

第4章 その他の処理技術・システム

| | | |
|-------|--------------------|-----|
| 4.1 | 高度処理技術・システム | 401 |
| 4.1.1 | 技術の移り変わりと処理方式別高度処理 | 401 |
| 4.1.2 | 高度処理適用技術の概要 | 404 |
| 4.1.3 | 消毒処理 | 416 |
| 4.2 | 汚泥等処理技術・システム | 418 |
| 4.2.1 | 技術・システムの移り変わり | 418 |
| 4.2.2 | 汚泥濃縮設備 | 420 |
| 4.2.3 | 汚泥脱水設備 | 429 |
| 4.2.4 | 焼却設備 | 445 |
| 4.3 | 資源化技術・システム | 456 |
| 4.3.1 | 汚泥再生処理センター | 456 |
| 4.3.2 | 資源化技術の概要および特徴 | 465 |
| 4.4 | 脱臭技術・システム | 505 |
| 4.4.1 | 臭気除去（防臭・脱臭） | 505 |
| 4.4.2 | 脱臭装置 | 511 |

4.1 高度処理技術・システム

4.1.1 技術の移り変わりと処理方式別高度処理

(1) 技術背景・変遷の概要

1960年代（昭和30年代後半）までのし尿処理は、し尿等を嫌気消化処理方式の他、化学処理方式、好気性処理方式（酸化処理方式）等で処理し、処理水を公共用水域へ放流していた。この時の放流水質は、1954（昭和29）年発令の清掃法施行規則において、20倍の希釈水を使用した状態で、原則的にBOD 30 mg/L以下、SS 70 mg/L以下、大腸菌群数 3,000 個/mL以下と定められていた。

1960年代半ば（昭和40年代初頭）以降、高度成長に伴い、工場排水、生活排水等による公共用水域の汚濁が進行し、河川の水質が非常に悪化し、東京湾、瀬戸内海などの閉鎖性水域では富栄養化による赤潮の発生等の公害問題が発生するようになった。

このような背景から国では公害対策の整備が進められ、1967（昭和42）年8月に「公害対策基本法」が公布・施行された後、大気汚染防止法、水質汚濁防止法等、大気、水質に係る法律が次々と公布・施行された。

従来の清掃法も1970（昭和45）年12月に改正され「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」として公布された。本法において放流水質はし尿処理施設の技術上の基準としてBOD 30 mg/L以下、SS 70 mg/L以下、大腸菌群数 3,000 個/mL以下が規定された。1992（平成4）年の同法改正で、し尿処理に係る技術の進展に対応し、BODは20 mg/L以下と強化された。

法整備の進行に併せ、凝集分離法によるCOD、リンの除去技術とオゾンによるCOD、色度の除去技術の開発が進められ、1972（昭和47）年頃から一部の施設で採用され始めた。

1970年代（昭和40年代後半）に入り、赤潮被害による水産資源のへい死や訴訟等が起こったこともあり、排水中の窒素、リンの環境汚染に対する世間の認識が高まった。そこで、1978（昭和53）年に「瀬戸内海保全特別措置法」が改正（時限法から恒久法へ）され、窒素、リン、CODの規制を目標とする水質総量規制等が導入された。

この頃には地方自治体により上乘せ基準が制定されたり、近隣住民の処理水質に対する要求が厳しくなり、施設を新設あるいは更新する場合、高度処理設備を設置する施設が多くなった。その一例として、1975（昭和50）年には霞ヶ浦の富栄養化防止のため、茨城県湖北環境衛生組合で嫌気性消化処理＋活性汚泥処理に、凝集分離、砂ろ過、活性炭吸着処理のフルスペック高度処理設備が稼働した。

また、1973（昭和48）年の第一次オイルショックを契機にし尿処理施設に関しても省エネ、希釈水低減、コンパクト化が求められるようになり、後の高負荷処理の開発につながり、それに伴って高度処理も姿を変えていった。

し尿処理施設に関連する事項として、1966（昭和 41）年 8 月に「し尿処理の施設基準並びに維持管理基準」により技術上の基準が定められた。後に公害防止・環境保全対策の強化の見地から見直しされ、1977（昭和 52）年 6 月「し尿処理施設構造指針」として改訂・通知された。

1970 年代（昭和 40 年代後半）以降、COD 総量規制に対応するための技術として凝集分離設備が、窒素除去技術として低希釈二段活性汚泥法（現標準脱窒素処理法）が 1979（昭和 54）年に構造指針に追加された。

現在は、し尿処理施設の標準的な処理性能を表す放流水基準として以下の数値（日間平均値）が「廃棄物処理施設整備国庫補助事業に係る汚泥再生処理センター等の性能に関する指針について」（以下、「性能指針」）に記載されている。

BOD 10 mg/L 以下、SS 20 mg/L 以下、COD 35 mg/L 以下

T-N 20 mg/L 以下、T-P 1 mg/L 以下

この高度な水質を達成するために高度処理としてオゾン酸化処理設備、砂ろ過設備、活性炭吸着処理設備が整備されるようになり、処理方式と要求水質のレベルに応じて適用設備が選定されるようになった。

（2）処理方式別高度処理の概要

生物学的脱窒素処理設備（以下、「主処理設備」）がし尿等を河川等の公共用水域に放流できる水質（廃棄物処理法の基準値 BOD 20 mg/L 以下、SS 70 mg/L 以下）を達成するための設備であるのに対し、高度処理設備は上記以上の水質を達成するために設けられる。施設によっては条例等あるいは施設毎に設定したより厳しい上乘せ基準を達成するために、適切な構成の設備が処理方式と要求水質によって選定される。標準的な高度処理フローを以下に示す。

（a）標準脱窒素処理方式における高度処理

標準脱窒素処理方式における高度処理の概念図を図 4.1-1 に示す。本処理方式においては、凝集分離処理以降が高度処理として分類される。このシステムは凝集分離により COD、SS、T-P、色度等を除去した後、さらにオゾン酸化で COD と色度を、砂ろ過で SS を除去するもので、標準脱窒素処理方式における高度処理の最も基本的なものである。

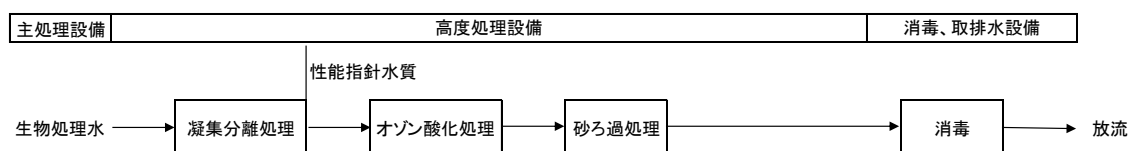


図 4.1-1 標準脱窒素処理方式における高度処理の設備区分 (COD 総量規制なし)

上記は COD 総量規制のない施設への適用例であるが、上記フローによる処理により、

凝集分離処理後の段階で性能指針水質が得られ、最終的に以下の放流水質が達成される。

BOD 10 mg/L 以下、SS 10 mg/L 以下、COD 25 mg/L 以下

T-N 10 mg/L 以下、T-P 1 mg/L 以下

COD 総量規制を考慮する場合、下記のように上記フローに活性炭吸着処理を付加して、一層高度な処理水が得られるシステムを適用する。概念図を図 4.1-2 に示す。この場合、以下の放流水質が達成される。

BOD 10 mg/L 以下、SS 10 mg/L 以下、COD 10 mg/L 以下

T-N 10 mg/L 以下、T-P 1 mg/L 以下

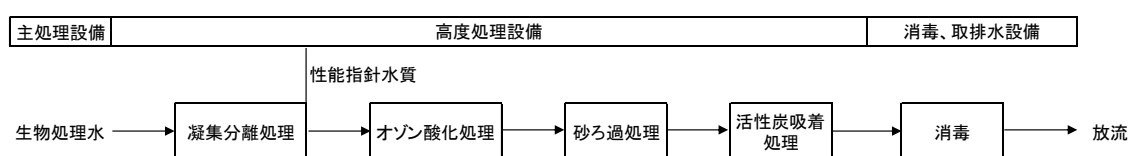


図 4.1-2 標準脱窒素処理方式における高度処理の設備区分 (COD 総量規制あり)

(b) 高負荷脱窒素処理方式における高度処理

高負荷脱窒素処理方式における高度処理の概念図を図 4.1-3 に示す。本処理方式においては、凝集分離処理が主処理設備に分類され、砂ろ過処理以降が高度処理として分類される。性能指針に示す処理水質を得るためには活性炭吸着処理まで必要となる。

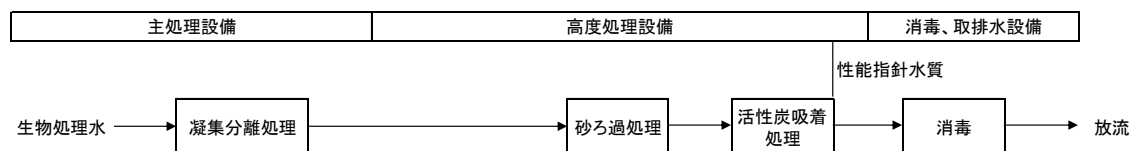


図 4.1-3 高負荷脱窒素処理方式における高度処理の設備区分

上記フローによる処理により、高度処理後の段階で性能指針水質が得られ、最終的に以下の放流水質が達成される。

BOD 10 mg/L 以下、SS 10 mg/L 以下、COD 30 mg/L 以下

T-N 20 mg/L 以下、T-P 1 mg/L 以下

高負荷脱窒素処理方式の場合、無希釈処理で固液分離に膜も利用していないため、標準脱窒素処理方式と比べて、生物処理水の SS をはじめ、COD、リン、色度等の濃度が高くなる。そのため、そのままでは分離水の性状が廃棄物処理法で定められた基準を満足出来ないことから、凝集分離処理は主処理として分類されている。

(c) 膜分離高負荷脱窒素処理方式における高度処理

膜分離高負荷脱窒素処理方式における高度処理の概念図を図 4.1-4 に示す。本処理方

式においては、凝集分離処理以降が高度処理として分類される。性能指針に示す処理水質を得るためには活性炭吸着処理まで必要となる。

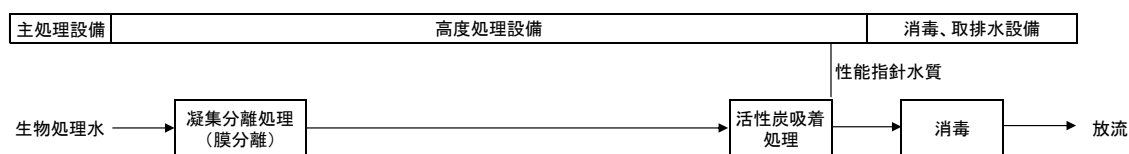


図 4.1-4 膜分離高負荷脱窒素処理方式における高度処理の設備区分

上記フローによる処理により、高度処理後の段階で性能指針水質が得られ、最終的に以下の放流水質が達成される。

BOD 10 mg/L 以下、SS 5 mg/L 以下、COD 30 mg/L 以下

T-N 10 mg/L 以下、T-P 1 mg/L 以下

(d) 浄化槽汚泥対応型脱窒素処理方式における高度処理

浄化槽汚泥対応型脱窒素処理方式における高度処理の概念図を図 4.1-5 に示す。本処理方式においては、膜分離他の固液分離は主処理設備に分類され、活性炭吸着処理以降が高度処理として分類される。性能指針に示す処理水質を得るためには活性炭吸着処理まで必要となる。

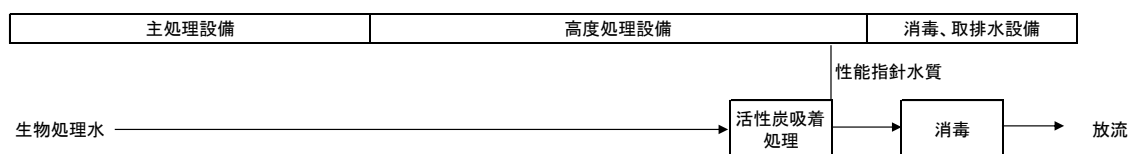


図 4.1-5 浄化槽汚泥対応型脱窒素処理方式における高度処理の設備区分

上記フローによる処理により、高度処理後の段階で性能指針水質が得られ、最終的に以下の放流水質が達成される。

BOD 10 mg/L 以下、SS 10 mg/L 以下、COD 30 mg/L 以下

T-N 20 mg/L 以下、T-P 1 mg/L 以下

4.1.2 高度処理適用技術の概要

(1) 凝集分離処理

凝集分離処理は、主処理工程で十分に分離除去できない微細な浮遊物質や、色度や COD の成分である有機物質の一部とリン酸を薬品で凝集（不溶化）させて分離除去する方法である。主に、①凝集沈殿処理、②加圧浮上処理および③凝集膜分離処理の 3 種

類がある。

(a) 凝集沈殿処理

凝集沈殿処理は、生物処理水に無機凝集剤を加え急速攪拌することにより汚濁物質の粒子化を行い、その後高分子凝集剤を添加して緩速攪拌することにより粒子を集塊させて沈降性を向上し、沈降分離する方式である。

無機凝集剤として硫酸アルミニウム、PAC（ポリ塩化アルミニウム）等のアルミニウム塩、ポリ硫酸第二鉄、塩化第二鉄等の鉄塩を用いる。また、高分子凝集剤としてアニオン系高分子凝集剤、ノニオン系凝集剤等、種々の薬品を使用する。凝集剤等の選定は生物処理水の性状にあわせて行い、注入率の調整により適切な処理水質を得る。

設計条件等の詳細は「3.3.3 技術の実用化施設の設計要領」参照してもらいたい。凝集沈殿処理フロー例を図 4.1-6 に示す。

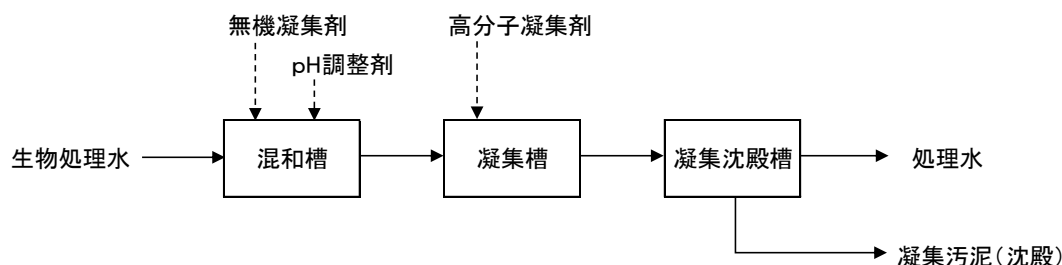


図 4.1-6 凝集沈殿処理フロー例

(b) 加圧浮上処理

加圧浮上処理は、空気を過剰に溶解させた加圧水を、凝集剤を添加・攪拌した生物処理水に混合した後、圧を開放することで発生する微細空気を凝集フロックに付着させて浮上分離する方式である。

凝集沈殿に比べて必要な滞留時間が短く済むため、槽容量を削減できる反面、電力消費が大きい。加圧浮上処理フロー例を図 4.1-7 に示す。

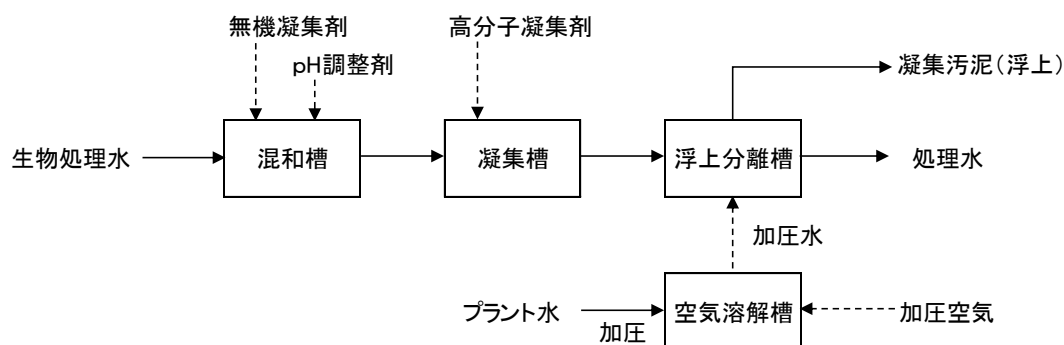


図 4.1-7 加圧浮上処理フロー例

加圧浮上処理に関する設計因子は、浮上分離槽に流入する凝集水に対し、気固比 0.03～0.06 g-Air/g-SS、水面積負荷 100 m³/m²・日、滞留時間 45 分～2 時間程度とする。

(c) 凝集膜処理

凝集膜処理は凝集汚泥の分離を膜により行う方式である。膜の種類によっては高分子凝集剤の膜面への付着により支障が出る事例もあり、基本的に高分子凝集剤の添加が不要で、無機凝集剤のみの添加で処理が可能である。

処理水には SS がほとんど含まれず、上記 2 方式に比べて清澄な処理水が得られ、後段の砂ろ過処理を省略することができる。凝集膜処理フロー例を図 4.1-8 に示す。

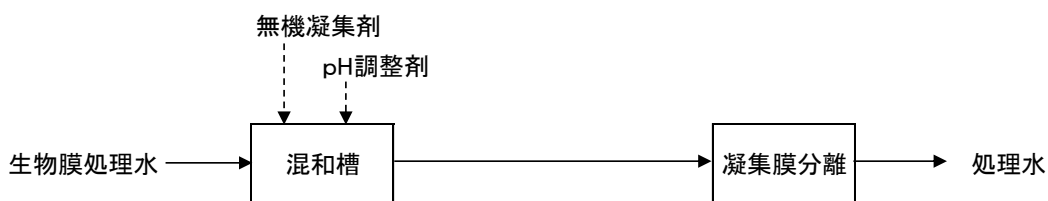


図 4.1-8 凝集膜処理フロー例

凝集膜処理に関する設計因子は、生物処理水に対する膜透過流束であり、膜の形式により浸漬平膜 0.5～1.0 m³/m²・日、回転平膜 1.0～1.6 m³/m²・日、中空糸膜 0.5～1.2 m³/m²・日となる。

(2) オゾン酸化処理

(a) 処理フローとオゾン反応槽

オゾン酸化処理設備は凝集分離処理水とオゾンをオゾン反応槽で接触させて COD や色度成分を除去する方法である。本法は色度成分の酸化による色度除去に高い効果を持ち、色度除去率 90%以上、COD 除去率 30～40%が可能である。

なお、オゾンは電力多消費で整備費も比較的高価なため、COD 及び色度除去を活性炭で代替するケースが多くなっている。また浄化槽汚泥混入比率の増加による搬入性状の希薄化に伴い、活性炭と併用して使用される例は少なくなっている。

オゾン酸化処理フロー例を図 4.1-9 に、オゾン反応槽の構造例を図 4.1-10 に示す。

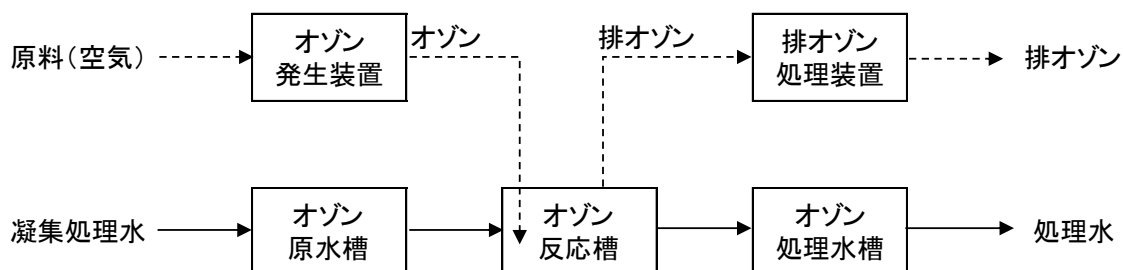
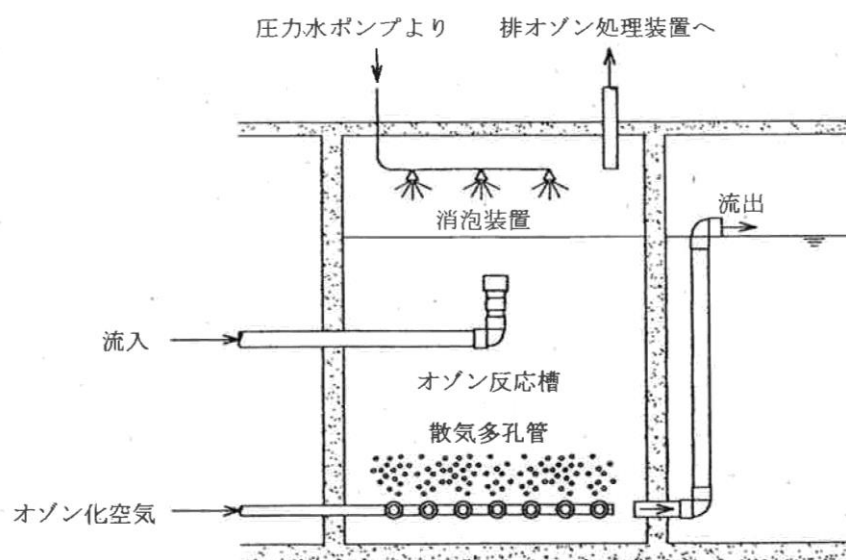


図 4.1-9 オゾン酸化処理フロー例

オゾン酸化処理工程では、オゾン反応槽で凝集分離処理水とオゾン発生装置により発生したオゾンとを反応させ処理水を得る。反応しきれず残留する排オゾンは活性炭吸着等の排オゾン処理装置で浄化される。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 249)

図 4.1-10 オゾン反応槽構造例¹⁾

オゾン反応槽に注入されるオゾンは散気多孔管を通して微細気泡とし、凝集分離処理水との接触及び槽内攪拌を行うことで効率的に反応させる。発泡対策として、液循環スプレー等の消泡装置が設置される。

(b) 汚濁物質除去率とオゾン吸収率

オゾン注入率と色度、COD の除去率及びオゾン吸収率の関係を図 4.1-11 に、滞留時間と色度、COD の除去率及びオゾン吸収率の関係を図 4.1-12 に示す。

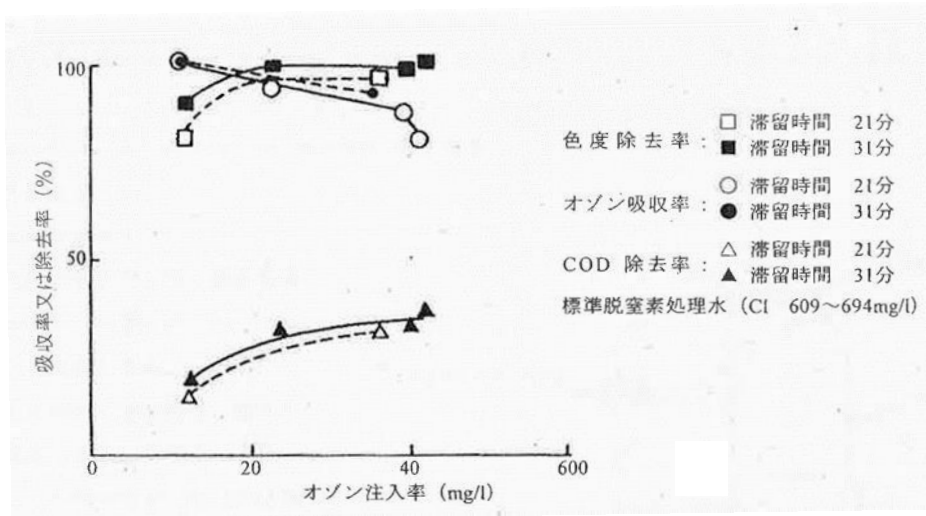
図 4.1-11 は標準脱窒素処理方式の（生物）処理水に対する例である。オゾン注入率を上げ、滞留時間も長くすれば色度及び COD の除去率は上がり、オゾン吸収率は下がる。前述したように、オゾン処理は COD 除去よりも色度除去の効果が高い。

図 4.1-12 も標準脱窒素処理方式の（生物）処理水に対する例である。オゾン注入率を一定で滞留時間だけを長くするとオゾン吸収率は向上するが、色度及び COD の除去率はほとんど変わらない。

オゾン酸化処理に関する設計因子は、オゾン注入量で、除去対象物質の種類及び濃度等で異なるが、標準脱窒素処理方式の凝集処理水量に対し 20～50 mg/L 程度となる。

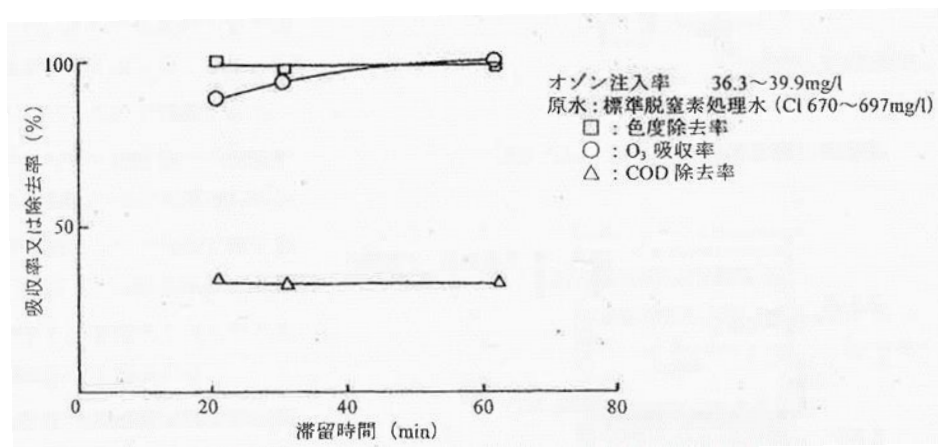
その他設計条件や構造等については、計画・設計要領に詳しく示されている。

オゾン酸化は不飽和結合に対する酸化処理であり、活性炭等の吸着処理と原理が異なり、消毒効果もある。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版，250 を基に、原資料中の文字が一部不鮮明のため加筆)

図 4.1-11 オゾン注入率と色度、COD の除去率およびオゾン吸収率の関係¹⁾



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版，250)

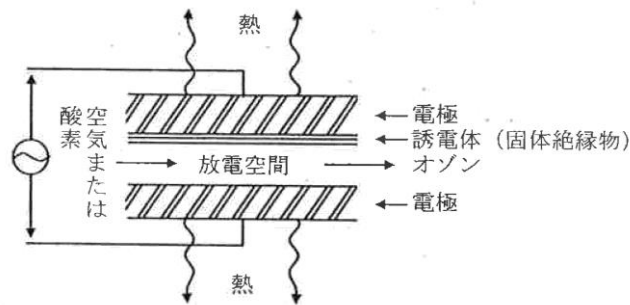
図 4.1-12 滞留時間と色度、COD の除去率およびオゾン吸収率の関係¹⁾

(c) オゾン発生装置

オゾン発生装置の形式には水冷式と空冷式があり、各々特徴を持つが、し尿処理施設ではオゾン発生量が比較的少ない設備が多く、空冷式が採用される場合が多い。

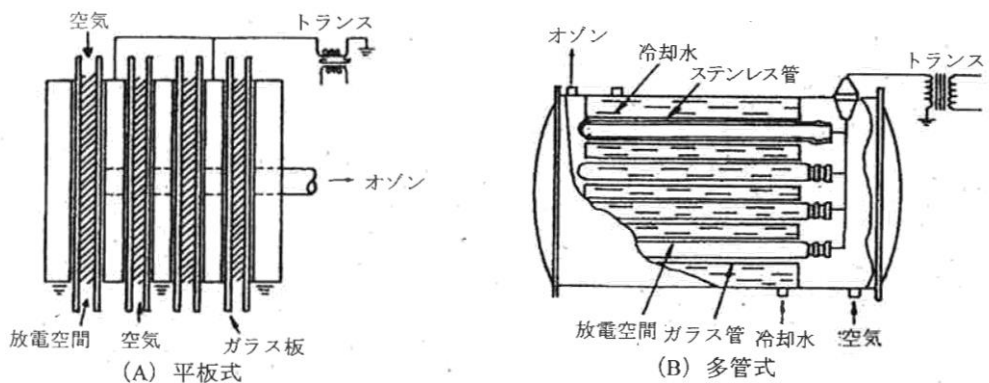
オゾンは酸素や空気中の酸素を高電圧下で反応(低温放電)させることにより生成される。オゾン発生管構造図を図 4.1-13 に、オゾン発生機構造例を図 4.1-14 に示す。平板式はセラミックコーティングされた板型の高圧及び低圧電極をスペーサを挟んで対峙させ、その外側に放電板を置いたものを一組の放電部とし、これを積層した構造である。

多管式は通常円心円筒形で、外管が金属、内管がガラス誘電体の二重管のものがほとんどである。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 247)

図 4.1-13 オゾン発生管構造図¹⁾



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 247)

図 4.1-14 オゾン発生機構造例¹⁾

(3) 砂ろ過処理

砂ろ過処理設備は凝集分離処理水等のろ過原水を砂やアンシラサイトを充填したろ過層を通過させ、ろ過原水中に含まれる低濃度のSS成分を除去するものである。後段に活性炭吸着処理設備を付加する場合は、固形物負荷が低減される。

砂ろ過設備は連続運転に伴いろ過損失水頭が増加し、ろ過処理能力が低下してくるが、ろ材を洗浄することで捕捉されたSSを除去し、機能を回復する。長期的使用によりろ材劣化が認められる場合にはろ材を交換する。砂ろ過処理フロー例を図4.1-15に示す。

砂ろ過設備は、通水方向や通水圧、また洗浄方法の違いで固定床式や移動式等に分類されるが、基本的に上記フローで構成される。

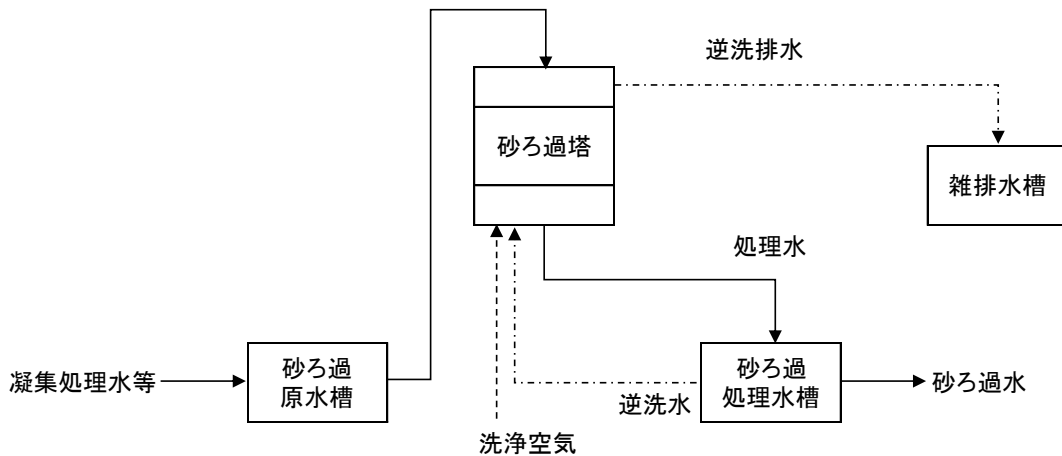


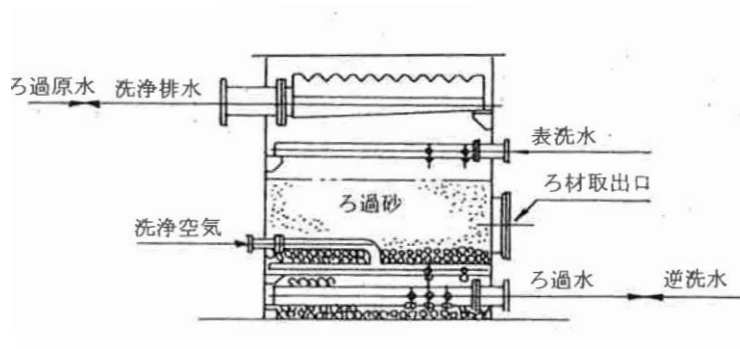
図 4.1-15 砂ろ過処理フロー一例

砂ろ過設備の分類を表 4.1-1 に、各々の構造例を図 4.1-16~19 に示す。

表 4.1-1 砂ろ過設備の分類¹⁾

| 通水方向 | 圧力 | ろ層 | ろ材 |
|------|-----|------|---------|
| 下向流式 | 重力式 | 固定床式 | 単層または複層 |
| | 圧力式 | 固定床式 | 単層または複層 |
| 上向流式 | — | 固定床式 | 単層または複層 |
| | | 移動床式 | 単層 |

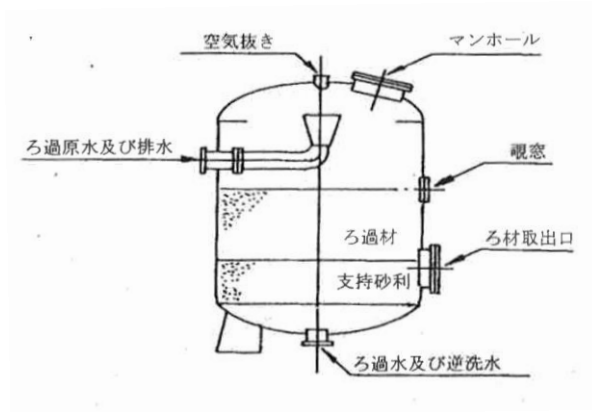
(出典：計画・設計要領 2006 改訂版，251)



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版，252)

図 4.1-16 重力式砂ろ過装置の構造例¹⁾

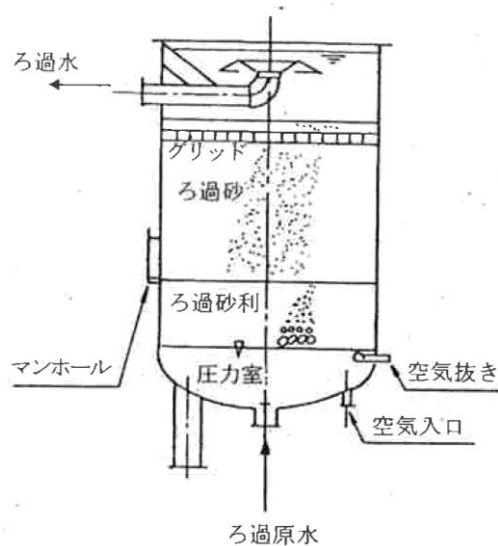
図 4.1-16 は下向流ろ過方式の重力式の例で、槽内水位と流出水位との水頭差によりろ過を行う。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 252)

図 4.1-17 圧力式砂ろ過装置の構造例¹⁾

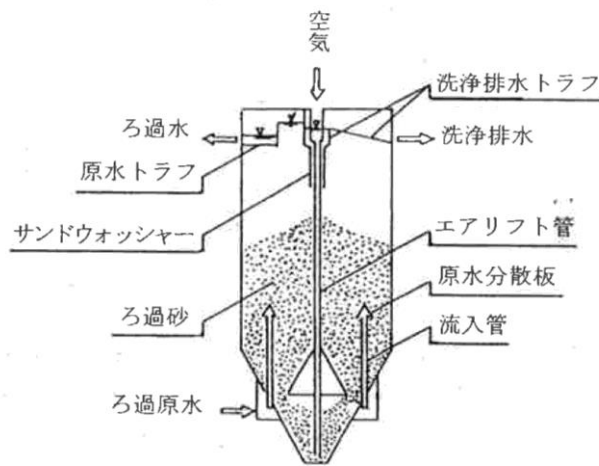
図 4.1-17 は下向流ろ過方式の固定床式の例で、砂ろ過装置が密閉構造になっており、流入圧力によりろ過を行う。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 253)

図 4.1-18 上向流固定式砂ろ過装置の構造例¹⁾

図 4.1-18 は上向流ろ過方式の固定床式の例で、原水はろ過装置下部入口より圧入し、粗粒径のろ材方向から通水し、細粒径のろ材で仕上げ処理を行うことでろ材全体を有効に使用することができる。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版，253)

図 4.1-19 上向流移動床式砂ろ過装置の構造例¹⁾

図 4.1-19 は上向流ろ過方式の移動床式の例で、原水はろ過装置下部入口より圧入し、連続的にろ過と洗浄を並行して行う。

砂ろ過処理に関する設計因子としては、ろ過速度及び洗浄速度がある。ろ過速度は、凝集分離処理水 (SS20～50 mg/L 程度) を対象とした二層 (アンスラサイト＋ろ過砂) ろ過の場合、100～200 m/日とする。洗浄 (逆洗) 速度は水洗浄の場合 30～60 m/時程度、空気洗浄の場合 30 m/時程度とする。

(4) 活性炭吸着処理

活性炭吸着処理は活性炭吸着塔内に充填した活性炭に砂ろ過処理水等の活性炭原水を通水することにより、溶解性、難分解性の有機物成分を主体とした有機物質を吸着除去する方法である。本設備は色度、COD の除去に有効である。

活性炭吸着処理フロー例を図 4.1-20 に示す。

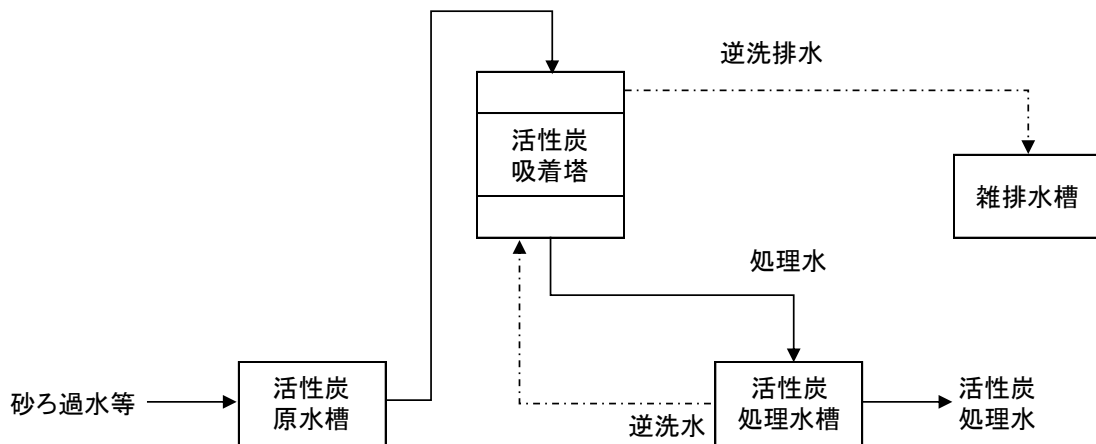
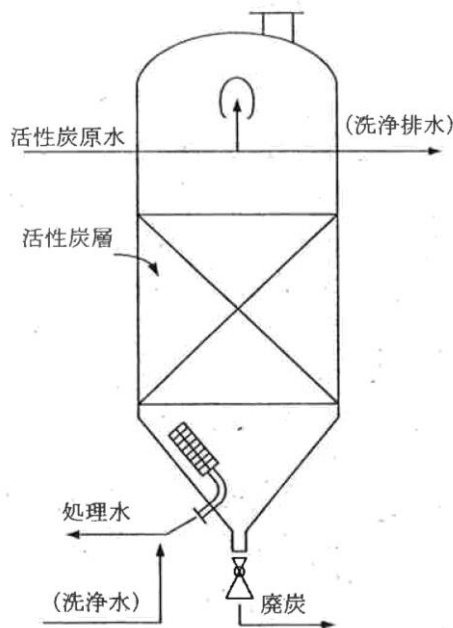


図 4.1-20 活性炭吸着処理フロー例

装置形式は上向流と下向流で各種の形式があり、通水方式にも並流吸着方式及び多段吸着方式がある。

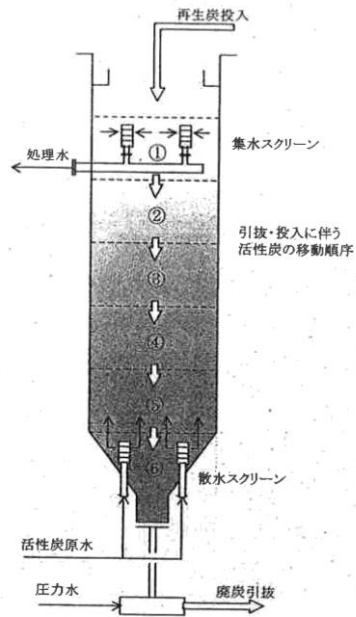
各種吸着装置例を図 4.1-21～23 に示す。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版，259)

図 4.1-21 固定床式活性炭吸着装置の例¹⁾

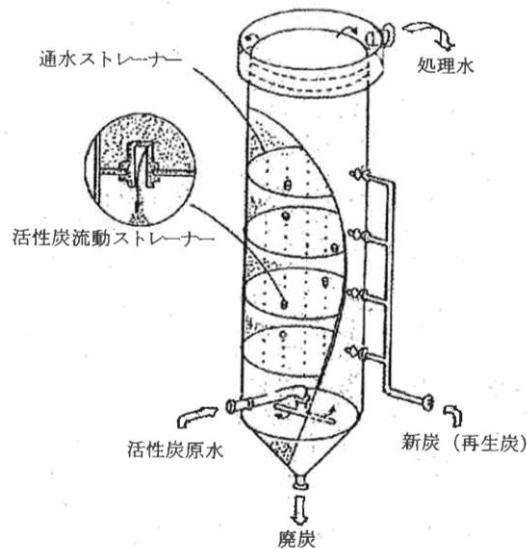
図 4.1-21 は固定床式の例で、活性炭吸着装置で最も広く用いられている方法で、装置的には圧力式ろ過装置とほとんど同じ構造である。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 260)

図 4.1-22 移動床式活性炭吸着装置の例¹⁾

図 4.1-22 は移動床式の例で、原水は下部から圧入される。下部から飽和した活性炭(廃炭)の引き抜きが行われ、上部から新炭あるいは再生炭が補給される構造である。



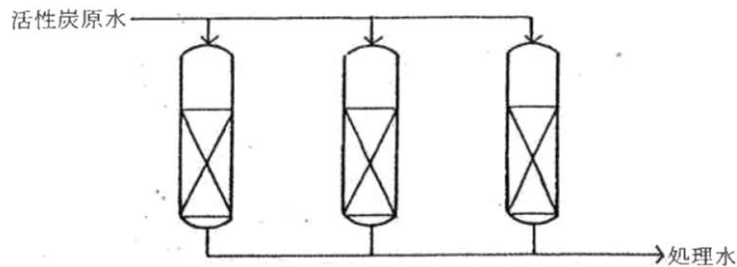
(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 260)

図 4.1-23 多段流動床式活性炭吸着装置の例¹⁾

図 4.1-23 は多段流動床式の例で、活性炭吸着装置が多段に分割されており、廃炭は

下部へ段階的に移送されて下部から引き抜かれ、各段に新炭あるいは再生炭が補給される構造である。

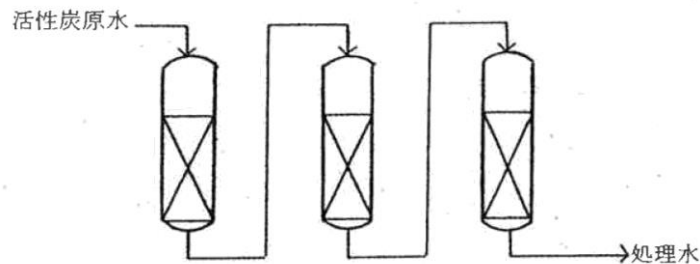
活性炭吸着装置を複数基設置する場合の通水方式を図 4.1-24 及び 4.1-25 に示す。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 261)

図 4.1-24 固定床並流吸着方式¹⁾

並流吸着方式は、並列の活性炭吸着装置へ並列に原水を供給する方式である。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 261)

図 4.1-25 固定床多段吸着方式¹⁾

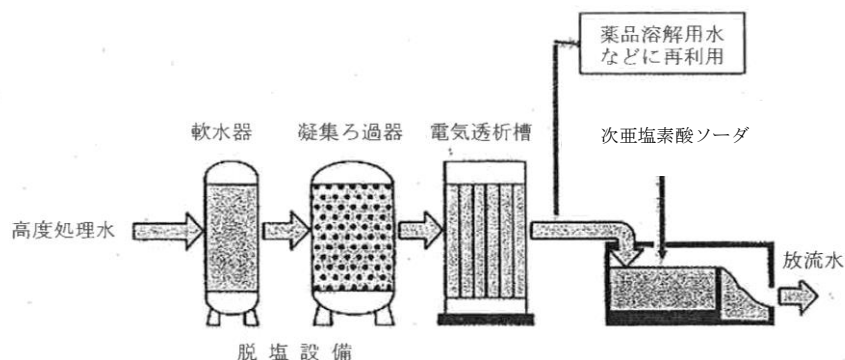
多段吸着方式は、初め第一塔 → 第二塔 → 第三塔の順序で通水していたものを、第一塔が破過した時点で第一塔内の活性炭を新炭と交換し、引き続いて通水を第二塔 → 第三塔 → 第一塔の順に行う、いわゆるメリーゴーランド方式をとるのが普通である。

活性炭吸着に関する設計因子としては、線速度 (LV：通水量を活性炭充填層断面積で除したもの) と空間速度 (SV：通水量を活性炭充填層体積で割ったもの) がある。線速度は、標準脱窒素処理方式に適用する場合 2～8 m/時、その他の無希釈高負荷型脱窒素処理方式に適用する場合で 5～30 m/時とする。空間速度はいずれの場合も 1～4 m³/m³・時とする。

(5) 脱塩処理

脱塩処理は高度処理水から塩類を濃縮分離、除去するための方法である。脱塩処理水は農業用水、プロセス水、灌漑用水として使用することが多く、処理方式として蒸発濃縮法、逆浸透膜法、電気透析法の 3 種類がある。電気透析法のフローシート例を図 4.1-26

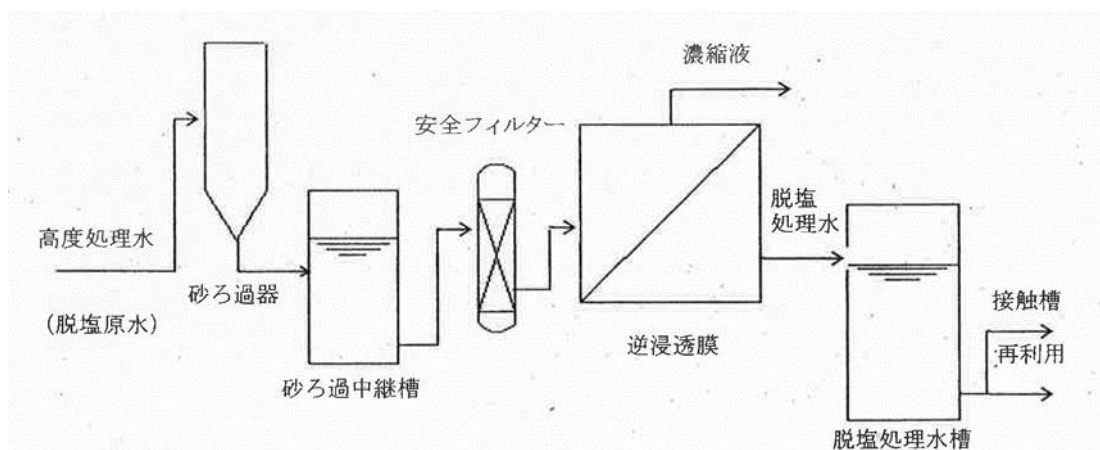
に、逆浸透膜法のフローシート例を図 4.1-27 に示す。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 263)

図 4.1-26 電気透析法のフローシート例¹⁾

図 4.1-26 は電気透析法の例で、原水（高度処理水）を軟水化し、凝集ろ過した後に電気透析により脱塩を行うものである。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 263)

図 4.1-27 逆浸透膜法のフローシート例¹⁾

図 4.1-27 は逆浸透膜法の例で、原水（高度処理水）を砂ろ過処理し、逆浸透膜を透過させることで脱塩を行うものである。

4.1.3 消毒処理

し尿処理水は、水中に残留する可能性のある病原性細菌等を滅菌し、無害化したうえで公共用水域に放流する必要がある。

し尿処理における消毒法としては塩素処理、紫外線照射及びオゾン処理の 3 種類が一

一般的である。

(1) 塩素消毒処理

塩素及び塩素系消毒剤の殺菌力を利用する方法である。

し尿処理では次亜塩素酸ソーダ注入による滅菌が一般的である。

残留性があるので、過剰注入や副反応生成物等に留意する必要がある。

高度処理でオゾン酸化を行った場合、塩素剤の注入はほとんど不要となることもある。

(2) 紫外線処理

紫外線の殺菌力を利用し、水中の微生物を不活化する方法である。一方、不活化作用を受けた細菌の再活性化（光回復現象）があるため、消毒効果は光回復後に評価する必要がある。

(3) オゾン処理

オゾンの強力な酸化力を利用する方法である。薬剤を使用する方法とは異なり処理水に残留薬物の影響を残さないが、塩素剤のような残留性はないので、細菌の再汚染に注意が必要である。

4.1 参考文献

- 1) 社団法人全国都市清掃会議編：汚泥再生処理センター等施設整備の計画・設計要領 2006 改訂版，全国都市清掃会議，245-270（2006）。
- 2) 廃棄物処理施設技術管理者講習 基礎・管理課程 し尿・汚泥再生処理施設コーステキスト，一般財団法人日本環境衛生センター，205-208（2001）。

4.2 汚泥等処理技術・システム¹⁾

4.2.1 技術・システムの移り変わり

(1) 概要

(a) 汚泥の処理・処分

し尿処理施設から発生する汚泥は、含水率が高く有機物質を多く含んでいるため、放置すると腐敗して悪臭を発生するなど、環境保全上好ましくないばかりか衛生上問題となるので、汚泥処理設備により安全（無害）化、安定化、減量化を図った後に最終処分する必要がある。

処理された汚泥は、大きく分けると埋立て処分と緑農地利用等があるが、いずれの方法を採用するかは地域の環境条件、処分地の状況、汚泥の性状、処分の経済性等を考慮して決定する。埋立て処分には陸上埋立てと海面埋立てがあり、処分の方法については「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」や「海上汚染及び海上火災の防止に関する法律」にそれぞれの処分方法が定められている。広大な埋立て用地を確保することが困難な場合には焼却などにより減量化している例が多い。

緑農地利用は肥料や土壌改良材として有効利用する方法であるが、し尿処理汚泥はもともと窒素、リンなどの肥料成分を多く含んでおり、今後は、肥料や土壌改良材として、これらを有効に利用する方向が望ましいと考えられる。

(b) 汚泥処理設備

し尿処理施設の汚泥処理設備は、水処理設備等から発生する汚泥を濃縮、脱水、乾燥、焼却又は堆肥化等を行っている。

汚泥濃縮設備は、重力濃縮、浮上濃縮または機械濃縮のための装置と濃縮汚泥貯留槽等を組み合わせたものである。濃縮装置は一般的に濃縮槽を用いる方法が主流であるが、重力沈降しづらい汚泥は、機械濃縮装置（遠心濃縮機、スクリーン濃縮機、造粒濃縮機等）を用いて濃縮を行っている。

汚泥脱水設備は、汚泥調質装置、脱水機、脱水汚泥移送装置、脱水汚泥貯留装置等を組み合わせたものである。脱水機の種類としては、フィルタープレス、遠心脱水機、ベルトプレス、スクリュープレス、多重円板脱水機、電気浸透式脱水機等がある。

1950～1965（昭和 25～40）年頃は真空脱水機または加圧脱水機の採用実績が多かったが、衛生上の問題や油分がろ布を目詰まりさせる等の問題があった。1966～1976（昭和 41～51）年頃は余剰汚泥等に対応した高分子凝集剤の性能が向上したことに遠心脱水機の採用実績が多くなった。1977～1987（昭和 52～62）年頃は脱水汚泥を汚泥含水率 85%以下にして陸上埋め立て処分するためにベルトプレスまたはフィルタープレスの採用実績が増加した。1997（平成 9）年以降、資源循環型社会形成の推進に伴い、脱水汚泥低含水率化の社会的要請から、汚泥の助燃剤化が可能な脱水機としてスクリュープレス、

遠心脱水機、電気浸透式脱水機が主流になってきている。

汚泥乾燥設備は、供給装置、乾燥機、熱源発生装置、燃料供給装置、乾燥汚泥移送装置、集じん装置及び乾燥汚泥貯留装置を組み合わせたものである。乾燥機は脱水汚泥中の水分を蒸発させることにより、減量化すると同時に環境保全上支障がないように処理するものであり、乾燥機の種類は、回転式乾燥機、気流方式乾燥機等があり、攪拌機付回転乾燥機の採用実績多い。

汚泥焼却設備は、供給装置、焼却装置、集じん装置、灰移送装置及び灰貯留装置等を組み合わせたものである。焼却装置は回転アーム式焼却炉、火格子式焼却炉、単段式焼却炉、多段式焼却炉、流動床式焼却炉等があり、回転アーム式焼却炉の採用実績が多い。

(2) 汚泥処理の組み合わせ

汚泥処理方式には、濃縮方式、脱水方式等があるが、資源化の方式と汚泥の性状を考慮し、その性能が得られる適切な組み合わせが必要である。

汚泥処理設備の基本的な組み合わせ例を以下に示す。

- ①汚泥 → 濃縮 → 脱水設備へ
- ②汚泥 → 濃縮 → メタン回収設備へ
- ③汚泥 → (濃縮) → 脱水→堆肥化設備へ
- ④汚泥 → (濃縮) → 脱水→炭化設備へ
- ⑤汚泥 → (濃縮) → 脱水→乾燥設備へ
- ⑥汚泥 → (濃縮) → 脱水→乾燥→焼却設備へ

濃縮は、脱水を効率よく行うための前処理として一般に用いられるが、濃縮設備を設けずに直接脱水するケースもある。

また、浄化槽汚泥の混入比率の高い脱窒素処理方式では、前凝集分離設備において除渣後の浄化槽汚泥と余剰汚泥を混合し脱水するケースや、濃縮された前凝集汚泥を汚泥処理設備において脱水するケースもある。

(3) 汚泥処理技術の現状

2005（平成17）年度に循環型社会形成推進交付金制度が創設され、し尿処理関係施設は汚泥再生処理センターとして、し尿、浄化槽汚泥及び生ごみ等の有機性廃棄物を併せて処理するとともに、資源回収を行うことが、交付金事業の採択要件となった。資源化設備のメニューとしては、①メタン発酵、②汚泥助燃剤化、③リン回収、④堆肥化、⑤乾燥（堆肥化）、⑥炭化等がある。これらを背景に、近年、汚泥等の処理技術が変革している。

濃縮装置は、濃縮槽を用いて汚泥を濃縮する方法が主流になり、機械濃縮装置はほとんど設置されていない状況である。

脱水機は、脱水汚泥を含水率70%以下とする助燃剤としてごみ焼却炉へ投入し、補助燃料として利用できる機種が主流になり、スクリーンプレス、遠心脱水機、電気浸透式の採用台数が増えている。

乾燥機は、乾燥汚泥を堆肥として利用できる地域においては採用される。

焼却炉は、汚泥再生処理センターの趣旨にそぐわず、交付金事業の資源化メニューにも採用され難いために減少している。

4.2.2 汚泥濃縮設備

(1) 濃縮装置

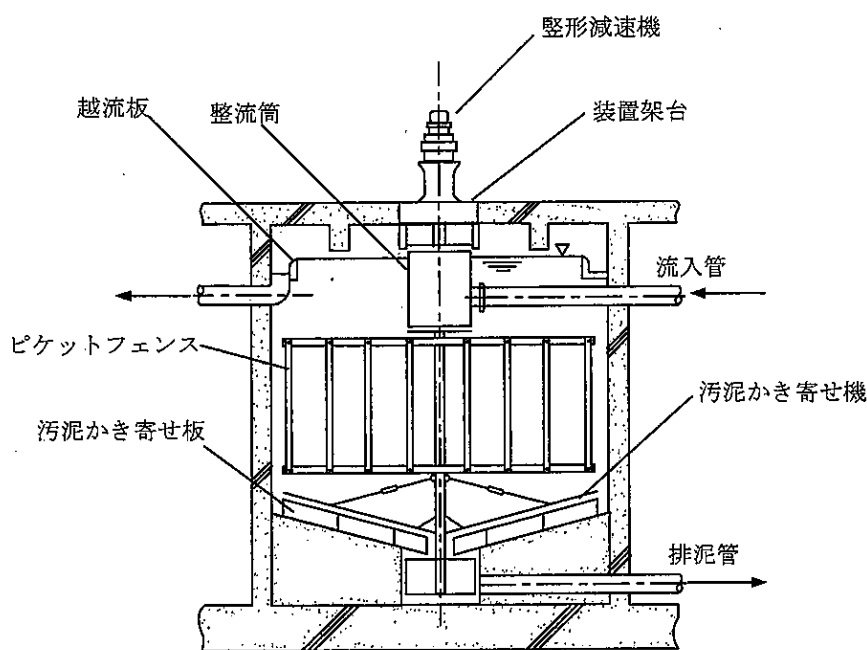
(a) 重力濃縮装置

(ア) 重力濃縮装置の構造

濃縮槽の平面形状は円形、正方形または長方形が一般的であり、有効水深は4～6 m程度である。また、濃縮槽に汚泥かき寄せ機を設置する場合は、その底部の勾配を5/100以上とすることが望ましい。

(イ) 汚泥のかき寄せ

かき寄せ機の構造は中央駆動型が多く用いられている。図4.2-1に例を示すが、これは槽中央部に設けた駆動軸にかき寄せ機を取り付け、駆動装置で回転させながら、かき寄せ板で汚泥を中央底部にかき寄せて引き抜く構造である。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 358)

図 4.2-1 中央駆動型汚泥濃縮槽の例¹⁾

(b) 遠心濃縮機

遠心濃縮機は、一般に1,000～2,000 Gの遠心力で15,000～20,000 mg/Lの汚泥を30,000～50,000 mg/Lに濃縮できる。必要とする濃縮度やSS回収率の条件により、高分子凝集剤を添加する場合もある。

構造原理は遠心脱水機とほぼ同一であるが、ボウルの内部にスクリーコンベヤを設

け、ボウルの一端に接続したギヤボックスでわずかな回転差を与えながらボウルと同じ方向に回転させるとボウル内部に堆積した汚泥はスクリーコンベヤの作用によってボウルの小径側に運ばれる。汚泥は、ボウルの傾斜面でさらに濃縮されてボウルより濃縮汚泥が吐出される。また、分離液はボウルの大径側板にある堰を越えて排出される。

遠心濃縮機の原理図を図4.2-2に、構造例を図4.2-3に示す。

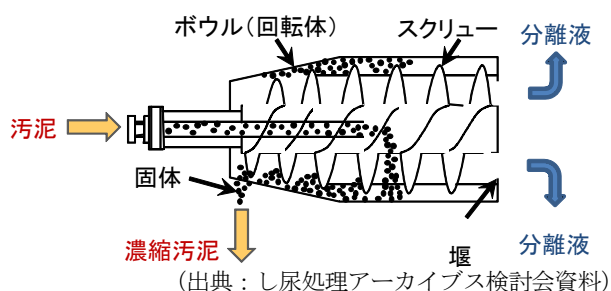
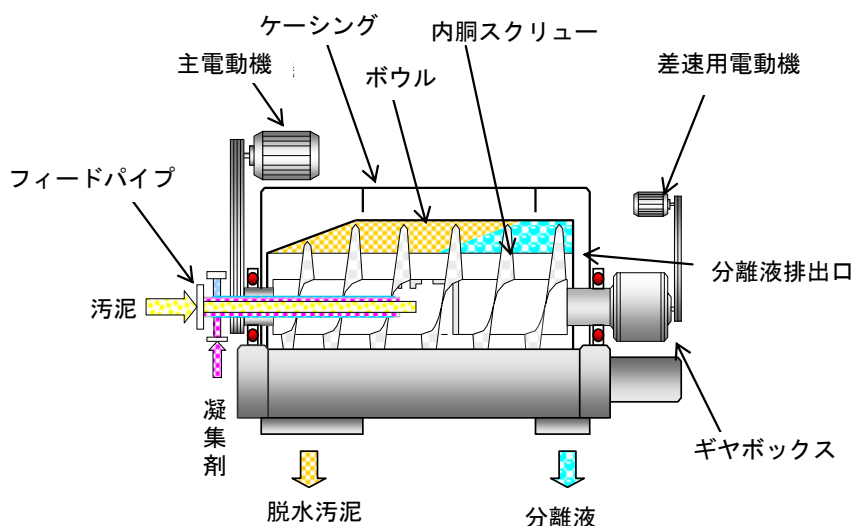


図4.2-2 遠心濃縮機の原理図²⁾



(出典：し尿処理アーカイブス検討会資料)

図4.2-3 遠心濃縮機の構造例²⁾

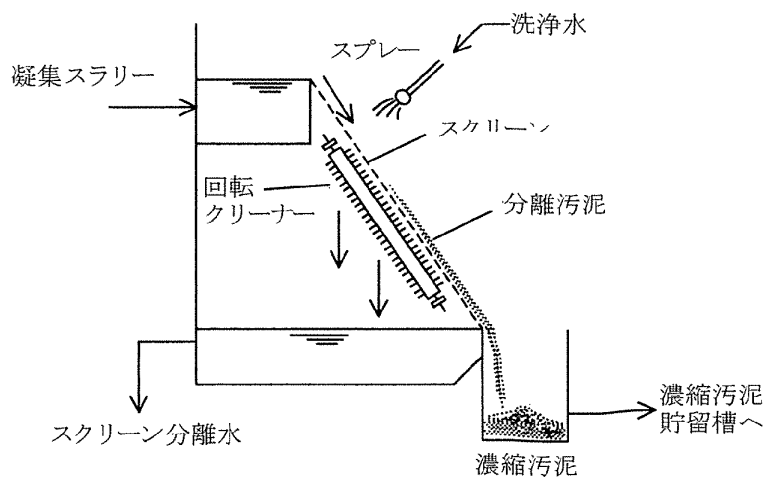
(c) スクリーン濃縮機

汚泥に高分子凝集剤を添加し調質を行った後、スクリーン上部から凝集汚泥を流してウエッジワイヤー等を用いたスクリーンで汚泥と分離液に分離する濃縮機である。

スクリーン濃縮機は、高分子凝集剤の添加率及びスクリーンの目巾により、スクリーン透過液率とSS回収率が設定される。なお、汚泥供給量が増加して分離面積負荷が大きくなるとSS回収率及び汚泥濃度が低下する傾向にあるため、安定した汚泥供給を行うことが必要である。スクリーン濃縮機の能力は、運転時間、透過液率、SS回収率、高分子凝集剤の添加量等の諸条件を考慮し、計画処理量に対して所要の性能を有する機種を選定することが必要である。

また、スクリーンの目詰まり対策として洗浄装置やクリーニング装置等を設けることもある。

スクリーン濃縮機の構造例を図4.2-4に示す。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 359)

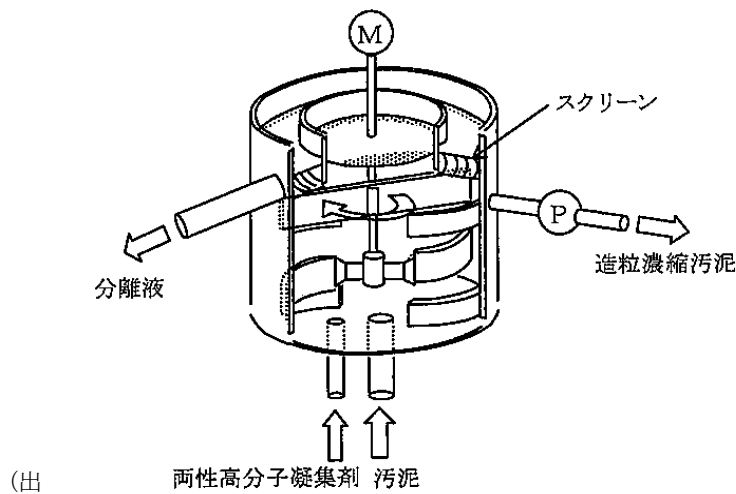
図 4.2-4 スクリーン濃縮機の構造例¹⁾

(d) 造粒濃縮機

汚泥に凝集剤を添加し調質を行った後、高分子凝集剤を添加し、装置内部の特殊羽根による攪拌及びころがり効果によって固液分離を行う濃縮機である。装置下部から供給される汚泥と高分子凝集剤を特殊羽根により効率よく混合・凝集させながら上方にフロックを生成し、装置内攪拌流と壁面のころがり効果によりフロックの成長及び造粒が行われる。装置上部に集積した造粒フロックは、スクリーンにより分離液が集水されることで濃縮効果が高められる。造粒濃縮された汚泥は、ポンプにより定量的に引き抜かれる。

造粒濃縮機は、脱水機へ直接濃縮汚泥を供給することが多いため、脱水機側の諸条件を考慮し、計画処理量に対して所要の性能を有する機種を選定することが必要である。

造粒濃縮機の構造例を図4.2-5に示す。



典：計画・設計要領 2006 改訂版，359)

図 4.2-5 造粒濃縮機の構造例¹⁾

(e) 濃縮装置の比較

汚泥濃縮設備は汚泥脱水の前処理操作として汚泥濃縮を行い、脱水機への供給汚泥量を減量化するものである。汚泥濃縮設備は、重力濃縮または機械濃縮を行う装置と濃縮汚泥貯留槽等を組み合わせたものより構成される。

重力濃縮装置と機械濃縮装置の例を表4.2-1に示す。

表4.2-1 各種濃縮装置の比較³⁾

| 項目 | | 濃縮装置 | 機械濃縮装置 | |
|------|-------------------|--|--|---|
| | | | 重力濃縮装置 | デカンター型 |
| 型式 | | 重力沈降濃縮 | 遠心濃縮 | スクリーン濃縮、造粒濃縮 |
| 濃縮性能 | 汚泥濃度 | 1.5～2.5 % | 4 %以上 | 2～5 % |
| | 分離液の状態 | 不安定 | 良好 | 良好 |
| 運転管理 | 消費エネルギー (補機類含) | 小 約0.1 kWh/m ³ | 中 約 0.6 kWh/m ³ | 小 約 0.2 kWh/m ³ |
| | 操作因子と操作性 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 固形物負荷 ・ 水面積負荷 ・ 汚泥界面 ・ 投入パターン | <ul style="list-style-type: none"> ・ 遠心効果 ・ 処理量 ・ 回転数差 ・ オリフィスプレート | <ul style="list-style-type: none"> ・ 処理量 ・ 凝集効果 ・ 分離面積負荷 ・ 目巾状況 |
| 作業環境 | 臭気 | 中 | 小 | 小 |
| | 騒音 | 小 | 中 | 小 |

(出典：社団法人日本環境衛生施設工業会資料)

(2) 濃縮汚泥貯留槽

(a) 濃縮汚泥貯留槽の形状

濃縮汚泥貯留槽は、濃縮後の汚泥を脱水処理工程へ送る前に一旦貯留し、汚泥脱水設備の運転時間に合わせて汚泥を供給するために設けられる。

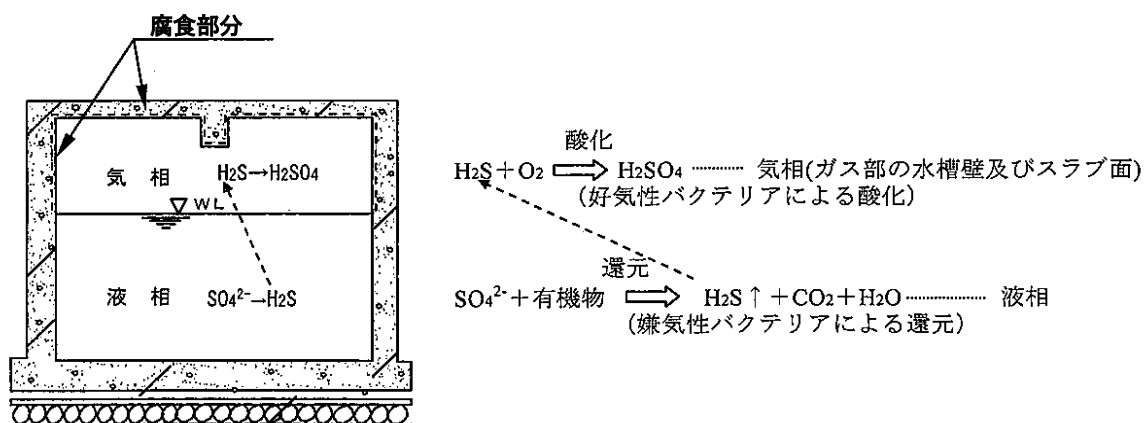
濃縮汚泥貯留槽の構造は、水圧・土圧に対して強度的に十分考慮した鉄筋コンクリート造り等の水密構造とし、防食に耐えるような処置を講じる必要がある。また、槽の底部は勾配をつける。鉄筋コンクリート造り以外の例えば鋼板製でも採用できるが、この場合には、防食ライニング等の処置を施すものとし、貯留槽の使用期間、定期補修状況に応じて防食仕様を決定する。なお、清掃等に備えて2ヶ所程度のマンホールを設け、水槽内部を換気できる構造・設備とする。

(b) 防食

濃縮汚泥貯留槽では、汚泥濃縮槽等で嫌気状態にあった汚泥が攪拌されるため、臭気ガスの発生が多い。したがって、臭気ガスを槽外へ排除するのに十分な脱臭風量を確保するとともに、腐食しやすい部分は防食ライニングを施す等、防食について注意しなければならない。

濃縮汚泥貯留槽等の臭気が発生する水槽では、槽上部の液面より上の気相と接触している部分が腐食し、液面より下の液相と接触している接水部が腐食が発生していない場合が多い。これは硫化水素に起因する腐食であるといえる。

図4.2-6に微生物による硫黄の変化を示す。槽内で嫌気性バクテリア（硫酸還元菌）により硫酸塩が還元されると、硫化水素が生成され、さらに、気相中の硫化水素が槽内の水分に溶解し、好気性バクテリア（硫黄細菌）により酸化され硫酸となる。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 360)

図 4.2-6 微生物による硫黄の変化¹⁾

この硫酸は、コンクリートの主成分であるカルシウムと反応してコンクリートを劣化させる。

防食したコンクリートの主な特徴として、次の点があげられる。

- ①硫酸塩含有量は増加する。
- ②内部のpHは中性化する。
- ③色は白色または黄白色となり、強度は著しく低下する。
- ④硫化水素による腐食が進行している時のコンクリートや鉄の表面のpHは2～4になっている。しかし、アンモニアが共存する時は、pHの低下が少なく腐食の進行はゆるやかになる傾向がみられる。

生物学的脱窒素処理方式の場合、余剰汚泥に含まれるアンモニアが少なく腐食の進行が早いので、十分な防食対策が必要である。

水槽内部防食仕様例を表4.2-2に標準脱窒素処理方式の水槽内部防食仕様例を表4.2-3に高負荷脱窒素処理方式等の水槽内部防食仕様例を示す。また、表4.2-4に防食設計標準仕様例を表4.2-5に防食設計標準仕様例を示す。

表4.2-2 標準脱窒素処理方式の水槽内部防食仕様例⁴⁾

| 水槽名 | 床 | 壁 | | 天井 | 備考 |
|---------|---|-----|-----|----|-------------|
| | | 気相部 | 液相分 | | |
| 沈砂槽 | B | C | C | C | 水面下 1mまで |
| 受入槽 | A | C | C | C | |
| 貯留槽 | A | C | C | C | |
| 脱窒素槽 | ○ | B | ○ | B | |
| 硝化槽 | ○ | B | ○ | B | |
| 二次脱窒素槽 | ○ | B | ○ | B | |
| 再ぼっ気槽 | ○ | B | ○ | B | |
| 沈殿槽 | ○ | ○ | ○ | — | |
| スカムピット | A | A | A | — | |
| 混和槽 | A | A | A | A | |
| 凝集槽 | A | A | A | A | |
| 凝集沈殿槽 | A | A | A | — | |
| オゾン反応槽 | A | A | A | A | |
| 砂ろ過原水槽 | ○ | ○ | ○ | — | |
| 砂ろ過処理水槽 | ○ | ○ | ○ | — | |
| 活性炭処理水槽 | ○ | ○ | ○ | — | |
| 接触槽 | ○ | ○ | ○ | — | |
| 放流ピット | ○ | ○ | ○ | — | |
| 濃縮槽 | A | B | B | B | |
| 濃縮汚泥貯留槽 | A | C | C | C | |
| 受水槽 | ○ | ○ | ○ | — | |
| 雑排水槽 | A | A | A | A | |

注) A：下水道事業団防食設計標準仕様 A種を示す
 B：下水道事業団防食設計標準仕様 B種を示す
 C：下水道事業団防食設計標準仕様 C種を示す
 ○：浸透性塗布防水を示す

(出典：し尿処理施設改良・改造技術に関する手引書，84)

表 4.2-3 高負荷脱窒素処理方式等の水槽内部防食仕様例⁴⁾

| 水 槽 名 | 床 | 壁 | | 天 井 | 備 考 |
|---------|---|-----|-----|-----|-------------|
| | | 気相部 | 液相分 | | |
| 沈砂槽 | B | C | C | C | 水面下 1mまで |
| 受入槽 | A | C | C | C | |
| 貯留槽 | A | C | C | C | |
| 脱窒素槽 | ○ | B | ○ | B | |
| 硝化槽 | ○ | B | ○ | B | |
| 処理水槽 | ○ | B | ○ | B | |
| 混和槽 | A | A | A | A | |
| 凝集槽 | A | A | A | A | |
| 凝集沈殿槽 | A | A | A | — | |
| 凝集膜原水槽 | A | A | A | A | |
| 砂ろ過原水槽 | ○ | ○ | ○ | — | |
| 砂ろ過処理水槽 | ○ | ○ | ○ | — | |
| 活性炭処理水槽 | ○ | ○ | ○ | — | |
| 接触槽 | ○ | ○ | ○ | — | |
| 放流ピット | ○ | ○ | ○ | — | |
| 濃縮汚泥貯留槽 | A | C | C | C | |
| 受水槽 | ○ | ○ | ○ | — | |
| 雑排水槽 | A | A | A | A | |

注) A：下水道事業団防食設計標準仕様 A種を示す
 B：下水道事業団防食設計標準仕様 B種を示す
 C：下水道事業団防食設計標準仕様 C種を示す
 ○：浸透性塗布防水を示す

(出典：し尿処理施設改良・改造技術に関する手引書，85)

表 4.2-4 防食設計標準仕様例（ライニング工法）⁵⁾

| 腐食環境条件 | 防食材料 ^{※1} | 仕様 | 設計厚 ^{※2} (mm) |
|--------|----------------------------|---|---------------------------|
| A種 | エポキシ樹脂 | 塗り回数2回以上の被覆 | 0.20以上 |
| B種 | エポキシ樹脂 | 塗り回数3回以上の被覆 | 0.35以上 |
| | ガラスフレーク入り ビニルエステル樹脂 | 塗り回数3回以上の被覆 | 0.35以上 |
| | ポリウレタン樹脂 | 塗り回数1回以上の被覆 | 1.50以上 |
| C種 | エポキシ樹脂 | 補強材(ガラスクロス ^{※3} を1プライ積層の被覆) | 0.70以上 |
| | エポキシ樹脂 | 補強材(ガラスマット ^{※4} を1プライ積層の被覆) | 1.00以上 |
| | 不飽和ポリエステル樹脂 又はビニルエステル樹脂 | 補強材(ガラスマット ^{※4} を1プライ積層の被覆) | 1.00以上 |
| | セラミックパウダー入り エポキシ樹脂 | 塗り回数1回以上の被覆 | 3.00以上 |
| | ウイスカ入り 変性シリコン樹脂 | 塗り回数4回以上の被覆 | 0.30以上 |
| | ポリウレタン樹脂 | 塗り回数1回以上の被覆 | 2.00以上 |

注) ※1 防食材料は、経済性、耐久性、施工性を考慮し使い分けること。

※2 設計厚にはプライマーは含まないものとする。

※3 ガラスクロスはJISR3416（ガラスクロス）に規定するEPA21Aとする。

※4 ガラスマットはJISR3411（チョップストランドマット）に規定するEM450とする。

（出典：コンクリート防食指針（案），16）

表4.2-5 防食設計標準仕様例（腐食環境条件）⁶⁾

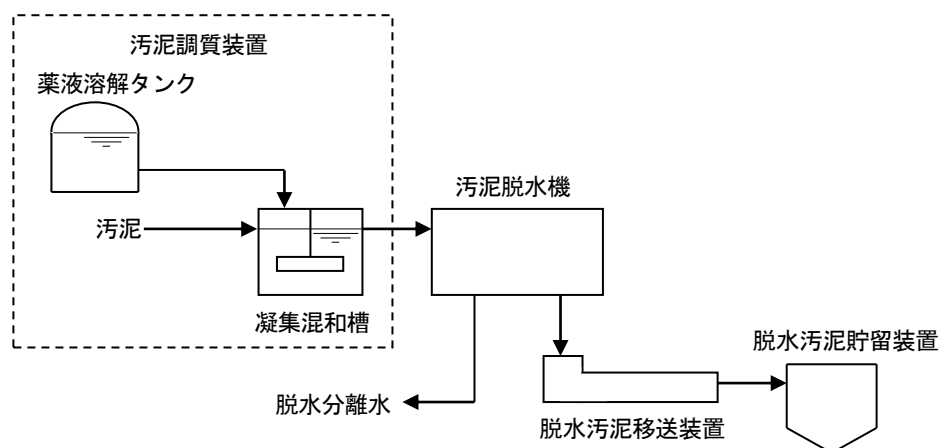
| 分類 | 防食環境条件 |
|----|----------------------|
| A種 | 硫化水素は多いが腐食に至らない環境 |
| B種 | 硫化水素の滞留が少なく腐食が穏やかな環境 |
| C種 | 硫化水素の滞留が多く腐食が厳しい環境 |

（出典：コンクリート防食指針（案），10）

4.2.3 汚泥脱水設備

(1) フローシート

汚泥脱水設備は、汚泥調質装置、脱水機、脱水汚泥移送装置、脱水汚泥貯留装置等を必要に応じて組み合わせたものである。図4.2-7に一般的な汚泥脱水設備のフローシート例を示す。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 361)

図 4.2-7 汚泥脱水設備のフローシート¹⁾

水処理設備等から発生する汚泥を、脱水効率を高めるため汚泥調質装置にて調質した後、脱水機にかけ脱水汚泥と脱水分離水に分離する。脱水汚泥は脱水汚泥移送装置で移送し、脱水汚泥貯留装置に貯留される。一方、脱水分離水は水処理設備等に移送され、適正な処理が施される。

(2) 汚泥調質装置

(a) 汚泥の調質

汚泥は、コロイド性の微粒子を主体とする化学的に複雑な構造を有し、水との親和力が非常に強いので、そのままの状態では機械的に微粒子を水と分離することが困難である。汚泥調質とは、脱水に先立ち、汚泥調質剤（薬品）を注入することによって汚泥粒子の性質を変え、水との親和力の減少、凝集力の増大、粒子の粗粒化を図り、脱水性を向上させる操作であり、凝集処理の機構と同様である。

(b) 調質剤の種類

調質剤には無機系と有機系とがあり、単独または併用されている。

(ア) 無機系調質剤

無機系調質剤としては、塩化第二鉄、硫酸第一鉄等の鉄塩、ポリ硫酸第二鉄、硫酸アルミニウム、ポリ塩化アルミニウム（PAC）等のアルミニウム塩、消石灰等のカルシウム塩が用いられる。

(イ) 有機系調質剤

有機系調質剤としては、カチオン系高分子凝集剤が汚泥脱水時に広く用いられているが、アニオン系高分子凝集剤とカチオン系高分子凝集剤を併用するケースや、両性高分子凝集剤を用いるケースも多くなってきている。

カチオン系高分子凝集剤中で最も多く用いられているのはメタアクリル酸エステル系のものである。これは高分子量のポリマーが容易に得られ、アクリルアミドとの共重合によりカチオン化度を任意に調整でき、汚泥の性状や脱水機種に応じたものが供給できる点で多用されている。

カチオン系高分子凝集剤が一般に用いられる理由は、無機系の鉄塩や消石灰と比べて次の特徴を有するためである。

- ①汚泥表面の荷電中和作用及びフロックの架橋・吸着作用に優れ、少量で処理効果が向上する。
- ②脱水汚泥の利用や処分をする際に、アルカリ浸出などの問題が少ない。
- ③溶解注入機の腐食の問題、消石灰による粉じん発生がない等作業環境の改善が図れる。一方、有機系高分子凝集剤全般の問題点としては次のことが挙げられる。
- ④適合しない高分子凝集剤を使用すると含水率が高くなる。
- ⑤汚泥性状により処理効果が左右されやすく、安定した処理効果が得られにくい場合がある。
- ⑥安定した処理効果を得るには、汚泥の性状に合わせて調質剤の使い分けや、添加量、添加場所などの検討が必要である。
- ⑦難溶解性であり、濃度管理に注意が必要である。
- ⑧無機系調質剤に比べ高価である。

したがって、汚泥の種類及び性状によっては、汚泥サンプルを用いて凝集テストを行い、それに適合する高分子凝集剤を選定し、注入量を決定する必要がある。

(c) 無機系調質剤添加装置

(ア) 薬品溶解槽

薬品溶解槽は、計画汚泥量を基準とした薬品使用量を溶解できる容量とし、槽内は必要に応じて防食を施すとともに、攪拌機を設置する。また、容量は、使用する薬品の希釈濃度、希釈操作回数等から決定する。

(イ) 薬品貯蔵場所

薬品貯蔵場所は、薬品の使用量の10日分程度を保管できる大きさとし、薬品の搬出入に便利で、かつ、薬品添加装置と同一建物内か隣接した位置に設ける。

(d) 有機系調質剤添加装置

(ア) 高分子凝集剤溶解槽

(i) 槽の形状・構造

高分子凝集剤等の溶解槽の形状は、円形、角型が用いられることが多い。また、構造

上安全なものとする必要がある。かつ、その設置に当たっては、屋内、屋外のいずれに設ける場合も漏洩等に対する保守点検が容易に行えるように配慮する必要がある。なお、高分子凝集剤は吸湿性が高いので、貯蔵等にあたって防湿に十分配慮を要する。

(ii) 槽の容量

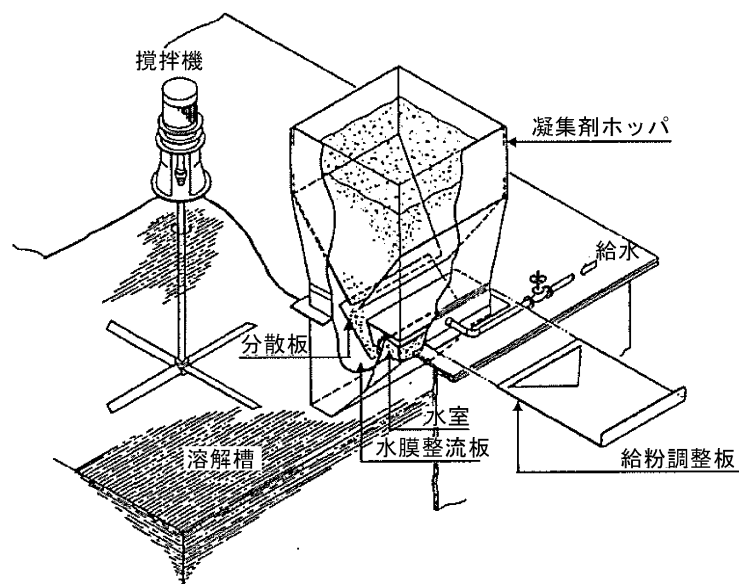
高分子凝集剤は溶解後長時間経過すると凝集性能が低下するので、溶解後すみやかに使用することが原則である。ノニオン・アニオン系高分子凝集剤は1～2日分、カチオン系高分子凝集剤は1日分の使用量を溶解することが多い。

したがって、溶解槽の有効容量は高分子凝集剤の1日最大使用量と溶解濃度で決定し、一般に計画注入量の1日分程度とされている。また、自動溶解装置等を設ける場合は計画注入量の1.5時間分程度の容量とし、粉体供給機の容量を決定することが多い。

(iii) 攪拌装置

高分子凝集剤を溶解するときは、一時に多量の粉末を水中に投入すると、粉末の表面だけが溶けて互いに付着し、内部の粉末まで水が浸透せず、溶解が不完全となることが多い。

この対策としては、水中に高分子凝集剤を少量ずつ加えて溶解する必要がある。その装置の例として図4.2-8に示したようなポリマー溶解装置がある。ポリマーの溶解槽の場合は、2槽設けて交互に使用することが多い。高分子凝集剤の供給槽は耐食性の材質を用いていることが多い。必要に応じてpH調整装置を設け、薬品が注入できるものを標準とする。

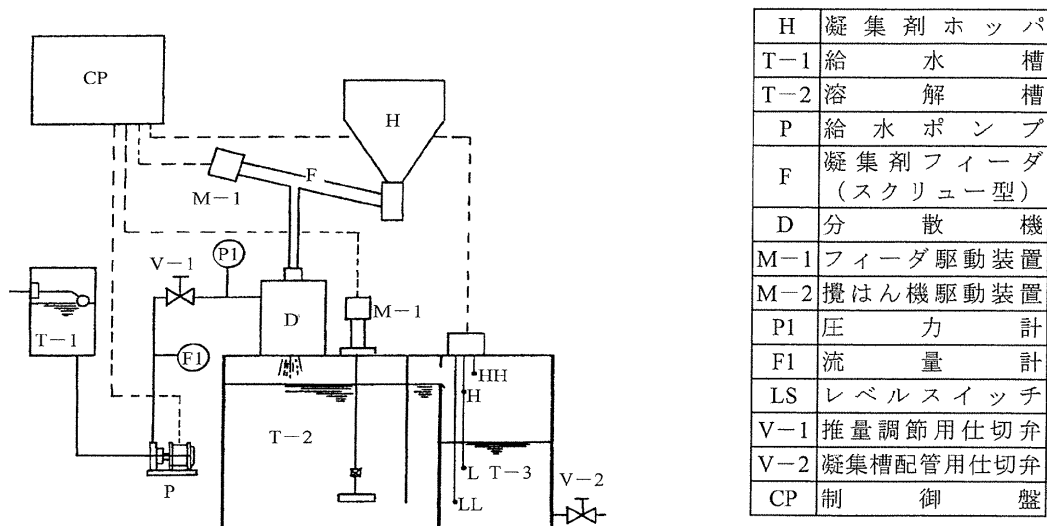


(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 173)

図 4.2-8 高分子凝集剤溶解装置の例¹⁾

1槽の容量は最大注入量の1～1.5日分程度とするが、連続溶解方式の場合は1槽で対応している例が多い。

なお、高分子凝集剤を必要に応じて定められた濃度に自動的に溶解する自動溶解装置も多く用いられている。図4.2-9に自動定量供給溶解装置の例を示す。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 174)

図 4.2-9 自動定量供給溶解装置の例¹⁾

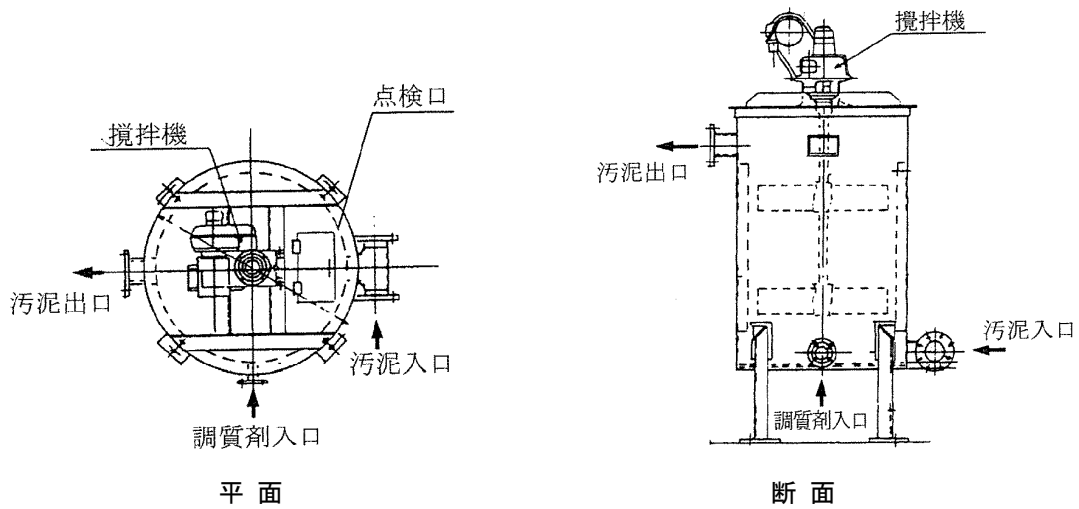
(イ) 凝集混和槽

凝集混和槽は、必要に応じて設ける。凝集混和槽は、短絡流のないような構造とし、攪拌機等を設置する。

汚泥と混合した薬品は、攪拌によって汚泥中の微細固形物をフロックにするので、攪拌の強さ及び時間によってその効果に著しい差が生じる。したがって、攪拌機の羽根の形状、回転数等に注意する必要がある。

また、凝集混和槽の接液部等には、薬品溶解槽に準じて防食するのが望ましい。

図4.2-10に凝集混和槽の構造例を示す。



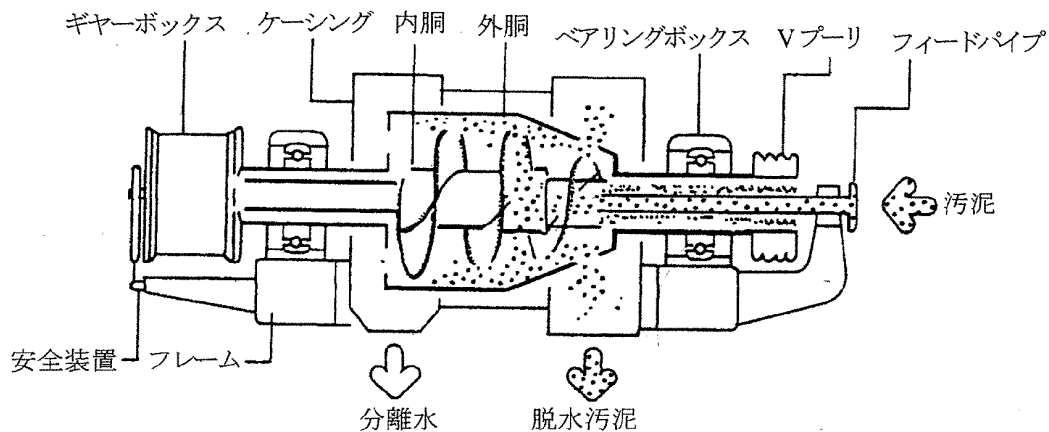
(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 362)

図 4.2-10 凝集混和槽の構造例¹⁾

(3) 脱水機

(a) 遠心脱水機

遠心脱水機は、横型円筒型のスクリーデカンタ型脱水機が用いられていることが多い。図4.2-11にスクリーデカンタ型遠心脱水機の構造例を示す。このスクリーデカンタ型脱水機は、1,000～3,000 Gの遠心力で高速回転させた外筒の内側で汚泥を濃縮脱水し、内筒に設けたスクリーコンベヤをやや低速回転させて脱水汚泥をかき寄せて排出する構造である。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 363)

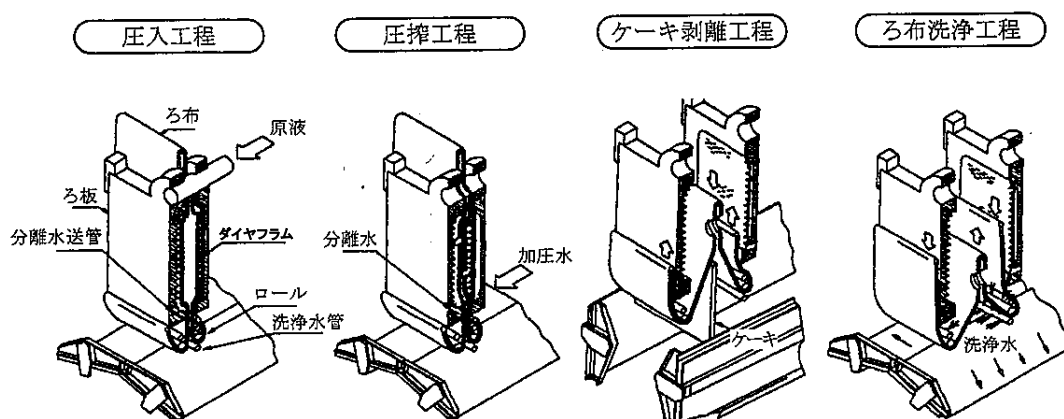
図 4.2-11 スクリューデカンタ型遠心脱水機の構造例¹⁾

(b) 加圧脱水機 (フィルタープレス脱水機)

加圧脱水機の型式には、ろ板とろ板の間にろ枠を入れてろ室を形成する複式と、ろ枠を用いないでろ板を並べてろ室をつくる単式に大別される。また、その組み立て構造でろ

板を水平に重ねる縦型と、垂直に配列する横型に分類される。なお、脱水汚泥の水分をさらに低下させるため、エアブローやダイヤフラムなどの圧搾機構を内蔵した脱水機が多く用いられている。圧搾機構付の脱水機は、汚泥の水分が低く、乾燥や焼却の際にエネルギーを節約できるが、動力費が高めとなり、ろ布やダイヤフラムの損耗により交換等の維持が必要で、据付面積も大きくなる。

図4.2-12に加圧脱水機の脱水工程例を示す。この図の例ではそれぞれろ布を張った2枚のろ板を組み合わせてできるろ過室を、必要容量に応じた室数だけ並べた構造である。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 364)

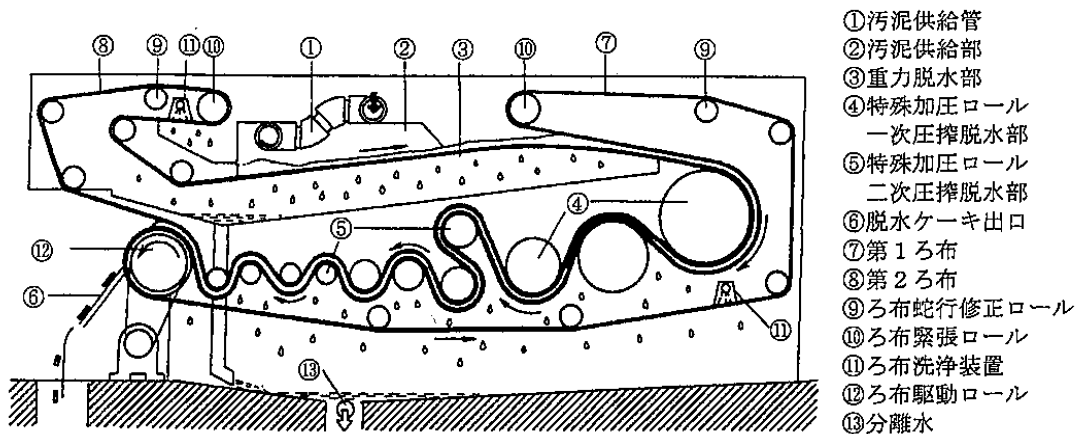
図 4.2-12 加圧脱水機の脱水工程例¹⁾

脱水操作は、ろ板全体を油圧で締めつけた状態で、ろ板にある穴から汚泥を圧入し、加圧することにより汚泥中の水分をろ板上に刻まれた多数の小さい溝を通して機外に排出される。

(c) ベルトプレス脱水機

ベルトプレス脱水機は、ろ布を使用するろ過型脱水機である。高分子凝集剤で調質した汚泥をベルト状のろ布の上で重力によって脱水し、汚泥の流動性を失わせてから2枚のろ布の間に挟み、上下のロール及びろ布の張力によって徐々に圧縮したのち、最後に強く圧搾してケーキ状にして排出させるものである。上下のロールで圧搾する場合、支持ロールとプレスロールの組み合わせにより、汚泥への圧力の加え方が異なる。

対向ロール式は、上下のロールが垂直に位置する場合で、ロールの中心線上で最大の圧力が加えられるが、圧搾時間は短い。水平ロール式は、支持ロールとプレスロールが水平方向に配列されたもので、ろ布の張力とロールの圧縮力及びせん断力により汚泥が圧搾される。図4.2-13にベルトプレス脱水機の構造例を示す。



- ①汚泥供給管
- ②汚泥供給部
- ③重力脱水部
- ④特殊加圧ロール
一次圧搾脱水部
- ⑤特殊加圧ロール
二次圧搾脱水部
- ⑥脱水ケーキ出口
- ⑦第1ろ布
- ⑧第2ろ布
- ⑨ろ布蛇行修正ロール
- ⑩ろ布緊張ロール
- ⑪ろ布洗浄装置
- ⑫ろ布駆動ロール
- ⑬分離水

(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 365)

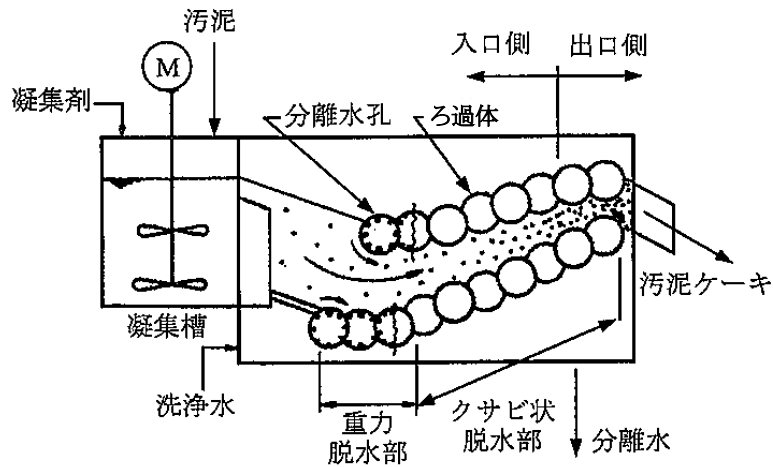
図 4.2-13 ベルトプレス脱水機（水平ロール式）の構造例¹⁾

本脱水機では重力脱水工程が重要な役割を果たしている。重力脱水が不十分な場合には圧搾工程で汚泥がろ布からはみ出すおそれがあるため、調質剤と汚泥の凝集混和条件が重要である。混和方法には、横型回転円筒式、攪拌槽式、パイプ注入式等がある。このようにろ布の張力により圧搾する方法とは別に、圧搾工程の最終で2枚のろ布間の汚泥を1個の高圧圧縮ローラと高圧ベルトの間に挟み、高圧ベルトに強い張力を与えて脱水する方法もある。

なお、ろ布の洗浄水は重力脱水部のろ液を利用する場合もある。

(d) 多重円板脱水機

多重円板脱水機の構造例を図4.2-14に示す。薄片の円板とスペーサーを重ね合わせたろ過体を構成している。このろ過体をろ過部と脱水部からなるろ過脱水槽内に複数配置し、 1 min^{-1} 以下の低速で回転させ、連続した毛細管現象を再生し続けることで脱水する。円板まで達した分離水は円板の隙間を通り、分離水孔を通過して機外へ排出される。また、ろ過体上に堆積した汚泥分はろ過体の回転につれてケーキ出口へ移動し、脱水部でさらに濃縮され、脱水ケーキとして排出される。



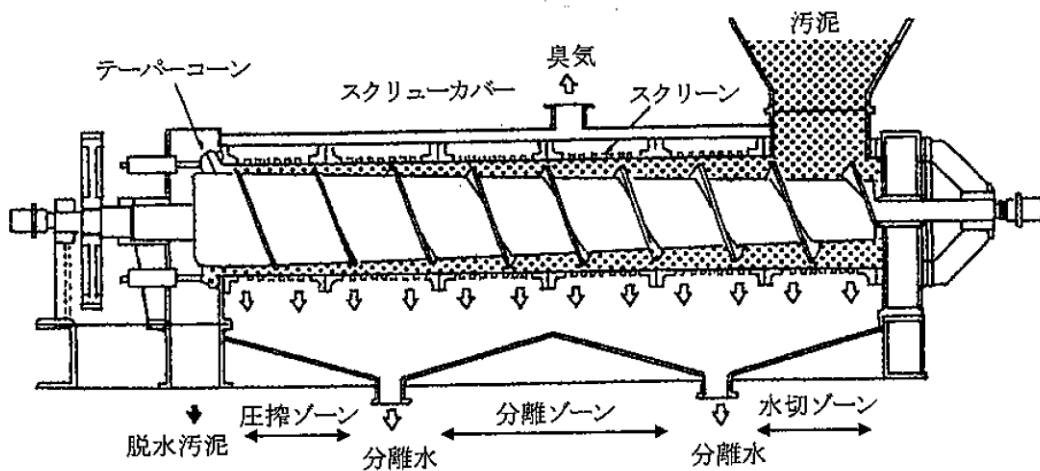
(出典：下水道施設計画・設計指針と解説後編，473)

図 4.2-14 多重円板脱水機の構造例⁷⁾

ろ布を使うタイプの脱水機と比較し、ろ過面のスリットが大きいことから、高分子凝集剤により強く比較的大きなフロックを形成することが必要である。最近の傾向では、アニオン系高分子凝集剤とカチオン系高分子凝集剤を併用するケースが多くなっている。

(e) スクリュープレス脱水機

スクリープレスの構造例を図4.2-15に示す。脱水機の前半部で重力脱水を行い、後半部でスクリー羽根の押出しによる圧搾力と回転によるせん断力で脱水するもので、分離水をスクリーケーシングから排出する。このようにスクリー羽根の圧搾とせん断力に依存しているため、各スクリー羽根間における汚泥の充填率が100%であることが必要で、この充填率は処理量にも影響する。したがって、ホップ部における分離水の透過性を良くすることが重要で、汚泥の調質には高分子凝集剤の添加による方法が適している。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版，366)

図 4.2-15 スクリュープレス脱水機の構造例¹⁾

(4) 脱水機能力

脱水機の能力を決定する際には、処理方式、処理汚泥量、処理固形物質量、運転時間等を考慮し、十分な能力のものを選定する必要がある。

(a) 各種脱水機の特徴

脱水機には多くの種類があるが、一般に遠心脱水機、加圧脱水機、ベルトプレス脱水機、多重円板脱水機、スクリーンプレス脱水機が多く用いられている。これらの各種脱水機の特徴及び構造等を表4.2-6に示し、表4.2-7には各社の脱水機比較表（助燃剤化用）を示す。

脱水汚泥の水分量（含水率）は、脱水機の種類、汚泥の処理量ならびに性状、調質度合等多くの因子により変動する。したがって、脱水機の機種を選定する際には、脱水汚泥の再利用方法を考慮するとともに、安全性、運転管理性、経済性、地域特性、環境保全性等を考慮し、総合的に判断して決定する必要がある。

表4.2-6 各種脱水機の特徴¹⁾

| | 遠心脱水機 | 加圧脱水機 | ベルトプレス脱水機 | 多重円板脱水機 | スクリープレス脱水機 |
|-----------|--|--|--|--|---|
| 原理及び構造 | 1000～3000Gの遠心力で高速回転させた外胴の内側に汚泥を濃縮脱水させ、濃縮した汚泥は外胴とわずかな回転速度差のあるスクリーによって排出する。 | ろ布の両面に圧力差を造り、汚泥に400～500kPa程度の圧力をかけて水分を移動し、最後に圧搾して脱水する。 | ベルト状のろ布上で重力によって脱水した後、2枚のろ布の間に挟み、上下のロール等で徐々に圧縮したのち、最後に強く圧搾して脱水する。 | 上下に配列された複数の円板を低速回転させ、連続した毛細管現象を再生し続けることで脱水する。 | 前半部で外胴の円筒により重力ろ過を行い、後半部でスクリー羽根の押出しによる圧搾力と、回転によるせん断力で脱水する。 |
| 運転上の注意 | <ul style="list-style-type: none"> 薬品注入率 薬品選定 ボールとスクリーの回転差 分離水溢流せき高さ調整 | <ul style="list-style-type: none"> 薬品注入率 薬品選定 圧力調節 加圧時間 ろ布の選定 | <ul style="list-style-type: none"> 薬品注入率 薬品選定 ろ布緊張圧力の調整 ろ布の選定 ろ布の走行速度 | <ul style="list-style-type: none"> 薬品注入率 薬品選定 入口、出口ろ過体の回転速度 | <ul style="list-style-type: none"> 薬品注入率 薬品選定 汚泥の連続供給 スクリー回転数 |
| 脱水汚泥含水率*1 | 80～85% | 70～80% | 80～85% | 80～85% | 75～85% |
| 調質剤と注入率 | 高分子調質剤をSS当り0.5～2.5%注入する。 | 塩化第二鉄の併用。高分子調質剤をSS当り0.5～1.0%注入する。 | 高分子調質剤をSS当り1.0～2.0%注入する。 | 高分子調質剤をSS当り1.0～2.0%注入する。 | 高分子調質剤をSS当り1.0～2.0%注入する。 |

*1：脱水汚泥含水率の数値は汚泥の性状、調質剤の適正度、調質剤注入率等により変動する。

(出典：計画・設計要領2006改訂版，363)

表4.2-7 各社の脱水機比較表（助燃剤化用）²⁾



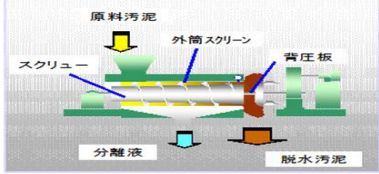
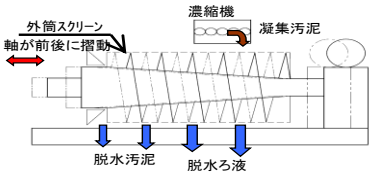
| メーカー名 | クボタ環境サービス | 水ing |
|------------------------------------|--|---|
| 1. 型式 | 背圧板移動型スクリュープレス | 軸摺動式 スクリュープレス脱水機 |
| 2. 外観写真 |  |  |
| 3. 構造図 |  |  |
| 4. 原理と構造 | 脱水汚泥排出部の圧力を監視し、圧力が高くなった場合、背圧板を移動することで低含水率の脱水汚泥を排出する。 | 従来型のスクリュープレス脱水機に軸摺動機構を設けることで、固くなる低含水率脱水汚泥の閉塞を解消し、連続安定運転を可能にした。前段に無閉塞型の濃縮機を付属し、粗濃縮することで濃度変動に対応するとともに、脱水機本体での脱水性を大幅に向上した。 |
| 5. 特長 | 低含水率の汚泥が排出部で固着し閉塞することを防止し、助燃剤化を安定的に行う。 | <ul style="list-style-type: none"> ・0.1～0.5min⁻¹回転数の低速回転で低騒音かつ低振動。 ・70%以下に固くなる脱水汚泥を摺動により強制排出。 ・油分に対し閉塞がない。 ・消耗部品が少なく現場での修繕が可能。 ・し尿等の直接脱水では前処理や細砂処理を省略可能。 ・余剰汚泥単独でも助燃剤化対応可能 ・直接脱水の助燃剤化実績は最も多い。 |
| 6. 運転操作因子 | 排出部圧力 | <ul style="list-style-type: none"> ・圧力 ・トルク ・タイマ |
| 7. 対象物 | <ul style="list-style-type: none"> ・し尿 ・浄化槽汚泥 ・余剰汚泥 | <ul style="list-style-type: none"> ・し尿 ・浄化槽汚泥 ・余剰汚泥 |
| 8. 調質剤の種類 | 無機系調質剤（ポリ硫酸第二鉄、硫酸バンド等）＋有機系調質剤（高分子凝集剤）＋脱水補助剤（非常用） | <ul style="list-style-type: none"> ・高分子凝集剤 ・無機凝集剤 |
| 9. 含水率 | 70%以下 | 70%以下 |
| 10 納入実績 (1) 1号機 納入場所 処理規模 | 納入台数 26基 (2017(平成29)年11月現在) (1) 1号機 納入場所: 広島中央環境衛生組合 (竹原クリーンセンター) 処理規模: 50 kL/d | 幡西衛生処理組合 62 kL/日 |
| 11 開発の経緯 | 助燃剤化が資源化設備として認められた2005(平成17)年より開発。前脱水(助燃剤化)特有の低含水率汚泥による閉塞が課題であった。各種試験を経て、改造案件である竹原クリーンセンターに1号機を納入した。 | 助燃剤化が資源化設備として認められる以前から開発を進めて2005(平成17)年には1号機を受注。低含水率汚泥による閉塞を軸摺動機構で、解消した。 |

表 4.2-7 各社の脱水機比較表（助燃剤化用）²⁾

| メーカー名 | クリタス | 西原環境 |
|------------------------------------|---|---|
| 1. 型式 | ダブルウェッジシナジープレス | 遠心脱水機（低動力型高効率） |
| 2. 外観写真 | — |  |
| 3. 構造図 |  |  |
| 4. 原理と構造 | 供給汚泥は、造粒装置にて強固なフロック生成と濃縮が行われている。濃縮された汚泥は、スクリープレス脱水機にて脱水され低含水率化を図っている。 | 供給汚泥は回転筒の回転により遠心力を受け分離液と固形物に分離される。分離した汚泥はスクリーコンベヤによって圧密されたドライビーチへ無機凝集剤を直接注入し、汚泥ケーキとして排出される。 高回転: $2000 \sim 3000 \text{ min}^{-1}$ （外筒） $1 \sim 20 \text{ min}^{-1}$ （差速） |
| 5. 特長 | 造粒装置とスクリープレス脱水機を融合させたシステムである。造粒装置では、無機凝集剤による調質と両性高分子剤による凝集が行われた汚泥を特殊な旋回流を与えることで強固なフロックを生成し、スクリーンにて濃縮することで効率的な脱水を可能としている。 脱水部では、特殊ワイヤーバレルの機構を用い、目詰りにくい構造とするとともに、汚泥出口の脱水リングでバレル内圧を高めている。 | 1台あたりの処理量が大きく、据付面積が小さい。ただし消費電力が大きい。 |
| 6. 運転操作因子 | <ul style="list-style-type: none"> 薬品注入率 薬品の種類 し渣の有り 脱水機回転数 リング数 | <ul style="list-style-type: none"> 薬品注入率 薬品の選定 ボールとスクリーの回転数 分離液溢流堰高さ調整 |
| 7. 対象物 | <ul style="list-style-type: none"> 搬入し尿、搬入浄化槽汚泥 余剰汚泥 上記と混合 | <ul style="list-style-type: none"> し尿 浄化槽汚泥 余剰汚泥 |
| 8. 調質剤の種類 | <ul style="list-style-type: none"> 高分子凝集剤 ポリ硫酸第二鉄 pH調整剤 | <ul style="list-style-type: none"> 高分子凝集剤 ポリ硫酸第二鉄 炭酸カルシウム |
| 9. 含水率 | 70%以下 | 70%以下 |
| 10 納入実績 (1) 1号機 納入場所 処理規模 | 東埼玉資源環境組合 235 kL/日（2018（平成30）年1月稼働予定） | 津久井クリーンセンター 89 kL/日 |
| 11 開発の経緯 | 2015（平成27）年：日本環境衛生センター実証試験調査報告書 取得。 | 千葉県市原市臨海衛生工事内において実証試験を実施。 （実証実験期間：2010（平成22）年9月から2010（平成22）年11月） 2010（平成22）年、一般財団法人日本環境衛生センターより性能調査報告書を取得。 |

表 4.2-7 各社の脱水機比較表（助燃剤化用）²⁾



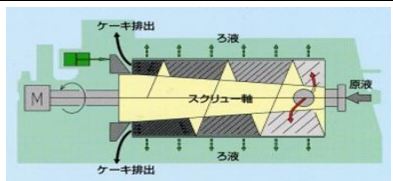
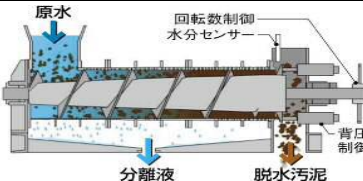


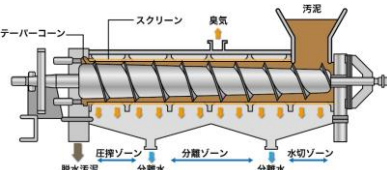

| メーカー名 | 日立造船 | 三井造船環境エンジニアリング |
|-----------------------------------|--|--|
| 1.型式 | スクリーンプレス | 高効率スクリーンプレス型脱水機 （水分自動制御型） 商標：スマートプレス |
| 2.外観写真 |  |  |
| 3.構造図 |  |  |
| 4.原理と構造 | 脱水機は固定された円筒状の外筒スクリーンと出口に向かい直径が大きくなるテーパ状の回転スクリーンで構成されており、スクリーンの低速回転で入口から出口に向かう容積変化と出口での加圧圧力制御より連続・安定的に一定含水率となるよう脱水する。 | 連続測定式水分センサーをスクリーンプレス脱水機出口部に設置し、脱水汚泥の含水率を常時計測することにより、背圧板圧力及びスクリーン回転数を自動制御し、脱水汚泥の含水率を70%以下に維持する。 |
| 5.特長 | 据付面積が他型式脱水機より比較的大きい、低速回転のため、消費電力が小さく、騒音、振動も小さい。 | ・水分計による自動制御運転により、原料の性状変動へ対応。 ・低速回転で消費電力が小さい。 |
| 6.運転操作因子 | <ul style="list-style-type: none"> ・薬品注入率 ・薬品の選定 ・スクリーンの回転数 ・プレスの圧力 | <ul style="list-style-type: none"> ・薬品注入率 ・背圧板圧力 ・スクリーン回転数 |
| 7.対象物 | <ul style="list-style-type: none"> ・し尿 ・浄化槽汚泥 ・余剰汚泥 | <ul style="list-style-type: none"> ・し尿 ・浄化槽汚泥 ・余剰汚泥 |
| 8.調質剤の種類 | <ul style="list-style-type: none"> ・高分子凝集剤 ・ポリ硫酸第二鉄 | <ul style="list-style-type: none"> ・無機系調質剤 ・高分子凝集剤 |
| 9.含水率 | 70%以下 | 70%以下 |
| 10.納入実績 (1)1号機 納入場所 処理規模 | 沖縄県東部清掃施設組合 汚泥再生処理センター （処理能力107 kL/日、農集汚泥0.3 m ³ /日） | 和歌山市 484 kL/日 |
| 11.開発の経緯 | 2010（平成22）年度：埼玉県春日部市環境センター内において実証試験を実施。 2011（平成23）年度：一般財団法人日本環境衛生センターより性能調査報告書を受領。 | 2010（平成22）年度：広島県内し尿処理場で実証試験。 2011（平成23）年度：福岡県内汚泥再生処理センターで実証試験を行い、日本環境衛生センターの性能調査報告書を取得。 2016（平成28）年度：本システムによる助燃剤化1号機を納入。 |

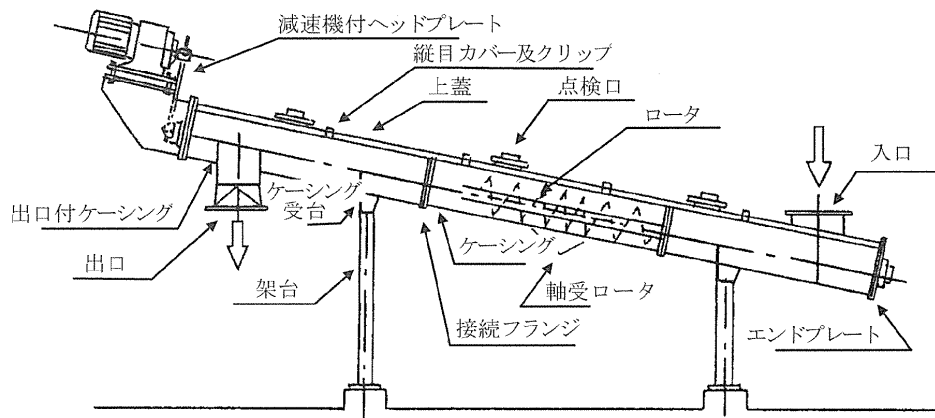
表4.2-7 各社の脱水機比較表（助燃剤化用）²⁾

| メーカー名 | 住友重機械エンパイロメント | 浅野アタカ |
|------------------------------------|--|--|
| 1. 型式 | スクリープレス型 | スクリープレス型汚泥脱水機 |
| 2. 外観写真 |  |  |
| 3. 構造図 |  |  |
| 4. 原理と構造 | 前半部で外胴の円筒により重力ろ過を行い、後半部でスクリー羽根の押出しによる圧搾力と、回転によるせん断力で脱水する。 | 汚泥脱水機は濃縮機で固液分離された汚泥に対して、内部にあるスクリーを回転させて汚泥投入口から脱水汚泥排出口に向かい容積変化により連続して脱水する機構であり、特殊な内部構造により処理能力を向上させるものとなっている。 |
| 5. 特長 | <ul style="list-style-type: none"> ・低動力、低騒音 ・スクリー部ピッチと角度に独自技術。 ・安定運転。 | <ul style="list-style-type: none"> ・安定した運転が可能である。 ・機体本体に傾斜角度がついている ・脱水機前段及び後段に分けて分離液を採取可能である ・省電力、低振動、低騒音である。 ・鉄系無機凝集剤を使用しない。 |
| 6. 運転操作因子 | <ul style="list-style-type: none"> ・駆動部電流値 | <ul style="list-style-type: none"> ・薬品添加率 ・薬品種類 ・汚泥脱水機回転数 ・圧力板 |
| 7. 対象物 | <ul style="list-style-type: none"> ・余剰汚泥、凝集汚泥 | <ul style="list-style-type: none"> ・し尿 ・浄化槽汚泥 ・余剰汚泥 |
| 8. 調質剤の種類 | <ul style="list-style-type: none"> ・高分子凝集剤 ・ポリ硫酸第2鉄 ・古紙又は繊維剤 | <ul style="list-style-type: none"> ・脱水助剤 ・高分子凝集剤 |
| 9. 含水率 | 70%以下 | 70%以下 |
| 10 納入実績 (1) 1号機 納入場所 処理規模 | 下北地域広域行政事務組合 (青森県) 220 kL/日 | 福岡市 65kL/日 |
| 11 開発の経緯 | 助燃剤化脱水機として、スクリープレス型脱水機メーカーと共同技術開発。 | 2018（平成30）年：日本環境衛生センター実証試験調査報告書 取得予定。 |

(5) 脱水汚泥移送装置

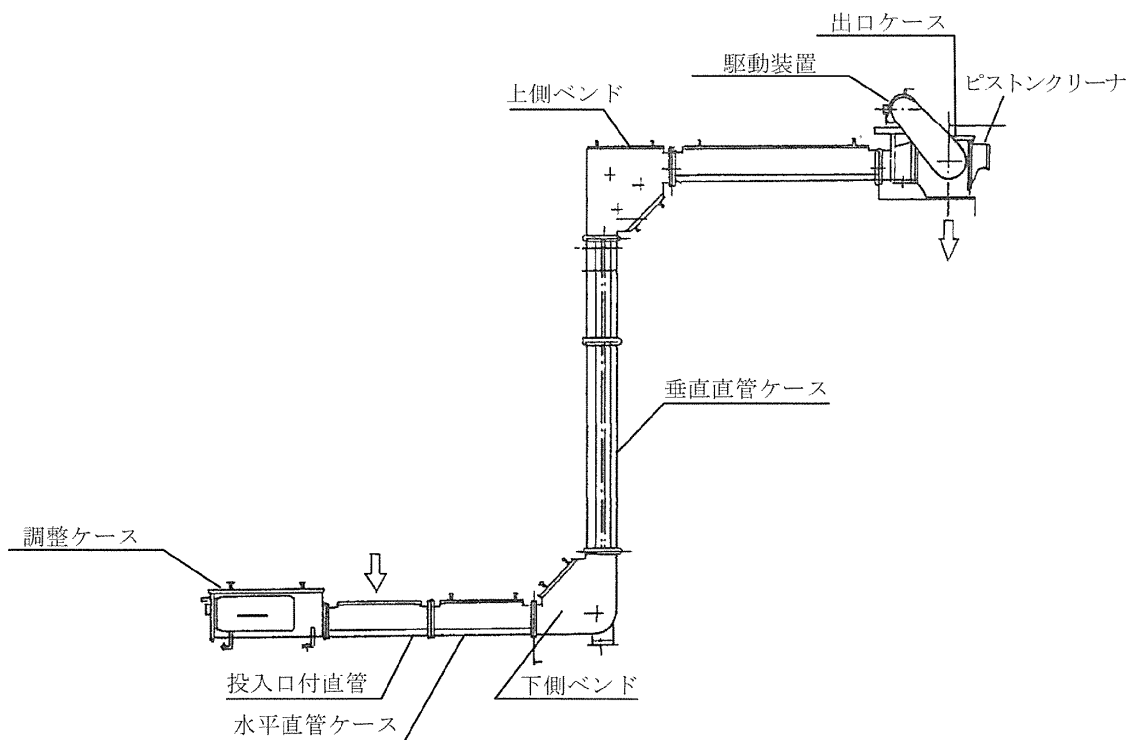
(a) 装置の種類

脱水汚泥の移送は、ベルトコンベヤ、スクリーコンベヤ、フライトコンベヤの他、一軸ネジポンプによる圧送等によって行われる。図4.2-16～図4.2-18にそれぞれの構造例を示す。



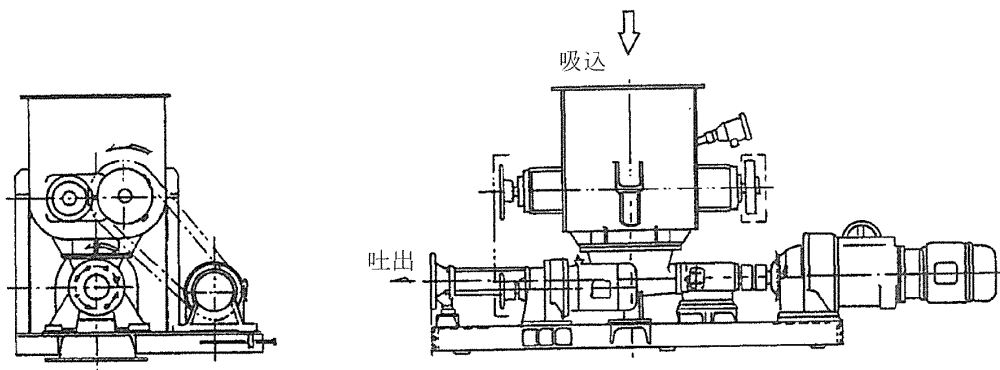
(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 366)

図 4.2-16 スクリューコンベヤの構造例¹⁾



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 367)

図 4.2-17 フライトコンベヤの構造例¹⁾



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 367)

図 4.2-18 一軸ネジポンプの構造例¹⁾

(b) 装置の留意事項

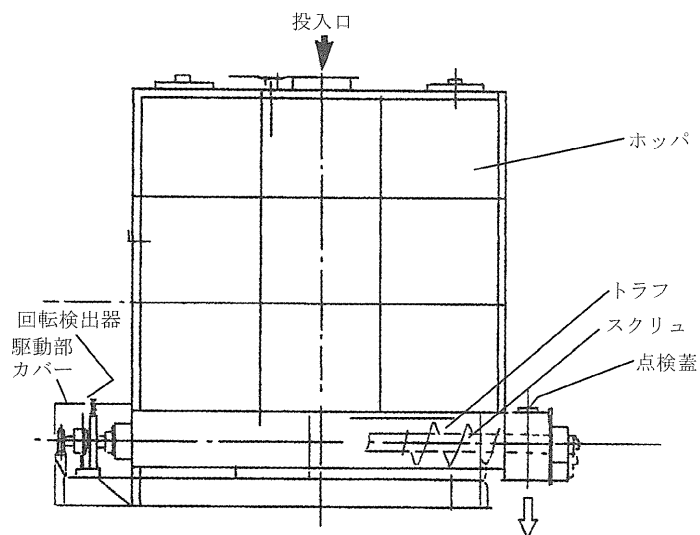
移送装置の設計に際しては、次のような点に留意する必要がある。

- ①必要な汚泥量を移送できる容量とする。
- ②閉塞、付着及び漏出等が生じないものとし、かつ、保守点検が容易なものとする。
- ③密閉構造で行い、臭気の発散がないものとする。
- ④汚泥と接触する部分については耐食性の材質を用いる。

(6) 脱水汚泥貯留装置

(a) 装置の構造

脱水汚泥の貯留装置にはステージ、ホップ等がある。貯留装置の構造例を図4.2-19に示す。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 367)

図 4.2-19 脱水汚泥貯留装置の構造例¹⁾

貯留装置の設計に際しては、次のような点に留意する必要がある。

- ①貯留した脱水汚泥を容易に排出できる構造とする。
- ②ホップ等は、架橋が形成しない構造とする。
- ③貯留する脱水汚泥からの排水対策、臭気対策等を講じたものとする。

(b) 装置の容量

貯留装置の容量は、脱水汚泥量と資源化設備等への供給量あるいは搬出量、搬出頻度から定める。一般に、搬出車両等への積み込み、または資源化設備への供給等に見合ったものとする。

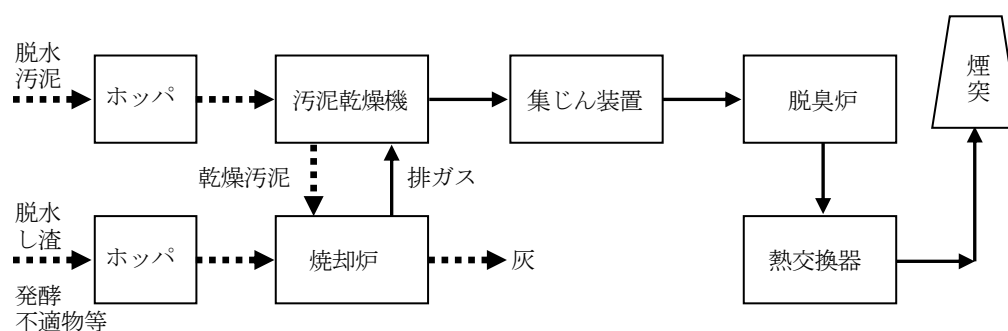
なお、脱水汚泥のかさ密度は、含水率により多少異なるが800 kg/m³程度である。

4.2.4 焼却設備

(1) フローシート

脱水したし渣及び再生利用しない場合の汚泥は、焼却設備や加熱処理設備により衛生的な処理をする必要がある。焼却設備の容量は、収集し尿の性状によって除去し渣や発生汚泥の量が異なるので、これらの量を調査して決定する必要がある。一般的には収集し尿等1 m³当たりし渣除去量2～8 kg-DS、汚泥発生量8～10 kg-DS程度で計算される。また、汚泥資源化のための乾燥機と組み合わせて、これらの焼却設備として構成される場合もある。

図4.2-20に本装置のフローシートの一例を示す。なお、資源化設備（メタン発酵設備）から発生した発酵不適物の衛生処理を目的として本設備で焼却処理することもある。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 369)

図 4.2-20 汚泥乾燥と組合わせた焼却設備のフローシートの例¹⁾

(2) 供給装置

(a) 供給装置及び能力

供給装置は、脱水し渣及び乾燥汚泥を焼却炉の能力に見合った量に調節して供給するための装置である。通常、スクリーフィーダが用いられる。

(b) ホッパ容量

脱水し渣及び乾燥汚泥の発生量は、し尿等の量、性状変動等の影響を受けて変動する。ホッパは、脱水し渣及び乾燥汚泥の発生量と焼却炉の能力差を調整するのに十分な容量とする。なお、脱水し渣及び乾燥汚泥のかさ密度は、 500 kg/m^3 程度である。

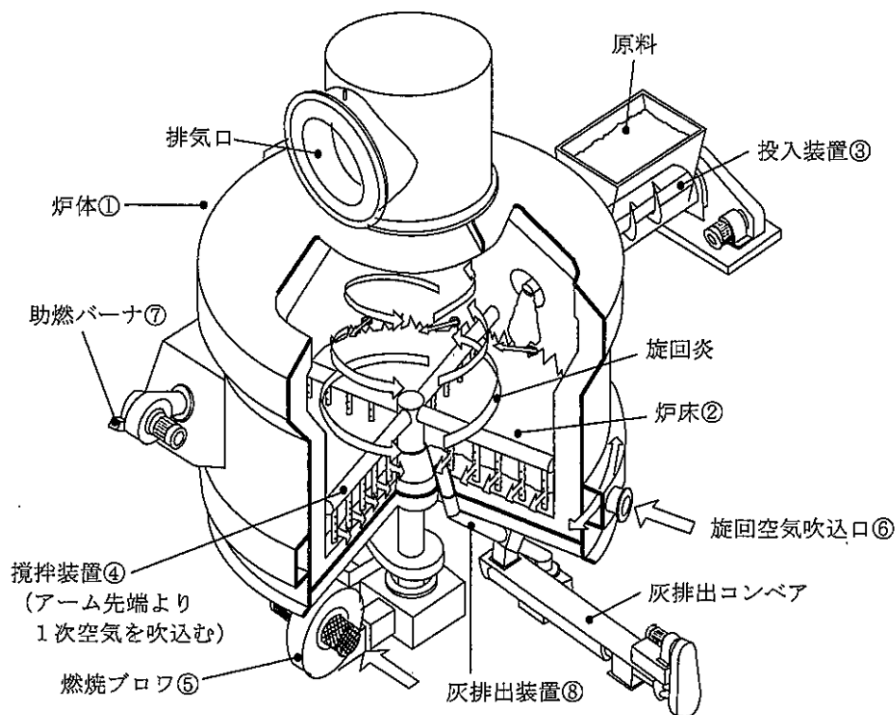
脱水し渣及び乾燥汚泥は腐食性があるので、これらに接する部分に防食措置を講ずるものとする。金属が擦り合う部分については塗装でなく耐食性材質のものを用いることが多い。

(3) 焼却炉

脱水し渣及び乾燥汚泥の焼却プロセスは、大部分の過程が水分の蒸発過程(乾燥過程)であり、その後に残存固形分の燃焼過程(焼却過程)が行われる。焼却については、乾燥と焼却を別々の方式で行わせる方式と、同一装置内で行わせる方式の2型式がある。また、炉構造からは、回転アーム式焼却炉、火格子式焼却炉、流動床式焼却炉等に分類される。脱水し渣及び乾燥汚泥は、通常 $11,700 \sim 18,000 \text{ kJ/kg-DS}$ 程度の発熱量を有する。焼却は、この燃焼熱によって脱水し渣及び乾燥汚泥の無害化、減容化をはかるものである。

(a) 回転アーム式焼却炉

ここに紹介する回転アーム式焼却炉は、図4.2-21に示すように、空気を吹き出しつつ水平回転する攪拌装置を炉内にもった円形一段固定炉である。攪拌装置より噴出する空気により、炉内燃焼炎に旋回流を形成させるようにしている。



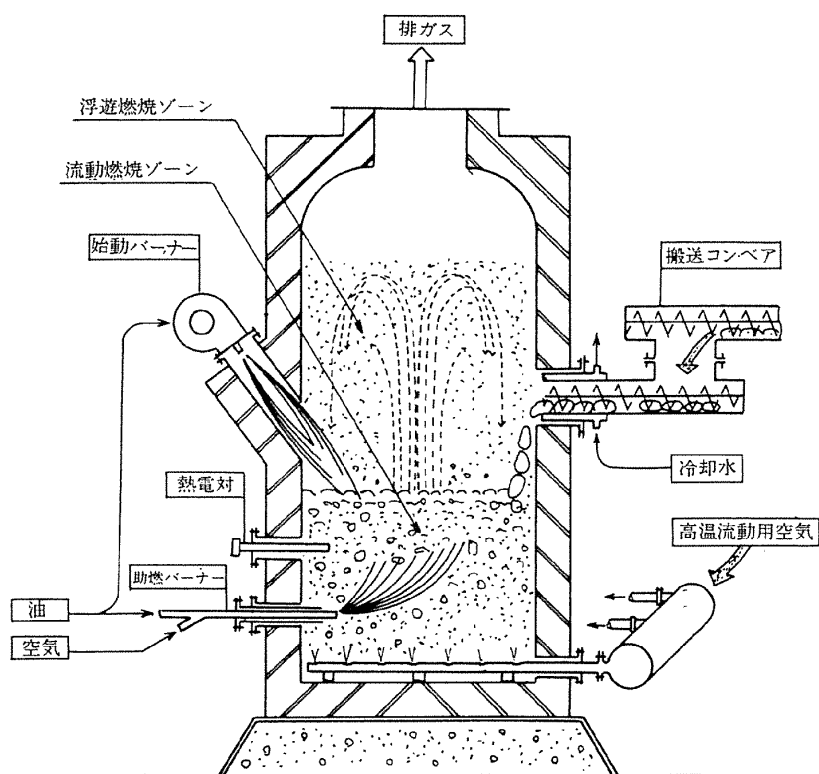
(出典：計画・設計要領2006改訂版, 370)

図 4.2-21 回転アーム式焼却炉の構造例¹⁾

旋回炎燃焼と攪拌装置との相乗効果によって炉内温度をほぼ均一にすることができるので、被焼却物への放射及び対流伝熱が炉内全域で強力に行われる。炉床の灰層上に投入された被焼却物の温度が上昇するにつれて、約200℃までの間で気化ガスが、200～600℃で熱分解ガスが発生する。これらの可燃性ガスは、攪拌主軸(中空パイプ)に連通した攪拌アームに付設した多孔パイプから吹き出される焼却空気により焼却される。被焼却物は攪拌装置により常に表面が更新され、可燃性ガスは炉床上で平均して発生する。

(b) 流動床式焼却炉

流動床式焼却炉は、図4.2-22に示すように、一般に中空竪形で、炉の内部は、ウインドボックスまたは散気管、流動層及びフリーボードからなる。炉本体は、耐火れんがなどを内張りした鋼板製シェルによって構成される。炉に供給された被燃焼物は、流動層内の流動媒体と接触し、攪拌効果を伴った急激な熱伝達を受け、水分の蒸発及び被燃焼物の燃焼分解が起こる。燃焼後の焼却灰は、フリーボード部へと舞い上がり、燃え残りの可燃物と流動層において揮発した可燃ガスとが燃え尽くされる。排ガス中の臭気成分が熱によって分解されるので、一般には脱臭装置を必要としない。大量の砂を流動化させるために所要電力が大きい場合がある。



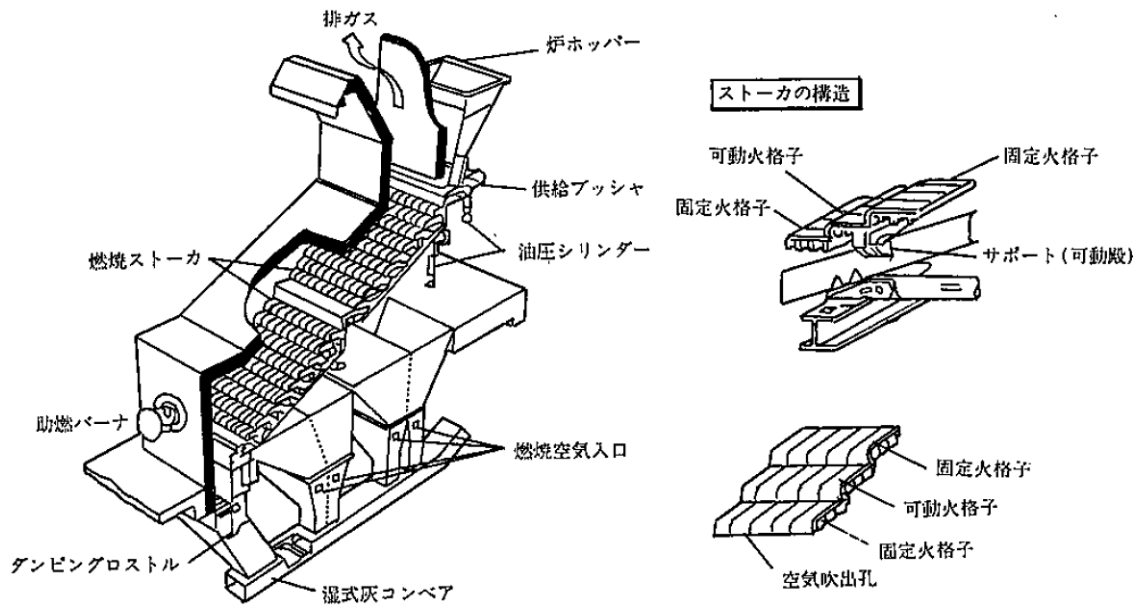
(出典：構造指針解説 1988年版, 374)

図 4.2-22 流動床式焼却炉の構造例⁸⁾

(c) 火格子式焼却炉

火格子とは、燃焼の際に汚泥等をのせる格子状のもので、火格子を階段状に並べた燃焼装置をストーカと呼ぶ。

階段式ストーカ炉は図4.2-23に示すように、鋼板製外板の内側を耐火及び断熱炉材で構築された燃焼室とストーカ部で構成される。



(出典：構造指針解説 1988年版, 372)

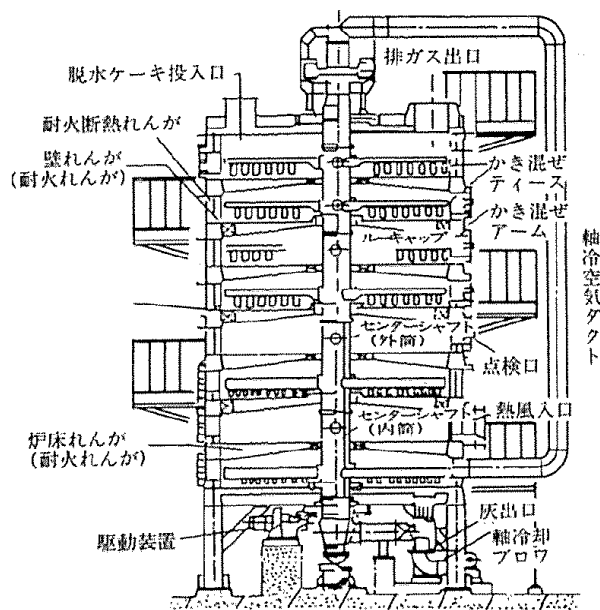
図 4.2-23 階段式ストーカ炉の構造例⁸⁾

ストーカは可動及び固定火格子を階段状に配置し、油圧等により可動火格子に往復運動を伝える。可動火格子は固定火格子上を水平に、一定ストロークにて前後、後進する。各火格子の前面には、燃焼用空気の吹出孔が設けられ、ストーカ下部から送気される空気と汚泥が効率よく接触し燃焼性を高めると共に、送気による冷却効果によりストーカの焼損を防止する。

投入された汚泥は、炉壁及びガス火炎より熱輻射を受け、更に乾燥されて、着火点以上に温度が上昇すると熱分解ガスが燃焼し始める。階段式のものにおいては、各段に設けられたプッシャーにより逐次下段に落下移送される際に攪拌反転が行われ焼却される。なお、小型の焼却炉で固定火格子式としたものもある。

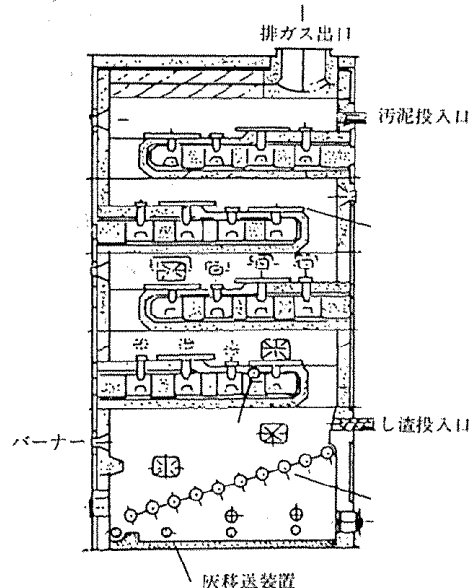
(d) 多段式焼却炉

多段式焼却炉は図4.2-24及び図4.2-25に示すような2～8段程度の乾燥段を積み重ねた構造である。汚泥を各段の炉床上で混合攪拌しつつ解砕させながら下段への落下を繰り返させ、下段からの燃焼ガスとの向流接触により順次、乾燥、焼却へと移行させる。



(出典：構造指針解説 1988 年版, 376)

図 4.2-24 多段式焼却炉の構造例 (1) 8)



(出典：構造指針解説 1988 年版, 376)

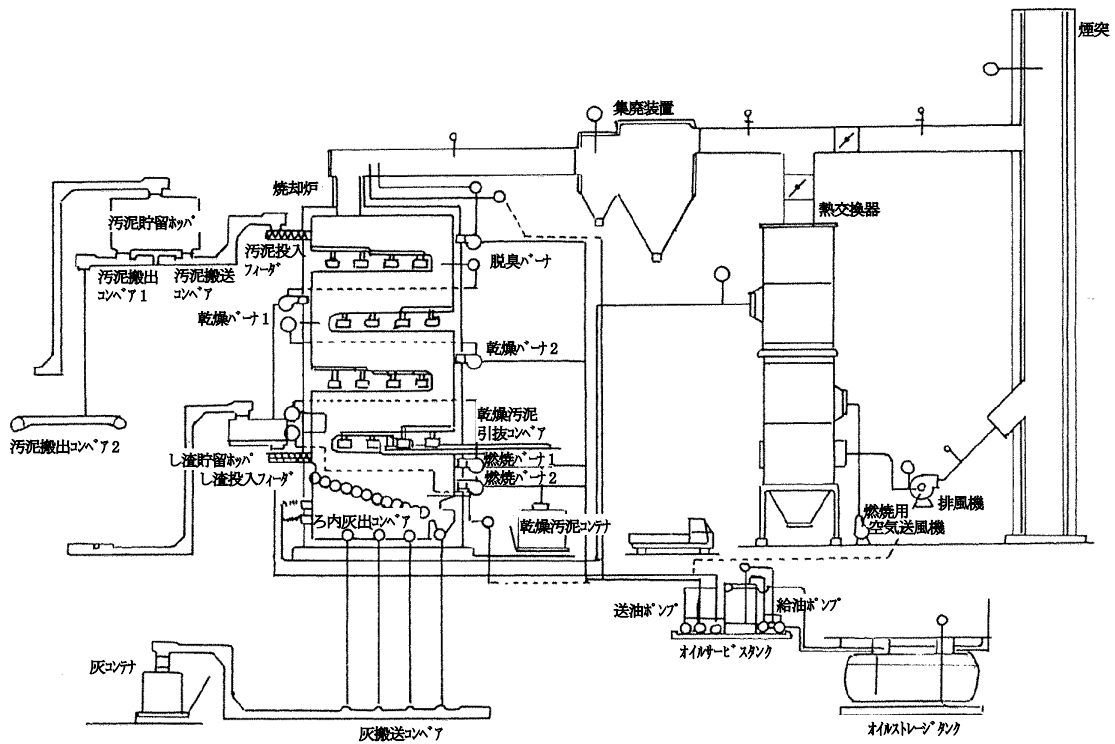
図 4.2-25 多段式焼却炉の構造例 (2) 8)

図4.2-24の多段式燃焼炉は、耐火レンガの炉床、放熱を防ぐ炉壁、脱水汚泥をかき混ぜて移動させるセンターシャフトやかき混ぜアーム及びかき混ぜティース、炉全体を支持するシェル、補助燃焼装置、駆動装置等によって構成される。また図4.2-25の多段炉は、一段の炉床に4～8枚の回転羽根で攪拌を行っている。

両者の多段式焼却炉の構造の相違は、図から明らかなように、攪拌機構と灰の取り出し機構であり、処理規模や用途によって選定するとよい。

多段式焼却炉は、冷却過程と乾燥過程とにおける熱回収によって熱効率が高く維持され、炉内の滞留時間も長いので、比較的含水率の高い脱水汚泥でも安定した運転ができる。乾燥過程が炉の排ガス出口側に位置するため、排ガスの臭気が強いので、脱臭には十分な対策が必要である。

多段式焼却炉のフローの例を示すと図4.2-26のとおりである。このフロー例では乾燥最上段に脱臭バルナを設置してある。また脱水汚泥と脱水し渣を別々に炉内へ供給して、乾燥汚泥として取り出すことも可能としている。

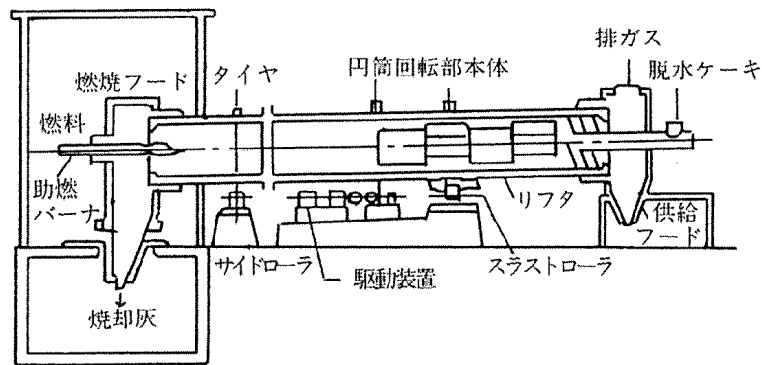


(出典：構造指針解説 1988年版, 376)

図 4.2-26 多段式焼却炉のフローの例⁸⁾

(e) 回転式焼却炉

回転式焼却炉は、通常ロータリーキルンと呼ばれるもので、図4.2-27に示すように耐火材を内張りした横置き円筒回転部本体及び固定部である供給フードと燃焼フードとで構成される。炉筒内は乾燥帯と燃焼帯からなり、炉筒の傾斜と回転運動によって供給された脱水汚泥は順次、乾燥及び燃焼の過程を移行する。



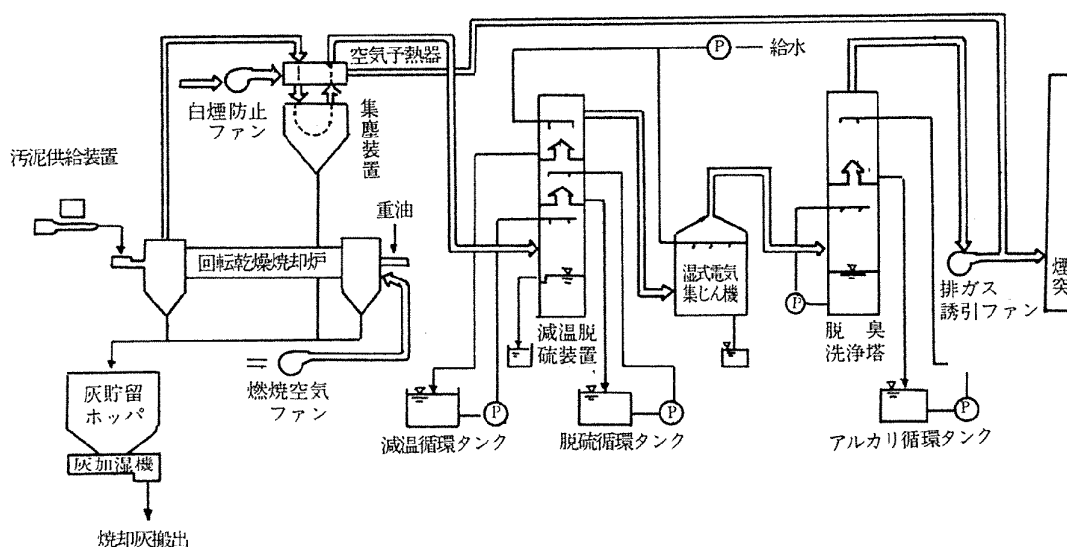
(出典：構造指針解説 1988年版, 370)

図 4.2-27 回転乾燥焼却炉の構造例⁸⁾

供給された脱水汚泥は、乾燥帯で解砕及び攪拌を受けながら燃焼ガスとの向流接触によって乾燥され、燃焼帯で切り返しを受けながら燃焼した後、冷却されて焼却灰として燃焼フードの下部から排出される。

補助燃料は、燃烧フードに取付けられたバーナによって供給される。焼却負荷の変動に対する運転制御は、主として補助燃料の増減による温度制御で、比較的制御条件が少ない。

乾燥帯が炉の污泥投入口側に位置するので、排ガスの臭気が強く、再燃焼炉等で脱臭するなど脱臭には十分な配慮が必要である。



(出典：構造指針解説 1988年版, 371)

図 4.2-28 回転乾燥焼却炉のフロー⁸⁾

回転乾燥焼却炉に供給された脱水污泥は、乾燥及び焼却過程を経て焼却される。炉の容積は、これに必要な容積の和とし、その内径を炉内のガス質量速度を基準として定める。ガス質量速度とは、ガスの流れ方向に直角な炉断面積当たりの1時間に流れるガスの量のことである。

(4) 集じん装置

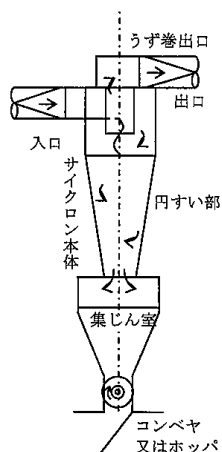
排ガスを大気に放出するにあたっては、廃棄物処理法、大気汚染防止法及び地方公共団体の条例等に基づく規制に適合した集じん装置を設けなければならない。集じん装置は集じん方法により、機構・原理や適用範囲が異なることから、各々の条件に応じて最も適当な集じん装置を選択・使用する必要がある。

なお、1998（平成10）年の大気汚染防止法施行規則改正に伴うばいじん規制値の見直しにより、ろ過式集じん装置（バグフィルタ）の採用が急激に増加している。

(a) サイクロン

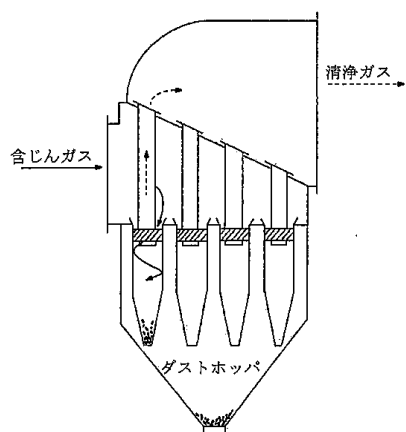
サイクロンは、遠心力を利用して粉じんを含む排ガスに重力よりはるかに大きい加速度を与えると、分離速度が自重による沈降に比べて大きくなる性質を利用したものである。サイクロンで捕集できる粒径範囲は10～200 nmであるが、さらに高性能なものとして、外径300～400 mm程度の小型サイクロンを束にしたマルチサイクロンがある。マルチサイクロンの捕集粒径は5 nm程度まで期待できる。サイクロン、マルチサイクロンはろ過

式集じん装置の前処理として採用されることが多い。サイクロン、マルチサイクロンの例を図4.2-29、図4.2-30に示す。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 372)

図 4.2-29 サイクロンの構造例¹⁾

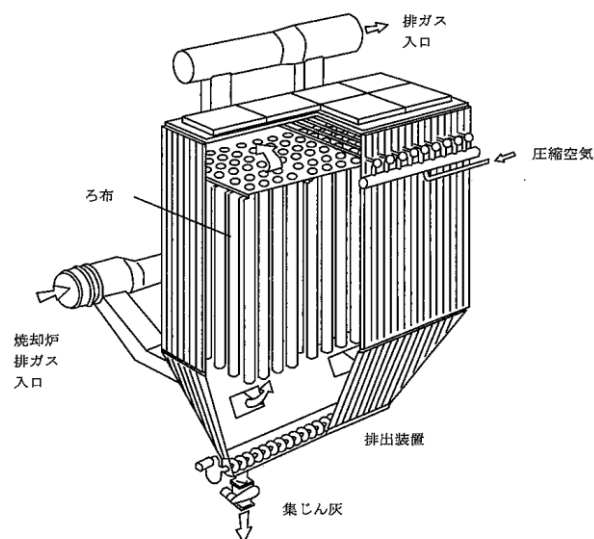


(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 372)

図 4.2-30 マルチサイクロンの構造例¹⁾

(b) ろ過式集じん装置

ろ過式集じん装置はバグフィルタとして良く知られ、近年の新設炉では使用実績が最も多い。図4.2-31にろ過式集じん装置の一般的な構造図を示す。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 373)

図 4.2-31 ろ過式集じん装置の構造例¹⁾

ろ過式集じん装置におけるばいじんの捕集機構は、ろ布（織布・不織布）表面に堆積した粒子層で排ガス中のばいじんを捕集することによる。

ろ布にばいじんが堆積することにより圧力損失が上昇した場合、払い落とし操作によって堆積したばいじん（集じん灰）を払い落とし、再度ろ過を継続する。ろ布には、ガラス繊維、PTFE（フッ化エチレン樹脂）＋ガラス繊維、ポリイミド繊維等の材質を使用することが多い。

ろ布の選定に際しては、排ガス及びばいじんの性状（排ガス温度、水分量、酸性成分等）を十分考慮して、また、有害ガス除去性能も含めたうえで適切なろ布を選定する必要がある。

ろ布の寿命は、ろ布の種類と材質、運転状況、ガス条件、ばいじんの性状、逆洗圧力、頻度等によって異なり、定期的にもろ布をサンプリングして、運転状況も合わせ取替え時期を前もって決定することが望ましい。

安定運転のためには、所定の処理ガス量以上の運転をしない、圧力損失や逆洗の圧力・頻度などを監視する、停止中や起動時に結露させないようにするなどの対応が必要である。集じん灰を排出する部分では、ロータリーバルブあるいは二重ダンパが使われている。

ろ過式集じん装置の使用温度域は、ろ布の材質に左右されるが、一般的に150～200℃程度であり、最高でも250℃程度である。そのため、装置の前段で排ガスを冷却するシステムを組むことが多い。

（c）その他の集じん装置

その他の集じん装置には、スクラバ、重力式集じん装置、慣性力式集じん装置、電気集じん装置などがある。

（d）結露防止

焼却炉排ガス中のばいじんは、吸湿性があり、吸湿して冷えると固着する性質がある。集じん装置で内面が排ガスにさらされる構造部分は、保温施工を厳重に行う必要がある。特に点検口、マンホール、ダスト排出装置等の突起部等は、注意深い保温施工が必要である。

（e）材質

重油等を燃料とする熱風発生装置を用いる場合には、排ガスにSO_xなどの酸性ガスが含まれているため、集じん装置の内面が冷やされると酸腐食を起こしやすい、また、サイクロン等を用いる場合には、風速が速いので、ダストによりサイクロン内面が摩耗しやすい。このようなことから集じん装置の排ガス部には、耐食耐摩耗性材料が用いられる。

（5）灰移送装置

灰のホップ等への移送には、一般的にコンベヤが利用される。灰の移送に利用されるコンベヤは、スクリューコンベヤ、フライトコンベヤが多く利用されている。灰移送装置は、焼却装置との連動等により焼却灰を自動的に搬出できるものとする。

(6) 灰貯留装置

(a) 灰貯留ホッパ

灰貯留ホッパの容量は、発生焼却灰量、搬出能力、故障等を考慮し決定する。灰貯留ホッパは、特に排出口付近におけるブリッジ現象の発生防止を考慮する。また、灰のかさ密度は500 kg/m³程度である。

(b) 粉じん防止

灰貯留ホッパ及び排出装置は、焼却灰の飛散防止と吸湿による固化防止を考慮して密閉構造とし、必要に応じて排気装置を設ける。また、排出時、輸送時及び埋立時の焼却灰の飛散を防止するため、水によって均一に加湿できる加湿装置を設ける場合もある。

(7) 煙突

(a) 通風力

煙突は、焼却施設が必要とする通風力を得るとともに、排ガスの拡散に必要な高さとして頂上口径を有するよう決定する。煙突の高さは、SO_xに対するK値規制や、排ガス中の規制物質の拡散を考慮するほか、地域の生活環境への影響を調査する生活環境影響調査等の結果を加味して決定するようにするとよい。また、煙突出口臭気濃度やガス成分等を測定するための測定口及び足場を設ける。測定口の位置すなわち測定点については、JIS Z 8808「煙道排ガス中のばいじん量の測定方法」第3項（測定位置の選定と測定点のとり方）に準拠する。

(b) 点検口

煙突の下部には、原則として点検口を設け、煙突内部の点検用やばいじんの堆積があった場合の掃除用とする。点検口用のふた等は、できる限り密閉度の高いものとする。

(8) 燃料供給設備

(a) 構成

燃料供給設備は、通常燃料貯留タンク、燃料移送ポンプ、サービスタンク、燃料ポンプ等で構成されるが、燃料移送ポンプ、サービスタンクを省く場合もある。

(b) タンクおよびポンプ

重油及び灯油は、消防法における第4類の危険物に該当するため、消防法に基づく規制について十分に配慮しなければならない。燃料貯留タンクの容量は、処理施設の立地条件、入手の難易、法令等により決定する。燃料移送ポンプはサービスタンクの液位の変動によって自動運転とする。

4.2 参考文献

- 1) 社団法人全国都市清掃会議：汚泥再生処理センター等施設設備の計画・設計要領 2006改訂版，全国都市清掃会議，355-374（2006）。
- 2) 資料提供会社（五十音順）。
浅野アタカ株式会社
クボタ環境サービス株式会社
株式会社クリタス
水ingエンジニアリング株式会社
住友重機械エンバイロメント株式会社
株式会社西原環境
日立造船株式会社
三井E&S環境エンジニアリング株式会社
- 3) 一般社団法人日本環境衛生施設工業会資料。
- 4) 財団法人日本環境衛生センター編：し尿処理施設改良・改造技術に関する手引書，日本環境衛生センター，84-86（1997）。
- 5) 地方共同法人日本下水道事業団編：コンクリート防食指針（案），一般財団法人下水道業務管理センター，16（1997）。
- 6) 日本下水道事業団編：コンクリート防食指針（案），一般財団法人下水道業務管理センター，10（1997）。
- 7) 社団法人日本下水道事業団：下水道施設計画・設計指針と解説後編 1994年，日本下水道協会，473（1995）。
- 8) 社団法人全国都市清掃会議：し尿処理施設構造指針解説－1988年版－，全国都市清掃会議，370-376（1988）。

4.3 資源化技術・システム

4.3.1 汚泥再生処理センター

(1) 社会・歴史的背景¹⁾

し尿処理施設から汚泥再生処理センターへの転換は、1998（平成 10）年度に開始されたが、当時のし尿処理業界では大きな衝撃であった。自治体にとっては従来の衛生処理を目的としたし尿処理施設が補助対象とならず、汚泥再生処理センターとしなければし尿処理施設の更新事業ができなくなったからである。

1997（平成 9）年 8 月 29 日付けの旧厚生省通知で、「し尿と浄化槽汚泥の外に、他の有機性廃棄物等も併せて処理し、汚泥等の再生利用が可能となる汚泥再生処理センターの整備促進を行うこととし、さらに従来のし尿処理施設については平成 10 年度からは補助対象外とする。」と各都道府県の担当部局に通達された。

この当時の廃棄物処理行政はごみの発生量の増大によりごみ処理が危機的状況となり、廃棄物の発生抑制と再資源化が重要な課題であった。し尿処理についてもリサイクルが求められてきたが、その取組は充分ではなかった。し尿はそもそも人間の生活環境から排出されるものではなく、人間の生理からの発生であるので、発生抑制が対策とならず、資源化が求められた。資源化技術として「メタン発酵」と「堆肥化」が当時のし尿処理施設構造指針の改訂で定義されている。

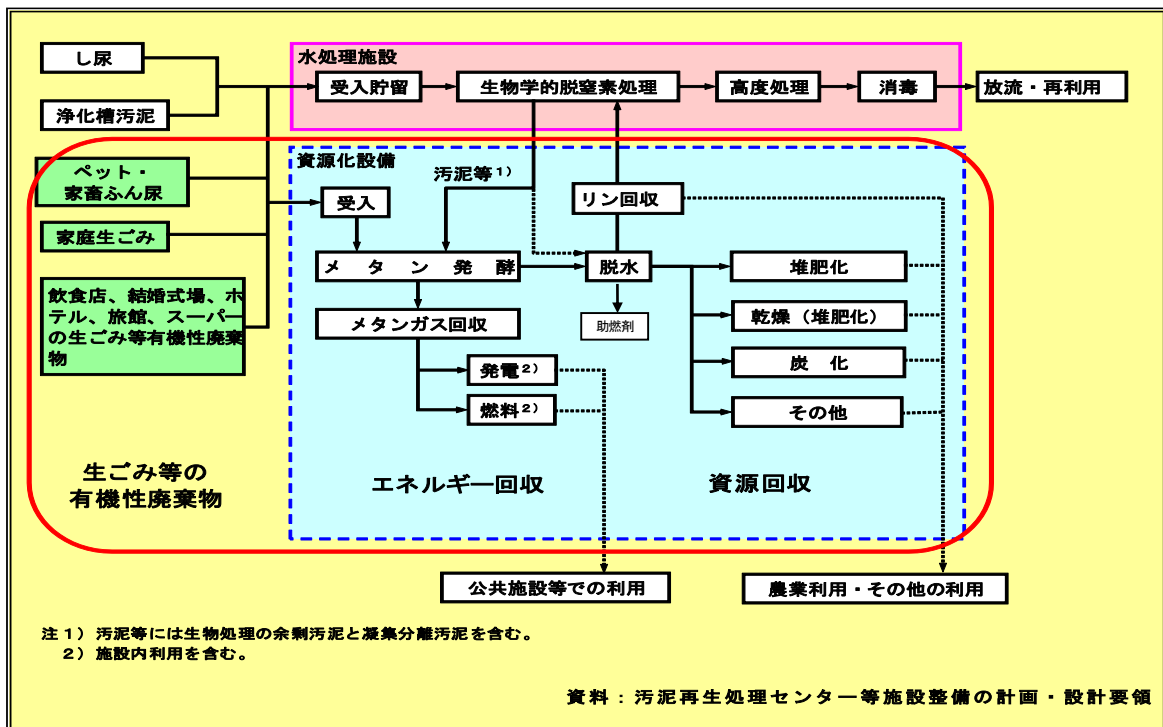
(2) 概要と変遷²⁾

(a) 概要

汚泥再生処理センターは、し尿、浄化槽汚泥及び生ごみ等の有機性廃棄物を併せて処理するとともに、エネルギーや資源を回収する施設である。し尿処理施設と比較すると、し尿処理施設の高度な水処理技術を活用しているが、処理対象物が広がり、メタン発酵等によるエネルギー回収と、堆肥化、炭化、助燃剤化、リン回収等による資源回収の機能が追加されているのが特徴である（図 4.3-1 参照）。

水処理施設で採用される処理方式の要件としては、有機物、窒素、リン等の除去機能（表 4.3-1 参照）が求められる。一般的には、生物学的脱窒素処理方式が採用される。

ここでは、汚泥再生処理センターで採用されるエネルギー回収と資源回収に関わる技術とシステムの変遷について以下に述べる。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 109)

図 4.3-1 汚泥再生処理センターのシステム構成³⁾

表 4.3-1 汚泥再生処理センター性能指針に示された放流水質

| | |
|-----|------------------|
| BOD | 日間平均値 10 mg/L 以下 |
| COD | 日間平均値 35 mg/L 以下 |
| SS | 日間平均値 20 mg/L 以下 |
| T-N | 日間平均値 20 mg/L 以下 |
| T-P | 日間平均値 1 mg/L 以下 |

(b) 変遷

(ア) 初期の汚泥再生処理センター

汚泥再生処理センターは、し尿・浄化槽汚泥及び生ごみなどの有機性廃棄物を併せて処理するとともに、資源を回収する施設をいい、水処理設備と資源化設備等から構成される。

し尿処理施設と比べ、生ごみ等有機性廃棄物の受入貯槽、前処理工程が付加され、汚泥処理工程が資源化工程に代わっている。

汚泥再生処理センターを交付金対象事業として実施する場合には、その内容を満足する必要があった。

当初は、生ごみ等の有機性廃棄物を収集し、処理することへの戸惑いが見られたが、コミュニティ・プラント、農業集落排水施設、下水処理施設からの排出汚泥も対象になり、

資源化設備もメタン発酵ほか、堆肥化等によるエネルギー回収または有効利用できる設備も対象となった。

その結果従来の堆肥化技術を利用した汚泥再生処理センターの実績が多く、過半数の施設で採用されていた。

メタン発酵については、ガス発生効率の高い生ごみと、し尿・汚泥の混合メタン発酵が検討され、生ごみのメタン化で実績の多いヨーロッパの技術の導入が検討された。

プラントメーカーは3つのグループに分かれて海外のメタン化技術を導入し、国内での実証試験を行った。実証試験装置の一例について、外観を写真 4.3-1 に示す。

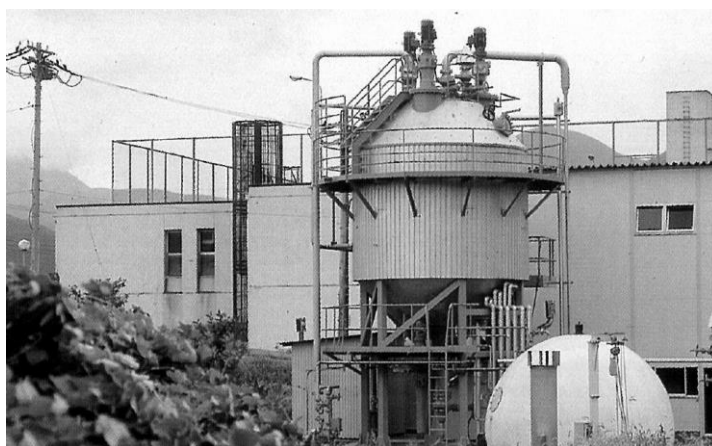


写真 4.3-1 メタン発酵タイプの汚泥再生処理センター実証試験装置例¹⁵⁾

(し尿処理アーカイブス検討会資料)

メタン発酵技術を導入したタイプの汚泥再生処理センターの実績を表 4.3-2 に示すが、1号機は2000（平成12）年に稼働開始し、2006（平成18）年までに14施設が建設された。（表 4.3-2 参照）

表 4.3-2 メタン発酵タイプの汚泥再生処理センター実績¹⁵⁾

| No. | 都道府県名 | 事業主体 | 稼働年月 |
|-----|-------|--------------|---------|
| 1 | 新潟県 | 上越市 | 2000.04 |
| 2 | 奈良県 | 生駒市 | 2000.04 |
| 3 | 新潟県 | 阿賀町 | 2000.04 |
| 4 | 長野県 | 下伊那郡西部衛生施設組合 | 2000.04 |
| 5 | 宮崎県 | 串間市 | 2001.04 |
| 6 | 長崎県 | 新上五島町 | 2002.03 |
| 7 | 奈良県 | 奈良市 | 2003 |
| 8 | 北海道 | 西天北五町衛生施設組合 | 2003.04 |
| 9 | 北海道 | 南宗谷衛生施設組合 | 2003.04 |
| 10 | 宮城県 | 大崎地域広域行政事務組合 | 2003.04 |
| 11 | 新潟県 | 新潟市 | 2004.03 |
| 12 | 愛知県 | 北名古屋衛生組合 | 2005 |
| 13 | 長野県 | 浅麓環境施設組合 | 2006.10 |
| 14 | 滋賀県 | 甲賀広域行政組合 | 2006 |

(し尿処理アーカイブス検討会資料)

当時の生ごみの取り扱いに関しては、水分が多いために焼却炉の中で不完全燃焼の原因となっており、ダイオキシンの発生要因ともいわれた。一方で、湿潤状態のままエネルギー回収ができるメタン化が注目され、生ごみの焼却からメタン発酵技術への新たな流れが生じた。

しかしながら、汚泥再生処理センターで受け入れする生ごみは、給食センターやスーパーの事業系生ごみ又は一部地域の分別生ごみのため、収集できる量が少なく、ごみ焼却への影響やエネルギー回収の効果が目に見えず、設備投資の効果が問題となった。

他方、ごみ焼却施設でのダイオキシン類対策が行き届き、生ごみが汚泥再生処理センターに入ってこなくなり、その結果メタン発酵を付加した汚泥再生処理センターは、その後低迷した。

現在、焼却とメタン発酵のハイブリッド型処理がごみ焼却施設として廃棄物処理施設整備交付金の対象となっているが、このメタン発酵技術はこの当時に開発されたものが基本となっている。

(イ) 旧厚生省通知後の経緯

(i) 汚泥再生処理センターの性能指針

2000(平成12)年10月6日の環境省の通知で「汚泥再生処理センターの性能指針」が定められた。従来のし尿処理施設の構造指針は処理設備ごとに構造等の基準を定めていたが、性能指針では施設が備えるべき性能事項とその確認方法のみが定められた。

その主旨は構造基準化を廃止して、新技術の採用を容易にすることと、新技術の採用と責任の主体を自治体に置くことであった。

この中でメタン発酵の性能に関する事項としては、発生するメタンガス濃度を 50 %以上とすることが定められている。

また、堆肥化等の資源化については、それぞれの計画する用途における基準等の要求される仕様を満足させる性状であることが定められている。

(ii) し尿・浄化槽汚泥高度処理施設

2002（平成 14）年 11 月 5 日の環境省の通知で「し尿・浄化槽汚泥高度処理施設性能指針」が定められた。これはし尿の海洋投入処分の禁止措置に伴い、適切な陸上処理を推進するためのものである。つまり、海洋投入していたし尿を膜分離型し尿処理施設で高度処理まで行う場合には汚泥再生処理センターとは別枠の補助事業で対策を行うこととなった。

当時は年間 123 万 kL、計画処理量の 4 %が海洋投入処分されていたが、新たな補助事業によって陸上処理に移行した自治体も多く、2007（平成 19）年 2 月 1 日以降海洋投入されているし尿はなくなっている。

(iii) 汚泥助燃剤化

2003（平成 15）年 12 月 19 日付けの環境省の通知で「汚泥再生処理センターの性能指針の一部改正」が行われた。これは、新たな資源化技術として助燃剤化を性能指針に追加したものである。

助燃剤化とは、汚泥等を高効率の脱水機を用いて含水率 70 %以下の脱水汚泥とし、それをごみ焼却施設にて助燃剤として利用することである。この場合、汚泥再生処理センターでは、小型焼却炉が必要となる。ごみ焼却施設では、汚泥等（助燃剤）の燃焼で使用燃料に新たな増加が生じない、圏域全体としてみればエネルギーの削減となる。ただし、ごみ焼却炉の能力に余裕があることが必要である。

(iv) リン回収

その後、新たな資源化技術として、リン回収技術が出現した。汚泥再生処理センターの性能指針に、助燃剤に続き 2004（平成 16）年度からリン回収が資源化設備の補助メニューとして追加された。リンは世界的な枯渇資源である。日本はその全てを輸入に頼っているので、原油の輸入と同様に、リン鉱石の価格が高騰し、その変動に日本の農業が対応を迫られる事象が起きている。し尿中には高濃度のリンが含まれているが、生物処理に必要なリン以外のものは凝集剤で固定され焼却処理後、最終処分場に埋立てられている例が多い。

し尿の水処理ラインからのリン回収は、溶解しているリンを薬剤添加と pH 調整によってリン化合物の結晶を生成させ、固液分離して回収するものである。回収したリンは晶析物であるので、リン濃度が高く、重金属等の有害物質を含まず、臭気等も少ないので肥料登録が可能である。このリン回収技術を利用した汚泥再生処理センターは表 4.3-3 に示すように 2009（平成 21）年より 1 号機の稼働が開始され、建設中を含め、16 件の実績があ

る。リン回収での HAP と MAP については後述する。

表 4.3-3 汚泥再生処理センターのリン回収施設実績¹⁵⁾

| No. | 都道府県名 | 事業主体 | 稼働年月 | リン回収方式 |
|--------------------------------------|-------|-----------------|--------------|--------|
| 1 | 秋田県 | 仙北市 | 2009.04 | HAP |
| 2 | 奈良県 | 十津川村 | 2010.04 | HAP |
| 3 | 青森県 | 西北五環境整備事務組合 | 2011.12 | HAP |
| 4 | 和歌山県 | 串本町古座川町衛生事務組合 | 2014.03 | HAP |
| 5 | 高知県 | 四万十町 | 2014.03 | HAP |
| 6 | 奈良県 | 五條市 | 2015.03 | MAP |
| 7 | 福島県 | 双葉町 | 2015.04 | MAP |
| 8 | 北海道 | 夕張市 | 2015.06 | HAP |
| 9 | 愛媛県 | 宇和島地区広域事務組合 | 2015.07 | HAP |
| 10 | 三重県 | 熊野市 | 2016.03 | HAP |
| 11 | 岡山県 | 備前市 | 2016.03 | MAP |
| 12 | 和歌山県 | 紀南環境衛生施設組合 | 2017.03 | MAP |
| 13 | 鳥取県 | 日野町江府町日南町衛生施設組合 | 2017.11 | HAP |
| 14 | 岡山県 | 岡山市 | 2019.03 (予定) | MAP |
| 15 | 三重県 | 伊賀市 | 2020.03 (予定) | HAP |
| 16 | 愛媛県 | 松山衛生事務組合 | 2021.12 (予定) | MAP |
| HAP : 10 件、MAP : 6 件 (2017 年 11 月現在) | | | | |

(し尿処理アーカイブス検討会資料)

これまでの資源化は汚泥処理ラインで行う技術ばかりであったが、水処理ラインの資源化が生まれたことで、水処理と汚泥処理の両面からの資源化が可能となった。

(v) 汚泥再生処理センターへのリニューアル

2004 (平成 16) 年 10 月に一般財団法人日本環境衛生センター (当時の財団法人日本環境衛生センター) から「し尿処理施設から汚泥再生処理センターへのリニューアルの手引き書」が発行された。この内容は既存のし尿処理施設に資源化設備を追加して、既設の土木建築設備を有効利用し、機械・電気設備を全面更新する実施例を紹介している。この方式は耐用年数の長い土木建築設備を有効利用することにより、廃棄物の発生抑制と、建設費の削減が可能で、交付金対象事業にもなるため、経済性の高い事業として実施されている。

(vi) 基幹的設備の改良事業 (し尿処理施設)

2010 (平成 22) 年 3 月に環境省から「廃棄物処理施設の基幹的設備改良マニュアル」が公開され、施設の長寿命化及び地球温暖化対策に役立つ基幹的設備の改良事業が循環型

社会形成推進交付金の対象とするメニューに加えられた。交付金の交付率は施設全体のCO₂削減率が3%以上で1/3、20%以上で1/2となる。

具体化技術としては、①高効率のぼっ気装置への更新、②省エネ型膜分離装置への更新、③インバータ化、高効率電動機による電力削減、④生物脱臭方式への更新、⑤リン回収設備の増設、⑥紫外線消毒への更新、⑦助燃剤化等が示されている。

(3) 普及と現状⁴⁾

(a) し尿・汚泥再生処理センターの建設件数推移

1990（平成2）年前後で年間40施設を新設していたが、汚泥再生処理センターへの移行開始頃から急減して、1999（平成11）年に11施設、2006（平成18年）に3施設まで落ち込んだ。

2012（平成24）年頃から現在まで年間20施設程度の事業規模に復活してきたが、最盛期の半分程度に留まっている。

(b) 汚泥再生処理センターの今後

全国のし尿処理施設数は表4.3-4および図4.3-2に示すとおり2016（平成28）年度で939の施設となり、浄化槽人口を含まない計画収集人口は2013（平成25）年度実績で8.2百万人（国内人口の6.4%）となる。

処理方式別にみると嫌気性処理（30施設）や好気性処理（80施設）は今後も新規事業としての更新が必要と思われる。標準脱窒素処理（223施設）や高負荷脱窒素処理（162施設）では高度な水質が確保されている施設が多いのでリニューアルや基幹改良事業により既設の設備を最大限有効利用して長寿命化が進められるものと予想される。その他処理（400施設）については下水道放流方式等が含まれるが、各施設、地域の条件に適した処理方式の選択が必要と判断される。

技術的にはより効率が高く、経済性の高いシステムや設備の開発が今後も必要で、特に運転経費の削減やCO₂削減に役立つ技術開発が求められている。

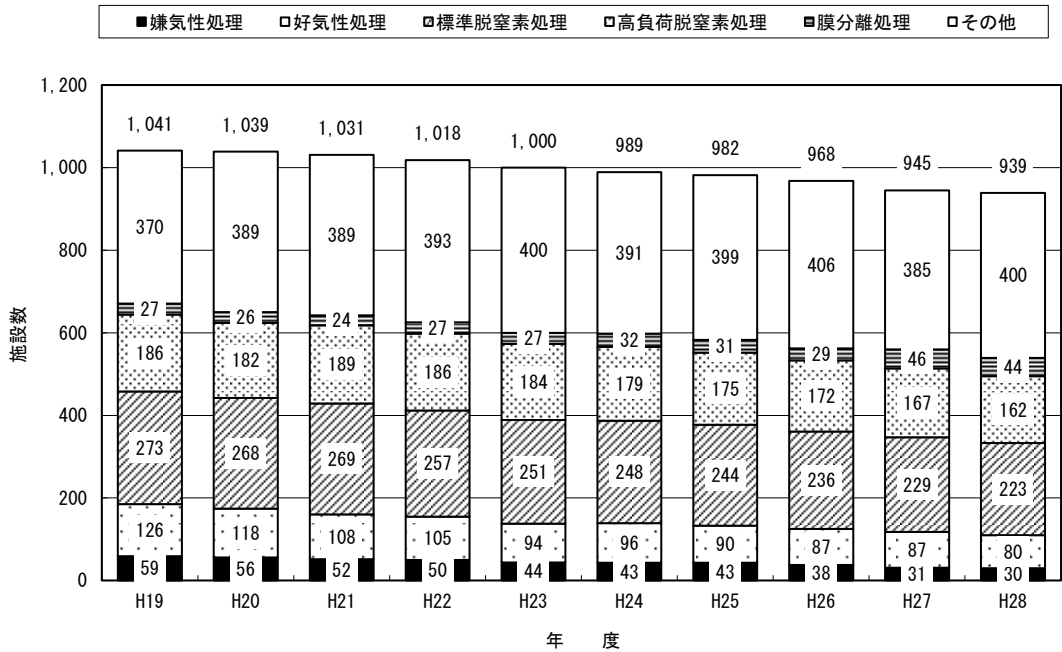
参考に図4.3-3にし尿・汚泥再生処理センターの発注件数推移を示す。

表 4.3-4 し尿処理施設の整備状況⁴⁾

| 処理方法 年度 | 嫌気性処理 | | 好気性処理 | | 標準脱窒素処理 | | 高負荷脱窒素処理 | | 膜分離処理 | | その他 | | 合計 | |
|------------|-------|----------------|-------|----------------|---------|----------------|----------|----------------|-------|----------------|-----|----------------|-------|----------------|
| | 施設数 | 処理能力 (kl/日) | 施設数 | 処理能力 (kl/日) | 施設数 | 処理能力 (kl/日) | 施設数 | 処理能力 (kl/日) | 施設数 | 処理能力 (kl/日) | 施設数 | 処理能力 (kl/日) | 施設数 | 処理能力 (kl/日) |
| H19 | 59 | 4,801 | 126 | 7,892 | 273 | 28,102 | 186 | 15,784 | 27 | 3,861 | 370 | 33,115 | 1,041 | 93,555 |
| H20 | 56 | 4,444 | 118 | 7,535 | 268 | 27,737 | 182 | 14,938 | 26 | 3,650 | 389 | 35,441 | 1,039 | 93,745 |
| H21 | 52 | 4,144 | 108 | 6,961 | 269 | 27,748 | 189 | 16,285 | 24 | 3,573 | 389 | 34,654 | 1,031 | 93,364 |
| H22 | 50 | 3,891 | 105 | 6,753 | 257 | 26,173 | 186 | 16,104 | 27 | 3,684 | 393 | 34,577 | 1,018 | 91,182 |
| H23 | 44 | 3,265 | 94 | 6,200 | 251 | 25,694 | 184 | 15,778 | 27 | 3,684 | 400 | 34,622 | 1,000 | 89,243 |
| H24 | 43 | 3,159 | 96 | 6,469 | 248 | 25,608 | 179 | 15,030 | 32 | 4,062 | 391 | 33,556 | 989 | 87,884 |
| H25 | 43 | 3,059 | 90 | 6,001 | 244 | 25,153 | 175 | 14,529 | 31 | 4,074 | 399 | 33,975 | 982 | 86,791 |
| H26 | 38 | 2,779 | 87 | 5,899 | 236 | 24,663 | 172 | 14,336 | 29 | 2,204 | 406 | 34,983 | 968 | 84,864 |
| H27 | 31 | 2,245 | 87 | 5,979 | 229 | 24,023 | 167 | 13,831 | 46 | 3,373 | 385 | 33,940 | 945 | 83,391 |
| H28 | 30 | 2,155 | 80 | 5,600 | 223 | 22,812 | 162 | 13,651 | 44 | 3,184 | 400 | 36,074 | 939 | 83,475 |

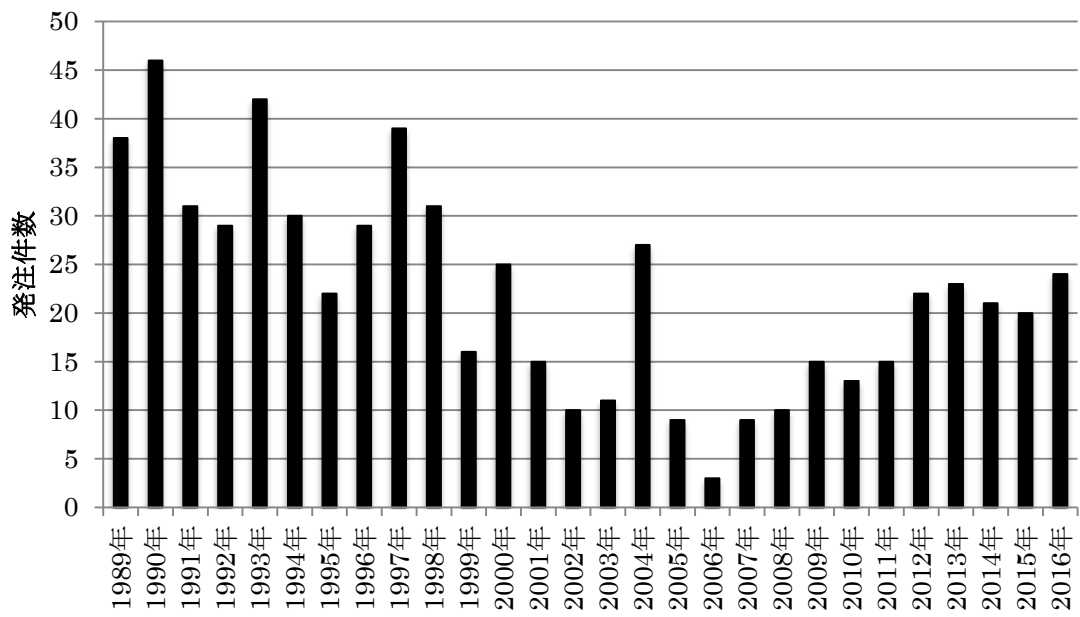
注)・市町村・事務組合が設置した施設で、当該年度に着工した施設及び休止した施設を含み、廃止施設を除く。

(出典：日本の廃棄物処理)



(出典：日本の廃棄物処理)

図 4.3-2 し尿処理施設数⁴⁾



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

図 4.3-3 し尿・汚泥再生処理センターの発注件数推移¹⁵⁾

4.3.2 資源化技術の概要および特徴

(1) メタン発酵技術¹⁾

(a) 技術開発の背景と経緯

メタン発酵は嫌気性微生物の働きにより有機物をメタンと二酸化炭素に分解する技術であり、古くから汚水・下水汚泥の処理に用いられてきた。1950年代後半～1970年代前半（昭和30～40年代）のし尿処理ではメタン発酵を行う嫌気性消化処理方式が主流であった。当初は、嫌気性消化法と散水ろ床法を組み合わせたものであったが、浄化効率が低く窒素除去に対応できない、ろ床ハエの発生等衛生管理上の問題があったなどの理由で、1960年代中（昭和40）年頃以降は活性汚泥法が散水ろ床法に替わり二次処理の標準となっていた。

その後、循環型社会形成が推奨されるにあたって、し尿処理についても単なる衛生処理から資源循環への転換が求められるようになった。1995（平成7）年から、プラントメーカー7社^{注1)}共同で資源循環のシステム検討を行い、生ごみと汚泥を対象としたメタン発酵システムとして「メビウスシステム」をフィンランドから導入し、神奈川県足柄上衛生組合内に実証プラントを建設、1997（平成9）年6月～1998（平成10）年4月に実証実験を実施した。

また、プラントメーカー5社^{注2)}がドイツとオーストリアより「REMシステム」を導入し、1997（平成9）年から栃木地区広域行政事務組合内に実証プラントを建設し、11ヶ月間の実証試験を行った。

さらに、プラントメーカー7社^{注3)}はドイツより「リネッサシステム」を導入し、愛媛県久万高原町（当時上浮穴郡生活環境事務組合）環境衛生センター内に実証プラントを建設、1998（平成10）年5月～1999（平成11）年2月に実証実験を行った。

注1)プラントメーカー7社

日立造船株式会社（当時のアタカ工業株式会社）、水ingエンジニアリング株式会社（当時の株式会社荏原製作所）、クボタ環境サービス株式会社（当時の株式会社クボタ）、栗田工業株式会社、住友重機械エンバイロメント株式会社（当時の住友重機械工業株式会社）、株式会社西原環境（当時の株式会社西原環境衛生研究所）、三菱重工環境・化学エンジニアリング株式会社（当時の三菱重工株式会社）

注2)プラントメーカー5社

浅野アタカ株式会社（当時の浅野工事株式会社）、三機工業株式会社、日立造船株式会社（当時の株式会社新潟鐵工所）、三井E&S環境エンジニアリング株式会社（当時の三井鉱山株式会社）、三菱化工機株式会社

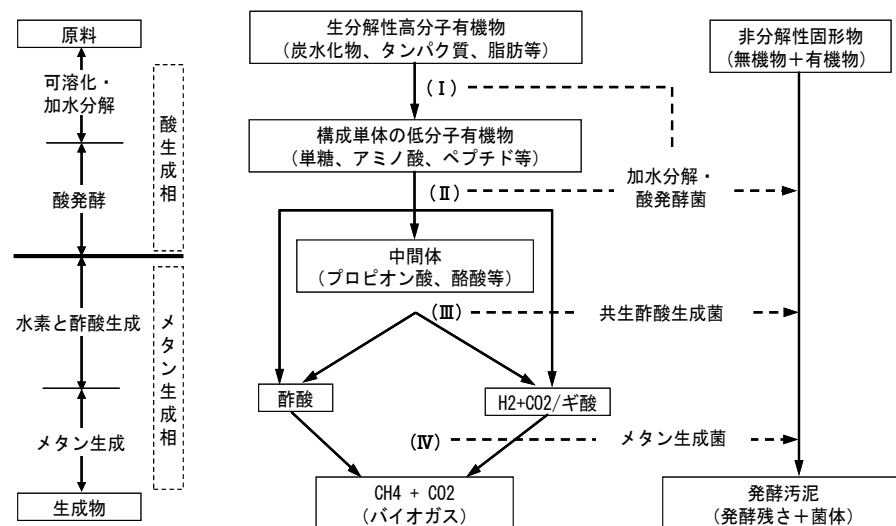
注3)プラントメーカー7社

株式会社IHI（当時の石川島播磨重工業株式会社）、新日鉄住金エンジニアリング株式会社（当時の新日本製鐵株式会社）、株式会社タクマ、水道機工株式会社（当時の東レエンジニアリング株式会社）、JFEエンジニアリング株式会社（当時の日本鋼管株式会社）、日立造船株式会社、三井E&S環境エンジニアリング株式会社（当時の三井造船株式会社）

(b) 技術の特徴

生ごみ等を含む有機性廃棄物を対象としたメタン発酵は、その方式によって、乾式および湿式に分類することができる。

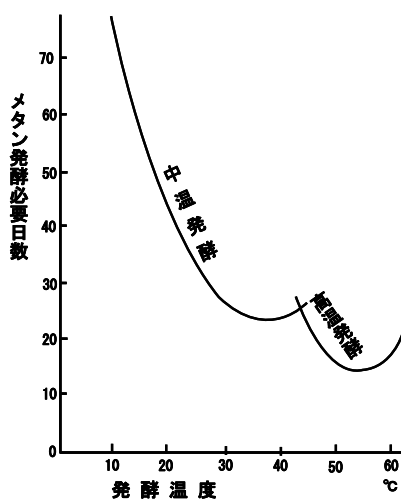
メタン発酵における有機物の分解過程は、図 4.3-4 に示すとおり、大きく分けて①可溶化・加水分解プロセス、②酸生成プロセス、③酢酸生成プロセス、④メタン生成プロセスからなる。廃棄物処理の分野では、①と②を併せて酸生成相、③と④を併せてメタン生成相と呼ぶことが一般的である。メタン発酵に関与している細菌群をその作用から分類すると、加水分解・酸発酵に関与する酸生成菌、プロピオン酸や酪酸などの分解に関与する水素生成性酢酸生成菌、およびメタン生成を行うメタン生成菌の3大グループに分けられる。各細菌が関与できる工程は限られているので、高分子有機物からメタンになるまでに多くの細菌が逐次的に作用する。正常に運転されているメタン発酵槽では、これら異種細菌の緊密な共存関係が形成されるので、発酵プロセスが比較的安定である。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 279)

図 4.3-4 メタン発酵における有機物の分解過程³⁾

メタン発酵は、その操作温度域により無加温発酵 (<25°C)、中温発酵 (30~40°C) および高温発酵 (50~60°C) に分けられるが、実用的には中温の最適温度 35°C前後または高温の最適温度 55°C前後で行われる。中温発酵と高温発酵に関与する優勢菌種は異なっており、高温発酵に比較して中温発酵に関与する菌種が多い。また処理特性の観点から中温発酵と高温発酵を比較すると、高温発酵は図 4.3-5 に示すよう発酵速度が早く加水分解率や病原性微生物の死滅率が高い反面、有機酸を蓄積しやすい特徴を持つ。一方、中温発酵は発酵速度が遅いものの安定性がある特徴を持つ。



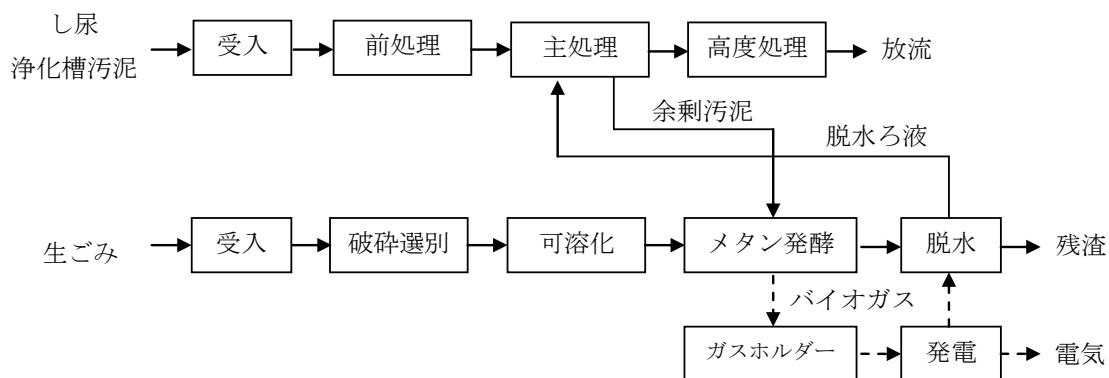
(出典：工業会 50 年史)

図 4.3-5 メタン発酵温度と発酵日数¹⁾

(c) メタン発酵を組み込んだ汚泥再生処理センターの概要と開発

(ア) 概要

メタン発酵を組み込んだ汚泥再生処理センターのフローシートは、図 4.3-6 に示すように、し尿・浄化槽汚泥を処理する水処理プロセスと生ごみ等からバイオガスを回収する資源化プロセスよりなる。し尿処理プロセスは従来のし尿処理施設で採用されている生物学的脱窒素法の処理方式による。資源化プロセスは、分別収集された生ごみを主体として受入れ、前処理としてメタン発酵に適したものにするため、選別と調質を行い、それらを嫌気発酵させて発生するメタンガスを回収しエネルギー利用を行う。



(出典：工業会 50 年史)

図 4.3-6 汚泥再生処理センターのメタン発酵資源化フローシート¹⁾

(イ) メタン発酵システムの開発

水ing エンジニアリング株式会社（当時の株式会社荏原製作所）が代表となりクボタ環

境サービス株式会社を含む7社及び浅野アタカ株式会社を含む5社、さらにはごみ処理メーカーが欧州の技術を導入し、メタン発酵の研究を開始した。これに関していくつかのプラントメーカーの回顧を紹介する。

(i) メビウスシステム：クボタ環境サービス株式会社（当時の株式会社クボタ）⁵⁾

開発がほぼ完了した1997（平成9）年に、旧厚生省から汚泥再生処理センターを国庫補助対象施設とする通知があり、1998（平成10）年度より国庫補助対象は汚泥再生処理センターのみとなった。

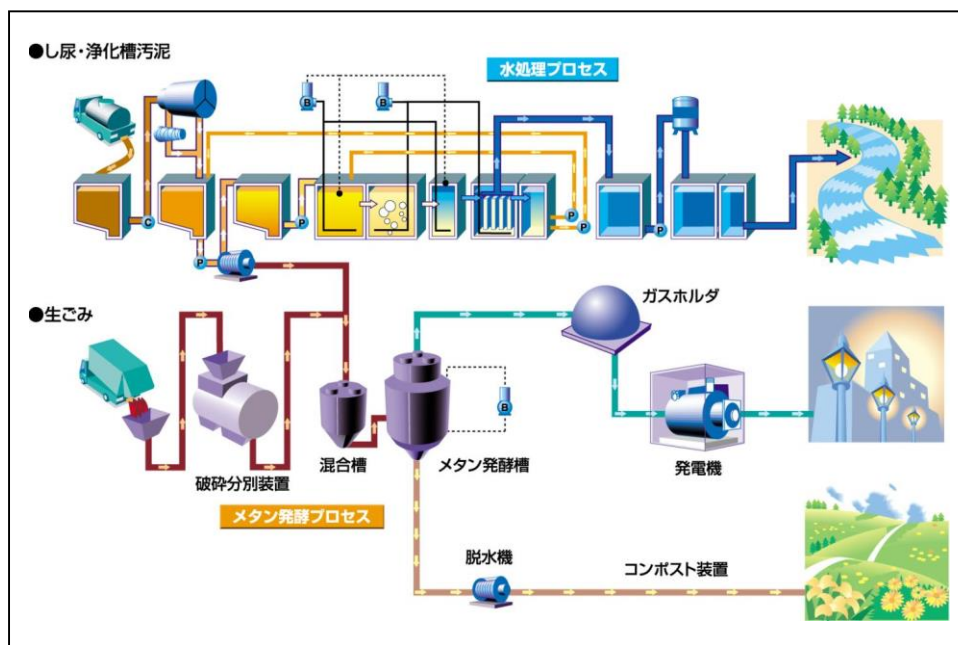
資源化として生ごみのメタン発酵を付加した汚泥再生処理センターは、1997（平成9）年度に新潟県で2件発注され、翌1998（平成10）年には、メビウスグループ7社JVで受注した長野県下伊那郡西部衛生施設組合（写真4.3-2、写真4.3-3、図4.3-7）も発注された。

その後、5カ年で計10件以上が発注されたが、ごみ焼却施設でのダイオキシン類対策が行き届き、「生ごみ」がし尿処理施設に入ってこなくなった。その結果、メタン発酵を付加した汚泥再生処理センターはその後低迷した。

現在、焼却とメタン発酵のハイブリッド型処理が「ごみ処理施設」として交付金対象となっているが、このメタン発酵技術はこの当時に開発されたものが基本となったものである。

なお、メタン発酵設備投入前の生ごみ等の前処理設備としては、①回転選別機②回転ブレード式破碎選別機③選択破碎選別機④圧縮選別機がある。

詳細は『泥再生処理センター等施設整備の計画・設計要領2006改訂版』（以下、計画・設計要領2006改訂版）に記載されている。



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

図 4.3-7 メタン発酵を具備した汚泥再生処理センターのフローシート (例)⁵⁾



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

写真 4.3-2 下伊那西部衛生組合の外観⁵⁾



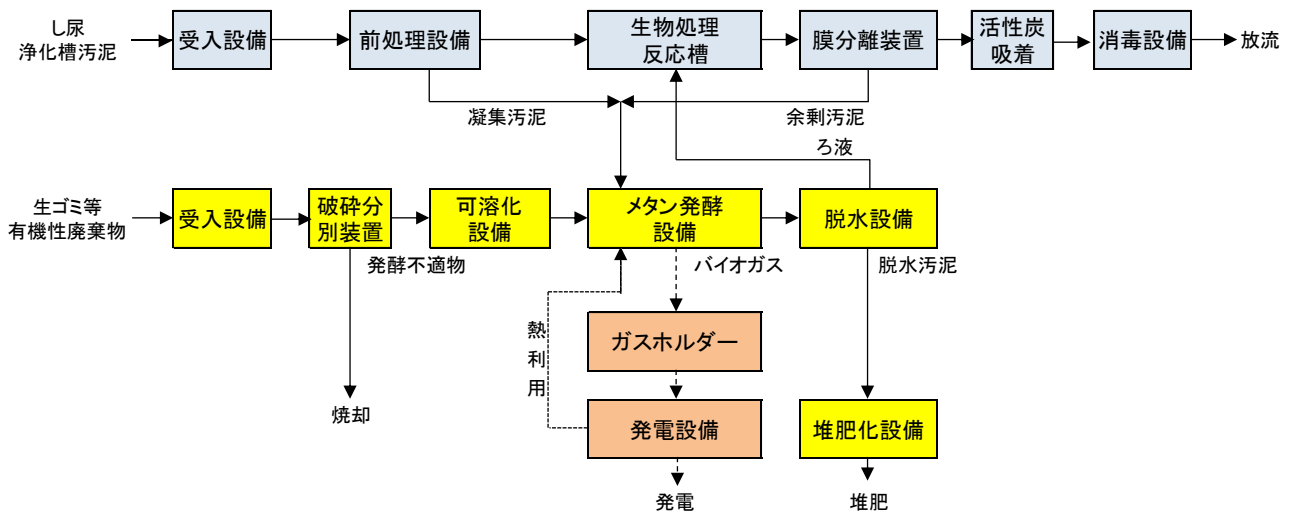
(し尿処理アーカイブス検討会資料)

写真 4.3-3 メタン発酵槽 (同組合)⁵⁾

(ii) メビウスシステム：日立造船株式会社 (当時のアタカ工業株式会社)⁶⁾

1995 (平成 7) 年から 3 年間、当時の国立公衆衛生院 (現 国立保健医療科学院) と財団法人廃棄物研究財団 (現 公益財団法人廃棄物・3R 研究財団) が主体となって進めた官民共同プロジェクト「液状廃棄物のエコ処理システムの開発」において、液状廃棄物の将来技術の研究開発を進め、日立造船株式会社を含むプラントメカ 7 社は、し尿汚泥や生ごみを対象とした高温の湿式メタン発酵技術を海外より導入した。

導入したメタン発酵技術の実証プラントを神奈川県足柄上衛生組合内に建設し、1997（平成9）年6月～1998（平成10）年4月に実証実験を実施した。その結果、財団法人廃棄物研究財団（現 公益財団法人廃棄物・3R研究財団）より「し尿処理汚泥等の廃水処理汚泥及びその他有機性廃棄物の混合メタン発酵技術」で技術評価書（第8号）を取得した。



（し尿処理アーカイブス検討会資料）

図 4.3-8 メタン発酵設備を備えた汚泥再生処理センターのフローシート例⁶⁾



（し尿処理アーカイブス検討会資料）



（し尿処理アーカイブス検討会資料）

写真 4.3-4 メタン発酵を備えた汚泥再生処理⁶⁾ センター（新潟県舞平清掃センター）
写真 4.3-5 メタン発酵槽 上部⁶⁾

メビウスシステムの1号機は（i）に示したが、プラントメーカー7社JVが長野県下伊那郡西部衛生施設組合から受注した。その後、日立造船株式会社（当時のアタカ工業株式会社）単独の受注案件としては、新潟市、舞平清掃センター（し尿58kL/日、浄化槽汚泥

91 kL/日、生ごみ 1.8 t/日)、北名古屋市北名古屋衛生組合鴨田エコパーク (し尿 14 kL/日、浄化槽汚泥 96 kL/日、生ごみ 7.14 t/日) を建設し、現在稼働中である。

図 4.3-8 にメタン発酵設備を備えた汚泥再生処理センターのフローシート例、写真 4.3-4 に舞平処理施設の施設外観を写真 4.3-5 にメタン発酵槽上部の写真を示す。

(iii) REM システム、リネッサシステム：三井 E&S 環境エンジニアリング株式会社 (当時の三井鉱山株式会社) ⁷⁾

汚泥再生処理センターとエコランド計画に対応する技術として、共同開発により、公益財団法人廃棄物・3R 研究財団技術評価第 14 号 (REM システム) と第 23 号 (リネッサシステム) の 2 件取得している。三井 E&S 環境エンジニアリング株式会社 (当時の三井鉱山株式会社) 納入実績を有する第 14 号を中心に説明する。

[1] REM システム

1997 (平成 9) 年 10 月～1998 (平成 10) 年 8 月、栃木地区広域行政事務組合衛生センター内に、「し尿処理汚泥等の廃水処理汚泥及びその他有機性廃棄物の混合メタン発酵処理－湿式粉碎選別機とメタン発酵槽を組み合わせた方式－」(REM システム) による実証プラントを建設し、11 カ月間の実証試験を行った。(三井鉱山株式会社含む 5 社共同開発)

1999 (平成 11) 年 6 月に技術評価を取得し、1998 (平成 10) 年 7 月に新潟県東蒲原広域衛生組合より 1 号機を受注し、2000 (平成 12) 年 3 月に竣工した。

①施設名：阿賀町汚泥再生センター

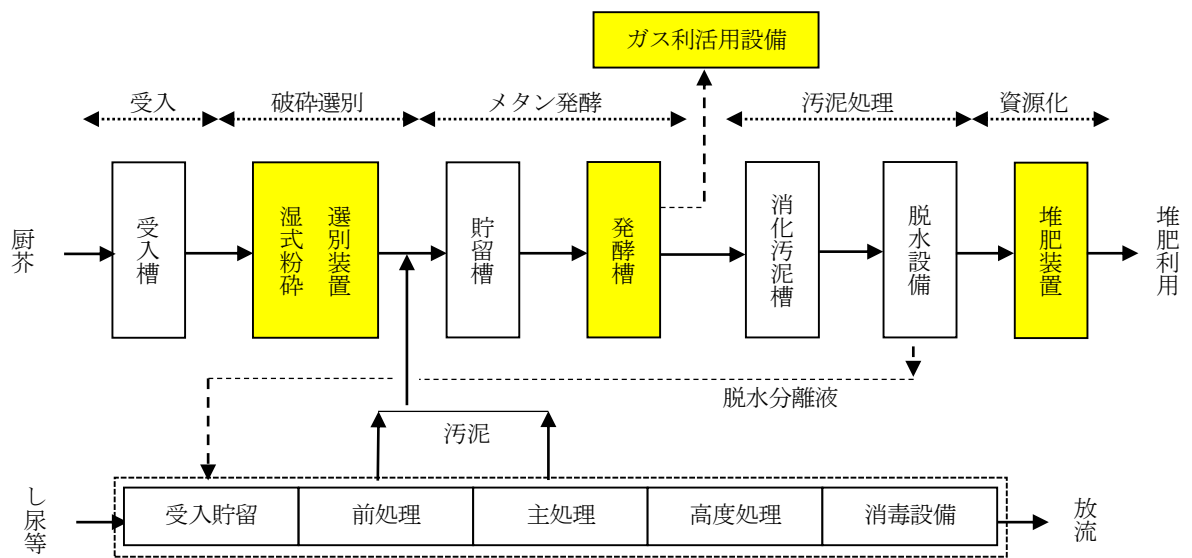
②処理量：し尿等 22.3 kL/日 (し尿 13.1 kL/日、浄化槽汚泥 9.2 kL/日)、
厨芥等 3.5 t/日 (生ごみ 0.5 t/日、下水汚泥 1.3 t/日、農集汚泥 1.7 t/日)

③水処理：膜分離高負荷脱窒素処理＋高度処理

④資源化：メタン発酵＋堆肥化

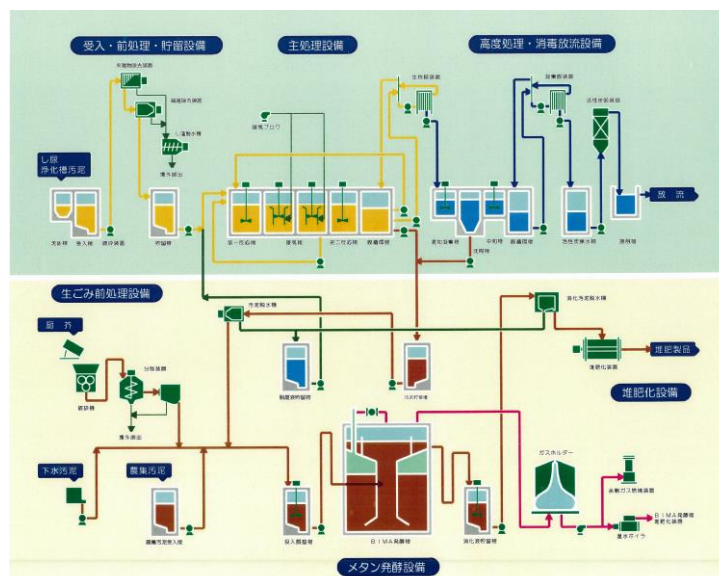
REM システムは、従来のし尿処理プロセスに、湿式粉碎選別装置 (パルパー)、メタン発酵槽 (BIMA 発酵槽)、堆肥化装置等からなる資源回収プロセスを付加した有機性廃棄物処理技術である。

図 4.3-9 に REM システムの処理フローシート (技術評価 14 号)、図 4.3-10 に阿賀町汚泥再生センターのフローシート、写真 4.3-6 に阿賀町汚泥再生センターの外観と、写真 4.3-7 に BIMA 発酵槽とガスホルダーを示す。



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

図 4.3-9 REM システムの処理フローシート⁷⁾



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

図 4.3-10 阿賀町汚泥再生センター フローシート⁷⁾



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

写真 4.3-6 阿賀町汚泥再生センター⁷⁾



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

写真 4.3-7 BIMA 発酵槽(左)とガスホルダー(右)⁷⁾

し尿処理における浄化槽汚泥及び余剰汚泥と受入厨芥をメタン発酵処理してバイオガスを回収し、消化汚泥の脱水分離液をし尿処理施設で処理する。なお、脱水汚泥は堆肥化等とする。

特徴は次のとおりである。

- ①し尿、浄化槽汚泥、生ごみ、汚泥、残渣、家畜ふん尿等、多くの有機性廃棄物の処理が可能である。
- ②メタン発酵の前処理に使用するパルパーは発酵不適物の除去性能が良いので、メタン発酵効率が高く、堆肥等の品質も向上する。
- ③BIMA 発酵槽は無動力攪拌装置のため省エネルギーであり、槽内に機器が無くメンテナンスフリーである。
- ④設備構成がシンプルで維持管理が容易である。

なお、メタン発酵設備投入前の前処理設備としては、湿式粉碎選別機を採用している。詳細は、計画・設計要領 2006 改訂版「Ⅱ編 4.2.5 5) 湿式破碎選別機」に記載されている。

[2] リネッサシステム

愛媛県上浮穴郡生活環境事務組合環境センター内に「し尿処理汚泥等の廃水処理汚泥及びその他有機性廃棄物の混合メタン発酵処理－2段メタン発酵方式－」（リネッサシステム）による実証プラントを建設し、1998（平成10）年5月～1999（平成11）年2月まで10カ月間の実証試験を行った。（三井E&S環境エンジニアリング株式会社含む7社共同開発）

2000（平成12）年1月にリネッサシステムに対する公益財団法人廃棄物・3R研究財団（当時の財団法人廃棄物研究財団）の技術評価第23号を取得した。

リネッサシステムは、従来のし尿処理プロセスに、中温と高温方式の2段階メタン発酵槽及び堆肥化装置等からなる資源回収プロセスを付加した有機性廃棄物処理技術である。

図4.3-11にリネッサシステムの処理フローシート（技術評価23号）を示す。

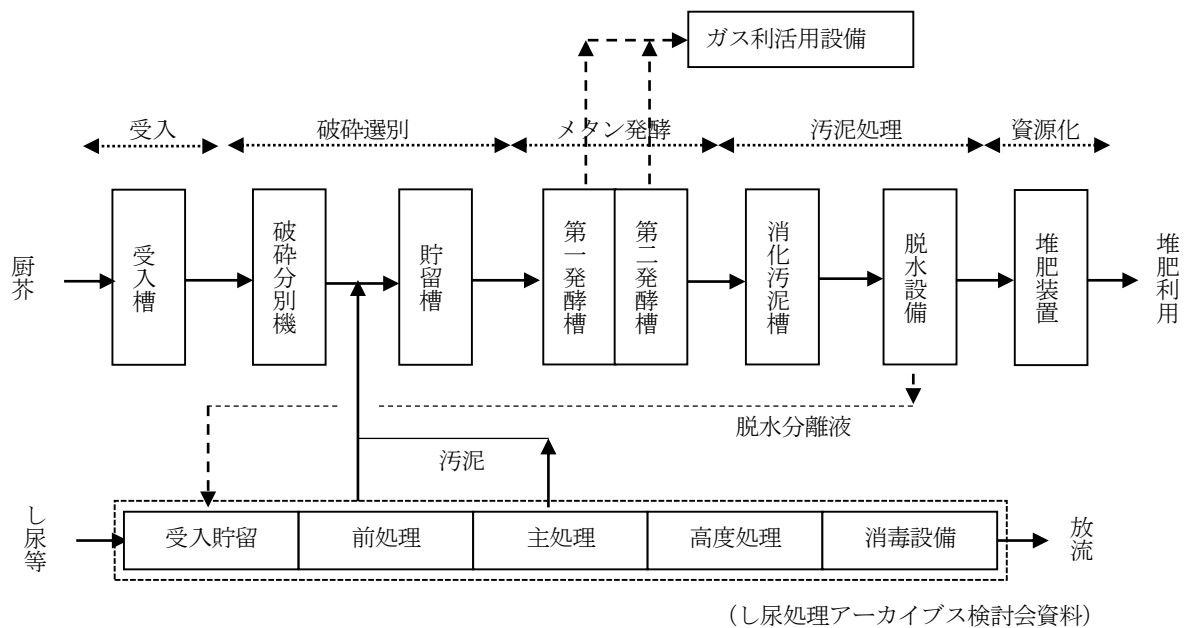


図4.3-11 リネッサシステムのフローシート⁷⁾

し尿処理における浄化槽汚泥及び余剰汚泥と受入厨芥をメタン発酵処理してバイオガスを回収し、消化汚泥の脱水分離液をし尿処理施設で処理する。なお、脱水汚泥は堆肥化等とする。

(d) メタン発酵技術の今後

近年、地球温暖化対策、エネルギーセキュリティー等の観点から再生可能エネルギーの導入が促進されており、2011（平成23）年8月に「再生可能エネルギー特別措置法」が成立した。2012（平成24）年7月から「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」がスタートし、メタン発酵等のバイオマスを原料とした発電に対しても対象となっている。

しかし、現在では汚泥再生処理センターにおける資源化技術としてメタン発酵が、ほとんど採用されていない。これは、有機性廃棄物として生ごみを受け入れないとバイオガス

発生量が少なくなってしまうが、その生ごみを受け入れる設備のコストが高い・ガス発電機のコストが高い等のハードルがあり、費用対効果が少ないという理由である。

(2) 助燃剤化技術⁸⁾⁹⁾

(a) 汚泥の助燃剤化の定義

汚泥の助燃剤化の定義を以下に示す。

- ①汚泥再生処理センターから発生する汚泥の含水率が70%以下であること。
- ②上記汚泥が、熱回収施設のごみ焼却炉で一般の可燃ごみとの混焼比率が15%以下で補助燃料を使用せず安定した燃焼を行えること。

(b) 技術開発の背景と経緯

初期の汚泥再生処理センターでは、資源化設備は堆肥化設備とメタン発酵設備が主流であった。

しかし、堆肥化物の需要先の確保や非需要期の貯留、メタン発酵における生ごみの受入・分別設備やガス発電機のコストがハードルとなり、発注件数が大幅に減少していた。

そのために、汚泥再生処理センター性能指針が、2002（平成14）年と2003（平成15）年に続けて改訂され、処理対象物である生ごみ等有機性廃棄物に下水汚泥と農業集落排水汚泥が追加され、新しい資源化技術として、炭化技術・リン回収技術と助燃剤化技術が追加された。

助燃剤化では、施設によって様々な型式の脱水機が使用されている。脱水する原料も、浄化槽汚泥の混入比率の高い脱窒素処理方式の場合にはし尿・浄化槽汚泥であるが、その他の処理方式では施設内で発生する余剰汚泥となる。

脱水汚泥の含水率を70%以下とする脱水機は、通常含水率85%前後とする脱水機と比較すると高い脱水性能が必要となる。当初、助燃剤化を達成できる脱水機は、フィルタープレス脱水機しかなかった。ろ布方式のため浄化槽汚泥に含まれる油分に弱く、構成機器が多数で広い設置スペースが広く必要なため、各プラントメーカーでは、様々な型式の高効率脱水機を開発し実用化してきた。

以下に、現状で助燃剤化方式の主流になっている①スクリュープレス脱水機、②電気浸透式脱水機、③遠心脱水機の事例を記載する。

(c) 高効率脱水機の特徴

(ア) 高効率スクリュープレス脱水機

(i) 軸摺動式スクリュープレス脱水機：水ingエンジニアリング株式会社

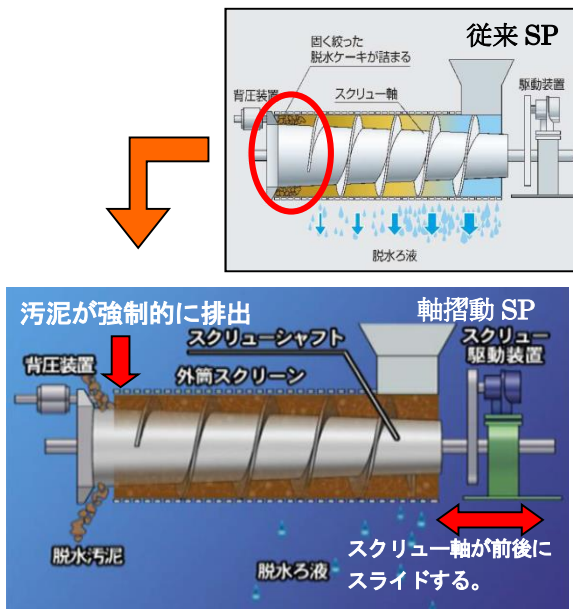
スクリュープレス脱水機（以降、SP）は、円筒型の外筒スクリーンと固定されたスクリュープ軸の間に凝集させた汚泥を供給し、出口部にある背圧装置で圧力をかけながらスクリュープ軸を回転させることで汚泥の脱水を行う装置である。従来、高効率脱水機の代表格であるフィルタープレス脱水機などと比べ、省スペース、省電力、低騒音、補修費用が安価など優位性が高く、以前から低含水率脱水の実現が期待されてきた。

しかし従来型SPで低含水率脱水を行う場合、脱水汚泥の低含水率化が進むと脱水汚泥

が出口部分で機内閉塞し、連続運転ができなくなる欠点があった。

軸摺動 SP は、従来型 SP の特徴をそのままにスクリー軸が脱水汚泥の排出方向に対し前後にスライド（摺動）する機構を備えている。この機構により従来型 SP において機内閉塞の原因であった出口部分の脱水汚泥を、連続的かつ強制的に排除できるため、安定した低含水率脱水が可能になった。

図 4.3-12 に従来型 SP と軸摺動式 SP の機構の違いを示す。また濃縮機を独立して設けたことで、軸摺動 SP への供給汚泥の質の変動を吸収でき、この変動に合わせたスクリー軸の回転調整などが不要になった。これらの特徴によって安定した脱水運転が可能システムを構築することができた。写真 4.3-8 に軸摺動式スクリープレス脱水機の外観を、表 4.3-5 に実績表を示す。



(し尿処理アーカイブス検討会資料)



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

図 4.3-12 軸摺動 SP の構造と従来 SP との比較¹¹⁾

写真 4.3-8 軸摺動式スクリープレス脱水機の外観¹¹⁾

表 4.3-5 軸摺動式スクリープレス脱水機実績表¹⁵⁾

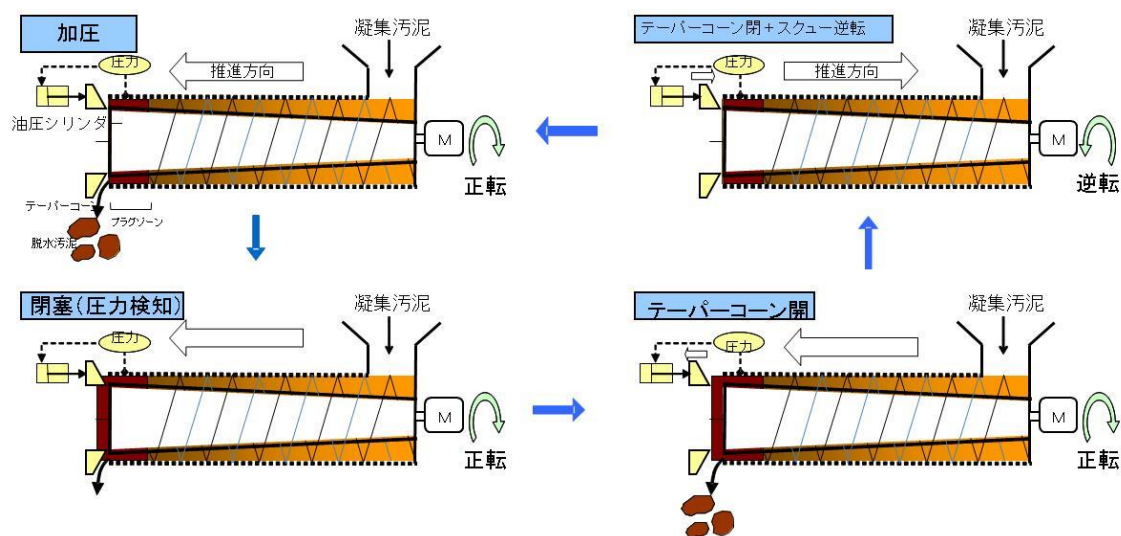
| No. | 都道府県名 | 事業主体 | 台数 | 稼働年月 |
|-----|-------|--------------------------|----|--------------|
| 1 | 高知県 | 幡多西部消防組合 (旧：幡西衛生処理組合) | 2 | 2006.12 |
| 2 | 山口県 | 下関市 | 3 | 2007.02 |
| 3 | 東京都 | 日野市 | 1 | 2010.03 |
| 4 | 宮城県 | 大崎広域東部汚泥再生処理センター | 2 | 2011.09 |
| 5 | 秋田県 | 秋田市 | 2 | 2013.01 |
| 6 | 愛媛県 | 今治市 | 3 | 2014.03 |
| 7 | 奈良県 | 五條市 | 2 | 2015.03 |
| 8 | 静岡県 | 磐田市 | 2 | 2016.03 |
| 9 | 島根県 | 松江市 | 2 | 2016.03 |
| 10 | 岐阜県 | 岐阜市 | 2 | 2016.03 |
| 11 | 山形県 | 尾花沢市大石田町環境衛生事務組合 | 2 | 2016.11 |
| 12 | 富山県 | 氷見市 | 1 | 2017.09 |
| 13 | 岩手県 | 紫波町 | 2 | 2018.03 |
| 14 | 富山県 | 砺波地方衛生施設組合 | 2 | 2019.02 |
| 15 | 岡山県 | 岡山市 | 3 | 2019.03 |
| 16 | 岡山県 | 津山圏域衛生処理組合 | 3 | 2019.03 |
| 17 | 大分県 | 別府市 | 2 | 2019.03 |
| 18 | 愛知県 | 春日井市 | 2 | 2019.03 |
| 19 | 長崎県 | 北松北部環境組合 | 2 | 2019.03 |
| 20 | 福岡県 | 大任町 | 6 | 2020.03 (予定) |
| 21 | 愛媛県 | 松山衛生事務組合 | 6 | 2021.03 (予定) |

(し尿処理アーカイブス検討会資料)

(ii) その他の高効率スクリープレス脱水機 (1) : クボタ環境サービス株式会社

軸摺動式以外に、機内閉塞を防止する機構として、機内圧力を検知し、スクリーへの正転、逆転機構とテーパコーンの開閉機構を併せ持ったスクリープレスもある。

その機構と実績を図 4.3-13、表 4.3-6 に示す。



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

図 4.3-13 その他の高効率スクリープレス脱水機 (1) の機構¹⁶⁾

表 4.3-6 その他の高効率スクリープレス脱水機 (1) 実績¹⁶⁾

| No. | 都道府県名 | 事業主体 | 台数 | 稼働年月 |
|-----|-------|------------------------------|----|---------|
| 1 | 広島県 | 広島中央環境衛生組合 (大崎上島クリーンセンター) | 1 | 2014.04 |
| 2 | 静岡県 | 伊豆市 | 1 | 2015.04 |
| 3 | 兵庫県 | 姫路市 | 1 | 2016.03 |
| 4 | 鹿児島県 | 南薩地区衛生管理組合 | 5 | 2016.04 |
| 5 | 愛知県 | 安城市 | 2 | 2017.03 |
| 6 | 鹿児島県 | 伊佐市 | 3 | 2018.04 |
| 7 | 千葉県 | 長生郡市広域市町村圏組合 | 2 | 2018.08 |

(し尿処理アーカイブス検討会資料)

(iii) その他の高効率スクリープレス脱水機 (2) : 日立造船株式会社

脱水汚泥出口に設けた汚泥排出確認用センサ、脱水汚泥出口の抵抗体を制御する油圧センサ及び濃縮汚泥入口部のレベルスイッチにより、機内閉塞や供回りを防止する機構をもったスクリープレス脱水機である。

実績を表 4.3-7 に示す。

表 4.3-7 その他の高効率スクリーンプレス脱水機 (2) 実績¹⁷⁾

| No. | 都道府県名 | 事業主体 | 台数 | 稼働年月 |
|-----|-------|------------|----|--------------|
| 1 | 沖縄県 | 東部清掃施設組合 | 2 | 2015.01 |
| 2 | 長野県 | 松塩地区広域施設組合 | 2 | 2017.03 |
| 3 | 熊本県 | 宇城広域連合 | 2 | 2020.08 (予定) |
| 4 | 広島県 | 広島中央環境衛生組合 | 4 | 2020.09 (予定) |

(し尿処理アーカイブス検討会資料)

(iv) その他の高効率スクリーンプレス脱水機 (3) (水分自動制御型) : 三井 E&S 環境エンジニアリング株式会社

特徴は、連続測定式水分センサを脱水機出口に設置し、脱水汚泥含水率を常時計測することにより、背圧板圧力及びスクリーン回転数を自動制御し、脱水汚泥の含水率を 70%以下に維持する。

実績を表 4.3-8 に示す。

表 4.3-8 その他の高効率スクリーンプレス脱水機 (3) 実績¹⁸⁾

| No. | 都道府県名 | 事業主体 | 台数 | 稼働年月 |
|-----|-------|------|----|--------------|
| 1 | 和歌山県 | 和歌山市 | 4 | 2016.06 |
| 2 | 熊本県 | 天草市 | 2 | 2017.03 |
| 3 | 東京都 | 町田市 | 1 | 2019.03 |
| 4 | 愛媛県 | 西条市 | 2 | 2020.03 (予定) |

(し尿処理アーカイブス検討会資料)

(イ) 電気浸透式脱水機

(i) 電気浸透式脱水機 : 日立造船株式会社

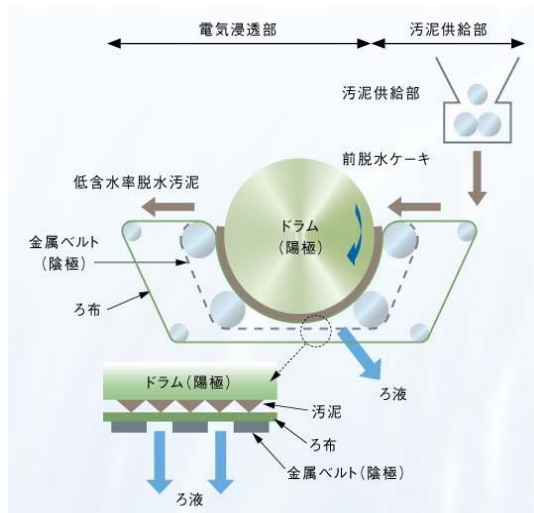
電気浸透式脱水機は、電気浸透という汚泥粒子の間で生じる水の移動現象を利用した汚泥の脱水装置である。従来の圧搾力による汚泥間隙の閉塞がないため、効率的な脱水が可能である。

電気浸透式脱水機(商品名: スーパーフレック)の構造図を図 4.3-14 に示す。前脱水した汚泥(前脱水ケーキ: 含水率 83%前後)を定量的に電気浸透部へ供給する汚泥供給部と電気浸透部本体から構成されている。ドラム型陽極と金属ベルト式陰極の間に挟まれた前脱水ケーキは一定電圧下で印加されることで、ケーキ中の水分がろ液としてろ布を介して陰極側へ移動する。一方、ろ布上に残る低含水率脱水汚泥は、ろ布の移動と共に系外へ排出される。

なお、脱水に要するエネルギー(電力量)は脱水される水分量に比例する。効率よく脱水するには、電気浸透部へ供給する前に十分濃縮(前脱水)することが重要である。よっ

て、電気浸透式脱水機は前脱水機との組み合わせが必要である。前脱水機としては、一般的に多重円板脱水機が使用されている。

写真 4.3-9 に前脱水機を組み合わせた電気浸透式脱水機の外観を、表 4.3-9 に実績を示す。



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

図 4.3-14 電気浸透式脱水機の構造⁶⁾



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

写真 4.3-9 電気浸透式脱水機の外観⁶⁾

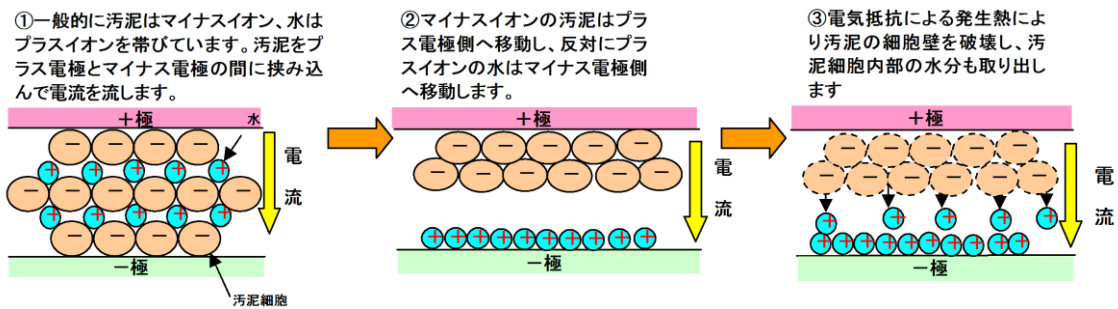
表 4.3-9 電気浸透式脱水機実績表¹⁷⁾

| No. | 都道府県名 | 事業主体 | 台数 | 稼働年月 |
|-----|-------|-----------------|----|---------|
| 1 | 福島県 | 伊達地方衛生処理組合 | 3 | 2009.04 |
| 2 | 茨城県 | 常陸太田市 | 1 | 2009.04 |
| 3 | 島根県 | 西ノ島町 | 1 | 2010.02 |
| 4 | 千葉県 | 流山市 | 2 | 2010.04 |
| 5 | 埼玉県 | 川口市 | 3 | 2010.04 |
| 6 | 千葉県 | 香取広域市町村圏事務組合 | 2 | 2010.09 |
| 7 | 新潟県 | 三条市 | 3 | 2011.01 |
| 8 | 広島県 | 安芸高田市 | 2 | 2011.04 |
| 9 | 千葉県 | 東総衛生組合 | 2 | 2011.10 |
| 10 | 青森県 | 西北五環境整備事務組合 | 2 | 2011.12 |
| 11 | 大阪府 | 能勢町 | 1 | 2011.12 |
| 12 | 岩手県 | 気仙広域連合 | 2 | 2012.01 |
| 13 | 徳島県 | 那賀町 | 1 | 2012.03 |
| 14 | 鹿児島県 | 薩摩川内市 | 3 | 2012.04 |
| 15 | 長崎県 | 壱岐市 | 2 | 2012.04 |
| 16 | 広島県 | 福山市 | 4 | 2013.03 |
| 17 | 島根県 | 安来市 | 2 | 2013.03 |
| 18 | 富山県 | 富山地区衛生組合 | 2 | 2014.03 |
| 19 | 東京都 | 大島町 | 1 | 2014.03 |
| 20 | 和歌山県 | 串本町古座川町衛生施設事務組合 | 1 | 2014.03 |
| 21 | 高知県 | 四万十町 | 1 | 2014.03 |
| 22 | 長崎県 | 島原市 | 4 | 2017.03 |
| 23 | 鳥取県 | 日野町江府町日南町衛生施設組合 | 1 | 2017.11 |

(し尿処理アーカイブス検討会資料)

(ii) その他の電気浸透式脱水機：三井 E&S 環境エンジニアリング株式会社

電気浸透式脱水機の原理を図 4.3-15 に示す。本脱水機はこの原理を利用して脱水を行う。



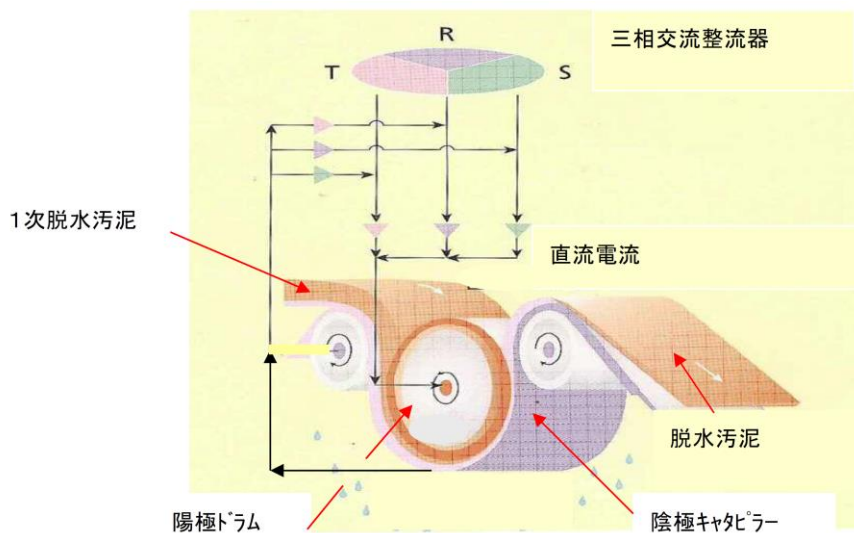
(し尿処理アーカイブス検討会資料)

図 4.3-15 電気浸透式脱水機の原理¹⁸⁾

電気浸透式脱水機（e-ダイナプレス）は、一次脱水機との組み合わせで運用し、特徴は以下のとおりとなる。

- ①脱水補助剤の添加が不要で、電気浸透の作用で含水率 70%以下に脱水する。
- ②使用する薬品は、前段の一次脱水機で使用する高分子凝集剤のみ。
- ③汚泥性状の変化に対しては、印加電圧の調整で対応できる。

電気浸透式脱水機の脱水システムを図 4.3-16 に示す。一次脱水（含水率 83%程度）された汚泥をろ布を介した陽極（ドラム）と陰極（キャタピラー）の間に供給して両極間に三相交流電圧を直流に整流印加し、汚泥の細胞の中の結合水までも、強く陰極へ押し出して脱水する脱水システムである。



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

図 4.3-16 電気浸透式脱水機の脱水システム¹⁸⁾

写真 4.3-10 に電気浸透式脱水機の外観を、表 4.3-10 に実績を示す。



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

写真 4.3-10 電気浸透式脱水機の外観¹⁸⁾

表 4.3-10 その他の電気浸透式脱水機実績¹⁸⁾

| No. | 都道府県名 | 事業主体 | 台数 | 稼働年月 |
|-----|-------|------|----|---------|
| 1 | 長崎県 | 西海市 | 3 | 2013.03 |
| 2 | 広島県 | 三原市 | 3 | 2013.07 |

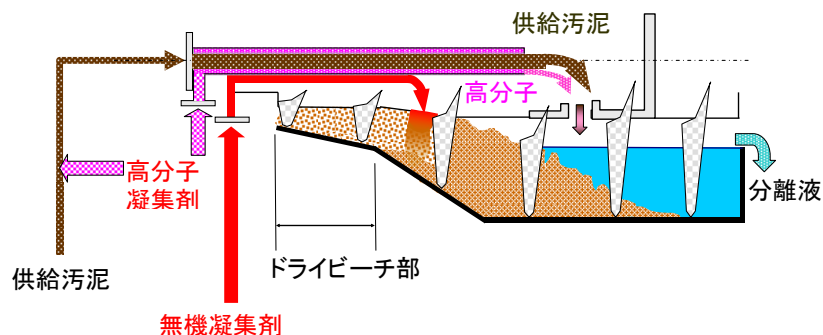
(し尿処理アーカイブス検討会資料)

(ウ) 高効率遠心脱水機

(i) 超低含水率型遠心脱水機：株式会社西原環境

超低含水率型遠心脱水機（商品名：SDR インパクト）は、汚泥の助燃剤化に対応するために開発された。従来の高効率型遠心脱水機と比較し 10%以上の低含水率化が図られ、汚泥含水率 70%以下を実現した。

図 4.3-17 に超低含水率型遠心脱水機の構造概要を示すが、無機凝集剤と高分子凝集剤を併用する 2 液調質法専用である。



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

図 4.3-17 超低含水率型遠心脱水機の構造概要¹⁴⁾

従来型遠心脱水機では、供給汚泥ラインに無機凝集剤を注入する方法であるのに対し、本遠心脱水機では、無機凝集剤を直接遠心脱水機本体へ注入する機構を採用している。脱水がある程度進んだ箇所へ無機凝集剤を直接注入するため、より効果的に脱水に使用することができ、その結果、脱水汚泥含水率が大幅に低下できる。写真 4.3-11 に超低含水率型遠心脱水機の外観を示す。

表 4.3-11 に実績を示す。



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

写真 4.3-11 超低含水率型遠心脱水機の外観¹⁹⁾

表 4.3-11 超低含水率型遠心脱水機実績¹⁹⁾

| No. | 都道府県名 | 事業主体 | 台数 | 稼働年月 |
|-----|-------|-------------|----|---------|
| 1 | 神奈川県 | 相模原市 | 2 | 2015.03 |
| 2 | 愛知県 | 小牧市 | 2 | 2015.03 |
| 3 | 福井県 | 美浜・三方環境衛生組合 | 2 | 2017.03 |

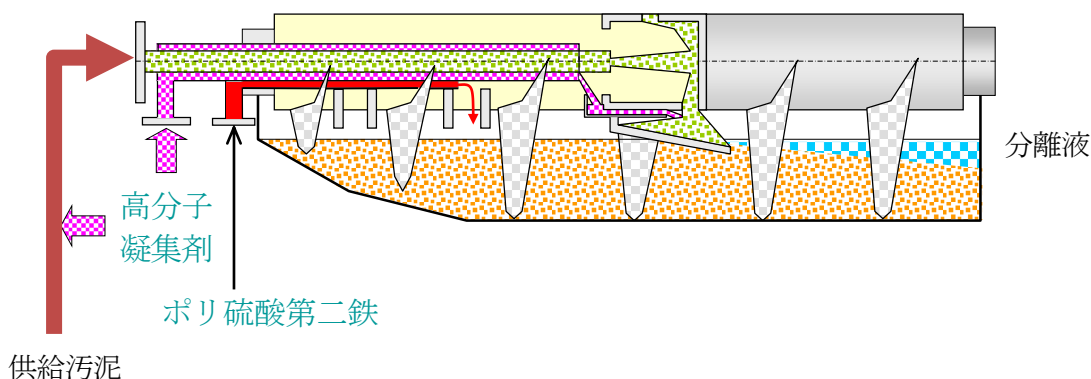
(し尿処理アーカイブス検討会資料)

(ii) 低動力型高効率遠心脱水機：日立造船株式会社

低動力型高効率遠心脱水機は、主に以下のような特徴がある。

- ①分離液、脱水汚泥の排出半径の縮小化及び省電力ギヤボックスの採用による低消費電力化の実現。
- ②液深を深くし回転筒内内容量を増し、固形物滞留時間を長くすることにより、圧密力・圧搾力を向上させ、脱水汚泥の低含水率化を実現。
- ③機内で脱水の進行した位置に無機凝集剤を添加することで、凝集フロックを破壊して疎水性を高め、脱水汚泥の低含水率化の実現。

図 4.3-18 に低動力型高効率遠心脱水機の構造概要を示す。



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

図 4.3-18 低動力型高効率遠心脱水機の構造概要¹⁷⁾

本脱水機では、機内の固形物搬送トルクと脱水汚泥含水率には相関関係があることから、トルク一定制御にて自動運転を行うことにより、適正差速に自動調整され、安定した脱水汚泥含水率で連続運転を行うことができる。また、従来通り設定した差速を一定に保つ、差速一定制御の運転を行うことも可能である。

実績を表 4.3-12 に示す。

表 4.3-12 その他の遠心脱水機実績¹⁷⁾

| No. | 都道府県名 | 事業主体 | 台数 | 稼働年月 |
|-----|-------|------|----|--------------|
| 1 | 埼玉県 | 深谷市 | 2 | 2016.03 |
| 2 | 埼玉県 | 春日部市 | 2 | 2017.03 |
| 3 | 岐阜県 | 中津川市 | 2 | 2019.11 (予定) |

(し尿処理アーカイブス検討会資料)

(d) 助燃剤化の今後

近年、汚泥再生処理センターの資源化設備では、助燃剤化の採用率が 50%程度と高くなっている。

また、し尿・浄化槽汚泥を直接脱水することにより汚泥等の助燃剤化を行い、脱水分離液を希釈後に下水道施設へ放流する事例が増えており、この場合でもその他有機性廃棄物を受け入れていれば、汚泥再生処理センターによる交付金対象事業として認められるため、今後もしばらくの間は、汚泥の助燃剤化技術が資源化設備の主流として採用され続けると予測される。

(3) リン回収

(a) 技術開発の背景と経緯

資源枯渇が懸念されているリンは、日本国内でリン鉱石の埋蔵資源量がゼロであるものの、肥料や食料として流通・消費されている。排水や生ごみなどとして年間 80 千トンの

リンが排出されており、そのうち約 49%が下水道に流入し、約 8%がし尿処理施設に搬入されている。

従来のし尿処理施設では、リンを凝集汚泥として余剰汚泥と共に焼却処分されることが多かったが、搬入されるし尿等のリン濃度は、下水と比較して数十倍高い。排水中からのリン回収技術を適用しやすいことから、汚泥再生処理センターの資源化方法として晶析脱リン法によるリン回収技術が開発された。

また、前述した助燃剤化技術と同様に初期の汚泥再生処理センターの要件として生ごみの受け入れが必須などの高いハードルをクリアするために追加された資源技術である。リン回収技術は、設備コストが小さく、物理化学処理のため運転管理が容易という利点があり、各プラントメーカーが開発・実用化した。

晶析脱リン法は、排水中のリン酸にカルシウムやマグネシウムを添加して、pH 調整することにより、溶解度の小さいリン酸化合物として結晶化させ固液分離によりリン回収する方法である。この晶析法の具体化技術には、ヒドロキシアパタイト (Hydroxyapatite) を析出させる方法 (HAP 法) とリン酸マグネシウムアンモニウム (Magnesium ammonium phosphate) を析出させる方法 (MAP 法) がある。

初期には、HAP 法を採用した実績が多かったが、近年 MAP 法を採用した実績が増加している。

(b) 設備概要

(ア) HAP 法

(i) HAP 法の概要

HAP 法は、リン酸イオンがカルシウムイオンと以下の (式 4.3-1) のように反応し、難溶解性のヒドロキシアパタイト ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) を生成する晶析反応に基づいている。

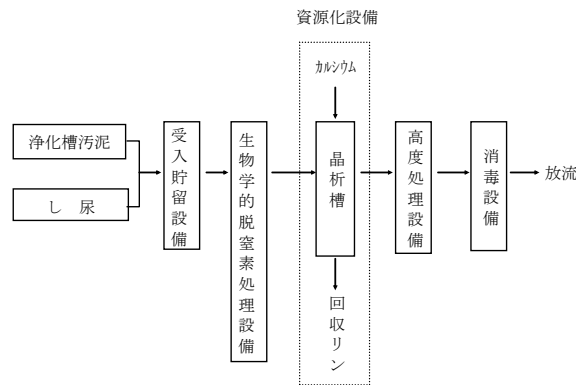


リン酸イオンを高濃度に含む生物処理水に対して、カルシウム溶液の添加及び pH 調整を行って HAP を過飽和状態とし、HAP の種晶表面に結晶を析出させている。pH やカルシウム濃度が高いほど HAP の溶解度積が小さくなってリンは結晶化するが、これらの条件があまりにも高くなると微細な結晶が生成して沈降性や脱水性が悪化するため、最適な範囲での制御が必要になる。また、温度が高い方が結晶の成長速度は速いが、し尿の生物処理水は硝化脱窒反応による熱で液温が一定以上に保たれるため、加温する必要がない。

このような条件で生成した HAP 結晶は沈降性および脱水性が良好であるため、結晶の回収操作を容易に行うことができる。また回収した HAP はリン含有率が高く、固液分離後の生物処理水を対象とするために不純物が非常に少ない。さらに、物理化学反応であるため、運転・停止操作を容易に行うことができ、硝化脱窒素などの他の処理設備に影響を与えない等の特長がある。

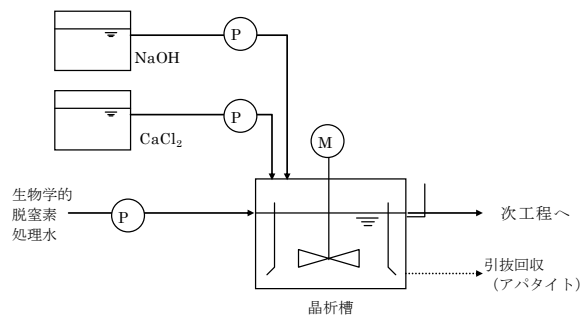
(ii) HAP 法の構成設備

HAP 法システムのフローシートと設備フローシートを図 4.3-19 と図 4.3-20 に示す。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 307)

図 4.3-19 HAP 法システムのフローシート³⁾



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 307)

図 4.3-20 HAP 法の資源化設備フローシート³⁾

設備の構成は、晶析反応と固液分離を行う晶析槽、塩化カルシウム溶液と苛性ソーダ溶液を注入する薬注設備、生成した HAP 結晶を晶析槽底部から定期的に引き抜くポンプ、および水切りを行う回収槽からなる。

晶析槽は内部のバッフルプレートによって中心側の晶析部と外周側の沈降部に分けられる。

生物処理水は晶析部液面に投入され、バッフルプレート下を通過して沈降部の液面に設けた出口から次工程に排出される。中心に設けた攪拌機で種晶を攪拌し浮遊させることで、HAP 結晶の成長を促す一方で、沈降部では比重が重い HAP を沈降分離し上澄液を処理水として得る。

また、適切な薬注量を維持するため、pH 計などによる薬注制御を行っている。

(iii) HAP 法の開発

プラントメーカー各社による本技術の開発・実用化の経緯は以下のとおりである。

[1] HAP 法：日立造船株式会社⁹⁾

し尿、浄化槽汚泥からのリン回収技術について、日立造船株式会社を含む 7 社^{注4)}共同

で茨城県那珂湊衛生センターの敷地内に実証プラントを建設し、2002（平成14年）年から2003（平成15年）年にかけて、実証試験を実施した。実証試験では、晶析槽のpH、Ca濃度、晶析槽の混合液濃度（種晶）および晶析槽温度がリン回収率に影響を及ぼすことが確認された。

2003（平成15）年に一般財団法人日本環境衛生センターより「し尿と浄化槽汚泥からのアパタイト法によるリン回収システム」で廃棄物処理技術検証第3号を取得した。注4）浅野アタカ株式会社（当時の浅野工事株式会社）、日立造船株式会社（当時のアタカ工業株式会社）、水ingエンジニアリング株式会社（当時の株式会社荏原製作所）、クボタ環境サービス株式会社（当時の株式会社クボタ）、住友重機械エンバイロメント株式会社（当時の住友重機械工業株式会社）、株式会社西原環境（当時の株式会社西原環境テクノロジー）、三菱重工業環境・化学エンジニアリング株式会社（当時の三菱重工業株式会社）

リン回収設備を資源化設備として採用した1号機である仙北市汚泥再生処理センター（秋田県）が2009（平成21）年に竣工した写真4.3-12、写真4.3-13に晶析槽および回収HAPの写真を示す。

その後も設置され、表4.3-3に示すように、HAP法による汚泥再生処理センターの実績は、9施設（2017年11月現在）まで増加している。



（し尿処理アーカイブス検討会資料）



（し尿処理アーカイブス検討会資料）



写真4.3-12 リン回収設備を設置した汚泥再生処理センター（秋田県仙北市汚泥再生処理センター）⁹⁾ 写真4.3-13 晶析槽と回収HAP⁹⁾

[2] HAP法：三井E&S環境エンジニアリング株式会社¹⁰⁾

2011（平成23）年9月～2012（平成24）年2月に大牟田市東部環境センター内で、処理量1m³/日の種晶アパタイト法リン回収試験装置による実証試験を行った。

同年2月、一般財団法人日本環境衛生センターより種晶アパタイト法リン回収装置性能調査報告書を取得した。2012（平成24）年11月に宇和島地区広域事務組合より種晶アパタイト法リン回収装置1号機、高効率脱水機（水分自動制御型スクリーブレス（商品名：スマートプレス）1号機を採用した汚泥再生処理センター建設工事を受注し、2015（平成27）年7月竣工した。

- ①施設名：宇和島地区広域事務組合汚泥再生処理センター
- ②処理量：220 kL/日（し尿 130 kL/日、浄化槽汚泥 90 kL/日）
- ③水処理：膜分離高負荷脱窒素処理＋高度処理
- ④資源化：リン回収

三井 E&S 環境エンジニアリング株式会社独自のリン回収技術で、従来の HAP 法の欠点を解消したシステムである。

生物処理後の処理水にカルシウム剤を添加し、生物処理水に含まれるリン酸と反応させ HAP（ヒドロキシルアパタイト）として効率的に回収する。

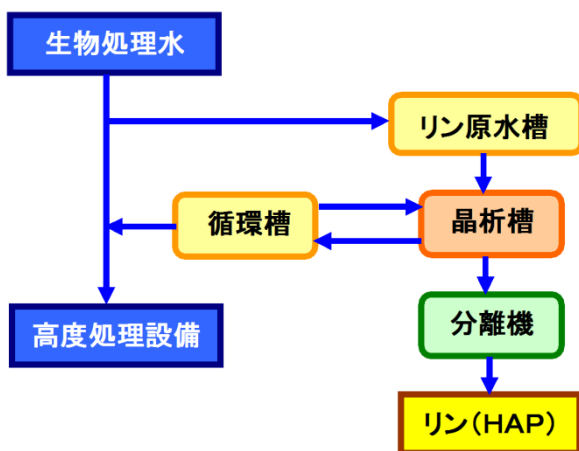
種晶としてケイ酸カルシウム肥料を利用し、種晶アパタイト方式により種晶の表面に HAP を晶析させ、晶析が進み、径が一定以上になってから引き抜き、水切り後、製品を回収する。

運転はカルシウム添加と pH 調整のみと容易である。

回収した製品は肥料取締法の「副産リン酸肥料」としての規格を満たしており、く溶性リン酸の含有率 15%以上、含水率が 20%以下である。

特徴としては、回収した製品の含水率が低くなり、水切れが良いため乾燥工程が不要で、粒径 2 mm 以上となり、製品化工程での粉塵の発生がない。また生物処理水からリンを回収するため、製品の臭気はほとんどなく衛生的である。

図 4.3-21 にシステム概略フローシート、写真 4.3-14 に回収製品、写真 4.3-15 にリン晶析塔の写真を示す。



（出典：し尿処理アーカイブス検討会資料）

写真 4.3-14 回収製品（HAP）¹⁰⁾

（し尿処理アーカイブス検討会資料）

図 4.3-21 システムの概略フローシート¹⁰⁾



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

写真 4.3-15 リン晶析塔¹⁰⁾

(イ) MAP 法

(i) MAP 法の概要

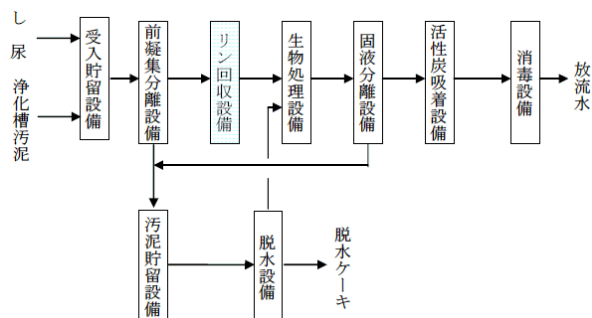
MAP 法は、対象水中のリン酸イオンが、アンモニウムイオン及びマグネシウムイオンと反応して、リン酸マグネシウムアンモニウムの 6 水塩の結晶 ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) を生成する反応に基づいている。基本的な化学反応式は、以下のようになる。



し尿や浄化槽汚泥の生物処理を行う前の前凝集分離液等に対し、アルカリ領域でマグネシウム剤を添加してアンモニアの存在下で反応を起こし、リン酸マグネシウムアンモニウムとして回収する。

(ii) 構成設備

MAP 法システムのフローシートと設備フローシートを図 4.3-22、図 4.3-23 に示す。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 312)

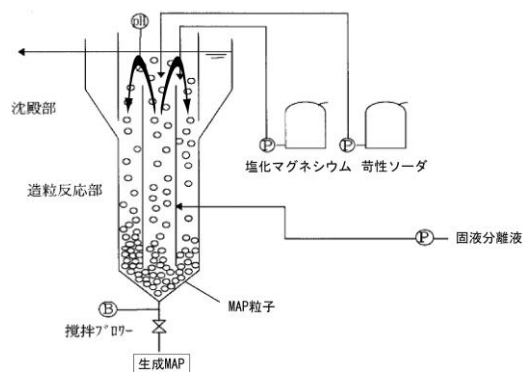
図 4.3-22 MAP 法システムのフローシート³⁾

設備の構成は、MAP 粒子が内筒と外筒を循環しながら造粒する二重構造の MAP 反応塔、

塩化マグネシウム溶液と苛性ソーダ溶液を注入する薬注設備、生成した MAP 結晶を晶析槽底部から定期的に引き抜く装置と引き抜いた MAP を洗浄・回収する分離装置、ブロワ等からなる。

前述したように、反応塔は二重筒構造になっており、MAP 粒子を含む槽内液がブロワによるエアリフト効果で内筒を上昇し、外筒を下降・循環する。薬注は、ブロワによるばっ気で上向流となっている内筒部へ投入され、適量の塩化マグネシウム溶液の添加及び苛性ソーダ溶液による pH 調整によって、筒内を循環しながら MAP が造粒していく構造となっている。

処理水は、塔上部の分離部で MAP を沈降分離してオーバーフローする。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 312)

図 4.3-23 MAP 法の資源化設備フローシート³⁾

(iii) MAP 法の開発¹⁾

プラントメーカー各社による本技術の開発・実用化の経緯は以下ととおりである。

[1] MAP 法：水 ing エンジニアリング株式会社

宮崎県児湯郡新富町の新富町し尿処理施設「潮香苑」内で処理量 1.5 m³/日の MAP 法リン回収装置で実証試験を行った。

実証試験結果は安定運転期間の 2012（平成 24）年 2 月～2012（平成 24）年 6 月の運転データで調査した。

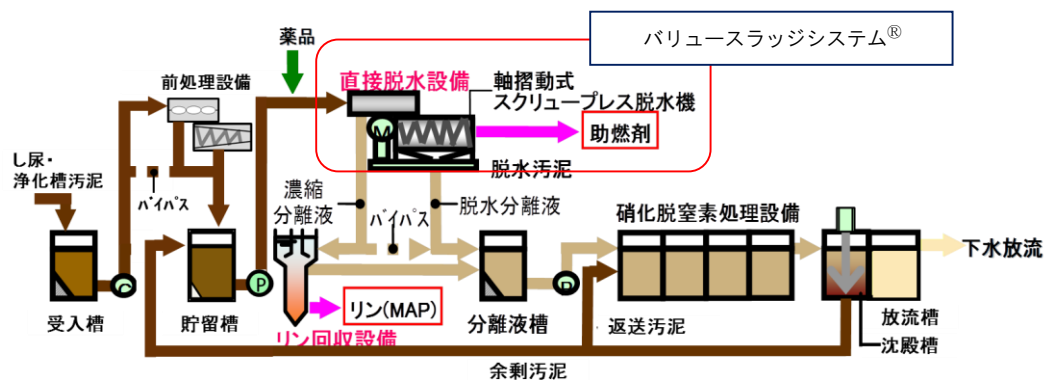
同年 10 月に一般財団法人日本環境衛生センターより同時に行った汚泥助燃剤化の実証試験と合わせ、「汚泥助燃剤化・MAP 法リン回収複合資源化システム」性能調査報告書を取得した。

水 ing エンジニアリング株式会社は助燃剤化で多くの稼働実績をあげているし尿等の直接脱水方式による助燃剤化システムのバリューラッジシステム[®]を発展させ、MAP 法によるリン回収も同時に行うシステム「P デニライトシステム[®]」を完成させた。1 号機は 2015（平成 27）年 3 月に竣工し、同 4 月より供用を開始している施設であり、し尿・浄

化槽汚泥（以下、し尿等）直接脱水方式による脱水汚泥の助燃剤化と、分離液からのリン回収を同時に行う「Pデニライトシステム[®]」である。

- ①施設名：五條市クリーン・オアシス
- ②処理量：48 kL/日（し尿 15 kL/日＋浄化槽汚泥 33 kL/日）
- ③水処理：高負荷脱窒素処理方式
- ④資源化：リン回収（助燃剤化）

概要の処理フローシートを図 4.3-24 に示す。



（し尿処理アーカイブス検討会資料）

図 4.3-24 P デニライトシステム[®]を導入した処理フローシート¹¹⁾

搬入されたし尿等は、受入口から投入し沈砂槽で、砂・小石等を除去した後、受入槽に流入する。受入槽のし尿等は、破碎装置で破碎し、貯留槽へ移送する。破碎したし尿等は硝化脱窒素処理設備から発生する余剰汚泥と混合し、薬品（無機凝集剤、高分子凝集剤）を注入して、高効率凝集装置により、固形物を凝集させ、軸摺動式スクリュープレス脱水機で脱水汚泥、濃縮分離液および脱水分離液に固液分離する。

脱水汚泥は堆肥原料として外部搬出しているが、含水率は70%以下で安定しており、助燃剤として利用可能である。濃縮分離液はリン回収設備にてリンを回収するとともに、リン回収分離液を分離液槽に移送する。分離液槽では脱水分離液、リン回収分離液を混合貯留した後、硝化脱窒素処理設備へ投入、処理する。

硝化脱窒素処理では、し尿等の一部無薬注投入制御方式を採用して脱水用薬剤の注入を一時的に停止することにより、除渣し尿を分離液槽に流入させ、水処理設備への汚濁負荷を調整することで、BOD/N比を改善し、メタノールの使用量を低減させる。生物処理後の処理水（沈殿槽上澄水）は、公共下水道を經由して処理後、公共水域に放流される。

処理方式の特徴として、以下に3点を示す。

- ①直接脱水設備にバリュースラッジシステム[®]を採用
- ②リン回収設備にMAP法を採用

リン回収はMAP法を採用し、直接脱水設備の無機凝集剤（ポリ硫酸第二鉄（以下、ポ

リ鉄) 添加前の濃縮分離液を原水として行う。濃縮分離液はし尿等に含まれるリンがそのまま残存しているため、生物処理水(膜透過水)を原水とする HAP 法よりも、効率よくリン回収が行える。

回収された MAP は、肥料の三大要素のうち「リン (P)」と「窒素 (N)」を十分に含んだ良質な化成肥料となる。肥料要素である苦土 (Mg) も含有しており、化成肥料の規格を満足することが独立行政法人農林水産消費安全技術センターとの協議を経て確認できている。

MAP 法の原水は SS 濃度が 1,000 mg/L 以下程度でよい場合、直接脱水設備の濃縮機(目幅 1 mm スクリーン) の濃縮分離液を原水として使用可能であり、リン回収設備の前段で精密な SS 除去が不要となる。

リアクタ (MAP 反応塔) は、連続運転が可能なツインリアクタ方式を使用する。(写真 4.3-16 参照)



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

写真 4.3-16 リン回収リアクタ¹¹⁾

③ 水処理の固液分離に沈殿槽を採用

直接脱水により水処理への投入負荷を低減することで、活性汚泥濃度を低くした運転が可能となる。沈殿槽による固液分離ができるため、膜分離設備は必要ない。

本システムにより、脱水汚泥の低含水率化、効率的なリン回収、安定した水処理、および維持管理費の低減を同時に達成した。また循環型社会形成へ向けて汚泥再生処理センターの価値を高めることも同時に寄与できた。

(c) リン回収技術の今後

リン回収設備は、近年資源化設備として採用される件数が増加してきている。メリットは、設備コストが少なく運転管理が容易なことである。一方デメリットとしては、回収製品の需要先の確保の困難、し尿・浄化槽汚泥の希薄化によるリン回収率の低下があげられる。

今後、再生リンの価値が向上して、前述したデメリットを克服できれば、更に採用件数が増加する可能性もあり、期待したい。

(4) 堆肥化技術

(a) 技術開発の背景と経緯

1950年代中頃から1960年代前半（昭和30年頃）にかけて、し尿中の固形分と家庭ごみを混合して直接堆肥化する廃棄物処理施設が、一時的に普及して20施設あまり建設された。

この堆肥化技術は、原料中に生息する微生物の働きによりし尿・生ごみを分解し、その発酵熱で病原菌や寄生虫などを死滅させ、安定化、安全化した有機質肥料を作るものだった。しかし、堆肥化された製品について、流通面での研究が不足しており、品質面で悪評を買い、野積みのまま放置されることも多かった。そのような中、し尿の生物処理と都市ごみの焼却処理、各々の衛生処理化が単独で指向されたことにより、いつの間にか下火となり衰退していった。

その後、1973（昭和48）年に第一次オイルショックが起きると、化学肥料の供給に対する危機感から、堆肥化技術の研究・開発が進められていった。

1980年代（昭和50年代後半）に入ると、汚泥等を最終処分する埋立処分場の有限性や新設の困難性から、汚泥等の積極的な資源化が求められるようになっていった。開発・実用化された堆肥化装置としては、円筒式（ロータリーキルン式、リボン攪拌式、半円筒パドル式）、平面式（スクープ式、パドル式）、サイロ式（オーガ式、攪拌羽根式）、円錐式（スクリュウ式）などがあり、いずれの通気方法も強制通気である。

(b) 概要¹²⁾

汚泥再生処理センターの堆肥化設備では、水処理設備またはメタン回収設備で発生した汚泥に施設へ搬入される生ごみやその他有機性廃棄物を混合して堆肥化、あるいは発生汚泥単独での堆肥化が行われる。

通常、堆肥化設備が建屋内に収納されるため採用されている方式の大部分は密閉負圧構造となっており、機外への臭気飛散を防止する配慮がなされている。

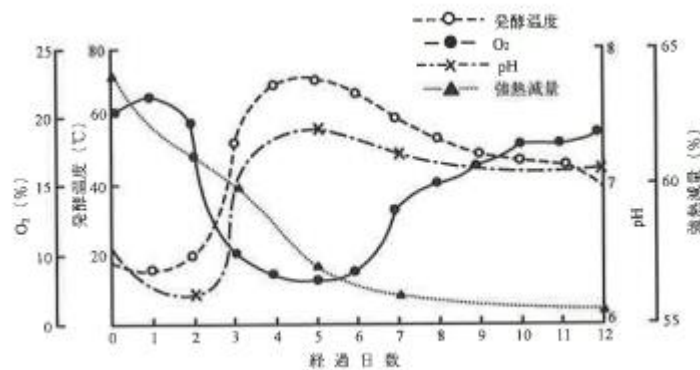
また、製品堆肥には需要時期があるため、大口需要家での利用が主となる場合、堆肥の製造量や利用期間に応じてストックヤード等の貯留・保管スペースが必要となる。

(c) 発酵機能

堆肥化とは、汚泥等を好気性の条件下で堆積し、好気性微生物の働きにより有機物を分解して、より安全で安定した物質にすることで、好気性発酵ともいう。

堆肥化の分解過程は二つの段階に大別することができる。まず比較的単純な構造の易分解性有機物（低分子の炭水化物、脂肪、タンパク質等）が主に分解され、つづいて複雑な構造の難分解性有機物（高分子のヘミセルロース、セルロース等）が分解する。分解の際には熱が発生し最高 60～80℃に達し、最終的に炭酸ガスやアンモニア等の排ガスが発生する。

図 4.3-25 は汚泥を堆肥化させたときの原理を知るために行った実験の結果である。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 317)

図 4.3-25 汚泥の堆肥化発酵中の変化³⁾

発酵槽に汚泥等を堆積すると徐々に発酵が進行し中温微生物が優先となり易分解性有機物が分解して生成された発酵熱により、温度が急激に上昇する。この段階では比較的 low molecular weight の有機酸が生成するので、pH の低下現象がみられる。

発酵温度が 40℃以上になると、高温微生物が優勢となり有機酸の分解に伴い pH が上昇し、アルカリ側に移行して過剰のアンモニアが放散する。発酵温度が 60℃に達すると高温微生物の活性が低下するが芽胞を形成するため、適温になると発芽して再び分解作用が持続され、難分解性有機物の一部が分解される。分解作用の進行につれて有機物が減少するので発熱量が低下し、発酵温度も低下する。発酵温度が 40℃に低下すると再び、中温微生物が活性を回復し、この時点における pH はほぼ中性に近い。

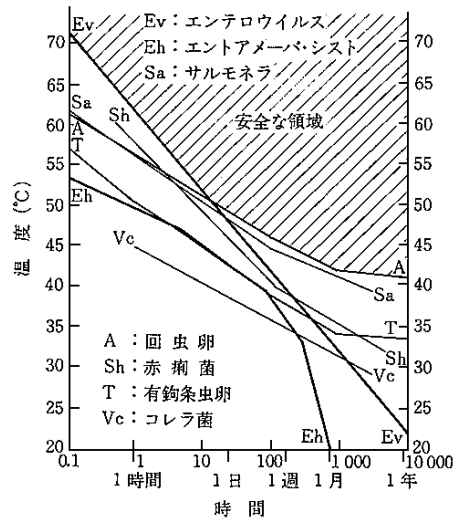
この時点においても未分解の高分子物質が含まれており、これらをさらに分解することもあるがその期間は高分子物質の質および量の違いで大幅に異なる。副資材としておがくず、稲わら、もみがら等を加えた場合は発酵に長期間を要するが、副資材を添加しない場合には、発酵期間が通常 7～14 日程度である。

また、メタン発酵汚泥の場合は、メタン化での嫌気性発酵により易分解性有機物の分解が終了しているため発酵期間が短い。

堆肥化の主な目的は有機物の分解と病原性微生物や雑草種子の死滅化または不活化である。堆肥化過程の温度上昇により病原細菌、病虫卵、有害昆虫卵、ウイルス、雑草種子

などの大部分が不活化され植物や人畜に無害なものとなる。

図 4.3-26 は温度とばく露時間が各種微生物に与える影響を示す線図である。斜線の領域は、微生物が不活化されており安全である。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 318)

図 4.3-26 各種微生物を不活化する温度とばく露時間³⁾

(d) 発酵装置

堆肥化を進行させる発酵装置には、種々のものがあるが基本的に、通気、攪拌、移送などの機能を備えている。

攪拌により原料を内部から表面へと移動させ、表面での空気接触により好気性雰囲気とする方式や散気装置で原料内部へ強制的に空気を送り込む方式、これらを組み合わせた方式など、散気方法にも各種各様のものがある。

発酵プロセスでは、汚泥等の易分解性有機物が微生物の働きで急激に分解される。

汚泥等の好氣的発酵を維持するためには、適切な酸素の供給が不可欠である。

この攪拌や散気は、酸素供給を行うと同時に発酵熱を奪う方向に働くため、発酵温度を維持するために、発酵装置の保温や供給空気の加温が必要となる。

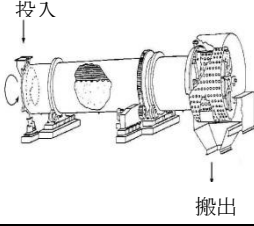
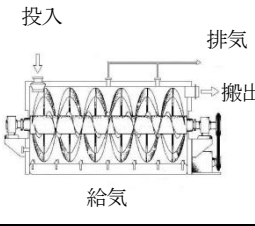
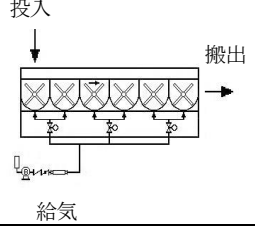
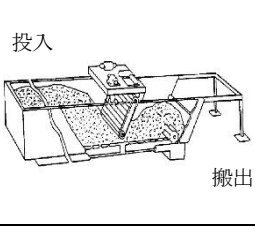
堆肥化発酵プロセスでは、アンモニア濃度及び湿度が高く、比較的温度の高いガスが発生する。従って、これらのガスに直接触れる金属部材等については、亜鉛メッキやエポキシ樹脂塗装等の防食措置が必要で、また摺動部分についても SUS304 等の耐食材料を用いるのが望ましい。また、発酵によって生じた発生ガスを排気するため、送風機、排風機等が必要である。ただし、小規模密閉型発酵装置にあっては、排風機によって発酵装置内を負圧にすることにより通気することが可能で、送風機と排風機を兼ねることもできる。

繰り返し装置は、横型の場合、移送装置を兼用しているものが多いが、立型の場合では、重力により汚泥が移送されるので、移送装置を特別に設けないもの、あるいは兼用するも

のなど各種の機種がある。

表 4.3-13 に代表的な発酵装置について比較するが、これらの他にも種々の発酵装置が開発、実用化されている。

表 4.3-13 発酵装置の比較一覧表 (1/2) ³⁾

| 発酵槽の形状 | 円筒式 | | | 平面式 |
|--------|---|---|--|---|
| 攪拌方法 | ロータリーキルン式 | リボン攪拌式 | 半円筒パドル式 | スクープ式 |
| 概念図 |  |  |  |  |
| 概要 | 装置の胴部の回転により堆肥化物が持ち上げられ、自重によって落下することで、切返しを行う。 | 装置に投入された堆肥化物リボン式スクリーンにより、混合攪拌され、押し出し流れ方式で、製品がオーバーフローして排出される。 | 堆肥化物は半円筒を多連に接続した発酵装置内をパドルの回転により、切返し移送される。 | 堆肥化物の切返しと移動は、移動スクープにより同時に行われる。スクープは搬出側から投入側へ移動し、堆肥化物はスクープにより後方にはね上げられる。 |
| 特徴 | ①切返しにより塊状化は少ない。 ②運転の自動化が可能。 ③臭気対策が容易。 | ①リボンスクリーンにより全面的な切返しにより塊状化は少ない。 ②運転の自動化が可能。 ③臭気対策が容易。 | ①パドル切返しにより塊状化は少ない。 ②運転の自動化が可能。 ③臭気対策が容易。 | ①スクープ切返しにより、塊状化は少ない。 |

(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 324-325)

表 4.3-13 発酵装置の比較一覧表 (2/2) ³⁾

| 発酵槽の形状 | 平面式 | サイロ式 | | 円錐式 |
|--------|--|---|---|---|
| 攪拌方法 | パドル式 | オーガー式 | 攪拌羽根式 | スクリー式 |
| 概念図 | | | | |
| 概要 | 堆肥化物の切返しと移動は、パドルのジグザグ運転(横断方向、前後後退)によって同時に行われる。堆肥化物はパドルの反対方向にはね返され徐々に堆積される。 | 発酵装置内の旋回回転オーガーによって、発酵装置の外側に投入された堆肥化物は、切返しにより発酵装置の中心に移動され、中央の排出口より排出される。 | 堆肥化物は、散気管を兼ねた攪拌羽根を兼ねた攪拌羽根から空気を吹き込みながら攪拌され、底部の回転切出しスクリーより排出される。 | 堆肥化物は自・公転するスクリーにより混合攪拌され、下部より排出される。 |
| 特徴 | ①パドル切返しにより、塊状化は少なく、通気は良好。 | ①排出口の高さを変更することにより、滞留日数が調整できる。 ②ショートパスが発生しやすい。 | ①発酵装置の有効容量大。 ②臭気対策が容易。 ③堆肥化物高が大で、圧密状態となりやすい。 ④圧密防止材(木材チップ)を使用する例が多い。 | ①スクリーが自転しながら公転するため均一に攪拌でき、塊状化は少ない。 ②完全混合に近い運転となるため、2槽直列での使用例が多い。 ③運転の自動化が可能。 ④臭気対策が容易。 |

(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 324-325)

(e) 異物除去、成形・袋詰装置

発酵槽で原料は堆肥となるが、地域住民等の需要家に利用してもらうためには、異物除去や成形といった製品化の工程が必要である。

製品化プロセスとしては、堆肥の粒度調整及びきょう雑物の選別を行いやすくするため、発酵設備から出された堆肥に含まれるきょう雑物を効率的に選別する選別設備、目的に適した大きさに粉碎する粉碎機、堆肥を取り扱いやすくするための乾燥、成形、袋詰、梱包などの設備が、必要に応じて組み合わせられる。

(ア) 異物除去装置

非堆肥化物（紙、プラスチック類）、通気改良材返送方式における木材チップおよび堆肥の塊を除く必要がある場合は、ふるい分け装置が使用される。

発酵後の堆肥は含水率が低く均一な状態なので、比較的簡単な構造の振動ふるいやトロンメル等で分離できる。

(イ) 成形装置

成形装置は製品価値を上げるためあるいは機械散布を容易にする等の理由により、需要先の要求に応じて設けることが多い。成形装置は、堆肥の指定された品質の範囲内で、指定された形状寸法に処理する能力を有する必要がある。

ただし、圧縮成形設備の運転に多大な動力を必要としたり、成形後の冷却過程でダストが発生しやすい等の問題点があるので、必要性を十分検討して要否を決定することが望まれる。

成形処理の方法としては、スクリー式、ロール式等の押出し造粒、ブリケットティングマシン式、プレス式等の圧縮造粒、圧縮成形しないころがり造粒や添加剤を使用する方式などに分類される。

(ウ) 袋詰装置

袋詰装置は、製品の配布を容易とするため、一般的には10～20 kg入袋に小分けできる設備として設けられる。

設備は上部ホップ、計量機、袋着脱機、袋シール機、コンベヤなどにより構成され、全自動方式と半自動方式とに分けられる。半自動方式とは、給袋、開口、袋クランプへの着脱を作業員が行う方式である。

袋詰めされた堆肥は、パレットに乗せて運搬する。パレット積のためのパレタイザーや運搬に使用する移動リフトを備えておくと便利である。

また、生産される堆肥量が少ない場合は、コンベヤによる袋投入、目視によるコンベヤ停止、シーラーによる人力での作業など手動式の袋詰作業とする場合もあり、作業性と維持管理性より方式を決定する。

(f) その他の堆肥化設備の実績

プラントメーカーによる堆肥化設備の納入事例は以下のとおりである。

(ア) 三井 E&S 環境エンジニアリング株式会社¹³⁾

汚泥再生処理センター性能指針が示された 2000 年代(平成 10 年代)における三井 E&S 環境エンジニアリング株式会社の資源化設備の実績は、堆肥化設備が主流であった。近年、地域によっては堆肥の需要が少なくなり、以前に比べると堆肥化設備の計画も少なくなっている。

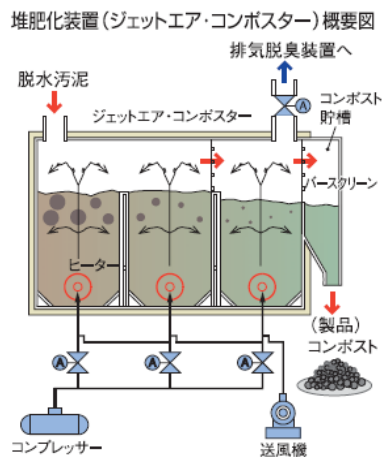
当社の堆肥化設備の方式は、規模や立地条件により横型発酵槽(パドル攪拌式)と自社製ジェットエア・コンポスタを使い分けている。

2004(平成 16)年 1 月に初めてジェットエア・コンポスタを採用した、ふくおか県央環境施設組合の汚泥再生処理センター建設工事を受注し、2006(平成 18)年 6 月に竣工した。

- ①施設名：ふくおか県央環境施設組合 汚泥再生処理センター
- ②処理量 146 kL/日(し尿 107kL/日、浄化槽汚泥等 39kL/日)
- ③水処理：膜分離高負荷脱窒素処理+高度処理
- ④資源化：堆肥化

ジェットエア・コンポスタの概念を図 4.3-27、設置例を写真 4.3-17 に示す。

堆肥化設備は、両方式併せて 19 件の納入実績を有している(汚泥再生処理センター制定前含む)。



(し尿処理アーカイブス検討会資料)



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

写真 4.3-17 ジェットエア・コンポスタ設置例¹³⁾

図 4.3-27 ジェットエア・コンポスタ概念図¹³⁾

(g) 堆肥化技術の今後

堆肥化設備は、初期の汚泥再生処理センターから資源化技術として採用されており、現在も安定して発注されている技術である。ただし、従来からある技術であり、近年、新し

い技術や装置は開発されていない。そのため、各プラントメーカーも専門メーカーから購入するが多い。

今後も一定規模の発注は継続すると考えられるが、汚泥堆肥の価値の向上や新たな需要先の確保が望まれる。

(5) その他の資源化技術設備

その他設備には、乾燥技術、炭化技術、熔融技術、油温減圧乾燥技術、汚泥熱分解技術がある。

近年これらの発注件数が少ないため、ここでは取り上げない各設備の内容等については計画・設計要領 2006 改訂版「Ⅱ編 4. 6～4. 8」に記載されている。

4.3 参考文献

- 1) 一般社団法人日本環境衛生施設工業会：50年史（創立50周年記念誌） 廃棄物処理技術史 水処理編，日本環境衛生施設工業会，25-43（2012）.
- 2) 平成28年度し尿処理技術・システムに関するアーカイブス作成業務報告書「2.4 汚泥再生処理センター」（2016）.
- 3) 社団法人全国都市清掃会議編：汚泥再生処理センター等施設整備の計画・設計要領 2006改訂版，全国都市清掃会議，272-354（2006）.
- 4) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：日本の廃棄物処理 平成28年度版，51（2016）.
- 5) 一般財団法人日本環境衛生センター：平成28年度環境省請負業務 平成28年度し尿処理技術・システムに関するアーカイブス作成業務報告書 別添資料 し尿処理における技術的取り組み クボタ環境サービス株式会社，日本環境衛生センター，11-12（2017）.
- 6) 一般財団法人日本環境衛生センター：平成28年度環境省請負業務 平成28年度し尿処理技術・システムに関するアーカイブス作成業務報告書 別添資料 し尿処理における技術的取り組み 日立造船株式会社，日本環境衛生センター，12-15（2017）.
- 7) 一般財団法人日本環境衛生センター：平成28年度環境省請負業務 平成28年度し尿処理技術・システムに関するアーカイブス作成業務報告書 別添資料 し尿処理における技術的取り組み 三井E&S環境エンジニアリング株式会社，日本環境衛生センター，11-13（2017）.
- 8) JEFMA 2011.No.59号（2011）.
- 9) 一般財団法人日本環境衛生センター：平成28年度環境省請負業務 平成28年度し尿処理技術・システムに関するアーカイブス作成業務報告書 別添資料 し尿処理における技術的取り組み 日立造船株式会社，日本環境衛生センター，13-14（2017）.
- 10) 一般財団法人日本環境衛生センター：平成28年度環境省請負業務 平成28年度し尿処理技術・システムに関するアーカイブス作成業務報告書 別添資料 し尿処理における技術的取り組み 三井E&S環境エンジニアリング株式会社，日本環境衛生センター，17-19（2017）.
- 11) 一般財団法人日本環境衛生センター：平成28年度環境省請負業務 平成28年度し尿処理技術・システムに関するアーカイブス作成業務報告書 別添資料 し尿処理における技術的取り組み 水ing株式会社，日本環境衛生センター，13-15（2017）.
- 12) 藤田賢二：コンポスト化技術～廃棄物有効利用のテクノロジー～，技報堂，72（1993）.
- 13) 一般財団法人日本環境衛生センター：平成28年度環境省請負業務 平成28年度し尿処理技術・システムに関するアーカイブス作成業務報告書 別添資料 し尿処理における技術的取り組み 三井E&S環境エンジニアリング株式会社，日本環境衛生セ

ンター，14-15（2017）．

- 14) 一般財団法人日本環境衛生センター：平成 28 年度環境省請負業務 平成 28 年度し尿処理技術・システムに関するアーカイブス作成業務報告書 別添資料 し尿処理における技術的取り組み 株式会社西原環境，日本環境衛生センター，13（2017）．
- 15) 水 ing エンジニアリング株式会社提供資料．
- 16) クボタ環境株式会社提供資料．
- 17) 日立造船株式会社提供資料．
- 18) 三井 E&S 環境エンジニアリング株式会社提供資料．
- 19) 株式会社西原環境提供資料．

4.4 脱臭技術・システム

4.4.1 臭気除去（防臭・脱臭）

（1）歴史的経緯

し尿から発生する臭気には、酸性ガス（硫化水素、メチルメルカプタン類等）、塩基性ガス（アンモニア、アミン類等）や中性ガス（アルデヒド類等）が含まれている。十分な捕集・脱臭ができなかった 1950 年代後半～1960 年代前半（昭和 30 年代）は、これらの臭気が周辺住民に不快感を与え、放流水の色とともにし尿処理施設が「迷惑施設とのレッテル」を張られる一因となっていた。

し尿処理の始まりである嫌気性消化処理方式では、発生したメタンガスをガスタンクに貯留し、消化槽の加温原料として有効利用を図っていた。消化槽はガスタンクと連通しているため、アンモニアや硫化水素等の臭気を含んだガスを外部から吸引して脱臭することができない。また、消化槽は正圧を維持しているため、わずかな亀裂部分からの臭気の漏れも回避できない。同時に、続くばっ気槽にもカバーはなく、ばっ気槽で発生する臭気をそのまま発散させ、泡も飛散させている状況であった。

脱臭の対象となるのは受入・貯留設備と汚泥処理設備のみで考慮され、その他の臭気を直接大気に開放しているのが実態であり、臭気の捕集にもあまり気を使わず、維持管理も含め、脱臭に対してかなりルーズであった。

施設が分散設置されていた嫌気性消化処理方式は、その後、好気性処理方式になると、徐々に施設がビル化され、屋内に設備装置が配置されるようになってきた。ばっ気槽もカバーされ始め、その結果、臭気の捕集が容易になり、脱臭技術の向上と共に、周辺環境に及ぼす臭気の影響も薄れていった。

上述のように、嫌気性消化処理設備や初期の好気性消化処理設備では、ばっ気槽等をカバーする発想はなかった。1977（昭和 52）年制定の「し尿処理施設構造指針」においても、ばっ気槽については「ばっ気槽周壁のてんばは、周囲の地盤より 15 cm 以上高くしなければならぬ。また、ばっ気槽には必要に応じ歩廊および危険防止のための手摺を設けるものとする。」と記述があるが、カバーについては規定していないことから明らかである。

その後、低希釈二段活性汚泥処理方式（現在の標準脱窒素処理方式）の時代になり、ばっ気槽等の生物処理水槽にはスラブが掛けられ、カバーされ、槽内臭気を脱臭することが当然となった。1988（昭和 63）年に改訂された「し尿処理施設構造指針」では、生物処理水槽に「液面とスラブ等下面の距離は 80 cm 以上」との文言が出てきており、カバーが必須（補助金採択の条件）になったことが分かる。

施設のカバー化、ビル化、水槽のカバー化等によって防臭が図られ、同時に臭気質やその風量に応じた脱臭技術の開発によって臭気の軽減が図られて現在に至っている。放流水の無色透明化も相まって、「迷惑施設」のイメージは格段に薄れてきた。

開放型ばっ気槽と覆蓋式ばっ気槽上部の写真を写真 4.4-1 と写真 4.4-2 に示す。ちなみに、ばっ気槽等を覆蓋して建屋内に納めることで、建屋内の環境（湿度、臭気等）の改善や、屋外の環境改善がなされている。



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

写真 4.4-1 開放型ばっ気槽¹⁾



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

写真 4.4-2 覆蓋式ばっ気槽上部²⁾

(2) し尿処理における臭気の種類と法的規制

(a) し尿処理から発生する臭気

(ア) 臭気の濃度

し尿処理施設構造指針解説（1979（昭和 54）年版と 1988（昭和 63）年改訂版）、汚泥再生処理センター等施設整備の計画・設計要領 2006 改訂版からし尿中の汚濁物質の濃度を見ると、BOD は各々 13,500、11,000、7,300 mg/L、総窒素は各々 5,000、4,200、2,600 mg/L と減少している。また、塩素イオン濃度も、5,500、3,200、2,100 mg/L と薄くなっていることからわかるように、簡易水洗の普及等によって、汚濁物質が希釈され、濃度が減少したものと推測できる。

同様に、し尿から発生する臭気も減少していると思われるが、体系だって集められたデータは少ない。

一方、浄化槽汚泥の性状は、年代よりも浄化槽の型式や清掃頻度で大きく異なっている。浄化槽の型式は単独処理浄化槽（2001（平成 13）年以降、新設は禁止）と合併処理浄化槽に、また単独処理浄化槽は腐敗型とばっ気型に分けられる。BOD の値は、1979（昭和 54）年版のし尿処理施設構造指針では、腐敗型で 3,177 mg/L、ばっ気型で 2,024 mg/L、1998（昭和 63）年改訂版では、腐敗型で 5,500 mg/L（3,800～7,200 mg/L）、ばっ気型は 1979（昭和 54）年版と同じデータを使用、合併処理浄化槽では引抜く個所によって 2,700～7,400mg/L となっている。2006 年改訂版では、形式による違いは表示されず、すべてをまとめて、搬入浄化槽汚泥として 3,700mg/L となっている。いずれにしても年代の変化よりも型式と清掃頻度に依存しているが、濃度はし尿よりも薄くなっている。

測定した時期、し尿と浄化槽汚泥との混合の有無等が不明であり、濃度の変遷は追えないが、1979（昭和 54）年改訂と 1988（昭和 63）年改訂のし尿処理施設構造指針解説、及

び 2006（平成 18）年改訂の汚泥再生処理センターの計画・設計要領に悪臭物質の濃度が記載されている。関連箇所を抜粋したものを表 4.4-1 に参考として示す。

表 4.4-1 悪臭 3 物質の濃度³⁾⁴⁾⁵⁾

| 臭気成分 | 発生源 | (参考) | | 施設A | | 施設B | | 施設C | | 施設D | | 臭気学会※ 発表要旨集 |
|---------------|-----|---------------------------|-----|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------------------------|
| | | 受入槽 | 貯留槽 | 受入槽 | 貯留槽 | 受入槽 | 貯留槽 | 受入槽 | 貯留槽 | 受入槽 | 貯留槽 | 受入・貯留槽 |
| アンモニア | ppm | 90 | 60 | 25 | 71 | 50 | 25 | 26 | 53 | 7 | 43 | 2.8 |
| 硫化水素 | ppm | 180 | 160 | 230 | 430 | 80 | 250 | 84 | 330 | 160 | 280 | 6.74 |
| メチル メルカプタン | ppm | — | — | 23 | 36 | 5 | 30 | 13 | 21 | 8 | 16 | 0.39 |
| 出典 | | 構造指針解説 (1979年版) p. 180 | | 構造指針解説(1988年版) p. 401 | | | | | | | | ※1996年要旨集 設計要領(2006改訂版) p. 378 |

(出典：構造指針解説（1979年版、1988年版）、計画・設計要領 2006 改訂版)

施設 A～D において、大半のデータで受入槽よりも後段の貯留槽の方が悪臭の濃度が増加しているのは、攪拌の影響と思われる。臭気学会発表要旨集（1995（平成 7）年）では、悪臭の濃度が極めて低くなっている。測定時の状況は不明であるが、攪拌の有無、浄化槽汚泥の混入率、季節等の違いが大きいと思われる。

(イ) 臭気の種類

現在のし尿処理では主に臭気を濃度別に、高濃度、中濃度、低濃度の 3 段階に分けて脱臭している。ここで高濃度臭気は、主に処理前の受入・貯留設備から発生する臭気、中濃度臭気は、主に生物処理水槽から発生する臭気、低濃度臭気は、主に受入室の臭気である。

し尿処理で用いられているこれら各臭気の代表的な脱臭方式を図 4.4-1 に示す。なお、嫌気性消化処理方式の時代は“ばっ気槽からの臭気”の意識はなく、高濃度と低濃度の 2 方式であった。また、一般的な悪臭処理技術を表 4.4-2 に示す。

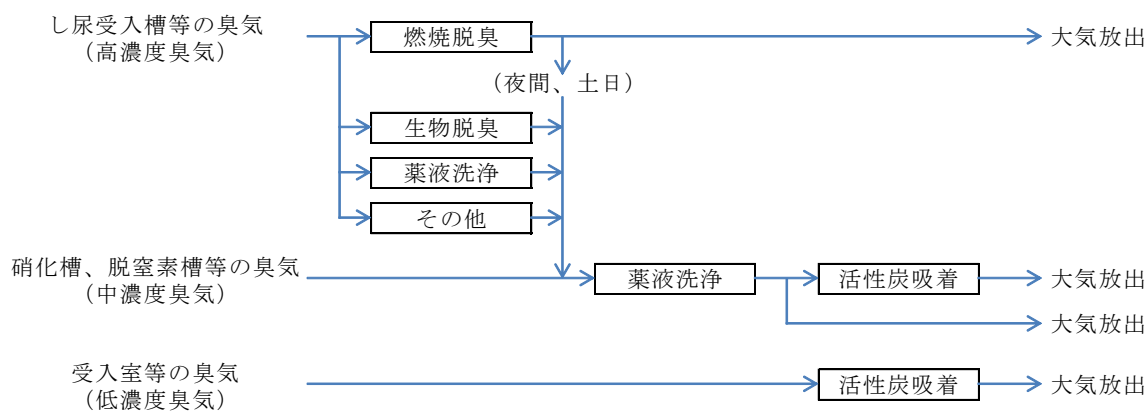


図 4.4-1 し尿処理で用いられている代表的な脱臭方式の例

表 4.4-2 一般的な悪臭処理技術⁶⁾

| 処 理 法 | | 概 要 | 長 所 | 短 所 |
|-------|---------|---|--|---|
| 燃 焼 法 | 直接燃焼法 | ・ 約750℃に加熱し、無害化の炭酸ガスと水に酸化分解して脱臭 | ・ 広範囲の有機溶剤を脱臭し得る。脱臭効率の経年劣化はない | ・ 排熱回収しなければ運転費が高価 |
| | 触媒燃焼法 | ・ 触媒によって250～350℃の低温で酸化分解して脱臭 | ・ 直接燃焼脱臭より運転費が安い ・ NOxの発生が少ない | ・ 触媒劣化物質が含まれている時対策が必要 |
| 化学的方法 | 薬液洗浄法 | ・ 薬剤をスプレーして接触し、化学反応によって脱臭 ・ 悪臭物質の種類によって、酸、アルカリ、酸化剤水溶液等が使用される | ・ 設備費が安価 ・ ミスト、ダストも同時処理し得る ・ ガスの冷却効果がある | ・ 排水処理が必要 ・ 薬液濃度調整や計器点検等日常管理がシビアに必要 ・ 薬品に対する安全対策、装置の腐食対策が必要 |
| 物理的方法 | 水洗法 | ・ 悪臭成分を水に溶け込ませる | ・ 装置が比較的簡単 | ・ 高効率にはあまり期待できない ・ 大量の水が必要で、排水処理を必要とする場合がある |
| | 活性炭吸着 | ・ 臭気成分を活性炭を充填した塔を通して脱臭 | ・ 歴史が古く、実績大 ・ 操作が簡単 | ・ 吸着量に限りがあり、高濃度臭気には不向き ・ 定期的な活性炭の交換が必要 |
| 生物脱臭法 | 土壌脱臭法 | ・ 悪臭を土壌に通風して土壌中の微生物によって分解脱臭 | ・ 運転費が非常に安価 ・ 維持管理が容易 ・ 土壌の上層は花畑等、緑地に利用し得る | ・ 処理し得る悪臭物質に制限がある ・ 通常低濃度臭気に適用 ・ 降雨時に通気抵抗が大きくなり、リークが生じる |
| | 固定床式 | ・ 微生物を付けた担体を充填した塔に通風し、微生物によって分解脱臭 | ・ 装置がコンパクト ・ 維持管理が容易 ・ 運転経費が非常に安価 | ・ 処理し得る悪臭物質に制限がある ・ 微生物の馴致期間が必要 ・ 酸性廃液処理が必要な場合がある |
| | 活性汚泥処理法 | ・ 悪臭を水に溶解させ、その水溶液を微生物により分解脱臭 | ・ ばっ気槽があれば特別な装置は不要 ・ 運転費が非常に安価 | ・ ばっ気槽を別に設置する必要がある ・ 微生物の馴致期間が必要 ・ pHの調整、汚泥の更新や追加が必要な場合がある |
| | スクラバ法 | ・ 悪臭を汚泥と接触させ、汚泥中の微生物によって分解脱臭 | ・ 装置がコンパクト ・ 維持管理が容易 ・ 運転費が非常に安価 | ・ ばっ気槽を別に設置する必要がある |

(出典：計画・設計要領 2006改訂版, 376を基に作成)

(b) 悪臭物質と規制

悪臭防止法は1971(昭和46)年に制定された。当時はアンモニア、メチルメルカプタン、硫化水素、硫化メチル、トリメチルアミンの5物質のみが規制対象であったが、その後、改正を繰り返し、対象物質が追加され現在の22物質に至っている。

悪臭防止法は他の公害防止関連法と異なり、特定施設制度を取っていない。規制を行う地域や規制基準は、規制地域における自然的、社会的条件を考慮して、都道府県知事(市の区域内の地域については市長)が定めるよう規定している。公害としての悪臭問題はこれらの条件により、住民の生活環境に対する影響度が変化するので、地域ごとに規制を行うように配慮したものである。

また、悪臭防止法での規制には、敷地境界線上での特定悪臭物質の濃度規制（1号規制）と、排出口での臭気の濃度規制（2号規制）、及び排水に含まれる悪臭物質の濃度規制（3号規制）の3通りある。

各規制で対象となっている悪臭物質を表4.4-3に、その性状を表4.4-4に示す。なお、1号規制（敷地境界線）は22物質、2号規制（気体排出口）では22物質からメチルメルカプタン等9物質を除く13物質、3号規制（排水）では、メチルメルカプタン等4物質である。

表 4.4-3 規制対象の特定悪臭物質⁵⁾

| 規制基準 特定悪臭物質 | 1号規制 (敷地境界線) 大気中の濃度 | 2号規制 (気体排出口) 排出気体中の 濃度 | 3号規制 (排水) 排水中の 濃度 |
|----------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| アンモニア | ○ | ○ | × |
| メチルメルカプタン | ○ | × | ○ |
| 硫化水素 | ○ | ○ | ○ |
| 硫化メチル | ○ | × | ○ |
| 二硫化メチル | ○ | × | ○ |
| トリメチルアミン | ○ | ○ | × |
| アセトアルデヒド | ○ | × | × |
| プロピオンアルデヒド | ○ | ○ | × |
| ノルマルブチルアルデヒド | ○ | ○ | × |
| イソブチルアルデヒド | ○ | ○ | × |
| ノルマルパレルアルデヒド | ○ | ○ | × |
| イソパレルアルデヒド | ○ | ○ | × |
| イソブタノール | ○ | ○ | × |
| 酢酸エチル | ○ | ○ | × |
| メチルイソブチルケトン | ○ | ○ | × |
| トルエン | ○ | ○ | × |
| スチレン | ○ | × | × |
| キシレン | ○ | ○ | × |
| プロピオン酸 | ○ | × | × |
| ノルマル酪酸 | ○ | × | × |
| ノルマル吉草酸 | ○ | × | × |
| イソ吉草酸 | ○ | × | × |

凡例
○：規制対象
×：規制対象外

(出典：計画・設計要領 2006改訂版, 378)

表 4. 4-4 特定悪臭物質の性状⁵⁾

| 特定悪臭物質 | 化学式 | 分子量 | 比重 | 融点 (°C) | 沸点 (°C) | 水100gへの溶解度 | 臭い |
|------------------|---|--------|-------|------------|------------|------------|----------------------|
| アンモニア | NH ₃ | 17.03 | — | -77.7 | -33.4 | 89.9g | し尿のような臭い |
| メチルメルカプタン | CH ₃ SH | 48.11 | 0.896 | -121 | 6 | 微溶 | 腐ったたまねぎのよう な臭い |
| 硫化水素 | H ₂ S | 34.08 | — | -82.9 | -60.4 | 437mL | 腐った卵のような臭い |
| 硫化メチル | (CH ₃) ₂ S | 62.14 | 0.845 | -83.2 | 37.5 | 不溶 | 腐ったキャベツのよう な臭い |
| 二硫化メチル | (CH ₃) ₂ S ₂ | 94.20 | 1.057 | 液 | 116~8 | — | 腐ったキャベツのよう な臭い |
| トリメチルアミン | (CH ₃) ₃ N | 59.11 | 0.662 | -124 | 3 | 容易 | 腐った魚のような臭い |
| アセトアルデヒド | CH ₃ CHO | 44.05 | 0.784 | -123.3 | 20.8 | ∞ | 刺激的な青くさい臭い |
| プロピオン アルデヒド | CH ₃ CH ₂ CHO | 58.08 | 0.806 | -80.1 | 47.93 | 16.15g | 刺激的な甘酸っぱい焦 げた臭い |
| ノルマルブチル アルデヒド | CH ₃ (CH ₂) ₃ CHO | 72.11 | 0.805 | -99 | 75.7 | 3.7g | 刺激的な甘酸っぱい焦 げた臭い |
| イソブチル アルデヒド | (CH ₃) ₂ CHCHO | 72.11 | 0.790 | -65.9 | 64.2 | 8.8g | 刺激的な甘酸っぱい焦 げた臭い |
| ノルマルパレル アルデヒド | CH ₃ (CH ₂) ₅ CHO | 86.14 | 0.811 | -91.5 | 102.5 | 微溶 | むせるような甘酸っぱ い焦げた臭い |
| イソパレル アルデヒド | (CH ₃) ₂ CHCH ₂ CHO | 86.14 | 0.800 | 液 | 92.5 | 微溶 | むせるような甘酸っぱ い焦げた臭い |
| イソブタノール | (CH ₃) ₂ CHCH ₂ OH | 74.12 | 0.802 | -108 | 108 | 9.5g | 刺激的な発酵した臭い |
| 酢酸エチル | CH ₃ COOC ₂ H ₅ | 88.11 | 0.900 | -83.6 | 76.82 | 7.87g | 刺激的なシンナーのよ うな臭い |
| メチルイソブチル ケトン | CH ₃ COCH ₂ CH(CH ₃) ₂ | 100.16 | 0.796 | -84.7 | 115.9 | 1.7g | 刺激的なシンナーのよ うな臭い |
| トルエン | C ₆ H ₅ CH ₃ | 92.14 | 0.872 | -95 | 110.8 | 不溶 | ガソリンのような臭い |
| スチレン | C ₆ H ₅ CH=CH ₂ | 104.15 | 0.907 | -31 | 145.8 | 微溶 | 都市ガスのような臭い |
| キシレン | C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂ | 106.17 | 0.861 | -47.4 | 139~144 | 不溶 | ガソリンのような臭い |
| プロピオン酸 | CH ₃ CH ₂ COOH | 74.08 | 0.999 | -22 | 141 | ∞ | 刺激的な酸っぱい臭い |
| ノルマル酪酸 | CH ₃ (CH ₂) ₄ COOH | 88.11 | 0.959 | -5.7 | 163.5 | ∞ | 汗臭い臭い |
| ノルマル吉草酸 | CH ₃ (CH ₂) ₆ COOH | 102.14 | 0.939 | -34.5 | 187 | 3.7g | 濡れた靴下のような臭 い |
| イソ吉草酸 | (CH ₃) ₂ CHCH ₂ COOH | 102.14 | 0.928 | -37.6 | 176.5 | 4.2g | 濡れた靴下のような臭 い |

(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 377 を一部修正)

4.4.2 脱臭装置

(1) 高濃度臭気用脱臭装置

(a) 概要

高濃度臭気の脱臭方式には単独処理で大気放出する方式と、前処理して中濃度化し、中濃度臭気と同時処理する方式がある。以下に各方式を示す。

① 単独処理方式

㊦ 燃焼脱臭（ただし、夜間、土日の脱臭炉停止時は中濃度臭気処理へ切り替え）

② 中濃度臭気への前処理方式

㊦ 生物脱臭（ばっ気槽への吹込み式）

㊦ 薬液洗浄脱臭（中濃度臭気脱臭への前処理）

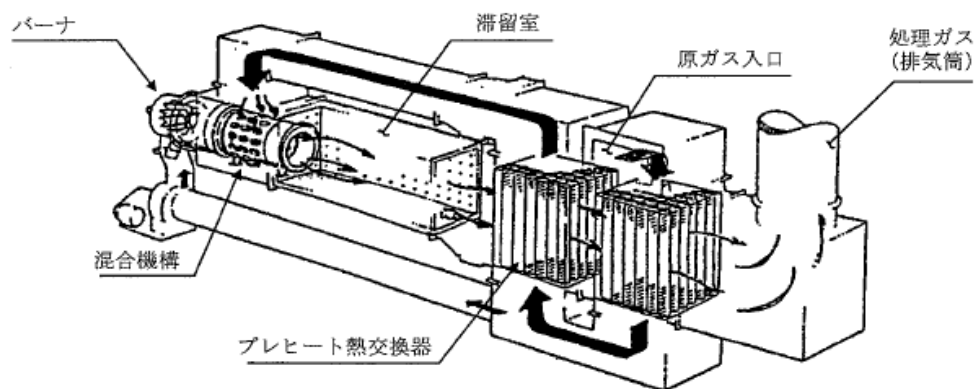
㊦ 活性炭（木炭）触媒アルカリ洗浄脱臭

㊦ 生物脱臭（固定床、担体充填式）

㊦ スクラバ脱臭

(b) 高濃度臭気の単独処理設備

し渣・汚泥乾燥焼却設備が採用されて以降、高濃度臭気の単独処理設備として燃焼脱臭が多く用いられていた。燃焼脱臭装置の構造例を図 4.4-2 に示す。



(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 379)

図 4.4-2 燃焼脱臭装置の構造例⁵⁾

600～800℃の高温で臭気成分を酸化分解させるものである。し渣・汚泥焼却炉に、燃焼用空気として高濃度臭気を吹き込む方式や、単独で燃焼脱臭炉を設けたものがある。高温で完全に酸化分解させるため、非常に脱臭効果が高い反面、脱臭炉（焼却炉）の運転時間は運転員のいる平日の日中に限られたため、休日及び夜間の脱臭は中濃度臭気脱臭用の薬液洗浄に頼らざるを得なかった。また、燃焼脱臭用の単独炉を設ける方式では、燃料費がかさむという欠点を併せ持っていた。

休日・夜間に向けた薬液洗浄への切り替え作業は、し尿等の搬入停止に伴う臭気の発生量と濃度の減少に対処するため、風量調整等が煩雑となる。また、薬液洗浄側から見ると、日中と夜間で風量変動や濃度変動が大きく、接触時間の変動や計器類（pH 計、残留塩素計）の応答性、薬注ポンプ能力等が問題となり、ランニングコストの増加、脱臭効率の低下といった課題も僅かだが存在した。

上記理由で、薬液洗浄脱臭では後段に活性炭吸着塔を設けるのが一般化したため、規制上の問題は特に生じなかった。

2007（平成 9）年に行われた、し尿処理施設から汚泥再生処理センターへの転換に伴い、焼却設備が補助対象から外れたことで、新たな汚泥焼却炉の設置例がほとんどなくなり、それに伴って、燃焼脱臭を導入する事例もなくなった。

（c）中濃度臭気への前処理としての高濃度臭気脱臭装置

（ア）生物脱臭（ばっ気槽への吹込み）

夜間、休日に運転切り替えが不要で、24 時間連続運転できるばっ気槽への吹込み方式の「生物脱臭」が 1985（昭和 60）年頃から導入された。特にばっ気風量が多く、覆蓋されている標準脱窒素処理方式で多用されてきた。この生物脱臭では、ばっ気槽への吹込み臭気の中濃度臭気として捕集・脱臭されるため、悪臭の除去率よりも濃度変動を少なくすることに主眼が置かれた感が否めない。なお、必要なばっ気風量の一部に高濃度臭気を使うだけなので、ランニングコストの増加は全くない。ただし、配管の耐食性部材への変更、特殊メッキのブロワの使用、余剰風量の循環ライン（放風不可のため）の設置等、高濃度臭気用の対策は必要であった。

（イ）薬液洗浄脱臭（中濃度臭気脱臭への前処理用）

ばっ気槽吹込み式の生物脱臭は標準脱窒素処理方式で一世を風靡したが、高負荷脱窒素処理方式では採用例が減少した。高負荷脱窒素処理方式では、窒素除去のため吹込み空気量を制御しており、高濃度臭気を連続してばっ気槽に吹き込むことが難しいためである。このため、高負荷脱窒素処理方式においては、中濃度用の薬液洗浄に耐えられる濃度まで高濃度臭気を低下させる、前処理としての脱臭方法が開発・採用された。前処理用としての薬液（または水）洗浄を行った後、中濃度臭気とともに処理する方法である。その後も中濃度臭気への前処理として、様々な脱臭技術が開発・実用化されていった。なお、標準脱窒素処理方式においても、近年の低負荷化（し尿等の BOD、窒素の低濃度化）や高効率散気装置の採用により、高濃度臭気量の方がばっ気風量よりも多くなり、ばっ気槽吹込み式の生物脱臭が採用できない例も出てきている。

一般的な薬液洗浄は、中濃度臭気の項に記載している。

（ウ）その他

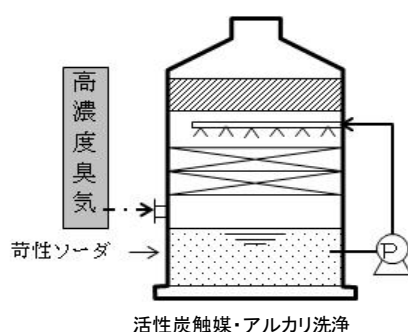
高濃度臭気の軽減用として採用されたその他の方式には以下のものがある。

- ①活性炭（木炭）を触媒としたアルカリ洗浄脱臭
- ②水洗浄の変法としてのスクラバ脱臭

③生物脱臭（担体充填の固定床式）

(i) 活性炭を触媒としたアルカリ洗浄脱臭

活性炭を触媒としたアルカリ洗浄脱臭は、主に硫化水素の除去に用いられるものであり、触媒反応を用いて苛性ソーダの使用量を減少させる（薬品との反応式は中濃度臭気の項参照）。活性炭触媒・アルカリ洗浄塔の構造図を図 4.4-3 に示す。硫化水素の除去を目的とするが、除去率は 90%程度を目標としており、単独処理で大気放出を期待したものではない。



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

図 4.4-3 活性炭触媒・アルカリ洗浄塔の構造図²⁾

(ii) スクラバ脱臭

スクラバ脱臭は、高濃度臭気と水、あるいは活性汚泥（返送汚泥、循環液等）を特殊な形状の反応槽で混合接触させ、臭気成分を液側に溶解させる方法である。スクラバ脱臭装置の構造図を図 4.4-4 に示す。薬品を使用しないため、ランニングコストは低く抑えられる（ポンプは既存の返送汚泥ポンプあるいは循環液ポンプを使用する）。本方式も悪臭物質の完全な除去は目的としておらず、あくまで高濃度臭気の中濃度化を目指した技術である。

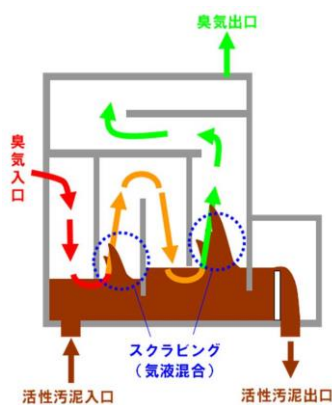


図 4.4-4 スクラバ脱臭の構造図²⁾

(iii) 生物脱臭（担体充填式）

ばっ気槽吹込み方式の生物脱臭以外に、担体を充填した固定床式の生物脱臭装置（図 4.4-5 参照）も使われ始めた。接触時間は、薬液洗浄の前処理として高濃度臭気の中濃度化する場合、6～9 秒程度、生物脱臭のみで中濃度臭気処理まで完結する場合、10～30 秒程度（薬液洗浄の 10 倍以上）を要する。設置面積は非常に大きくなるが、薬品代が大幅に低減できる方式である。仕上げには活性炭吸着を設けるのが一般的である。なお、生物脱臭と活性炭吸着の組み合わせの場合、生物脱臭塔の汚泥馴養期間中は後段の活性炭吸着の負荷が高くなる。

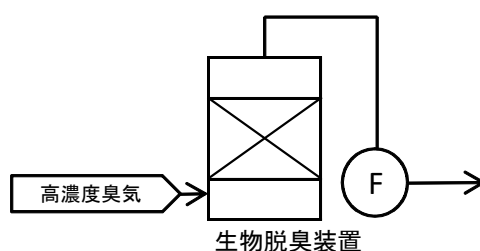


図 4.4-5 固定床式生物脱臭装置の構造例²⁾

(2) 中濃度臭気用脱臭装置

中濃度臭気の一一般的な脱臭方式は、薬液洗浄脱臭＋活性炭吸着である。

このうち、薬液洗浄は、酸洗浄とアルカリ・次亜塩素酸洗浄に分けられる。

酸洗浄は、塩基性ガスの除去に用いられるものであり、対象とする悪臭物質の代表として、アンモニアがある。

アルカリ・次亜塩素酸洗浄は、酸性ガスの除去に用いられるもので、対象とする悪臭物質の代表としては、硫化水素、メチルメルカプタン及び硫化メチル等である。

なお、近年はし尿濃度の希薄化や浄化槽汚泥の増加により臭気の濃度が低くなってきている。また、前段に生物脱臭装置の設置例も増えてきている。このように、中濃度臭気脱臭装置へ流入する臭気の濃度（特にアンモニア濃度）が減少した場合には、薬液洗浄塔の充填剤にセラミック系の酸化触媒を用い、酸洗浄をなくしたアルカリ・次亜塩素酸洗浄＋活性炭吸着を採用した事例もある。

(a) 薬液洗浄脱臭装置

酸洗浄＋アルカリ・次亜塩素酸洗浄等の薬液洗浄は臭気成分を薬品と反応させ、無臭の物質とすることで脱臭する方法である。様々な薬品を使用するため、その特性を十分に把握し、保護具の着用や貯留上の留意点等、取り扱いに注意を払うとともに、環境の保全に努める必要がある。酸洗浄＋アルカリ・次亜塩素酸洗浄装置の構造例を図 4.4-6 に示す。

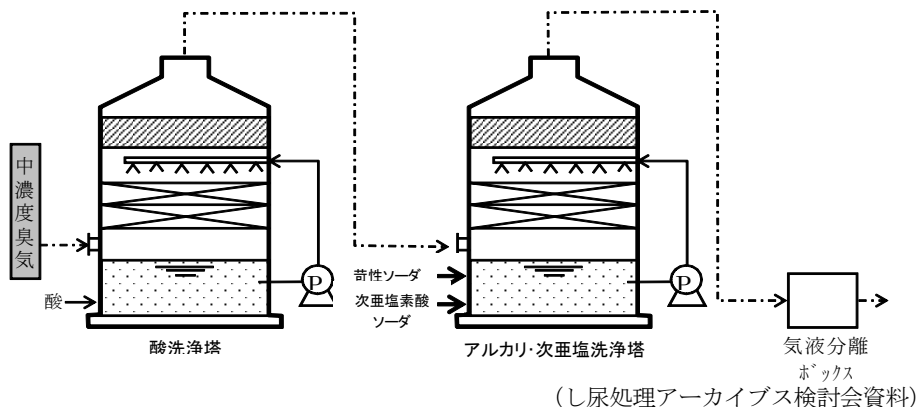


図 4.4-6 酸洗浄＋アルカリ・次亜塩素酸洗浄装置の構造例²⁾

以下に、薬品と臭気成分との主な反応式を示す。

①酸洗浄塔での反応式

臭気成分：アンモニア (NH₃) と薬品：硫酸 (H₂SO₄) との反応

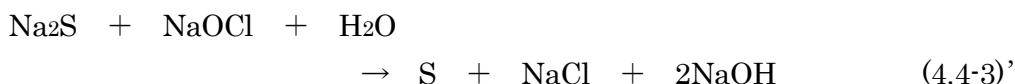
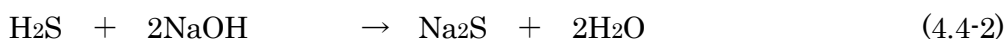


式 (4.4-1) によれば、アンモニア 2 モルに対して、硫酸 1 モルの反応となる。アンモニアの除去率は洗浄塔の pH と大きく関係しており、pH3 以下で運転する例が多い。

②アルカリ・次亜塩素酸洗浄塔での反応式

臭気成分：硫化水素 (H₂S) と薬品：苛性ソーダ (NaOH)、次亜塩素酸ソーダ (NaOCl)

との反応



式 (4.4-2) によれば、硫化水素 1 モルに対して苛性ソーダ 2 モルの反応となる。式 (4.4-2)、(4.4-3)、(4.4-3)' によれば、硫化水素 1 モルに対して次亜塩素酸ソーダ 4 モルと 1 モルの反応があることが分かる。

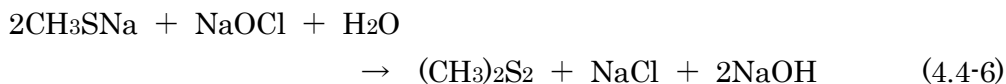
炭酸ガス (CO₂) との反応

アルカリ性の液では、炭酸ガスは吸収されやすく、以下の炭酸ガスとの反応も進行する。



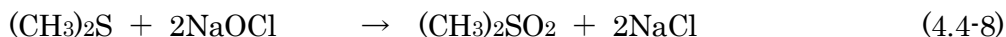
式 (4.4-4) によれば、炭酸ガス 1 モルに対して苛性ソーダ 2 モルの反応である。炭酸ガスは臭気ガス中に数百～数千 ppm と多量に存在するため、滞留時間が長くなればなるほど苛性ソーダの消費量が多くなる。また、洗浄液の pH が高いほど炭酸ガスの吸収率は多くなり、苛性ソーダの消費量が多くなる。場合によっては、硫化水素との反応で消費される分以上になることもある。

臭気成分：メチルメルカプタン (CH₃SH) と薬品：苛性ソーダ (NaOH)、次亜塩素酸ソーダ (NaOCl) との反応



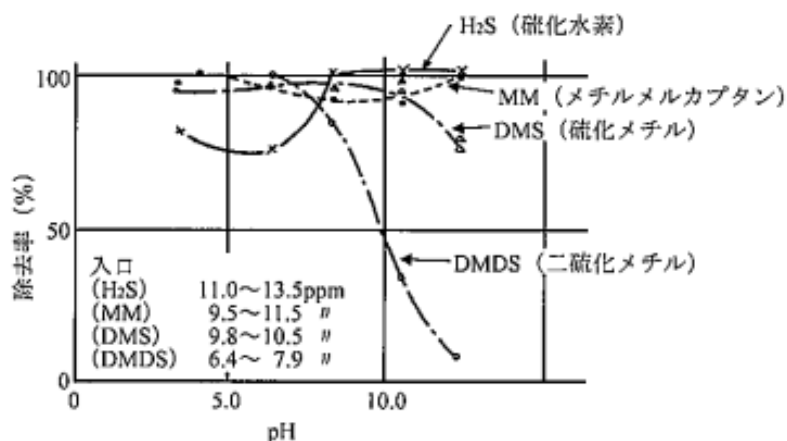
式 (4.4-5)、(4.4-6)、(4.4-6)' の連続反応によれば、メチルメルカプタン 1 モルに対して苛性ソーダ 1 モル、次亜塩素酸ソーダ 3 モル、式 (4.4-7) によれば、次亜塩素酸ソーダ 3 モルの反応であることが分かる。

臭気成分：硫化メチル ((CH₃)₂S) と薬品：次亜塩素酸ソーダ (NaOCl) との反応



式 (4.4-8)、(4.4-8)' によれば、硫化メチル 1 モルに対して、次亜塩素酸ソーダ 2 モルまたは 4 モルの反応であることが分かる。

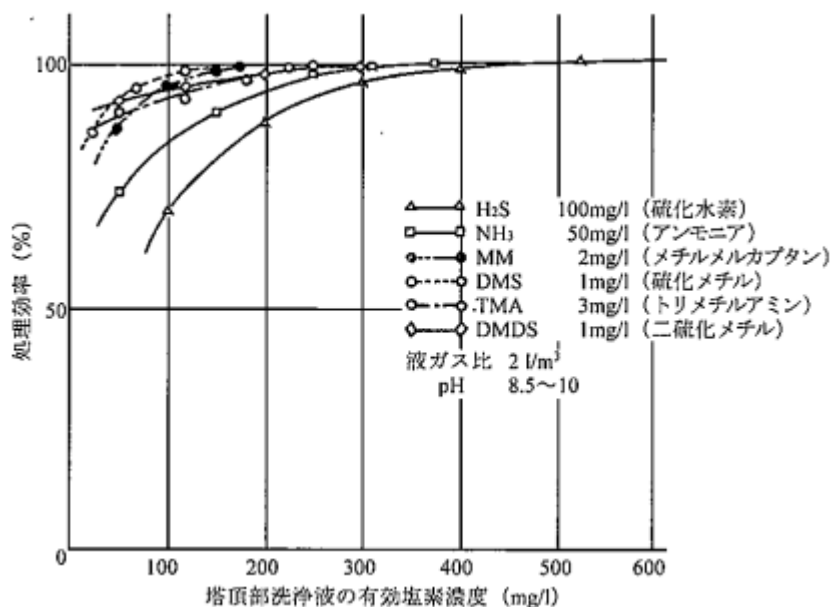
次亜塩素酸ソーダによる悪臭物質の除去率と pH の関係および残留塩素と除去率の関係を図 4.4-7 および図 4.4-8 に示す。塩基性の悪臭物質 (硫化水素、メチルメルカプタン、硫化メチル等) はいずれも pH や残留塩素濃度により除去率が大きく変動するため、適正な pH、残留塩素濃度で運転しなければ脱臭効果がない。



入口 NaClO 濃度 : 333 ~414 mg/l

(出典：計画・設計要領 2006 改訂版, 383)

図 4.4-7 悪臭物質の除去率と pH の関係⁵⁾

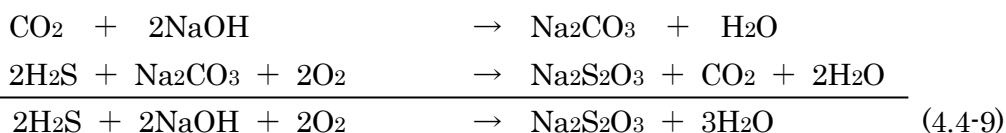


(出典：計画・設計要領 2006改訂版, 383)

図 4.4-8 残留塩素と悪臭物質の除去率の関係⁵⁾

③ 活性炭触媒アルカリ洗浄脱臭塔での反応式

臭気成分：硫化水素 (H₂S) と薬品：苛性ソーダ (NaOH) との反応



硫化水素 1 モルに対して苛性ソーダ 1 モルが反応する。炭酸ガスはアルカリ (苛性ソーダ) に吸収されるが、活性炭を触媒とした硫化水素と炭酸ナトリウムとの反応時に再放出されるため炭酸ガスによるアルカリの消費はほとんどない。

薬液洗浄脱臭では、様々な薬品を使用する。これらの薬品の中には特定化学物質としての管理を要求されるものもあり、特性を十分に理解した上で、取り扱いにも十分な留意が必要である。これらの薬品の性状を表 4.4-5 に示す。

表 4.4-5 脱臭で使用する薬品の性状⁵⁾

| 薬品名 | 外 観 | 化学的性状 | 物 理 的 性 状 | | | |
|------------|--|---|-----------|--------|--------|-----------|
| | | | 形状 | 濃度 (%) | 比重 (-) | 凍結温度 (°C) |
| 水酸化ナトリウム | <ul style="list-style-type: none"> ・ 固体は白色無臭 ・ 液体は無臭で無色ときには淡黄色 | <ul style="list-style-type: none"> ・ アルカリ性 ・ 吸湿性 ・ 発熱性 | フレーク状 | 97 | — | — |
| | | | 液体 | 48 | 約1.51 | 約 6 |
| | | | | 25 | 約1.22 | 約 -10 |
| 塩 酸 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 発煙性の無色透明又は淡黄色の液体 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 酸性 ・ 金属と反応し水素を発生する | 液体 | 35 | 約1.27 | — |
| 硫 酸 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 無色透明、無臭の液体 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 酸性 ・ 発熱性 (濃) ・ 吸湿性 (濃) | 液体 | 98 | 約1.84 | 約 3 |
| | | | | 75 | 約1.64 | 約 -20 |
| 次亜塩素酸ナトリウム | <ul style="list-style-type: none"> ・ 淡黄色をした透明液体 ・ 塩素に似た特有の臭気を有する | <ul style="list-style-type: none"> ・ アルカリ性 ・ 殺菌作用 ・ 酸化作用 ・ 分解し塩素ガスを発生する (pH 7 以下) | 液体 | 12 | 約1.20 | 約 -12 |

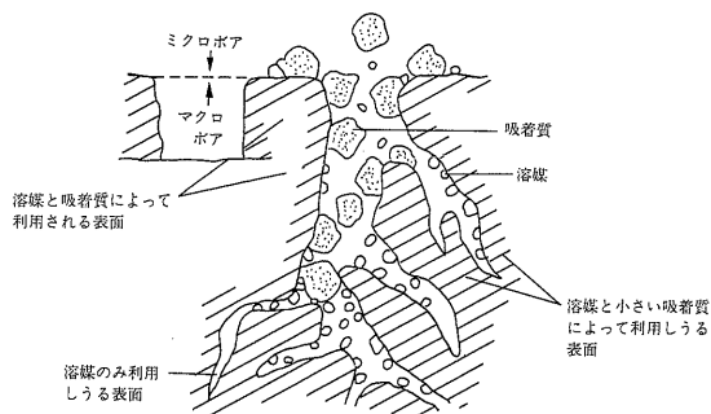
(出典：計画・設計要領 2006改訂版, 385)

(b) 活性炭吸着装置

薬品洗浄の後段に設けられるのが一般的である。仕様は低濃度臭気用脱臭装置と同じである。

(3) 低濃度臭気用脱臭装置

低濃度臭気用脱臭は活性炭吸着でなされるが、活性炭吸着脱臭は活性炭の細孔内に悪臭物質を吸着させ脱臭する方式である。イメージ図を図 4.4-9 に示す。高濃度の悪臭物質では、短時間で活性炭の細孔が飽和してしまうため、低濃度臭気の脱臭に用いられる。高濃度臭気においては生物脱臭等の前処理 (中・低濃度化) をした後に、中濃度臭気においては薬液洗浄等の低濃度化処理を行った後に、それぞれの仕上げ処理として用いられている。

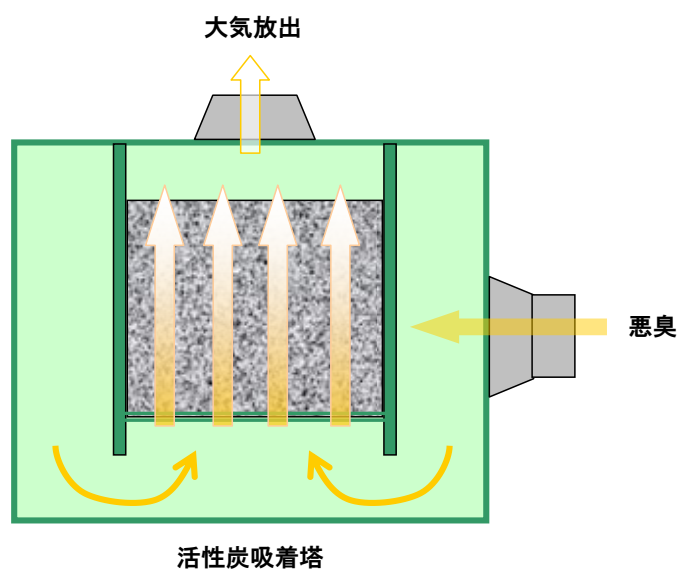


(出典：計画・設計要領 2006改訂版, 256)

図 4.4-9 活性炭による物質吸着のイメージ図⁵⁾

本方式で使用する活性炭は、粒状活性炭が主流であるが、細孔内部に酸や塩基の反応性液体を添着させ、吸着能力を高めたものもある。

活性炭は湿度が高くなると吸着能力が著しく低下する傾向にある。活性炭吸着装置の構造例を図 4.4-10 に示す。



(し尿処理アーカイブス検討会資料)

図 4.4-10 活性炭吸着装置の構造例²⁾

(4) その他の脱臭装置

1977 (昭和 52) 年に制定された「し尿処理施設構造指針」では、上記以外に、オゾン酸化法、塩素酸化法、マスキング法等による脱臭法も記載されていた。オゾン酸化法や塩素酸化法は、アンモニア等の酸化されない物質には対応できず、単独では脱臭効果が薄い等の問題点があることから、マスキング法は、そもそも悪臭物質を分解あるいは除去する方法ではないことから、1980 (昭和 55) 年以降、ほとんど採用実績がない。これらの脱臭方法、装置は、1988 (昭和 63) 年に改正された「し尿処理施設構造指針」では、紹介されていない。

4.4 参考文献

- 1) 一般財団法人日本環境衛生センター提供資料.
- 2) クボタ環境サービス株式会社提供資料.
- 3) 社団法人全国都市清掃会議編：廃棄物処理施設構造指針解説 し尿処理施設構造指針篇，全国都市清掃会議，180（1979）.
- 4) 社団法人全国都市清掃会議編：し尿処理施設構造指針解説－1988年版－，全国都市清掃会議，400（1988）.
- 5) 社団法人全国都市清掃会議編：汚泥再生処理センター等施設整備の計画・設計要領 2006改訂版，全国都市清掃会議，375-387（2006）.