

第2章 衛生的処理技術・システム

2.1	全体概要	159
2.1.1	し尿処理の始まり	159
2.1.2	し尿処理技術の発展	159
2.1.3	し尿処理方式の推移	160
2.2	嫌気性消化処理方式	162
2.2.1	社会的背景から見た技術の推移	162
2.2.2	嫌気性処理技術の概要と特徴	163
2.2.3	技術の普及と衰退	165
2.2.4	嫌気性消化処理技術の適用と標準化	167
2.2.5	技術の開発と実用化	175
2.2.6	開発技術	184
2.2.7	設備構成	203
2.3	化学処理方式	208
2.3.1	はじめに	208
2.3.2	化学処理の原理（薬剤処理の目的）	209
2.3.3	化学処理方式の実用化	210
2.3.4	化学処理方式の衰退	213
2.3.5	開発技術の内容	214
2.4	好気性処理方式	227
2.4.1	はじめに	227
2.4.2	各方式の概要	228
2.4.3	主要設計条件等	237
2.4.4	当該技術が果たした役割	240

2.5 湿式酸化処理方式	243
2.5.1 はじめに	243
2.5.2 湿式酸化法の原理	244
2.5.3 湿式酸化法の特徴	245
2.5.4 プロセス構成機器	246
2.5.5 設計上の留意事項	247
2.5.6 反応温度と圧力の関係	248
2.5.7 反応時間と温度の関係	249
2.6 浄化槽汚泥専用処理方式	251
2.6.1 社会情勢および開発の経緯	251
2.6.2 技術の普及と衰退	257
2.6.3 浄化槽汚泥専用処理方式による処理技術	258
2.6.4 設備構成	262
2.6.5 維持管理上の問題点	265
2.7 直接焼却処理方式	268
2.7.1 はじめに	268
2.7.2 各方式の概要	269
2.7.3 主要設備構成例	274

2.1 全体概要

2.1.1 し尿処理の始まり

第二次世界大戦後、し尿は都市化による人口集中と農地での肥料としての利用量減少から、海洋投棄や河川、山野、空地への不法投棄が頻発し、衛生環境の悪化に伴う赤痢や寄生虫病の蔓延が社会問題化した。

この状況に対処するため、1950（昭和 25）年、当時の経済安定本部資源調査会から「屎尿資源の科学的衛生処理の勧告」が出され、し尿収集の機械化とし尿の嫌気性消化処理が最も合理的であるとして、今日の収集—処理施設というし尿処理システムが方向付けられた。また、1952（昭和 27）年には日本衛生学会がし尿処理問題を国の重要施策として取り上げ、決議を受け、日本学術会議の名において「し尿処理打開策」の勧告を国に対して行った。

国は 1954（昭和 29）年 4 月清掃法を制定公布し、し尿処理施設の建設に対する国庫補助が法的に認められることとなった¹⁾。

2.1.2 し尿処理技術の発展

1955（昭和 30）年に入り、各地で公害による被害が数多く報告されるようになり、し尿処理においても不法投棄による水質汚濁などの環境汚染が問題視されるようになった。このような情勢に対応して、国は 1956（昭和 31）年に「屎尿処理基本対策要綱」（5ヶ年計画）を発表、海洋投棄の原則的禁止およびし尿の陸上処理への切り換えを呼び掛けた。また、当時の主流技術であった嫌気性消化処理方式に対して「し尿消化槽の構造等の基準」を定め、市町村のし尿処理計画に技術的な指針を与えた。この結果、1958（昭和 33）年以降、嫌気性消化処理方式によるし尿処理施設が全国に急速に普及し、その後 1975（昭和 50）年頃まで主流技術となった。

嫌気性消化処理方式によるし尿処理が抱えていた後述のような問題点を解決するため、各種の処理方式の実用化研究が行われた。その 1 つは化学処理法であり、2 つ目は好気性処理法、3 つ目は湿式酸化処理法である。これら処理方法の開発に伴い、厚生省は 1959（昭和 34）年に清掃調査会を設置して嫌気性消化法以外の新処理方式について国庫補助対象とすることの検討も開始された。

水質汚濁に係わる公害問題として、1967（昭和 42）年には阿賀野川水銀中毒事件、1968（昭和 43）年にはイタイイタイ病訴訟、1969（昭和 44）年の水俣病訴訟と続いた。

1966（昭和 41）年 8 月には「し尿処理の施設基準ならびに維持管理基準」が定められ、し尿処理の技術上の基準が明確化された。1970（昭和 45）年 12 月にはこれまで

の清掃法を「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」として公布された¹⁾。

このようにして当時の社会情勢や必要性により、し尿を農業利用することから衛生処理することに大きく変化してきた。

2.1.3 し尿処理方式の推移

これまでに述べたことも含めて、し尿処理の方式の推移をまとめる。

第二次世界大戦後、とにかくし尿を衛生的に処理しなければならない切迫した状況下、欧米で下水処理汚泥に対する研究開発が行われていた嫌気性消化処理方式を日本のし尿処理に適用すべく、開発・実用化がなされた。その後嫌気性消化処理方式の欠点である過大な消化槽容量や密閉性を保つための高度な土木施工技術、脱離液からの悪臭や散水ろ床でのハエの発生等による地域住民からの苦情等により、安価で二次公害を引き起こし難い方式への要望が高まった。

このニーズに応える形で登場したのが、化学処理方式と好気性処理方式である。

化学処理方式の基本は、薬品による凝集沈殿処理であり、処理に掛かる滞留時間が極めて短い特徴があったが、化学処理だけで放流水質を確保できないなどの問題があり、1967（昭和 42）年以降は建設されなくなった²⁾。

また、好気性処理方式は、当時し尿のような高濃度排水に適用困難との認識であったが、希釈水を用いた活性汚泥処理技術開発が進み、し尿処理に採用されるようになり、次章で述べられる標準脱窒素処理方式や希釈水を必要としない高負荷脱窒素処理方式の礎となった³⁾。

また、本流からは若干外れるが、生物処理以外の試みとして物理化学処理による湿式酸化処理方式、し尿を燃焼させて処理する直接焼却処理方式についても本章で述べることとする。

下水道の普及していない地域では、トイレを水洗化するために浄化槽（当初は単独処理浄化槽が主）を設置する必要があり、浄化槽の排水処理機能を維持するためには、浄化槽内に蓄積する浄化槽汚泥の引き抜きが必要である。水洗化の要望と共に、浄化槽汚泥のし尿処理施設への搬入量が増加し、この状況に対応するため、浄化槽汚泥のみを専用に処理する方式として浄化槽汚泥専用処理方式が開発された。処理としては、固液分離の後に活性汚泥処理する方式であった。

本章では、し尿処理の始まりの処理方式である嫌気性消化処理方式から化学処理、好気性処理方式と処理技術発展の過程で開発された湿式酸化処理方式、直接焼却処理方式、浄化槽汚泥専用処理方式の 6 方式に関して述べることとする。

2.1 参考文献

- 1) 一般社団法人日本環境衛生施設工業会編：50 年史（創立 50 周年記念誌），25（2012）．
- 2) 井上雄三：わが国のし尿処理技術の歴史 31 第 8 回第 5 章大きな課題を抱えていたし尿嫌気性消化(1)～化学処理－新しい処理技術の台頭と衰退～，月間浄化槽，5 月号，397，34（2009）．
- 3) 井上雄三：わが国のし尿処理技術の歴史 31 第 8 回第 5 章大きな課題を抱えていたし尿嫌気性消化(1)～化学処理－新しい処理技術の台頭と衰退～，月間浄化槽，5 月号，397，31（2009）．

2.2 嫌気性消化処理方式

2.2.1 社会的背景から見た技術の推移

(1) 1900 (明治 33) 年以前 (江戸期～明治期) の社会状況

江戸時代にはし尿を肥料として利用することが一般化しており、便所を設け、し尿を便槽に貯留することを行っていた。明治時代以降も都市住民のし尿は有価物として農村に人力、牛馬車、舟等で運ばれ、その運搬・販売を副業や専業とする者がいた。衛生面の問題はあるものの、このような習慣が近代の収集処理に繋がることになる。

明治時代になり、東京などの都市部に人々が集まるようになると、大雨時の浸水や生活に伴って発生する汚水が問題となった。大雨で流れ出したし尿や低地に溜まった汚水が原因でコレラ等の伝染病が流行し、その処理が問題となった。

そこで、汚水の排除に取り組むため、1884 (明治 17) 年に汚水排除も含めた日本初の近代下水道が東京神田に造られた。その後、いくつかの都市で下水道が造られたものの、全国に普及することはなかった¹⁾。

(2) 1900 (明治 33) 年の汚物掃除法と下水道法の制定

1900 (明治 33) 年になると「汚物掃除法」(法律第 31 号) が施行され、塵芥、汚泥、汚水、し尿を「汚物」に定め (規則第 1 条)、第 1 義務者「個人」が収集した汚物の処分は第 2 義務者「市」の義務とし (本則第 3 条)、汚物の収集処理の責任範囲を法的に確定した。同日に施行された「下水道法」でも汚水が対象となっていたため、下水道の敷設地域には汚物掃除法を適用しない旨の規則を設け、下水道法の適用は主として大都市に限定し、それ以外の地域の汚水については汚物掃除法で対応するものとした²⁾。

(3) 1910 年代～1930 年代 (大正年代～昭和 10 年代前半)

下水道法整備の後、日本最初の下水处理場が東京市^{注1)} に建設された。「東京市三河島処理場 (当時の呼称)」は計画処理人口約 40 万人の散水ろ床法による下水処理施設であり、1914 (大正 3) 年に着工、1922 (大正 11) 年に稼働を開始した。以降、全国の大都市部で下水道事業が展開されるようになった³⁾。

注 1) 東京市は 1889 (明治 22) 年に当時の東京府に置かれた市で、複数回の周辺町村編入等を経て現在の東京 23 区に相当する市域となる。なお、東京府は 1943 (昭和 18) 年の都制施行により東京都に移行、東京市は 1947 (昭和 22) 年に 23 区に再編され、地方自治法により特別区となる。現在は東京市と一致する行政区がないため、本 2.2 節では 1947 (昭和 22) 年以前を東京市、以降を東京都と表記し、所管および所属を明確にしている。

一方、し尿は大正中期まで農業肥料として流通しており、住民は重要な「商品」として農家等と取引契約を交わし、各戸で売却する慣習が続いていた。ところが、第一次世界大戦 (1914-1918 年) 後になると、都市部において急激な人口増加と賃金や物価の高騰が起きる。都市の人口集中によるし尿排出量の増加、市街地の拡大による輸送距離の延長、

化学肥料の普及による需要低下等により、商品としてのし尿は需要が減少していった^{4) 5)}。

このような社会情勢変化によって、それまで住民に頼っていたし尿の処理に支障が生じ始めたため、汚物の処理義務を負う市では、下水処理場とは別にし尿処理施設を建設して対処する動きが一部で始まった。1925（大正 14）年には日本で最初のし尿処理場である名古屋市千種処分場（散水ろ床法、処理能力：日量 3 千人）が稼働を開始し、1929（昭和 4）年には近代的し尿処理施設として、京都市十条処分場（活性汚泥法、処理能力：日量 4 万人）が稼働を開始している⁶⁾。

また、1930（昭和 5）年には東京市から工事を受注した株式会社西原環境（当時の株式会社西原衛生工業所）が、嫌気性消化（当時の用語でバイオリシスタンク：微生物によってメタンガスを発生させる反応槽）＋活性汚泥法（当時の用語で促進汚泥法）処理方式によるし尿処理施設（綾瀬作業所、処理能力 180 kL/日）の建設に着手、1933（昭和 8）年に稼働を開始させた。処理方式は欧米の下水処理で開発が進められていた嫌気性消化技術をし尿処理に応用したものである。下水と比べて濃厚な性状のし尿を単独で処理する方法の開発は、日本独自となるし尿処理技術のスタートとなった。この建設と運転に係わる経験が、後年の嫌気性消化設備の設計や建設および運転の指標として活かされることになる⁷⁾。

なお、1930（昭和 5）年は汚物掃除法が改正された年でもあり、この時からし尿収集についても市の義務となった。綾瀬作業所を有する東京市では 1935（昭和 10）年から、市営によるし尿の汲み取りを開始しているが、綾瀬作業所で処理されるし尿は収集の一部であり、大部分は車や船で運ばれて農地還元されたほか、下水処理場にも投入されていた。しかし、東京周辺をはじめとする都市部全体でみると、海洋投棄されるし尿も増加していった⁸⁾。

（4）1950 年以降（第二次世界大戦（太平洋戦争）後）

第二次世界大戦（太平洋戦争）が始まる頃になると、化学肥料の不足を補うためにし尿肥料が見直されたが、1945（昭和 20）年の終戦からしばらく経つと、し尿が赤痢や腸チフス等の伝染病の主因として再び社会問題化した。また、し尿肥料から化学肥料への転換が進む中、人口集中が続く都市部のし尿が農地還元されなくなり、山林や河川への不法投棄や海洋投棄処分量が急増するとともに、都市部でのし尿処理が深刻化した^{9) 10)}。

この状況を解決するため、1950（昭和 25）年には経済安定本部資源調査会から国に対し「屎尿の資源科学的衛生処理勧告」が示された。嫌気性消化処理はこの勧告で初めて、処理の合理性や可能性がまとめられた。

2.2.2 嫌気性処理技術の概要と特徴¹¹⁾

（1）ヨーロッパの動き

「1862 年、フランス」：Louis Pasteur（細菌学者）が、酸素存在下で生活する好気性生

物、無酸素状態で生活できる生物を識別。

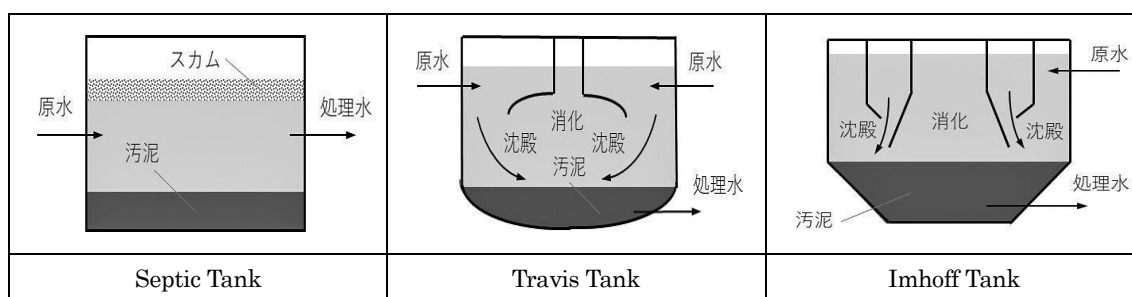
「1875年、フランス」：Louis Mouras が、し尿の固形分が汚水溜めの中で液化して溶解することを発見。1881年、汚水溜めを密閉し、液化分の放流管を取り付けた Automatic Scavenger（自動清浄機）による下水の嫌気性処理を試みる。

「1885年、イギリス」：Donald Cameron が、嫌気性菌を利用した腐敗タンク Septic Tank（セプティックタンク：図 2.2-1 参照）を開発。

「1903年、イギリス」：William Travis が二階式腐敗タンク Travis Tank（トラビスタンク：図 2.2-1 参照）を開発。

「1906年、ドイツ」：Karl Imhoff が二階槽の Imhoff Tank（インホフタンク：図 2.2-1 参照）を開発。

「1908年、イギリス」：バーミンガムのサルトレー処理場で、下水汚泥の 15～20 % を嫌気性消化で分解できることを実験で証明。さらに、種付け、アルカリ度、温度、攪拌等が嫌気性消化処理に重要な要素であることを明らかにした。



(出典：水浄化フォーラムー処理技術と維持管理ー嫌気性生物処理)

図 2.2-1 初期の嫌気性消化処理法¹²⁾

Septic Tan（セプティックタンク）、Travis Tank（トラビスタンク）、Imhoff Tank（インホフタンク）など、初期の嫌気性処理法は家庭下水処理法として普及し始めたものの、1913（大正 2）年に発見された活性汚泥法による処理の開発、普及とともに、その適用は家庭下水処理から下水汚泥の減量化処理を目的とした嫌気性消化法に移行し、施設展開されるようになった。

1930 年代前半（昭和元年代後半）になると Fair と Moor により中温消化（28～33℃）と高温消化（55～60℃）の処理温度領域が示され、後の標準消化法の確立に繋がっていった。

（2）日本の動き

1901（明治 34）年 8 月～1902（明治 35）年 7 月の約 1 年間、東京帝国大学教授で東京市技師長の中島鋭治が欧米各都市の上下水道や土木事業を視察調査し、帰国後にまとめた「欧米各市ニ於ケル市事業視察復命書」により、Septic Tank（腐敗槽）の技術を日本に伝えている。

1922（大正 11）年 3 月、東京市が建設を進めていた三河島下水処理場の運用が開始されたものの急速な都市化に下水道整備が対応できず、増え続けるし尿の処理が緊急かつ大きな課題となっていた。下水道の整備が見通せない状況でし尿の衛生処理に対処するため、東京市では 1930（昭和 5）年に、葛飾区小菅町（現在の東京都下水道局小菅水再生センター付近）でし尿のみを処理する施設に着手、1933（昭和 8）年 3 月から稼働を開始した。し尿処理施設の建設にあたり、東京市清掃課の職員が盛んに海外調査（嫌気性消化処理技術等の調査と推測される）に行っていたという記録が確認されている。また、現在より濃厚な性状と記録されているし尿の処理にあたり、当時の研究者たち（廣瀬孝六郎、西原修三ら）は嫌気性消化における阻害物質を突き止め、それを回避する方法を見いだしていった。こうして、欧米では下水汚泥の処理方法として開発が進んでいた嫌気性消化処理が日本に導入され、し尿処理技術として応用されるようになった¹³⁾。

2.2.3 技術の普及と衰退

(1) 普及動向

1950（昭和 25）年の「屎尿の資源科学的衛生処理勧告」を基に、東京都をはじめ全国各都市に、嫌気性消化処理によるし尿処理施設の建設が進められた。これには、国庫補助支援等も追い風となっている。

1953（昭和 28）年から 5～6 年間で建設されたし尿消化槽^{注2)}は表 2.2-1、表 2.2-2 のとおりであり、し尿処理の開始当初における施設需要の高さが伺える。

注 2) 当時、嫌気性消化槽はし尿消化槽と呼ばれていた（以後、同様に表記）

表 2.2-1 し尿消化槽の設置状況
[1956（昭和 31）年 11 月現在]¹⁴⁾

No.	場所	型式	槽数	消化日数 (日)	処理人口 (千人)	操業開始年
1	札幌	加温	2	30	100	1955, 10
2	室蘭	加温	1	15	64	1956, 3
3	上砂川	無加温	2	60	10	1957, 4
4	山形	加温	1	30	60	1957, 4
5	桐生	◇	2	30	20	1956, 5
6	富岡	◇	1	30	10	1955, 11
7	行田	◇	2	30	20	1955, 4
8	東京	◇	20	30	1,000	1953, 2
9	逗子	◇	1	30	14	1954, 12
10	新潟	◇	1	30	40	1956, 10
11	長野	◇	2	30	100	1957, 3
12	諏訪	◇	1	30	4	1954, 6
13	上山田	無加温	4	70	10	1957, 3
14	網代	加温	2	50	3	1954, 4
15	熱海	◇	2	40	25	1956, 4
16	修善寺	無加温	1	60	7	1956, 5
17	焼津	加温	1	30	8	1954, 8
18	佐久間	無加温	1	60	1	1955, 12
19	守口	◇	4	70	15	1956, 4
20	神戸	加温	3	30	100	1954, 10
21	尾崎	◇	1	30	60	1956, 12
22	天理	無加温	5	85	22	1955, 7
23	倉敷	加温	1	30	20	1956, 8
24	琴浦	◇	1	30	8	1954, 12
25	茶屋	無加温	50 ¹⁾	5	5	1954, 4
26	江迎	◇	1	60	4	1957, 2

* 1) 槽数50となっているが、恐らくこの値は次列消化日数数列の誤記であろう。

表 2.2-2 消化処理場完成の
年次別数¹⁵⁾

昭和 年	建設完成数
28	1
29	9
30	7
31	5
32	11
33	15

(出典：し尿消化そのの原理)

(出典：わが国のし尿処理技術の歴史 第 7 回)

なお、北海道では、1953（昭和28）年度から1969（昭和44）年度の間に63施設のし尿消化槽が建設され、関係する市町村は道内市町村数の約60%を占めるに至っており「道内し尿の衛生処理はし尿消化槽がその主体をなしている」との報告がある¹⁶⁾。

このように、嫌気性消化処理施設は1975（昭和50）年頃まで、し尿処理方式の主流として多数の施設が建設され、ピーク時には全国施設数の68%、処理能力の70%を占めたとされている。

（2）衰退理由

嫌気性消化処理方式はし尿の衛生処理を目的として開発され、全国に普及したが、「1988年版し尿処理施設構造指針解説」に記されたとおり、①構造的に広い敷地を要する、②浄化槽汚泥割合が高くなるとガス発生量が減少し、維持管理費が上昇する、③窒素がほとんど除去できない、という欠点があり、時代の推移とともに建設数が減少した¹⁷⁾。し尿処理施設構造指針が改定された1988（昭和63）年以降、嫌気性消化によるし尿処理施設の建設は皆無となっている。

嫌気性消化処理方式の衰退は次のような理由によって、日本社会の変化と密接に関連している。

- ① COD、リン、色度等の除去要望に対応する高度処理設備設置の需要
- ②窒素の排出規制対応、処理機能不安定要因としての窒素除去の要望
- ③高いレベルでの臭気対策の要求
- ④建設用地確保の困窮
- ⑤し尿処理施設に対するイメージ改善の要望
- ⑥夜間や休日におけるボイラ等加温設備の運転対応の困窮
- ⑦し尿の低濃度化、浄化槽汚泥割合の増加
- ⑧好気性処理による新処理技術の実用化

（3）当該技術が果たした役割

嫌気性消化処理は第二次世界大戦（太平洋戦争）終結後の日本のし尿処理を推し進め、衛生的な生活環境の実現に大きく貢献した技術である。しかし、新たな処理技術の開発と実用化、窒素等の新たな排水基準項目への対応、老朽化による施設更新等により年々減少し、稼働施設は2016（平成28）年末で30施設となっている¹⁸⁾。

新たに建設される嫌気性消化処理施設もなく、設計・施工に関わってきた技術者がほとんど存在しなくなっている状況にあるものの、嫌気性消化処理技術は、資源化が求められている近年において、汚泥再生処理センターにおける資源化設備の一つであるメタン回収設備の基本技術として再び着目されている。生ごみを加えて有機物濃度を高める等、発酵効率を高める研究開発が行われており、衛生処理技術から資源化技術へと転換が図られている。

2.2.4 嫌気性消化処理技術の適用と標準化

(1) 「尿尿の資源科学的衛生処理勧告」の経緯と内容

第二次世界大戦（太平洋戦争）が終結した翌 1946（昭和 21）年、戦後日本の経済復興計画の策定を目指し「経済安定本部」が内閣直属組織として発足し、翌 1947（昭和 22）年に総理庁の機関として位置付けられた。経済安定本部は、1949（昭和 24）年の経済安定本部設置法施行時までには 7 つの内部部局、5 つの付属機関等が設置されている。

「資源調査会」は 1947（昭和 22）年 12 月 13 日付公布の政令によって経済安定本部に設置された付属機関の一つであり、発足時の名称は「資源委員会」であった（発足後約 1 年半後に改称）。資源調査会は、経済復興と国民生活安定の基礎となる国内資源の開発、利用、保全のあり方を科学技術の立場から検討し、その計画的かつ総合的な利用を提起することを目的とした機関と位置付けられる。資源調査会には土地、水、エネルギー、地下資源（後に工業原料と改名）、衛生、繊維、地域計画、防災等の部会が設けられ、複数分野にまたがる科学技術基準の確立という課題とともに、それまで資源的活用の検討が見送られてきた課題の掘り起こしが行われ、諸勧告や諸報告として取りまとめられた¹⁹⁾。

「尿尿の資源科学的衛生処理」は資源調査会勧告第 9 号として 1950（昭和 25）年 12 月 22 日付で経済安定本部資源調査会から経済安定本部総裁（内閣総理大臣）宛てに提出されており、その論旨には次の記載がある²⁰⁾。

『現在の風習の如く、尿尿を無処理のまま使用することは、寄生虫卵の殺滅にならないので、病原の点から忌むべきことである。そこで資源調査会では、この尿尿に含まれている貴重な資源を日本の伝統通りに活用し、しかも病原を除く衛生科学的汲取処理方法を研究した。今日日本全国至るところに、完全処理場を備へた下水道を布設し、それに排流し得る水洗便所を完備することは望むべくも経済上到底なし得られるものではない。又貧弱な国富の日本では、たとえ各都市に限定しても、その新設は頗る困難である。従つて将来と雖も従来のように汲取便所が少なからず存続して行くことは止むを得ないのである。』

ここで述べられている“日本の伝統”とはし尿の肥料利用となるが、勧告では、調査研究方法を「尿尿汲取の機械化」、「尿尿の資源科学的衛生処理」、「尿尿と下水との合同処理」の三部門に分け、それぞれの調査研究結果がまとめられている。

そして、「尿尿の資源科学的衛生処理」の報告において、『尿尿の処理は生物化学的方法（嫌気性消化法）が最も科学上合理的であり、資源的に経済であり、全日本に及し得る方法である』とし、次のとおり結論付けている。

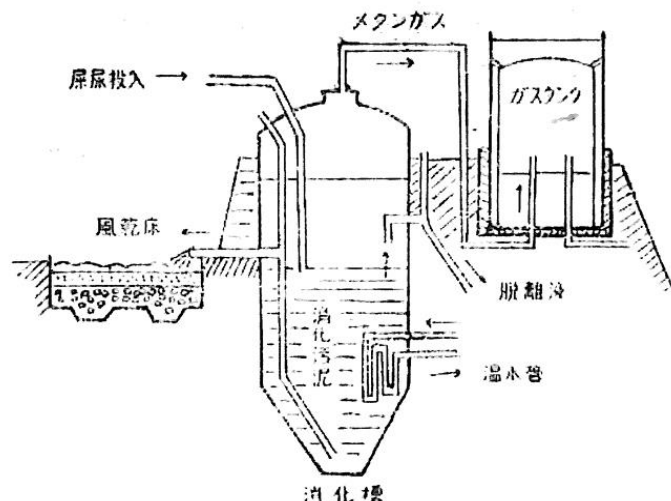
『(前略) この尿尿の嫌気性消化法こそ富めると云い得ない日本のとるべき道であろう。この方法によって行けば、国辱の悪名たる日本の野菜は食すべからざるの好ましからざる評判は解消するに至るであろう。(中略)嫌気性消化法による尿尿は肥効分増大からの利を、更に汲取の簡易化からの作業費節減の利を、更に又発生する熱資源可燃ガスからの利を与えてくれるに外ならないが、嫌気性消化処理を施した尿尿は、明白に肥料として販売価値

も、存在価値をもつものである。この嫌気性消化完了尿尿を肥料として農村に還元することにより、化学肥料への資源及び動力を他の産業に代え得れば日本全体の上へも経済的の少なからぬ寄与をするであろう。』

(2) 勧告で示された嫌気性消化処理の主要点

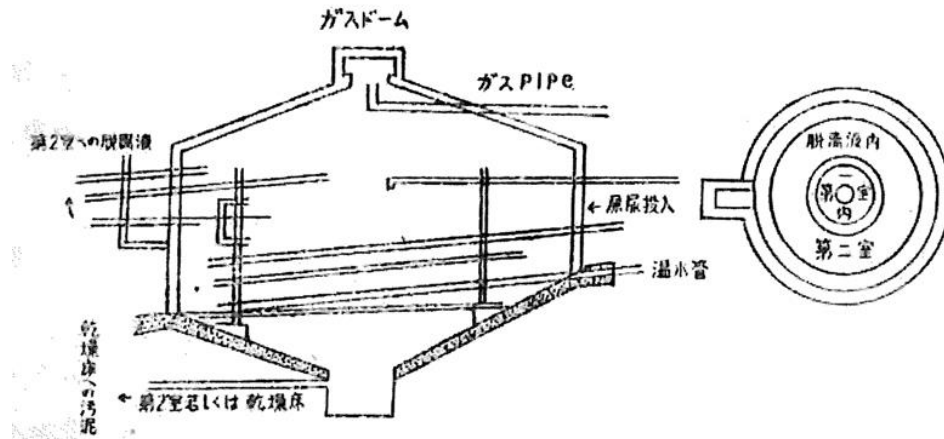
「尿尿の資源科学的衛生処理勧告」では、「嫌気性消化を尿尿に応用した研究は、尿尿を下水と別個に取扱う関係上、日本だけに限られ、これに関しては柴田三郎による研究報告、柴田・西原による報告、広瀬、岩戸による報告、更に神戸市の報告等がある。」とした上で、嫌気性消化法の機能や構造等の主要点を次の12項目にまとめている²¹⁾。

- ① 尿尿の嫌気性消化のためには、消化槽（気密コンクリート槽）、ガス貯留槽、唧筒（ポンプ）、もし消化残渣たる消化汚泥を風乾するとすれば、風乾床たる砂床が必要である。それらの簡単な機構図は次に示す通りのものである。



- ② 尿尿の嫌気性消化には、下水の腐熟汚泥を種として、消化の開始時に加えてやらねばならない。（後略）
- ③ 消化槽内の適温は 25℃～40℃間で、35℃が適温であるが、熱源の関係上 30℃に保つのを原則とすればよい。（後略）
- ④ 最適 pH は 7.2 であり、7.0～7.6 間に調節すべきものである。（中略）他資源の助力を何等受けずに pH を 7.0～7.6 に保つには、次図に概略を示す如き二重室をもつ消化槽か二槽以上を組とする、複数法をとればよい。

二室式尿尿消化槽の機構説明図



- ⑤ 室内又は槽内での pH を 7.2~7.6 に保ち、温度を 30℃に保ち、よく消化された種となり得る成熟汚泥（消化物）と新尿尿との比を 1 対 5 以内（出来れば 1 対 3 以内）に保てば、消化完了期間は 30 日である。（後略）
- ⑥ 尿尿の嫌気性消化により発生するガス量は一人一日当たり平均 13 L で、メタンの含有は約 50%、発熱量は 1 立米 5,000 kcal^{注3)} である。（後略）
- 注 3) 現在の国際単位系 (SI) では約 20,930 kJ。
- ⑦ 含水量 96%前後の投入尿尿が、嫌気性消化を受け、その有機物質の 50%をガス化、液化した場合、その 70%は脱離液（含有固形物 1%以下）となって固形物体から離れて上部に別れる。その 30%は含水量 91%~95%の消化汚泥と称する消化残渣として下部に沈積する。
- ⑧ （前略）消化汚泥の全窒素の 64%はアンモニア性であり、脱離液に至っては、その窒素の 70%がアンモニア性である。（中略）この嫌気性消化の特徴の一つは、気密槽で生物化学変化を行わしめるので、原料の含有した窒素の損失を来さないということである。（中略）尿尿を他の方法、即ち化学法、物理法、更に生物化学法等の酸化法によって安全化し資源化せんとする場合には必ず多少共窒素や他の肥料成分の損失が認められる。此の損失の^{すくな}少ない点で嫌気性消化法は、資源化処理法として最も勝れているといつてよい。
- ⑨ （前略）一旦尿尿としての成熟汚泥を得た上は、下水汚泥による植種を必要としない。（後略）
- ⑩ 嫌気性消化に最も重要な因子は、適温と適当な水素イオン濃度である。（後略）
- ⑪ 尿尿の嫌気性消化に必要とする消化槽の容量は、一人当たりを単位にとり、42 L~50 L である。これは槽の上部にガス及び浮渣スペースとして、20%~25%の容量を見込んだものである。この必要容量を市町村の人口に乗ずれば、当の市町村の必要とす

る消化槽容量が得られるであろう。消化槽の大きさは最大 2,000 m³を限度としたい。
(後略)

- ⑫ 尿尿を嫌気性消化に付した残渣である消化汚泥を、約 400℃に於いて乾留すれば 10%～15%に上る燃料粗油と、約 10%濃度のアンモニア液 20%前後、残留炭の 50%～70%を得ることができる。(後略)

(3) 基準化された構造等

「尿尿の資源科学的衛生処理勧告」から 4 年後の 1954 (昭和 29) 年に制定された「清掃法」では、し尿消化槽について次のように定めている。

清掃法 (昭和 29 年 4 月 22 日 法律第 72 号)

第 13 条 2 し尿浄化槽及びし尿消化槽は、厚生省令で定める基準に従って維持管理しなければならない。

清掃法施行規則 (昭和 29 年 6 月 30 日 厚生省令第 32 号)

第 9 条 法第 13 条第 2 項の規定によるし尿浄化槽及びし尿消化槽の維持管理の基準は、左のとおりとする。

1 し尿浄化槽
(略)

2 し尿消化槽

イ 自然流下式の投入槽へのふん尿の投入は、設計時に定められた計画に従うこと。

ロ ふん尿に対し添加物として食物の残廃物を利用するときは、粉碎したものをいい、その量はふん尿量に対して排出自然比程度とすること。

ハ ふん尿に対し添加物として下水汚泥を利用するときは、有機物の含有量が多く、かつ、土砂を含まないものを用いること。

ニ 消化による熱灼減量の減少率は、おおむね、加温式のものにあつては 45 パーセント以上、無加温式のものにあつては 35 パーセント以上であること。ただし、消化の過程において消化汚泥を堆積して好気性発酵をさせる等 2 次処理を行うときの熱灼減量の減少率は、この限りでない。

熱灼減量の減少率の算定方式は、すべて次のとおりとする。

$$\text{熱灼減量の減少率} = 1 - \frac{\text{ふん尿の灰分}}{\text{消化汚泥の灰分}} \times \frac{\text{消化汚泥の熱灼減量}}{\text{ふん尿の熱灼減量}}$$

ホ 槽は常に検査して、消化物のもれを防ぐこと。

ヘ 脱離液の理化学的性状、ガス発生量等により消化状態を適時検査すること。

ト 無希釈脱離液の生物学的酸素要求量は、おおむね、加温式のものにあつては 3,000 ppm 以下、無加温式のものにあつては 4,500 ppm 以下であること^{注4)}。

注4) 当時はし尿等の比重を 1 として ppm で表記していたが、単位としては mg/L が正 (以下同様)

チ 無希釈脱離液の 4 時間酸素吸収量は、おおむね、加温式のものにあつては 1,500 ppm 以下、無加温式のものにあつては 2,000 ppm 以下であること。

リ 脱離液、消化汚泥の引き出しの量及びこの回数は、常に設計時に定められた計画に従うこと。

ヌ し尿消化槽のうち、加温式のものにあつては、消化槽内の温度及び消化期間は設計時に定められた計画に従うこと。

ル 無希釈脱離液は、生物学的酸素要求量が 200 ppm 程度になるように水で希釈し、散水ろ床等により 2 次処理すること。

ヲ 高速散水ろ床における生物学的酸素要求量負荷は、ろ材 1 立方メートル当り 1.2 キログラム以下であること。

ワ 最終の乾燥汚泥の生回虫数は、10 グラムについて陰性であること。

カ 放流水の水質は、生物学的酸素要求量 30 ppm 以下、4 時間酸素吸収量 20 ppm 以下、アルブミノイド窒素 10 ppm 以下とすること。ただし、外海に放流する等の措置により放流水域の環境衛生上支障がない場合においては、生物学的酸素要求量は 80 ppm まで、4 時間酸素吸収量は 60 ppm まで、アルブミノイド窒素は 30 ppm までは差し支えないものとする。

ヨ 放流水は、放流水域の利用条件及び伝染病の発生状況により、放流の 15 分前までに、残留塩素を証明できる程度に塩素滅菌を行うこと。

さらに、し尿処理施設の需要の高まりと清掃法の制定によって、大都市部ではし尿消化槽の建設、稼働の実績が増えつつあり、その維持管理の効果的な励行と施設設計の適正化を進めるため、1956 (昭和 31) 年には清掃法施行規則が一部改正され、併せて各都道府県知事宛に厚生事務次官通知「し尿消化槽の構造等の基準について」(昭和 31 年 6 月 13 日 厚生省発衛第 242 号) が示されている。(資料-1、資料-2)

【資料-1】

別紙一

し尿消化槽の構造等の基準について

1 加温式消化槽

イ、投入槽

(一) 一次スクリーン、二次スクリーン

スクリーンは一次スクリーン及び二次スクリーンを設けることとし、量が多い

場合には機械的に除去することが望ましいこと。

なお、スクリーンかすは焼却等の方法により衛生的に処理すること。

(二) 自然流下によるもの及びポンプにより圧入するものの何れかとする事。

自然流下式では、消化槽の能力以上に投ずる危険があるが、ポンプにより圧入するものではこの点の調節が容易であるので、投入し尿量が不規則に増加する可能性のある場合にはポンプ圧入式を採用すること。

ロ、混和槽

(一) 混和、攪拌のほか、これによって量の調節が可能であること。また特別な構造の場合には、種入れ（シーディング）の目的にも使われること。

(二) 攪拌装置が充分である場合、または消化槽の規模が小さい場合には、混和槽は省略してもよいこと。

(備考) 熱源が容易に得られるときは、寄生虫の殺滅等のため、例外的に生し尿を混和前に約一時間摂氏六十度程度に加熱してもよい。

ハ、消化槽

(一) 一段処理、多段処理の何れかとする事。

基本的には、衛生的な面からも操作の面からも多段処理が望ましいが、経済的な見地より一般的には、大都市（大規模な装置で槽数の多いもの）では多段式が、小都市又は特殊な構造の場合には一段式が適当であること。

(二) 消化温度及び消化期間

一般的には摂氏三十一～三十五度、十五～三十日とすること。

標準としては差し当り摂氏三十度、三十日がよいが、熱源が容易に得られる場合には摂氏三十五度までとすること。期間については、食物の残廃物、下水生汚泥が利用できる場合には短縮してもよいが、し尿だけの場合で放流先の状況等により、ある程度安定したものを得ることが必要な場合には三十日が必要であること。

(備考) 消化物中の寄生虫卵、特に蛔虫卵については摂氏三十度、三十日消化ではなお若干の生卵が残るが、脱離液から感染はまれで、主として消化汚泥が問題となるので、これは消化汚泥を引き出して堆積し、自然醗酵による醗酵熱によって槽外で殺滅することが合理的である。

(三) スカムブレーカ及びカキマゼ機

(イ) 機械によるもの

(ロ) 脱離液の噴出によるもの

(四) 加温形式

(イ) 槽内加温

消化槽内へ加温コイルを入れるもの（横位置、縦位置）

(ロ) 槽外加温

生し尿又は消化物を槽外で加温するもの

(ハ) 蒸気吹込等による直接加温

(熱源) 消化槽発生ガス、じん芥、温泉等を利用すること。

(五) 消化槽添加物

食物の残廃物、下水汚泥を用いること。ただし、何れの場合にも連続して投入することが適当である。

二、希釈調整槽

脱離液を水で希釈し、散布ろ床に送るため、量の調整をも兼ねて希釈調整槽を設けること。この場合、希釈のために返送水を使用することは、水の節約になるばかりでなく、ろ過の機能をよくするためにも効果があること。

ホ、散布ろ床又は活性汚泥による浄化装置

一に高速散布ろ床(ハイレートフィルタ)が適当であるが、活性汚泥による場合には特に操作に熟練を要すること。

ヘ、最終沈殿槽

(一) 原則として最終沈殿槽を設置し、浮遊物を沈殿分離すること。

なお、返送水を使用する場合にはこの槽を通過させるものとし、この槽における沈殿物は消化槽に投入するか、または汚泥乾燥場において処理するものとする

2 無加温式消化槽

イ、適応

原則として処理対象人口が五千人以下の場合は無加温式消化槽、一万人以上の場合には加温式消化槽とし、処理対象人口が五千人から一万人までの場合には、管理技術の度合い、肥料としての利用の有無等の条件を考慮して何れかを選定するものとする

ロ、消化日数

消化日数は、槽構造、気候等によって一律に定めることはできないが、最短六十日とすること。

ハ、スカムの形成防止

スカムの形成を防止するため、必ず機械攪拌、脱離液の噴出等のスカム形成防止装置を設けること。この場合、特殊な攪拌装置、脱離液の噴出等によって槽内容物を循環させることは、スカムの形成防止のほか消化を促進する効果があること。

なお、安全のため発生ガスの排気装置を附設しなければならないこと。

二、消化槽等の構造

多段式の場合は、構造、気候等によって異なるが、第一槽において少くとも四十

五日以上の消化を行いうるよう、第一槽の容積を大きくすること。
投入槽、スクリーン、混和槽等については、加温式の場合に準ずること。

【資料-2】

別紙 二

し尿消化槽の資材の基準について

1 資材一般について

し尿消化槽は一般の構造物に比し、極めて特殊の性質を有するので、その仕様資材は、施設の性質上耐久性を必要とする。ただし、施工上容易に取りかえ、又は補修し得るものについてはこの限りでない。

2 管類について

三インチ以上の管には総て鑄鉄管（JIS G5521）を使用し、二.五インチ以下の場合には塩化ビニール管、その他耐酸、耐アルカリの特殊鑄鉄管を使用する。

3 弁類について

三インチ以上管径の弁は、水道協会規定の上下水用鑄鉄製スルース弁（JIS B2062）、二.五インチ以下の弁はジルジン青銅製、ステンレス製スルース弁またはストップ弁又はコックとする。

4 消化槽内の管類接合材料について

フランジ管の枝手部に於ける締付ボルトは、総てステンレス鋼製磨ボルトとし、パッキングは鉛製品、ビニール製品又は石綿製品等を使用し、普通鋼製ボルト及びゴムパッキングは使用しない。

これはビニール管の鑄管接合においても適用される。鑄鉄管のソケット管の枝手は鉛とヤーン（亜麻）を用い、コーキングする。ただし、消化槽の壁体を貫通する鑄鉄管には水切付の最小四五ミリメートルの鋼製スリーブ管を使用する。なお、消化槽スラブ中を貫通する管のサヤは鑄鉄製気密の特殊スリーブとする。

5 槽内機械材料について

槽内容物（発生ガス及び消化物）に接触する総ての機械材料は鑄鉄及びステンレス鋼（JIS G4301）シルジン青銅等耐蝕性をもつものとする。

ただし、シルジン青銅（CU80-86、Si4-45、Zn10-15）特にガス安全装置、槽内温度計等計器類に使用する材料に関しては、その用途の重大性に鑑み慎重に材料を検討しなければならない。

6 塗装材料について

消化槽内容物及び発生ガスに接する部分の防蝕には、良好なアスファルト系統、合成樹脂系統もしくは同等以上の塗料を使用するものとする。

2.2.5 技術の開発と実用化

(1) 黎明期

(a) 綾瀬作業所の概要

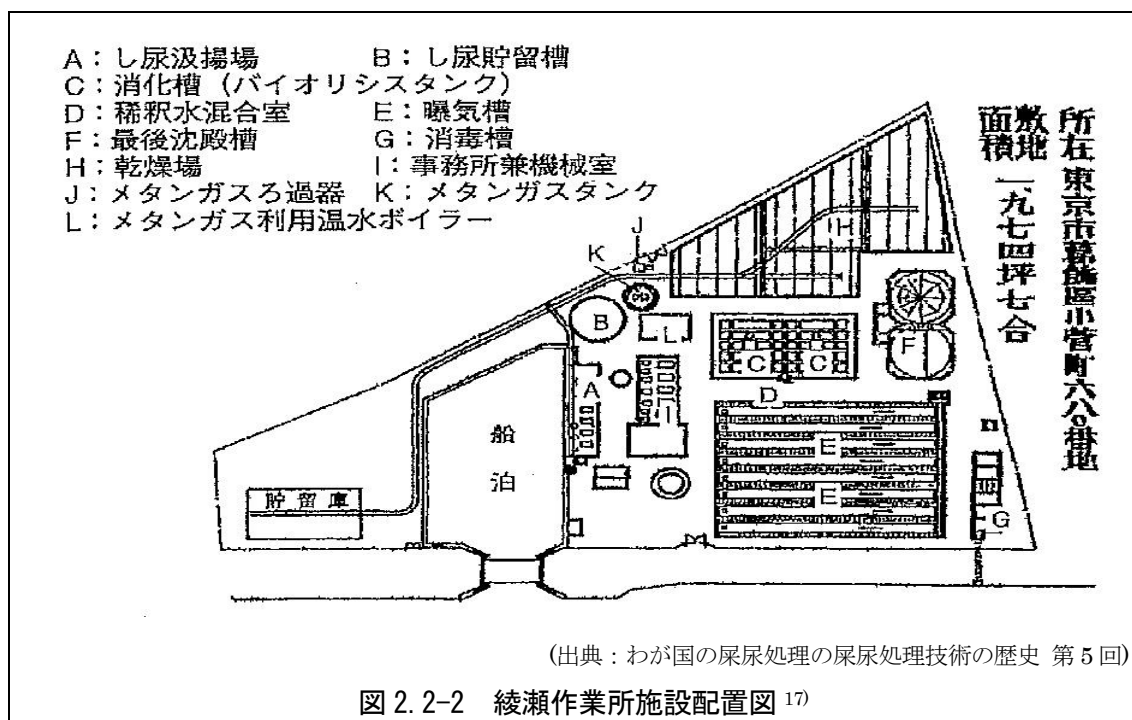
嫌気性消化処理技術を適用した最初のし尿処理施設は、1933（昭和8）年3月に竣工した東京市「綾瀬作業所」である。

1950（昭和25）年に発表された「屎尿の資源科学的衛生処理勧告」の17年前になされた、後の嫌気性消化+活性汚泥法処理方式の原点となる施設の建設は、それまで肥料として収集・運搬及び消費を民間に頼っていたし尿の処理に支障が出始めることを予測した東京市が、1930（昭和5）年に株式会社西原環境（当時の株式会社西原衛生工業所）に発注した事業であり、処理量は1,000石/日（180kL/日）である。

計画当時、現在と比較して相当濃厚だったし尿を単独処理する技術は完成されていなかったが、し尿処理の緊急性と重要性に迫られた状況に対処するため、研究者、技術者、設計者、施工会社等、関係者の能力を集結させ、実施設の建設稼働実現に至っている。この施設建設と運転の実績が、後の「屎尿の資源科学的衛生処理勧告」等に繋がっていることは確実であろう。

なお、綾瀬作業所の竣工によって、東京市は農地還元、下水道投入、し尿処理施設によるし尿処理体制が整備され、2年後の1935（昭和10）年、市によるし尿の汲み取りを開始している。

綾瀬作業所の平面配置と設備概要は、図2.2-2及び次のとおりである⁷⁾¹⁸⁾²²⁾。



A：し尿汲揚場（RC 造平屋 90 m²、堂部地下室 33.3 m²）

船舶で搬入されたし尿を特殊揚水ポンプで仮受槽に汲み上げ、粗大固形物をろ過除去した液をし尿貯留槽に移送する。

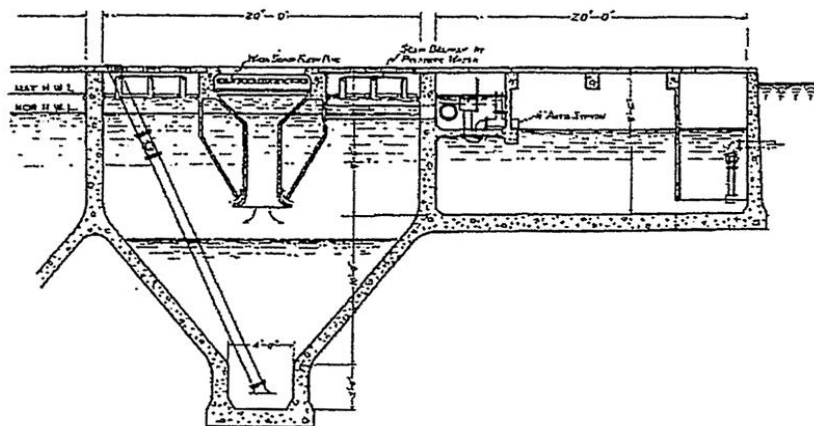
B：し尿貯留槽（直径 8.6 m）

流入したし尿液を貯留し、高揚程ポンプで連続的に消化槽に移送する。

C：し尿消化槽（内法各 10 m 方形、水深 9.8 m）

バイオリシスタンク（微生物によってメタンガスを発生させる反応槽）と呼ばれるし尿消化槽は、下図のとおり上部に沈殿室、下部に固形物消化室を持つ構造である。し尿液は本槽中央部の混合塔で約 10 倍に希釈混和されて沈殿室に流入し、下部消化室を通過する間に汚水中の固形物を消化させ、残渣量を減量すると同時に消化（腐熟堆肥化）が行われる。本槽内における有機性固体の消化作用に伴って発生するメタンガスを利用し、加温設備を運転し、本槽内の消化作用を促進させる。

消化槽上部はすべて浸水蓋（サブマーチドカバー）で水封されており、また、消化室の上部中央にはスカムブレーカが装着され、一日若干時間本機を回転することにより沈殿室及び消化室のスカムの形成を防止する。



D：希釈水混合室

消化槽より排出された脱離液を河川水で原し尿の 50 倍に希釈し、最後沈殿槽からの返送汚泥と混合して曝気槽に移送する。

E：ばっ気槽（槽長 35 m、水深 3.5 m、8 槽構成で滞留時間 4.5 時間）

国産散気板を槽片側に縦置きして加圧空気を散気し、旋回運動を起こして汚水と大気の接触を大きくすることで促進汚泥を生成させ、酸化及び好気性菌の共同作用による浄化を進める。

F：最後沈殿池（直径 10 m、水深 5.1 m、2 槽構成）

促進汚泥を含有する浄化水を自然流下で流入させ、促進汚泥を沈殿させて浄化水を固液分離するとともに、これを消毒槽に移送させる。

緩速に回転する汚泥掻寄機により、汚泥を中央ピットに集泥し、返送汚泥ポンプにより曝気槽に 2.5%返送し、余剰汚泥は消化槽に送る。

G：消毒槽（接触時間約 12 分）

最後沈殿池より流出した処理水に、塩素水浴液を注入し、完全に滅菌した後河川に放流する。

H：乾燥場（880.2 m²）

汚泥排除管により、静水圧を利用して送られた消化槽底部汚泥の予備乾燥を行い、乾燥消化汚泥は肥料として処分される。砂利と砂の薄層ろ過床を持ち、底部には排水管が設置されている。なお、敷地の関係から十分な面積が確保できず、乾燥効率を高めるために有蓋式とし、全屋蓋面積の 40%をガラス蓋としている。

I：事務所兼機械室（RC 造、延建面積 139.14 m²）

延建面積の内、2 階建事務室は 54 m²、ブロワ等を設置した平屋機械室は 85.14m²で、施設の受電量は 225 kW。

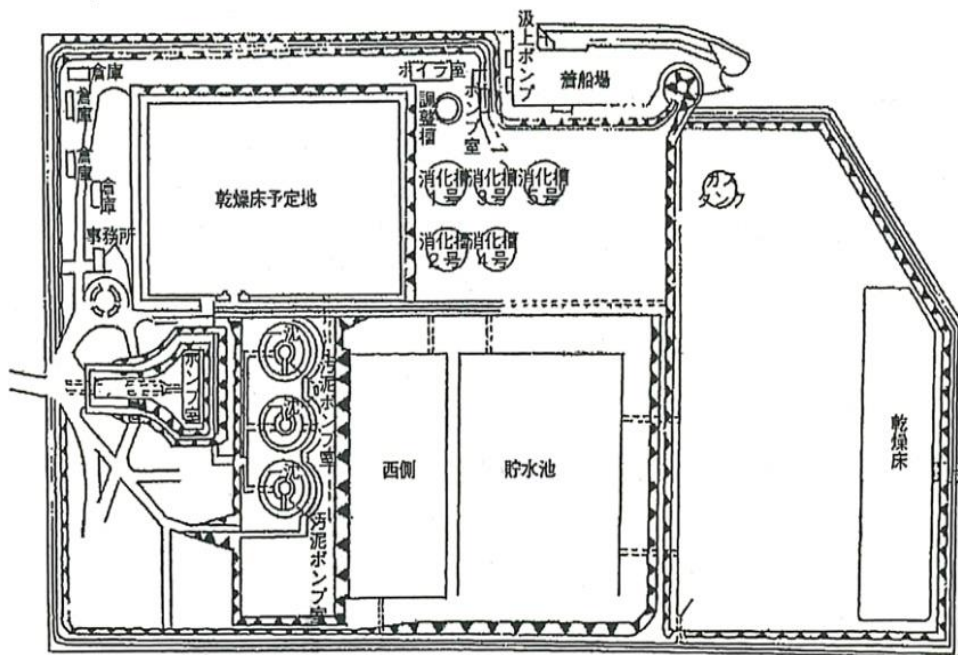
K：ガスタンク

ろ過器(水酸化鉄)を通して硫化水素を除去した消化ガスを貯蔵し、ボイラによる加温に利用する。

(b) 砂町処理場の概要 ²³⁾

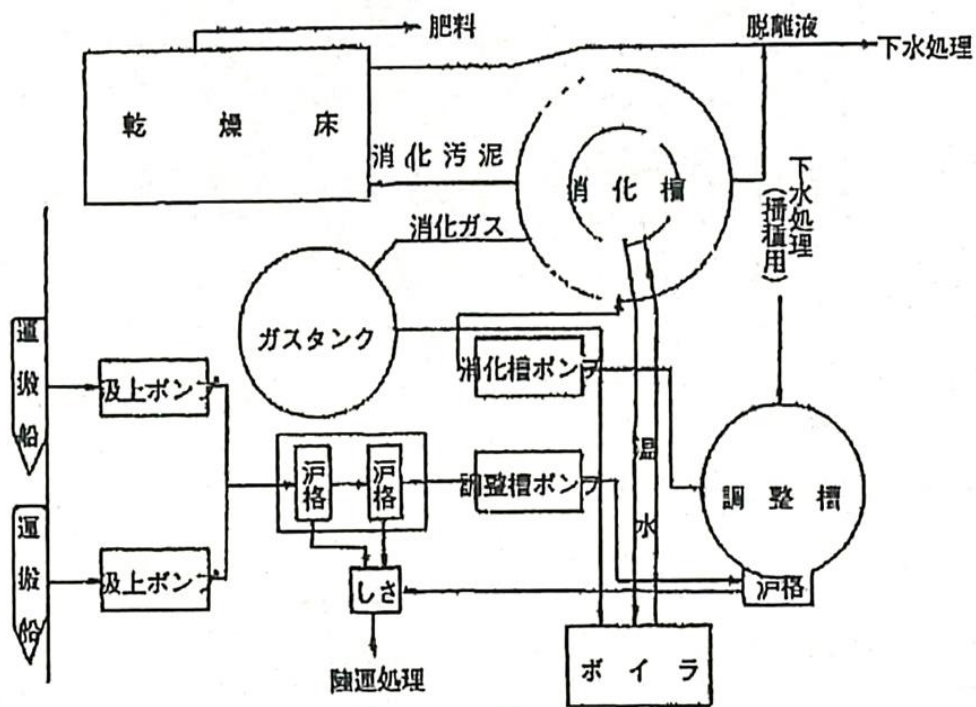
綾瀬作業所は戦争中の 1943（昭和 18）年頃、し尿処理施設としての基本的な役割を終了したが、第二次世界大戦（太平洋戦争）の終結後、都市部ではし尿の処理が再び緊急の課題となった。このため東京都は 1950（昭和 25）年の「屎尿の資源科学的衛生処理勧告」と時を同じくして、江東区南砂町の砂町処理場（下水処理場）内に「砂町し尿消化槽」を建設した。

なお、建設時の施設はし尿処理量 360 kL/日であったが、稼働後、実運転しながら改良、増設を重ね、1960（昭和 35）年にはし尿処理量 2,700 kL/日の能力としてフル稼働に至っている。1953（昭和 28）年の施設稼働時の平面配置、フローシート、設備概要は、図 2.2-3、図 2.2-4 及び次のとおりである。



(出典：わが国の屎尿処理技術の歴史 第6回)

図 2.2-3 砂町し尿消化槽施設平面図²³⁾



(出典：わが国の屎尿処理技術の歴史 第6回)

図 2.2-4 砂町し尿消化槽フローシート²³⁾

①し尿搬入・除渣

都内で収集されたし尿は、集積し、船舶等を利用して東京湾を経由して海上輸送で施設に搬送される。運搬船からポンプで吸い上げられたし尿は 2 種類（粗目・細目）のバースクリーンを通過させてし渣を除去し、調整槽に移送される。

②調整槽

調整槽では、同下水処理場の沈殿池から発生する下水汚泥を 20% 添加し、量調整を行いながら消化槽に移送する。

③消化槽（有効容量 3,250 m³/槽）

消化槽は内槽と外槽に分けた構造で、内槽を 30°C に加熱した場合、日量 90 m³ のし尿を 30 日間（内槽 10 日間、外槽 10 日間）で処理する。内槽には攪拌によってし尿の嫌気性分解を早め、スカムを防止するためのサーキュレータが、外槽にはスカム防止のためのスカムブレーカが、それぞれ設置されている。

脱離液は、下水処理場に流入する下水で希釈しながら第 1 沈殿池に導入され、消化作用に伴って発生した汚泥は、槽底部の汚泥引抜管により自然流下で乾燥床まで移送されて散布、天日乾燥後、有機肥料として販売される。

発生ガスは消化槽上部のガスドームからガスタンクに引き抜かれ、加温用ボイラの燃料として利用される。

なお、施設稼働当初の消化槽は 5 槽構成（1 槽予備）であったが、フル稼働時には 20 槽構成となり、ガスタンクは 1 基から 4 基に増加している。

（c）技術的課題²³⁾

砂町処理場は実運転を行いながら改造と増設を重ねており、搬入されるし尿の処理が急務とされた竣工当初から次の改良が加えられている。改良が必要となった課題は、嫌気性消化処理のみならず、以降のし尿処理施設においても該当するものである。

（ア）スクリーン設備

し尿等に混入するきょう雑物は消化槽本体やその他の貯留槽内で発生するスカム量や配管系の閉塞に大きく影響するため、きょう雑物を補足するためのスクリーン設備を設ける。当初のスクリーン設備はドル式 S 型スクリーン^{注5)}であったが、これをドラムスクリーンに変更したことできょう雑物捕捉効果が向上し、スカム発生量は著しく改善された。

注5) ワイヤを用いた構造とあるが、詳細は不明。

（イ）消化槽本体の保温

消化槽は、1955（昭和 30）年までに 10 槽、1958（昭和 33）年までに 10 槽、計 20 槽が建設された。当初の 10 槽は二重槽単壁断熱方式^{注6)}であったが、増設 10 槽は更にホローブロック（穴明きブロック）で空気間隙を包む断熱方式が追加され断熱性を高めている。なお、1960（昭和 35）年から消化温度を 30°C から 37°C に高める操作を行ったことで処理

効率が高まり、それまで 30 日間で管理していた消化日数が 20 日間に短縮されている。

注 6 「屎尿の資源科学的衛生処理勧告」でまとめられた二重室をもつ消化槽で、構造等は 2.2.4 (2) 項参照。

(ウ) 防臭

し尿特有の臭気により劣悪な作業環境であったばかりでなく、周辺住民からの苦情対応に追われることになる。1971 (昭和 46) 年には悪臭防止法が制定され、防臭対策の強化が大きな課題であった。

(エ) 脱硫設備

消化ガスの硫化水素濃度が非常に高く、ボイラ燃料として利用するためには脱硫が必要となる。当初の乾式脱硫装置は脱硫剤を 1 週間毎に交換する必要があったため、湿式脱硫装置 (タカハックス) を導入した。

(2) 開発期

東京都が砂町処理場を整備した状況と同様に、全国的にし尿消化槽が建設され、し尿処理が普及していった。しかし、1950 (昭和 25) 年の「屎尿の資源科学的衛生処理」及び 1956 (昭和 31) 年の「し尿消化槽の構造等の基準について」に記されたし尿消化槽の構造等は一定の幅を持たせた数値や考え方を示すものであり、実施への具体的適用は設計・施工を請け負う企業による海外技術の導入や独自の技術開発に委ねられるものであった。

(a) 主要企業の技術開発

し尿処理施設及び汚泥再生処理センターの設計・施工実績がある主要企業の嫌気性消化処理施設の開発経緯は、表 2.2-3 のとおりである。

表 2.2-3 主要企業の嫌気性消化処理施設開発経緯²⁴⁾

企業名	開発時期	開発のきっかけ	導入実績
クボタ環境サービス株式会社 (当時の久保田鉄工株式会社)	1961 (昭和 36)年	創業以来、鑄鉄管を通して 70 年間の水道界の恩顧に報いるために水道研究所を開設し、し尿処理事業に進出した。	三次市(30kL/日)、筑西衛生組合(125kL/日)、等
クリタグループ (当時の栗田工業株式会社)	1955 年以降 (昭和 30 年代)	社会情勢を背景として、し尿処理の研究を開始し、し尿処理分野に参入。昭和 35 年に西独のピンチ・バマーク社と技術提携を図り、嫌気性消化施設に関する技術を導入。	広島県府中市、豊中・伊丹し尿処理組合 等
三機工業株式会社	1950 年代 (昭和 20 年代後半)	制度・法令等の整備によるし尿の衛生的処理化に沿い、米国ドル・オリバー社との技術援助契約による技術導入。	東京都砂町、諏訪市、札幌市、逗子市、等
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)	1957 年以降 (昭和 30 年代以降)	し尿の陸上処理への切り換えに伴い、し尿処理事業に参入。 嫌気性消化法と散水ろ床方式を組み合わせ合わせた技術を採用。	熱海市(25kL/日)、長野市(90kL/日) 川崎市(165kL/日) 等
株式会社タクマ (当時の田熊汽罐製造株式会社)	1960 年代 (昭和 30 年代後半)	日本機工を買収し、ウォーカープロセス社との技術提携(ガスリフター式ガス攪拌消化槽)、会津若松市向けのプラント建設を引き継いだ。	宮崎市(100kL/日) 枚方市(130kL/日) 会津若松市(90kL/日) 等
株式会社西原環境 (当時の株式会社西原衛生工業所)	1951 (昭和 26)年	消化日数 30 日から 15 日で消化出来れば、消化槽 2 槽を必要とするところを 1 槽で済み、建設費を削減出来ることから開発を行った(ネオ加温式促進消化法)	室蘭市(54kL/日)等

(し尿処理アーカイブス検討会資料)

(b) 1962 (昭和 37) 年時点での開発状況

1962 (昭和 37) 年発行「し尿処理ハンドブック」²⁵⁾のプラント編には、次の嫌気性消化処理技術が紹介されており、各技術の概要は表 2.2-4 のとおりである。(〔 〕内の企業名は当時の名称で、丸数字は表 2.2-4 に対応)

- ▶ AC 式〔安宅産業株式会社〕①
シカゴ・ポンプ社の各種下水処理装置、CRP ガス攪拌装置による消化槽、散気装置(スウィング・ディフューザー、シャー・フューザー、精密散気装置等)を大巾に採用。
- ▶ エハラ式〔荏原インフィルコ株式会社〕②
- ▶ 久保田式〔久保田鉄工株式会社〕③
- ▶ クリタ・バマーク式〔栗田工業株式会社〕④
ピンチ・バマーク・アクチェンゲゼルシャフト社(西ドイツ)の技術援助により、高率消化法の技術を導入
- ▶ 三機式〔三機工業株式会社〕⑤
- ▶ 大正・日鋼式〔株式会社大正コンクリート工業所〕⑥
株式会社日本製鋼所、トール社、インカ社及びフリクトポンプ社(いずれもスウェーデン)との技術提携による方式とその機器によって設計・製作
- ▶ 三菱太平式〔太平建設工業株式会社、三菱商事株式会社〕⑦
京都大学、北海道大学などの指導を受け、三菱日本重工業株式会社、三菱化工機株式会社、三菱商事株等とともに研究、企画し設計施工
- ▶ 東京プラント式〔東京プラント工業株式会社〕⑧
- ▶ ニイガタ式〔株式会社新潟鐵工所〕⑨
清掃法施行規則に基づき設計
- ▶ ネオ式〔株式会社西原環境衛生研究所〕⑩
自社研究と施工実績に基づき考案
- ▶ ウォーカー式〔江商株式会社、田熊汽罐製造株式会社〕⑪
ウォーカープロセス社(アメリカ)との技術提携
- ▶ 日衛式〔日本衛生工業株式会社〕⑫
- ▶ 三菱化工機式〔三菱化工機株式会社〕⑬
- ▶ 守住式〔守住土木工業株式会社〕⑭

表 2.2-4 し尿処理ハンドブック第Ⅲ編(プラント編)の消化処理技術の概要まとめ

項目\技術		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
槽数		2	2	2	2	2	2	2
消化 日数	1 槽目	7~10 日	15 日	25~30 日	15 日	16 日	15 日	15 日
	2 槽目	5 日	15 日		15 日	16 日	15 日	15 日
消化温度		35~37℃	30~35℃	30~37℃ (加温時)	35℃	35℃	30℃	35~37℃
加温方法		蒸気吹込	蒸気吹込	槽内液を 外部加温	各方式の 適用可能	槽内液を 外部加温	投入し尿 を加温	槽内液を 外部加温
攪拌 方法	1 槽目	ガス攪拌	攪拌機	液循環 機械攪拌*1	攪拌装置*2	機械攪拌	機械攪拌 ガス攪拌	ガス攪拌
	2 槽目	—	液循環			—	液循環	液循環
備考		2 槽目は 分離槽	—	無加温設 計時は 1 槽目を大 きく設計	上下円錐 形状	—	—	—
導入施設		美濃市	(具体記述 無)	団地等	古河市 他	札幌市 他	角田市 他	沼田市 他
項目\技術		⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭
槽数		2	2	1	2	2	2	2
消化 日数	1 槽目	15 日	15 日	15 日	15 日	合計 30 日	15 日	15 日
	2 槽目	15 日	15 日	—	15 日		15 日	15 日
消化温度		30℃	30~35℃	36℃	30~35℃	30~35℃	30℃以上	32℃
加温方法		槽内液を 外部加温	槽内液を 外部加温	槽内液を 外部加温	外部加温 または 蒸気吹込	蒸気吹込 または 外部加温	槽内液を 外部加温	槽内液を 外部加温
攪拌 方法	1 槽目	攪拌機	攪拌ポン プ	—*3	ガス攪拌	攪拌機と 液循環	液循環	液循環
	2 槽目	液循環	液循環		液循環	液循環	液循環	液循環
備考		—	1 段 2 槽の ケースあり (新潟市)	単槽 2 階層 構造。前段 混合槽で返 送汚泥混合 10kL/日以 下は無加温	50kL/日以 上は 2 槽構 成で、50kL/ 日以下は単 槽の 2 重槽	27kL/日以 下は単槽の 2 重槽	—	—
導入施設		(具体記述無)	(具体記述無)	藤沢市 他	会津若松市	(具体記述無)	(具体記述無)	行田市 他

注：— は該当なしを示す。

*1：機械攪拌は条件によって使用する場合がある。

*2：スクリュウポンプ式攪拌装置

*3：攪拌装置は不用としており、液体流により浮上する未消化微粒子を液面下の浸水板で阻止することでスカム発生を阻止。

2.2.6 開発技術

1970（昭和 45）年に制定された廃棄物処理法施行規則（昭和 46 年厚生省令第 35 号）第 4 条で一般廃棄物処理施設の技術上の基準が示され、し尿処理施設の放流水質は BOD30 mg/L 以下（平成 14 年 8 月の改定で 20 mg/L 以下に変更）、SS70 mg/L 以下、大腸菌群数 3,000 個/cm³ 以下とされた。以降、し尿処理施設は、この基準に適合する放流水（二次処理水）を確保できることが性能要件となる。

（1）処理原理

各社の技術開発と改良改善が進んでいった状況で、1977（昭和 52）年にし尿処理施設構造指針が制定された。これを受け、1979（昭和 54）年に発行された「し尿処理施設構造指針解説」では、嫌気性消化処理施設について次のように説明している²⁶⁾。

嫌気性消化処理は、嫌気性細菌群の代謝作用を利用してし尿中の有機物を分解し、ガス化、無機化するときに固形分の分離を容易にする方法であり、この嫌気性分解は消化槽で行う。

嫌気性消化槽における処理過程において、投入されたし尿と嫌気性細菌群を十分に混合、攪拌することで嫌気性分解が行われ、ついで消化脱離液と消化汚泥とに沈殿分離される。分離された脱離液は、所定の希釈が行われたのち二次処理施設へ送られ、また消化汚泥は脱水設備へ送られる。

一方、分解過程で発生した消化ガスは、メタンや炭酸ガスを主体とした可燃性ガスであるため、脱硫したのちガスタンクに貯留されて消化槽等の加温等に使用する。

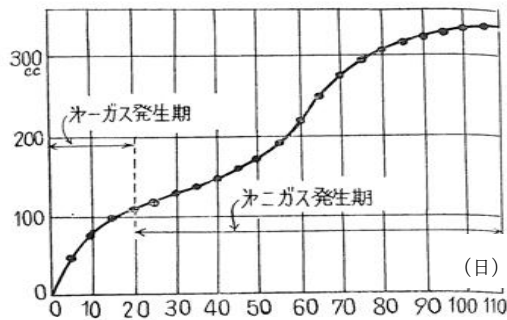
このように消化槽は、嫌気性分解を利用して、し尿を脱離液、消化汚泥、消化ガスの成分に分けて、有機物の安定化と汚泥の減量化を図る処理施設である。

高濃度の有機物を含んでいるし尿を、空気と十分接触できないような状態にしておくと、嫌気性微生物の作用により、有機物が分解されて炭酸ガス（二酸化炭素）、メタンガス等を発生し、有機物は低分子化してその量は次第に減少する。

し尿が消化される際のガス発生には、次の特徴がある。

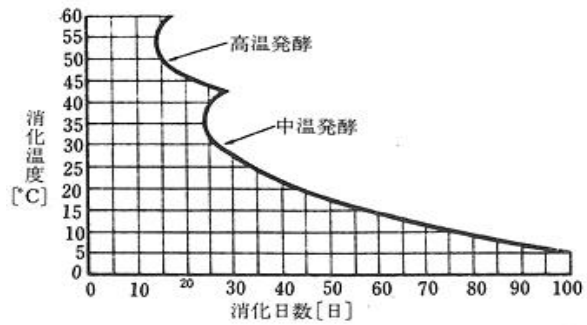
- ① ガス発生期が 2 期に分かれる。
- ② 下水汚泥と比べ、ガス発生が収束するまで時間を要する

また、消化温度と消化日数の関係は図 2.2-5 および図 2.2-6 のとおりであり、消化温度 30～37℃の中温消化では 20～30 日の消化日数が必要であることがわかる。



(出典：清掃事業の実際)

図 2.2-5 消化日数とガス発生の関係²⁷⁾



(出典：廃棄物処理技術管理者認定講習テキスト)

図 2.2-6 消化温度と消化日数の関係²⁸⁾

脱離液の性状は、嫌気性消化槽の機能を確認する指標となるほか、二次処理設備への負荷量に影響し、所定の処理機能及び放流水質を得るための重要な要因となる。

脱離液の BOD は嫌気性消化槽の BOD 容積負荷との関連性が高く、表 2.2-5 の実験例のとおり、BOD 容積負荷 $0.4\text{kg/m}^3\cdot\text{日}$ 以下、消化日数 30 日以上であれば脱離液 BOD は $2,500\text{ mg/L}$ 以下の濃度となる²⁵⁾。

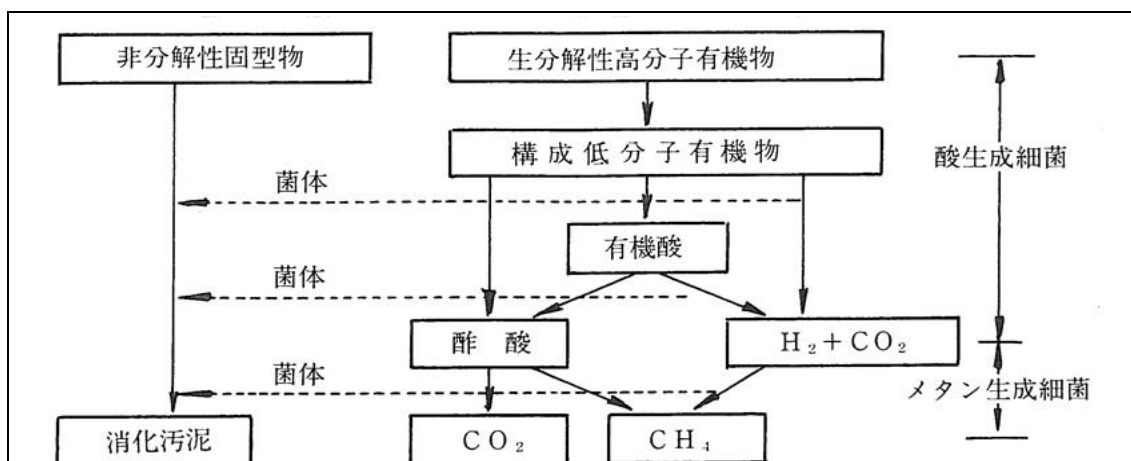
なお、脱離液 BOD は、浄化槽汚泥の投入割合が大きい場合などに濃度が低下する傾向がみられる。

表 2.2-5 投入し尿 BOD の平均濃度 ($12,417\text{mg/L}$) での消化実験例²⁵⁾

理論的 滞留日数	BOD 負荷 ($\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{日}$)	脱離液 BOD (mg/ℓ)
10	1200	9624 ± 2835
15	800	6125 ± 1508
20	600	3829 ± 768
30	400	2461 ± 539
40	300	1942 ± 450

(出典：構造指針解説，82)

また、1988 (昭和 63) 年に改訂に伴い発行された「し尿処理施設構造指針解説」では、嫌気性消化法の処理機構を次のように説明している²⁹⁾。



嫌気性状態において生存できる細菌を嫌気性細菌といい、これらの細菌の活動を利用して、汚水や汚泥に含まれるさまざまな生物分解性有機物（BOD 成分）を最終的に CH_4 （メタン）と CO_2 （二酸化炭素）に転換する処理方法を嫌気性消化法、もしくはメタン発酵法という。

嫌気性消化法は、活性汚泥法などの好気性処理法とならんで、古くから汚水・汚物処理に利用されてきた技術である。その技術の経済性から、今日においても、BOD 濃度が高い工場排水や下水汚泥の処理に広く利用されている。し尿処理においても、窒素除去の必要性が高まる以前には嫌気性消化法が処理技術の中心を占めていた。

嫌気性消化法には、さまざまな種類の嫌気性細菌が関与している。しかし、それらの細菌をその作用から分類すると、酸生成に関与する酸生成細菌及びメタン生成を行うメタン生成細菌に分けられる。

(1) 酸生成細菌

① 有機酸生成細菌の利用

有機酸生成細菌は、まず、汚水・汚泥に含まれている蛋白質や炭水化物などの高分子の有機性化合物を、その構成化合物であるアミノ酸や糖類などの溶解性化合物に分解する。（この分解反応を液化反応ともいう）。

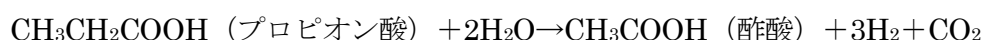
このようにして生成されたアミノ酸や糖類は、その細菌、もしくは別の細菌によって、有機酸類（酢酸、プロピオン酸、酪酸、吉草酸、乳酸）および H_2 （水素ガス）と CO_2 に分解される。この反応を有機酸発酵という。

アミノ酸などの窒素を含む化合物の有機酸発酵においては NH_4^+ も同時に生成される。液化反応はエネルギーを消費する生化学反応であるが、有機酸発酵ではわずかながらエネルギーが放出され、有機酸生成細菌はこのエネルギーを利用している。

し尿の場合には、有機酸生成細菌の活動は各家庭のし尿貯槽でも生じており、収集された段階では、液化反応と有機酸発酵は、ほとんど完了していると考えられる。

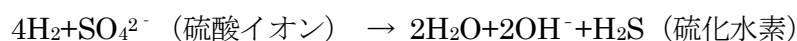
② 酢酸生成細菌の利用

後述するように、酢酸と H_2 をメタン生成細菌はメタンに転換する。しかし、有機酸生成細菌が生成した酢酸以外の有機酸を、そのまま直接メタン生成菌類は利用できない。これらの有機酸をメタン菌が利用できる酢酸および H_2 と CO_2 とに分解するのが酢酸生成細菌である。たとえば、プロピオン酸は次のように分解される。



乳酸などの有機酸は比較的簡単に酢酸になる。しかし、酪酸、吉草酸及びプロピオン酸などの低級脂肪類が上記のような反応によって酢酸および H_2 と CO_2 とに分解されるためには、その反応生成物、すなわち酢酸と H_2 の濃度が十分に低く保たれていることが必要である。メタン生成細菌との共存状態であれば、酢酸と H_2 はメタン生成細菌によって CH_4 に転換されるので、このような条件が満たされる。換言すれば、酢酸生成細菌はメタン生成細菌との共存状態においてのみ活動でき、メタン生成細菌が存在しない、もしくはその活動が低下した場合には酢酸生成細菌の活動も停止し、消化槽内液に低級脂肪酸類が蓄積することになる。それゆえ、このような酢酸生成細菌とメタン生成細菌の共同作用が、嫌気性消化法における機能の本質であるともいえる。

なお、硫酸還元菌も酢酸生成細菌に属すると考えてよい。すなわち、硫酸還元菌は上記のような反応を行い、同時にそこで発生する水素を利用することにより、次の反応式に従って硫酸イオンを硫化水素に転換する。



消化ガスに硫化水素が含まれる原因は、このような硫酸還元菌の作用があるからである。

(2) メタン生成細菌

メタン細菌によるメタン生成には二つの形式がある。 CO_2 還元によるメタン生成と、酢酸分解によるメタン生成である。これらを反応式で示すと次のようになる。



下水汚泥の嫌気性消化では、生成される CH_4 の 70%程度は酢酸分解によるものであり、残りの 30%が CO_2 還元によるとされている。し尿の嫌気性消化においても、その比率はほぼ同等あると考えられる。

これらの CH_4 生成反応は、それぞれ別種のメタン生成細菌によって行われているが、このうち酢酸分解を行うメタン生成細菌は増殖速度も遅く、pH や液温などの成育環境条件の影響を受けやすい。そのため、嫌気性消化槽の規模（消化日数）やその操作条件は、専ら酢酸分解型メタン生成細菌の必要条件に見合うものとして選定

されている。

消化温度については、35～40℃を至適温度域とする中温性メタン生成細菌と 50～60℃を至適温度域とする高温性メタン生成細菌がある。下水道汚泥の嫌気性消化や中華人民共和国のし尿処理では、高温消化法も採用されている。我国では、し尿の嫌気性消化では高温消化法を用いている例はないが、大腸菌等の死滅は高温ほど早く、収支さえとれば、高温消化法も検討する価値があろう。

以上に述べたように、嫌気性消化法では、多種類の嫌気性細菌の共同作用の結果として、多種の有機物に含まれている炭素が、最終的には最も還元された炭素である CH₄ と、最も酸化された CO₂ に転換される。嫌気性消化が順調に進行するためには、これらの嫌気性細菌がバランスよく存在しなければならない。このため、他の生物処理法に比べると嫌気性消化法のスタートアップには長い時間を必要とする。しかし、その後は、ほとんど維持管理を必要とせずに安定した処理を行うことができる。

(3) 嫌気性消化処理方式の特徴

嫌気性消化処理方式では、流入 BOD の 80 %程度が一次処理の嫌気性消化法で除去され、残余の BOD が二次処理の活性汚泥法で除去される。

他の方式に比較した場合の嫌気性消化処理方式の利点は、次の 3 点である。

- ① 嫌気性消化法で発生する汚泥は、好気性生物処理法のそれに比較すると、量的にも少なく、しかも、十分に安定化されているので、農業用肥料もしくは土壌改良剤として利用できる。従って、汚泥の処理・処分に要する費用が少なくて済む。
- ② 嫌気性消化法には加温が必要であるが、それに必要なエネルギーは、発消化ガスを利用することにより、ほぼ自給できる。したがって、曝気操作等に要する動力費は、好気性生物処理法で BOD 除去をはかる他の方式より少なくて済む。
- ③ 嫌気性消化法はスタートアップに時間がかかるが、ひとたびスタートアップしてしまえば、維持管理は容易である。

一方、嫌気性消化処理方式の欠点としては、次の 3 点があげられる。

- ① 一次処理施設である嫌気性消化槽は、構造的に 2 次処理施設との合体化が難しく、比較的広い敷地を必要とする。
- ② 浄化槽汚泥の混合率が高い場合には、加温に要する助燃費が多くなり、維持管理費が好気性処理方式よりも高くなることもある。この場合の改善策としては、浄化槽汚泥を予め濃縮しておくことが考えられる。
- ③ 窒素除去はほとんど期待できず、また、高度処理を行うとするとアルカリ度が高い等の理由から、生物学的脱窒素処理方式よりも難しくなる。

(2) し尿消化槽の構造

し尿消化処理施設建設数の増加とともに運転データが集積されるようになると、嫌気性消化の処理メカニズム等の調査、研究者も増え、その成果が施設の設計・施工に反映されて行った。プラントメーカーの技術開発も盛んとなり、その一方では企業淘汰も進み、施設構造が標準化に向かった。

1956（昭和 31）年に制定されたし尿消化槽の構造等の基準は、1977（昭和 52）年のし尿処理施設構造指針によって槽数、消化日数、消化温度が標準化され、一段処理（単槽式消化）、食物残渣や下水汚泥の利用が削除された。また、無加温式消化槽についても除外されている。

さらに、1988（昭和 63）年に改訂された構造指針では、消化日数が変更されるとともに槽内加温方式と液循環による攪拌が削除されている。いずれも実施の稼動実態に対応した改定であり、消化日数は、投入し尿の低濃度化や浄化槽汚泥比率の増加等を受けた変更となる。

1956（昭和 31）年の「し尿消化槽の構造等の基準」と 1977（昭和 52）年及び 1988（昭和 63）年の「し尿処理施設構造指針」を要約し比較すると、表 2.2-6 のとおりである。

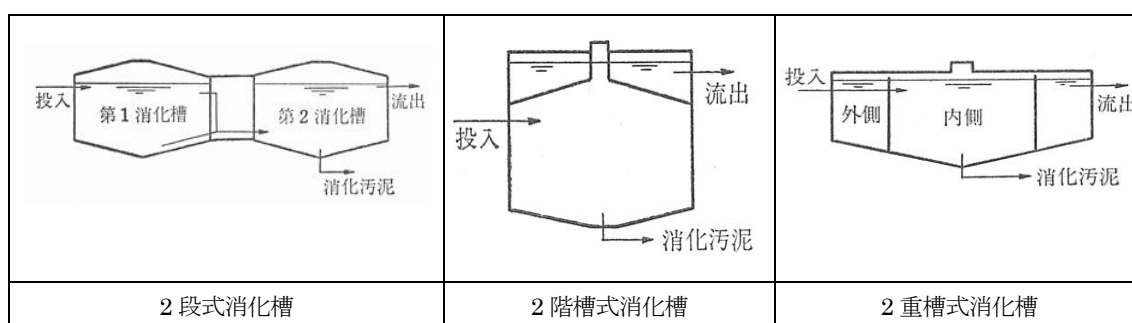
表 2. 2-6 嫌気性消化槽の構造の変遷

区分	1956 (昭和 31) 年 し尿消化槽構造等の基準	1977 (昭和 52) 年 し尿処理施設構造指針	1988 (昭和 63) 年 し尿処理施設構造指針
構造	使用材質は、施設の性質上 耐久性を必要とする。	平面形状は円形を標準と し、水密かつ気密な PC コ ンクリート、鉄筋コンクリ ート等の構造とする。	同左
槽数	一段処理、多段処理	2 段処理を標準とする。	同左
消化 日数	15～30 日とする。 食物残渣、下水汚泥が利用 できる場合は短縮しても よいが、し尿だけの場合 で、ある程度安定したもの を得ることが必要な場合 は 30 日が必要。	30 日を標準とする。 脱離液 BOD を 2,500mg/L 以下に確保できる場合に はこれを短縮できる。 ただし、この場合に第 1 段 の消化日数は 15 日以上と する。	20～30 日とし、投入し尿 等の性状により決定する。 ただし、第 1 段の消化日数 は 15 日以上とする。
消化 温度	30～35℃。	第 1 段 37±2℃。	同左
加温 方法	・槽内加温 (槽内に加温コイルを入れる) ・槽外加温 (し尿又は消化物を槽外加温) ・蒸気吹込等直接加温 (消化発生ガス、じん茶、温泉 等)	槽内加温、槽外加温、 直接加温等	槽外加温、直接加温等
攪拌 方法	・機械によるもの ・脱離液の噴出によるもの	機械力、液循環またはガス の噴出によるものとする。	ガス攪拌、機械攪拌
添加 物	食物の残廃物、下水汚泥	—	—
備考	処理対象人口 5 千人以下 は無加温式消化槽、1 万人 以上は加温式消化槽とし、 5 千人から 1 万人までの場 合には条件を考慮して何 れかを選択。(無加温とす る場合、消化日数は 60 日 以上で第 1 槽が 45 日以上)	—	—

(出典：区分欄の各基準または指針の内容を要約して作成)

嫌気性消化槽は、水圧やガス圧を十分考慮した密閉構造とする。嫌気性消化槽の上部は発生ガスをガスタンクへ送るため、常に 200 mm 前後の水中に相当するガス圧がかかっており、発生ガス中の硫化水素の影響を受けない構造が必要となる。

攪拌や混合等を効果的に行うため、槽形状は円筒形のものが多く、図 2.2-7 の形式がある。2 段式消化槽は第 1 消化槽と第 2 消化槽の 2 槽に完全に分離した構造、2 階槽式消化槽または 2 重槽式消化槽は 2 つの槽を一体化した構造である。2 階槽式消化槽では下部が第 1 消化槽、上部が第 2 消化槽となり、重槽式消化槽では内側が第 1 消化槽、外側が第 2 消化槽となる（逆もある）。

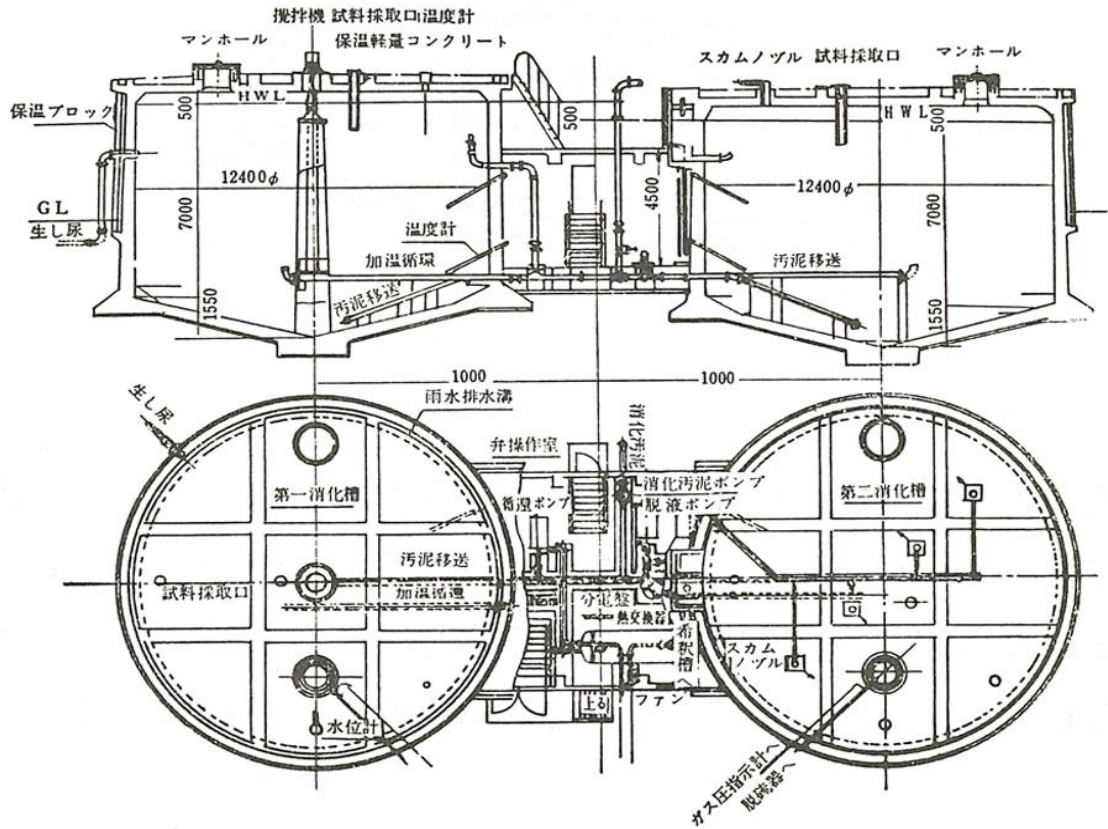


(出典：廃棄物処理施設技術管理者資格認定講習テキスト)

図 2.2-7 消化槽の型式例³⁰⁾

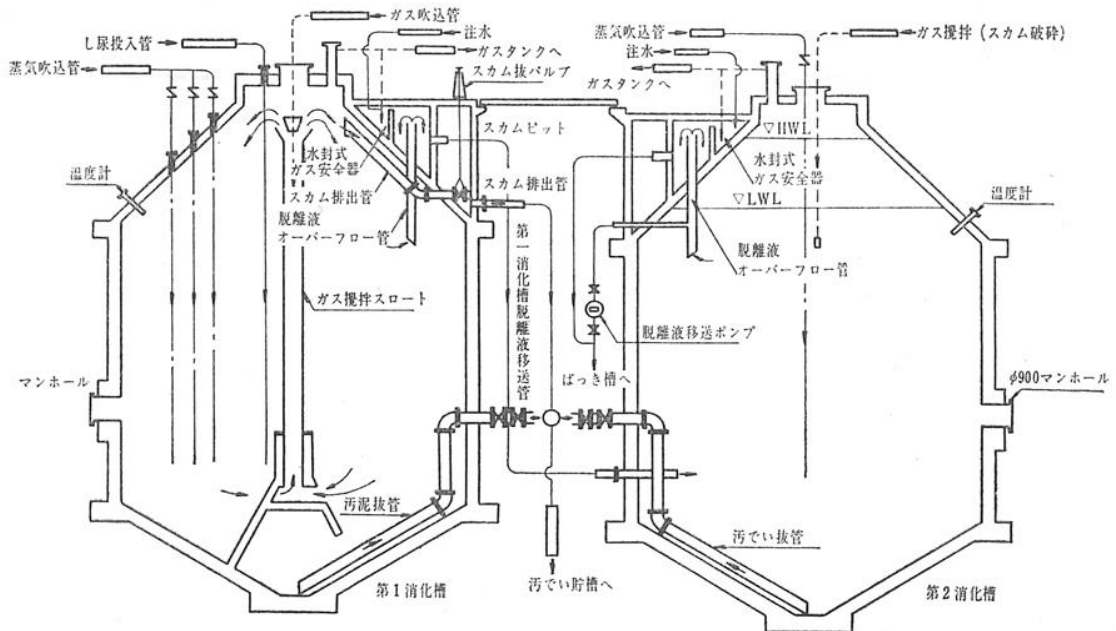
槽上部の形状には、フラット型とドーム型がある。フラット型には、①点検作業が容易、②ガス貯留部が大きくとれる、③投入による水位変動の幅が小さくなる、という長所があり、ドーム型には、①攪拌効果が大きい、②攪拌によるデッドスペースが小さい、という長所がある。

2 段式消化槽のフラット型、ドーム型の一般的な構造例は、図 2.2-8 及び図 2.2-9 のとおりである。



(出典：尿尿処理施設ハンドブック)

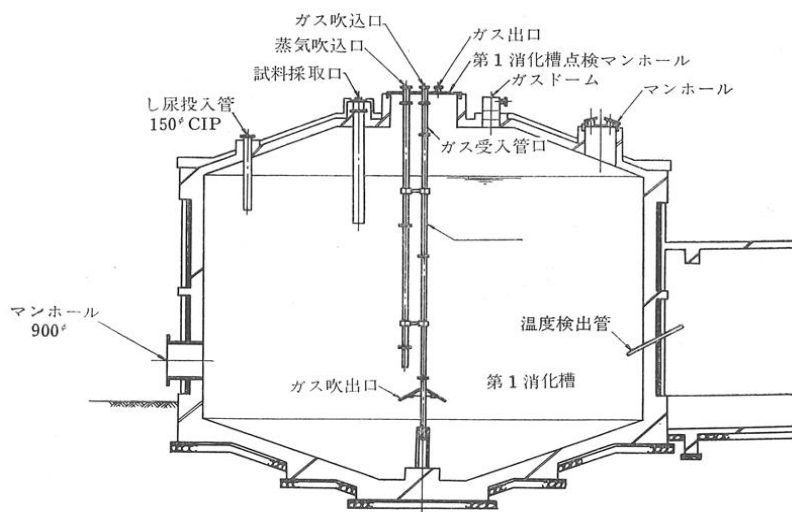
図 2.2-8 フラット型消化槽(例) 31)



(出典：構造指針解説, 77)

図 2.2-9 ドーム型消化槽(例) 25)

また、消化槽には図 2.2-10 に示す付属設備の他、温度計や水位計が必要となる。



(出典：構造指針解説，79)

図 2.2-10 消化槽の付属設備²⁵⁾

消化には有機物が微生物により分解されて、より単純で安全なものに変換される生物化学的部分と、圧密による脱水濃縮が行われる物理的部分とがある。前者は急激な攪拌と高温下で促進されるのに対し、後者は微加温もしくはほとんど加温の必要が無い静止状態で達成される。

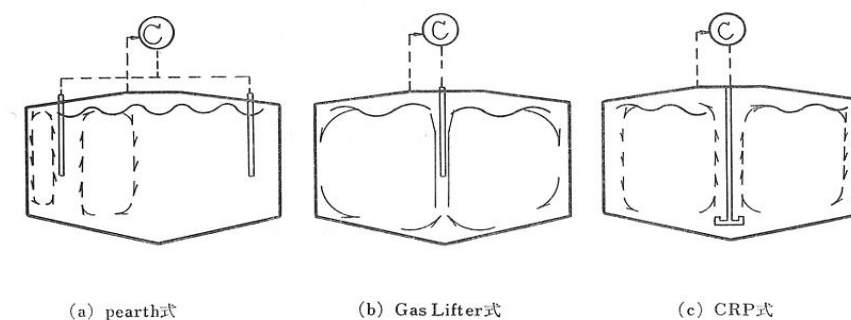
相反する環境条件で進行する2つの反応を一つの槽の中で行うとなると、投入と攪拌及び脱離液の引き出し等、各操作のやり方によって脱離液の水質に大きな影響を与えることになる。十分な攪拌が行えず、短絡流が避けられないことから脱離液 BOD が高濃度となりやすく、これを防ぐとなると十分な槽容量が必要となって必然的に消化日数が長くなる。このような理由によって、1977 (昭和 52) 年の構造指針で一段処理 (単槽式消化) が削除されたと推測される。

(3) 攪拌方法

(a) ガス攪拌方式

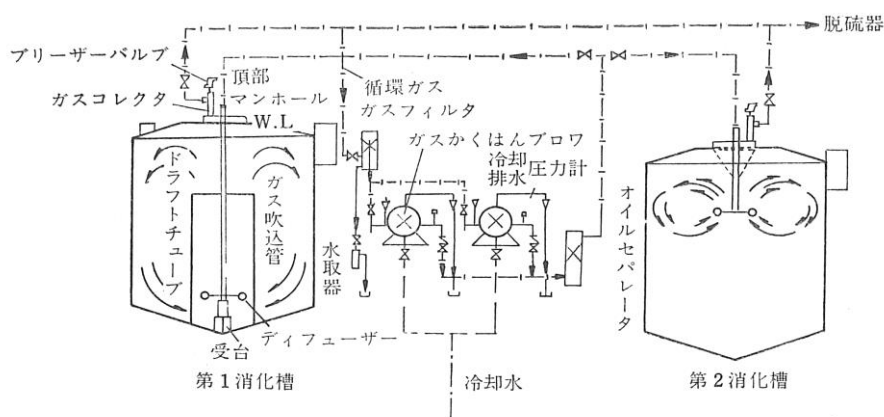
槽内で発生したガスの一部をガス圧縮機で加圧し、再び消化槽に送り、下部に取付けた噴出装置から細かい気泡にして散気する。気泡により生じた上昇流は、消化槽の底部に溜まった汚泥を吸い上げ、旋回流となって槽内を混合攪拌し、し尿と消化汚泥との接触を高める。

ガス攪拌方式の例は図 2.2-11、ガス攪拌方式フローシートの例は図 2.2-12 のとおりである。



(出典：構造指針解説，85)

図 2.2-11 ガス攪拌方式の例²⁵⁾



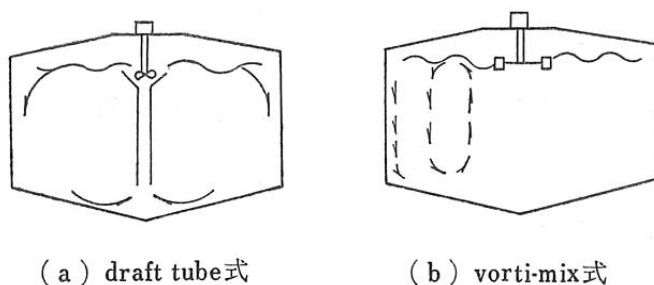
(出典：構造指針解説，86)

図 2.2-12 ガス攪拌方式フローシートの例²⁵⁾

(b) 機械攪拌方式

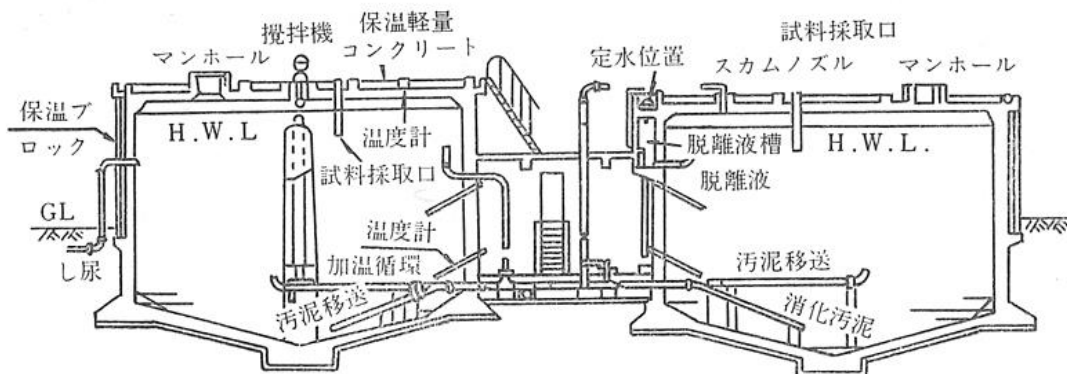
機械装置によって攪拌する方式で、攪拌機によるもの、ドラフトチューブを用いて槽内下部の汚泥を水面に吹き上げて槽内に拡散、循環させるものなどがある。

機械攪拌方式の例は図 2.2-13、機械攪拌方式消化槽の例は図 2.2-14 のとおりである。



(出典：構造指針解説，86)

図 2.2-13 機械攪拌方式の例²⁵⁾

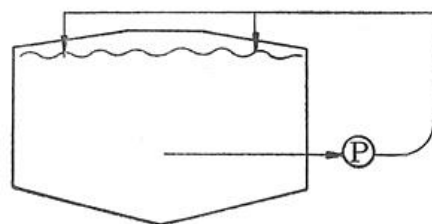


(出典：構造指針解説，87)

図 2.2-14 機械攪拌式消化槽の例²⁵⁾

(c) 液循環(ポンプによる循環)

消化槽の外部にポンプを設け槽内液を引き出し槽上部から槽内に噴出させ、再び槽の底部より上部に循環させて攪拌する方式で、液の流れは図 2.2-15 のとおりである。1988 (昭和 63) 年の構造指針改定で削除された。

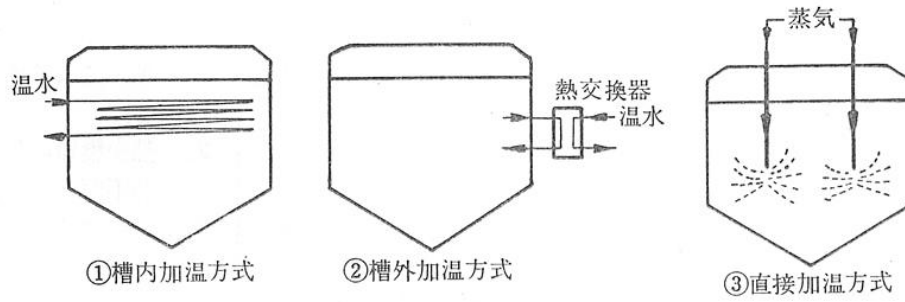


(出典：構造指針解説，86)

図 2.2-15 ポンプ循環方式²⁵⁾

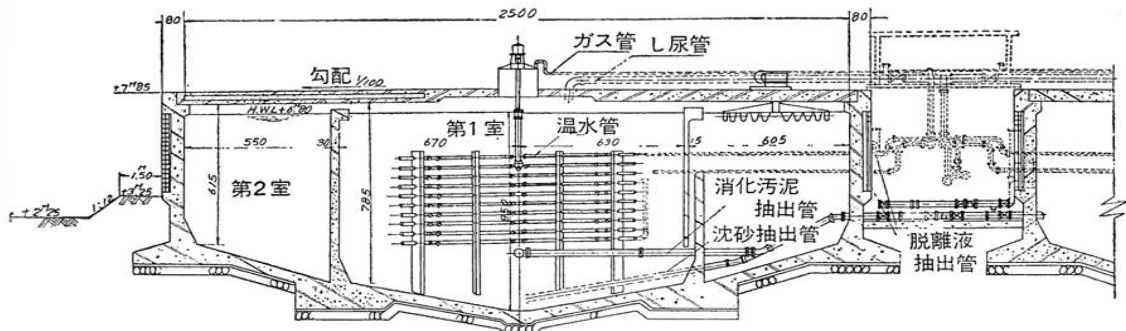
(4) 加温方法

加温方法の種類は図 2.2-16 のとおりであり、①温水による槽内加温 (図 2.2-17)、②熱交換器による槽外加温 (図 2.2-18)、③蒸気吹込みによる直接加温等がある。各加温方式の概要は、表 2.2-7 のとおりとなる。なお、①の方式は 1988 (昭和 63) 年の構造指針改定で削除されている。



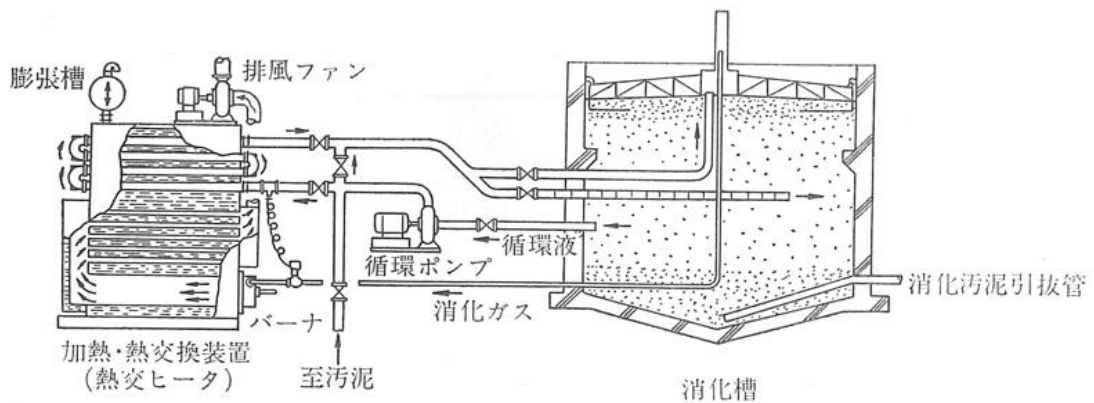
(出典：構造指針解説，89)

図 2.2-16 加温方式の種類²⁵⁾



(出典：尿尿処理施設ハンドブック)

図 2.2-17 槽内加温方式の例 [内部温水コイル方式]³²⁾



(出典：構造指針解説，89)

図 2.2-18 槽外加温方式の例 [熱交ヒータ方式]²⁵⁾

表 2.2-7 消化槽加温方式の比較 ²⁵⁾

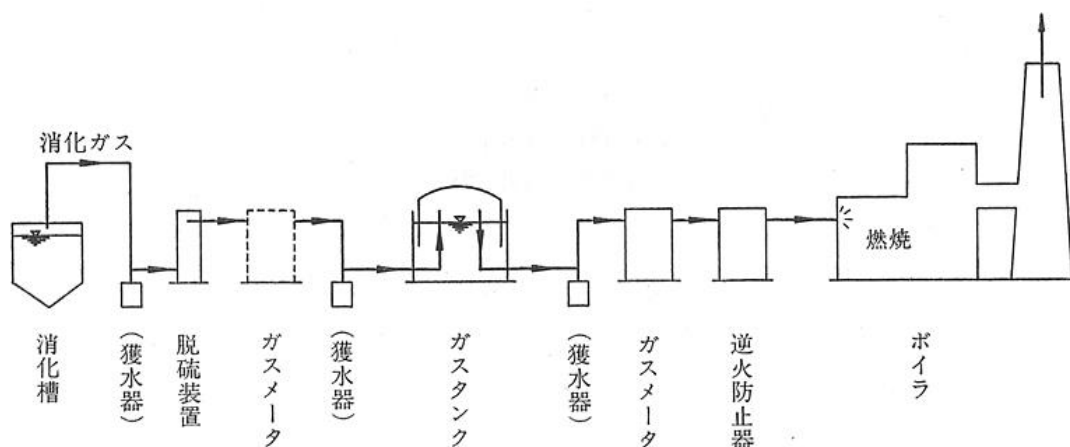
	槽内加温	槽外加温	直接加温
加温設備	1. 温水ボイラー 2. 温水ポンプ 3. 内部熱交換器	1. 温水ボイラー 2. 温水ポンプ 3. 汚泥ポンプ 4. 外部熱交換器	1. ボイラー 2. 噴射ノズル
熱効率	1. 外部加温に比べて熱伝導が悪い 2. 加温温度が低い	1. 熱伝導が良い 2. 内部加温に比べて加温効果が良い。	1. 熱伝導が良い。 2. 加温効果が良い。
維持管理及び補修	1. 故障が生じた時、取替、修理作業が困難である。 2. 腐蝕が生じる。 3. 熱交換器にスケールが附着し、掃除の必要がある。	1. 維持管理が面倒である。 2. 腐蝕を生じるが内部加温よりも有利である。 3. 熱交換器にスケールが附着し掃除の必要がある。	1. 他に比べ維持管理が簡単である。
その他	1. 低圧ボイラーが使用できる。	1. 低圧ボイラーが使用できる。	1. 加温による水量増がある。 2. 熱交換器、循環ポンプが不要のため設備面積が小さくてすむ。

(出典：構造指針解説, 90)

(5) ガス捕集装置

消化ガス中には0.5~1%程度の硫化水素が含まれるため、そのままボイラ燃料に利用すると亜硫酸ガスが発生し、大気汚染原因や機器損傷原因となるため、ガス捕集装置には脱硫が欠かせない。

嫌気性消化槽から発生するガス捕集装置の構成例は、図 2.2-19 のとおりである。



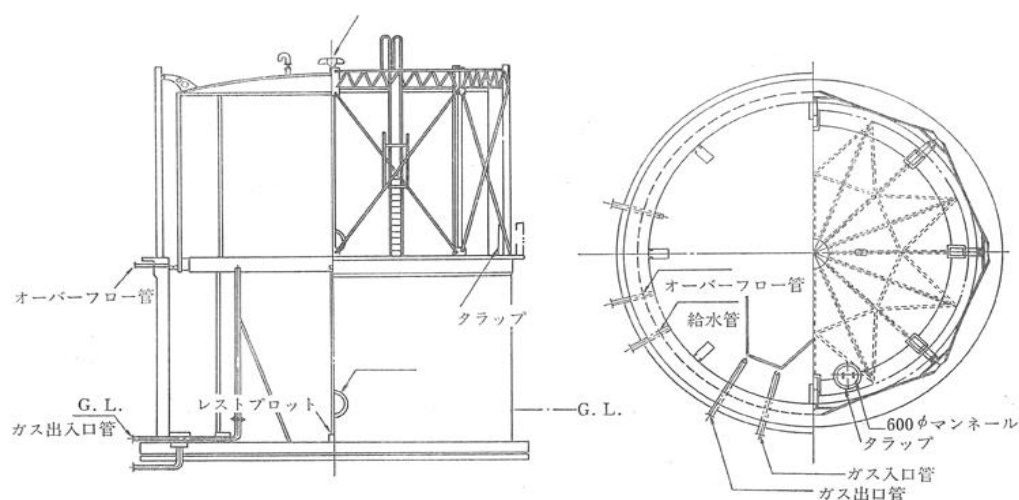
(出典：構造指針解説, 94)

図 2.2-19 ガス捕集設備の構成例 ²⁵⁾

脱硫装置には、①乾式、②湿式、③ナフトキノン流体を用いた脱硫装置、等があり、乾式による硫化水素の除去率は80～98%とされる。

消化ガスの発生量は、し尿等の性状、投入や脱離液・消化汚泥の引出し操作や消化機能の良否により増減するが、し尿 BOD13,500 mg/L (1977年版構造指針記載値)として、投入し尿量の8～10倍量発生する。し尿等の有機物量が減少すればガス発生量も少なくなるため、し尿 BOD の低濃度化、浄化槽汚泥割合の増加等で、近年はガス発生量が低下している施設が多くなっている。

この消化ガスを一時貯留し、加温等の燃料として利用するためにガスタンクの設置が必要となる。一般のし尿処理施設には、図 2.2-20 のように水封式のガスドームによってガスを遮断する有水型のものが設置されている。



(出典：構造指針解説，105)

図 2.2-20 有水式ガスタンクの例²⁵⁾

脱硫されたガスには60～70%程度のメタンガスが含まれ、20,930 kJ～25,166 kJ/Nm³

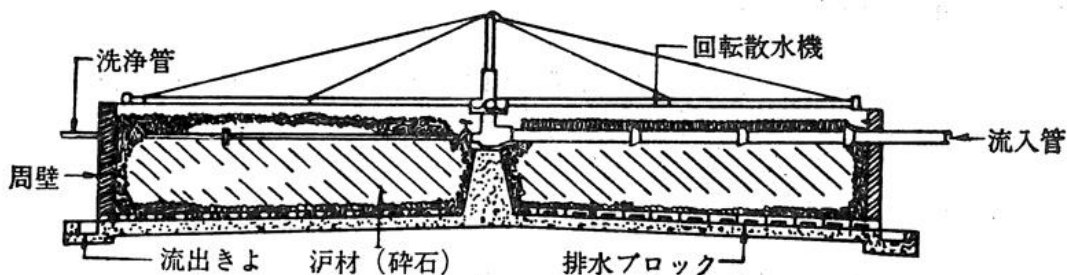
(し尿処理施設構造指針では5,000～6,000 kcal/Nm³と記載)の発熱量がある。消化槽の加温に必要な熱量は気温等に影響されるため、ボイラ燃料として利用する際にガス量が不足する場合には重油等を補助燃料に用い、余剰ガスが生じた場合にはウエストガスバーナで燃焼、乾燥焼却設備の燃料等で使用することとなる。

(6) 二次処理設備

(a) 散水ろ床法による二次処理設備

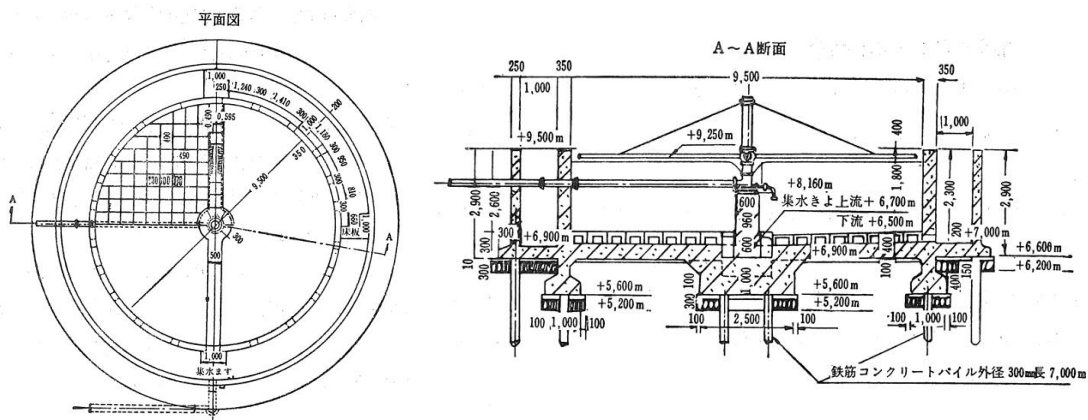
し尿嫌気性消化槽が建設され始めた当初、二次処理設備には散水ろ床法が採用されていた。散水ろ床法には標準散水ろ床法と高速散水ろ床法の技術があり、公害審議会下水清掃部会による「屎尿処理の施設ならびに維持管理に関する基準」〔1961(昭和36)年8月〕では高速散水ろ床法の適用を定めている。

散水ろ床は深さ 1.0~2.0 m の円形水槽に 50~60 mm 程度のろ材（碎石）を詰めてろ床とし、中央部に設置した回転散水機から連続的または断続的に希釈した脱離液をろ床に散水する。散水液がろ床内を流下する際、そこに生育する微生物の生物学的作用によって浄化が行われ、浄化水はろ材から剥離する生物膜とともに槽底部から排出され、最終沈殿池で生物膜と分離し処理水とする。散水ろ床の構造例は図 2.2-21、散水ろ床有孔板の配置例は図 2.2-22 のとおりである。



(出典：廃棄物処理施設技術管理者認定講習テキスト，32)

図 2.2-21 散水ろ床の構造例³³⁾



(出典：廃棄物処理施設技術管理者認定講習テキスト，34)

図 2.2-22 散水ろ床有孔板の配置例³²⁾

しかし、散水ろ床設備には次のような問題があり、実施への適用は短期間であった。このため、1977（昭和 52）年に制定されたし尿処理施設構造指針では適用されていない。

- ① ろ材の間に浮遊物質が残留すると腐敗の原因となる。
- ② 屋外開放型であったため、散水が風の影響を受けやすい。
- ③ BOD 及び SS の除去率が 50%程度またはそれ以下と低い。
- ④ ろ材から剥離する生物膜が、沈殿槽で固液分離し難い。
- ⑤ 臭気放散やハエの発生等の対策を要する。

(b) 活性汚泥法による二次処理設備

1977 (昭和 52) 年のし尿処理施設構造指針では、嫌気性消化処理の二次処理は活性汚泥法処理設備によるとしており、希釈方法が異なる次の 2 方式を示している。

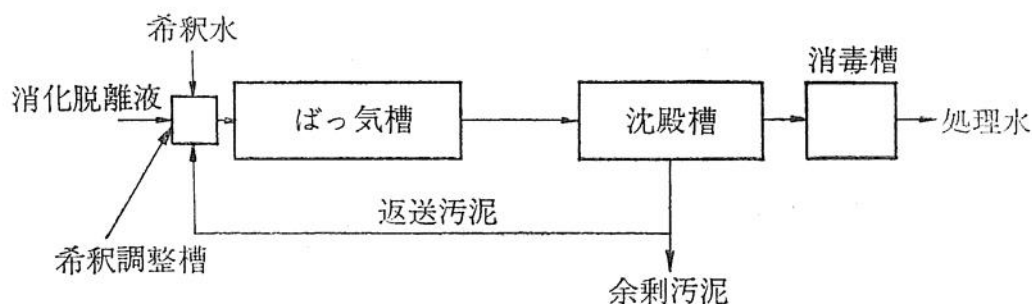
(ア) 標準希釈によるもの

脱離液を希釈水で希釈し、活性汚泥法によって処理するもので、希釈調整槽、ばっ気槽、沈殿槽をこの順序に組合せた構成とし、この設備全体での BOD 除去率を 80%以上とする。

嫌気性消化槽から流出する脱離液は、20 倍を標準として希釈され、ばっ気槽に流入する。流入汚水は、ばっ気槽で好気性の条件下で活性汚泥 (好気性微生物) と混合攪拌され、汚泥中の微生物により汚水中の有機物が吸着、酸化、分解される。槽内で処理を受けた混合液は沈殿槽で汚泥を沈殿分離し、上澄液を消毒し放流する。

分解汚泥の一部は、ばっ気槽内に返送し、残りは余剰汚泥として引き抜かれ別途処分される。

標準希釈による消化脱離液の活性汚泥法処理設備のフローシートは、図 2.2-23 のとおりである。



(出典：構造指針解説，109)

図 2.2-23 標準希釈による消化脱離液の活性汚泥処理設備のフローシート²⁵⁾

本設備に関わる構造指針値は、次のとおりである。

(i) 設計に関わる数値

- ① 希釈水(消泡水を含む)による希釈倍率は、全処理過程を通じて 20 倍を標準。
- ② 希釈水の水温は 10°C 以上。
- ③ 曝気槽の BOD 容積負荷は、0.4 kg-BOD/m³・日以下。
- ④ 返送汚泥量は、ばっ気槽流入汚水量に対し 30% (最大 50) を標準。
- ⑤ 曝気装置の酸素供給能力は、除去 BOD1 kg 当り 1 kg 以上。
- ⑥ 曝気時間は、曝気槽流入汚水量 (返送汚泥量を除く) に対し 6~8 時間。
- ⑦ 沈殿槽の水面積負荷は、沈殿槽流入汚水量に対し 18 m³/m²・日以下。
- ⑧ 沈殿槽の越流負荷は、70 m³/m・日以下。

(ii) 構造に関わる数値

- ① 曝気槽は2槽以上が望ましい。
- ② 曝気槽周壁の天端は、周囲地盤高より15 cm以上高くする（沈殿槽も同様）。
- ③ 曝気槽の有効水深は3.5 m～5.0 m、余裕高は60 cmを標準とする。
- ④ 散気式曝気の場合の流路幅は有効水深の1～2倍とする。

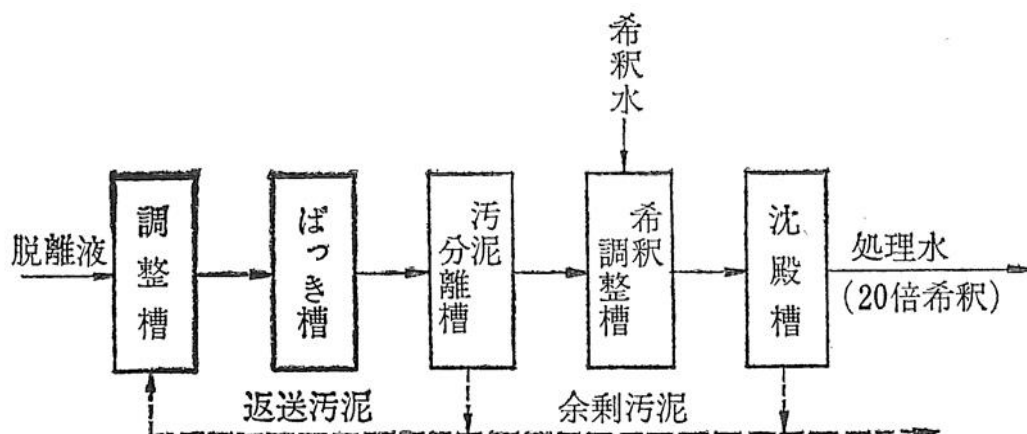
(イ) 低希釈によるもの

脱離液を無希釈のまま直接あるいは消泡水程度の希釈でばっ気処理するもので、調整槽、曝気槽、希釈調整槽、沈殿槽をこの順序で組み合わせた構成とし、この設備全体でのBOD除去率を80%以上とする。

脱離液を高濃度のままで活性汚泥法により処理したのち、汚泥分離槽で固液分離を行い、その上澄液を希釈調整後さらに残留浮遊物質を沈殿除去する。希釈は主に生物処理後に行うため、希釈水の水质や水温等に影響されることが少ない。しかし、無希釈処理では微細な有機物等が液中に残留するために外観や水质が悪化すると考えられ、微細浮遊物の効率的除去が必要である。

無希釈曝気法の活性汚泥はアンモニア性窒素に対する耐性が大きく、アンモニア性窒素5,000 mg/L程度までBODの除去活性が低下しないという結論が得られている。また、脱離液の塩素イオン濃度3,000～4,000 mg/Lの状況においても、生物活性の低下は少ない。

低希釈による消化脱離液の活性汚泥法処理設備のフローシートは、図2.2-24のとおりである。



(出典：構造指針解説，137)

図2.2-24 低希釈による消化脱離液の活性汚泥処理設備のフローシート³⁴⁾

また、本設備に関わる構造指針値は、次のとおりである。

(i) 設計に関わる数値

- ① 汚泥分離槽の分離液量に対して希釈倍率を 20 倍とする (指針解説)
- ② 汚泥分離槽の沈殿時間は、4 時間以上 (指針解説)
- ③ 曝気槽の BOD 容積負荷は、 $0.6 \text{ kg-BOD/m}^3 \cdot \text{日}$ 以下。
- ④ 返送汚泥量、ばっ気時間は、標準希釈に準ずる。
- ⑤ 沈殿槽の水面積負荷及び越流負荷は、標準希釈に準ずる。

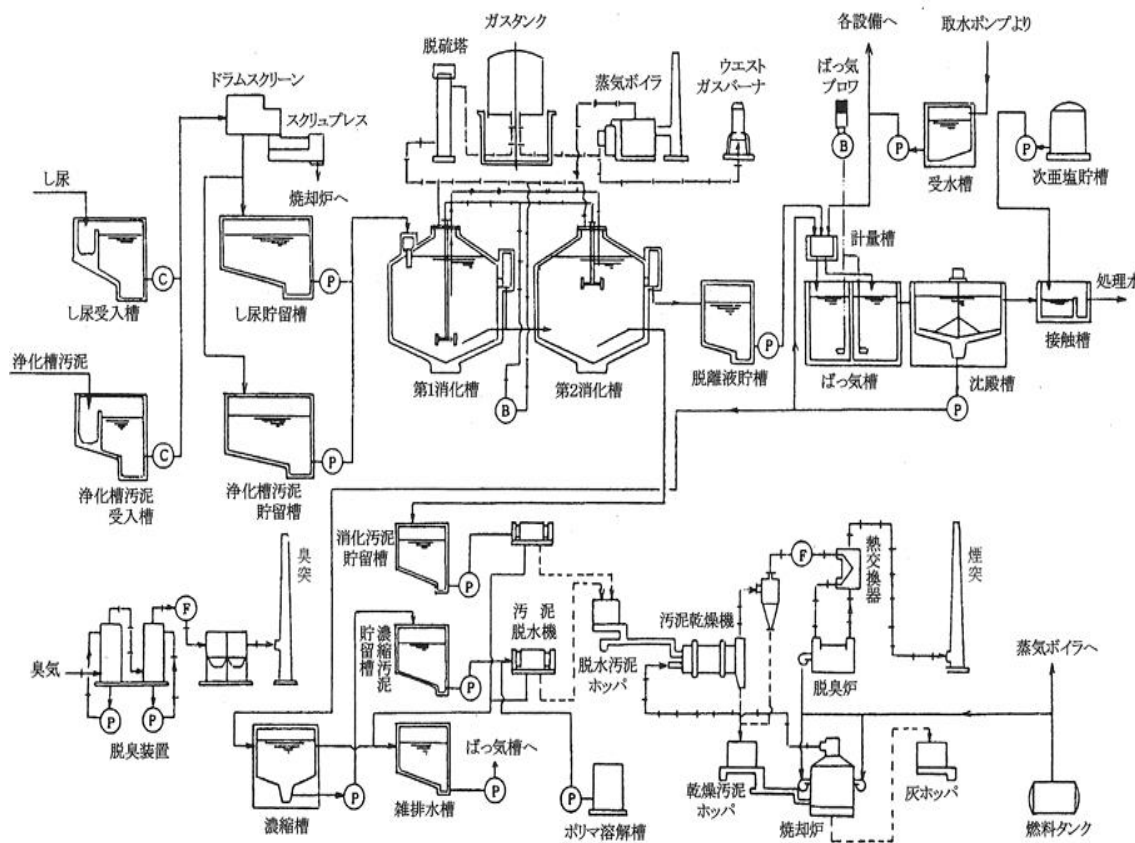
(ii) 構造に関わる数値

- ① 曝気槽の液面とスラブまたは梁との間隔は 80 cm 以上。
- ② 他は標準希釈に準ずる。

1988 年 (昭和 63 年) に改訂されたし尿施設構造指針では、低希釈による活性汚泥法処理設備が削除され、1 方式に統一されている。曝気槽の BOD 容積負荷、BOD-MLSS 負荷の最大値、沈殿槽水面積負荷の最大値、曝気槽の反応温度及び MLSS 濃度と沈殿槽滞留時間の標準値が示され、構造設計に関する事項がさらに具体化された内容となった。

(7) 処理フロー

嫌気性消化・活性汚泥法処理方式のフローシート (例) は、図 2.2-25 のとおりである。



(出典：廃棄物処理施設技術管理者講習テキスト)

図 2.2-25 嫌気性消化・活性汚泥法処理方式のフローシート (例) 35)

2.2.7 設備構成

(1) 一次処理設備

1988（昭和 63）年に改訂された「し尿処理施設構造指針」が示す嫌気性消化処理方式の設備構成及び構造等は、次のとおりである。

1) 嫌気性消化槽

- (1) 嫌気性消化槽の平面形状は、原則として円形とし、その構造はPCコンクリート、鉄筋コンクリート造り等の水密かつ気密なものとする。特に発生ガスにより腐食を受けやすい部分は鉄筋のかぶりを厚くするほか適切な防食ライニングを施す等防食構造としなければならない。
- (2) 嫌気性消化槽液面と上部スラブの間隔は、ガス圧の均一化、発生ガスの有効利用、攪拌による発泡、スカムによるガス引出管内流出防止等を考慮し余裕のある構造としなければならない。
- (3) 嫌気性消化槽の側面には、清掃のために水密マンホールを設けることが望ましい。
- (4) 消化段数は、2 段処理を標準とする。
- (5) 第 1 段の消化温度は、 37 ± 2 度とする。
- (6) 消化日数は 20～30 日とし、投入し尿の性状等により決定する。ただし、第 1 段の消化日数は 15 日以上とする。
- (7) 嫌気性消化槽の容量は、計画処理量に消化日数を乗じたものとする。
- (8) し尿投入管、汚泥抽出管及び脱離液抽出管等の配管の内径は、100 mm 以上とする。

2) 攪拌装置

槽内攪拌装置は、ガス攪拌または機械攪拌によるものとし、嫌気性消化の促進ならびにスカム防止が十分発揮できるものでなければならない。

3) 加温装置

加温装置は、槽内加温又は直接加温等の方式によるものとし、熱効率、材質、加温の平均化及び維持管理の観点から適切なものでなければならない。

4) ガス捕集装置

- (1) 嫌気性消化処理設備には、脱硫装置、余剰ガス燃焼装置、ガスタンク、ガス配管等からなるガス捕集装置を設けなければならない。
- (2) 脱硫装置は、乾式または湿式とし、乾式の場合にあっては、脱硫材の交換が容易なものでなければならない。
- (3) 余剰ガスを燃焼して安全に放出するため、ウエストガスバーナー及び過剰ガス圧に対する安全装置、計測装置等を設けなければならない。

- (4) ガスタンクの容量は、発生ガスを計画運転時間内に有効に利用できるものとする。また、ガスタンクにはガス最低位を警報する装置を備えなければならない。
- (5) ガス配管は、ガス平均発生量の 50% 増に、し尿投入ポンプ能力を加えたガス流量に耐えるものでなければならない。また、ガス配管系統には、獲水器等を設けなければならない。

(2) 二次処理設備〔活性汚泥法処理設備〕

1) 計量調整装置

計量調整装置は、除渣後のし尿等、希釈水、返送汚泥等を計量し、所定量に調整し、曝気槽へ均等に供給できるものでなければならない。

2) 曝気槽

- (1) 平面形状は長方形、正方形又は円形とし、その構造は鉄筋コンクリート造等の水密なものでなければならない。密閉構造の場合には、槽内で発生したガスを排出できる排出口及び点検・補修用マンホールを設けなければならない。有効水深は 3.5～5.0 m とし、液面とスラブ等下面との間隔は 80 cm 以上とする。2 槽以上とすることが望ましい。
- (2) 反応温度は 15℃ 以上を標準とする。
- (3) BOD 容積負荷は 0.4 kg-BOD/m³・日以下とする。
- (4) BOD-MLSS 負荷は 0.2 kg-BOD/kg-MLSS・日以下とする。
- (5) 返送汚泥量は、計画処理量に対し、曝気槽に於ける所定の MLSS 濃度を維持するために必要な量でなければならない。なお、MLSS 濃度は 2,000 mg/L を標準とする。
- (6) 曝気装置は、曝気槽内全体の攪拌が十分に行われ、かつ、十分な酸素供給を行えるものでなければならない。なお、必要酸素量は、BOD の酸化及び活性汚泥の内生呼吸による酸素消費量によって決定する。
- (7) 曝気装置は、散気式又は機械式によるものとする。
- (8) 曝気槽の容量は、BOD 容積負荷及び BOD-MLSS 負荷により決定する。

3) 沈殿槽

- (1) 沈殿槽の平面形状は、円形、長方形又は正方形とし、その構造は鉄筋コンクリート造り等の水密なものでなければならない。
- (2) 沈殿槽周壁の天端は、周囲の地盤高より 15 cm 以上高くしなければならない。また、沈殿槽には必要に応じて歩廊及び危険防止のための手摺りを設けなければならない。
- (3) 沈殿槽の容量は、沈殿槽流入汚水量（返送汚泥量を除く）に対し、3 時間分以上を標準とし、及び水面積負荷は 18 m³/m²・日以下とする。

2.2 参考文献

- 1) 国土交通省 都市・地域整備局下水道部 下水道資料室：下水道の歴史 日本編，
<<http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/data/basic/rekisi.html>> 2017年9月20日
閲覧。
- 2) 溝入茂：明治前期の廃棄物規制と「汚物掃除法」の成立，東京都環境研究所，4（2005）。
- 3) 山野寿男：日本の下水処理場事始め，NPO 水澄 機関誌「ちんちょうち」 2013年第
5号，136<https://mizusumasi.sakura.ne.jp/?page_id=158> 2017年9月20日閲覧。
- 4) 杉田映理：開発と農村—農村開発論再考，日本貿易振興アジア経済研究所，117-118，
（2008），<<http://hdl.handle.net/2344/00011685>> 2017年9月21日閲覧。
- 5) 本多淳裕：各種し尿処理法とその問題点（その1），1（2010）。
<https://www.jstage.jst.go.jp/article/seikatsueisei1957/12/1/12_1_1/_pdf>2017年9
月21日閲覧。
- 6) 田所正晴：神奈川県におけるし尿処理施設の変遷平成23年版（2011），神奈川県環
境科学センター研究報告第34号，4（2012）。
<[http://www.pref.kanagawa.jp/docs/b4f/cyousakenkyu/seika/kenkyuhoukoku/doc
uments/h23bull01.pdf](http://www.pref.kanagawa.jp/docs/b4f/cyousakenkyu/seika/kenkyuhoukoku/doc
uments/h23bull01.pdf)> 2017年9月21日閲覧。
- 7) 松岡隆文：本邦初，散気式促進汚泥法によるし尿処理：京都から東京へ—西原修三の
散気板—，用水と廃水，第59巻11号11月号，8-12（2017）。
- 8) ごみ研究の歴史(第4回) —循環型社会・廃棄物研究センター オンラインマガジン—
『環境 kannkann』2007年4月2日号，独立行政法人国立環境研究所
<<http://www-cycle.nies.go.jp/magazine/rekishu/20070402.htm>> 2017年9月21日
閲覧。
- 9) 特定非営利活動法人 日本下水文化研究会 分科会 屎尿・下水研究会編：シリーズヨモ
ヤマバナシ「寄生虫予防法と，その汚物掃除法及び清掃法との関係—昭和前期の衛
生問題と屎尿—」，平成19年11月17日 第9回下水文化研究発表会講話
<<http://sinyoken.sakura.ne.jp/caffee/cayomo019.htm>> 2017年9月21日閲覧。
- 10) 三浦運一：屎尿処理打開策推進の経緯，都市清掃，No.23（昭和30年1月），27-40
（1955）。
- 11) 片岡直明：嫌気性生物処理技術の特徴と発展の流れ，エバラ時報 No.299（2010-10），
27-38（2010）。
- 12) 水浄化フォーラム：—処理技術と維持管理—「嫌気性生物処理—概要」，5（2017）
<http://water-solutions.jp/commentary/bio_reaction/anaerobic_reactors/> 2017年
9月21日閲覧。
- 13) 井上雄三：わが国のし尿処理技術の歴史第5回第3章昭和初期のし尿処理の模索，
月刊浄化槽，393，28-31（2009）。
上記文献の引用元は以下を参照。
東京市清掃課綾瀬作業所概要：清掃課綾瀬作業所 591.51—とあせ—市8，東京市刊
行物（東京都公文書館）381916～930（1933）。
- 14) 井上雄三：わが国のし尿処理技術の歴史第7回第4章戦後，わが国のわが国の公衆
衛生を支えた嫌気性消化技術（1），月刊浄化槽，395，26-32（2009）。
- 15) 洞沢勇：し尿消化そのの原理，財団法人日本環境衛生協会編：清掃事業の実際，日本
環境衛生協会，104（1959）。

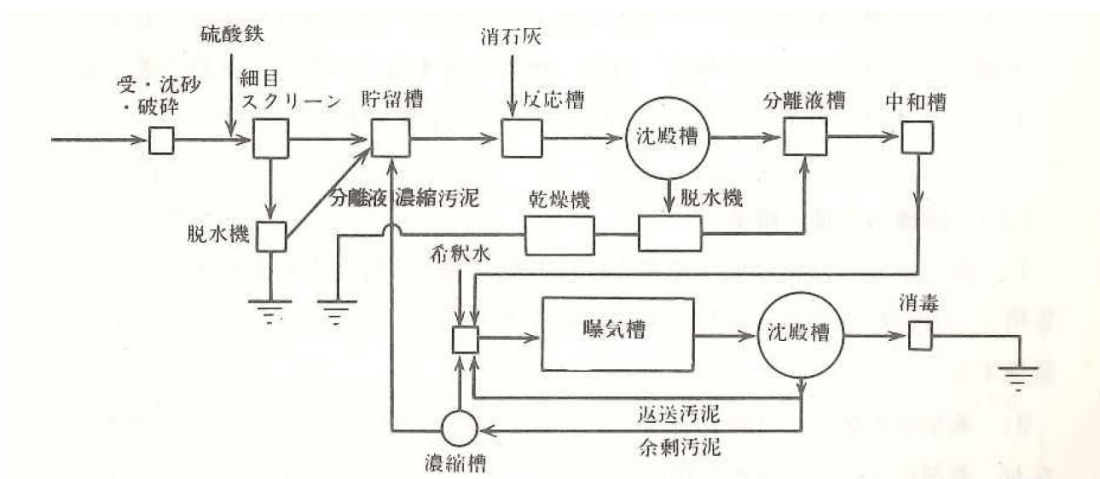
- 16) 岡田繁俊:本道における屎尿処理施設(主としてし尿消化槽)の現況とその機能評価, 北海道立衛生研究所所報, 第21集, 162-168 (1971).
- 17) 社団法人全国都市清掃会議編: 廃棄物処理施設構造指針解説 し尿処理施設構造指針篇, 全国都市清掃会議, 223 (1988).
- 18) 環境省環境再生資源循環局廃棄物適正処理推進課:日本の廃棄物処理平成28年度版, 59 (2018).
- 19) 石井素介:戦後初期の資源調査会における〈資源論〉確立への模索・当時の一事務スタッフの眼からみた回想, 寺尾忠能編:経済開発過程における環境資源保全政策の形成, アジア経済研究所, 6 (2009).
<http://www.ide.go.jp/library/Japanese/Publish/Download/Report/pdf/2008_428_ch5.pdf> 2017年9月28日閲覧.
- 20) 経済安定本部資源調査会編: 屎尿の資源科学的衛生処理勧告, 経済安定本部資源調査会, 1-2 (1950).
- 21) 経済安定本部資源調査会編: 屎尿の資源科学的衛生処理勧告, 経済安定本部資源調査会, 13-18 (1950).
- 22) 鈴木和雄:東京市綾瀬作業書概要, 特定非営利活動法人 日本下水文化研究会 分科会 屎尿・下水研究会 第3回し尿研究会の報告 (2008)
<<http://sinyoken.sakura.ne.jp/sinyou/si003.htm>> 2017年9月28日閲覧.
- 23) 井上雄三:わが国のし尿処理技術の歴史第6回第4章戦後, わが国の公衆衛生を支えた嫌気性消化技術 (1), 月刊浄化槽, 2月号 (No.394), 28-35 (2009).
上記文献の引用元は以下を参照。
東京都水道局砂町水処理センター:し尿消化槽の足跡 (1984).
- 24) 資料提供会社 (五十音順).
クボタ環境サービス株式会社
三機工業株式会社
水ing エンジニアリング株式会社
株式会社タクマ
株式会社西原環境
一般財団法人日本環境衛生センター
- 25) 産業用水調査会編:し尿処理施設ハンドブック, 産業用水調査会, 第Ⅲ編 プラント編, 1 (1962).
- 26) 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, 75-109 (1979).
- 27) 財団法人日本環境衛生協会編: 清掃事業の実際, 日本環境衛生協会, 107 (1959).
- 28) 財団法人日本環境衛生センター編: 廃棄物処理施設技術管理者資格認定講習テキスト 昭和52年度し尿, 日本環境衛生センター, 151 (1977).
- 29) 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, 220-223 (1979).
- 30) 財団法人日本環境衛生センター編: 廃棄物処理施設技術管理者資格認定講習テキスト—し尿—昭和56年度, 日本環境衛生センター, 121 (1981).
- 31) 産業用水調査会編:し尿処理施設ハンドブック, 産業用水調査会, 67 (1962).
- 32) 産業用水調査会編:し尿処理施設ハンドブック, 産業用水調査会, 75 (1962).
- 33) 財団法人日本環境衛生センター編: 第11期廃物処理施設技術管理者資格認定講習し尿1級◇施設維持管理総論, 日本環境衛生センター, 32-34 (1975).

- 34) 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，137（1979）.
- 35) 一般財団法人日本環境衛生センター編：廃棄物処理施設技術管理者講習テキスト〈基礎・管理課程／し尿・汚泥再生処理施設コース〉，日本環境衛生センター，140（2018）.

2.3 化学処理方式

2.3.1 はじめに

化学処理法とは、「し尿に硫酸鉄、消石灰等の凝集剤を添加し、し尿中の固形物に凝集作用を促進させて、これを直接または凝集沈殿、浮遊選別等により急速に汚泥と液体の分離を行い、汚泥は濃縮後、汙過または遠心分離等の方法により脱水し、脱水汚泥は衛生的に乾燥処理し、分離液は中和後生物学的な方法で二次処理を行ったのち、放流する」（厚生省環境衛生局）と定義されている¹⁾。化学処理方式は薬剤の種類、薬剤添加方法等、メーカによって異なるが、化学処理と生物処理を併用した技術であり、一般的な処理フローを図2.3-1に示す。



(出典：し尿処理施設維持管理の知識，188)

図2.3-1 化学処理方式の処理フロー例²⁾

もともと薬剤を添加し、凝集分離する方法は、海外や下水処理に用いられてきた技術であり、し尿の薬剤処理に関しても1950（昭和25）年度の経済安定本部資源調査会衛生部会において議論がなされた。しかし「屎尿の資源科学的衛生処理勧告」でも経済性、エネルギー過大消費の観点から普及が困難と結論づけられていた。このとき、嫌気性消化処理方式のみが勧告された技術であった³⁾。

その後、日本経済の急速な発展に伴い都市郊外へ人口が集中してきたため、下水道を完備していない大部分の都市では、汲み取りし尿の処理施設の即急な増設が必要となり、嫌気性消化処理方式によるし尿処理施設の建設が進んでいった。しかし、嫌気性消化処理方式は処理に30日程度要することから急激な人口増に対応できず不完全消化を招き、悪臭問題等が騒がれるようになった⁴⁾。また、水資源の質的、量的確保のため、1957（昭和32）年12月に「公共用水域保全に関する法律」が施行されたことにより「水質基準」が設定さ

れたため、し尿処理施設としても高度な放流水を河川に放流せざるを得ないことになった⁵⁾。これに対応するため化学処理法は再び注目され技術開発が進んでいった。

2.3.2 化学処理の原理（薬剤処理の目的）⁶⁾

化学処理は、し尿に化学薬剤を添加して（1）臭気成分の固定、（2）し尿中の病原菌を殺菌、（3）浮遊物質や溶解性コロイド物質を凝集し、良質な処理水を得ることを目的としていた。

（1）臭気成分の固定

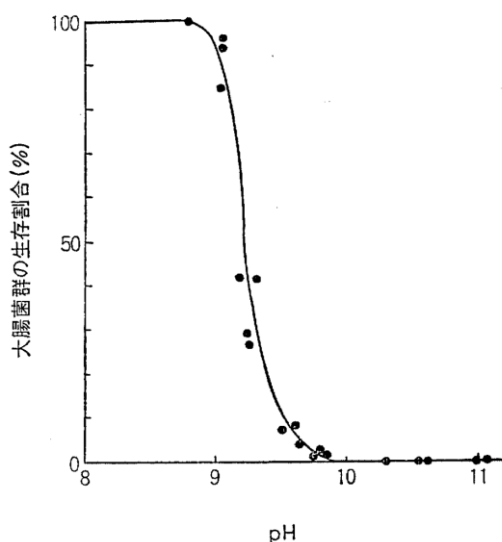
し尿中の硫化水素、メルカプタン、硫化アンモニウム等は、硫酸第一鉄、塩化第一鉄等の鉄剤添加により、以下の化学反応を起こす。



これらの反応により硫化水素等の臭気成分は水に不溶性の硫化鉄となって固定される。なお、鉄剤は石灰等と一緒にコロイド性物質の凝集の役割も担っている。

（2）病原菌の殺菌

し尿中に消石灰、カーバイド渣（アセチレンを利用する工場から多量に生成される廃棄物）等を添加することにより、液のpHは12近くなり、大腸菌やその他の病原菌を強アルカリ性により死滅させる（図2.3-2）。



（出典：し尿処理施設の機能と管理，173）

図2.3-2 分離液のpHと大腸菌群数⁷⁾

(3) 浮遊物質や溶解性コロイド物質を凝集

一般にコロイド性物質や微細な粒子が水に懸濁している場合、その粒子表面が同種の電荷に帯電している。そのため、これらの粒子がお互いに近接すると反発しあっているため凝集や沈殿を起こさない。このような場合、粒子表面の電荷と反対の電荷を持つ電解質を液中に添加すると、粒子表面の電荷がなくなり、粒子が衝突すると凝集を行い、凝集した粒子（フロックという。）が他のフロックと衝突して成長していき、最終的に固まりとなったフロックが沈殿する。し尿中の浮遊物質やコロイド性物質には硫酸第一鉄のような鉄剤と消石灰を添加することにより、凝集反応を起こし、フロックを形成して沈殿する。

2.3.3 化学処理方式の実用化

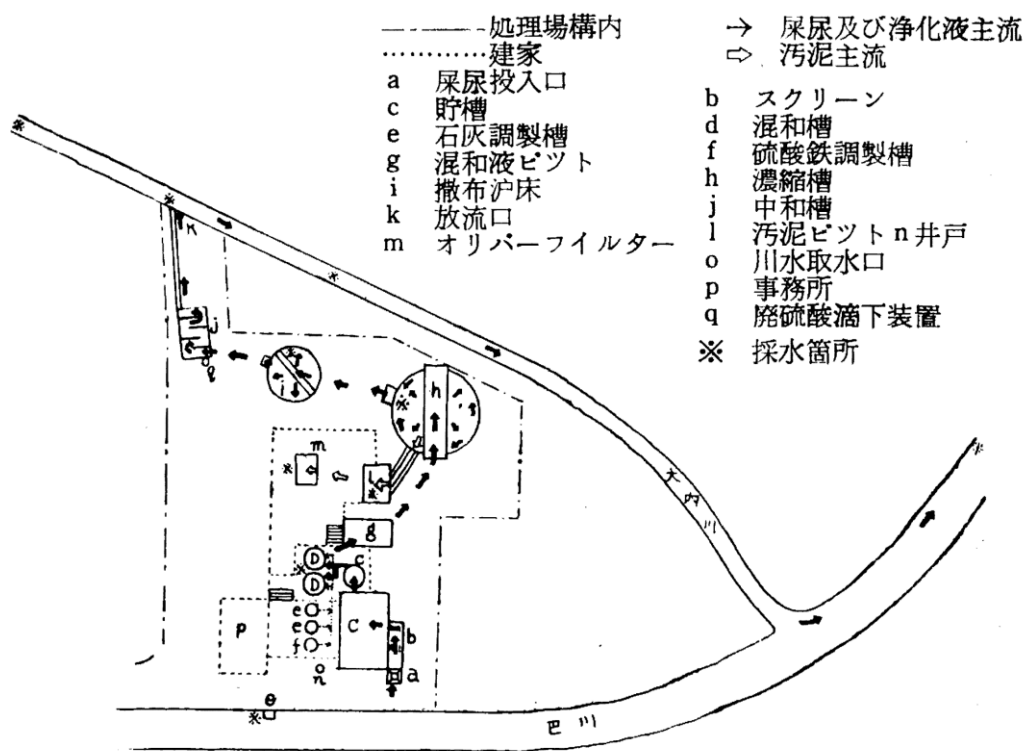
(1) 化学処理方式が実用化されるまで

し尿の処理問題が重要視されて以降、し尿の化学処理に関する研究がなされていった。当初はアルギン酸ソーダを用いてし尿を凝集させる方法も提案されたが、薬剤が高価であり実用化されなかった。1950年代中頃（昭和30年代頃）になると消石灰や鉄塩による凝集が試みられるようになった。その後、濃縮法や浮選法（し尿中の疎水性あるいは親水性の差異を利用した分離法。）による処理の実現化も検討されたが、化学処理では外観上清浄な処理水が得られていても、pHやBODが高いために放流できないといわれていた⁸⁾。

一方、副生成物の脱水汚泥を肥料化して販売することが考えられ、1957（昭和32）年に薬品沈殿法による施設が大分市に、浮選法による施設が別府市に建設され、民間の処理場兼肥料工場として運営が図られた。別府市の場合は化学処理前に、大容量の貯留分解槽により簡易的な処理をすることや、脱離液を80倍程度希釈していたため、比較的放流水質は良好であった。一方、大分市の場合は化学処理後の脱離液を2～3倍程度希釈しただけで放流していたため、放流先の河川に著しい発泡がみられていた。その後、両施設ともに機器の能力不足に陥り、生産した肥料も次第に販売しにくくなったため、2～3年で閉鎖することになった⁹⁾¹⁰⁾。

(2) 化学処理方式の1号機

し尿処理施設としての1号機は、1957（昭和32）年12月に静岡県静岡市（旧清水市）において不二機械工業の設計・施工によるものであった。本施設では、し尿に硫酸第一鉄（0.6～1.0%）と消石灰（1.5%～3%）を加えて脱臭、凝集、滅菌処理を行い、これを濃縮及び脱水して脱水汚泥と分離液とに分離していた。分離液は中和、希釈、生物化学処理（散水ろ床法）を施し無害清浄水として河川に放流、脱水汚泥は加熱乾燥し殺虫殺卵のうえ、補助肥料として利用するものであった（図2.3-3参照）。基本工程は、前述の別府市や大分市と大きく変わらなかったが、分離液に二次処理として散水ろ床法を導入した点が大きく異なっていた。その後改造・改良が重ねられ化学処理方式の基本形態が作られていった。1961（昭和36）年7月には国立市（旧国立町）において同処理工程のし尿処理施設が建設された。



(出典：尿尿化学処理の実態)

図2.3-3 清水市し尿処理施設の概要¹¹⁾

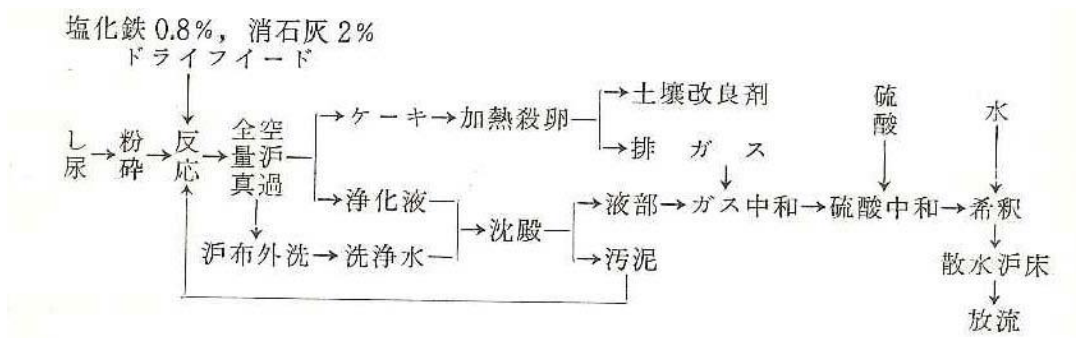
(3) 化学処理方式の普及

静岡市が化学処理方式のし尿処理施設を建設して以後、多くの市町村でこの方式を採用し、多いときには年間10施設程度建設されるようになった¹²⁾。その間、研究者やメーカ等で凝集剤の検討、処理の効率化と作業能率の向上等を目的として改良や開発を進めていった。今では当たり前であるが、凝集助剤として高分子凝集剤の効果を検証したのもこの時期であった¹³⁾。また、1960(昭和35)年になると二次処理に散水ろ床法に代わって活性汚泥法が注目され、化学処理と組み合わせるようになった¹⁴⁾。

このような様々な過程を経て、1961(昭和36)年には厚生省の補助対象となり、地方債も認められるようになった¹⁵⁾。また、1966(昭和41)年には「尿尿施設ならびに維持管理に関する基本基準」に記載されるようになった⁴⁾。

(a) 長岡市及び鎌倉市

鎌倉市は1960(昭和35)年10月に計画処理量100 kL/日、長岡市は1960(昭和35)年11月に計画処理量100 kL/日の施設を建設した。し尿に消石灰及び塩化第一鉄を添加し凝集させた後、真空ろ過機で固液分離し、ろ液を沈殿後中和、希釈し散水ろ床法で処理した。脱水汚泥は寄生虫殺卵のため60℃以上で加熱処理し、土壌改良剤として使用した。

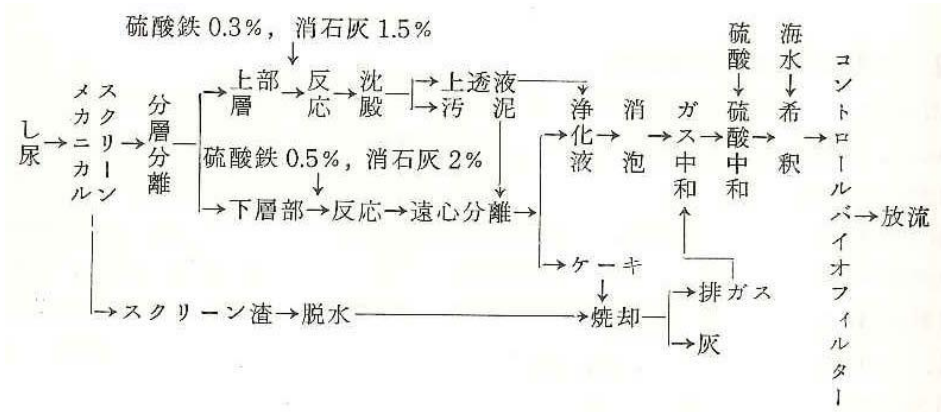


(出典：し尿処理ハンドブック，142)

図2.3-4 長岡市、鎌倉市の施設の処理工程¹⁶⁾

(b) 相生市

相生市は1961（昭和36）年6月に計画処理量30 kL/日の施設を建設した。スクリーンにより除渣されたし尿を分層分離し、尿を主とする下層部と尿を主とする上層部に分けた後、それぞれを化学処理し、薬注量の節減に寄与させた。また、コントロールバイオフィルタで分離液の処理を行うことで海水のみの希釈を可能にした。コントロールバイオフィルタとは、充填型の散水ろ床塔であり、塔内部に碎石を充填し向流接触により碎石上に発生したスライムによってBODを低下させるものである。



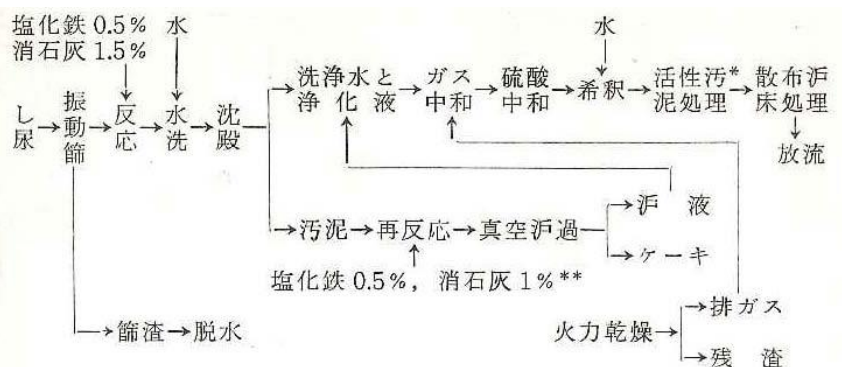
(出典：し尿処理ハンドブック，142)

図2.3-5 相生市の施設の処理工程¹⁶⁾

(c) 吹田市

吹田市は1961（昭和36）年12月に計画処理量130 kL/日の施設を建設した。長岡市や鎌倉市と同様の処理工程を基本としているが、薬剤添加を二段階で行うこと、二次処理に活性汚泥法を採用した点に特徴があった。除渣し尿に対して必要量の約半分の薬剤を添加し水洗することで、ろ過阻害物や未反応の微細浮遊物、粘性物質を溢流水とともに除去させる。水洗された凝集し尿は比重が大きくなるため、沈降速度が上がる。その後二次反応

用として残りの薬剤を添加することでろ過能力が向上され固液分離工程の改善が図られた。

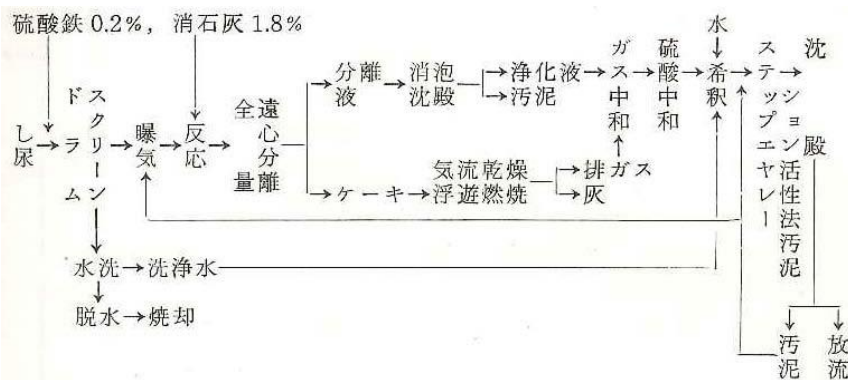


(出典：し尿処理ハンドブック, 143)

図2.3-6 吹田市の施設の処理工程¹⁷⁾

(d) 八尾市

八尾市は1962（昭和37）年9月に計画処理量90 kL/日の施設を建設した。投入し尿に対して0.2%硫酸鉄を添加し、し尿臭を低減させた後、ドラムスクリーンにより除渣し、除渣し尿を貯留槽で曝気することでBOD等の低減を図った後、1.8%消石灰を添加し、遠心分離機により脱水した。二次処理には活性汚泥法が採用された。



(出典：し尿処理ハンドブック, 143)

図2.3-7 八尾市の施設の処理工程¹⁷⁾

2.3.4 化学処理方式の衰退

化学処理方式は1967（昭和42）年度以降建設されなくなった⁴⁾。その理由として挙げられるのは、薬剤使用による維持管理費の高騰や、好気性処理方式の出現であろう。好気性消化方式の処理日数は10日前後と化学処理方式ほど短時間では処理できないが、嫌気性消化処理方式の欠点を十分補完できることや臭気成分の発生を抑えることができる点が大き

かったと考えられる。化学処理方式と好気性処理方式を比較したときに臭気成分問題や操作性から明確な差ができてしまった。それ故、1979（昭和54）年度に制定された「構造指針」では採用されなかった¹⁸⁾。

しかし、化学処理方式においては技術開発から建設されなくなるまで20年程度と短かったにもかかわらず、浮上分離、真空ろ過、遠心分離、加圧ろ過、砂ろ過等が実用化され、多くの技術知見やノウハウが得られた。ここで開発された技術は、今日のし尿処理施設に少なからず応用されている。例えば、凝集沈殿処理設備や浄化槽対応型の前凝集分離設備等は、化学処理を応用したものともいえるだろう。これらの点からも化学処理方式の功績は大きいと考えられる。

2.3.5 開発技術の内容^{16)19) 20)}

化学処理は、し尿等に薬剤を加えて浄化する方法の総称であるが、化学処理操作のほかには、分離、脱水、乾燥などの物理的または機械的操作が多い上に、分離液をそのまま放流できないので、生物学的二次処理等を併用する必要があった。基本的な設備構成は、除渣設備、固液分離設備、分離液の中和設備、分離液の二次処理設備、脱水污泥処理設備等である。

(1) 除渣設備

収集されたし尿は受入槽を経て、スクリーンまたは破砕機にかけて夾雑物を除去、あるいは破砕したあと貯留槽へ入れる。これらの前処理工程は後段の工程をスムーズに進行させるために必要なことで、特に化学処理方式の場合、この作業が円滑に行われないと、全処理工程の運転に支障をきたすほか、機械類が多いので、ポンプ・バルブ・パイプの閉塞を起こすおそれがあった。

し尿の投入時に発生するし尿臭を除くため硫酸鉄などを添加したのち除渣する方法もあった。破砕機を使用する場合は硫酸鉄によってカッターの腐食や損傷が著しいので破砕後に薬剤を添加するのが通常であった。除渣装置として一般的に用いられていたのは、回転ドラム型、回転ワイヤー型、振動篩等があったが、除渣物の含水率が高いためにスクリープレスなどを併用し、残渣を焼却している例が多かった。

(2) 固液分離設備

除渣したし尿は凝集反応槽に入り、し尿に対する重量比で鉄塩を重量比0.2%程度、消石灰を2%程度添加するとただちに凝集が起こるので、急速攪拌を行いし尿と薬剤を混合させ反応を促進させる。その後、攪拌を弱めて緩速攪拌を行い、反応によって生成したコロイド性凝集物のフロック化を図る。この工程はフロックを衝突させて、さらに大きいフロックを形成させるためである。攪拌器の回転数及び反応時間の例は以下のとおりである。

急速ろ過：300 rpm	2分以上
緩速ろ過：50～100 rpm	20分以上

凝集後のし尿は沈殿槽や浮上分離装置等で凝集固形物（汚泥）と液部に分離し汚泥を濃縮するのが一般的であった。濃縮した汚泥は真空ろ過、加圧ろ過、遠心分離等によって脱水した。

（a）濃縮工程

（ア）沈殿法

凝集後のし尿を沈殿槽、濃縮槽に入れ、重力を利用した自然沈降により上部の液部と下部の汚泥とに分類する方法である。薬剤添加や攪拌等の諸条件が適正で、汚泥量が少なく沈降性が良好な場合は支障ないが、汚泥量が多く、凝集性が不十分であると、沈降速度は著しく遅くなり濃厚な汚泥を分離できないこともあった。通常、汚泥の沈降では1時間で汚泥量が2/3程度、数時間で1/2程度にまで濃縮されることが望ましくとされていた。

（イ）浮上分離法

懸濁物質などに微細な気泡を付着させると見かけ比重が小さくなって水表面に浮上する。浮上分離法はこの原理を利用した分離法である。汚泥の濃縮では凝集剤添加後に常圧式または加圧式の浮上分離法が使われる。凝集後のし尿の場合も機械的に攪拌あるいは空気を加圧状態で吹込んで微小な気泡を汚泥に付着させ浮上分離した。

（b）固液分離工程

（ア）真空ろ過方式

嫌気性消化処理方式に使用していたものと同様であり、化学処理反応液の固液分離に最も多く採用されていた。濃縮した汚泥を連続的にろ過し脱水するものであり、脱水汚泥含水率は60%前後であった。この方式は汚泥の性状の良否によって効率が左右された。特に冬季はし尿の凝集性が低下するため、汚泥の粘性が増し、脱水効率が下がった。

（イ）遠心分離方式

真空ろ過方式と同様に汚泥の脱水に多く採用されていた方式である。連続運転が可能であり、脱水汚泥含水率が60%前後であったこと、汚泥の性状にあまり影響されないこと、ろ布の目詰まりがないこと等のメリットがある反面、ろ液に多量の泡が含まれ、消泡しにくい欠点もあった。また、分離液の性状は真空ろ過法よりも一般に悪かった。

（ウ）加圧ろ過方式

脱水汚泥の排出はバッチ式であったが、脱水汚泥含水率が50～60%、ろ液の外観が良好、ろ布の交換洗浄が短時間、常時の運転動力が少ない等のメリットがあった。このため、化学処理方式でもよく採用された。

加圧ろ過の効率を左右する要因としては、し尿中の総固形物量、ろ布の目詰まり、し尿の液温による粘度の変化等によって、脱水効率が大きく変化等が挙げられ、脱水機能が大きく変化した。

（エ）砂ろ過方式

ろ過槽の底部に砂利・小石を敷き（厚さ30 cm）、その上部に海砂（厚さ30 cm）を敷いたろ過槽の上部から反応液を注入し、ろ過する。砂層の上に残った残渣（脱水汚泥）は含水

率70～75%程度である。一部の砂は脱水汚泥排出の際に、汚泥として付着し取り除かれてしまうので、少量ずつの補充が必要であった。

(c) 固液分離補助設備

し尿のようなコロイド物質を多量に含む溶液を汚泥とろ液に分離することは容易ではなかった。特にし尿が濃厚な場合や冬季反応液の温度が低下した場合には、ろ過方式でのろ過速度が急速に減退した。これらに対する処置として以下のような技術が開発された。

(ア) 分層分離法

し尿を静置して、懸濁物の少ない上層液と濃厚な汚泥部とに分け、それぞれ別の槽で硫酸第一鉄及び消石灰を添加してから、曝気攪拌した後、凝集沈殿させ、濃縮汚泥を集めてろ過する方法で薬剤の節約と固液分離する液量の低減に寄与した。

(イ) 水洗（エルトリューション）法

薬剤添加して凝集させたし尿を連続水洗方式で2～5倍の清水で洗浄した後、汚泥を沈殿させると、汚泥量が少なくなり、かつろ過の抵抗になる物質が除かれるのできわめて容易にろ過することが可能となり、ろ布等の目詰まりが少なくなった。

(ウ) 加温法

冬季は汲み取りし尿の温度が非常に低下するため、薬剤による凝集力が小さく、濃縮による汚泥の沈降も少なく、かつろ過速度が低下するため、夏季の温度まで加温する方法が開発された。温水を添加する方法、バーナーを反応液中に挿入し重油を液中焼却させて直接加熱する方法があった。

(エ) ろ過助剤添加法

真空ろ過、加圧ろ過の場合フライアッシュ、パーライト、焼却汚泥などをろ過助剤として使用する研究も行われた。

(3) 分離液のアンモニアの除去

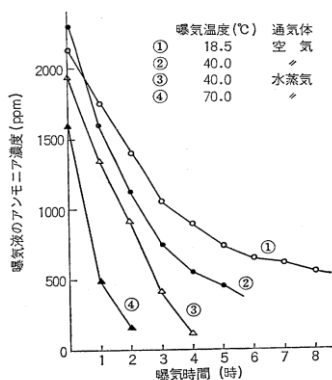
化学処理方式は、石灰などの薬剤添加により、pHが著しく高かったため、凝集分離工程や固液分離工程でアンモニアガスが発生しやすかった。表2.3-1より化学処理分離液には2,000 ppm程度のアンモニアを含有しており、労働衛生上問題であった。このため化学処理方式の中には、分離液からアンモニアを積極的に除去して、作業環境を改善させる例もあった。

その方法として水槽内を空気や水蒸気を用いて曝気させる方法（図2.3-8）やノズルや回転円板でタンク中に脱離液を噴霧して除く方法（図2.3-9）、塔充填物中をフィルム状に流下させて蒸発させる方法等があった。いずれも高温状態の方が効果的であった。また、噴霧式では1回の処理で約70%、数回循環させると95%のアンモニア除去が可能であった。

表2.3-1 分離液の理化学的性状²¹⁾

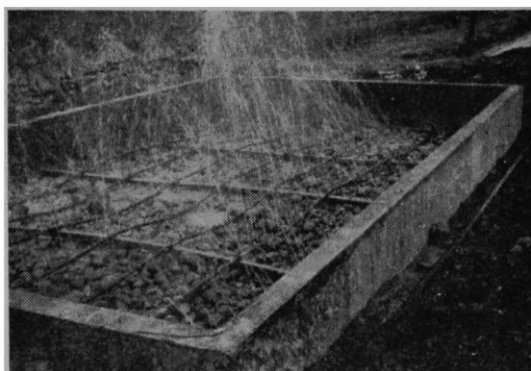
項目	分類	試料数	平均値	最低値	最高値	信頼係数95%の信頼限界
透視度		22	0.7	0	2.5	
pH		27	12.29	11.1	12.74	12.04~12.54
COD (ppm)		32	714	220	785	601~827
BOD (%)		21	4,388	2,750	5,590	3,978~4,798
蒸発残留物 (%)		34	18,564	13,700	26,770	16,207~20,921
浮遊物質 (%)		30	1,862	772	3,320	1,372~2,352
熱灼残留物 (%)		34	14,050	11,036	16,118	12,429~15,671
強熱減量 (%)		34	4,363	2,682	5,462	3,577~5,149
アンモニア性窒素 (%)		33	2,007	1,400	2,327	1,875~2,139
アルミノイド窒素 (%)		16	424	184	784	361~487
総窒素 (%)		16	2,941	2,305	4,206	2,522~3,360
塩素イオン (%)		32	4,391	2,050	5,760	3,705~5,077

(出典：し尿処理施設の機能と管理, 187)



(出典：し尿処理施設の機能と管理, 189)

図2.3-8 曝気によるアンモニアの減少²²⁾



(出典：尿尿化学処理の実態)

図2.3-9 細霧方式による窒素除去²³⁾

(4) 分離液の中和設備

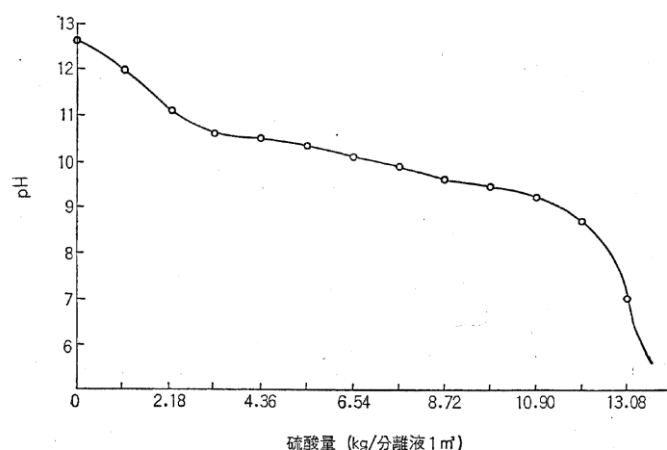
固液分離された分離液は、強アルカリ性であるため、し尿中の細菌を死滅させるには有効であったが、それを公共水域に放流するには中和が必要であった。また、生物学的二次処理を行う場合は中和を厳密に行わなければならない。分離液の中和には、硫酸の添加または汚泥の燃焼ガス注入による手法があった。

(a) 硫酸中和

化学処理施設で最も多く用いられていた中和設備である。

分離液1 m³を中和するのに要する硫酸量は、8~16 kgの幅があるといわれている（図2.3-10）。この幅は季節によってし尿の性状や凝集時の使用薬剤の種類と添加量等によって異なるためである。

中和操作で問題となったのは、反応槽、中和液の貯留槽、中和液の輸送バルブなどの内部に硫酸カルシウムが生成しスケールが発生した点であった。スケール防止するために、フレキシブルパイプの使用や、少量の清水をパイプに同時に注入する等の対策を取っていた。



(出典：し尿処理施設の機能と管理, 189)

図2.3-10 分離液の中和滴定曲線²⁴

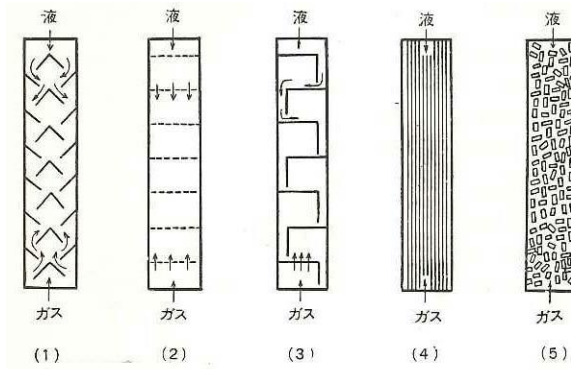
(b) 炭酸ガスの中和

炭酸ガスの中和法には、炭酸ガスを分離液中に吹込む方法、炭酸ガス気流中に分離液を噴霧する方法、中和塔と称する設備内の下部からガスを上部から分離液を入れて接触させる方法があった。

中和塔による中和では、内部でガスと分離液が接触すると、分離液に含まれる微小の石灰粒と炭酸ガスが結合して炭酸カルシウムができ、塔内の充填剤やパイプの閉塞を起こすので、定期的に清掃する必要があった。

炭酸ガスの供給源は脱水汚泥の焼却ガスを用いるケースもあったが、排ガス中の炭酸ガス濃度が低いため、実際には、コークスまたは重油の焼却ガスを用いることが多かった。また、中和塔でも供給した炭酸ガスの約25%量を利用するにすぎないため、理論値のほぼ4倍の炭酸ガスが必要であった。

実施におけるガス中和の効率は低く、これだけで所定のpHまで下げることは不可能であったため、pH 9まで炭酸ガスを用い、pH 9から7にするには硫酸中和で補っていた。



(出典：し尿処理ハンドブック，164)

図2.3-11 中和塔の形式²⁵⁾

(5) 分離液の二次処理設備

本多らはし尿及び化学処理分離液のBODを調査し、表2.3-2を得た。これによると、し尿BODの約20%が浮遊物質、約30%が脂溶性のやや高級脂肪酸と不鹼化物、その他は低級脂肪酸であることがわかった。し尿を化学処理することで浮遊物質由来のBODがほとんどなくなり、不鹼化物も半減していたが、低級脂肪酸はほとんど残存したままだった。微生物によって分解困難な高級脂肪酸等が凝集分離で除かれるため、二次処理方式としては、散水ろ床法または活性汚泥法の生物学的処理が一般的であった。また、化学処理工程と生物学的処理工程を入れ替えや、今ではし尿処理施設の高度処理に用いられているオゾン酸化処理や活性炭吸着処理等を二次処理として利用することも検討された。

表2.3-2 し尿及び化学処理分離液のBOD源²⁶⁾

		原し尿	化学処理 浄化液	
汙過前のBOD	ppm	10,065.2	4,436.7	
汙過後のBOD	ppm	8,088.9	4,432.8	
浮遊物質のBODの割合	%	19.63	0.09	
蒸留前のBOD	ppm	10,065.2	4,436.7	
留液のBOD	ppm	5,745.0	3,088.5	
留液のBODの割合	%	57.08	69.61	
留液の酸度(醋酸として)	ppm	5,202.0	2,834.0	
留液中 の酸の 割合	酪酸	%	6.88	9.82
	プロピオン酸	%	18.42	23.20
	醋酸	%	74.55	66.85
	蟻酸	%	0.15	0.13

(出典：し尿処理ハンドブック，165)

(a) 散水ろ床法

散水ろ床法は化学処理方式の分離液を二次処理する方法として最も多かった。中和液を

15～20倍の清水で希釈し、希釈処理液量に対する返送比を1.0の返送水で均等にできる構造とされた。希積分離液のBODは返送水を含めて100 ppmを標準とし、ろ床のBOD負荷は0.8 kg/kL・日以下、水量負荷は15 m³/m²・日で均等にろ床面に散水していた。そのほか、ろ床構造、機能等の条件は、嫌気性消化処理方式と同様であった。

(b) 活性汚泥法

活性汚泥法は曝気槽のBOD負荷を0.8 kg/m³・日以下としており、嫌気性消化脱離液の場合(0.4 kg/m³・日)と比べて負荷を高く設定した。このため、希積分離液の濃度も高いが、一次処理で薬剤処理されたとき、し尿中に含まれる難分解性有機物が分解し、低分子化しているため、活性汚泥法で処理しやすいといわれていた。

中和液を20倍希釈し、曝気槽内の溶存酸素を常に0.3 ppm以上、MLSSは2,000～5,000 ppmを保持するように運転し、随時汚泥の返送を行う。最終沈殿池の構造、容量などは嫌気性消化処理方式と同様であり、生成される余剰汚泥はできるだけすみやかに引き抜くことが必要であった。

(6) 脱水汚泥の処理処分

化学処理における難点の一つに多量の脱水汚泥の処分があった。薬剤添加によりし尿中に浮遊物質や溶解性物質が凝集し、不溶解の消石灰を固液分離するため、し尿1 kL当たり約20 kg、不溶解の消石灰約25 kgがそれぞれ脱水汚泥として排出される。脱水汚泥のまま埋め立てるのは不経済であったため、乾燥により酸性土壌の土地改良剤として利用された。

乾燥方法としては、天日乾燥、乾燥機による乾燥があった。乾燥機を用いると、排ガス中の炭酸ガスを化学処理の中和処理に用いることができたが、排ガスによる中和だけで脱離液の完全中和は困難であった。

(7) 使用薬剤について

化学処理方式では、凝集機能の良否がその後の固液分離工程や汚泥の脱水工程の処理効率に影響し、使用する薬剤の費用が全維持管理費のほぼ半分を占めているといわれていた。このため、化学処理に用いる薬剤は以下の事項を満足する必要がある。

- ① 価格が安い。
- ② いずれの場所でも年中不足なく入手できる。
- ③ フロックをよく形成し、しかもフロックが重く、沈殿が容易で上澄液と速やかに分離する。
- ④ 沈殿汚泥は圧縮性が高く、容積が少ない。
- ⑤ 取扱及び貯蔵が容易である。

本多らは、従来下水の浄化に用いられていた安価な凝集剤を選択し、それぞれの凝集効果を沈降状況及び上澄液の水質から検討し、表2.3-3を得た。その結果、沈降速度及び上澄液の水質の双方を十分満足できるものはなかったが、それに準ずるものとして、消石灰と硫酸鉄または塩化鉄の併用が望ましいことを明らかにした。

表2.3-3 各種凝集剤によるし尿の浄化（その1）²⁷⁾

測定項目	添加薬剤	CaCl ₂ 2%		Al ₂ (SO ₄) ₃ 2%		Ca(OH) ₂ 2%	
	無添加 ^{**}	測定値	浄化率	測定値	浄化率	測定値	浄化率
沈殿率（1時間値 %）	100	58.8	—	84.5	—	45.8	—
色調	黄褐色	黄茶褐色	—	黄褐色	—	黄褐色	—
pH	9.6	9.19	—	9.44	—	12以上	—
蒸発残渣 ppm	20,980	20,820	0.8	17,520	16.4	18,740	10.7
溶解性物質 ppm	16,840	17,600	—	16,120	4.3	18,160	—
浮遊物質 ppm	4,140	3,220	22.2	1,400	66.2	580	86
COD ppm	2,543.3	1,322.4	48	1,497.9	41.1	1,412.1	44.5
アンモニア窒素 ppm	3,233.2	2,217.8	31.4	2,481.2	23.3	3,185.7	1.5
アルブミノイド窒素 ppm	1,617.2	1,362.0	15.8	1,404.3	13.2	191.4	88.3
沃素消費量 ppm	380.7	253.8	33.3	330	13.3	228.4	40
塩素イオン ppm	5,451.9	10,319.7	—	4,867.8	—	5,243.3	—

※薬剤添加時に入る水のみを添加

（出典：し尿処理ハンドブック，149）

表2.3-3 各種凝集剤によるし尿の浄化（その2）²⁷⁾

測定項目	Ca(OH) ₂ 1%+ AlK(SO ₄) ₂ 1%		Ca(OH) ₂ 1%+ FeSO ₄ 1%		Ca(OH) ₂ 1%+ FeCl ₃ 1%		FeCl ₃ 1%+ AlK(SO ₄) ₂ 1%	
	測定値	浄化率	測定値	浄化率	測定値	浄化率	測定値	浄化率
沈殿率（1時間値 %）	71.2	—	95	—	97	—	86.2	—
色調	黄褐色	—	青黄褐色 （半透明）	—	青黄褐色 （半透明）	—	青黄褐色	—
pH	12	—	9.75	—	9.4	—	7.25	—
蒸発残渣 ppm	—	—	17,800	15.2	—	—	—	—
溶解性物質 ppm	—	—	17,380	—	—	—	—	—
浮遊物質 ppm	—	—	420	89.8	—	—	—	—
COD ppm	1,384.8	45.6	1,088.3	57.2	1,123.8	55.8	912.8	64.1
アンモニア窒素 ppm	2,756.9	14.7	3,706.5	—	2,573.1	20.4	2,147.30	33.6
アルブミノイド窒素 ppm	1,179.4	27.1	769.6	52.4	1,297.9	19.7	1,622.40	—
沃素消費量 ppm	279.2	26.6	50.8	86.7	139.6	63.3	101.5	73.3
塩素イオン ppm	5,632.7	—	5,841.40	—	8,358.7	—	7,941.50	—

※薬剤添加時に入る水のみを添加

（出典：し尿処理ハンドブック，149）

消石灰は我が国が石灰資源に恵まれていたことから、全国的に供給が容易であった。硫酸鉄や塩化鉄についても鉄工関係の酸洗い廃液に鉄くずを加えることで安価で作れること、チタン工場などの副生成物として生成され処分に困っていたことから、比較的容易に入手できた。以上からし尿の化学処理には消石灰と硫酸第一鉄や塩化第二鉄のような鉄化合物が多く用いられようになった。

なお、使用薬剤は必ずしも工業薬品である必要はなく、工場等から副生成等された消石灰含有物等を使用した例も多くあった。例えば、カーバイド渣は90%前後消石灰を含んでいるため、消石灰の代替品として利用された。また、トリクロロベンゼン製造工場の廃液として得られた塩化カルシウムも利用された。塩化カルシウムは購入すると消石灰の倍程度のコストがかかったが、凝集性も比較的良好で凝集分離液に中和の必要がない等の特徴もあった。硫酸鉄や塩化鉄の代替品としては、毒物の混入に注意する必要があるものの、その地域で供給を受けやすい金属塩（硫酸亜鉛、硫酸銅等）または、それを含む廃液を使用することもあった。このように本来処分すべき工場の副生成物等を凝集剤として活用できれば、廃棄物量の削減だけでなく、維持管理費削減にも寄与することになった。

(8) 化学処理方式の各社技術

上述したように、化学処理方式の発展は様々なメーカーによって進められてきたため、基本原理は同じでも設備装置等に特徴的なものも多かった。ここでは、し尿処理ハンドブック（1962（昭和37）年発行：産業用水調査会）に記載されているメーカーの技術を表2.3-4にまとめた。表中の番号は以下のとおりである。

- ① 株式会社IHI（当時の石川島播磨重工業株式会社）（石川島播磨式し尿分層分離化学処理装置）
 - ② 大島工業株式会社※（大島式し尿高速化学処理装置）
 - ③ 三信衛生工業株式会社※（三信式立体し尿処理装置）
 - ④ 昭和水道土木株式会社※（昭和式高速2重法によるし尿化学処理装置）
 - ⑤ 日本蒸溜工業株式会社※（日溜式し尿 化学処理装置）
 - ⑥ 不二機械工業株式会社※（不二式し尿化学処理装置）
 - ⑦ ⑧ 宝光化研工業株式会社※・川崎重工業（当時の汽車製造株式会社）・株式会社大原鉄工所（宝光-KSK、宝光-大原方式し尿化学処理装置）
 - ⑨ 三菱化工機株式会社（三菱化工機のし尿化学処理装置）
 - ⑩ 山田工業株式会社（ヤマダ式し尿処理装置）
- ※ 現在の社名等は不明。

表 2.3-4 化学処理方式の各社技術比較 (その1) ²⁸⁾²⁹⁾³⁰⁾³¹⁾³²⁾

	①	②	③	④	⑤
前処理	ドラムスクリーナー+ローラー脱水	切碎機	カッティングマシン	破碎機	バースクリーン+ストレーナ
し渣の処理	焼却	—	—	—	水洗後、脱水
使用薬剤	凝集設備： 硫酸第一鉄、 消石灰 中和設備： 硫酸	凝集設備： オスロン（硫酸第一鉄、硫酸アルミニウム等含有化合物）、消石灰 中和設備：希硫酸	前処理前： 硫酸第一鉄 凝集設備： カーバイト渣	前処理前：硫酸第一鉄 凝集設備： カーバイト渣+晒粉、塩化マグネシウム+珪酸ソーダ	前処理前： 硫酸第一鉄 凝集設備： 消石灰 中和設備： 硫酸
濃縮工程	分層分離法+沈殿	沈殿	沈殿	沈殿	浮上分離
固液分離設備	遠心分離機	真空ろ過機	遠心分離機	砂ろ過塔+遠心分離機	真空ろ過機
分離液の中和剤	硫酸	希硫酸+乾燥排ガス	オゾン酸化	コークス焼却排ガス	乾燥排ガス+硫酸
脱離液の処理工程	コントロールバイオフィルタ	ろ過+活性炭吸着	オゾン酸化+散水ろ床	散水ろ床法+最終沈殿	活性汚泥
脱水汚泥の処理工程	焼却	機械乾燥	機械乾燥	天日乾燥または機械乾燥	機械乾燥
導入実績	相生市	横浜市	姫路市、八王子市	川内市、久喜町	内郷市

(出典：し尿処理ハンドブックを基に作成)

表2.3-4 化学処理方式の各社技術比較（その2） 28)29)30)31)32)

	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
前処理	バースクリーン	振動篩	振動篩	破砕機	ドラムスクリーン＋コンベヤ型脱水機、貯留槽曝気
し渣の処理	焼却または乾燥	振動篩の場合は乾燥	—	—	焼却処理
使用薬剤	前処理前： 硫酸第一鉄 凝集設備： 消石灰 中和設備： 硫酸	凝集設備： 鉄塩（塩化第一鉄、塩化第二鉄、硫酸第一鉄、塩化アルミニウム混合物）、消石灰 中和設備： 硫酸	凝集設備： 鉄塩（塩化第一鉄、塩化第二鉄、硫酸第一鉄、塩化アルミニウム混合物）、消石灰 中和設備： 硫酸	凝集設備： 消石灰、赤泥 中和設備： 硫酸	前処理前： 硫酸第一鉄 凝集設備： 消石灰 中和設備： 硫酸
濃縮工程	沈殿	沈殿	水洗＋沈殿	沈殿	沈殿
固液分離設備	真空ろ過機	真空ろ過機	真空ろ過機	真空ろ過機またはフィルタプレス	遠心分離機
分離液の中和処理設備	焼却排ガスまたは乾燥排ガス＋硫酸	焼却排ガスまたは乾燥排ガス＋硫酸	焼却排ガスまたは乾燥排ガス＋硫酸	焼却排ガスまたは乾燥排ガス＋硫酸	焼却排ガスまたは乾燥排ガス＋硫酸
脱離液の処理工程	散水ろ床＋最終沈殿	活性汚泥	活性汚泥または散水ろ床	活性汚泥	活性汚泥
脱水汚泥の処理工程	焼却または機械乾燥	焼却または乾燥	焼却または機械乾燥	焼却または機械乾燥	焼却または機械乾燥
導入実績	静岡市、 国立市	鎌倉市、 長岡市	吹田市	—	八尾市

(出典：し尿処理ハンドブックを基に作成)

2.3 参考文献

- 1) 財団法人日本環境衛生センター編：廃棄物処理施設技術管理者資格認定講習テキスト 昭和52年度（第13期）し尿，日本環境衛生センター，188（1997）.
- 2) 財団法人日本環境衛生センター編：し尿処理施設維持管理の知識，日本環境衛生センター，97（1973）.
- 3) 井上雄三：わが国のし尿処理技術の歴史第6回 第4章戦後、わが国の公衆衛生を支えた嫌気性消化技術（1），月刊浄化槽，2月号，394, 28（2009）.
- 4) 井上雄三：わが国のし尿処理技術の歴史第8回 第5章 大きな課題を抱えていたし尿嫌気性消化（1）～化学処理－新しい処理技術の台頭と衰退～，月刊浄化槽，5月号，397, 32（2009）.
- 5) 財団法人日本環境衛生協会編：学習の手引き，日本環境衛生協会，124（1967）.
- 6) 財団法人日本環境衛生協会編：学習の手引き，日本環境衛生協会，125-126（1967）.
- 7) 大野茂監修：し尿処理施設の機能と管理，産業用水調査会，173（1975）.
- 8) 本多淳裕：し尿化学処理法，大阪市立衛生研究所報告，No.20, 33（1958）.
- 9) 大野茂監修：し尿処理ハンドブック，110，産業用水調査会，東京（1962）.
- 10) 本多淳裕：尿尿化学処理の実際，生活衛生，205-208（1958）.
- 11) 本多淳裕：尿尿化学処理の実際，生活衛生，199-200（1958）.
- 12) 金子光美，河村清史，中島淳：生活排水処理システム，技報堂出版，212-238(1998).
- 13) 野田頭佑：し尿化学処理における有機高分子凝集助剤の効果，都市清掃，59，23-33（1964）.
- 14) 児玉威：し尿処理技術の歴史的展望，用水と廃水，10(4)，54-60(1968).
- 15) 大野茂監修：し尿処理施設の機能と管理，産業用水調査会，171（1975）.
- 16) 井上雄三：わが国のし尿処理技術の歴史第8回 第5章大きな課題を抱えていたし尿嫌気性消化（1）～化学処理－新しい処理技術の台頭と衰退～，月間浄化槽，5月号，32（2009）.
- 17) 大野茂監修：し尿処理ハンドブック，産業用水調査会，142（1962）.
- 18) 大野茂監修：し尿処理ハンドブック，産業用水調査会，142（1962）.
- 19) 大野茂監修：し尿処理ハンドブック，産業用水調査会，143（1962）.
- 20) 大野茂監修：し尿処理ハンドブック，産業用水調査会，143（1962）.
- 21) 三浦運一：向後におけるし尿処理の方向と課題，全国市長会，1-19（1965）.
- 22) 大野茂監修：し尿処理ハンドブック，産業用水調査会，143-177（1962）.
- 23) 大野茂監修：し尿処理施設の機能と管理，産業用水調査会，173-200（1975）.
- 24) 財団法人日本環境衛生センター編：厚生大臣認定 廃棄物処理施設技術管理者資格認定講習テキスト昭和52年度（第13期）し尿，日本環境衛生センター，189-203（1997）.
- 25) 大野茂監修：し尿処理施設の機能と管理，産業用水調査会，187（1975）.

- 26) 大野茂監修：し尿処理施設の機能と管理，産業用水調査会，189（1975）.
- 27) 本多淳裕：屎尿化学処理の実際，生活衛生，206（1958）.
- 28) 大野茂監修：し尿処理施設の機能と管理，産業用水調査会，192（1975）.
- 29) 大野茂監修：し尿処理ハンドブック，産業用水調査会，164（1962）.
- 30) 大野茂監修：し尿処理ハンドブック，産業用水調査会，165（1962）.
- 31) 大野茂監修：し尿処理ハンドブック，産業用水調査会，149（1962）.
- 32) 大野茂監修：し尿処理ハンドブック，産業用水調査会，333-417（1962）.

2.4 好気性処理方式

2.4.1 はじめに

好気性処理方式はそれまで主流であった嫌気性消化処理方式に代わり、1960年頃（昭和35年中頃）から出現した方式で、当初は酸化処理方式と呼ばれた。

当時の技術は一次処理に嫌気性処理方式が採用され、二次処理に散水ろ床を組み合わせたものであった。しかし、散水ろ床での効率や維持管理上の問題が発生し、二次処理の部分について次第に活性汚泥法による処理技術が取り入れられるようになった。この活性汚泥法による処理技術はさらに研究、開発が進み、有機物の分解は嫌气的条件下よりも好气的条件下の方が早く達成できることが解明され、一次処理の段階でも活性汚泥法を取り入れた好気性処理方式いわゆる酸化処理方式という新しい技術が誕生することとなった。

1959（昭和34）年頃から数社のメーカーが研究開発に着手し、実証プラントでの実験を開始した。そして曝気や大気接触による酸素を利用した「し尿酸化処理法」、「好気性処理法」、「高速酸化処理法」などの呼称で商品化され、1960（昭和35）年頃から一部の自治体で採用され始めた。1960年代後半（昭和40年代前半）頃からし尿を希釈せずに長時間曝気を行う「好気性消化処理方式」の研究が開始された。この頃には酸化処理方式の開発は水処理メーカー各社の研究開発により、多種多様な方式が登場し様々な呼称で商品化されたが、最終的には1979（昭和54）年に定められたし尿処理施設構造指針で「好気性処理方式」とされ、「好気性消化処理方式」、「希釈ばっ気処理方式」、「一段活性汚泥処理方式」、「二段活性汚泥処理方式」の4つの方式に区分された¹⁾。

また、し尿処理施設は公害問題が激化する中、遠くからでも目立つ嫌気性消化槽がし尿を連想させることから「視覚公害」と呼ばれていたのに対して、好気性処理方式となってからはビル化された構造物の中に施設全体を収めることができるため近代的な印象を与えた。

一方、好気性処理方式は施設が小さくなり、脱臭対策も容易となったが、嫌気性消化処理方式に比べ曝気の電力費が高く窒素の除去率も低いものであった。また、好気性消化の汚泥は当時普及し始めた高分子凝集剤を使わないと脱水が困難だった。さらに、窒素の除去率が低いためBODの除去率を高くすればするほど沈殿槽で脱窒素反応が起こり、大量のスカムが発生する等の問題が発生した。後段に主にSSを除去するための高度処理設備を設置し、凝集沈殿設備等を設け、SSの流出を防止するなどの対策が必要になってきた。

1970年代（昭和40年代後半）にかけて省資源・省エネルギー技術や水・汚泥の再利用技術が社会ニーズとして起こり、他方、水質汚濁に係わる水質規制の強化や富栄養化防止のための施策が次々と法令化された。これらに伴い1970年代後半（昭和50年代）

に入って研究開発されつつあった窒素除去が可能な低希釈法による好気性処理と生物学的脱窒素法とを組み合わせた革新的システムである低希釈二段活性汚泥処理方式（後の標準活性汚泥処理方式）が登場した。

好気性処理方式は、低希釈二段活性汚泥処理方式が 1976（昭和 51）年に新技術として許可を受けるにおよんで、し尿の衛生処理のみを目的とするその他の処理方式と同様に BOD と SS の除去が主対象である旧式の処理方式であったため急速に衰退していった。

好気性処理方式は主に下記の 5 つに大別される¹⁾。

<処理方式>	<一次処理工程>
①好気性消化処理方式	無希釈・長時間曝気（返送汚泥あり）
②高速酸化処理方式	無希釈・短時間酸化処理（返送汚泥なし）
③希釈曝気処理方式	希釈・短時間曝気（返送汚泥なし）
④一段活性汚泥処理方式	無希釈・短時間曝気（返送汚泥なし）
⑤二段活性汚泥処理方式	希釈・短時間曝気（返送汚泥あり）

2.4.2 各方式の概要

（1）好気性消化処理方式

（a）特徴

好気性消化処理方式は下水汚泥の好気性消化法をし尿に応用したもので、し尿を希釈せず長時間曝気により好気性消化を行わせ、その脱離液を活性汚泥法により処理する方式で、受入・貯留設備、好気性消化処理設備、活性汚泥法処理設備および消毒設備をこの順序に組み合わせ、これに汚泥処理設備と脱臭設備を付属させたものである。

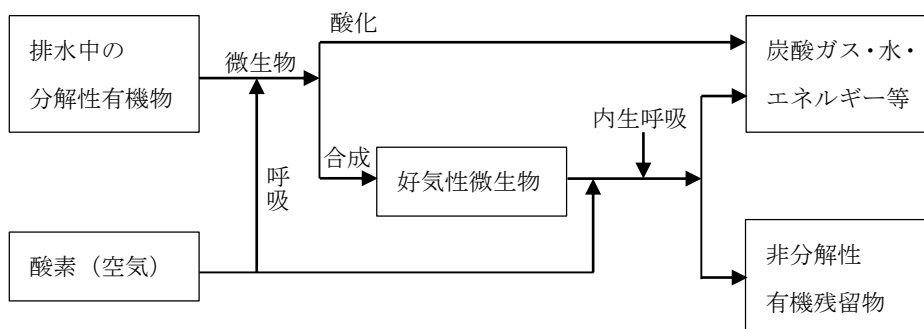
嫌気性消化槽において消化に必要な日数が 30 日間程度に対して、好気性消化槽では 10 日間程度であるため小さい容量の水槽で処理ができる。嫌気性消化槽の様に気密性、保温性にそれほどの配慮を必要としない構造となった。

し尿が槽内を短絡しないように好気性消化槽は 4 槽程度に分割し、これによって BOD 除去率を高め、また、浄化槽汚泥の混入比率が高くなっても、嫌気性消化法で見られた消化ガス発生量が減少するなどの機能上の支障は生じないものである。

嫌気性消化処理方式と比べ、曝気動力を要するので除去 BOD 量当たりの運転経費が高額になる傾向にあり、余剰汚泥の発生量が多く、その脱水性も一般的に悪い傾向がある。

好気性微生物を利用した処理の仕組みを図 2.4-1 に示す。処理の仕組みについて、排水中の分解性有機物は、加水分解後、微生物体内に取り込まれて酸化され炭酸ガス・水などを生成する。一方、微生物は酸化反応によって有機物を新しい細胞物質に合成する。

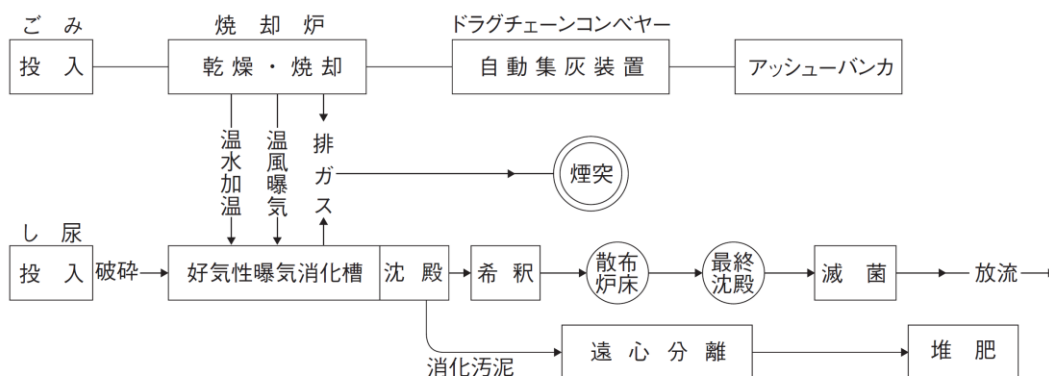
好気性微生物は、有機物が少なくなると微生物自身の内生呼吸による酸化反応を行う。酸化されない有機残留物は内生呼吸により細胞物質とともに非分解性有機残留物として最終的に余剰汚泥となり系外に排出される。



(出典：技術管理者受講資格指定講習)

図 2.4-1 好気性微生物を利用した処理のしくみ²⁾

本方式の開発・実用化に当たって、三重県楠木町で行われた実証試験時のフローシートを図 2.4-2 に示す。この実証試験では好気性曝気消化槽をごみ焼却炉の余熱利用により 25℃以上に加温し、し尿処理量 10 kL/日、消化日数 15～20 日、希釈倍率は 5～10 倍で実施された²⁾。



(出典：公害・衛生工学大系 I)

図 2.4-2 好気性消化方式の実証試験のフローシート (三重県楠木町)³⁾

(b) フローシート

好気性消化方式の標準的なフローシートを図 2.4-3 に示す。

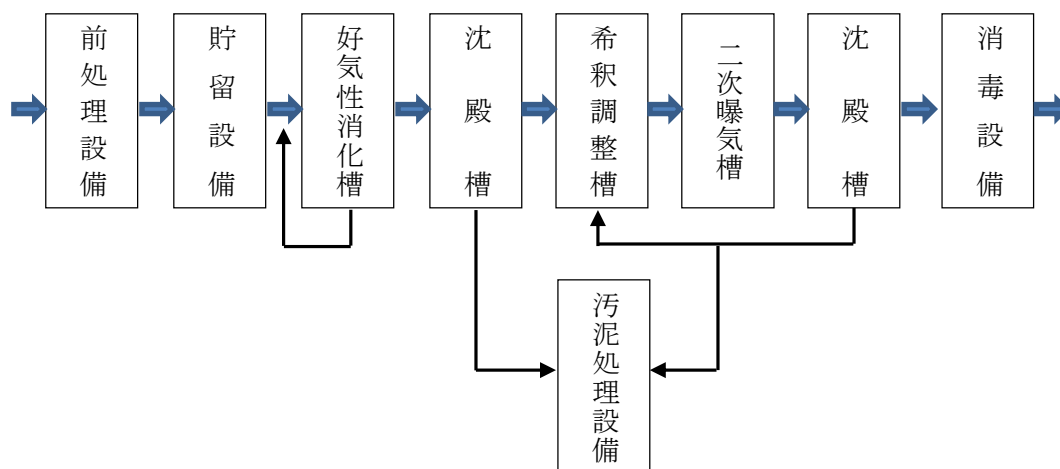


図 2.4-3 好気性消化方式の標準的なフローシート

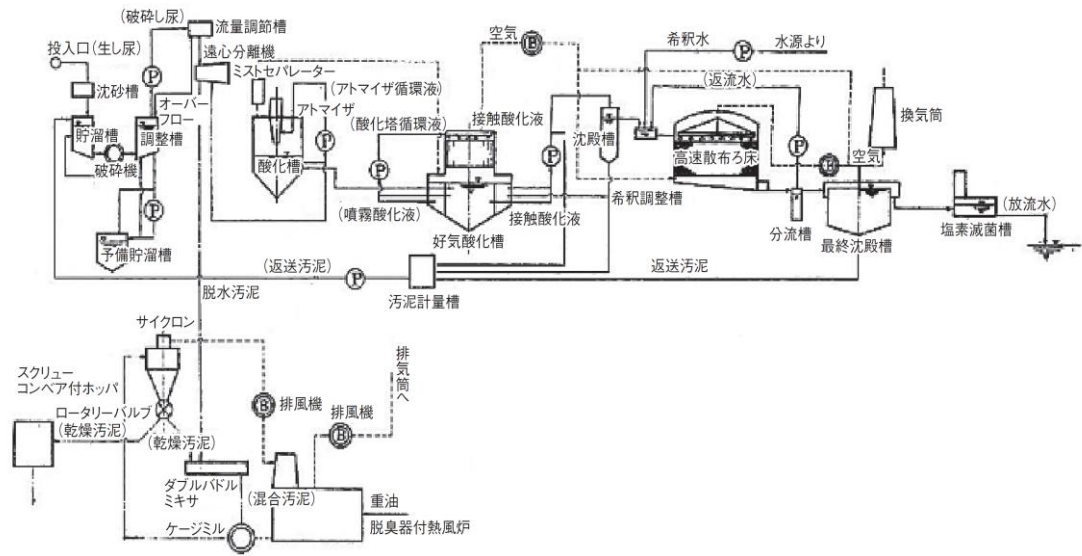
(2) 高速酸化処理方式

(a) 特徴

高速酸化処理方式は好気性消化方式の変法に位置付けされる。前処理（破砕）後、遠心分離機により分離された分離液を高速酸化槽に設置した空中散布型曝気装置アトマイザに送り、アトマイザの回転により、汚泥が分散され空気と接触することで強制的に酸化させて酸化効率を上げる。高速酸化槽と接触酸化塔はそれぞれポンプ循環により、空気と十分に接触させて好気性消化を促進させる。その滞留時間は概ね 3 日間、BOD 除去率は 95% である。酸化脱離液はほぼ 20 倍希釈後二次処理設備において処理をする。

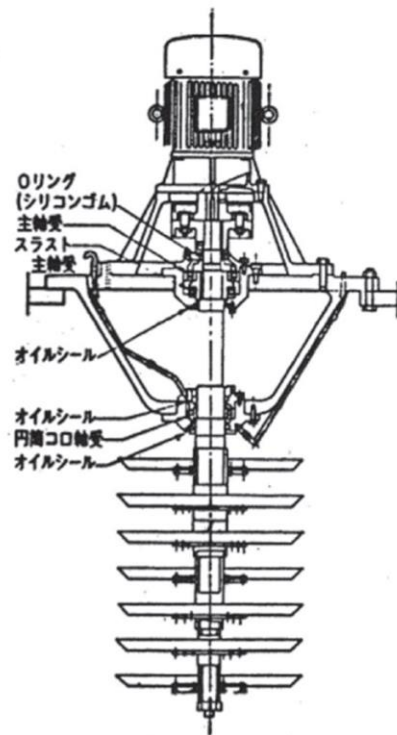
し尿の高速酸化の課題は接触酸化塔の合理化による酸化効率の向上、酸化液の活性汚泥処理の検討などがあった。これらの技術的な対応はやがて 2 段活性汚泥処理プロセス開発に繋がるのである³⁾。

佐賀県鳥栖市の高速酸化処理施設のフローシートおよび空中散布型曝気装置を図 2.4-4 および図 2.4-5 に示す。



(出典：わが国のし尿処理技術の歴史第9回第5章，33)

図 2.4-4 し尿の高速酸化施設（佐賀県鳥栖市）⁴⁾



(出典：わが国のし尿処理技術の歴史第9回第5章，32)

図 2.4-5 空中散布型曝気装置（アトマイザ）⁴⁾

(b) フローシート

高速酸化処理方式の標準的なフローシートを図 2.4-6 に示す。

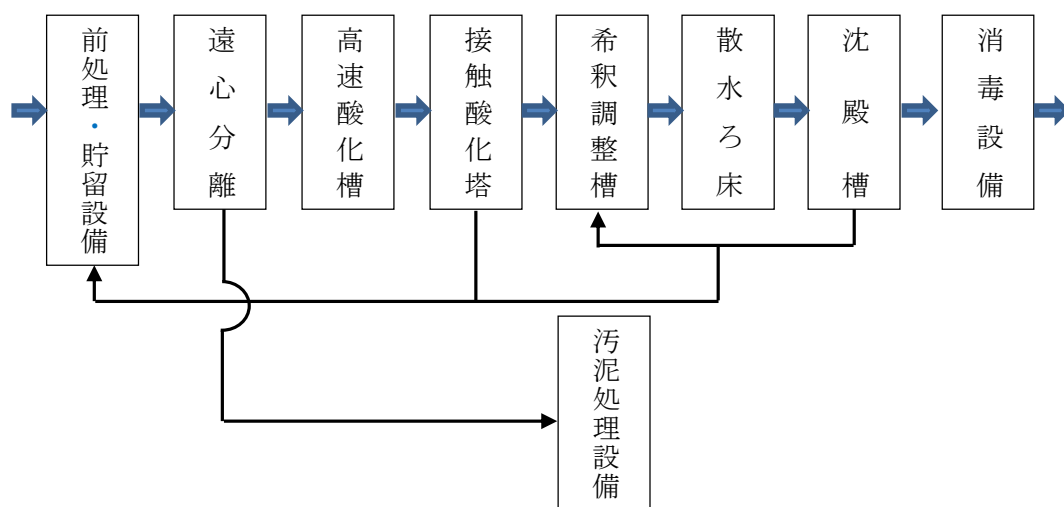


図 2.4-6 高速酸化処理方式の標準的なフローシート

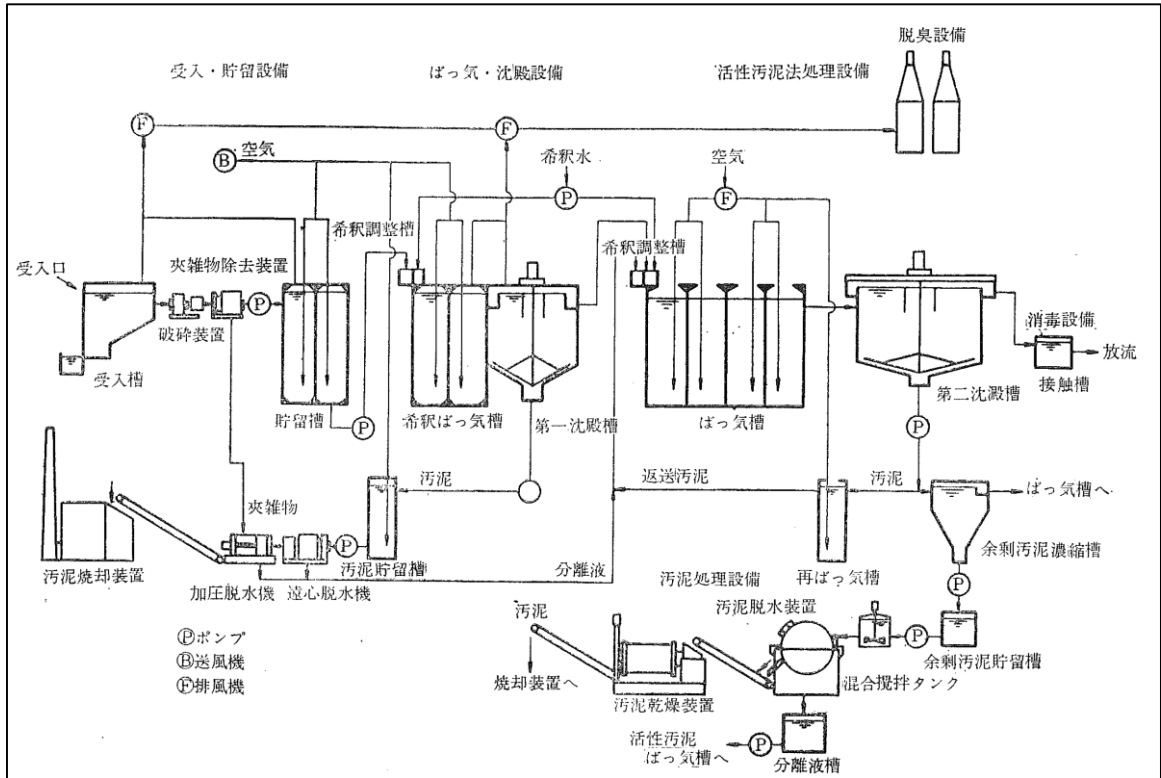
(3) 希釈曝気処理方式

(a) 特徴

希釈曝気処理方式はし尿を希釈後、曝気および固液分離を行い、固液分離後の上澄液を活性汚泥法により処理する方式で、受入・貯留設備、曝気・沈殿設備、活性汚泥法処理設備および消毒設備をこの順序に組み合わせ、これに汚泥処理設備と脱臭設備を付属させたものである。

処理は一次処理および二次処理の工程に分けることができる。このうちの一次処理で希釈する特徴が希釈曝気処理方式の名称のもとになっている。前処理（破碎・きょう雑物除去）された分離液を 5～10 倍希釈後、活性汚泥法により処理を行い、腐敗性の高いし尿は予備曝気により好気性に転換すると同時に揮発性の阻害物質を除外する。予備曝気を行ったし尿は沈殿性浮遊物の凝集性を促進して第一沈殿槽で固形物を固液分離する。さらにその流出液を残余の希釈水で希釈し二段目の活性汚泥法処理設備によって処理を行う。

希釈曝気処理方式の施設構成（例）を図 2.4-7 に示す。



(出典：構造指針解説，207)

図 2.4-7 希釈曝気処理方式の施設構成 (例)⁵⁾

(b) フローシート

希釈曝気処理方式の標準的なフローシートを図 2.4-8 に示す。

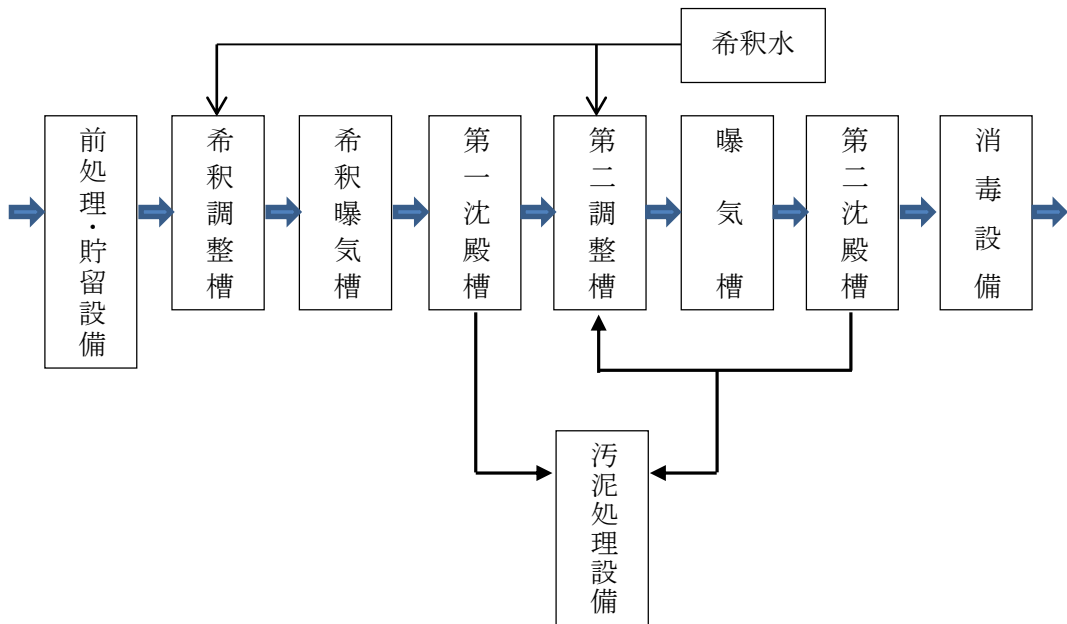


図 2.4-8 希釈曝気処理方式の標準的なフローシート

(4) 一段活性汚泥処理方式

(a) 特徴

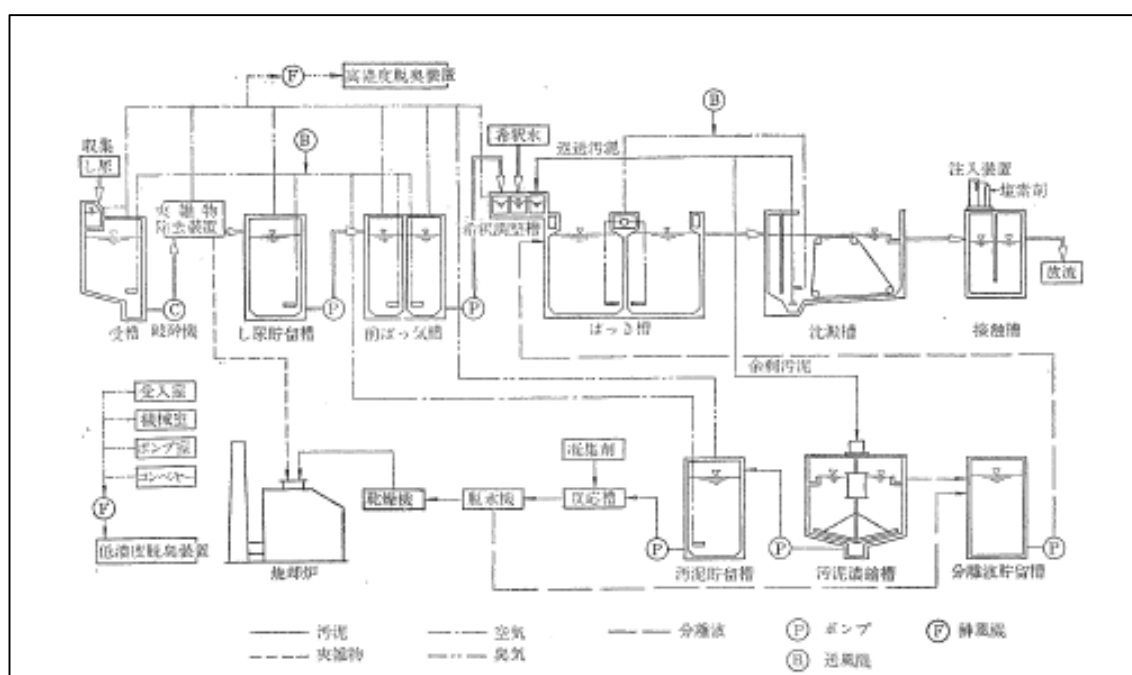
一段活性汚泥処理方式はし尿を希釈せず短時間予備的に曝気を行った後希釈し、活性汚泥法により処理する方式で、受入・貯留設備、前曝気設備、活性汚泥法処理設備および消毒設備をこの順序に組み合わせ、これに汚泥処理設備と脱臭設備を付属させたものである。

前処理（破砕・きょう雑物除去）された分離液を前曝気槽で2~3日間の滞留で連続曝気を行い、BODを除去する。BOD除去率は前曝気で20%程度、プロセス全体で概ね95%である。

無希釈し尿の予備曝気一次処理工程は、阻害物質の揮散促進や臭気成分発生抑制など後段の活性汚泥法による処理に好影響を及ぼす。一次処理工程はし尿を曝気するだけであり、極めて単純なプロセスで、維持管理が容易である。

曝気槽までの一次処理工程でのBOD除去率は30%であり、他の処理方式と比較して除去率は低くなっている。また、し尿のBOD、SSの除去は二次処理工程の活性汚泥処理に比重がかけられている。

一段活性汚泥処理方式の施設構成（例）を図2.4-9に示す。



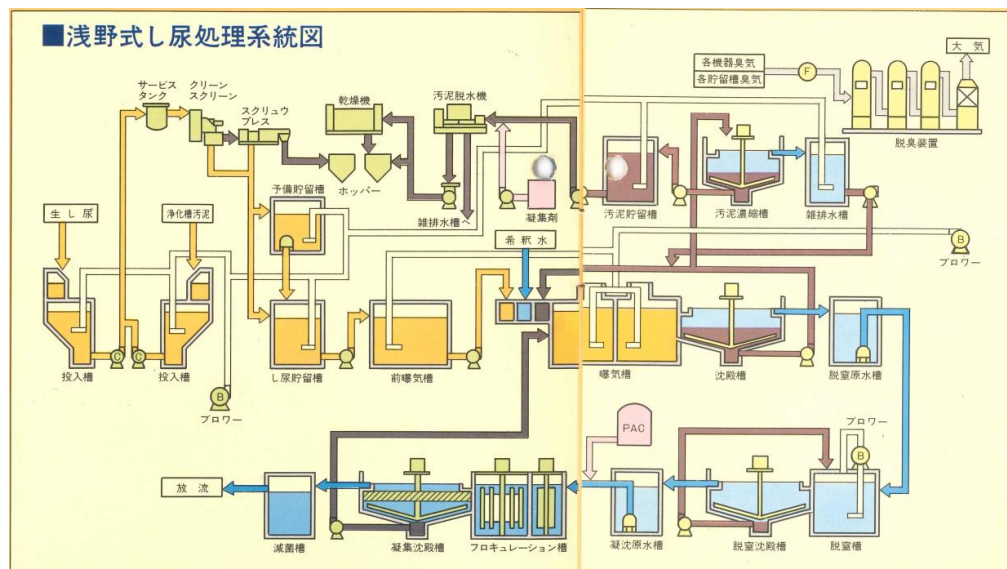
(出典：構造指針解説)

図 2.4-9 一段活性汚泥処理方式の施設構成（例）⁶⁾

問題点の一つとして、沈殿槽内での脱窒素反応で底部に堆積した汚泥が絶え間なく浮上したことにより沈殿槽でスカムが発生し、越流する現象が起こった。その対応策

として、凝集沈殿プロセスを付加するフローが採用された。

一段活性汚泥処理方式に凝集沈殿プロセスを付加した施設構成（例）を図 2.4-10 に示す。



(出典：浅野工事（株）パンフレット)

図 2.4-10 一段活性汚泥法に凝集沈殿プロセスを付加した施設構成（例） 7)

(b) フローシート

一段活性汚泥処理方式の標準的なフローシートを図 2.4-11 に示す。

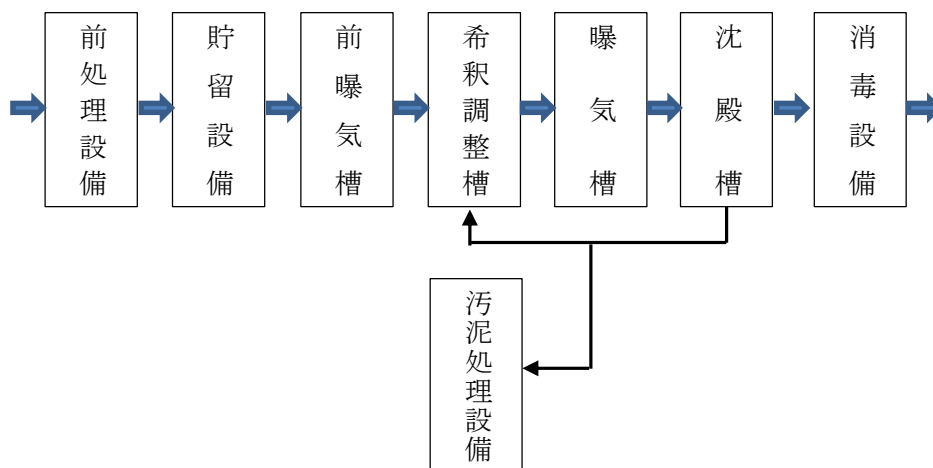


図 2.4-11 一段活性汚泥処理方式の標準的なフローシート

(5) 二段活性汚泥処理方式

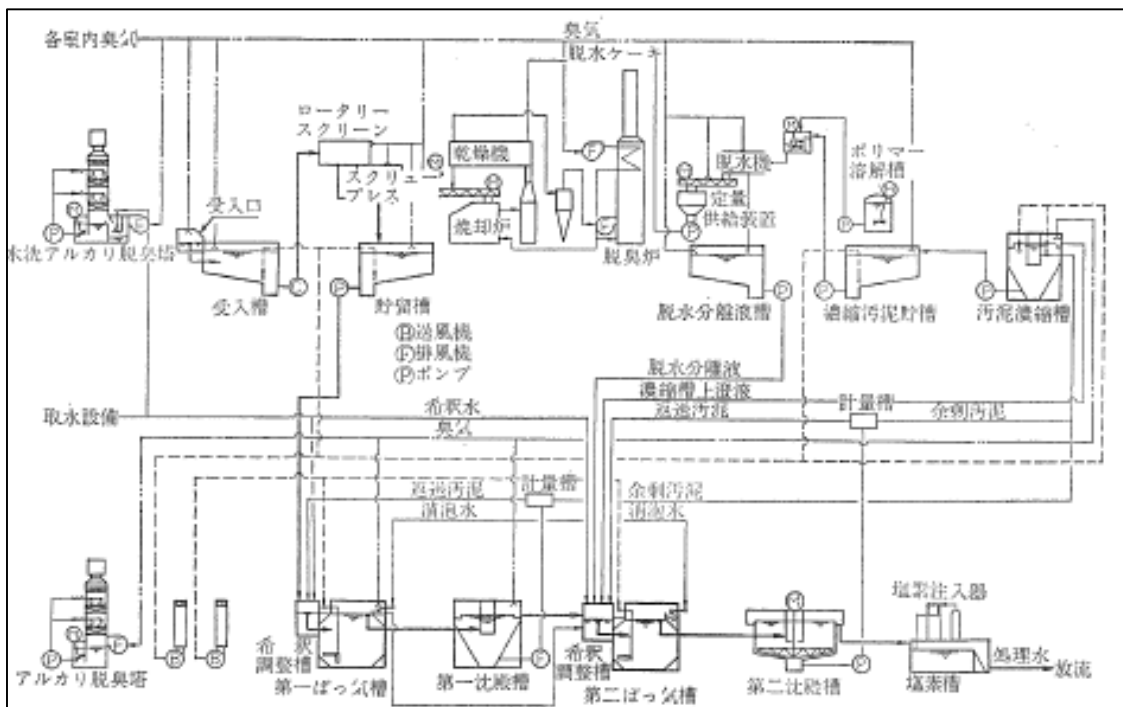
(a) 特徴

二段活性汚泥処理方式はし尿を希釈後、二段活性汚泥法により処理する方式で、受入・貯留設備、第一活性汚泥法処理設備、第二活性汚泥法処理設備および消毒設備をこの順序に組み合わせ、これに汚泥処理設備と脱臭設備を付属させたものである。

前処理(破碎・きょう雑物除去)された分離液を希釈後活性汚泥法により処理を行い、さらにその流出液を残余の希釈水で希釈し二段目の活性汚泥法処理設備によって処理を行う。

第一活性汚泥処理設備(第一曝気槽+第一沈殿槽)でBOD除去率は80%を標準とされ、その際のBOD容積負荷を $1\text{ kg/m}^3\cdot\text{日}$ 以下としている。この場合、曝気槽混合液の水温がBOD除去率に影響するので、少なくとも $10\sim 35^\circ\text{C}$ の範囲に収まるように希釈水量を調整することが望ましいとされる。第二活性汚泥処理設備(第二曝気槽+第二沈殿槽)でのBOD除去率は流入BODに対して80%以上である。

二段活性汚泥処理方式の施設構成(例)を図2.4-12に示す。



(出典：構造指針解説)

図 2.4-12 二段活性汚泥処理方式の施設構成 (例) 8)

(b) フローシート

二段活性汚泥処理方式の標準的なフローシートを図 2.4-13 に示す。

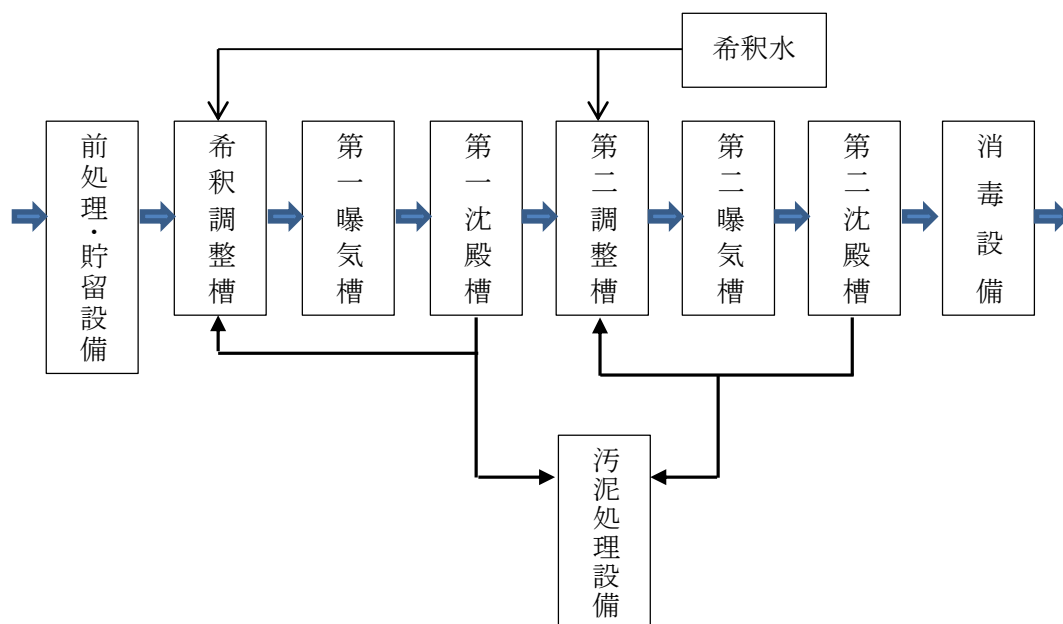


図 2.4-13 二段活性汚泥処理方式の標準的なフローシート

(6) その他

(a) 海水希釈

希釈水に海水を用いる海水希釈は差支えなく、20～30 倍希釈、BOD 容積負荷 $0.5\sim 0.6 \text{ kg/m}^3\cdot\text{日}$ で 90%以上の BOD 除去率が得られている⁹⁾。

2.4.3 主要設計条件等^{3) 10) 11)}

(出典：し尿処理ガイドブック(第二版)，し尿処理構造指針解説(1979 年版)，公害・衛生工学大系 I)

(1) 好気性消化処理方式

①好気性消化槽

滞留時間：10～15 日間

BOD 容積負荷： $1.0 \text{ kg-BOD/m}^3\cdot\text{日}$ 以下

加温式にあつては BOD 容積負荷： $1.5 \text{ kg-BOD/m}^3\cdot\text{日}$ 以下

BOD-MLSS 負荷： $0.125 \text{ kg-BOD/kg-MLSS}\cdot\text{日}$ 以下

必要空気量： $3.0\text{m}^3/\text{m}^3\cdot\text{時}$ (空気溶解効率 4%として)

②沈殿槽

滞留時間：4 時間

水面積負荷： $10\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{日}$ 以下

越流負荷： $15\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{日}$ 以下

③希釈調整槽

希釈倍率：20 倍希釈

④曝気槽

BOD 容積負荷：0.4 kg-BOD/m³・日以下

必要空気量：1.2 m³/m³・時（高圧散気式として）

⑤第 2 沈殿槽

滞留時間：3 時間

水面積負荷：18 m³/m²・日以下

越流負荷：70 m³/m・日以下

(2) 高速酸化処理方式

①高速酸化槽（噴霧酸化槽）

滞留時間：2 時間

噴霧循環供給量：14Q

BOD 除去率：10～30%（アトマイザの設置による）

②接触酸化槽（接触酸化塔）

滞留時間：3 日間以上

濾材表面積：170 m²/ m³

BOD 容積負荷：12 kg-BOD/m³・日以下

散水量：250Q

BOD 除去率：60～65%

(3) 希釈曝気処理方式

①第 1 希釈調整槽

希釈倍率：10～15 倍

②希釈曝気槽

滞留時間：8 時間

必要空気量：2.5 m³/m³・時

BOD 容積負荷：4.0 kg-BOD/m³・日以下

③第 1 沈殿槽

滞留時間：4 時間以上

水面積負荷：18 m³/m²・日以下

越流負荷：70 m³/m・日以下

④第 2 希釈調整槽

希釈倍率：10 倍希釈（第 1 希釈槽と合わせて 20 倍を標準とする）

⑤曝気槽

BOD 容積負荷：0.5 kg-BOD/m³・日以下

必要空気量：1.5 m³/m³・時

(4) 一段活性汚泥処理方式

①前曝気槽（無希釈曝気槽）

滞留時間：2日間以上

必要空気量：3.0 m³/m³・時

②希釈調整槽

希釈倍率：20倍希釈

③曝気槽

BOD容積負荷：0.5 kg-BOD/m³・日以下

必要空気量：1.5 m³/m³・時

(5) 二段活性汚泥処理方式

①第1希釈調整槽

希釈倍率：5～8倍希釈

②第1曝気槽

BOD容積負荷：0.5 kg-BOD/m³・日以下

必要空気量：2.0 m³/m³・時

③第2曝気槽

BOD容積負荷：0.4 kg-BOD/m³・日以下

必要空気量：1.2 m³/m³・時

各処理方式の工程別のBOD負荷等を表2.4-1に示す。

表 2.4-1 好気性処理方式工程別のBOD負荷など¹²⁾

処理方式	1次処理の性能 mg/lまたは%	2次処理		
		BOD負荷 kg/m ³ ・日	送気量 m ³ /m ³ ・時	BOD除去率 %
嫌気性消化処理	脱離液BOD 2500	0.4	1.2	80
		(0.6)*	(2.0)*	(80)*
好気性消化処理	脱離液BOD 2500	0.4	1.2	80
希釈曝気処理	BOD除去率 50	0.5	1.5	92
1段活性汚泥法処理	BOD除去率 30	0.5	1.5	94
2段活性汚泥法処理	BOD除去率 80	0.4	1.2	80

* 低希釈による場合

(出典：し尿処理ガイドブック)

2.4.4 当該技術が果たした役割

好気性処理方式は主流であった嫌気性消化処理方式に代わり、好気性処理を行うことにより処理効率を上げ、よりコンパクトな処理施設を実現した。また、それまでの土木構造物の組み合わせではなく、水槽部も構造物の中に一体として収まる構造になり外観上も一新されることとなった。

1970年（昭和45年）頃より生物学的脱窒素技術の開発が始まり、その技術が確立した1975年（昭和50年）頃には低希釈二段活性汚泥法（現標準脱窒素処理方式）の建設件数が徐々に増加してきた。

各水処理メーカーが研究開発を行った好気性処理方式にかかわる開発および建設の履歴は以下の日本環境衛生施設工業会の「日環工30年のあゆみ」に記載されているとおりである。

- (1) 浅野環境ソリューション株式会社¹³⁾（当時の浅野工事株式会社）
 - 1959（昭和34）年 浅野式酸化処理方式(一段活性汚泥法)の開発
 - 1961（昭和36）年 一段活性汚泥法の第1号施設の建設
 - 1973（昭和48）年 好気性消化法+凝集沈殿の第1号施設の建設
 - 1974（昭和49）年 一段活性汚泥法+凝集沈殿の第1号施設の建設
 - 1976（昭和51）年 窒素除去および高度処理の実証試験
 - 1978（昭和53）年 低希釈法一段および二段活性汚泥法の実証試験
- (2) 日立造船株式会社¹⁴⁾（当時のアタカ工業株式会社）
 - 1973（昭和48）年 酸化処理法(好気性処理方式)の第1号施設の建設
 - 1974（昭和49）年 酸化処理方式に機械曝気装置(ディスパゲーター)を採用
- (3) 水ing株式会社¹⁵⁾（当時の荏原インフィルコ株式会社）
 - 1960（昭和35）年 嫌気性消化方式の二次処理に活性汚泥法を採用
 - 1968（昭和43）年 硝化脱窒素法のデータの蓄積
 - 1976（昭和52）年 直接循環式硝化脱窒素法(デニパック・プロセス)の建設
- (4) 栗田工業株式会社¹⁶⁾
 - 1968（昭和43）年 嫌気性消化方式の二次処理に無希釈活性汚泥法を採用
 - 1972（昭和47）年 好気性消化処理方式の1号施設の建設
 - 1976（昭和51）年 生物学的脱窒素を基本にした「ステップ脱窒方式」の第1号施設の建設
- (5) クボタ環境サービス株式会社¹⁷⁾（当時の株式会社クボタ）
 - 1964（昭和39）年 酸化処理方式(好気性処理法)の第1号施設の建設
 - 1971（昭和46）年 凝集沈殿法による高度処理を付した酸化処理施設の建設
 - 1972（昭和47）年 酸化処理方式に窒素除去(アンモニアストリッピング)を

- 付した施設の建設
- 1977 (昭和 52) 年 生物学的脱窒素法(低希釈法)「ニトロサイクルシステム」の第 1 号施設の建設
- (6) 住友重機械エンバイロメント株式会社¹⁸⁾ (当時の住友重機械株式会社)
- 1967 (昭和 42) 年 循環式活性汚泥法の第 1 号施設の建設(散水汙床改造)
- 1977 (昭和 52) 年 好気性消化+凝集沈殿の第 1 号施設の建設
- 1979 (昭和 54) 年 間欠曝気好気性消化(生物脱窒)「スミステップ」試験開始
- 1980 (昭和 55) 年 好気性消化(生物脱窒素)+高度処理の第 1 号施設の建設
- 1985 (昭和 60) 年 間欠曝気好気性消化「スミステップ」の第 1 号施設の建設
- (7) 株式会社タクマ¹⁹⁾
- 1965 (昭和 40) 年 酸化方式(希釈曝気方式)の第 1 号施設の建設
- 1977 (昭和 52) 年 好気性消化方式の第 1 号施設の建設
- (8) 株式会社西原環境²⁰⁾ (当時の株式会社西原環境衛生研究所)
- 1979 (昭和 54) 年 低希釈一段活性汚泥法の第 1 号施設の建設

2.4 参考文献

- 1) し尿処理ガイドブック編集委員会：し尿処理ガイドブック，環境技術研究会，429-458（1978）.
- 2) 財団法人日本環境衛生センター編：技術管理者受講資格指定講習，295（1994）.
- 3) 石橋多聞：公害・衛生工学大系 I，日本評論社，172（1966）.
- 4) 井上雄三：わが国のし尿処理技術の歴史第 9 回第 5 章大きな課題を抱えていたし尿嫌気性消化（2）～必然であったのか？酸化処理法の普及発展～，月刊浄化槽，5月号（398），31-35（2009）.
- 5) 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，社団法人全国都市清掃会議，207（1979）.
- 6) 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，社団法人全国都市清掃会議，218（1979）.
- 7) 浅野工事株式会社：パンフレット「羽幌町外 2 町村衛生施設組合 し尿処理施設」，3-4（1980）.
- 8) 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，社団法人全国都市清掃会議，226（1979）.
- 9) 矢込堅太郎：用水と廃水 Vol.5, No.7，40-48（1963）.
- 10) し尿処理ガイドブック編集委員会：し尿処理ガイドブック（第二版），環境技術研究会，75-137（1988）.
- 11) 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，社団法人全国都市清掃会議，186-232（1979）.
- 12) し尿処理ガイドブック編集委員会：し尿処理ガイドブック，環境技術研究会，86（1978）.
- 13) 浅野工事株式会社：日環工 30 年のあゆみ，日本環境衛生工業会，118-119（1992）.
- 14) アタカ工業株式会社：日環工 30 年のあゆみ，日本環境衛生工業会，120-121（1992）.
- 15) 荏原インフィルコ株式会社：日環工 30 年のあゆみ，日本環境衛生工業会，122-123（1992）.
- 16) 栗田工業株式会社：日環工 30 年のあゆみ，日本環境衛生工業会，124-125（1992）.
- 17) 株式会社クボタ：日環工 30 年のあゆみ，日本環境衛生工業会，128-129（1992）.
- 18) 住友重機械工業株式会社：日環工 30 年のあゆみ，日本環境衛生工業会，134-135（1992）.
- 19) 株式会社タクマ：日環工 30 年のあゆみ，日本環境衛生工業会，136-137（1992）.
- 20) 株式会社西原環境衛生研究所：日環工 30 年のあゆみ，日本環境衛生工業会，140-141（1992）.

2.5 湿式酸化処理方式

2.5.1 はじめに

湿式酸化処理方式は、好気性処理方式から標準脱窒素処理方式へと移行していく途上で発生した処理方式であり、高温高压連続で処理する技術を導入しており、これまでの水処理とは異質な処理方式である。

1950年中盤（昭和30年後半）から民間において物理化学方式での新しいし尿処理技術の開発が始められ、各種の処理法が1965年代（昭和40前半）に出現した。

その最初のものが、1968（昭和43）年新潟県で採用された湿式酸化処理方式である。この方式はし尿を高温・高压下で空気を用いてし尿を酸化分解し、その処理水を活性汚泥処理する方法であり、建設敷地が少なくて済み、前処理が破碎のみでし渣・汚泥の焼却設備が不要といった特長を有している。この技術は1964（昭和39）年米国より技術導入されたが、下水汚泥処理用に開発されたものであったので1965（昭和40）年からし尿処理に適用するための実用化研究が始められ、1966（昭和41）年に「新処理技術」として評価された。その後1971（昭和46）年に「し尿処理施設の施設基準」に湿式酸化処理方式が追加されている。

その後、1977（昭和52）年以降は高度処理（窒素、COD、リン、色）に対する要望に対処するために既設プラントの二次処理を活性炭・活性汚泥混合処理方式に改良した施設が1977（昭和52）年に千葉県君津市で稼働し、また標準脱窒素処理方式に改良した施設が1982（昭和57）年に滋賀県大津市で稼働しており、これまでに30数施設が建設された¹⁾。

湿式酸化処理は、高温・高压で処理を行う燃焼処理方式のため、他の生物処理によるし尿処理とは異なり、前処理や汚泥処理が別途必要ないことや、湿式酸化処理の後段で粉末活性炭を投入する場合に、この活性炭を返送し湿式酸化処理することで活性炭の再生も可能なことなど、湿式酸化処理特有の利点も多くみられる処理方式である。

ただその一方で、燃焼処理であるため、効率的な運転のためには温度降下を防止するための24時間連続運転が基本になることや、比較的運転に高度な知識が必要なこと、法的にも高压ガス保安法の適用を受けるなど運転管理や保守管理面での費用が高価となる欠点があった。

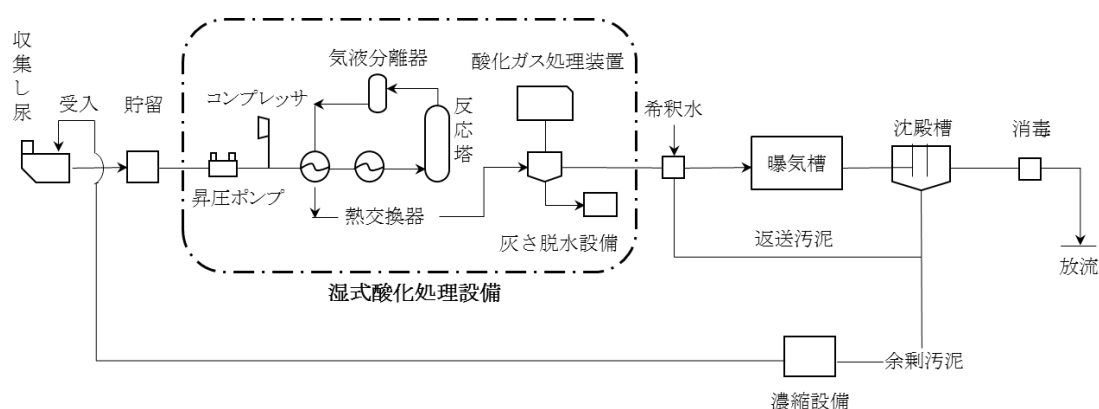
加えて、反応塔に必要なチタン材も高いグレードの材質が要求され、極めて高価な設備となってしまい、1970年代（昭和50年前半）以降はほとんど建設されなくなってしまった²⁾。

2.5.2 湿式酸化法の原理

湿式酸化の原理は燃焼と同じく、高温条件下での空気酸化であり、し尿中に含まれる可燃性有機物（脱脂綿、ボロ切れ、ゴム製品等を含む）のほとんどすべてを酸化分解することが可能である。

このため本方式ではきょう雑物の除去を目的とするスクリーンおよびスクリーンレス等の前処理設備は不要であり、また焼却炉も不要である。さらに、二次処理設備より発生する余剰汚泥も、受入槽へ戻して、し尿とともに処理できる。

本方式のフローシートを図 2.5-1 に示す。



(出典：構造指針解説 1988 年版,257)

図 2.5-1 湿式酸化処理方式フローシート³⁾

図 2.5-1 に示すように、収集し尿、浄化槽汚泥および余剰汚泥は、受入、貯留槽より昇圧ポンプへ送られ、約 8 MPa に昇圧されてからコンプレッサから供給される空気と配管中で混合され、熱交換器の内管に入る。ここで外管を通る反応塔からの流出高温酸化液の熱を受け、熱交換器を出る時に、約 200℃ 近くになったものが反応塔へ流出する。反応塔内では、酸化反応が起こっているのので有機物の分解にともなう高熱の発生があり、反応塔の上部に達する間に、液温は約 250℃ 近くまで上昇するが、同時に、し尿中の大部分の有機物が酸化され、褐色の酸化液となり、熱交換器の外管に入る。その後、内管を通過する収集し尿に熱を与えながら次第に冷えてゆき、約 50℃ 近くまで液温が下り、また圧力調節弁で減圧され、酸化ガスと酸化液とに分解される。酸化液中に混入した灰渣は、沈殿分離され薬品も使用せず、そのまま脱水機にて、水分 50% のケーキ状になり排出される。一方灰さを分離した酸化液は清水にて希釈され、活性汚泥法により処理される³⁾。

2.5.3 湿式酸化法の特徴

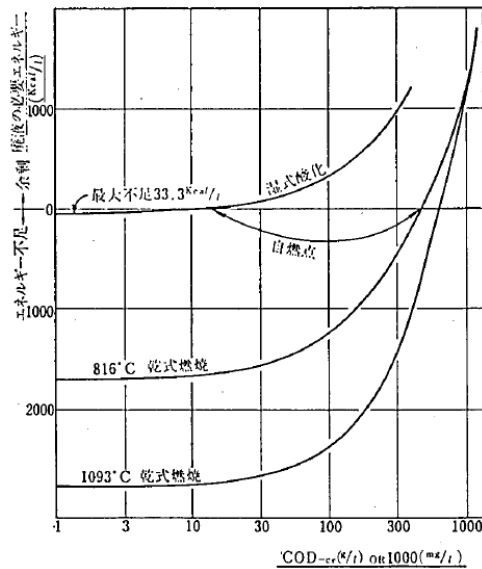
湿式酸化方式のコントロールは比較的単純であり、制御システムにより自動調整される。湿式酸化は水中で行われるため、反応塔内での有機物との反応において、空気不足や熱降下を起こしやすく異常反応を防止できる。この機能に着目して、米海軍は不要発射火薬および爆発物の処置に湿式酸化法を採用した。加えて、湿式酸化法の利点の一つに大気汚染の問題がないことが挙げられる。放出される酸化ガスは、主として空気中の窒素と二酸化炭素であり、硫化物、塩素化合物、または重金属などが最終酸化物の状態で液相に残り硫酸塩、塩酸およびそれらの塩の形となる。しかし酸化の度合によっては、酸化ガス中に数百 ppm の炭水化物を含む場合があるが、その場合触媒またはアフターバーナを設置することにより容易に処置できる。

湿式酸化法は、乾式燃焼法と比較して燃料消費量が少ない利点がある。乾式燃焼法では顕熱と水の蒸発熱のみならず気化熱も必要とし、燃焼温度は 800°C～1,400°Cまで加熱する必要がある。

一方、湿式酸化法では必要エネルギーは流体の入出間のエンタルピーの差だけで良い。図 2.5-2 に示すように、低濃度有機物の酸化に対して、湿式酸化では一般に必要なエネルギーが 140 kJ/L (33 kcal/L) であるのに対し、同じ有機物を乾式燃焼するには 5,400 kJ/L (1,300 kcal/L) のエネルギーを必要とする。自燃（補助燃料を要せず酸化または燃焼を持続すること）するために必要な有機物濃度を COD_{Cr} 値で示せば、湿式酸化では約 15 g/L であるのに対し、乾式燃焼では約 400 g/L を必要とする。

湿式酸化法は本質的にエネルギー保存のプロセスであり、加圧下で制限されたプロセス運転であるので容易に熱交換器等との組み合わせでエネルギー回収することができる³⁾。

湿式酸化方式の大きな特徴として、燃焼処理である湿式酸化処理後に気液分離され排出される臭気に焦げ臭があるため、人の臭覚を刺激しやすく、脱臭方式には十分留意する必要がある。



(出典：湿式酸化による紙パルプ廃液の処理と利用，1)

図 2.5-2 湿式酸化・乾燥燃焼における有機物濃度と必要熱エネルギー⁴⁾

2.5.4 プロセス構成機器

湿式酸化のプロセスを構成する主要機器は、昇圧ポンプ、空気圧縮機、熱交換器、反応塔および気液分離器などであるが、蒸気回収または動力回収の場合はリボイラまたはエキスパンダを付設する。

(1) 昇圧ポンプ

原料物質中に固形物がなく、有機、無機質とも溶解しているものの処理には、通常多段タービンポンプまたはプランジャーポンプを用いる。固形物質とくに砂のような硬質の異物を含む原料にはインペラの摩耗、プランジャーの損失をうけやすいので油圧置換型のポンプを用いる。

油圧置換型ポンプはジンプロ社（米国）の開発によるもので、別名ジンプロポンプとも称するが、2個の高圧シリンダおよびシリンダの中のゴム袋からなり、原料を原料供給ポンプでこのシリンダとゴム袋との間隙に低圧で入れ、次にゴム袋に油圧ポンプで油を所要圧で入れると原料がシリンダから排出される機構となっている。

(2) コンプレッサ（空気圧縮機）

空気量の少ないにもかかわらず圧力が 1.4~21 MPa と高いため、通常往復動圧縮機を用いる。流量、圧力によって段数、シリンダの配列もかわる。

(3) 熱交換器

液体のみの原料には、多管式熱交換器を用いるが、固形物の多い原料特に繊維質などの多いスラッジなどは通常二重管式熱交換器を用いる。

(4) 反応塔

圧力容器の構造となっており、肉厚、高抗張鋼のクラッド鋼製、上昇流型で反応工学に考慮されたトレイを内装している。

(5) 気液分離器

気液混合物が高速で器内に入り、内部を施回しつつ流れる間に液相を沈降させるサイクロン機構である⁴⁾。

2.5.5 設計上の留意事項⁵⁾

(1) 基本事項

湿式酸化処理設備は、し尿等を処理系内に圧入するために必要な昇圧ポンプ、必要な空気を圧入する空気圧縮機、反応による生成熱によってし尿等を予熱する熱交換器及び湿式酸化反応を行うための反応塔から構成される。

- ①湿式酸化処理設備の構造は、きょう雑物による閉塞がなく、管理が容易なものではないなければならない。
- ②湿式酸化処理設備の処理能力は、計画処理量に見合うものでなければならない。一般に活性汚泥処理設備等の二次処理設備より発生する余剰汚泥を濃縮すると、計画処理量の約 10%近くになる。そこで、処理能力の決定にあたり、余剰汚泥量のほか定期点検等による稼働率を考慮して、計画処理量の 1.2 倍の能力を持つ設備を計画すべきである。すなわち、100 kL/日の計画処理量の場合には 120 kL/日の能力を必要とする。
- ③高温、高圧の反応系統の構造及び材質は、高圧ガス取締法、労働安全衛生法等の規則に定められた規格に適合するものでなければならない。
湿式酸化装置においては、SUS316L の使用が多く、チタン材を使用する場合もある。
- ④し尿等の湿式酸化工程による COD_{Cr}(重クロム酸カリウム法による COD をいう。)の減少率(酸化度という)は、40~60%を標準とする。
なお、酸化分離液の BOD は、9,000 mg/L を標準とする。
湿式酸化処理設備の設計は維持管理では、重クロム酸化カリウム法による COD を指標として用いる。収集し尿の過マンガン酸カリウム法による COD(COD_{Mn})及び COD_{Cr}を測定した例を示すと下記のようなになる。

COD_{Mn} 9,000 mg/L

COD_{Cr} 35,000 mg/L

し尿の COD_{Cr} が 35±5 (g/L) 程度であり、装置の運転実績からみた「酸化度」は 230~250℃、7 MPa においておおむね 50%前後である。

酸化液の BOD は一般に 8,000 mg/L 前後であるが、安全をみて 9,000 mg/L を標

準とする。

- ⑤反応温度は、260°C以下とし、圧力はその反応温度下において、し尿等が液相を保つために必要な値とする。
- ⑥反応塔における反応時間は、60分以上とする。
- ⑦湿式酸化処理設備には、気液分離器、固液分離槽等を設けなければならない。

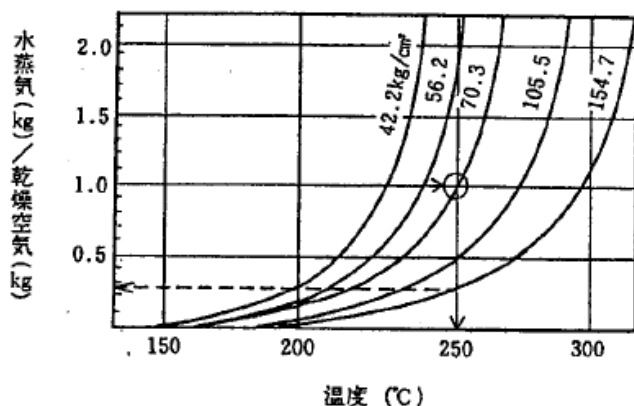
2.5.6 反応温度と圧力の関係

湿式酸化反応は、温度と圧力が主要な支配因子になる。この酸化反応が液中で行われるので、酸化に必要な温度を得るためには、反応圧を所定圧まで高めてやらなければならない。

温度を高めると酸化反応は加速される性質がある。しかし、し尿の温度をあげれば水蒸気の発生量が増加する。そこで反応塔内のし尿を液相のままに保つためには圧力を高めて水の蒸発を防ぐ必要がある。図 2.5-3 は反応塔内で気液を平衡させるための温度、圧力、およびその時の水蒸気と空気との関係を示したものである。

空気・蒸気比 1.0 のところを例にとってみる。横軸にそって 70.3 kg/cm² の線に交わった点の温度は 250°C で平衡しているということであり、し尿の湿式酸化処理方式の運転条件に合致する。さらに横軸をすすむと 154.7 kg/cm² の線とは、290°C のところで交わる。これは空気量を同じにして圧力をあげれば、温度も高いところで平衡することを示している。

一方、154.7 kg/cm²、250°C で交わる点の、縦軸の値は 0.28 である。このことは同じ温度で圧力をあげれば水蒸気が少なくなり系の水分が蒸発するのを防ぎ液相を保つことになる。

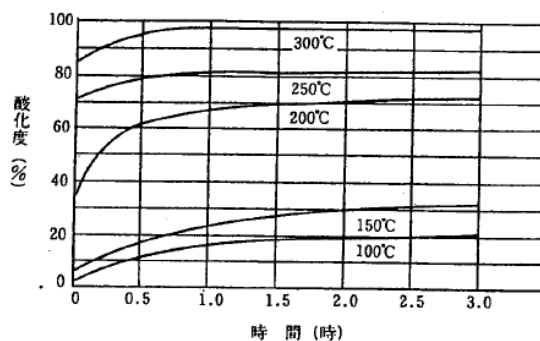


(出典：構造指針解説 1988 年版,260)

図 2.5-3 温度・圧力と空气中飽和水蒸気の関係⁵⁾

2.5.7 反応時間と温度の関係

図 2.5-4 は反応時間と温度およびそのときの酸化度(%)の関係を示している。温度による時間と反応との関係でわかるように 0.5～1 時間で平衡に達し、反応温度が 200℃以上では 60%以上の酸化度が得られる。



(出典：構造指針解説 1988 年版,260)

図 2.5-4 反応時間と温度、酸化度の関係⁵⁾

2.5 参考文献

- 1) 武藤暢夫：廃棄物処理技術概史 水処理編，日環工 30 年のあゆみ，日本環境衛生施設工業会，49（1992）.
- 2) 産業タイムズ社：環境設備計画レポート（平成 7 年度版），（1995）.
- 3) 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，257（1988）.
- 4) 毎床利成：湿式酸化法による紙パルプ廃液の処理と利用，紙パルプ技術タイムス，昭和 50 年 5 月，1-2（1975）.
- 5) 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，258-261（1988）.

2.6 浄化槽汚泥専用処理方式

2.6.1 社会情勢および開発の経緯

(1) 社会的情勢

1970年代（昭和40年代）頃から高度経済成長期に入ると、便所の水洗化志向が強まった。このため、下水道区域でない地域においても浄化槽（単独処理）設置による水洗便所が急速に普及したため、浄化槽汚泥の発生量が急増することとなった。し尿処理施設に搬入される浄化槽汚泥が増加する一方、し尿の搬入量は横ばいで推移することが多く、し尿処理施設に搬入される浄化槽汚泥の割合（浄化槽汚泥混入率）が年々上昇する傾向であった。

浄化槽汚泥はし尿処理施設においてし尿と混合処理することが一般的であった。この頃のし尿処理施設はし尿処理のみを想定して（浄化槽汚泥の処理は想定していない。）設計されている施設が多く、この様な施設において浄化槽汚泥との混合処理をしたため、処理の非効率化または性能低下等の課題が確認された。浄化槽汚泥混入率の上昇に伴い、その傾向は顕著となり、し尿処理施設に浄化槽汚泥を受入れることに消極的な自治体もあった。このため、浄化槽汚泥の特徴を生かした効率のよい処理方式の開発が切望された。

(2) し尿処理施設における浄化槽汚泥混合処理の課題¹⁾²⁾

(a) 浄化槽汚泥の発生量把握に関する課題

浄化槽汚泥は、浄化槽の機能を保持することを目的として定期的に清掃される際に、浄化槽から抜き取られる汚泥であり、浄化槽の区分（単独処理浄化槽、合併処理浄化槽）、処理方式（腐敗式、ばっ気式、その他）、規模、保守・点検方法（清掃方法や頻度等）等により、発生量等が大きく変動する。当時は浄化槽の保守・点検方法等の実情が把握されておらず、浄化槽汚泥の発生原単位（L/人・日）を設定すること、すなわち浄化槽汚泥発生量の予測をすることが非常に困難であった。これらの事情もあり、計画を超える量の浄化槽汚泥が搬入されたことにより、施設の処理機能を圧迫する事例も多かった。

(b) 浄化槽汚泥の搬入変動に関する課題

浄化槽の規模は5人槽～数千人槽のものまで、様々な規模のものがある。大規模浄化槽を清掃した場合等には一時的に多量の浄化槽汚泥がし尿処理施設に搬入される。また、大規模な事業場等において、事業場内の多数の浄化槽を一度に清掃した場合等においても、一時的な搬入増を伴うことがあった。このように、浄化槽汚泥混入率の大きな変動を伴う場合、生物処理における定量負荷管理に苦慮する事例が多かった。

(c) 浄化槽汚泥の性状変動に関する課題

前述したとおり、浄化槽汚泥の性状は、浄化槽の区分、処理方式、保守点検（清掃等）の内容や頻度等によって大きく変動する。表2.6-1は信頼95%範囲で集計した調査結果であるが、時として異常とも思われるような性状の浄化槽汚泥が搬入されるケースも珍しく

ない。特に濃縮汚泥で腐敗が進んだものについては、搬入し尿よりも高いBOD濃度、SS濃度を示す場合もある。浄化槽汚泥の均一化が不十分な場合には、汚濁負荷の変動により生物処理に支障をきたす場合があった。

表 2.6-1 浄化槽汚泥の性状の調査結果例（単独処理浄化槽）^{3) 4)}

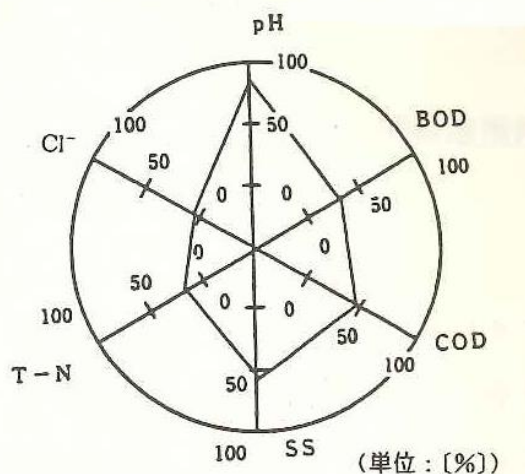
項目	腐敗型浄化槽の清掃汚泥		ばっ気型浄化槽の清掃汚泥	
	平均	信頼 95%範囲	平均	信頼 95%範囲
pH	6.7	6.5~6.9	6.6	6.4~6.8
BOD (mg/L)	5,500	3,800~7,200	2,024	1,200~2,848
COD (mg/L)	5,750	4,200~7,300	826	433~1,211
浮遊物質 (mg/L)	9,000	5,300~12,700	6,223	3,797~8,649
蒸発残留物 (mg/L)	15,000	12,800~17,200	7,103	4,577~9,629
全窒素 (mg/L)	550	370~730	*222	*149~295
塩化物イオン (mg/L)	160	130~180	210	161~259

※アンモニア性窒素+アルブミノイド性窒素。

(d) 低負荷に関する課題

浄化槽汚泥は性状変動が大きい特徴を有するが、一旦はし尿等の処理を行った後に発生する汚泥が主であり、一般的な収集し尿と比較して、全体的に低濃度である。このため、し尿と浄化槽汚泥を混合処理した場合、低負荷による生物処理の不安定化、これに伴う運転管理の困難化など処理機能上の課題が発生した。

また、上記処理機能上の課題に加え、嫌気性消化処理においては、消化ガス発生量が減少したことによる加温用燃料の使用量増加、湿式酸化処理においては原料の持つ熱量低下による燃料使用量増加等、ランニングコスト増加の要因となることもあった。



(出典：技術管理者受講資格指定講習 [し尿処理施設], 317)

図 2.6-1 収集し尿に対する浄化槽汚泥の性状⁵⁾

(3) 浄化槽汚泥専用処理技術の開発¹⁾²⁾⁶⁾

性状変動が大きいという浄化槽汚泥の特性を考慮し、1979(昭和54)年に制定された「し尿処理施設構造指針」では、負荷量の安定化を図る必要性から、受入・貯留設備において浄化槽汚泥専用貯留槽を設ける場合に「計画浄化槽汚泥処理量の5日分」を標準としている(1988年(昭和63年)に一部改正)。

表 2.6-2 構造指針による浄化槽汚泥専用貯留槽容量の標準⁷⁾⁸⁾

当初：昭和54年度	改正時：昭和63年度	
5Qs [m ³]	10 kL/日未満の施設	5Qs [m ³]
	10~30 kL/日の施設	3Qs+20 [m ³]
	30 kL/日以上施設	2Qs+50 [m ³]

※Qs：浄化槽汚泥の計画処理量

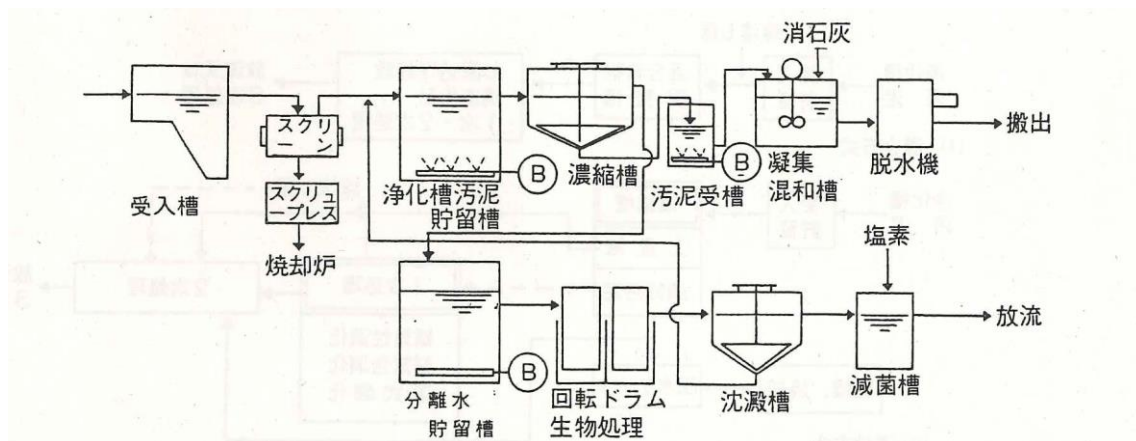
(出典：構造指針解説, 69)

(出典：構造指針解説 1988年版, 86)

一方で、一次処理・二次処理については、各プラントメーカーにより、浄化槽汚泥専用の処理装置・処理プロセスの開発が進んだ。以下に一例を示す。

(a) 石垣式浄化槽汚泥専用処理施設

(ア) フローシート



(出典：し尿浄化槽汚泥専用処理装置の動向, 763)

図 2.6-2 石垣式浄化槽汚泥専用処理施設のフローシート⁹⁾

(イ) システム概要

- ①一次処理：除渣浄化槽汚泥は、貯留槽で余剰汚泥と混合及び均質化後、濃縮槽で濃縮処理される。
- ②二次処理：一次処理水（濃縮槽上澄液）は、回転ドラムにより生物処理される。

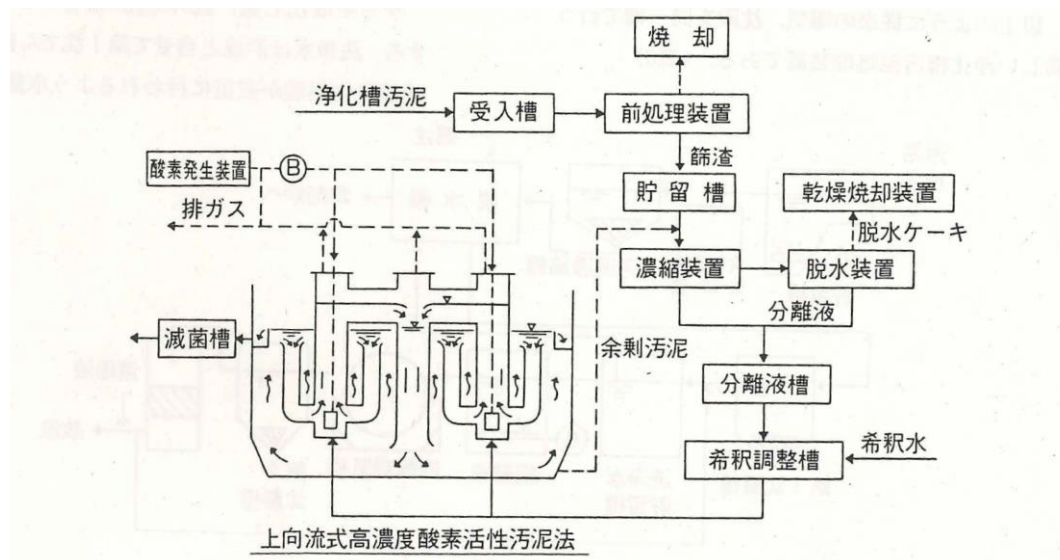
③汚泥処理：一次処理汚泥（濃縮汚泥）は脱水処理される。脱水汚泥は場外搬出、または乾燥・焼却等。

(ウ) システム特徴

- ①二次処理（生物処理）において、返送汚泥が不要である。
- ②汚泥脱水機として加圧・圧搾脱水機（フィルタープレス）を計画しており、薬品等による汚泥調質を行うことで低含水率（50～60%程度）の脱水汚泥が得られる。

(b) タクマ浄化槽汚泥専用処理法

(ア) フローシート



(出典：し尿浄化槽汚泥専用処理装置の動向，768)

図 2.6-3 タクマ浄化槽汚泥専用処理法のフローシート¹⁰⁾

(イ) システム概要

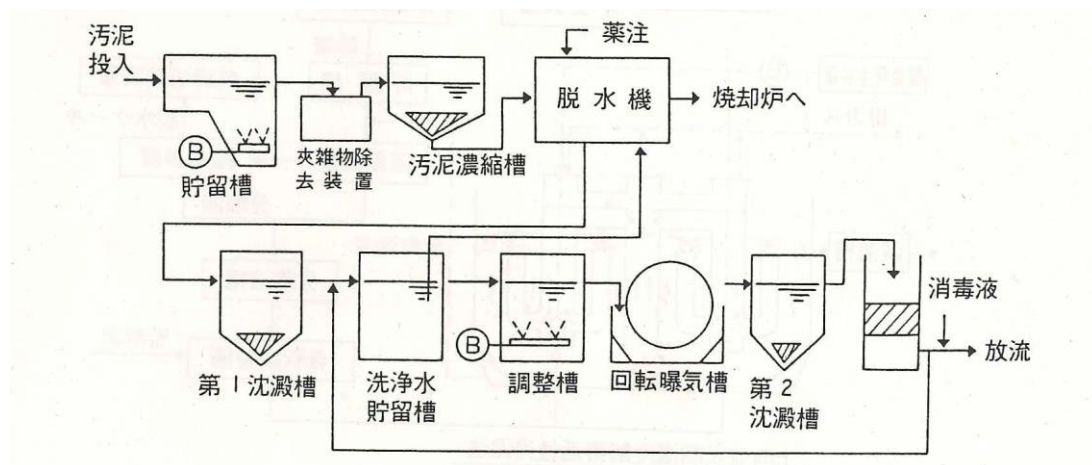
- ①一次処理：除渣浄化槽汚泥は、貯留槽で均質化後、余剰汚泥とともに濃縮装置で濃縮処理される。
- ②二次処理：一次処理水（濃縮分離液）は、上向流式高濃度酸素活性汚泥法により生物処理される。
- ③汚泥処理：一次処理汚泥（濃縮汚泥）は脱水処理される。脱水汚泥は場外搬出、または乾燥・焼却等。

(ウ) システム特徴

- ①二次処理（生物処理）において、ばっ気と沈殿を同一槽で行うため、シンプルな構成となる。

(c) 富士浄化槽汚泥処理設備

(ア) フローシート



(出典：し尿浄化槽汚泥専用処理装置の動向，769)

図 2.6-4 富士浄化槽汚泥処理設備のフローシート¹¹⁾

(イ) システム概要

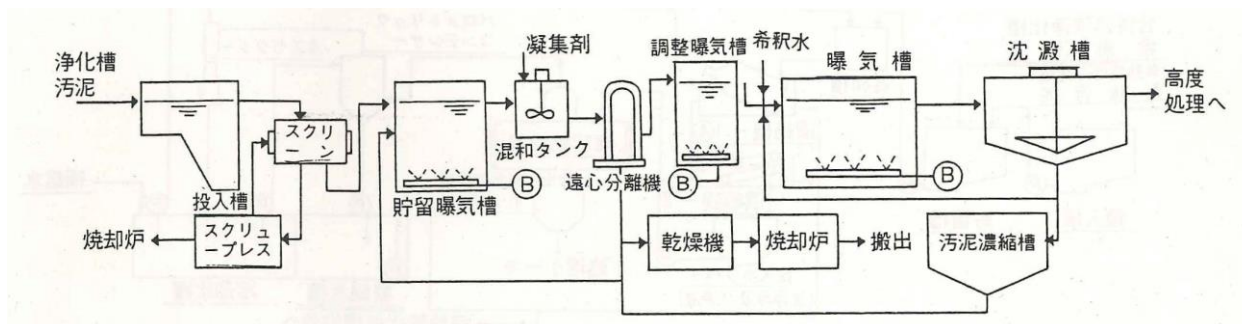
- ①一次処理：除渣浄化槽汚泥は、貯留槽で均質化された後、各沈殿槽汚泥とともに濃縮槽で濃縮後、脱水される。
- ②二次処理：一次処理水（濃縮分離液及び脱水分離液）は、回転曝気槽により生物処理される。
- ③汚泥処理：一次処理汚泥（脱水汚泥）は場外搬出、または乾燥・焼却等。

(ウ) システム特徴

- ①一次処理として脱水まで行うため、一次処理水が低濃度となり、生物処理において希釈操作が不要となる。
- ②二次処理（生物処理）において、汚泥管理が不要であるなど維持管理が容易である。

(d) 三菱し尿浄化槽汚泥処理施設

(ア) フローシート



(出典：し尿浄化槽汚泥専用処理装置の動向，770)

図 2.6-5 三菱し尿浄化槽汚泥処理施設のフローシート¹²⁾

(イ) システム概要

- ①一次処理：除渣浄化槽汚泥は、5日間の貯留ばっ気で均質化された後、凝集剤添加の調質処理を行った後、脱水される。
- ②二次処理：一次処理水（脱水分離液）は、活性汚泥法により生物処理される。
- ③汚泥処理：一次処理汚泥（脱水汚泥）は場外搬出、または乾燥・焼却等。

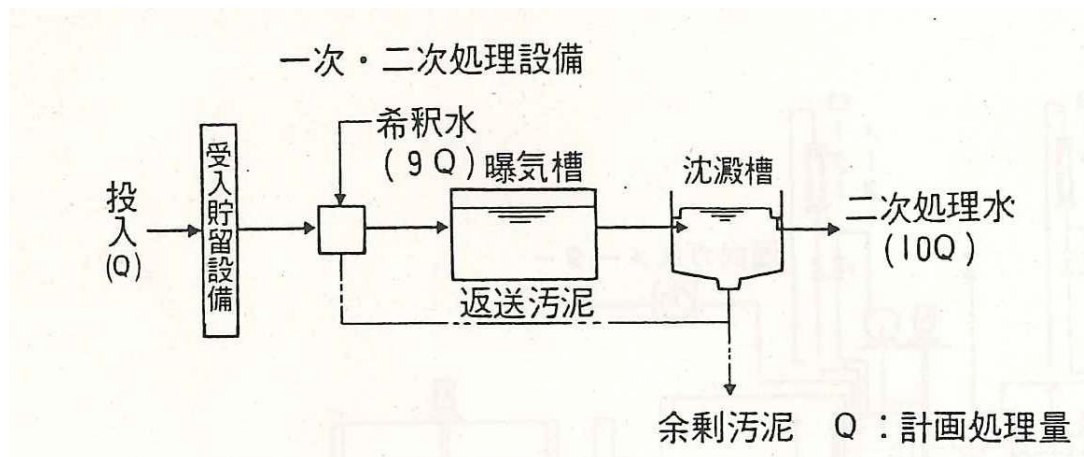
(ウ) システム特徴

- ①二次処理における希釈倍率は3倍以下である。
- ②遠心分離機による一次処理（固液分離）を行うため、活性汚泥法に投入する分離液の性状が安定している。

(e) クリタ浄化槽汚泥専用処理

栗田工業ではし尿処理に準じた処理方法（好気性消化・活性汚泥法処理方式、二段活性汚泥法処理方式）による浄化槽汚泥の単独処理について、検証を実施している。これにより、浄化槽汚泥単独処理において、一次処理（第一活性汚泥法処理設備）のみで、放流基準を満足する水質まで処理できることを確認している。この技術は、大分市大洲園（し尿処理施設）において実証プラントにおける実証試験を経て、指針外技術として公的に認められた（評価された）。

(ア) フローシート



(出典：し尿浄化槽汚泥専用処理装置の動向，765)

図 2.6-6 クリタ浄化槽汚泥専用処理のフローシート¹³⁾

(イ) システム特徴

- ①一段活性汚泥法処理方式に近い方式（前ばっ気槽を設けない点異なる）であり、システムとしてはシンプルである。
- ②浄化槽汚泥を直接固液分離する方法と比較して、浄化槽汚泥に触れる機会が少ない。
- ③汚泥処理が活性汚泥法から発生する余剰汚泥のみである。
- ④浄化槽汚泥を直接好気処理するため、安定処理が可能で、臭気の発生も少ない。

2.6.2 技術の普及と衰退

(1) 実用化以後の動向

(a) 技術の普及

人口増等に伴う処理能力増強対策としてし尿処理施設の増設・改造・更新等を行う際、浄化槽汚泥系列を新たに計画するような形で本処理方式が採用される事例が多かった。この際、現状に見合った設計（浄化槽汚泥の処理を見込んだ設計）を行うことで、増設・改造後のし尿処理施設では浄化槽汚泥についても安定処理が図られた。

(b) 技術の衰退

1960～70年代（昭和30年代中頃～昭和50年代中頃）は国策もあって、全国でし尿処理施設の建設が急ピッチで進んだが、1990年代（平成初頭年代）頃になるとこれらの施設が耐用に達することになった。また、人口増加等による搬入量増加（処理能力不足）等の課題も重なって、し尿処理施設の更新を計画する自治体が増加した。さらにこの頃、生物学的脱窒素処理方式（標準脱窒素処理方式）が開発・実用化されると、これがし尿処理の主流技術となり、標準脱窒素処理方式の普及が急速に進んだ。標準脱窒素処理方式は負荷管理を適切に行えば、し尿と浄化槽汚泥の混合処理が可能であり、標準脱窒素処理方式が普及することで、浄化槽汚泥を専用で処理する必要性が低くなった。さらにこの頃、富栄養化など環境問題がクローズアップされると、し尿処理においても窒素やリン等の除去が要求されることが多くなり、この要求に対応できない浄化槽汚泥専用処理方式の建設実績は激減することとなった。

(2) 意義・役割〔後の技術開発に与えた影響〕

浄化槽汚泥専用処理方式の開発・実用化により、「浄化槽汚泥は固液分離することで、固形物はもとよりBODについても効果的に除去が可能である」といった技術的裏付けができた。その後、本技術は次に示すような技術に応用された。

(a) 浄化槽汚泥混入比率の高い脱窒素処理方式

浄化槽汚泥専用処理方式は浄化槽汚泥のみを対象とした処理技術であり、効率のよい浄化槽汚泥の処理が可能である。時代とともに国民の水洗化志向が強まり、また、国策によりし尿と生活雑排水の合併処理政策が進められると、汲み取り便所（搬入し尿）が減少の一途をたどり、し尿処理施設に搬入される浄化槽汚泥の割合は上昇する一方となった。ただし、し尿処理施設に搬入されるし尿量は、減少が著しいながらもゼロとはならず、引き続きし尿と浄化槽汚泥両方の処理が必要であった。

かかる状況において、浄化槽汚泥を専用とした処理方式に変わり、浄化槽汚泥を主体としながらも、し尿と浄化槽汚泥の混合物を対象とした処理技術の開発が望まれた。浄化槽汚泥専用処理方式の特色である固液分離技術の改良・開発により、浄化槽汚泥混入比率の高い混合し尿を効率的に固液分離（前凝集）する技術が実用化される。「浄化槽汚泥混入比率の高い脱窒素処理方式」は、固液分離（前凝集）と生物学的脱窒素処理を組み合わせた

処理技術である。

(b) 下水道放流への応用 [固液分離・希釈放流方式]

時代とともに下水道整備が進むと、し尿を含めた生活排水の処理は下水道へと移行し、し尿処理施設に搬入されるし尿等が激減することとなった。これに加え、し尿処理施設の場所が下水道区域内に編入された場合には、し尿処理施設に搬入されたし尿や浄化槽汚泥を、簡易な処理をした後、下水道へ放流するといった発想が生まれた。この場合は、河川放流の施設と異なり、処理性能（放流水質）よりも、下水道排除基準を満足する水質まで如何に経済的に処理するかに重点が置かれる。浄化槽汚泥の比率が高い場合、処理対象の混合し尿を固液分離処理（脱水処理）し、分離液を下水道排除基準まで希釈する処理方式（固液分離・希釈放流方式）が多く採用されている。

2.6.3 浄化槽汚泥専用処理方式による処理技術

(1) 浄化槽汚泥専用処理方式の基本原則¹⁾²⁾

浄化槽汚泥の BOD 成分は、一旦生物処理をした後だけに溶解性のものが比較的少なく、BOD 成分の約 55% が固形物に起因する不活性のものである。従って、浄化槽汚泥は固液分離処理することで、固形物はもとより固形物由来の BOD 等を比較的容易に除去することが可能である。

浄化槽汚泥専用処理方式はきょう雑物が除去（除渣）された浄化槽汚泥（除渣浄化槽汚泥）を固液分離処理により効率的に BOD、SS 等を除去し、固液分離後の分離液を活性汚泥法等で処理することにより、BOD₃₀ mg/L 以下、SS₇₀ mg/L 以下の処理水質を得る処理技術である。本技術は 1988（昭和 63）年に構造指針化された。

(2) 基本システム¹⁾²⁾

浄化槽汚泥専用処理方式は、「受入・貯留設備」、「固液分離設備」、「活性汚泥法処理設備」、「消毒設備」からなる水処理工程と、汚泥処理工程等で構成される。

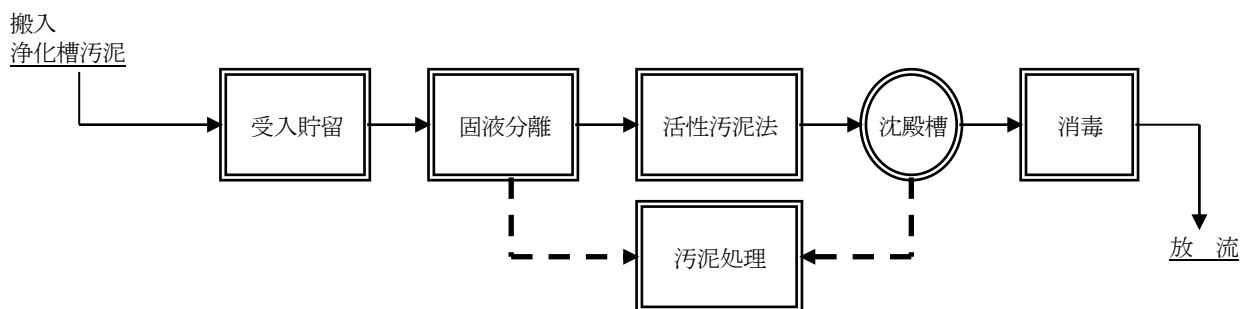
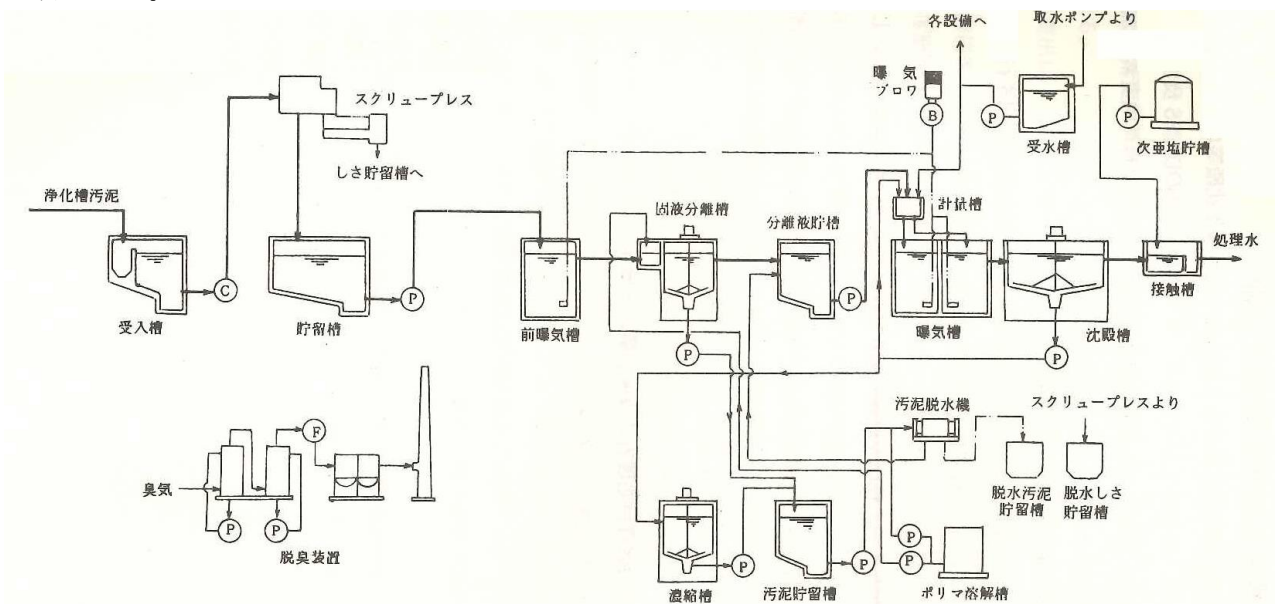


図 2.6-7 標準フローシート

(a) 前ばっ気を行う方式

きょう雑物除去後の除渣浄化槽汚泥を貯留槽または前ばっ気槽等で前ばっ気を行った後、必要に応じて汚泥調質剤添加による調質を行い、固液分離する方式である。

浄化槽汚泥の特質上、搬入される浄化槽汚泥は性状変動が大きい。このため、貯留槽にて性状の均一化を図ることは重要である。前ばっ気を行うことで、安定した性状均一化が図れるほか、固液分離性能の向上、固液分離後における分離液の BOD 低減等の効果も期待できる。

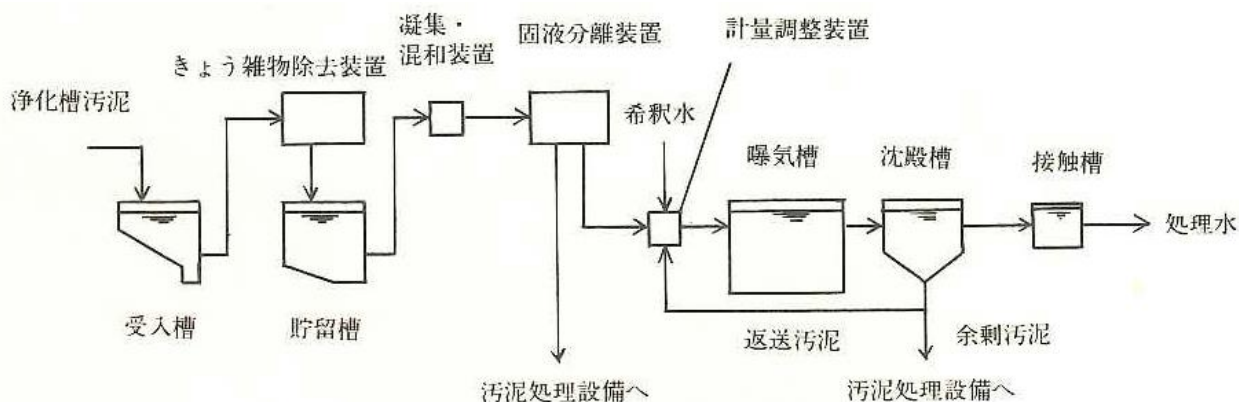


(出典：技術管理者受講資格指定講習〔し尿処理施設〕, 314)

図 2.6-8 前ばっ気方式のフローシート 14)

(b) 前ばっ気を行わない方式

きょう雑物除去後の除渣浄化槽汚泥に調質剤を添加して、固液分離する方式である。



(出典：構造指針解説 1988 年版, 262)

図 2.6-9 前ばっ気を行わない方式のフローシート 15)

(3) し尿処理との連携

浄化槽汚泥専用処理方式は、処理対象を浄化槽汚泥に限定した処理方式である。本処理方式は浄化槽汚泥の処理のみを目的として単独で計画される事例が少なく、し尿処理との連携を図って設計された施設が多い。

特に本処理方式の活性汚泥法設備についてはし尿処理の二次処理として計画されるものと同様の仕様であり、本処理方式の固液分離装置の分離液とし尿処理の一次処理水とを混合して活性汚泥処理を行う事例が多くみられる。

また、固液分離装置から発生する濃縮汚泥については、し尿処理の汚泥処理と混合処理する事例、し尿処理の一次処理と混合処理する事例がある。

(a) し尿処理との連携例①～汚泥の一括処理～

図 2.6-10 は、浄化槽汚泥専用処理方式における固液分離装置から発生する濃縮汚泥を、し尿処理系列から発生する一次汚泥、活性汚泥法（二次処理）から発生する余剰汚泥と混合して汚泥処理（脱水）を行う事例である。また、固液分離装置において、機械分離方式により脱水まで計画する場合には、除渣浄化槽汚泥及び各汚泥を混合して固液分離処理（脱水）を計画する事例もある。

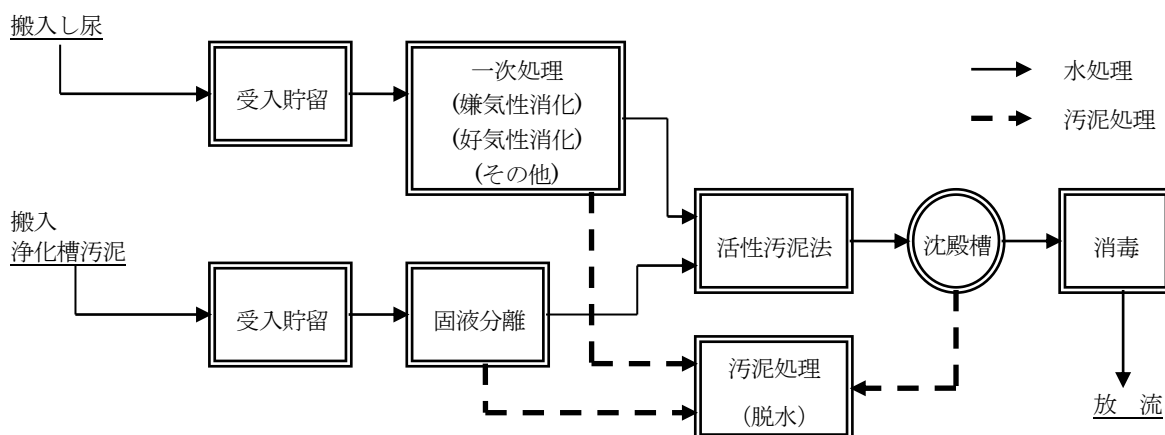


図 2.6-10 し尿処理との連携例①（汚泥の一括処理）

(b) し尿処理との連携例②～し尿系列一次処理の効率化～

図 2.6-11 は、浄化槽汚泥専用処理方式における固液分離装置の濃縮汚泥をし尿処理系列の一次処理に投入する事例である。し尿処理系列の一次処理に濃縮汚泥を投入することにより、嫌気性消化方式の場合においてはガス回収の面で、湿式酸化方式の場合においては熱量供給の面で有利となることがある。

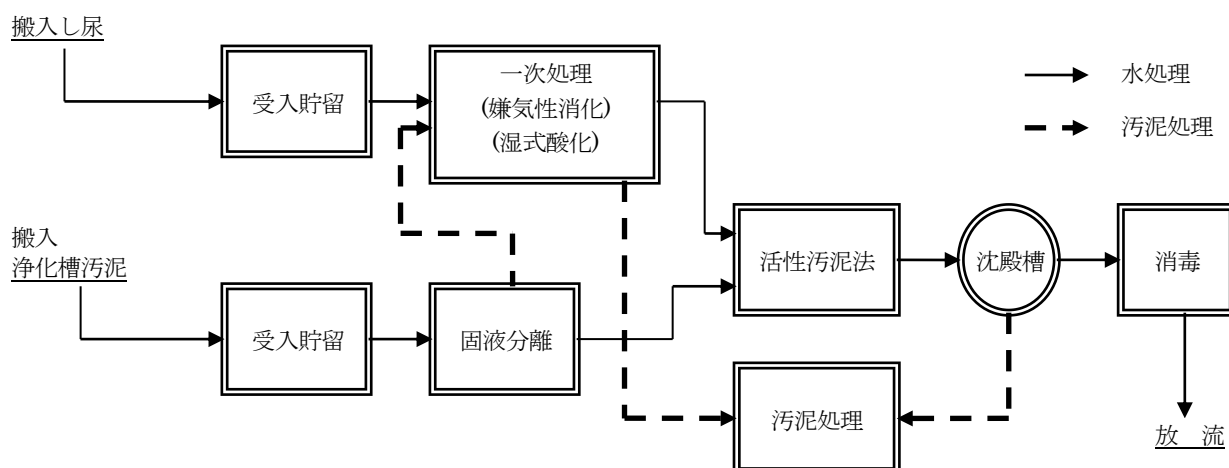


図 2.6-11 し尿処理との連携例②（し尿系列一次処理の効率化）

（４）凝集剤による調質処理

固液分離工程における固液分離性能を高めるために凝集剤を使用した調質を行うことが一般的である（前ばっ気を行う場合等で、良好な固液分離が見込める場合には調質を行わず直接固液分離する場合もある）。

固液分離工程の処理性能は固液分離前の調質処理に大きく左右される。よって、処理する浄化槽汚泥の性状に最適な凝集剤の選択、凝集剤添加量の調整が非常に重要な要素である。凝集剤としては高分子凝集剤が一般的に使用されるが、鉄塩や石灰等の無機凝集剤と高分子凝集剤を併用する場合もある。凝集剤の添加率は固液分離の方式によっても異なるが、高分子凝集剤を使用した場合、処理対象（除渣浄化槽汚泥）のSSに対して0.2～2%で設計される事例が多い。

（５）固液分離における除去率

固液分離におけるBOD除去効果の事例を表2.6-3及び表2.6-4に示すが、本工程のBOD除去効果は処理対象である浄化槽汚泥の性状に大きく左右される。ただし、前ばっ気を行う場合には、より安定的に、かつ効率のよいBOD除去効果が期待できる。一般的に、固液分離装置におけるBOD除去率は75%程度で設計される事例が多いが、前ばっ気を行う方式においては85%で設計される事例もある。

表 2.6-3 固液分離例（前ばっ気なし）¹⁶⁾

区分	除渣 浄化槽汚泥 濃度(mg/L)	脱水分離液			
		無薬注		薬注	
		濃度(mg/L)	除去率(%)	濃度(mg/L)	除去率(%)
BOD	3,220	1,300	60	530	84
COD	3,490	990	72	330	91
SS	9,200	1,800	80	300	97

（出典：構造指針解説 1988年版，267）

表 2.6-4 固液分離例（前ばっ気あり）¹⁶⁾

区分	除渣浄化槽汚泥	脱水分離液	
	濃度(mg/L)	濃度(mg/L)	除去率(%)
BOD	3,300	360	89
COD	4,590	340	93
SS	8,000	340	96

（出典：構造指針解説 1988 年版，267）

（6）活性汚泥法における希釈倍率

固液分離装置からの分離液は活性汚泥法で処理し、BOD20 mg/L、SS70 mg/L まで処理される。その際には希釈を行うが、その希釈倍率は除渣浄化槽汚泥の BOD 濃度（mg/L）の値を、前ばっ気を行う方式にあっては 1,200 で除した数値、前ばっ気を行わない方式にあっては 600 で除した数値を標準としている。

希釈倍率の設計例¹⁷⁾

除渣浄化槽汚泥の BOD 濃度：3,500 mg/L とする。

①前ばっ気を行う方式

$$3,500 \text{ (mg/L)} \div 1,200 \approx 3 \text{ (倍)}$$

②前ばっ気を行わない方式

$$3,500 \text{ (mg/L)} \div 600 \approx 6 \text{ (倍)}$$

（出典：構造指針解説 1988 年版，263）

2.6.4 設備構成¹⁾

（1）固液分離設備

固液分離設備は、凝集・混和装置及び固液分離装置を組み合わせたものとする。

- ①凝集・混和槽装置は固液分離を容易に行わせることができるものでなくてはならない。
- ②固液分離装置は、重力沈降方式、浮上分離処理方式または機械分離方式によるものとする。
- ③分離液の BOD 濃度は、浄化槽汚泥の性状及び固液分離装置の種類に応じて決定する。
- ④必要に応じて貯留槽においてまたは前ばっ気槽を設置してばっ気を行うことができる。この場合にあっては、ばっ気時間（貯留槽におけるばっ気時間を含む）は 3 日

間以上とする。

⑤固液分離装置から発生する汚泥は、乾燥等により適切に処理しなければならない。

また、固液分離装置からの濃縮液は、他方式の処理設備により処理することができる。

他方式とは、嫌気性消化・活性汚泥法処理方式、好気性消化・活性汚泥法処理方式、湿式酸化・活性汚泥法処理方式のことである。

(a) 凝集混和装置

使用する凝集剤の種類により構成が異なるが、凝集槽 1 槽で計画する場合と、混和槽と凝集槽を組み合わせて計画する場合がある。

(ア) 混和槽 [急速攪拌]

①構造等：凝集剤として無機凝集剤を使用する場合、急速攪拌をする目的で設ける。急速攪拌機を備える。

②設計条件：攪拌時間は約 5 分間を標準とする。

(イ) 凝集槽 [緩速攪拌]

①構造等：高分子凝集剤で凝集処理する際に緩速攪拌をする目的で設ける。緩速攪拌機を備える。

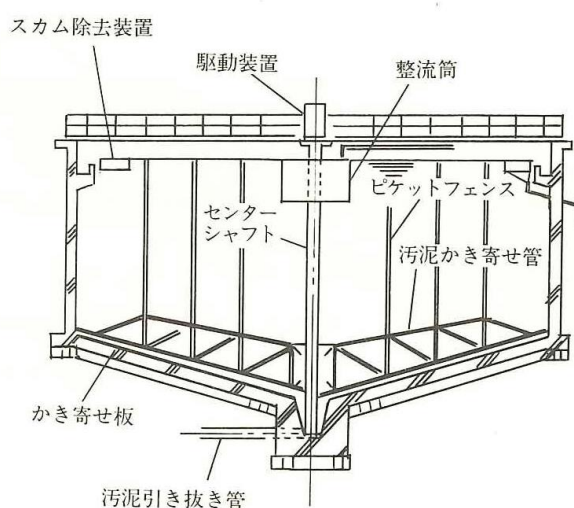
②設計条件：攪拌時間は約 20 分間を標準とする。

(b) 固液分離装置

(ア) 重力沈降方式

①構造等：平面形状は円形、長方形または正方形の水密構造とし、槽底には汚泥掻寄機、汚泥を引き抜く排泥管等を設ける。

②設計条件：滞留時間は 30 時間以上、水面積負荷は $5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ 以下を標準とする。

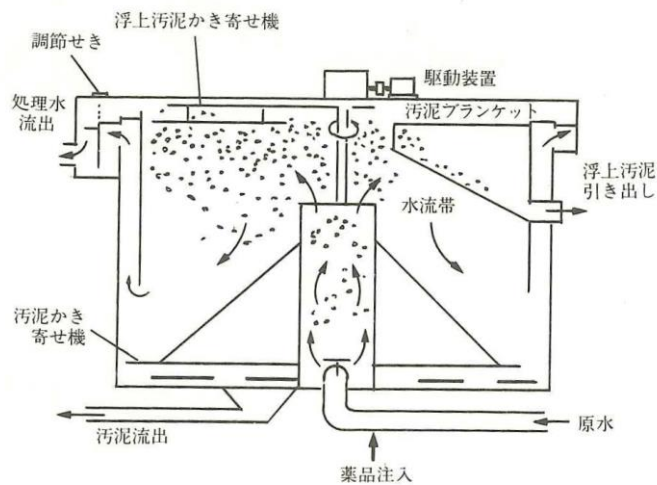


(出典：構造指針解説 1988 年版, 180)

図 2.6-12 固液分離装置 [重力沈降式] の例¹⁸⁾

(イ) 浮上分離処理方式

- ①構造等：平面形状は円形、長方形または正方形の水密構造とし、浮上汚泥掻取機、必要に応じて沈殿汚泥掻寄機、水位調整機構等を設ける。
- ②設計条件：滞留時間は45分～2時間程度（加圧水を含む）、固形物面積負荷は $150 \text{ kg-SS/m}^2 \cdot \text{日}$ 以下を標準とする。また、加圧水量は、気固比が $0.02 \sim 0.04 \text{ kg-Air/kg-SS}$ 程度を標準とする。

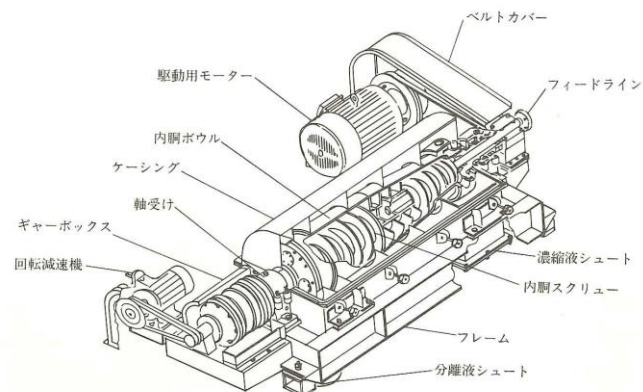


(出典：構造指針解説 1988年版, 184)

図 2.6-13 固液分離装置 [浮上分離式] の例¹⁸⁾

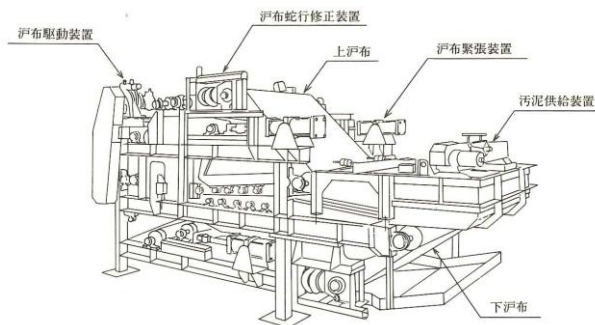
(ウ) 機械分離方式

- ①構造等：原則として遠心濃縮機または汚泥脱水機とし、振動及び騒音対策が講じられたものとする。



(出典：構造指針解説 1988年版, 192)

図 2.6-14 固液分離装置 [機械分離式：遠心分離機] の例¹⁹⁾



(出典：構造指針解説 1988年版, 266)

図 2.6-15 固液分離装置 [機械分離式：ベルトプレス] の例²⁰⁾

(c) 前ばっ気槽

①構造等：貯留槽によるばっ気（空気攪拌）、前ばっ気槽によるばっ気、またはこれらを併用する方法がある。各水槽には効率よくばっ気ができる散気装置を備える。

②設計条件：ばっ気時間は3日間以上で設計する。

(2) 活性汚泥法処理設備

活性汚泥法処理設備は、計量調整装置、ばっ気槽及び沈殿槽を組み合わせたものとする。

(a) 計量調整装置

計量調整装置は、分離液、希釈水、プロセス用水及び返送汚泥をそれぞれ計量し、所定量に調整できるものでなければならない。

(b) ばっ気槽

ばっ気槽は、「2.2.7 設備構成 (2) 二次処理設備 [活性汚泥法処理設備] 2) ばっ気槽」に準ずるものとする。

(c) 沈殿槽

ばっ気槽は、「2.2.7 設備構成 (2) 二次処理設備 [活性汚泥法処理設備] 3) 沈殿槽」に準ずるものとする。

2.6.5 維持管理上の問題点¹⁾²⁾

(1) きょう雑物除去装置 (スクリーン) 閉塞によるトラブル

本処理方式では前処理装置 (ドラムスクリーン等) において、スクリーンが目詰まりするトラブルが多発した。

合併処理浄化槽の中には食堂等油分の高い排水を処理しているケースがある。このような合併処理浄化槽の清掃汚泥には高濃度の油分が含有されている場合が多く、スクリーン

が目詰まりする一因とされている。

また、浄化槽汚泥は一旦活性汚泥処理をした後の汚泥であり、浄化槽汚泥に含まれる微生物等がドラムスクリーンを通過する際に、スクリーンが接触材的な役割となって生物相を形成することで目詰まりを引き起こすケースもある。

これらきょう雑物除去装置でのトラブルは浄化槽汚泥専用処理方式の施設に限らず、し尿と浄化槽汚泥をそれぞれ個別に受入れ、きょう雑物除去を行っている施設共通で見られた事象（現象）である。

（２）固液分離工程に伴う臭気

本処理方式の特徴である固液分離設備は、浄化槽汚泥を扱う設備であるため、衛生対策や臭気対策に留意が必要である。

固液分離装置に機械分離方式を計画する場合、密閉化が可能な遠心濃縮機（または遠心脱水機）であれば脱臭対策が容易であるが、ベルトプレス等密閉化が難しい機種で計画する場合には臭気対策の徹底化は難しい。

また固液分離設備から発生する汚泥は浄化槽汚泥を濃縮・脱水したものであり、BOD等有機物を多く含む不安定なものである。この汚泥を放置することは腐敗して悪臭等を発生させ、環境保全上、衛生上好ましくないため、速やかに適切な処理を行う必要がある。

2.6 参考文献

- 1) 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，262-272（1988）。
- 2) 財団法人日本環境衛生センター編：技術管理者受講資格指定講習〔し尿処理施設〕，日本環境衛生センター，313-320（1994）。
- 3) 伊与亨：浄化槽汚泥の性状，生活と環境，26（No.3），3-11（1981）。
- 4) 馬場恒雄他：し尿浄化槽汲取汚泥の処理方法に関する研究（第1報），用水と廃水，16（7），33-44（1974）。
- 5) 財団法人日本環境衛生センター編：技術管理者受講資格指定講習〔し尿処理施設〕，日本環境衛生センター，317（1994）。
- 6) 環境技術編集部：し尿浄化槽汚泥専用処理装置の動向，環境技術，9，9，761-771（1980）。
- 7) 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，69（1979）。
- 8) 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，86（1988）。
- 9) 環境技術編集部：し尿浄化槽汚泥専用処理装置の動向，環境技術，9，9，763（1980）。
- 10) 環境技術編集部：し尿浄化槽汚泥専用処理装置の動向，環境技術，9，9，768（1980）。
- 11) 環境技術編集部：し尿浄化槽汚泥専用処理装置の動向，環境技術，9，9，769（1980）。
- 12) 環境技術編集部：し尿浄化槽汚泥専用処理装置の動向，環境技術，9，9，770（1980）。
- 13) 環境技術編集部：し尿浄化槽汚泥専用処理装置の動向，環境技術，9，9，765（1980）。
- 14) 財団法人日本環境衛生センター編：技術管理者受講資格指定講習〔し尿処理施設〕，日本環境衛生センター，314（1994）。
- 15) 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，262（1988）。
- 16) 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，267（1988）。
- 17) 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，180（1988）。
- 18) 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，184（1988）。
- 19) 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，192（1988）。
- 20) 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，266（1988）。

2.7 直接焼却処理方式

2.7.1 はじめに

直接焼却処理方式はし尿を重油などの燃料を用いて焼却炉で直接燃焼する方式である。燃焼によってし尿の水分を蒸発させ、有機物質を二酸化炭素と水に変換し、焼却灰もしくは乾燥物として取り出すために放流水が排出されないのが特徴である。

廃棄物処理の主たる目標が、量の軽減化、安全化、安定化であることから、運転管理が容易な直接燃焼処理方式が注目された。特に回転炉式焼却処理方式は畜産関係で納入実績も多く、安定した処理方式とされた。また、多段式焼却処理方式は汚泥焼却炉として多くの実績があり水分 90%程度までの液状のものに対して効率よく使用されていた。流動層式焼却処理方式はパルプ廃水や下水道の脱水汚泥の焼却に関して多くの実績があった。いずれも高含水率、低発熱量の物質の焼却には実績があり、その技術の蓄積を基に開発された処理方式である。

し尿の直接焼却処理方式の目的は、何らかの補助燃料の火力を利用して、極めて燃焼性の悪いし尿を燃焼させることにより、

- ①し尿全体に占める水分を蒸発させ、水蒸気とする。
- ②し尿固形分中の有機性物質を燃焼させ、炭酸ガスと水蒸気に変換する。
- ③し尿固形分中の灰分および可溶性の無機分を焼却によって少量の焼却灰等として分離する。

したがって、し尿の直接焼却処理方式は熱経済性の点を除けば、二次的に生成されるのは極少量の焼却灰と燃焼ガスであり、水処理方式と比較して他に影響を及ぼす二次的生成物の少ない方式といえる。

嫌気性消化処理方式を設置する用地がない、十分な希釈水量の確保ができない、放流先の確保が困難な地域等では 1970（昭和 45）年代後半から 1980（昭和 55）年代まで建設がされ、多い時で 30 基近くが設置されていた。

しかし、脱臭については何れも燃焼脱臭を採用しているが、し尿を直接焼却することにより発生する硫黄酸化物（SO_x）、塩化水素（HCl）、窒素酸化物（NO_x）の発生を抑制することは困難であった。し尿の直接焼却処理の場合、湿式のガス洗浄装置を採用できなくなるケースが多く（放流水が発生するため）、施設周辺には独特の臭気が発生し、問題となることが分かった。

また、これらの腐食性ガスの影響で設備の腐食が著しく、その補修費や維持費も膨大となり、加えて第二次オイルショック（1980（昭和 55）年）以降の燃料費高騰も影響し、これらの要因で 1980（昭和 55）年代後半以降はほとんど建設や稼働がされなくなった。このため、本方式の当時の資料は少ない。

代表的な処理方式としては、「回転炉式し尿焼却処理方式」、「多段式し尿焼却処理方

式]、「流動層式し尿焼却処理方式」の3方式がある。

いずれの方式もその特徴をまとめると以下のとおりである。

- ①希釈水が不要（放流水が出ない）
- ②生し尿を直接燃焼する（衛生的）
- ③全密閉式である（臭気発生抑制）
- ④焼却炉では排熱を回収する（燃料使用量の低減化）
- ⑤設置面積が少ない（用地費の低廉）
- ⑥し尿蒸発後の汚泥は完全に燃焼処理される（灰の熱灼減量が低い）

2.7.2 各方式の概要

（1）回転炉式し尿焼却処理方式（EK型）¹⁾

（a）特徴

し尿を蒸発キルン（以下「EK (Evaporation Kiln)」という）。に定量供給しつつ蒸発・乾燥・焼却を行う。直接焼却処理方式の中で、従来の燃焼方式が湿式燃焼方式であるならば、回転炉式し尿焼却方式は乾燥焼却方式というべき方式である。

蒸発キルンは三重構造（内中外筒）となっており、定量供給されたし尿はまず内筒に入る。キルンの回転に伴い内壁に設けられた掻き板により、逐次前進し内筒末端で外筒に落下する。外筒の掻き板によって反転し、キルン入口側へ進行して排出スクリーンに至る。

キルン入口部のバーナ火焰および中筒を通過する高温の脱臭排ガスから受熱して水分を蒸発させる。キルン内筒および外筒に発生した蒸気を含む排ガスはサイクロン等により除塵し、脱臭炉により燃焼脱臭される。燃焼脱臭された排ガスは中筒を通過する際に熱回収された後、サイクロン等で集塵され煙突より排出される。

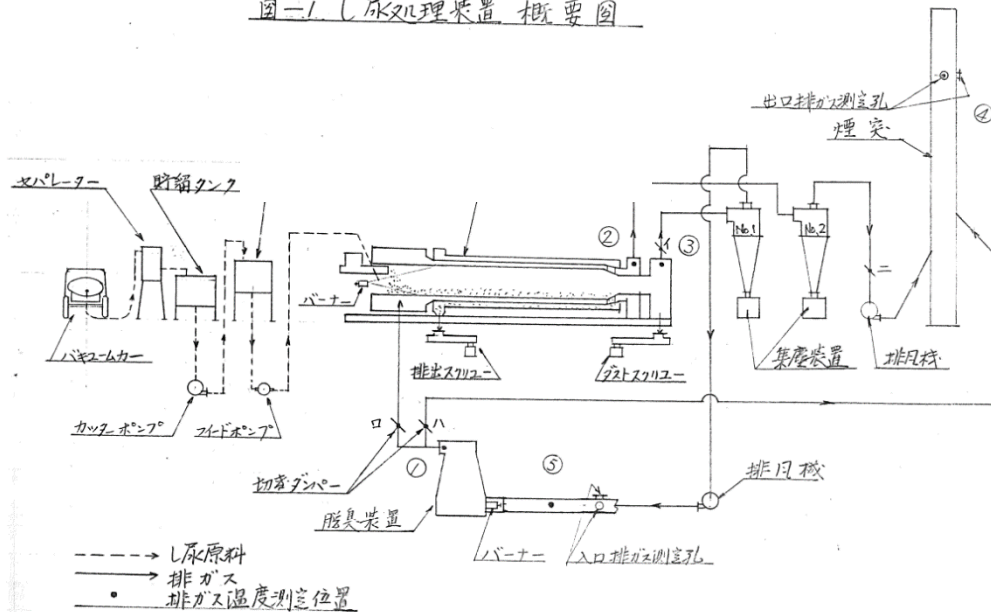
本方式では1 kL/時・基および2 kL/時・基の2機種があり、2 kL/時・基を2連式、3連式とすれば実働8時間運転で32 kL/日～48 kL/日の処理が可能である。例えば福岡県甘木市衛生処理場ではEK-2000型（2 kL/時・基）2連式で平均48 kL/日を12時間運転で処理していた。また、岡山県長船町にある長船町衛生センターし尿処理施設でもEK-1000型（1 kL/時・基）で平均6 kL/日を6時間運転で処理していた。

本方式は畜産糞尿（鶏、牛、豚）の乾燥機で3,800台の実績を持つメーカーが、そのノウハウを駆使してし尿の焼却処理用に改良したものである。

(b) フローシート

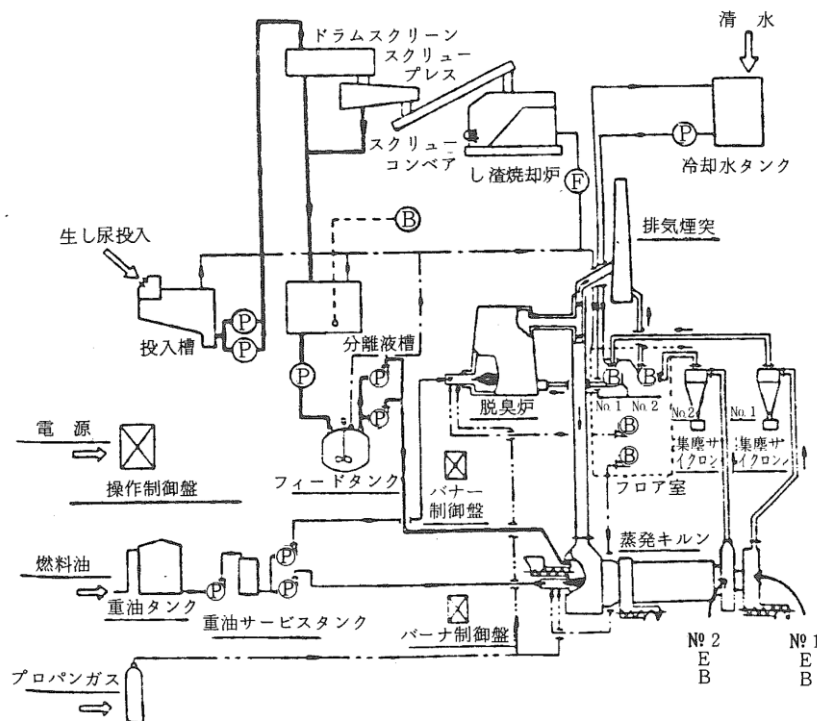
回転炉式し尿焼却処理方式の代表的なフローシートを図2.7-1および図2.7-2に示す。

図-1 し尿処理装置 概要図



(出典 長船町資料：長船町衛生センターし尿処理施設設置届 (1977))

図 2.7-1 代表的なフロー((株)濱田製作所 EK-1000 型)²⁾



(出典：し尿処理ガイドブック, 542)

図 2.7-2 代表的なフロー((株)濱田製作所 EK-2000 型)¹⁾

(2) 多段式し尿焼却処理方式²⁾

(a) 特徴

搬入されたし尿はまず受入槽に投入された後、破碎ポンプできょう雑物を破碎して貯留槽に送られる。貯留されたし尿は定量的に焼却炉上部から投入され、エコマイザ液室（熱回収炉）の上段から下段に移行する間に水分を間接加熱で蒸発させ、その下部にある焼却燃焼炉へ移送したし尿を直火焼却する。

エコマイザ及び焼却燃焼炉で発生した蒸発水分と燃焼ガスは、インパクト（衝撃式集塵機）で一次集塵した後、脱臭炉へ導かれ 800℃以上に加熱昇温し悪臭成分を酸化分解する。脱臭後の高温ガスは、再びエコマイザガス室に送り間接的にし尿へ熱供給する。

ガス室を出た無臭のガスは、電気集塵機で二次集塵を行い、誘引通風機を通り大気へ放出される。受入槽と貯留槽から発生する臭気は押込み通風機で吸引し、バーナ用燃焼空気及びし尿の燃焼用空気として使用し、悪臭の発生を防止する。

従来の多段炉は汚泥焼却炉として数多くの実例が示すように、水分 90%程度までのものは効率よく使用されている。し尿のように水分 97%程度の液状のものは構造上不可能とされていたが、多段炉の高さと効率の良さを活かして可能としたものである。

その特徴は多段炉を乾燥ゾーン（水分蒸発ゾーン）と焼却ゾーンに分け、通常 10 段炉の場合上部 6 段を乾燥ゾーン（エコマイザ）、下部 4 段が焼却ゾーンとなっている。

炉径が 1 m（内径）×3 m（外径）なので 1 段の平均移動距離は約 6.3 m で 10 段炉では約 63 m の距離をし尿が移動する。その距離を約 40 分～50 分で移動する間に蒸発→乾燥→焼却が行われる。また、その移動は移動鎖で攪拌することにより移送され、熱ガスとの接触面積を増加させることにより乾燥焼却を促進する。

従来の多段式焼却炉に新たに開発したエコマイザを加えたし尿の無公害焼却炉処理方式の 1 号機は和歌山県みなべ町（旧南部町）に 1976（昭和 51）年から稼働を開始した。表 2.7-1 に焼却炉まわりの物質収支を示す²⁾。

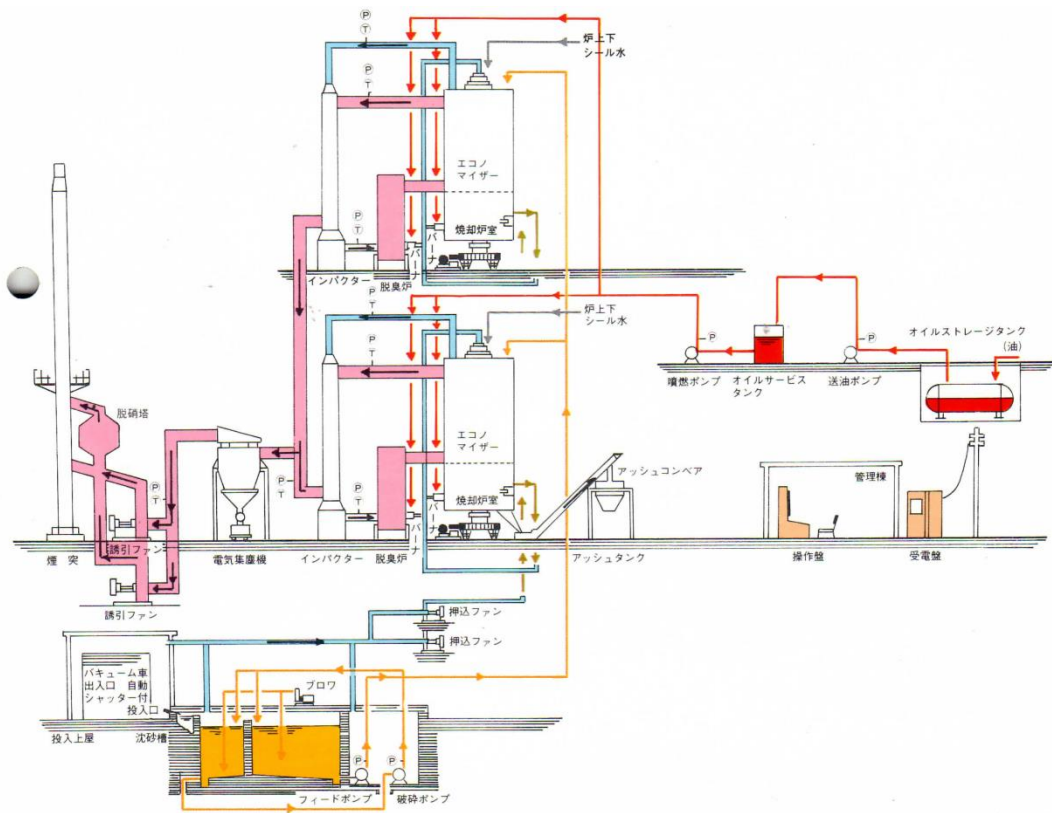
表 2.7-1 焼却炉まわりの物質収支³⁾

入 量	項 目	重 量 (Kg /Hr)	容 量 (Nm ³ /Hr)	備 考
	生し尿	1000		
重油	26			
重油燃焼空気	424	329		
生し尿固形分燃焼空気	217	168		
合 計	1667	497		
出 量	し尿水蒸気	970	1207	
	重油燃焼ガス	水蒸気	26	32
		乾きガス	424	315
	生し尿固形分燃焼ガス	241	180	
	焼却灰	6		
	合 計	1667	1734	

(出典：し尿処理ガイドブック，539)

(b) フローシート

多段式し尿焼却処理方式の代表的なフローシートを図 2.7-3 に示す。

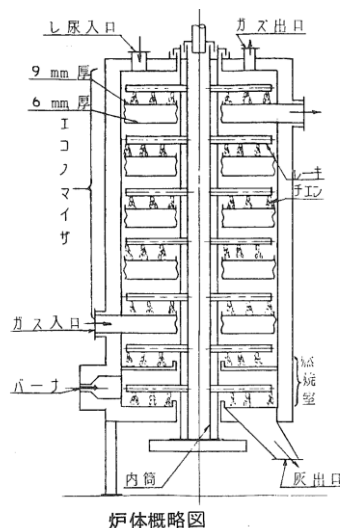


(出典 葉山町資料：葉山町清掃センターし尿処理施設の概要 (1981))

図 2.7-3 代表的なフロー(大阪熱管理工業(株) ON型)⁴⁾

(c) 炉体概要図

炉体概要図を図 2.7-4 に示す。



(出典：し尿処理ガイドブック，538)

図 2.7-4 炉体概要図³⁾

(3) 流動層式し尿焼却処理方式³⁾

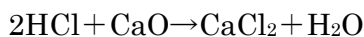
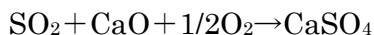
(a) 特徴

炉式としては流動媒体の有する膨大な表面積と運動エネルギーを利用して効率的に焼却する方式である。

一般的にし尿の低位発熱量は極めて低く水とほとんど変わらない。このように全く燃焼性のないものを炉にいきなり供給して高温焼却することは運転操作面からも問題が生じやすい。

本方式では助燃剤として微粉炭をし尿に混入し、高カロリー含炭スラリー状のし尿として炉内に投入する。したがって、起動時のみ油で助燃し、着火後は油を止めて自燃しながら完全燃焼する。微粉炭をし尿に混入することにより炉内で直接脱硝をさせる方式を採用しているため、炉外に脱硝装置を必要としない。

また、流動層の粒子を珪砂 (SiO₂) から CaO 粒子のような媒体に代えることにより次のような脱硫、脱塩化水素が可能になる。

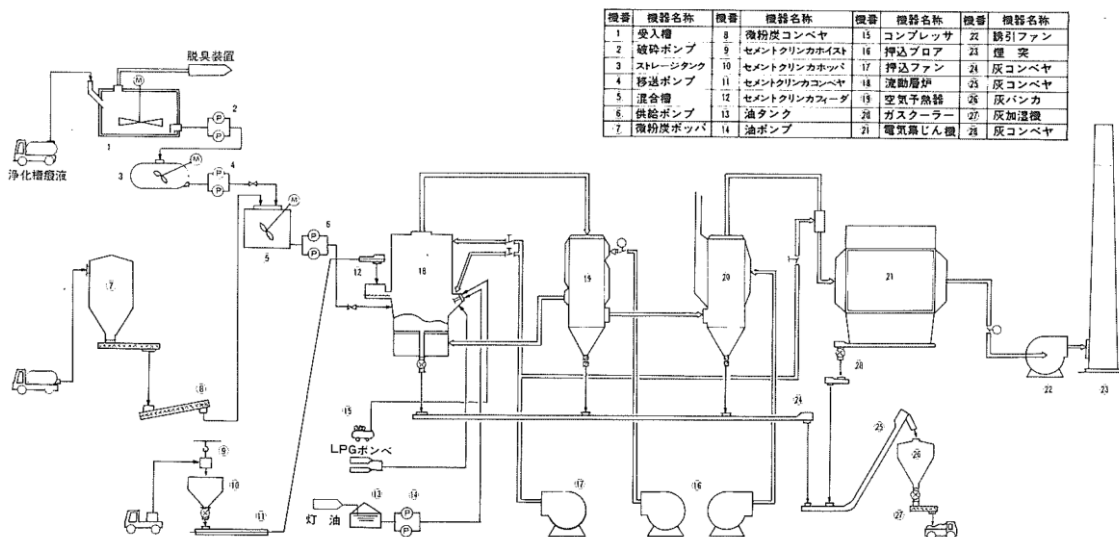


反応後生成されるのはいずれも安定した中性の塩であり、これらは焼却灰として集塵される。この方法は乾式法であり、湿式法にみられる二次廃液の問題が回避できる。

本方式では流動媒体にセメントクリンカを採用し、炉内で直接 SO_x、HCl を除去する方式を採用しているため、炉外に脱硫、脱塩化水素の各装置を必要としない。

(b) フローシート

流動層式し尿焼却処理方式の代表的なフローシートを図 2.7-5 に示す。



(出典：し尿処理ガイドブック，545)

図 2.7-5 代表的なフロー(バブコック日立(株))⁵⁾

2.7.3 主要設備構成例

(1) 回転炉式し尿焼却方式

(a) 前処理設備

①破砕機

搬入されるし尿に含まれているきょう雑物を破砕する装置

②セパレータ

搬入されるし尿から除渣をする装置

③フィードタンク

蒸発キルンに定量的にし尿を移送するために一時貯留するタンク

④フィードポンプ

蒸発キルンにし尿を定量的に移送するポンプ

(b) 蒸発処理設備

①蒸発キルン

投入されたし尿を蒸発→乾燥→焼却を行う

②集塵サイクロン

排ガスから粉塵を回収する

③脱臭炉

焼却時に発生する悪臭ガスを燃焼脱臭する

- (c) 用役設備
 - ①重油タンク
蒸発キルン、脱臭炉で使用する燃料を貯留するタンク
 - ②給油ポンプ
燃料を移送するポンプ
- (d) 焼却設備
 - ①焼却炉
セパレータで回収された残渣を焼却する
- (2) 多段式し尿焼却処理方式
 - (a) 前処理設備
 - ①破砕機
搬入されるし尿に含まれているきょう雑物を破砕する装置
 - ②貯留タンク
燃焼焼却炉に定量的にし尿を移送するために一時貯留するタンク
 - ③フィードポンプ
燃焼焼却炉にし尿を定量的に移送するポンプ
 - (b) 蒸発処理および脱臭・集塵設備
 - ①インパクト (衝撃式集塵機)
排ガスから粉塵を回収する
 - ②直接燃焼脱臭炉
焼却時に発生する悪臭ガスを燃焼脱臭する
 - ③エコノマイザガス室(熱回収)
脱臭高温ガスで間接的にし尿を蒸発させることによりガス自身を冷却する
 - ④電気集塵機
排ガスから粉塵を回収する
 - ⑤脱硝塔
発生する硫黄酸化物を除去する
 - (c) 用役設備
 - ①重油タンク(オイルストレージタンク)
燃焼焼却炉、脱臭炉で使用する燃料を貯留するタンク
 - ②送油ポンプ
燃料を移送するポンプ
 - (d) 焼却設備
 - ①エコノマイザ液室(熱回収炉)
脱臭高温ガスにて間接的にし尿を蒸発→乾燥させるゾーン
 - ②燃焼焼却炉

乾燥させたし尿を焼却するゾーン

(3) 流動層式し尿焼却処理方式

(a) 前処理設備

①破砕ポンプ

搬入されるし尿に含まれているきょう雑物を破砕する装置

②ストレージタンク

流動層式焼却炉に定量的にし尿を移送するために一時貯留するタンク

③移送ポンプ

混合槽にし尿を移送するポンプ

④混合槽

し尿に微粉炭を混合する槽

⑤供給ポンプ

微粉炭を混合したし尿を定量的に流動層式焼却炉に移送するポンプ

(b) 集塵設備

①電気集塵機

排ガスから粉塵を回収する

②空気予熱器

流動層式焼却炉に供給する空気を熱交換して加温する装置

③ガスクーラ

排ガスを冷却する装置

(c) 用役設備

①重油タンク(オイルストレージタンク)

燃焼焼却炉、脱臭炉で使用する燃料を貯留するタンク

②噴燃ポンプ

燃料を移送するポンプ

③微粉炭ホッパ

微粉炭を貯留するホッパ

④微粉炭コンベア

微粉炭を移送するコンベヤ

⑤セメントクリンカホッパ

流動媒体を貯留するホッパ

⑥セメントクリンカコンベア

流動媒体を移送するコンベヤ

⑦セメントクリンカフィーダ

流動媒体を添加するフィーダ

(d) 焼却設備

①流動層焼却炉

微粉炭を添加したし尿を焼却する炉

2.7 参考文献

- 1) し尿処理ガイドブック編集委員会：し尿処理ガイドブック，環境技術研究会，540-542（1987）.
- 2) 長船町資料：長船町衛生センターし尿処理施設設置届（1977）.
- 3) し尿処理ガイドブック編集委員会：し尿処理ガイドブック，環境技術研究会，536-539（1987）.
- 4) 葉山町資料：葉山町清掃センターし尿処理施設の概要（1981）.
- 5) し尿処理ガイドブック編集委員会：し尿処理ガイドブック，環境技術研究会，544-545（1987）.