計画の見直し状況の確認を行い，計画策定に向けてより精度の高い調査を行う必要がある。

## § 27 施設計画の検討

本技術の導入にあたり，各施設・設備計画の検討を行う。

- (1) 計画諸元の設定
- (2) 容量計算
- (3) 配置計画の検討
- (4) 段階的整備計画の検討

## 【解 説】

## (1) 計画諸元の設定

基礎調査に基づき，以下に示す計画諸元の設定を行う。

## 1) 計画下水量

計画下水量は，日最大汚水量，日平均汚水量の他，雨天時，非常時・災害時を想定した汚水量の設定も必要である。

## ①日最大汚水量

施設計画・設計の基本となる諸元として設定が必要である。

## ②日平均汚水量

電力などユーティリティ使用量に必要な諸元として設定が必要である。また，発電量の算定においても重要である。

## ③雨天時，非常時・災害時汚水量

超高効率固液分離設備の計画・設計に関連して，重要な諸元である。本技術導入にあたり，各施設・設備容量の算定に用いる計画汚水量を表4-1に整理する。

表4-1 施設容量算定計画汚水量

| 分 類  | 設定計画汚水量                    | 対象施設・設備                          |
|------|----------------------------|----------------------------------|
| 一次処理 | 計画日最大汚水量                   | 最初沈殿池，超高効率固液分離設備                 |
|      | 雨天時計画汚水量                   | 超高効率固液分離設備（CSO対策※ <sup>2</sup> ） |
|      | 非常時・災害時計画汚水量※ <sup>1</sup> | 最初沈殿池，超高効率固液分離設備                 |
| 二次処理 | 計画日最大汚水量                   | 反応タンク，最終沈殿池等                     |
| 高度処理 | 計画日最大汚水量                   | 反応タンク，最終沈殿池，急速ろ過施設等              |
|      | 冬期計画日最大汚水量                 | 反応タンク（生物学的窒素除去法）                 |
|      | 計画時間最大汚水量                  | 急速ろ過施設                           |
| その他  | 計画日最大汚水量                   | 消毒施設，スマート発電システム（発電量）             |
|      | 計画日平均汚水量                   | スマート発電システム（発電量）                  |
|      | 雨天時計画汚水量                   | 消毒施設（CSO対策※ <sup>2</sup> ）       |
|      | 非常時・災害時計画汚水量※ <sup>1</sup> | スマート発電システム，消毒施設（緊急対応）            |

※1：非常時・災害時の水量設定は，計画日平均汚水量の1/3程度を見込む

※2：SSO対策にも位置づける場合は，実績流入水量を参考とする

例として、超高効率固液分離設備の計画汚水量は、計画日最大汚水量を標準とし、合流式下水道における雨天時越流負荷対策（CSO 対策）として位置づける場合は、雨天時計画汚水量を用いる。

## 2) 計画水質

超高効率固液分離設備の計画・設計に必要な諸元であるとともに、計画汚泥量の算定にも必要な諸元である。

なお、計画水質は、計画流入水質および汚泥処理施設からの返流水負荷等を考慮する。

## 3) 計画汚泥量

汚泥処理施設の容量は、水処理施設、高度処理施設および雨水滞水池等で発生する計画発生汚泥量に、各汚泥処理施設からの返送および処理過程における増減を考慮して定める。

地域バイオマス（生ごみ、し尿・浄化槽汚泥、集落排水汚泥等）の受け入れを検討する場合、関連計画および現状を調査し、受入バイオマスの量および性状を設定する。また、それらの下水処理場への受入工程を検討した上で、計画汚泥量ならびに計画水量・水質に反映する。

## （２）容量計算

計画諸元の設定値に基づき、施設・設備の容量計算を行う。詳細は本章第2～4節に記述する。

## （３）配置計画の検討

容量計算結果に基づき、配置計画の検討を行う。

## （４）段階的整備計画の検討

関連する既計画における施設・設備の長寿命化、更新、統廃合、耐震化等の計画年次等との整合を踏まえ、段階的な年次別導入計画を立案する。なお、本技術導入による処理場全体のLCC低減効果を検討し、必要に応じて長寿命化計画等の既計画を見直すものとする。

## § 28 計画上の留意点の整理

本技術の導入にあたっては、以下の点に留意する。

- (1) ろ過水の BOD, SS 負荷減少による反応タンクでの水処理の効率化
- (2) 生ごみ混合消化の消化脱離液による逆流負荷の水処理への影響

### 【解 説】

#### (1) ろ過水の BOD, SS 負荷減少による反応タンクでの水処理の効率化

超高効率固液分離技術から流出する一次処理水は従来技術と比較して BOD, SS 濃度が低減されている。したがって、反応タンクへの BOD, SS 負荷が軽減される。

超高効率固液分離技術導入の実績事例（嫌気好気法にて一事例）において、SS, BOD, 透視度の処理性は良好である。

BOD に着目すると、超高効率固液分離特性から固形性 BOD が主体的に除去され、反応に使われやすい溶解性 BOD (S-BOD) が反応槽に流入する傾向となる。そのため反応槽における BOD 除去は速やかに行われる。

また、無酸素・好気循環法の硝化脱窒反応においても、BOD/T-N 比が十分確保される場合には、**図 4-2**に示されるように反応槽流入直後に脱窒源として高分解性の S-BOD が寄与するため円滑に脱窒がなされるとともに、その後の好気反応では、分解されにくい固形性 BOD が少なくなることから硝化反応が促進されやすいと考えられる。BOD/T-N 比については、個別処理場の状況により異なるため、留意する必要がある。

従って今後は導入すべき下水処理場において、その水質、処理方式の特性を十分に考慮した導入検討を行う必要がある。

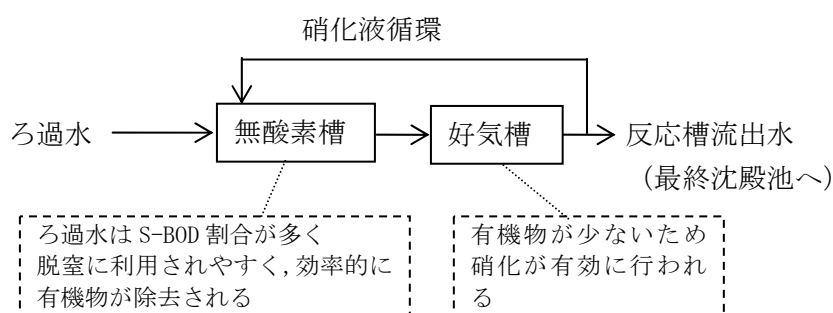


図 4-2 ろ過水の反応タンクでの挙動

#### (2) 生ごみ混合消化の消化脱離液による逆流負荷の水処理への影響

生ごみを受け入れることにより、汚泥処理逆流負荷の増加が懸念される。生ごみ受入による汚泥処理逆流負荷増加に関する実証実験結果は § 56 に示すが、これらを参考に水処理への影響について検討する必要がある。

### § 29 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行った導入効果の算出および評価について、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う。検討結果に基づき、目的とする導入効果が得られるか検証する。必要な場合は導入判断を見直して、技術の導入範囲および事業形態等が適切になるよう変更する。

### § 30 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として、基礎調査に基づく施設計画の検討、計画上の留意点の整理および導入効果の検証の各結果を導入計画書にとりまとめる。

#### 【解 説】

本技術の導入についての検討結果をとりとめるとともに、認可設計図書など必要な資料および図書の作成を行う。

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・現状等の把握）に基づいて施設計画の検討（計画諸元の設定、容量計算、配置計画・段階的整備計画の検討）を行った結果に加え、計画上の留意点や導入効果の検証結果を含めてとりまとめるものとする。

## 第2節 システム全体の設計

## § 31 システム全体の設計の考え方

下水処理場全体のエネルギーマネジメントを図る本技術においては，創エネルギー効果，省エネルギー効果を最大化できるよう3つのシステムについて設備容量を決定する。

## 【解 説】

本技術は図4-3に示すとおりシステム全体として下水処理場全体のエネルギーマネジメントを図るものであり，創エネルギー効果，および省エネルギー効果が最大となると共に，装置が効率的に稼働できるような設計を行うことを基本とする。

創エネルギー効果，および省エネルギー効果を最大化するには，超高効率固液分離システムにおいて可能な限り生污泥回収率を高くするように設備容量を決定する。消化ガスの発生効率の高い生污泥の回収量を高めることにより消化ガス発生量の最大化を図り，水処理負荷軽減により省エネルギー効果の最大化を図る。

高効率高温消化システムでは回収された生污泥，余剰污泥，生ごみ等の投入量および性状に基づきシステムの設備容量を決定する。なお，余剰污泥の投入については，生污泥，生ごみと比較してガス発生効率が低いこと，投入することで分解に要する消化日数が長くなることから，システム全体のエネルギー効率，コスト等を総合的に勘案し決定する。

スマート発電システムのハイブリッド型燃料電池については，発生した消化ガスをできる限り全量利用できるよう設置台数を決定する。消化ガスを全量利用することで創エネルギー効果の最大化を図る。この際，都市ガスの必要投入量も重要となる。

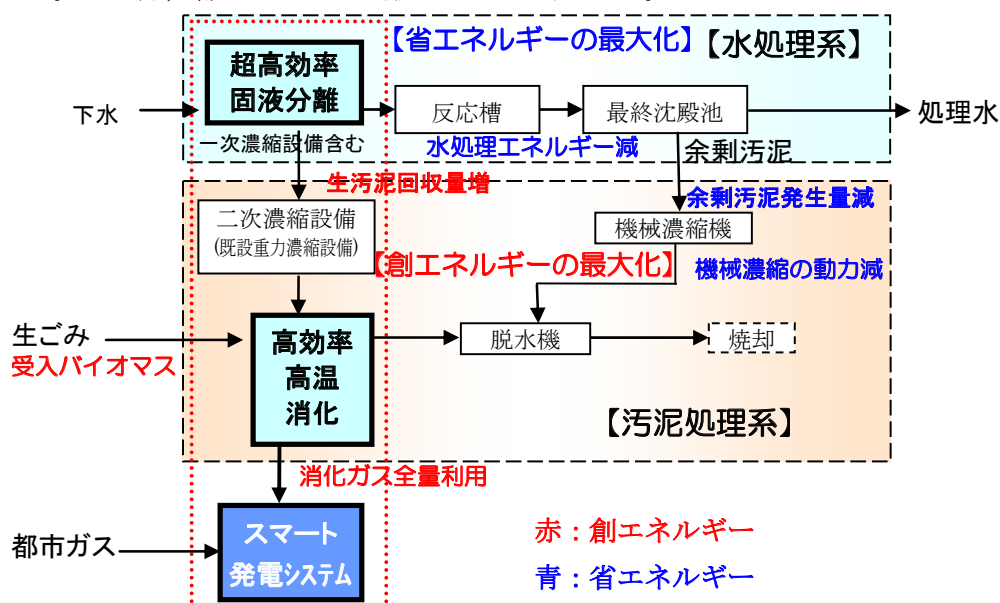


図4-3 システム全体の設計の基本的な考え方



なお、図4-3に示すように消化ガス全量利用のために都市ガスによる発電を併用するが、都市ガスの併用に関する基本的な考え方は以下の通りである。

燃料電池の運転には、基本的に①出力一定運転モード、②出力変動運転モードの二つのモードがある。回収可能な生汚泥と収集可能な生ごみの日量で決まるメタンガス発生量/日とガスホルダの容積、さらに下水処理場全体の消費電力量の変動を勘案して、電力料金と都市ガス料金の合計が最低となるように、上述の運転モードの切り替えと都市ガス使用比率を最適制御する。

次頁に、中浜下水処理場（大阪市）における B-DASH 実証実験と関連づけた、「都市ガスを利用した買電（商用受電）電力削減効果」のシミュレーション事例を示す。具体的には、「消化ガス100%利用発電を行うために都市ガスを購入するコスト以上に、契約電力を下げられるメリットの方が大」というようなケースを見つけるための検討事例である。

## 都市ガスを利用した買電（商用受電）電力削減効果について

最初に、年間を通じて商用受電電力のピークを1kW低減するための前提条件を確認する。

表4-2は、電気とガスの契約条件および燃料電池の運転条件の一部で、これらから求めた下記の①項もしくは②項が、1kWのピークカット条件となる。この範囲内で実行できれば、都市ガスを使った発電がメリットになり、逆に、条件を超える場合はデメリットになる。

① 1kW削減のための都市ガス年間使用量 1,263 m<sup>3</sup>以内

=20,220 円（1kW年間基本料金）÷16 円/m<sup>3</sup>（都市ガス 1 m<sup>3</sup>料金－5kW 料金）

② 同上都市ガスによる年間発電電力量 6,318kWh（1日当たりでは17kWh）以内

=1,263 m<sup>3</sup>（①項）×5 kWh/m<sup>3</sup>（45%発電効率の場合）

表4-2 実施条件一覧

| 各種条件項目 |          | 内 容                                           |
|--------|----------|-----------------------------------------------|
| 都市ガス   | 適用料金体系   | 大阪ガス                                          |
|        | 高位発熱量HHV | 45 MJ/m <sup>3</sup>                          |
|        | 低位発熱量LHV | 40.6 MJ/m <sup>3</sup>                        |
|        | コジェネ契約料金 | 71 円/m <sup>3</sup>                           |
|        | 契約条件     | 最低使用量 1.5 m <sup>3</sup> /h以上                 |
| 電気     | 適用料金体系   | 関西電力                                          |
|        | 電力料金     | 11.37 円/kWh                                   |
|        | 基本料金     | 1,685 円/kW・月（年額料金20,220 円/kW・年）               |
|        | 受電       | 6,600 V高圧                                     |
|        | 逆流契約     | 無し（発電機系統連系時は、商用受電電力の最低目標値の設定あり）               |
| 発電     | 消化ガス     | 生成する消化ガス100%利用を目標に、ほぼ一定出力運転                   |
|        |          | ガスホルダは、発電機の出力抑制時に備蓄するために使用                    |
|        | 出力パターン   | 燃料電池の機械特性などにより4回/日以内の変動パターン                   |
|        |          | 出力変動後は効率が安定しないので、マイナス要因として加味                  |
|        |          | 出力変更には、出力安定のため、変化量10kWで5分間程度必要                |
|        | 発電力量     | 5 kWh/m <sup>3</sup> （B-DASH実験設備の実績では45%発電効率） |
|        |          | 4.44 kWh/m <sup>3</sup> （メーカ公称値40～42%発電効率）    |

次に、中浜下水処理場に設置したB-DASH実験設備の電力需要実績を例に、ピークカットの実施方法を確認する。

図4-4のような電力の需要カーブ（水色棒グラフ：某日の需要実績）が、毎日同じ様に（実

際は日々変化), 1年間続いたと仮定する。B-DASH プロジェクトでは, 100kW 定格出力のハイブリッド型燃料電池を導入していたことから消化ガスを一定量使用した発電 (青色直線以下の水色棒グラフの電力量をカバー) をベースに, ピークカット対応時に都市ガスを使用した発電 (赤色直線以上の水色棒グラフの電力量をカバー) を行った。ただし, 全て発電電力で需要が賄えなかったのは, 電力会社との逆潮流無しの契約のためである。

この需要カーブにおいて, 都市ガスを使用した発電で, 最大のコストメリットを求めてみる。

②項の 1 日平均 17kWh 以内の発電条件から, 燃料電池による都市ガスを使用した発電目標値 (30 分平均電力) のオーバー回数が, 34 回/日 (メリット発生 17kWh ÷ (1kW × 30 分), 赤色直線を超える水色棒グラフ部分) に向かい 1kW 低減するコストメリットは増加傾向にある。34 回/日を超えてからはデメリットに転ずるため, 34 回/日がメリットが最大値になる目標値 (34 番目のデマンド電力 - 1kW) で, その削減量 kW は, 最大デマンド値から 34 番目デマンド値を差し引いた値となる。

最大メリットまで期待しない場合は, 最大需要から目標値を 1kW ずつ徐々に下げていく。最大ピーク値と次のデマンド値との差が 1kW 以上ある場合, 目標値を 1 回しかオーバーしていないため, 残りの 33 回分 (× 1kW × 30 分) の電力料金が発電メリットになる。更に, 2kW, 3kW・・・と目標値を徐々に下げると, 目標値を超えるデマンドも 2 回, 3 回・・・と増えていき, 逆に 1kW 低減するメリットについては 32 回分, 31 回分・・・と減少する。このように目標値の低減量としては, その目標値を超えるデマンドの回数が 34 回となった時が, 都市ガス料金の支払い分と電気料金の削減分とが釣り合い, 最大のメリットが得られるポイントになる。

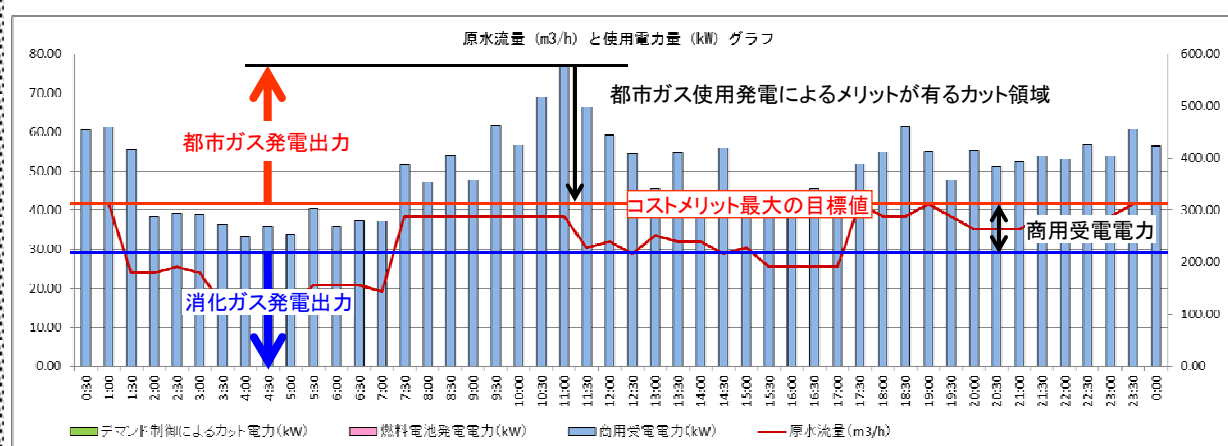


図 4-4 都市ガス発電ピークカット対応例 その 1

図 4-4 のように, 鋭敏なピークが立っている電力の需要カーブでは, コストメリットが最大となる目標値の下げ幅が大きく, 比較的効率的に実施でき大きな効果が得られることが分かる。一方, 図 4-5 のような電力の需要が平準化し, カーブがフラットな場合は, デマンド制御目標値のオーバー回数が 34 回/日を少しの下げ幅で超えてしまうため, 最大メリットは図 4-4 より少なくなる。



図4-5 都市ガス発電ピークカット対応例 その2

また、降雨が継続し下水処理場の処理能力を上回る下水が流入する場合は、図4-4で現れる以上のピークが数日間継続した、全設備稼働状態の需要カーブになるため、1kW低減の余力としての発電電力量6,318kWh/年（1日当たり17kWh）を、降雨日に最大限充当する等、計画的に使用する必要がある。この計画立案については、電力需給予測に基づく運転最適化制御機能が支援することになる。

以上のように、システムを導入する下水処理場により日々の電力需要の特性や様相が全く異なるため、導入計画時と設計時にその特性や様相を十分把握し、最適なピークカット目標値を設定することが望ましい。

### 第3節 超高効率固液分離システムの設計

#### § 32 設計手順

超高効率固液分離システムの設計手順は以下のとおりである。

- (1) 超高効率固液分離設備の設計
- (2) 生汚泥貯留設備の設計
- (3) 一次濃縮設備の設計

#### 【解 説】

超高効率固液分離システムは、超高効率固液分離設備、生汚泥貯留設備、および一次濃縮設備から構成されており、基本的に最初沈殿池既設躯体を活用して設置する。設置における基本設計手順フローを図4-6に示す。なお、各設備間の一般的な機器・配管等の設計は、設計指針に基づき実施する。

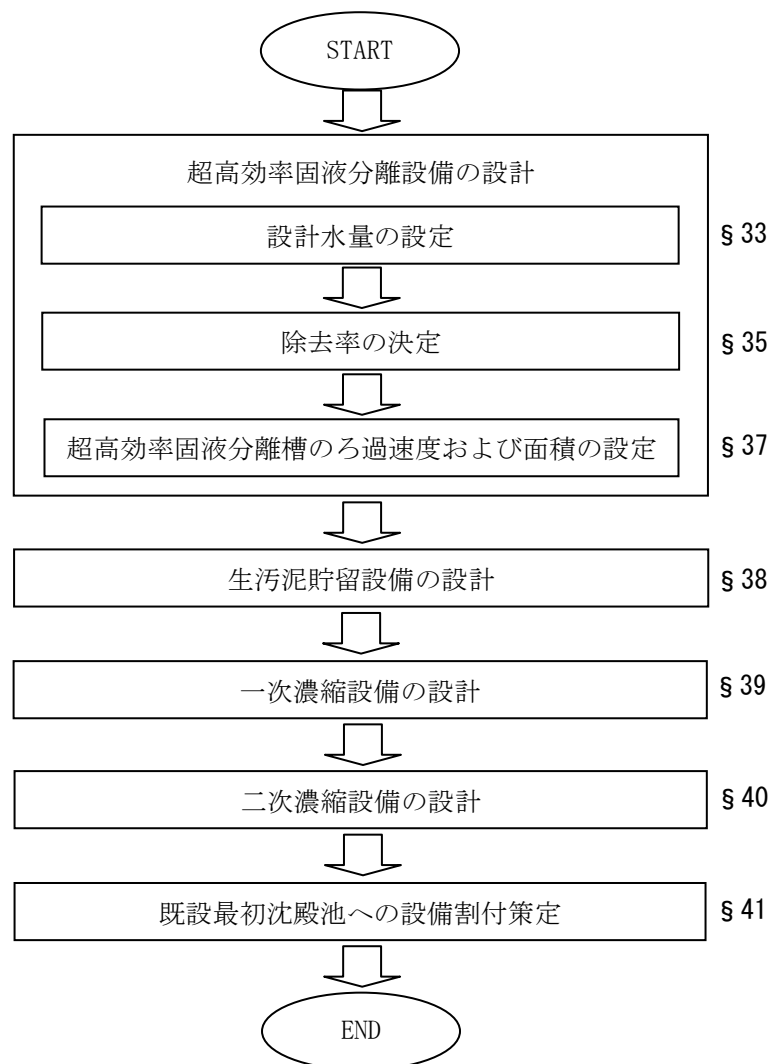


図4-6 超高効率固液分離システムの設計手順

### § 33 設計水量の設定

超高効率固液分離システムの設計処理水量は，計画1日最大汚水量とする。

#### 【解 説】

設計処理水量は設計指針記載の最初沈殿池の考え方に準じる。ただし，合流式下水道において合流改善対策に用いる場合は，雨天時計画1日汚水量に対してろ過速度が1,200m/日を超過しないように留意する。

### § 34 超高効率固液分離設備

超高効率固液分離設備は、以下の設備より構成される。

- (1) 超高効率固液分離槽
- (2) 二次処理水供給装置
- (3) 次亜塩素酸ナトリウム注入装置（補機）

また、超高効率固液分離槽は、以下の機器類より構成される。

- (ア) 上部スクリーン
- (イ) 専用ろ材
- (ウ) 高速洗浄装置

#### 【解 説】

各構成品に関しては以下の点に留意して設計を行う。

#### (1) 超高効率固液分離槽

最初沈殿池を改造し超高効率固液分離槽を設置する際は以下の形状とする。

- ・ 超高効率固液分離槽 1 池のろ過面積は 5～30m<sup>2</sup>を目安とする。
- ・ 超高効率固液分離槽は、ろ過部と流入調圧部からなる。
- ・ 超高効率固液分離槽は、共通処理水層、ろ材層および下部層から構成される。
- ・ 流入調圧部の断面積は、ろ過面積の 1/10～1/20 程度を目安とする
- ・ 超高効率固液分離槽は複数槽を設け、1 槽が洗浄中でも、他の槽でろ過が継続される構造とする。また、洗浄の安定を図るため基本的に 3 槽以上とする。
- ・ 洗浄時に短時間の空気逆洗ができる構造とする。

##### (ア) 上部スクリーン

上部スクリーンはろ材の浮上をおさえるために、ろ材層上部に設置する。なお、ろ材の出し入れに対応できるよう、容易に取り外し可能な構造とする。

##### (イ) 専用ろ材

本技術のろ材は、ろ過性能が発揮できるよう専用ろ材を使用する。ろ材の特徴としては特殊高分子製で比重 1 未満の浮上ろ材を採用する。また、ろ層厚さは最大 600mm とし、流入負荷、除去特性に応じて調整する。

ろ材の充填量は以下の式にて算出する(図 4－7 参照)。

$$V_{\text{ろ材}} = S_A \times H_{\text{ろ材}} \quad \dots\dots\dots (\text{式 4－1})$$

ここで、

- $V_{\text{ろ材}}$  : ろ過池全体でのろ材充填量（見かけ嵩量） (m<sup>3</sup>)
- $S_A$  : ろ過面積 (m<sup>2</sup>)
- $H_{\text{ろ材}}$  : ろ層厚さ (m)

## (ウ) 高速洗浄装置

高速洗浄装置は、短時間でろ材層を均等に洗浄できる構造とし、改造する土木躯体形状を考慮し決定する。

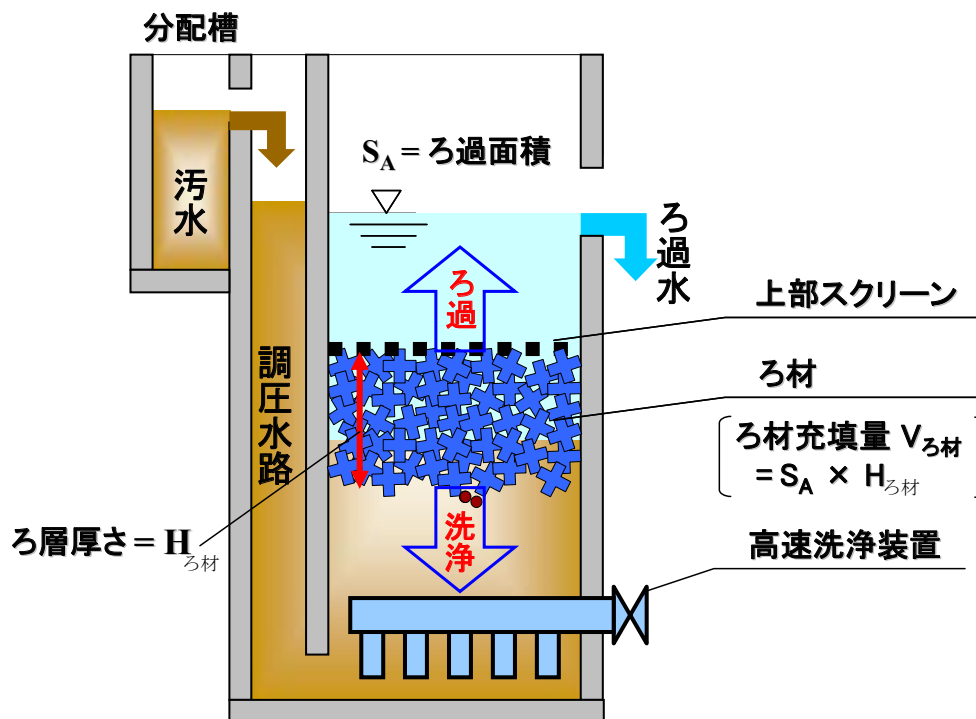


図4-7 超高効率固液分離槽断面図

## (2) 二次処理水供給装置

本設備は、定期的な完全洗浄を目的として、超高効率固液分離槽（上部スクリーンの上部等）へ二次処理水等を送水するためのポンプと配管より構成される設備である。

完全洗浄の実施については、複数系列の超高効率固液分離槽を有する場合、朝方の流入水量が少ない時間帯において、完全洗浄の対象となる系列を稼働停止し、停止可能時間内で実施する方法が考えられる。そのため、完全洗浄に必要な二次処理水量が、時間内に超高効率固液分離槽に供給できるよう、ポンプ容量および配管口径を決定する（（注）完全洗浄における実質的な洗浄時間は通常の洗浄と同等の短時間の下向流逆線であるが、完全洗浄のため準備として二次処理水を超高効率固液分離槽に貯留させるのに数時間かかる）。なお、超高効率固液分離槽が1系列のみの場合は、完全洗浄の実施にあたり、その間流入汚水を停止する必要がある。

## (3) 次亜塩素酸ナトリウム注入装置

本設備は、超高効率固液分離槽へ次亜塩素酸ナトリウムを注入するためのポンプ、配管および次亜塩素酸ナトリウム貯留タンクにより構成される。ポンプ容量、タンク容量および配管口径に関しては、次亜塩素酸ナトリウムの使用用途を考慮し、必要薬品注入量を踏まえた選定を行う。



### § 35 除去率の決定

除去率は、水処理系の省エネルギー効果、および汚泥処理系の創エネルギー効果を最大化できるように設定する。

#### 【解 説】

水処理系の省エネルギー効果、および汚泥処理系の創エネルギー効果を最大化するには、可能な限り除去率を高く設定する必要がある。除去率はろ過速度が小さいほど高くなる。

除去率の設定は、図4—8のフローに基づき実施する。当該下水処理場の平均流入 SS 濃度と図4—11に示す流入 SS と除去率の関係式から除去率が最大となるろ過速度 250m/日における必要ろ過面積を § 37（式4—5）により算定する。既設躯体面積において必要ろ過面積を確保できない場合は、ろ過速度を大きくし必要ろ過面積の判定を行う。これにより確保可能な場合には除去率を決定し、不可能な場合はさらにろ過速度を変更する。なお、雨天時において活用する場合には、ろ過速度が 1,200m/日を超えないようにろ過面積を設定する。

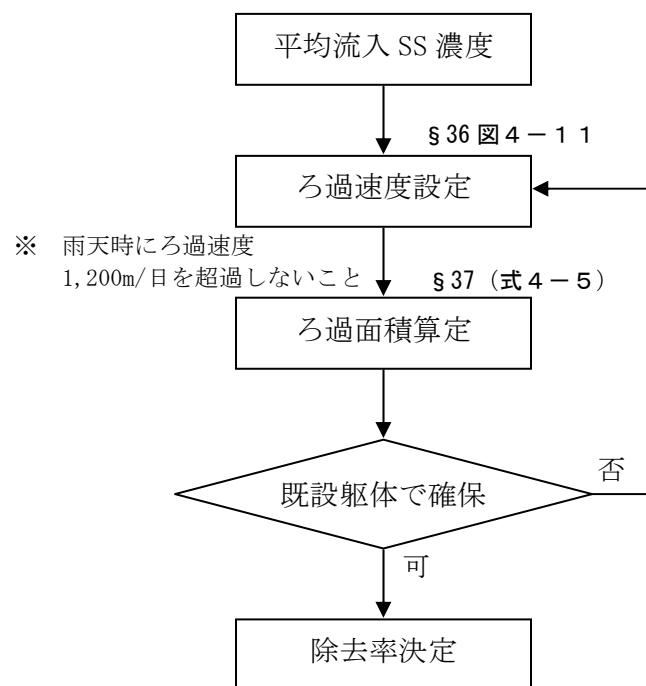


図4—8 除去率の決定フロー

### § 36 超高効率固液分離槽の除去率設定の考え方

超高効率固液分離槽では専用ろ材を使用する。その除去特性として、BOD に関しては SS 由来である浮遊性 BOD が主たる除去対象となる。

#### 【解 説】

##### (1) 除去特性

超高効率固液分離技術は、流入下水中の生汚泥を効率的に回収するろ過方式の固液分離技術であり、流入下水の SS および BOD 除去率は、従来の最初沈殿池よりも大幅に向上する。ただし、BOD に関しては固形物(SS)由来のものについてのみ捕捉、除去される。

BOD に関しては SS 由来である浮遊性 BOD ( $C_{pin}$ )のみが除去対象となる。溶解性 BOD ( $C_{sin}$ )は物理除去を目的としているろ材では捕捉できず、ろ層内部の空隙をそのまま素通りする(図4-9参照)。このように後段水処理設備の処理対象となる易分解性の溶解性 BOD は、本システムでは捕捉されず、そのまま後段設備へ流入する実証結果が得られている(図4-10参照)。

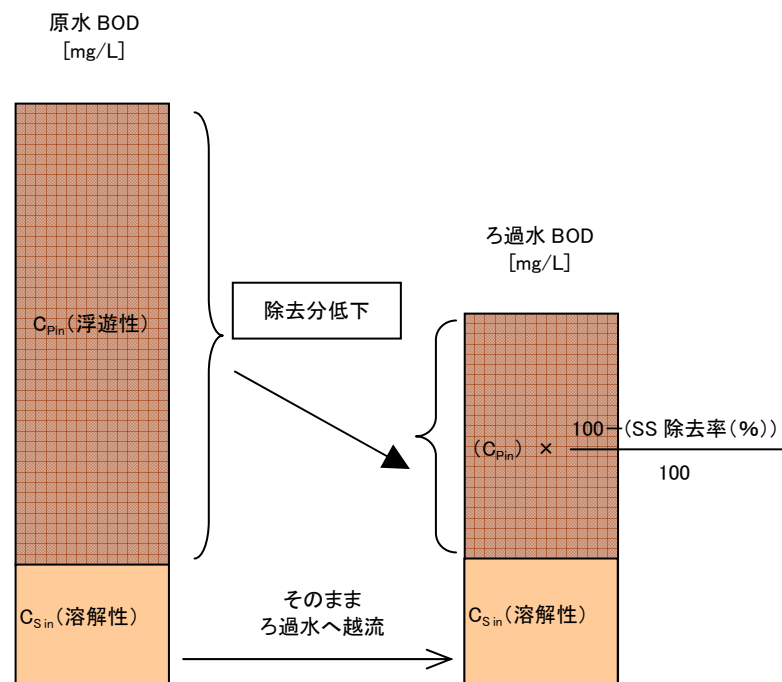


図4-9 BOD 除去のイメージ

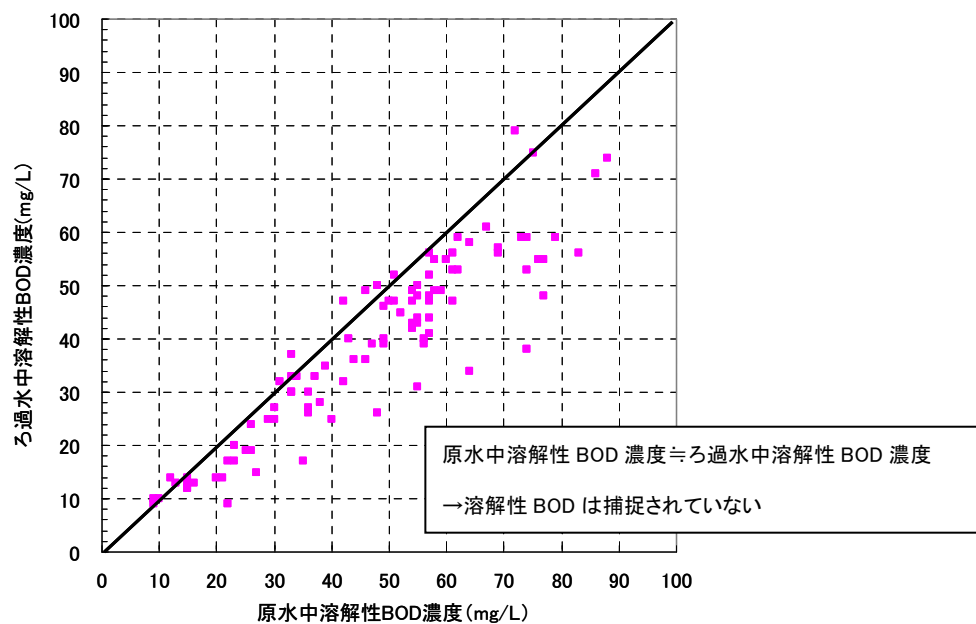


図 4－10 原水中溶解性 BOD 濃度とろ過水中溶解性 BOD 濃度の関係

## (2) SS 除去率算定式

処理性能の推定に用いる流入水 SS 濃度は、晴天時既設最初沈殿池への平均流入水質とする。本値は、基本的にモニタリングによる実測値を用いる。

除去率は下記実験結果にて得られた流入 SS 濃度との関係式より算定する(図 4－11 参照)。

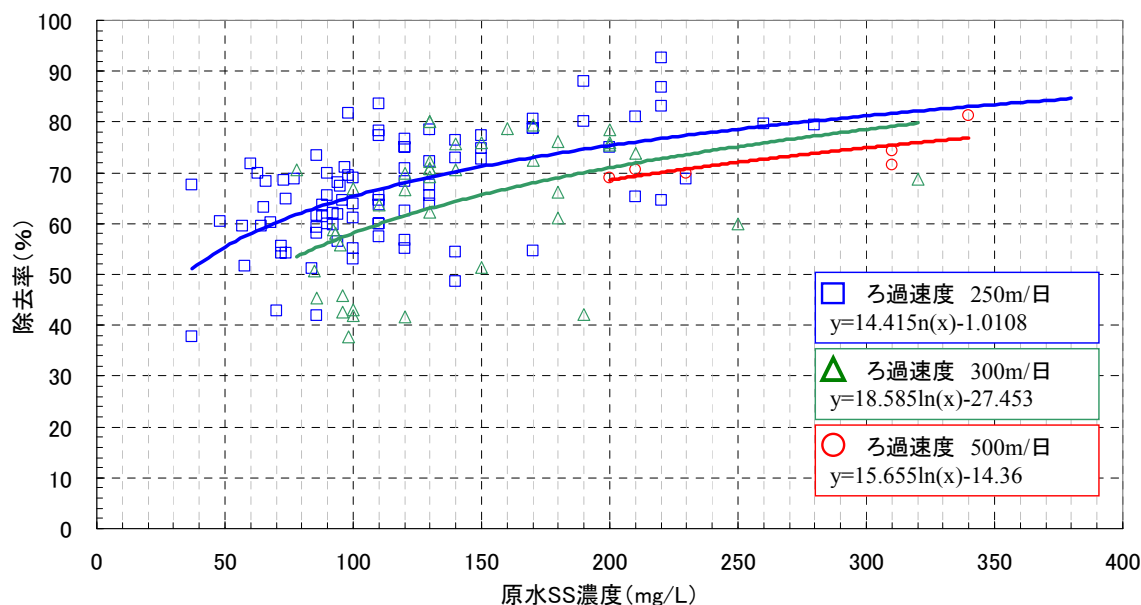


図 4－11 原水 SS 濃度と SS 除去率の関係  
(ろ過速度 250m/日, 300m/日, 500m/日 ろ層厚 600mm の場合)

以下に、ろ過速度 250m/日における SS 除去率 (%) の算定手法を述べる。なお、 $a$ 、 $\sigma$  は設定ろ過速度、原水水質中粒子径分布により異なる点に留意が必要である。

$$\begin{aligned}\text{SS 除去率}(\%) &= a \times \ln(A) + \sigma \\ &= 14.415 \times \ln(A) - 1.0108 \quad \dots\dots\dots (\text{式 4-2})\end{aligned}$$

ここで、

$A$  : 原水 SS 濃度 (mg/L)

$a$ 、 $\sigma$  : 原水 SS 濃度と SS 除去率の関係から決まる定数 (—)

SS 除去率の計算例

|                                              |                    |
|----------------------------------------------|--------------------|
| 条 件                                          | ろ過速度 : 250m/日      |
|                                              | 原水 SS 濃度 : 145mg/L |
| SS 除去率 (%) = $14.415 \times \ln(A) - 1.0108$ |                    |
| = $14.415 \times \ln(145) - 1.0108$          |                    |
| = 70.7 (%)                                   |                    |

### (3) BOD 除去率算定式

SS 除去率算定と同様に、処理性能の推定に用いる流入水 BOD 濃度は、晴天時既設最初沈殿池への平均流入水質とする。本値は、基本的にモニタリングによる実測値を用いる。

BOD 除去率は、今回の実証実験結果にて得られた SS 除去率と浮遊性 BOD 除去率の関係式 (図 4-12 参照) を用い、溶解性 BOD は超高効率固液分離槽では捕捉されないと仮定して、算定が可能である。

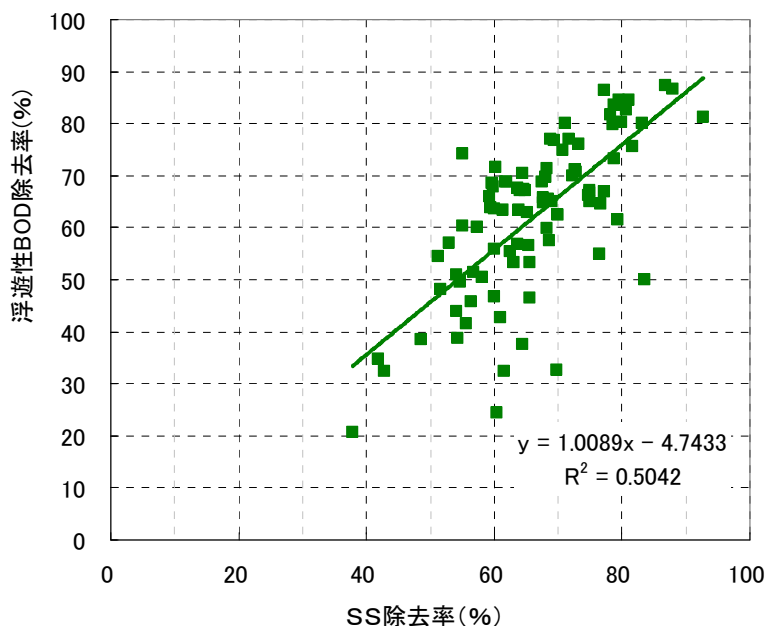


図 4-12 SS 除去率と浮遊性 BOD 除去率の関係  
(ろ過速度 250m/日 ろ層厚 600mm の場合)

以下に、ろ過速度 250m/日における浮遊性 BOD 除去率 (%), BOD 除去率 (%) の算定手法を述べる。なお,  $b$ ,  $\beta$  は設定ろ過速度, 原水水質中粒子径分布により異なる点に留意が必要である。

$$\begin{aligned}\text{浮遊性 BOD 除去率 (\%)} &= b \times B + \beta \\ &= 1.0089 \times B - 4.7433 \\ &= 1.0089 \times (14.415 \times \ln(A) - 1.0108) - 4.7433 \quad \cdots \cdots \text{(式 4-3)}\end{aligned}$$

ここで,

$A$  : 原水 SS 濃度 (mg/L)

$B$  : SS 除去率 (%)

$b$  : SS 除去率 (%) と浮遊性 BOD 除去率の関係式の傾きから決まる定数 (—)

$\beta$  : SS 除去率 (%) と浮遊性 BOD 除去率の関係式の  $y$  切片から決まる定数 (—)

$$\begin{aligned}\text{BOD 除去率 (\%)} &= \text{浮遊性 BOD 除去率 (\%)} \times (100 - C) \div 100 \\ &= (b \times B + \beta) \times (100 - C) \div 100 \\ &= (1.0089 \times B - 4.7433) \times (100 - C) \div 100 \\ &= (1.0089 \times (14.415 \times \ln(A) - 1.0108) - 4.7433) \times (100 - C) \div 100 \\ &= (14.543 \times \ln(A) - 5.763) \times (100 - C) \div 100 \quad \cdots \cdots \text{(式 4-4)}\end{aligned}$$

ここで,

$C$  : BOD に占める溶解性 BOD の割合 (%)

BOD 除去率の計算例

|       |                    |           |
|-------|--------------------|-----------|
| 条 件 : | ろ過速度               | : 250m/日  |
|       | 原水 SS 濃度           | : 145mg/L |
|       | BOD に占める溶解性 BOD 割合 | : 30%     |

$$\begin{aligned}\text{BOD 除去率 (\%)} &= \text{浮遊性 BOD 除去率 (\%)} \times (100 - C) \div 100 \\ &= (b \times B + \beta) \times (100 - C) \div 100 \\ &= (14.543 \times \ln(A) - 5.763) \times (100 - C) \div 100 \\ &= 46.6 (\%) \end{aligned}$$

### § 37 超高効率固液分離槽のろ過速度および面積の設定

超高効率固液分離システムで設定する除去率を得るために、超高効率固液分離槽における必要ろ過速度を設定する。

超高効率固液分離槽のろ過速度は、250～500m/日を目安として設定する。なお、必要ろ過面積は設計水量を設定ろ過速度で除し算出する。

#### 【解説】

超高効率固液分離システムの除去率は、下水処理場で求められる水処理系での省エネルギー効果、污泥処理系での創エネルギー効果を勘案し、求められる除去率を達成するようにろ過速度を設定する。

一般にろ過速度が小さいほど、SS 除去率が高くなり、ろ過水質、生污泥回収率を向上させることが可能であるが、設置スペース、設置費が大きくなる傾向にある。またろ過速度が大きいと洗浄回数が頻繁になる恐れがあるため、現状長期間の運転実証が認められている 500m/日を最大値としての目安とする。

そこで、処理場の設置スペース等を考慮しつつ、必要な除去率が達成できるよう超高効率固液分離槽のろ過速度を設定する。なお、設計水量は § 33 でも記載したとおり、他の水処理設備同様日最大汚水量とするが、創エネルギー効果、省エネルギー効果は日平均汚水量での除去率で検討することが妥当である。また、ろ過面積については以下の式にて算出する。

$$A = \frac{Q}{B} \quad \dots\dots\dots (式 4 - 5)$$

ここで、

|   |   |        |                     |
|---|---|--------|---------------------|
| A | : | ろ過面積   | (m <sup>2</sup> )   |
| B | : | ろ過速度   | (m/日)               |
| Q | : | 設計処理水量 | (m <sup>3</sup> /日) |

合流式下水道における雨天時対応が必要な場合の設計は、「SPRITS21 雨天時高速下水処理システム(簡易処理の高度化・未処理下水の簡易処理)に係る技術資料」(平成 17 年 3 月)に準拠する。

また、ろ過面積は日最大汚水量をもとに算出したろ過面積と、雨天時計画汚水量をもとに算出したろ過面積を比較し大きい値を採用する。

## § 38 生汚泥貯留設備

生汚泥貯留設備は以下の機器類より構成される。

(1) 生汚泥貯留槽

(2) 洗浄排水(生汚泥)ポンプおよび送水管

生汚泥貯留槽は、超高効率固液分離槽で発生する洗浄排水(生汚泥)量に留意し、その容量を設定する必要がある。

## 【解 説】

## (1) 生汚泥貯留槽

生汚泥貯留槽は、最低でも全池1回分の洗浄排水(生汚泥)を受け入れ可能な容量とする。

$$V \geq S_A \times u \times w \quad \dots\dots\dots (式 4-6)$$

ここで、

|       |   |        |           |
|-------|---|--------|-----------|
| V     | : | 生汚泥貯留槽 | ( $m^3$ ) |
| $S_A$ | : | 実ろ過面積  | ( $m^2$ ) |
| u     | : | 洗浄速度   | ( $m/分$ ) |
| w     | : | 洗浄時間   | ( $分$ )   |

生汚泥貯留槽は、容量が大きいほど洗浄排水(生汚泥)を多く一次貯留することができ、後段の一次濃縮槽への送水時間を延ばせることから、一次濃縮槽における濃縮時間を確保することが可能となる。従って全池1回分の洗浄排水(生汚泥)を受け入れ可能な容量とする。

合流雨水流入時には、ファーストフラッシュ(短時間での高濃度流入水および水量増)時に、洗浄排水(生汚泥)が頻繁に発生するため、生汚泥貯留槽容量もしくは洗浄排水ポンプ容量を極力大きくすることが望ましいが、生汚泥貯留槽満水時におけるろ材洗浄待機状態を極力回避する必要がある。よって生汚泥貯留槽容量は、一次濃縮槽における必要濃縮時間およびファーストフラッシュ時の流入水質に応じて設計する。

洗浄排水(生汚泥)ポンプについては、晴天時と雨天時における洗浄排水(生汚泥)発生量に応じて送水量を可変できるようにすることが望ましい。

## (2) 洗浄排水(生汚泥)ポンプおよび送水管

高速洗浄装置の洗浄能力確保のため、生汚泥貯留槽水位が高速洗浄装置排水管レベルを超えないよう運転水位を設定する。合流式下水道の雨天時ファーストフラッシュ対応を前提とした場合、超高効率固液分離槽1池1回分の洗浄排水(生汚泥)を洗浄時間内で排出できる吐出量のポンプを選定することが望ましい。

また、送水管口径はポンプ吐出量および配管による圧力損失を考慮し設定する。

## § 39 一次濃縮設備

一次濃縮設備は以下の機器類より構成される。

- (1) 一次濃縮槽
- (2) 生汚泥ポンプおよび送水管

一次濃縮槽容量は、流入する洗浄排水(生汚泥)の沈降性と、既設最初沈殿池の躯体寸法を考慮し、十分な汚泥濃縮性能が確保できるよう設定する。

## 【解 説】

## (1) 一次濃縮槽

## 1) 容量決定のための基本的な考え方

超高効率固液分離技術により分離された洗浄排水(生汚泥)は、汚泥濃度 0.1%程度と希薄である。これが一次濃縮槽(一般には既設の最初沈殿池躯体を利用)で重力沈殿により 0.5～1%程度まで濃縮され、さらに既設重力濃縮槽で 3%程度まで濃縮後、高効率高温消化システムへと導かれる。

ただし洗浄排水(生汚泥)の発生量は、超高効率固液分離槽の運転状況に依存(流入水質、晴天・雨天モード)するため一定ではない。そのため、一次濃縮槽容量は流入水量および水質を考慮し設計する必要がある。同様に、流入原水水質により発生する洗浄排水(生汚泥)の沈降性および濃縮性が異なる可能性があるため、それらについても事前に評価しておく。

なお、超高効率固液分離槽より発生する洗浄排水(生汚泥)は、その希薄性(濃度 0.1%程度)により、濃縮過程がほぼ自由・界面沈降に支配されている(図4-13参照)。既設躯体への一次濃縮槽設置スペース割付を行う場合は、事前評価により汚泥濃度が 0.5～1.0%となる沈降時間を設定し、これに基づき必要な面積(式4-7)を確保する。

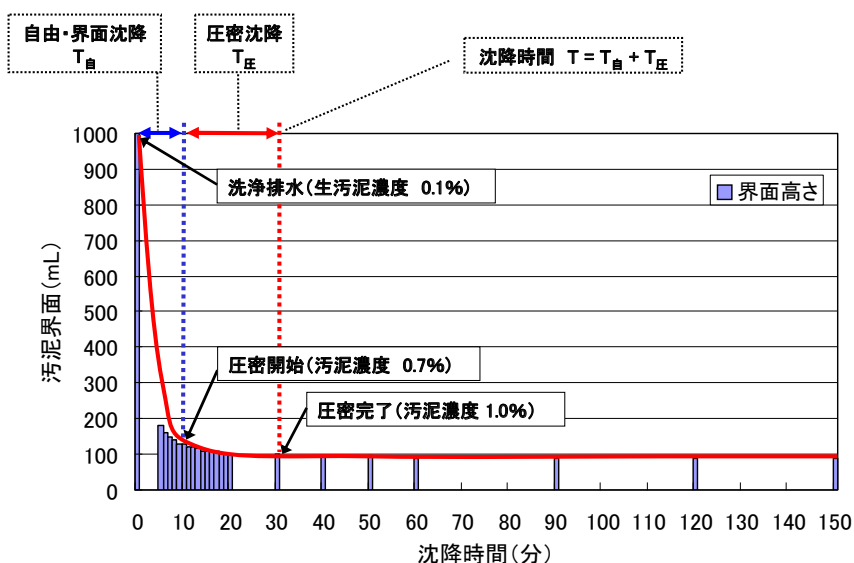


図4-13 洗浄排水(生汚泥)沈降試験結果例(1000mL メスシリンダーにて実施)



## 2) 一次濃縮槽面積の設定

一次濃縮槽では、後段水処理設備への負荷低減のためキャリーオーバー等の影響を極力低くするとともに、超高効率固液分離槽で回収した生汚泥を、効率的に上澄水と分離・沈降させる必要がある。そのため汚泥沈降速度に対し、十分な濃縮性能を確保できる面積を確保する。一次濃縮槽における洗浄排水(生汚泥)沈降イメージについて、図4-14に示す。

一次濃縮槽面積の算出はまず、一次濃縮槽を整流壁前後で生汚泥の流入域と沈降域に区別し、沈降域での水面積負荷を設定する。水面積負荷  $A(\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{日}))$  は、事前調査により得られた生汚泥の沈降時間より設定する。一次濃縮槽(沈降域)の超高効率固液分離システムへの割付面積  $S_{\text{一次濃縮槽}}(\text{m}^2)$  は、原則として設定水面積負荷  $A(\text{m}^3/\text{日})$  および、晴天時における生汚泥貯留槽からの生汚泥流入量  $Q(\text{m}^3/\text{日})$  (=洗浄排水(生汚泥)ポンプ容量) より以下の通り算出する。

$$S_{\text{一次濃縮槽}} = \frac{Q}{A} = \frac{T \times Q}{B \times 1,440} \quad \dots\dots\dots (\text{式} 4-7)$$

ここで、

|                    |   |         |                                              |
|--------------------|---|---------|----------------------------------------------|
| $S_{\text{一次濃縮槽}}$ | : | 一次濃縮槽面積 | ( $\text{m}^2$ )                             |
| $Q$                | : | 生汚泥流入量  | ( $\text{m}^3/\text{日}$ )                    |
| $A$                | : | 水面積負荷   | ( $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{日})$ ) |
| $B$                | : | 一次濃縮槽水深 | ( $\text{m}$ )                               |
| $T$                | : | 沈降時間    | (分)                                          |

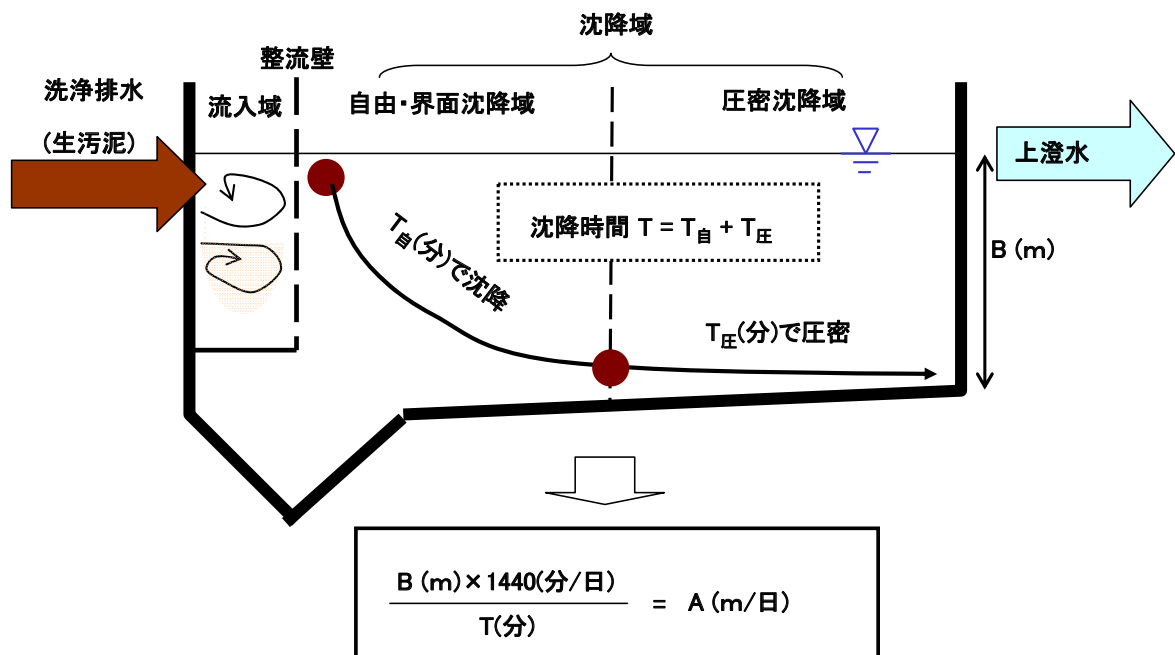


図4-14 一次濃縮槽の洗浄排水(生汚泥)沈降イメージ

ただし、水面積負荷の算出においては、①一次濃縮槽への流入生汚泥は水流方向に直角な断面に均等に分布していること、②生汚泥貯留槽から洗浄排水(生汚泥)ポンプにより圧送される生汚泥の流れは完全な押し出し流れであること、を前提としているため、一次濃縮槽割付面積決定の際は値に余裕を見込むことが望ましい。一次濃縮槽の流入域に関しては、沈降域の割付面積確保後、最初沈殿池躯体の余裕分より適切に割付する。また、沈降域での良好な汚泥沈降を促進するため整流壁を設けると共に、沈降汚泥を掻き寄せるための汚泥掻き寄せ機を設置する。

## (2) 生汚泥ポンプおよび送水管

一次濃縮槽にて濃縮される生汚泥量(1%程度)および、その引抜条件にあわせて、生汚泥ポンプ容量を設定する。

### 定常流入と間欠流入による洗浄排水(生汚泥)の沈降について

一次濃縮槽への洗浄排水(生汚泥)投入については、洗浄排水ポンプ運転方法により定常流入か間欠流入の二通りの方法が考えられる。どちらの流入方法であっても、生汚泥の沈降速度は等しく、その沈降時間も同一であることから前述の一次濃縮槽面積算出方法(式4-7)が適用可能である(図4-15, 図4-16参照)。なお, 図4-15については、定常流入における洗浄排水(生汚泥)沈降イメージを記載している。

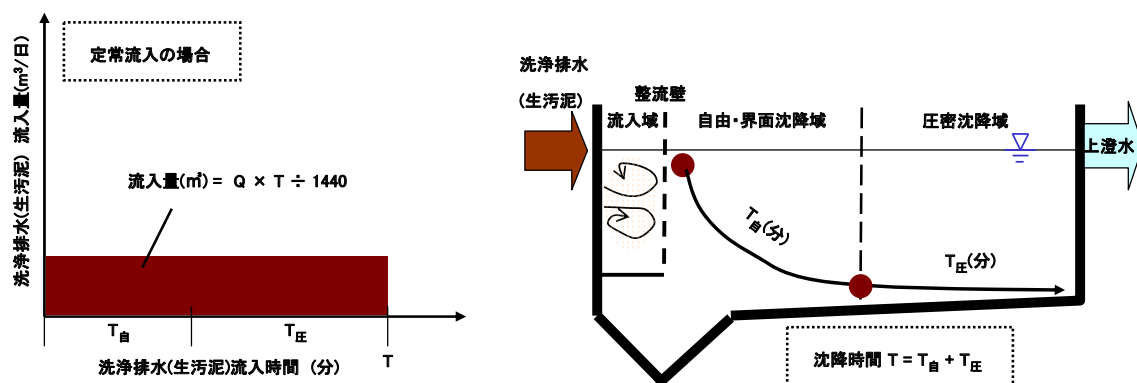


図4-15 生汚泥定常流入イメージ(左)と一次濃縮槽内沈降イメージ(右)

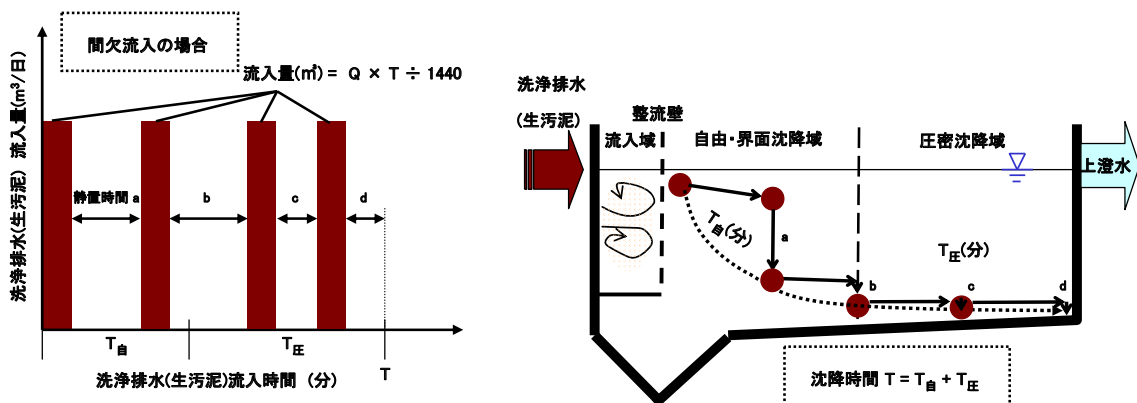


図4-16 生汚泥間欠流入イメージ(左)と一次濃縮槽内沈降イメージ(右)

#### § 40 二次濃縮設備(既設重力濃縮槽等)

二次濃縮設備は以下の機器類より構成される。

- (1) 二次濃縮槽
- (2) 生汚泥ポンプおよび送水管

#### 【解 説】

##### (1) 二次濃縮槽

一次濃縮設備で 0.5～1.0%まで濃縮された生汚泥を，二次濃縮槽で 3.0%程度まで濃縮させる。原則として，(超高効率固液分離システムを導入する)処理場が所有する既設重力濃縮槽を二次濃縮槽として活用する。ただし，既設重力濃縮槽がない場合は新設とする。その際は，設計指針に基づき設計を実施する。

##### (2) 生汚泥ポンプおよび送水管

二次濃縮槽にて濃縮される生汚泥量(3.0%程度)および，その引抜条件にあわせて，生汚泥ポンプ容量を設定する。二次濃縮槽と同様，既設設備活用を優先的に検討し，既設設備がない場合は設計指針に基づき設計を実施する。

#### § 41 既設最初沈殿池への設備割付策定

超高効率固液分離設備，生污泥貯留設備および一次濃縮設備は既設最初沈殿池の改造池数（面積）が最小となるよう，設備を構成する各水槽の割付を設定する。

##### （１）既設最初沈殿池への導入

既設最初沈殿池土木躯体を改造し，超高効率固液分離槽，生污泥貯留槽および一次濃縮槽を割付する。

##### （２）超高効率固液分離槽の槽高

槽高さは，既設最初沈殿池の有効水深に最終ろ過損失水頭分を加えた高さとする。

##### （３）形状

形状は，設置する既設最初沈殿池の形状に合わせて矩形，あるいは円形とする。

#### 【解 説】

##### （１）既設最初沈殿池への導入

本技術の最初沈殿池への割付にあたっては，超高効率固液分離槽，生污泥貯留槽，一次濃縮槽の必要な面積，容積等を式４－５～式４－７を用いて各々算出し，改造する最初沈殿池の数が最小となるように割り付ける。

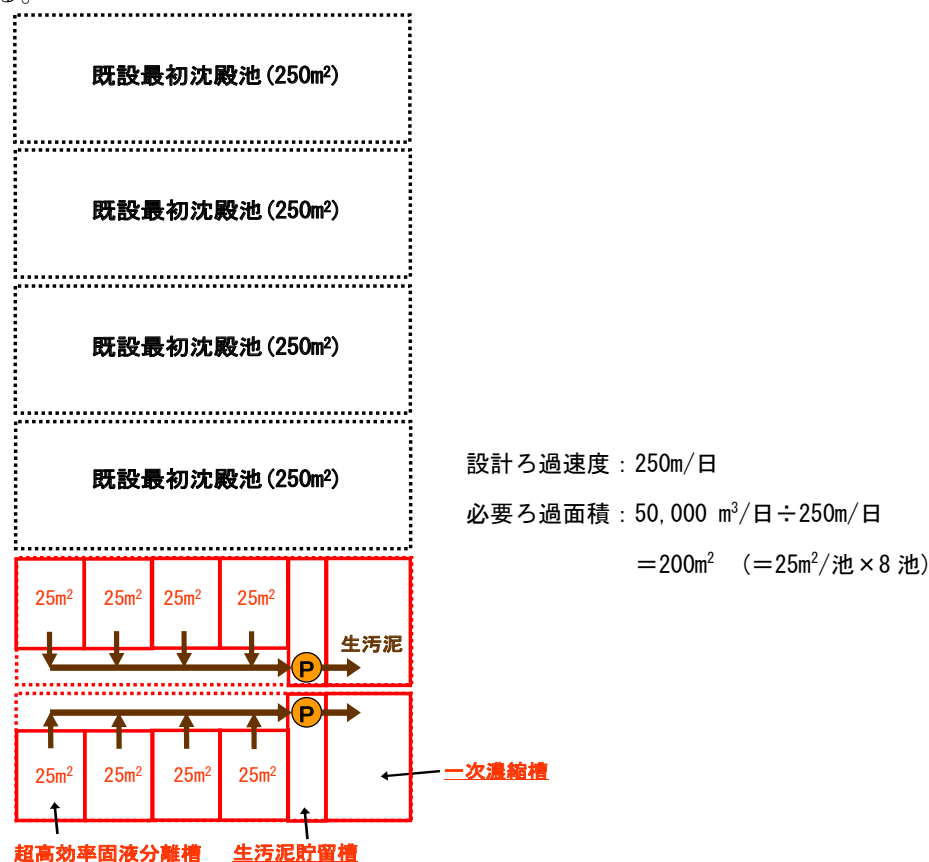


図４－１７ 既設最初沈殿池への導入イメージ (50,000m<sup>3</sup>/日の例)

## （２）超高効率固液分離槽の槽高

本技術は、既設最初沈殿池の比較的浅い土木施設を活用・改造して設置できるように開発されたろ過技術である。設置する場合、新たなスペースの確保が不要で、迅速・安価に設置することが可能である。

図４－１８に超高効率固液分離槽高さの設定を示す。

超高効率固液分離槽高さは、既設最初沈殿池の有効水深に最終ろ過損失水頭分を加えた高さとする。固液分離槽は、流入調圧部とろ過部から構成されるが、ろ過部（共通処理水層，ろ材層，下部空間層で構成）の水深を、既設最初沈殿池の有効水深に一致させる。なお，ろ材層と下部層の層厚は合わせて 1.8m を要するため，共通処理水層分を考慮すると，改造すべき最初沈殿池は少なくとも 2.8m 程度の有効水深が必要である。

流入調圧部は，最終ろ過損失水頭分（ろ材の損失水頭にその他の損失水頭を考慮し 4kPa (0.4m) を見込む)を含む高さとなるため，余裕をみてろ過部水深と比較して上方 0.6m 以上の高さとする。なお流入調圧部での最も高い水位よりも流入水路底を高くする。

したがって，有効水深 2.8～4.0m の最初沈殿池を高速ろ過池に改造すると，全槽高は 3.4～5.0m 程度となる。

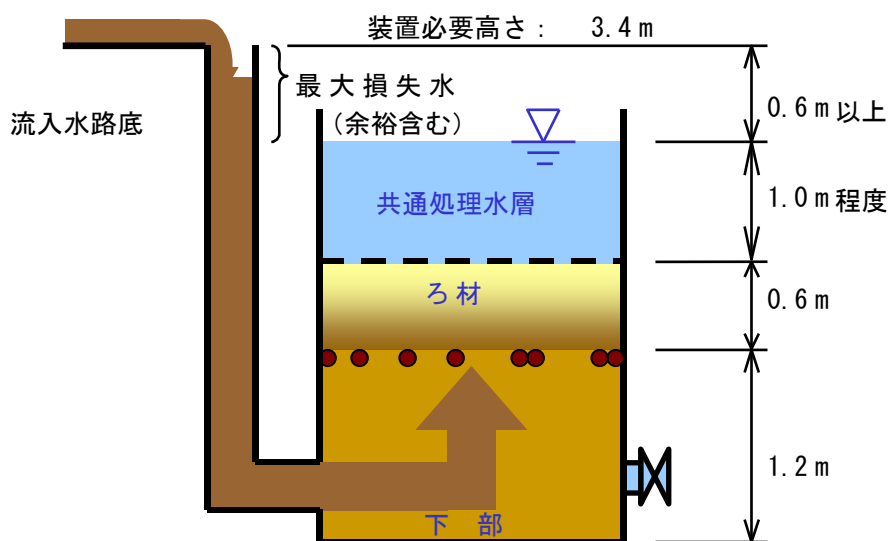


図４－１８ 超高効率固液分離槽高さ

### (3) 形状

超高効率固液分離槽は、図4-19に示すように既設最初沈殿池の形状に合わせて設置する。

2層式沈殿池については、上槽を超高効率固液分離槽に改造し、下槽を生污泥貯留槽、あるいは初期汚濁水の貯留池としての活用が考えられる。ただし下槽が非満水時の土木躯体強度等を確認しておく必要がある。

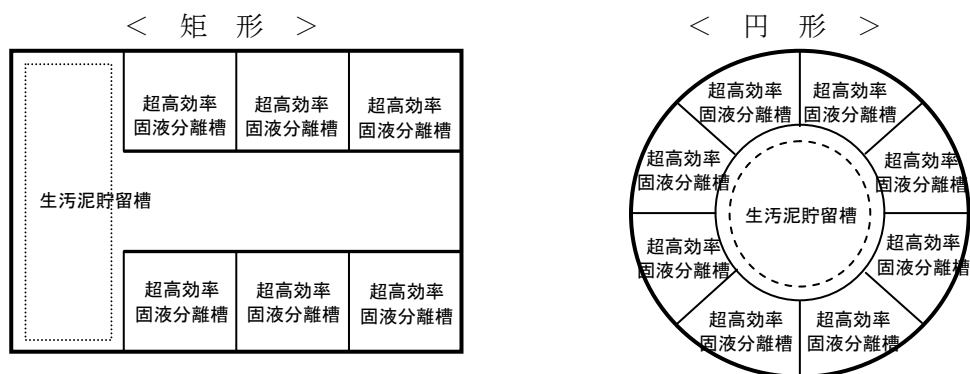


図4-19 設置する最初沈殿池の形状と超高効率固液分離槽の配置

## § 42 制御の考え方

効率的な生污泥回収を目的とし、超高効率固液分離槽での生污泥回収制御と一次濃縮槽での生污泥濃縮制御を相互連携して行う。

### 【解 説】

一次濃縮槽で生污泥を効率的に濃縮・回収するため、超高効率固液分離槽でのろ材洗浄による生污泥回収と、一次濃縮槽への生污泥投入および濃縮汚泥引抜については原水水質に応じた運転条件を設定するとともに、各々連携した制御が必要となる。

#### 1) 超高効率固液体分離槽の生污泥回収制御

ろ材洗浄間隔および洗浄時間を原水水質にあわせた制御を行い、ろ材洗浄に用いる自己ろ過水を必要最低限の量に抑え、回収生污泥濃度を極限まで高めることで後段濃縮槽での生污泥濃縮性能の向上を図る。

#### 2) 一次濃縮槽の生污泥濃縮制御

超高効率固液分離槽の洗浄は間欠的であるため、一次濃縮槽において安定した濃縮性が得られるよう運転に注意する必要がある。

生污泥貯留槽内の生污泥を一次濃縮槽に間欠的に投入する場合、沈降した一次濃縮汚泥がまき上げられ生污泥回収率低下につながる可能性があるため、運転方法は、図4-20に示すように一次濃縮槽汚泥の引抜き後に洗浄排水が流入するよう設定する。望ましくは、一次濃縮槽汚泥引抜き前に十分な汚泥沈降時間分が確保できるように、洗浄排水（生污泥）が短い間隔で一次濃縮槽に流入しないように留意する。

さらに生污泥投入時、槽内汚泥濃度が低い場合は、汚泥引抜きを実施せず、汚泥濃縮を継続するとともに、前段からの時間当たり生污泥投入量を減少させ（投入時間を延ばす）、濃縮汚泥巻き上がりを防止する等の制御を実施する。

上記運転については、一次濃縮槽に汚泥濃度計を具備させることで槽内汚泥濃度および界面レベルを検知し、槽内汚泥濃縮状況にあわせた超高効率固液分離システムの一連の制御を行う。



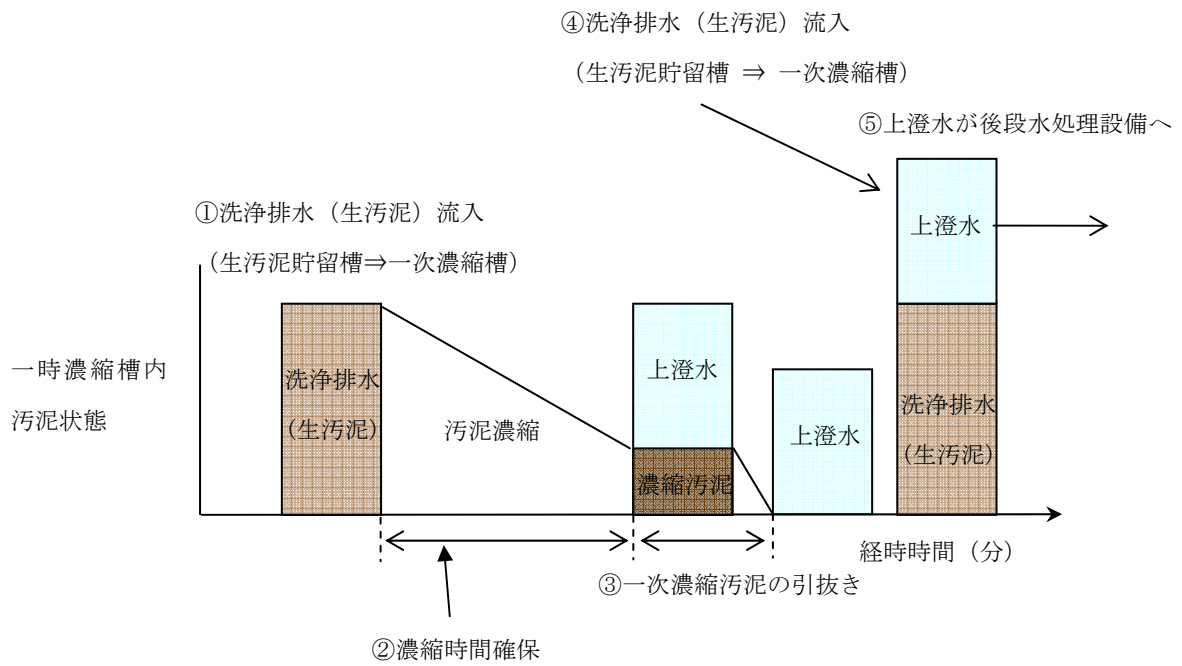


図4-20 一次濃縮汚泥の引抜きの基本的な考え方

§ 43 計装機器

超高効率固液分離システムには，レベル計，汚泥濃度計を設置する。

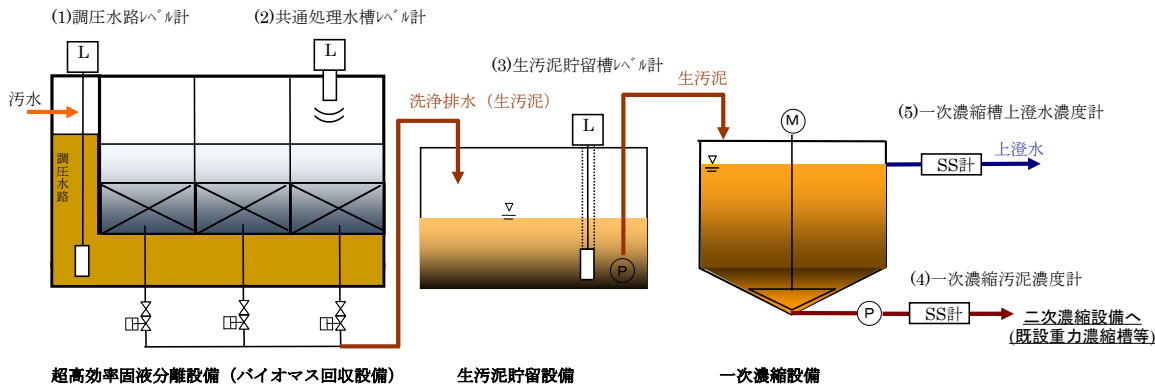
【解 説】

超高効率固液分離システムでの効率的な生汚泥回収を目的とした各設備の最適運転制御のため，超高効率固液分離設備，生汚泥貯留設備および一次濃縮設備に必要な計装機器を具備させる。

以下に計測機器の一覧，設置場所を示す。

表 4－3 計装機器一覧

| 名 称             | 目 的                                                                                 |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| (1) 調圧水路レベル計    | ろ材層の損失水頭を連続測定し，ろ材洗浄の制御に用いる。レベル計測定位置は，各超高効率固液分離槽のろ材層の下部と上部スクリーン上部の差圧を測定できるように設置する。   |
| (2) 共通処理水層レベル計  | 共通処理水層のレベルを測定し，層内の水位状態の監視とともに，ろ材洗浄の制御に用いる。                                          |
| (3) 生汚泥貯留槽レベル計  | 生汚泥貯留槽のレベルを連続測定し，槽内の水位状態の監視とともに，洗浄排水(生汚泥)ポンプの制御に用いる。                                |
| (4) 一次濃縮槽汚泥濃度計  | 一次濃縮槽での濃縮汚泥濃度を測定し，槽内汚泥濃度を測定・監視する。超高効率固液分離槽から一次濃縮槽までの生汚泥回収に係る機器一連の制御に用いる。            |
| (5) 一次濃縮槽上澄水濃度計 | 一次濃縮槽の上澄水濃度を連続測定し，槽内の汚泥濃縮状況に異常がないか監視する(濃縮汚泥キャリーオーバー監視用)。なお，実設備における常設の要否については別途検討予定。 |



#### § 44 設備の安全対策

流入原水異常や設備異常時における安全性確保を目的とし，下記事項について対策を実施する。

- (1) バイパス放流堰の設置
- (2) 完全洗浄設備の設置
- (3) 複数系列設置

#### 【解 説】

##### (1) バイパス放流堰の設置

流入原水の異常増水，超高効率固液分離設備の不具合等により，異常水位上昇が起こった場合に備え，分配堰より高い位置にバイパス放流堰を設ける。バイパス放流堰のレベルは，分配堰の流下能力を超え，水位が上昇した際に越流する水位とする。バイパスされた原水は，後段の反応槽に接続される構造とする。

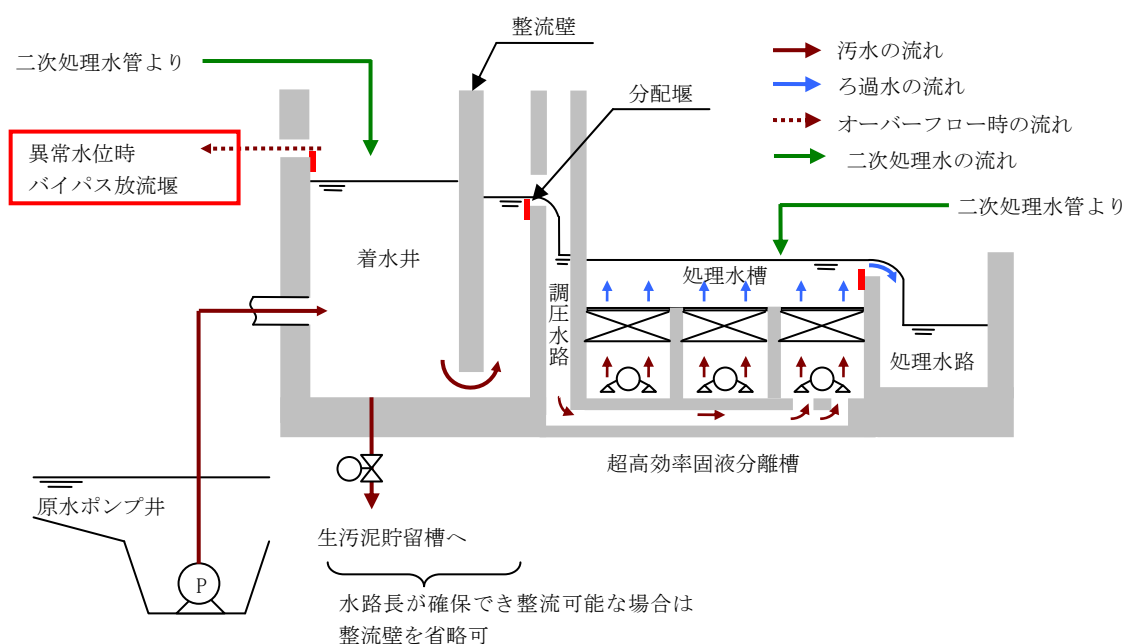


図4-22 分配槽～超高効率固液分離槽断面模式図

##### (2) 完全洗浄設備の設置

顕著な初期ろ過抵抗の上昇ならびに洗浄回数の増加が見られた場合，二次処理水を用いた完全洗浄を実施する必要がある。そのため，完全洗浄用の設備（図4-22の二次処理水の右側の緑線参照）を設置する。

##### (3) 複数系列設置

メンテナンス時に対応するため，超高効率固液分離槽は必ず複数系列設置する。

## 第4節 高効率高温消化システムの設計

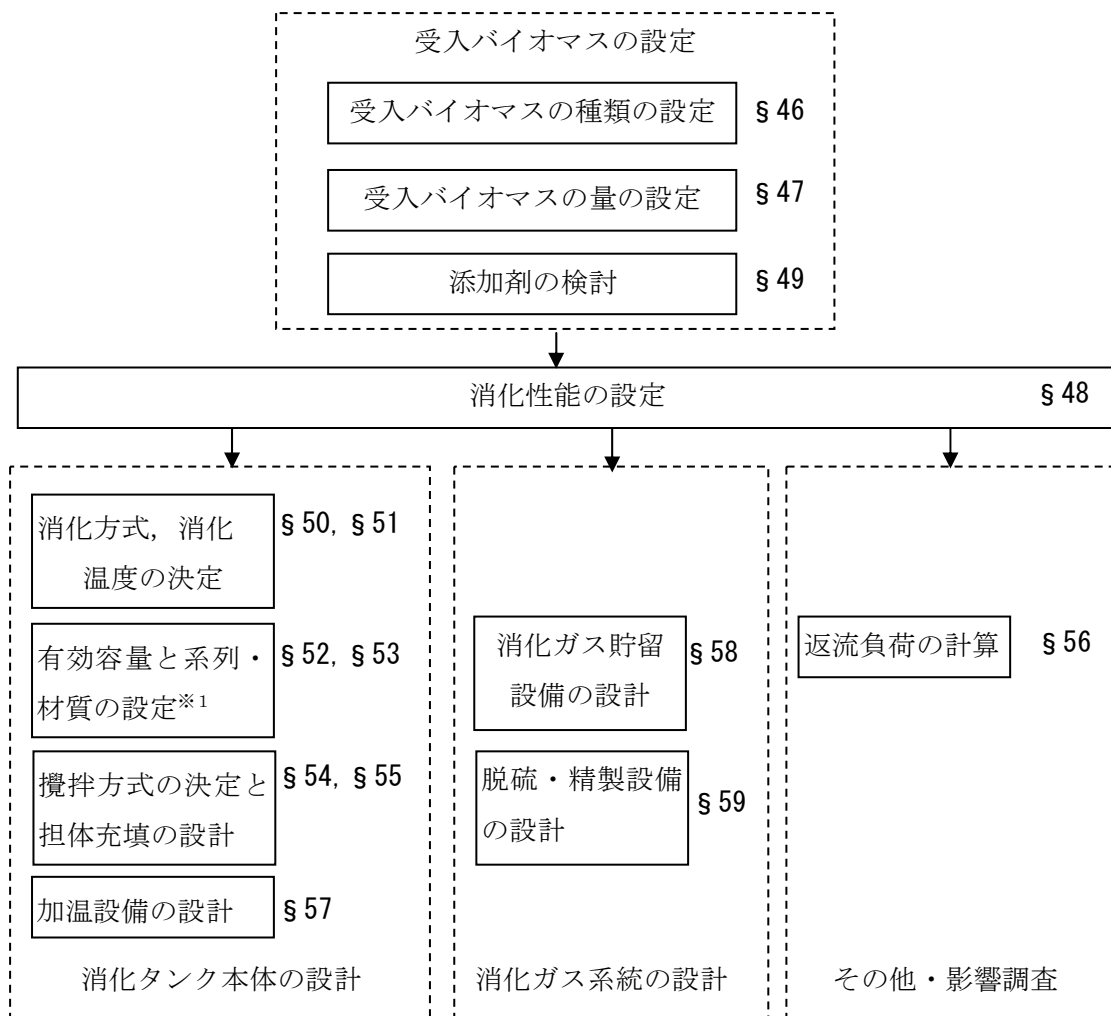
## § 45 設計手順

高効率高温消化システムの設計手順は、以下に示すとおりである。

- (1) 受入バイオマスの設定（種類、量、添加剤）
- (2) 消化性能の設定
- (3) 消化タンク本体、消化ガス系統の設計、その他・影響調査

## 【解 説】

高効率高温消化システムの設計手順は以下の通りで、受入バイオマスの種類、投入量および性状変動を事前に把握してシステム設計をすることに留意する必要がある。また、生ごみ前処理設備については、運転時間を考慮して設備容量と系列数を決定する必要がある。



※1：投入基質量は日最大を標準として消化タンク容量を決定し、消化タンクの最大容量 1,000m<sup>3</sup> を超える場合は系列数を複数系列とすることで対応する。

図4-23 高効率高温消化システムの設計手順

#### § 46 受入バイオマスの種類

高効率高温消化システムで受け入れるバイオマスは次の（１）及び（２）を原則とし、必要に応じて（３）および（４）についても検討する。

- （１）生汚泥
- （２）生ごみ
- （３）余剰汚泥
- （４）その他汚泥

#### 【解 説】

##### （１）生汚泥

高効率高温消化システムで受け入れて消化タンクに投入する生汚泥は、超高効率固液分離設備からの濃縮汚泥であるが、消化タンク容積と加温エネルギーを低減するために、濃度 3 ～ 5 % の濃縮汚泥とする。また、生汚泥のし渣（特に髪の毛）は、移送ポンプ、消化タンク等の閉塞の原因となるためスクリーン等で事前に除去することが望ましい。

##### （２）生ごみ

受入生ごみは、家庭系および事業系の生ごみ（厨芥）とし、予めプラスチック類、金属類、紙、草木類、骨、貝殻等の発酵不適物を可能な限り除去したものとする。また、生ごみの受入にあたっては、事前にその性状を調査して組成が図 4－24 の塗りつぶし範囲に入っているか確認し、範囲外の生ごみは受入れないものとする。

ここで、生ごみをバイオマスとして受け入れる場合の留意点として、受入バイオマス全体として、投入 VS 負荷が最大 10kg/m<sup>3</sup>/日、n-Hex 負荷が 1.1kg/m<sup>3</sup>/日（実証にて確認された最大の負荷）以下になるよう必要に応じて希釈を行う。

また、生ごみは 10mm 以下となるよう破碎し、生汚泥と混合した生ごみスラリー調質時の濃度は、消化タンク内での分散を考慮して 10% 以下とすることが望ましい。

炭水化物：33～56%，タンパク質：19～25%，脂質：23～47%

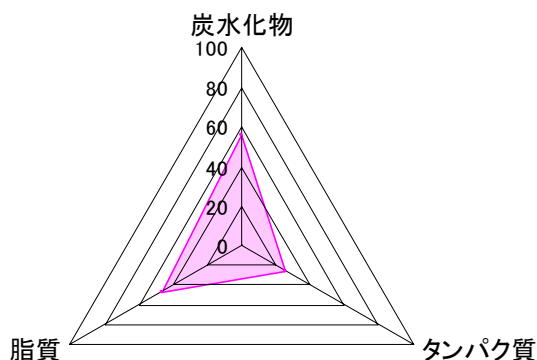


図4-24 受入生ごみの性状の要件

### (3) 余剰汚泥

余剰汚泥はタンパク質が主体で消化率が低く，ガス発生量が少ない。

ただし，汚泥の減容化等を目的とした場合には余剰汚泥を消化タンクに投入することが想定される。

余剰汚泥は濃度3～5%の濃縮汚泥とする。なお，濃縮時における過剰の高分子凝集剤添加は消化タンクでの発泡原因となるため，汚泥濃縮にあたっては必要最低限の添加率とすることが望ましい。

### (4) その他汚泥

消化タンクに投入するその他汚泥の中でも特にし尿はT-N濃度が高いため，下水汚泥への混合率が大きい場合には消化におけるアンモニア阻害に留意し， $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が2,000mg/L以下になるよう適宜混合率を下げる必要がある。また，浄化槽汚泥はBODが低く，タンパク質が主体であるため消化率が低く，ガス発生量も少ないことに留意する必要がある。

し尿および浄化槽汚泥の性状の一例を表4-4に示す。

表4-4 し尿および浄化槽汚泥の性状の一例

|       | pH  | TS     | SS     | $\text{COD}_{\text{Mn}}$ | BOD   | T-N   | Cl    | n-Hex |
|-------|-----|--------|--------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| し尿    | 8.0 | 24,600 | 17,100 | 6,360                    | 9,920 | 5,000 | 2,450 | 1,000 |
| 浄化槽汚泥 | 7.4 | 7,986  | 4,548  | 3,343                    | 2,793 | 202   | 144   | 728   |

出典：岡安ら，衛生工学シンポジウム論文集，1：273-276（1993），他

#### § 47 受入バイオマス量の設定

高効率高温消化システムの設計上の受入バイオマス量は計画日最大量とする。

#### 【解 説】

受入バイオマス量は日々変動するが、消化タンク容量は受入バイオマス量の日最大量と消化日数から算出する。

また消化ガス貯留設備などの後段の設備容量は、上記と消化ガス発生量、VS 分解率等の消化性能（§ 48 参照）より算出する。

なお、消化タンクへの投入量はできる限り平準化できるように考慮し、貯留槽容量と移送ポンプ容量を決定する。

## § 48 消化性能の設定

消化タンクに投入する基質によって消化特性が異なるので，設計，物質収支等の計算にあたってはこの点に留意する必要がある。

## 【解 説】

消化温度 55℃，水理学的滞留日数 5 日，担体充填率 5 %の消化条件における基質毎の消化特性は，表 4－5 のとおりである。

ただし，受入バイオマスの種類によっては VS 分解率，消化ガス発生量が異なることがあるので，それぞれ文献調査を行うか基礎試験を行い，消化特性を設定する必要がある。

なお，混合基質の場合の消化特性は，基質毎の消化特性と混合比率により概ね推測することが可能である。

表 4－5 基質毎の消化特性

| 基 質  | VS 分解率<br>(%) | 消化ガス発生量 (Nm <sup>3</sup> /t-VS) |          | メタン濃度<br>(%) |
|------|---------------|---------------------------------|----------|--------------|
|      |               | 投入 VS 当り                        | 分解 VS 当り |              |
| 生汚泥  | 54            | 500                             | 930      | 62           |
| 余剰汚泥 | 34            | 280                             | 800      | 62           |
| 生ごみ  | 83            | 860                             | 1, 040   | 60           |

※ 余剰汚泥は既往データによる。



## § 49 添加剤

メタン発酵の代謝経路で微量元素として微量の Ni, Co が必要となるため、投入基質の Ni, Co の含有量によっては添加剤を添加する必要がある。ただし、下水汚泥のみの消化、または下水汚泥と生ごみの混合消化においては、Ni, Co の必要量はおおむね満たしているので添加剤の添加は不要である。

## 【解 説】

高温消化においては、メタン発酵の代謝経路において微量の Ni, Co が必要となるため、投入基質にこれらの微量元素が含まれているかを事前に調査する。消化液中の濃度として下記の濃度<sup>※1</sup>以下となる場合は、第二塩化物塩としてこれらの金属を投入基質に微量添加する必要がある。

Ni :  $30 \mu\text{g/L}$ -基質, Co :  $26 \mu\text{g/L}$ -基質<sup>※1</sup>

メタン発酵で必須元素とされる鉄, ニッケル, およびコバルトは, それぞれ 20, 4 および 3 mg/kg 酢酸が必要であるとされている<sup>※2</sup>。混合汚泥の VS/TS 比を 0.86, COD/VS 比を 1.7, その分解率を 0.6 とし、菌体収率を無視すれば 1 gTS の下水汚泥から  $0.86 \times 1.7 \times 0.6 \times 60$  (g 酢酸/mol) / 64 (gCOD/mol) = 0.82 g の酢酸が生成することになるので、鉄, ニッケルおよびコバルトは, それぞれ 16, 3 および 2 mg/kgTS 程度必要となる。

図 4-25 に示すように、混合汚泥に含まれている濃度は、処理場によりばらつきが多少あるものの、必要量はおおむね満たしている。コバルトについては、やや少なめの処理場があったものの、必要量と同じ桁程度は含まれていた<sup>※3</sup>。

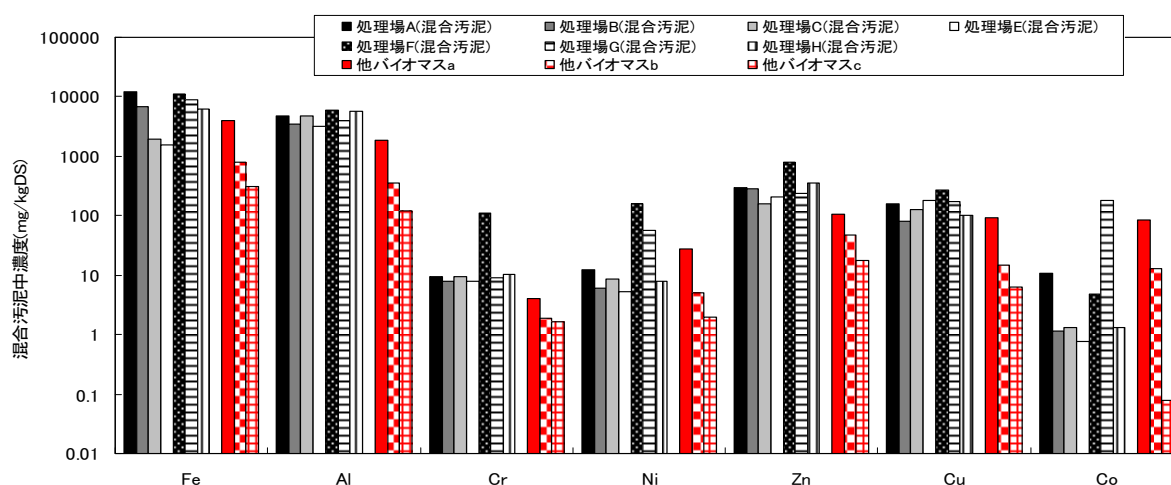


図 4-25 混合汚泥の金属元素濃度

(他バイオマス a : 模擬食品工場廃棄物, b : 模擬間伐材, c : 実証実験生ごみ)

※1 : 木田健次 (熊本大学), 「メタン発酵の代謝経路とその変換」, 環境管理, Vol. 35, No.6, p. 27-34, (1999)

※2 : Speece R. E. : 産業廃水処理のための嫌気性バイオテクノロジー, 技報堂出版, 1999.

※3 : 日高 平, 内田 勉 : 下水汚泥の性状および消化特性に関する処理場毎の比較調査, 土木学会論文集 G (環境), Vol. 68, No. 7, pp. III\_325-III\_332, 2012. より改変

## § 50 消化方式

消化方式は、汚泥消化タンクで固液分離を行わずに生物反応のみを行う一段消化とする。

## 【解 説】

消化タンクに投入するバイオマスは、生汚泥と混ぜ合わせた生ごみスラリー濃度は 10%以下、生汚泥濃度は 3～5%，機械濃縮された余剰汚泥濃度は 3～5%と高濃度になるよう設計するため、表 4－6 に示すように消化汚泥濃度は 1.0～2.5%，VTS 67～82%となり、直接脱水可能な濃度となる。従って、消化タンクで固液分離を行う必要はないため、二段消化を採用する必要はない。

また、運転管理の容易性も考慮し、消化方式は一段消化とする。

表 4－6 消化汚泥の性状の一例（実証研究成果より）

| 項 目 | 単位   | 平均値   | 最小値   | 最大値    |
|-----|------|-------|-------|--------|
| TS  | %    | 1.47  | 0.99  | 2.45   |
| VTS | %/TS | 76.9  | 66.6  | 81.9   |
| SS  | mg/L | 9,300 | 5,000 | 18,000 |
| VSS | %/SS | 74.7  | 67.8  | 81.6   |

§ 51 消化温度

消化方法は高温消化とし，55℃を目標とする。

【解 説】

消化温度は，消化処理時間が短く高速処理が可能で，消化タンク容量を小型化できる高温消化とする。燃料電池排熱等を有効に利用し，消化タンクを 55℃程度に加温して消化を促進させる。

## § 52 消化タンク有効容量

(1) 消化タンクの有効容量は、投入基質毎の水理学的滞留時間（消化日数）より定める。

$$V = Q \times T$$

V：消化タンク容量

Q：消化タンクに投入される汚泥および生ごみ量

T：消化日数

(2) 消化日数は5日を標準とする。

## 【解 説】

## (1) 消化タンクの有効容量

消化タンクの有効容量は、槽内容積から上部のガス充満容積を除いたものである。

また、1基当たりの最大容量は現地施工を考慮し、1,000m<sup>3</sup>を原則とする。

## (2) 消化日数

消化タンクの水理学的滞留時間（消化日数）は、表4-7に示すように生ごみとの混合条件で5日を原則とするが、余剰汚泥との混合汚泥を消化する場合は、分解の遅い余剰汚泥が含まれるため10日とする。

なお、定量的な分解性能、ガス発生特性については、実際に投入する汚泥や生ごみを用いて、調査実験で確かめる必要がある。

表4-7 基質毎の消化日数

| 基 質                | 消化日数    |
|--------------------|---------|
| 生ごみ＋生汚泥            | 5 日     |
| 生汚泥                | 5 日     |
| 生ごみ＋混合（生汚泥＋余剰汚泥）汚泥 | 5 ～10 日 |
| 混合（生汚泥＋余剰汚泥）汚泥     | 10 日    |

§ 53 材質

消化タンクの材質は原則として鋼製（SS400）とする。

【解 説】

消化タンク内は嫌気性雰囲気であり、かつ消化液は弱アルカリ性の液性状であるため通常腐食は進行しない。また、消化ガスに含まれる硫化水素等の腐食性ガスに対しても、鋼製タンク表面に強固な硫化鉄皮膜が形成されるため通常腐食は進行しない。しかし、空気と接触すると腐食が進行する恐れがあるため、担体交換などで消化タンクを開放する場合を考慮し、消化タンク内面には、エポキシ樹脂塗装を施す。

#### § 54 攪拌方式

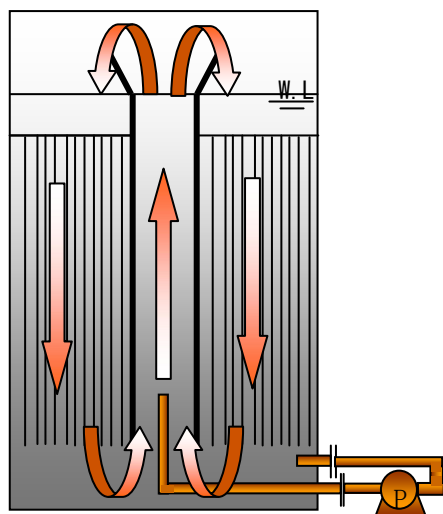
消化タンクの攪拌は、ポンプ循環方式または機械攪拌方式とする。

##### 【解 説】

本技術の実証研究ではポンプ循環方式を用いた。また、機械攪拌方式も有効な手段と考えられる。ポンプ循環方式を図4－26に、機械攪拌方式を図4－27に示す。攪拌に求められる要件は以下の通りである。

- (1) 消化タンクの攪拌は、投入汚泥と消化汚泥との混合、槽内温度の均一化、粒子に付着しているガスの分離による消化率の向上を図ると共に、槽内スカムを破碎し、槽下部への堆積を防止し、有効容量を確保するためのものである。
- (2) 生ごみおよび汚泥は、槽内で均一に拡散され、かつ消化液引抜時に短絡しない箇所へ投入する。
- (3) 消化液の排出は、堆積物を溜まりにくくするため、消化タンク下部からのポンプ排出とする。なお、ポンプの吸込口は可能な限り消化タンク中央付近とする。

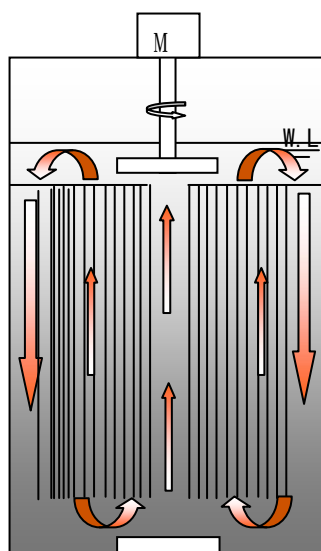
①ポンプ循環方式



- ・ 槽外に設定した汚泥循環ポンプにて汚泥をドラフトチューブ内へ供給する
- ・ ドラフトチューブ内は上向流を標準とする。
- ・ 消化液循環回数は、8～12回/日を標準とする。
- ・ 攪拌量を把握するため、循環配管には流量計を設置することが望ましい。
- ・ ポンプ流量は、槽内を均一に攪拌できる容量を選定する。

図4-26 ポンプ循環方式

②機械攪拌方式



- ・ 機械攪拌式においては、ドラフトチューブは設置しない。
- ・ 消化タンク上部に設置された攪拌機により、槽外壁に下降流を、槽内担体充填部に上向流を発生させることにより、槽内を均一に攪拌する。
- ・ 消化タンクは、攪拌機の運転重量や振動に耐えうる構造とする。
- ・ 攪拌機動力は、攪拌力を調節できるよう、インバーターモータとする。

図4-27 機械攪拌方式

## § 55 担体

消化タンクに充填する担体については、次の項目を考慮して定める。

- (1) 形状・材質
- (2) 設置方法
- (3) 充填率

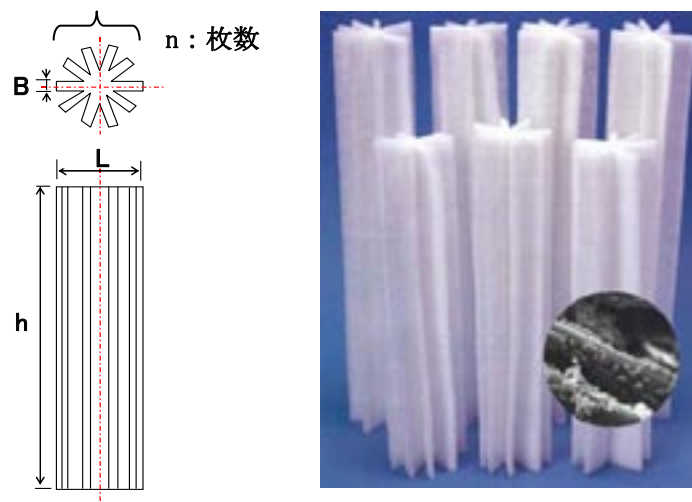
## 【解 説】

## (1) 形状・材質

担体は不織布を成形したものとし、その形状は消化液の鉛直方向の流れを妨げない円柱状の形状（図4-28に示すような菊形に成型し円柱状としたものなど）のものを選定する。また、担体を構成する不織布は消化液による加水分解を受ける恐れがあるため、加水分解に対して耐性を持つ材質を選定する。

## (2) 設置方法

担体の消化タンクへの設置については、閉塞リスク低減のため担体同士が接触しないように配置し、各担体間の消化液の流路を確保して閉塞を防止する。また、担体の流出や消化液の流れを妨げないようにするため、担体は上端および下端で消化槽内に設置した固定枠などに固定する。



$$\text{※ 担体見掛け体積 (m}^3\text{)} = B \times L \times n \times h \quad \cdots \cdots \text{(式 4-8)}$$

ここに、

B：不織布厚さ（m）

L：不織布幅（m）

n：不織布枚数（枚）

h：不織布長さ（m）

図4-28 担体模式図



### (3) 充填率

担体充填率<sup>※1</sup>は、消化タンクに投入するバイオマス量の変動幅に応じて決定するが、消化タンク内の閉塞リスクや攪拌状況を考慮して15%以下とする。

$$\text{※1: 担体充填率 (\%)} = \text{担体見掛け体積}^{\text{※}} / \text{消化タンク有効容積} \times 100 \quad \cdots (\text{式 4-9})$$

図4-29に示すように、担体の充填率が高いほど消化タンク内の菌数が多くなり、かつ担体に菌が固定化されるため、短い消化日数でも消化タンクから菌のウォッシュアウトが起こらず高負荷条件でも安定したメタン発酵を維持することが可能となる。また、担体を充填することで負荷変動に対する耐性も大きくなるが、充填率が高くなるにしたがって消化タンク内での閉塞リスクが高まることと、攪拌状態が悪くなることを考慮して担体充填率は15%以下とする。

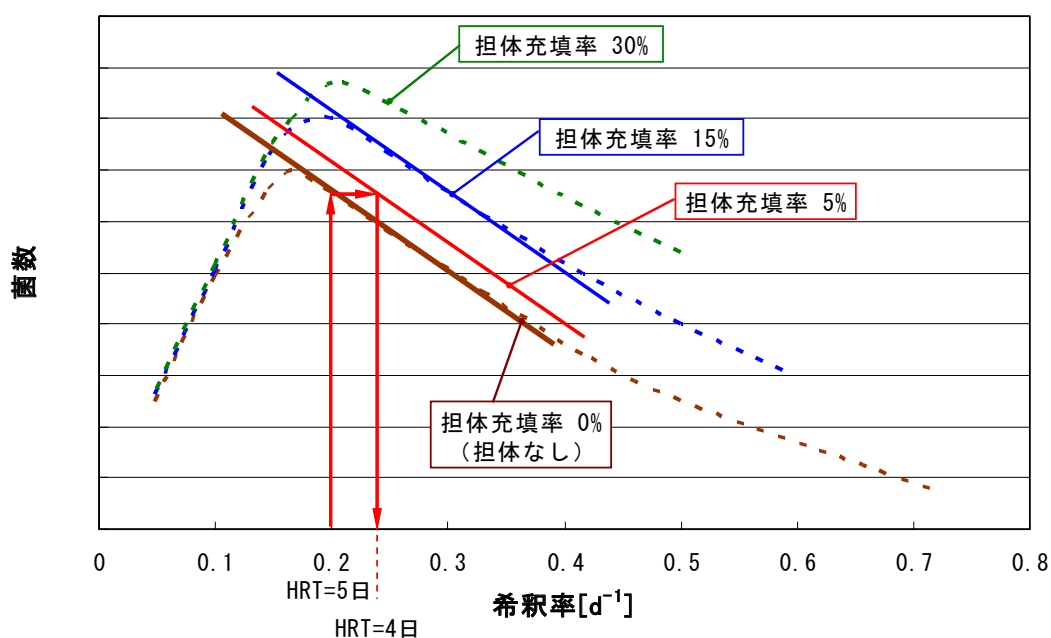


図4-29 担体充填率と菌数の関係イメージ

出典：(財)廃棄物研究財団，廃棄物処理技術開発支援事業-第11号-調査報告書「生ごみ高負荷メタン発酵・亜硝酸脱窒廃液処理技術」，2005

## § 56 逆流負荷

消化タンクに投入するバイオマスの種類によって異なるが、水処理への逆流負荷は増加または減少するので、水処理系の設計にあたってはこの点に留意する必要がある。

## 【解 説】

消化汚泥の脱水処理で発生する脱水ろ液は、通常水処理系に返送するが、消化による有機物分解により消化をしない場合に比べて逆流負荷が増減する。

本システムの基本的な方式は、生汚泥（および生ごみ）の消化としている。通常の余剰汚泥を含む混合生汚泥の消化と比較すると、窒素、りんを比較的多く含む余剰汚泥からの窒素、りんの消化汚泥への再溶解がないため、返流水中の窒素、りん濃度は低くなる。

表 4－8 脱水ろ液の返流水負荷への影響（日本下水道事業団共同研究の八代実証試験より）

|     | 消化なし          |               |              | 生汚泥のみ消化       |               |              |              | 生汚泥＋生ごみ消化     |               |              |              |
|-----|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
|     | 流入水<br>(kg/日) | 返流水<br>(kg/日) | 合計<br>(kg/日) | 流入水<br>(kg/日) | 返流水<br>(kg/日) | 合計<br>(kg/日) | 負荷増<br>加率(%) | 流入水<br>(kg/日) | 返流水<br>(kg/日) | 合計<br>(kg/日) | 負荷増<br>加率(%) |
| BOD | 3,000         | 115           | 3,115        | 3,000         | 60            | 3,060        | -1.8         | 3,000         | 175           | 3,175        | 1.9          |
| T-N | 600           | 13            | 613          | 600           | 21            | 621          | 1.3          | 600           | 49            | 649          | 5.9          |

表 4－8 に示したように、生汚泥のみを消化、消化汚泥と余剰汚泥を脱水処理した場合 BOD 負荷は 2 % 程度減少するが、T-N 負荷は  $\text{NH}_4\text{-N}$  の生成により 1 % 程度増加する。また、生汚泥＋生ごみ（TS 比 1 : 1）を消化、消化汚泥と余剰汚泥を脱水処理した場合は生ごみによる有機物、窒素の持込により、BOD 負荷は 2 %、T-N 負荷が 6 % 程度増加する。

## § 57 加温設備

加温設備の設計条件は設計指針に準拠するが、特に次の項目を考慮して定める。

- (1) 加温方式は、燃料電池排熱（温水）を利用するため、間接加温方式（熱交換器加温式）とする。
- (2) 燃料電池排熱を最大限利用するため温水回収温度は 55℃とし、燃料電池排熱（温水）で投入汚泥を予熱し、バックアップとして温水ボイラを設置する。
- (3) 引抜消化汚泥の有する熱エネルギーを利用する場合は、投入汚泥との熱交換を行うものとする。

### 【解 説】

加温設備（熱交換器の伝熱面）は、継続的な使用により、汚泥側では汚泥や油脂分が付着し、温水側では熱交換器の伝熱面にスケールが付着するため、定期的な保守点検が必要となる（§ 65 参照）。

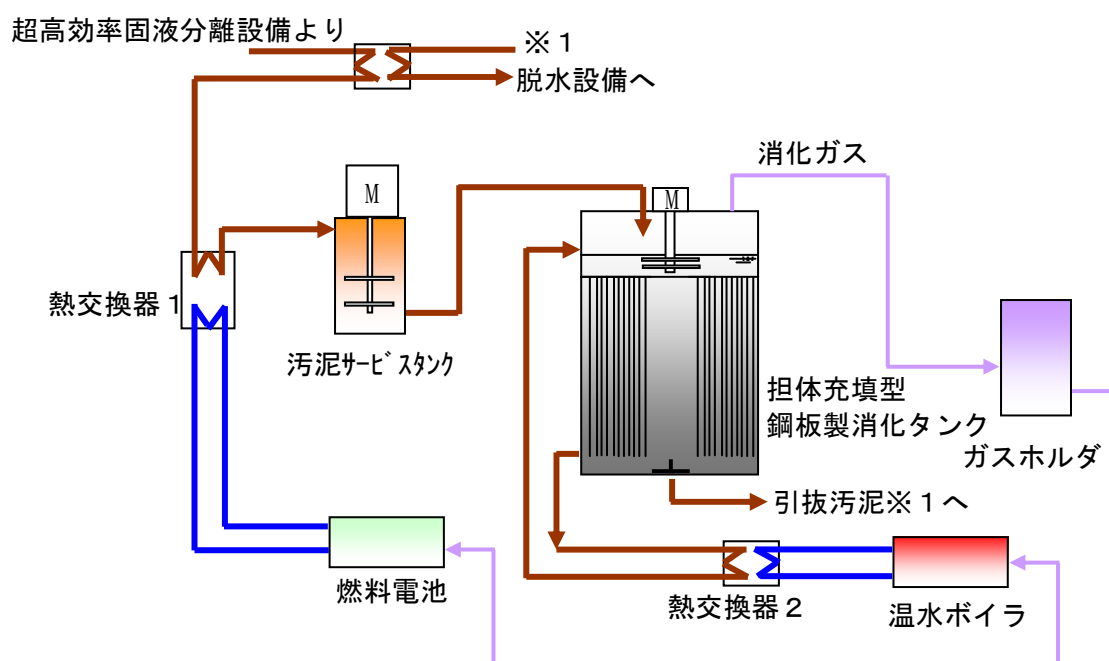


図4-30 加温設備

### ◆容量計算例

消化タンク汚泥投入量:  $Q_1$  (m<sup>3</sup>/h)

汚 泥 温 度:  $t_1$  (°C)

消化タンク投入汚泥温度:  $t_2$  (°C)

消化タンク到達汚泥温度: 55 (°C)

消化ガス発生量 :  $Q_g (\text{Nm}^3/\text{h})$

消化ガス発熱量 :  $21.6 \text{ MJ}/\text{Nm}^3$  (メタン濃度 60%時)

発電機消費ガス量 :  $Q_E (\text{Nm}^3/\text{h})$

発電機発電効率 : 40(%)

発電機排熱回収率 : 50(%) (温水 55℃)

温水ボイラ熱効率 : 0.89

#### (1) 熱収支

$$\text{消化タンク加温必要熱量 } E_0 (\text{kJ/h}) = Q_1 \times (55 - t_1) \times 4.186 \times 1000 \times 1.2 \quad (\text{放熱考慮}) \quad \dots\dots\dots (\text{式 4-10}) \quad ①$$

$$\text{発電機排熱量 } E_1 (\text{kJ/h}) = Q_E \times 21.6 \times 50/100 \quad \dots\dots\dots (\text{式 4-11}) \quad ②$$

① < ② OR ① = ②  $\Rightarrow$  温水ボイラ不要

① > ②  $\Rightarrow$  温水ボイラ必要

#### (2) 温水ボイラ必要ガス量

$$\begin{aligned} \text{温水ボイラ消費ガス量 } Q_B (\text{Nm}^3/\text{h}) &= (\text{消化タンク加温必要熱量} - \text{発電機排熱量}) / 0.89 \\ &= \{ (Q_1 \times (55 - t_1) \times 4.186 \times 1000) - (Q_E - Q_B) \times 21.6 \times 50/100 \} / 0.89 \quad \dots (\text{式 4-12}) \end{aligned}$$

よって, 
$$Q_B (\text{Nm}^3/\text{h}) = (Q_1 \times (55 - t_1) \times 4.186 \times 1000) / (0.89 - 21.6 \times 50/100) - Q_E \quad \dots\dots\dots (\text{式 4-13})$$

#### (3) 熱交換器

必要伝熱面積

$$A = \frac{Q}{(K \times \Delta T)} \quad \dots\dots\dots (\text{式 4-14})$$

$Q$  : 交換熱量 (=消化タンク加温必要熱量)

$K$  : 熱交換器の総括伝熱係数

$\Delta T$  : 対数平均温度差

$$= \frac{(\Delta t_1 - \Delta t_2)}{2.3 \log (\Delta t_1 / \Delta t_2)}$$

$\Delta t_1$  = 温水入口温度 - 出口汚泥温度

$\Delta t_2$  = 温水出口温度 - 入口汚泥温度

## § 58 消化ガス貯留設備

消化ガス貯留設備は、次の項目を考慮して定める。

### (1) 形式

貯留容量に応じて、「乾式低圧鋼板製」、「乾式中圧鋼板製」あるいは「ダブルメンブレン式」から最適なものを選定する。

### (2) 貯留容量

ガスホルダは、発消化ガス量の12時間分のガスを貯留できる容量とする。

なお、燃料電池を非常用発電機として利用する場合は、電力復旧まで下水処理場の最低限機能維持のための揚水、消毒等に要する電力供給が可能となる貯留容量を確保する。

## 【解 説】

### (1) 形式

耐候性、耐風性、耐震性に対しても安全性を十分考慮したものとする。また、その構造はガス事業法に基づく「ガス工作物の技術上の基準の細目を定める省令」および「同細目を定める告示」によるものとする。

### (2) 貯留容量

燃料電池は、30%部分負荷まで出力調整が可能で、部分負荷においても高い発電効率が維持できるため、災害復旧までの非常時対応として、原水ポンプ、消毒設備、照明設備等の電源供給が可能となる。

燃料電池を非常用発電機として利用する場合、ガスホルダは下水処理場の最低限機能維持に必要な電力を電力復旧まで供給可能な消化ガス量を貯留できるものとし、復旧時間としては24時間程度見込むことが望ましい。なお、電力が想定復旧時間経過後も復旧しない場合は、既存の非常用発電設備を稼働させる。

また、燃料電池は都市ガスでの発電も可能で、都市ガスは災害に強いいため、都市ガスを燃料として利用できる場合は、都市ガスの被災がない限り発電を継続することができる。

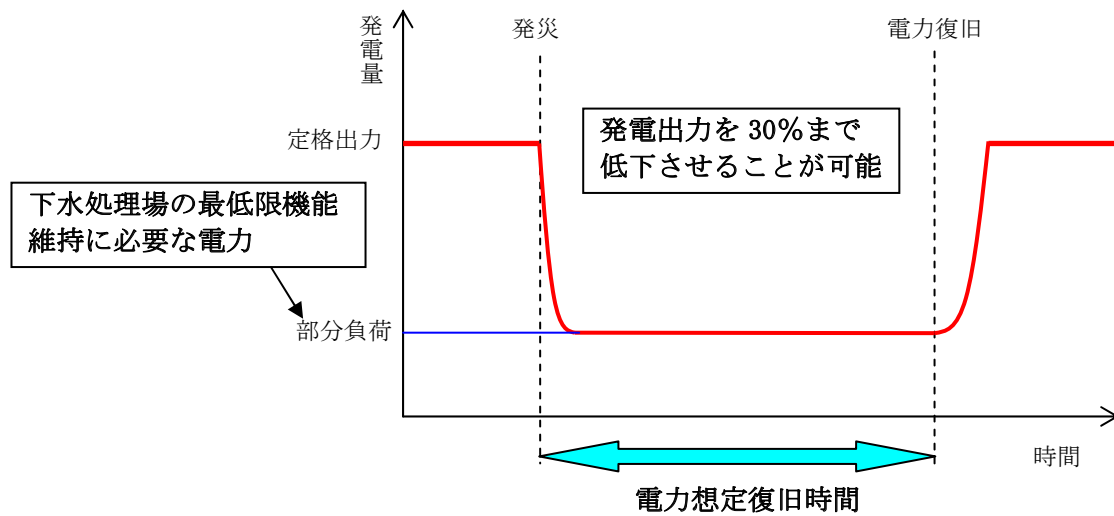


図4-3-1 震災時の都市ガス復旧までの燃料電池稼働イメージ

消化ガス貯留設備の設計例（燃料電池を非常電源として利用）を以下に示す。

ガスホルダ貯留容量： $Q(\text{m}^3)$

消化ガス発生量： $Q_g(\text{m}^3/\text{h})$

発電機消費ガス量： $Q_E(\text{m}^3/\text{h})$  ※非常時部分負荷

発電機発電効率：40(%)

消化ガス発熱量： $21.5\text{MJ}/\text{m}^3$ （メタン濃度60%時）

非常時必要出力： $K(\text{kWh})$

電力想定復旧時間：24(h)

(通常運転時)

$$Q_1 = Q_g(\text{m}^3/\text{h}) \times 12(\text{h}) \quad \dots\dots\dots (\text{式4-15})$$

(非常時)

$$Q_E = K \div (21.5 \times 40/100 \times 1/3.6) (\text{m}^3/\text{h}) \quad \dots\dots\dots (\text{式4-16})$$

$$Q_2 = Q_E (\text{m}^3/\text{h}) \times 24(\text{h}) \quad \dots\dots\dots (\text{式4-17})$$

以上より，消化ガス貯留容量  $Q(\text{m}^3)$  は，

$$Q_1 > Q_2 \text{ の場合 } Q = Q_1(\text{m}^3)$$

$$Q_1 < Q_2 \text{ の場合 } Q = Q_2(\text{m}^3)$$

§ 59 脱硫・精製設備

- (1) 脱硫・精製設備は、脱硫装置とシロキサン除去装置から構成され、脱硫装置はガスホルダ前段に、シロキサン除去装置は発電設備前段に設置する。
- (2) 脱硫装置、シロキサン除去装置は乾式充填塔とし、設置台数は原則として2塔式とする。

【解 説】

脱硫装置とシロキサン除去装置設計の留意点を以下に示す。

- (1) 脱硫装置は、硫化水素による部材の腐食を防止するため、ガスホルダ前段に設置し、消化ガス中の硫化水素を 10ppm 程度以下にする。
- (2) シロキサン除去装置は、燃焼時のシロキサン由来のシリカ生成によるトラブルを防止するため、発電設備の前段に設置し、発電設備の許容濃度まで除去する。
- (3) 脱硫装置・シロキサン除去装置は、発電設備を停止することなく、脱硫剤、シロキサン除去剤が交換可能となるよう2塔式とする。
- (4) 脱硫剤の寿命が90日以上、シロキサン除去剤の寿命が半年以上となるように装置容量を決定する。但し、消化ガス中の硫化水素濃度、シロキサン濃度により、装置容量が過大となる場合は、寿命を見直すものとする。
- (5) 消化ガス中の硫化水素濃度、シロキサン濃度については、過剰設計とならないように、事前に分析を行い把握することが望ましい。
- (6) 脱硫剤・シロキサン除去剤の交換作業が容易にできるように、機器配置、点検架台等配慮する。

## 第5節 スマート発電システムの設計

## § 60 プラント運転最適化制御システムの設計手順

スマート発電システムにおけるプラント運転最適化制御システムの設計手順は、2つの段階から成る。

## (1) システム構築

システム構築は主にシステムメーカ／コンサルタントが実施する事項

## (2) システム運用

システム運用は主に運用者が実施する事項

## 【解 説】

プラント運転最適化制御システム設計手順フローを図4-32、その解説を表4-9に示す。

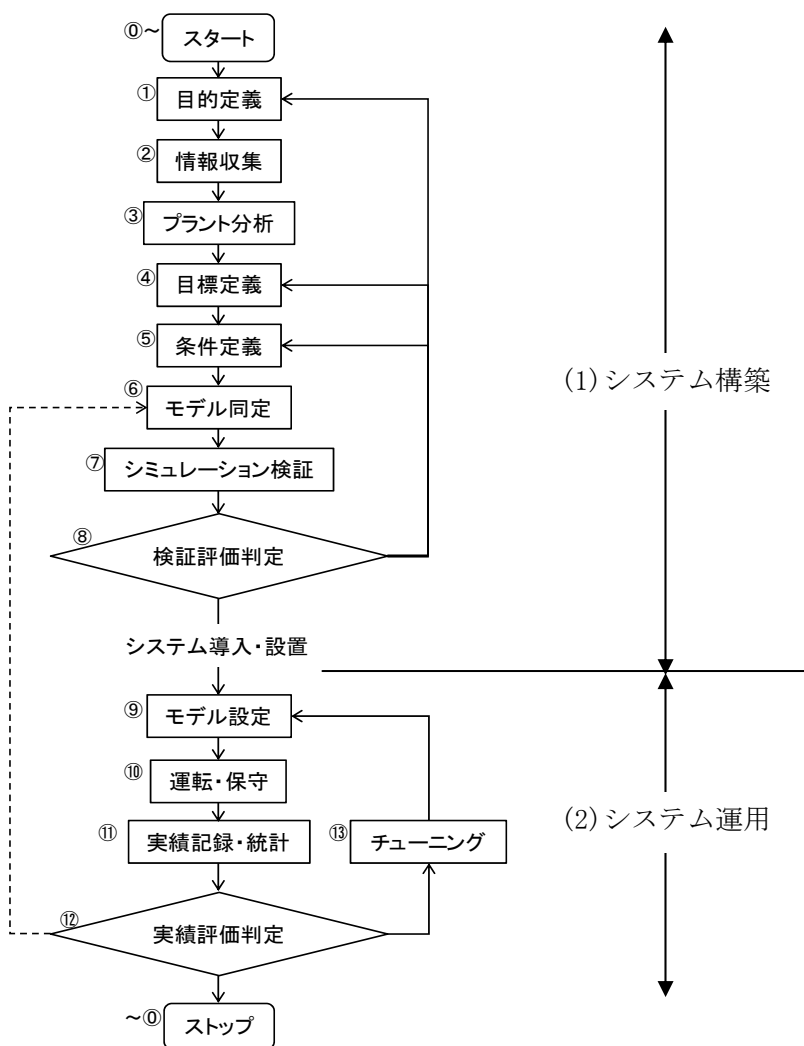


図4-32 システム導入フロー



表4-9 システム導入フロー解説

|                         |             |                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ①スタート～ストップ<br>(システムの全容) |             | 本制御システムの機能は、図4-33機能構成図に示すように、a. デマンド制御機能、b. 多変量解析機能、c. モデル予測機能、d. 最適化制御機能、および、e. 監視制御システムとのインタフェース機能で構成され、必要に応じた個別機能選択、カスタマイズおよびその他機能追加が可能である。                                                                                                             |
| (1) システム構築              | ①目的定義       | 省エネルギー、創エネルギーおよび蓄エネルギーという概略的な目的、並びに、デマンドピークカット(負荷平準化)、エネルギーバランス(供給予備力確保)、運転効率、運転コスト、CO <sub>2</sub> 発生量およびその他の定義の具体的な制御目的について定義する。                                                                                                                         |
|                         | ②情報収集       | プラントを構成する設備や機器類の詳細情報および稼働実績情報を収集する。具体的に、設備・機器類の詳細情報の内訳としては、個別機器仕様、プラント全体の接続図もしくはフロー図、順番や間隔などの起動および停止の制約条件、運転時間などの運転制約条件、他設備や機器類との関連条件など起動・停止と調整制御に影響する情報である。また、稼働実績としては、機器もしくは設備毎の1分値のトレンドデータ、計測・測定データ、日報・月報などの運転実績、並びに、デマンド制御および予測・最適化制御で必要になる追加の計測情報である。 |
|                         | ③プラント分析     | 相関解析、主成分分析などの多変量解析、ニューラルネットワークによる非線形的な動向分析、重回帰による線形的な動向分析、クラスタリングによるパターン化された動向分析とする。なお、これらの分析作業は、その結果をもってモデルが生成される重要な作業である。                                                                                                                                |
|                         | ④目標定義       | 「目的定義」で定義した項目毎の制御目標値と、以下のシステム演算処理の目標値を定義する。デマンド制御では、ピークカットの目標値として電力会社との契約電力および日々のピーク値を設定する。モデル予測では、予測結果と実績値との偏差(誤差率)とする。最適化制御では、算出した制御量と制御後の状態との偏差(達成度)とする。                                                                                                |
|                         | ⑤条件定義       | 監視・制御対象となる設備や機器類の運転(起動停止、稼働)条件を定義する。                                                                                                                                                                                                                       |
|                         | ⑥モデル同定      | デマンド制御テーブル、予測モデルおよび最適化評価関数を生成する。デマンド制御テーブルでは制御対象設備の定義、予測モデルでは入出力の定義、最適化評価関数では目的関数と罰関数(運転条件)の定義がポイントである。                                                                                                                                                    |
|                         | ⑦シミュレーション検証 | プラントの運転実績データを用いて、「モデル同定」により生成したモデルの動きをシミュレーションする。なお、シミュレーションは、机上もしくはシステムを活用し、デマンド制御、モデル予測および最適化についてとする。                                                                                                                                                    |
|                         | ⑧検証評価判定     | 「シミュレーション検証」の結果を評価する。評価基準は、実績値との偏差もしくは誤差率とし、モデル毎に規定した保証性能値とする。なお、判定「否」の場合は、「目的設定」のミス、「目標設定」の誤差もしくは「条件設定」の過不足を判定する。                                                                                                                                         |
| (2) システム運用              | ⑨モデル設定      | 「モデル同定」により生成、評価判定「良」のモデルを、現地のシステムに設定する。なお、設定作業は、システムへのデマンドテーブルの設定、予測モデルの設定および最適化評価関数の設定である。                                                                                                                                                                |
|                         | ⑩運転・保守      | システムの稼働後は、「自動モード」もしくは「手動モード」の選択によりシステムを運用する。保守については、監視制御システムの保守に合わせハード、ソフトについて実施する。なお、プラントの運用と連携した運転・保守およびシステムの取り扱いに関するマニュアルを準備する。                                                                                                                         |
|                         | ⑪実績記録・統計    | 1分値のトレンドデータ、計測・測定データ、日報・月報などの運転実績を記録し、プラントの運転パターンについて統計を取り、プラントの現状を把握する。なお、記録・統計データは、欠測やノイズなどの不具合データを除外し、モデル修正に活用される。                                                                                                                                      |
|                         | ⑫実績評価判定     | 制御実行後の実績と目標値との偏差もしくは誤差率を「達成度」として評価し、規定値内にあることを判定する。なお、判定「否」の場合は、「モデルチューニング」もしくはモデルの再生成を判定する。                                                                                                                                                               |
|                         | ⑬チューニング     | モデルの軽微な変更で、デマンドテーブルの設定、予測モデルのパラメータもしくは最適化モデルの重み付け係数の設定などについて補正・改良し、予測・最適化処理結果を改善することである。なお、設備データベースなどのテーブル構造の変更、予測モデルの構成変更、評価関数の変更の場合は、「モデル同定」作業から実施する必要がある。                                                                                               |

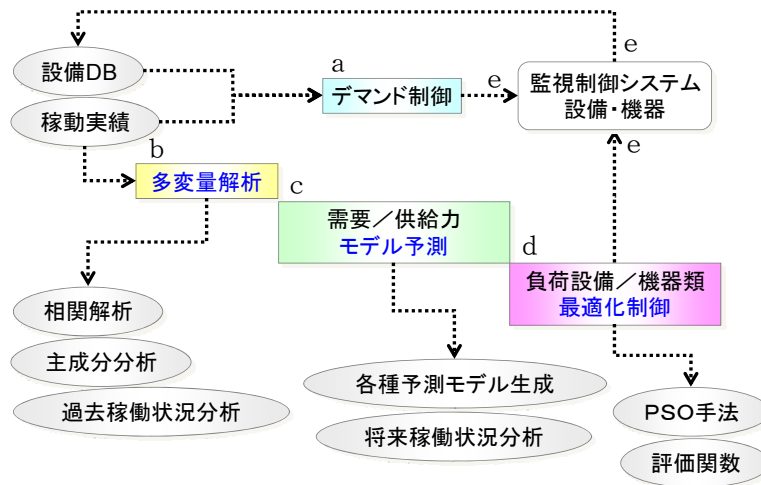


図4-33 プラント運転最適化制御システム機能構成図

### § 61 燃料電池の設計手順

スマート発電システムにおけるハイブリッド型燃料電池システムの設計手順は、6つの段階からなる。

- (1) 導入可能性の検討
- (2) 設置場所の選定
- (3) 運転形態・発電容量の試算
- (4) システムの選定と設計
- (5) 経済性評価
- (6) 導入手続き

#### 【解 説】

燃料電池の導入に関しては、「事業用燃料電池発電システム導入検討の手引き」（財団法人・新エネルギー財団）に準ずるものとする。

設計手順は、以下の表4-10のとおり区分される。

表4-10 ハイブリッド型燃料電池の設計手順

|                  | 主に下水道事業者側の実施事項 | 主にメーカーの実施事項 |
|------------------|----------------|-------------|
| (1) 導入可能性の検討     | ○              |             |
| (2) 設置場所の選定      | ○              | ○           |
| (3) 運転形態・発電容量の試算 | ○              | ○           |
| (4) システムの選定と設計   |                | ○           |
| (5) 経済性評価        | ○              | ○           |
| (6) 導入手続き        | ○              |             |

#### (1) 導入可能性の検討

次の項目について、季節ごとに調査する。

##### 1) 導入先の電力需要調査

ベース負荷運転をするためには十分な電力需要が必要である。

##### 2) 導入先の熱需要調査

燃料電池からの排熱を有効利用するため、熱需要を把握する。

#### (2) 設置場所の選定

設置場所には屋内・外を問わず、周囲に1～2mのメンテナンススペースと搬入や点検のための通路や搬入路・搬入口の確保が必要になる。

騒音・振動が少ないため特殊な環境に設置する必要はないが、給排気の設備、電気・ガス・水道・熱利用等のユーティリティや引き込みを考慮する必要がある。

### (3) 運転形態・発電容量の試算

#### 1) 原燃料の性状調査

燃料ガスの性状と成分を把握し、悪影響を取り除く前処理を考慮する。

#### 2) 運転形態と発電出力設定

##### ①系統連系

燃料電池の有効利用のため、商用系統と連系する。ただし、電力の逆潮流有り無し、事故時の保護協調など電力会社との協議が必要である。

##### ②発電出力の設定

電力需要と熱需要から、出来るだけエネルギーを有効利用できるように燃料電池の発電出力を調整する。ベース負荷に合わせて発電量を設定するのが一般的である。

#### 3) 発電容量の試算

##### ①消化ガス中の成分濃度より、消化ガス発熱量を求める。

| 成分名   | 割合 (%) | 燃焼熱 LHV (kJ/mol)          |
|-------|--------|---------------------------|
| メタンガス | y      | 802.9                     |
| 炭酸ガス  | 100-y  | 0                         |
| 合 計   | 100    | $802.9 \times y \div 100$ |

$$A = 802.9 \times y \div 100 \text{ (kJ/mol)} \times 1000 \text{ (L/m}^3\text{)} \div 22.414 \text{ (NL/mol)}$$

ここで、

$$A : \text{消化ガス発熱量 LHV (MJ/Nm}^3\text{)}$$

##### ②燃料電池 1 台当たりの定格仕様から消化ガス消費量を求める。

|           |       |
|-----------|-------|
| 定格出力(発電端) | 105kW |
| 発電効率      | 40%   |

定格出力時の消化ガス消費量 B は、

$$B = p \times q \div \alpha_1 \div A$$

ここで、

$$B : \text{消化ガス消費量 (Nm}^3\text{/h)}$$

$$p : \text{定格出力 (発電端) (kW)}$$

$$q : 3.6 \text{ (MJ/kWh)}$$

$$\alpha_1 : \text{発電効率 (\%)}$$

③設置可能台数を求める

$$Z = Q \div B \times 24$$

ここで、

Z : 設置可能台数 (台)

Q : 消化ガス発生量 (Nm<sup>3</sup>/日)

(4) システムの選定と設計

1) 電力システム

待機や起動のための電源確保と電力供給のためのシステム設計を行う。

2) 排熱利用システム

排熱利用のシステム設計と、それに伴う動力と制御の設計を行う。

3) 計装・警報システム

監視制御、保守管理のための警報や計測システムの設計を行う。

(5) 経済性評価

導入による経済性の効果検討を行い、電力と熱の供給方法の検討にフィードバックする。

1) ランニングコスト

発電効率が 40%LHV (36%HHV) 以上確保できるため、kWh あたりの燃料費が低く抑えられる。

消化ガスの供給コストは生成のための設備建設・維持コストとし、また、ハイブリッド燃料としての都市ガスはガス会社からの供給価格とする。

2) 契約電力量削減

発電力と発電電力量から、契約の基本料金と買電の電気料金が低減できる。

3) 排熱利用の利益

低温ではあるが、排熱が利用できる。

4) 環境負荷クレジット

エネルギー課税やグリーン電力認証システムの活用が適用されれば経済性も向上する。

(6) 導入手続き

導入の手続きを図4-34に示す。

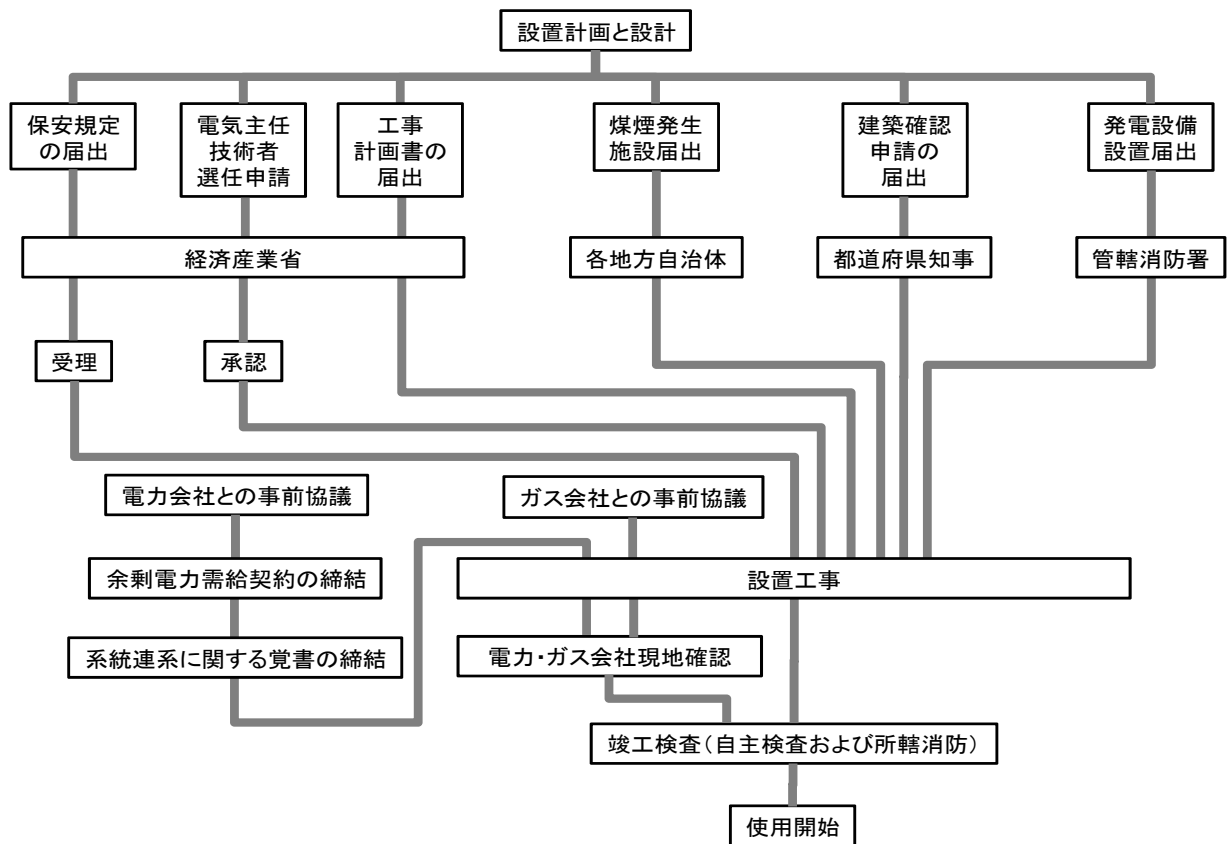


図4-34 導入の手続き