

平成 14 年度 環境省請負事業
技術協力効率化推進事業

産業廃水処理技術移転マニュアル
(総論編、基礎技術編、食品工場廃水編)

平成 15 年 3 月

社団法人 海外環境協力センター

はじめに

本報告書は、平成 14 年度に環境省より委託を受け、わが国がこれまでに取り組んできた産業廃水処理の経験を基に、国際的な環境協力の一貫として、その技術の広い普及を図るために、産業廃水処理技術マニュアル作成委員会においてその情報の内容、報告書の構成を検討し、その結果をまとめたものである。

日本の工業生産活動はわが国のみならず世界経済に大きく貢献してきた。それとともに、適切な環境汚染防止策が取られなければ、製造業の広がりが地域環境のみならず、地球環境に負荷を与える危険性を持つことを経験してきた。また、全ての産業はその建設計画段階から環境への影響を考えなければならず、それを怠れば後になって修復に巨額の費用と困難を伴うことを学んできた。

特に戦後の 10 年間は産業の復興の時代であり、一部の地方政府による公害防止条例制定の動きがあったものの、本格的な公害に対する法制度の整備は 1955 年から 1965 年にかけて行われた。その後、環境問題が産業公害問題から生活環境問題あるいは地球環境問題へと変化し、1993 年には公害対策基本法が環境基本法として抜本的な改正がなされ今日を迎えている。この間に産業廃水処理対策は、エンド・オブ・パイプに基づく手法に加えて、廃水量の削減、省資源化、省エネルギー化を目指したクリーナープロダクションに基づく方向へと変化してきている。

(社)海外環境協力センターは持続可能な経済発展のために、地球環境を守るための技術の普及を国際的に支援していくことを事業のひとつにしており、この度は、産業廃水処理に関する基本的な考え方と方向性等総論編、基礎技術編とともに、わが国でこれまでに培われてきた産業廃水処理の中から食品加工廃水処理技術の紹介を取り上げた。このマニュアルは、開発途上国に派遣される専門家及び途上国からの研修生に対する環境技術情報に関する提供であり、工場建設あるいは既に生産している工場において、環境対策を計画するときに、行政面と技術面の両面から俯瞰的に考察できる知識が得られるように包括的なまとめを行ったものである。日本における産業廃水対策の経験を踏まえて作成された本報告書が、同様の課題に取り組む国々の関係者においても活用され、地球環境の保全にいささかでも貢献できれば幸いである。また、このマニュアル作成にあたり、内容を検討していただいた産業廃水処理技術マニュアル作成委員会及び執筆をいただいた各位に対して厚くお礼を申し上げる次第である。

平成 15 年 3 月

社団法人 海外環境協力センター
理事長 森 仁 美

産業廃水処理技術マニュアル作成委員会

委員長 菅原正孝 大阪産業大学 人間環境学部 教授、工学博士

委員 津野 洋 京都大学 大学院教授 工学研究科環境工学専攻、環境質制御研究センター長、工学博士

宝月章彦 神鋼パンテック(株) 顧問役、工学博士、技術士(水道部門、総合管理部門)

武甕孝雄 (財) 関西環境管理技術センター 企画部次長兼調査部次長、技術士(建設部門)

荻野好忠 (有)環境技術 代表取締役、技術士(水道部門)

マニュアル執筆者名簿

宝月章彦 神鋼パンテック(株) 顧問役、工学博士、技術士(水道部門、総合管理部門)

荻野好忠 (有)環境技術 代表取締役、技術士(水道部門)

武甕孝雄 (財) 関西環境管理技術センター 企画部次長兼調査部次長

目 次

第1部 総論編

第1章	本マニュアルの目的と利用法	1
第2章	産業廃水処理に対する基本的な考え方と方向性	1
第3章	産業廃水処理における環境配慮	2
第4章	水域保全と環境アセスメント	4
4.1	環境アセスメント	4
4.2	環境アセスメントのシステム	4
4.3	スクリーニング	4
4.4	スコーピング	5
4.5	環境影響評価	5
4.6	事後調査	5
第5章	産業廃水処理における生産プロセスの見直し	6
5.1	エンド・オブ・パイプ的な廃水処理	6
5.2	廃水処理におけるクリーナープロダクション	6
第6章	産業廃水処理における環境行政と施策	10
6.1	概要	10
6.2	環境基準の設定	10
6.3	関係法律による規制	11
6.4	監視測定体制の整備	12
6.5	工場における公害防止体制の整備	13
6.6	助成措置など	13
第7章	廃水処理方式・技術の選定	13
7.1	廃水の処理方式	13
7.2	プロセスの選定	13
第8章	産業廃水処理施設の建設計画と建設・維持管理などの経費	15
8.1	建設計画	15
8.2	建設・維持管理などの経費	15
第9章	廃水処理施設の設計	15
9.1	プロセス計画設計	15
9.2	プロセス基本設計	16

9. 3	詳細設計	16
第10章	廃水処理施設の管理・運用計画	17
10. 1	基準書の整備	17
10. 2	設備の保全計画	17
10. 3	労働安全衛生管理計画	18
10. 4	環境管理計画	18
10. 5	教育訓練計画	18
10. 6	記録とアカウントビリティ	18
第11章	水質モニタリングの実施	19
11. 1	水質モニタリングの必要性	19
11. 2	水質モニタリングの種類とその概要	19
11. 3	水質モニタリングで使用される水質自動測定機器などの概要	22

第2部 基礎技術編

第1章	廃水処理技術の概論	25
1. 1	処理技術の単位操作	25
1. 2	処理システム	25
第2章	廃水処理施設と施設設計の基本事項	27
2. 1	廃水処理の目的と目標	27
2. 2	廃水調査と処理方式の評価	28
2. 3	設計上の留意点	29
第3章	処理水放流基準への適合	29
3. 1	環境基準への配慮	30
3. 2	排水基準	34
3. 3	下水道への排除	37
第4章	前処理技術	40
4. 1	スクリーニング	40
4. 2	油水分離	42
4. 3	沈殿	43
4. 4	加圧浮上分離	45
4. 5	凝集	47

第5章	生物処理による廃水浄化	50
5.1	好気性生物処理	50
5.2	嫌気性処理	54
5.3	嫌気性・好気性複合処理	60
第6章	高度処理と処理水の再利用	64
6.1	残留BOD、COD、SSの除去	64
6.2	窒素除去	66
6.3	磷除去	70
6.4	色度除去	72
6.5	処理水の再利用	74
第7章	汚泥処理と減容化	75
7.1	脱水処理	75
7.2	乾燥	80
7.3	焼却	82
7.4	コンポスト化	83
7.5	減容化技術	83
第8章	運転管理と対策	86
8.1	好気性生物処理	86
8.2	嫌気性生物処理	89
第3部	食品工場における廃水処理の実施例	
第1章	食品原料と製造工程廃水	91
1.1	製品と廃水の特長	91
1.2	処理方式の選択	91
第2章	飲料製品	93
2.1	廃水の水量と水質	93
2.2	処理実施例	94
2.3	運転管理における留意点	95
第3章	醸造製品	96
3.1	ビール	96
3.1.1	廃水の水量と水質	96
3.1.2	処理実施例	97

3. 1. 3	運転管理における留意点	99
3. 2	日本酒	100
3. 2. 1	廃水の水量と水質	100
3. 2. 2	処理実施例	100
3. 2. 3	運転管理における留意点	102
第4章	油脂製品	103
4. 1	廃水の水量と水質	103
4. 2	処理実施例	104
4. 3	運転管理における留意点	106
第5章	牛乳・乳製品	107
5. 1	廃水の水量と水質	107
5. 2	処理実施例	108
5. 3	運転管理における留意点	110
第6章	農産物加工製品	110
6. 1	廃水の水量と水質	110
6. 2	処理実施例（小麦澱粉）	112
6. 3	運転管理における留意点（小麦澱粉）	113
6. 4	処理実施例（じゃがいも澱粉）	115
6. 5	運転管理における留意点(じゃがいも澱粉)	116
第7章	惣菜製品	117
7. 1	廃水の水量と水質	117
7. 2	処理実施例	118
7. 3	運転管理における留意点	121
第8章	菓子など製品	121
8. 1	廃水の水量と水質	121
8. 2	処理実施例	122
8. 3	運転管理における留意点	123

第1部 総論編

第1部 総論編

第1章 本マニュアルの目的と利用法

日本では工場・事業場から排出される排水については、水質汚濁防止法および都道府県条例による厳しい上乗せ基準などによる排水水質基準の規制強化によって、世界に優れた水質汚濁防止装置とシステムが開発されて用いられている。排水の規制値は環境条件を基に決められており、一方、廃水処理方法は、それぞれの立地条件、経済性、操業特性、保全性、拡張性などを加味して、規制値を満足する処理法が決められている。したがって、最適な処理法を画一的に述べることができないために、本マニュアルでは、それぞれの工場・事業場が廃水処理設備の建設を計画するときに考慮すべき技術的な事柄について述べ、また、関連する法的な背景、経済性などもまとめた。

第一部では、排水処理に対する基本的な姿勢を明確にするために、地球環境保全に対する視点、排水水質に関する法制度、経済性、安全性などの留意点をまとめた。さらに近年は企業の生産活動が環境に与える影響に対する説明責任の必要性が高まっているため、環境アセスメント、ライフサイクル・アセスメントなどの動向も紹介した。現在の環境に対する配慮は、たとえ科学的解明がなされていないことであっても、ノーリグレット戦略（後悔なき戦略）によってアプローチすることも必要であり、経済的な評価だけでは十分でないことを示唆している。

第二部では、廃水処理設備の建設計画や、既存設備の改善、運転上の問題の解決を行う場合に参考となる基本的な技術事項をまとめた。更なる技術情報を得ることが容易なようにできる限り引用文献の出典を載せた。

第三部では、食品製造工場における廃水処理の実施例を紹介している。先に述べたように、紹介されている設備、装置、技術はあくまでそれぞれの工場が固有に持つ立地環境、経済性などの諸条件に適したものであって、絶対的なものではないことに留意願いたい。廃水処理設備は、プロセスの選択段階で性能、経済性、保全性、運転性などのほぼ全てが決まってしまうので、プロセス、装置の選択に当たっては、代替案を含めた総合的な比較検討を経て決定されることが望まれる。

第2章 産業廃水処理に対する基本的な考え方と方向性

工場排水の管理の目的は、生産活動が外部活動に対して与える負荷を低減することにある。しかしながら生産活動を行う以上、外部環境に対して影響を生じることを避けられない。またその低減を行う場合も何らかの判断基準を設けることが必要である。その方策として、排水管理が企業内の

環境管理システムの一部として明確に位置づけされることが必要である。この環境管理システムは環境に対する経営方針を確実に実行していくための仕組みであり、以下の構成から成り立っているものであり、PDCA (Plan Do Check Action) サイクルによる継続的な改善が必要である。

(1) 環境方針

継続的な環境改善と環境汚染の予防を図るために、環境保全目的および目標、法や、その他の約束事を組織の全員に周知徹底させる。

(2) 実施計画

目標を遂行するための組織の見直し、環境保全目的・目標の設定、スケジュール、資金・人の投入を計画的に行うこと。

(3) 実施と運用

実施体制と管理責任の明確化、実行を行う上で必要とされる訓練、コミュニケーション、文書化、緊急事態に対する準備・対応などを明確にする。

(4) 点検および是正処置

(5) 経営層による見直し

今日では、工場廃水処理は非生産設備ではなく生産活動の一部として捉えていく姿勢が必要であり、企業は環境に対する負荷を社会に説明する責任（環境管理に関するアカウントビリティー）を有するという考え方が広まってきている。その方法には定性的なものとして、環境マネジメントプログラムの策定や、リサイクルへの取り組み、ISO14001 の取得、また、物量値による評価方法としては、ライフサイクル・アセスメント（LCA）などがある。このことは、廃水処理だけで技術を評価するのではなく、環境対策のひとつとして捉えて、地球温暖化、オゾン層の破壊、酸性雨、土壌汚染、悪臭、振動などとの関係も視野に入れた総合的な対策が求められる。

第3章 産業廃水処理における環境配慮

産業排水処理は廃水の浄化と同時にその処理に多くのエネルギーや、薬品などを消費し、また、余剰汚泥を発生し環境に負荷をかけている。ライフサイクル・アセスメントではこの環境負荷を定量的に把握する方法をいくつか示している。例えば、水域への BOD, SS などの放出汚濁物量や、場外搬出廃棄物量、排水処理設備から排出される炭酸ガス量、エネルギー消費量などで捉えることができる。産業廃水処理設備の環境に与える負荷の評価は、いずれかひとつの指標で行うことは難しいが、地域特性を考慮に入れた指標を選んで行うことが大切である。一方では、廃水中の有機物をメタン化して有価物として回収し、燃料として利用する場合は、工場全体でのエネルギーバランスに組み入れて評価する必要がある。また、余剰汚泥を肥料として再利用する場合は、経済効果

として捉えることは容易でも、環境インパクト項目として捉える場合には、複雑な仕組みの流通経路で発生する環境負荷を含めて、代替手段との比較の中で評価をしなければならなくなる。こうした複雑な問題は単純化することが必要であるが、同時に本来の評価の目的を果たさなくなる二律背反の関係性にあることを認識しておくことが重要である。

さらに近年では、国際的に持続可能な開発をめざして多くの企業が取り組んでいる環境管理方式のレスポンシブル・ケアが普及しており、わが国でも2000年3月からPRTR法（Pollutant Release and Transfer Register）が施行された。この法律の狙いは、事業所が製造・使用している化学物質を、大気や河川、土壌に排出する量や、廃棄物として事業所以外に移動する量を自らが調べ、国に報告し、国が公表するものである。対象物質は第一種指定化学物質として354物質、第二種指定化学物質として81種あり、対象事業者には全ての製造業以外に下水道事業や、廃棄物処分量などが含まれている。また対象化学物質を含有する製品を他の事業者に譲渡する場合は、その化学物質の「性状、取り扱いに関する情報」をMSDS（Material Safety Data Sheet；化学物質安全データシート）を事前に提供して、環境への漏洩を防止する制度もPRTR制度とともにできた。第一種指定化学物質は人や生態系への有害性があり、環境中に広く存在する物質であり、第二種指定化学物質は有害性はあるが、暴露性は第一種指定化学物質より低い物質をいう。廃水処理に用いる凝集剤、中和剤、消泡剤などの薬品が該当する。

廃水処理を行うときの環境への配慮はこれまで述べてきたように、さまざまな角度からの検討が必要であり、概念的にまとめると図1-3-1のようになる。

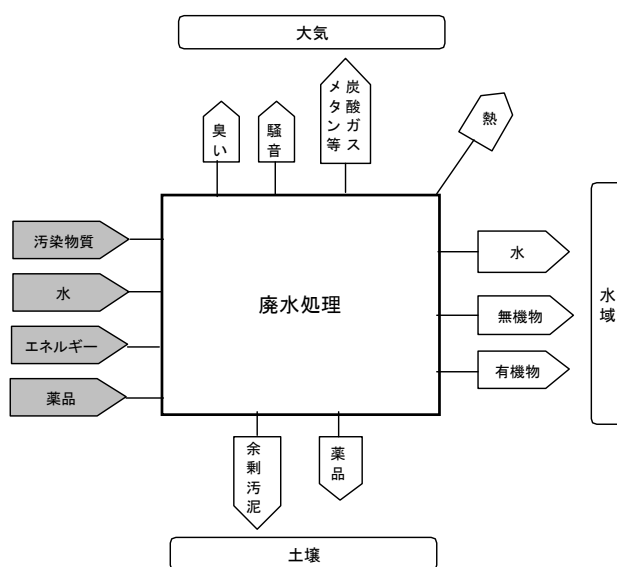


図1-3-1 廃水処理における環境配慮

第4章 水域保全と環境アセスメント

4. 1 環境アセスメント

水域や、大気、土壌環境に影響を与える恐れのある事業に対しては、環境保全を図るために環境におよぼす影響の予測を行い、適切な環境保全処置をとることが義務付けられている。環境アセスメントは日本語では「環境影響評価」であり、その基本的な考え方は、ある事業が環境に及ぼす影響を事前に調査・予測・評価し、その事業を実施するか否か、またはどのような方法で実施するかを見直すためのものである。日本における環境アセスメントは、1992年の閣議における「各種公共事業に係る環境保全対策について」の了解に基き開始され、1999年6月には環境影響評価法が全面施行されたことに伴い、各地方自治体（都道府県、政令指定都市など）においても条例などにより制度化されている。そして環境アセスメントを取り巻く状況は様変わりした。従来は道路、空港、ダムおよび発電所の建設などの大規模な開発事業として法対象事業である第1種事業の場合に適用されていたものが、各地方自治体では独自に条例などにより規模、要件を細かくしたり（上乘せ）、法以外の対象事業を取り上げたりして（横だし）、より厳しく運用が図られることになった。したがって、工場建設や設備変更の場合は、条例などに基づく環境アセスメントが必要になることもあり、工期、予算面での配慮が必要となる。¹⁾

4. 2 環境アセスメントのシステム

環境アセスメントのシステムは、一般的には事業者が行う事業者アセスメントと、第三者が行う第三者アセスメントに分類される。また、その実施の時期から、計画段階で行う「計画アセスメント」、事業実施段階の「事業アセスメント」と事業実施後の「事後アセスメント」に分けられる。対象事業となった計画は、環境影響評価方法書を都道府県知事に送付し、知事は関係市町村長に送付の上、関係地域住民に告示・縦覧して意見を聴取することになっている。つぎに事業者は、それらに基づいて環境影響評価書を作成し、環境保全への適切な配慮をした上で当該事業を実施しなければならない。また、工事開始後の環境に対する影響の調査が必要とされた場合は、事後調査を実施しなければならない。

4. 3 スクリーニング

新しい環境影響評価法では対象規模要件を満たしていない事業でも、地域の環境条件などの必要性に応じてアセスメントの対象にできる制度として、一定の範囲を越えるものは許認可権などを有する行政機関による判定を受ける手続きがとられている。これをスクリーニングと言い、第1種事業第2種事業を設けてスクリーニングを実施する自治体と、スクリーニングを実施せずに、規定した規模の事業は全て対象とする自治体がある。

4. 4 スコーピング

スコーピングは環境影響評価方法書に対して出された意見に基づき、事業者が環境影響評価の調査対象項目、調査方法および評価方法などを確定することを言う。水質汚染に関しては、環境基本法に基づく水質基準として、健康保護と生活環境の保全とに分けて設けられている。人の健康を保護するものとしては、重金属や有機塩素化合物、農薬など26項目、生活環境の保全についてはpH、溶存酸素、浮遊物質、生物化学的酸素要求量、化学的酸素要求量、全窒素、全リンなど9項目がある。前者は全国一律の基準であるのに対し、後者は河川、湖沼、海域について別に定められている。予測の手法としては、水質汚染物質の発生負荷量から水質変化を予測する定性的なもの、水質拡散モデルを用いた定量的な方法がある。水質汚染以外の環境への影響の予測には大気汚染や、植物への影響、動物への影響がある。

4. 5 環境影響評価

最初に環境保全措置の立案を行う。これは、スコーピングや調査・予測の段階で把握される様々な情報（環境保全の基本的な考え方、事業特性、地域特性、地域の環境基本計画の目標、方法書手続きで寄せられた意見、影響予測結果など）を取りまとめて、環境保全措置の対象と目標を明らかにする。次いで、回避または低減措置と代償措置を検討し、さらにこれらを繰り返す、最善の環境保全措置実施案を選定する。回避、低減の措置は、「立地、配置あるいは規模・構造」、「施設・設備・植栽」、「管理・運営」、「工事の実施」といった事業計画の段階に応じて具体的内容が検討される。環境影響評価は、採用した環境保全措置を実施する事により、予測された影響を十分に回避または低減しうるか否かについて事業者の見解を明らかにすることにより行う。

4. 6 事後調査

事業者の見解を示すに当たっては、その根拠ができる限り客観的に説明される必要がある。しかし、影響予測の不確実性が大きいと判断された場合、環境保全措置の効果または影響が不確実であると判断された場合、あるいは他の環境要素への影響が不明確であると判断された場合には、事後調査を実施する必要がある。事後調査の結果および追加的措置が必要な場合はその方法を公表する必要がある。

参考文献

- 1) 研究開発委員会エネルギー・環境研究部会報告書(平成11年度)、環境計画アセスメントに関する調査研究、エンジニアリング振興協会 (2000)

第5章 産業排水処理における生産プロセスの見直し

これまでわが国の公害対策は工場から排出される水、大気、固形廃棄物毎に分けて、排出先毎の規制を満足することだけを中心に進められてきた面が多い。公害対策は、こうしたエンド・オブ・パイプ的な対策に加えて、製造プロセスを見直して廃水・廃棄物の削減を図るクリーナープロダクションや、電力、水などの省資源化、省エネルギー化を目指した広範囲かつ総合的な形で進めることが望ましい。

5. 1 エンド・オブ・パイプ的な廃水処理

エンド・オブ・パイプによる廃水処理対策は、事業者が事業活動に伴って環境に排出する環境汚染物質の削減に対して大きな役割を果たしてきている。しかし、生産設備に対して常に付帯的な投資となり、その運転、維持、管理に恒常的な費用が発生し生産コストを引き上げている。また、そのために消費されるエネルギーや、その過程で発生する廃棄物は環境に負荷を与えている。企業が生産活動を行いながら組織を存続していくためには、エンド・オブ・パイプによる廃水処理対策だけでは不十分な社会環境に変わってきている。これに対応していくためには、企業は納期、コスト、品質などの経済性管理を行うだけではなく、設備の安全性および社会からの信頼性を守るための安全管理とともに、地球環境を守るための環境管理を行っていく必要が有る。

5. 2 廃水処理におけるクリーナープロダクション

(1) クリーナープロダクションの利点

クリーナープロダクションとは、製品の原料や生産技術を見直して生産プロセス全体を合理化して、エネルギーの消費量を削減し、また、汚染物質の発生量を削減することを言う。別の言い方としてイン・プロセス技術とも呼ばれ、イン・プロセス技術の考え方で環境対策を行えば、省資源化、省エネルギー化と同時に生産コストの低減にも寄与することが、これまで取られてきた環境対策の経験から明らかである。発展途上国においても、資金運用の効率化を図るとともに、地球環境に対するノーリグレット戦略としても有効な考え方である。よく引き合いに出されるクリーナープロダクションの例として¹⁾、わが国のパルプ産業における例がある。1970年の紙および板紙の年間生産量は約1,300万トンであり、その時に排出されたCODは年間220万トンと見られていた。一方、19年後の1989年の紙および板紙の年間生産量は約2,680万トンであり、単純に比例計算をすれば、年間450万トンのCODが排出されることになる。しかし、実際に排出されたCODは僅か20万トンであり、生産工程の変更で58%削減され、黒液の回収で26%が減少し、合わせて84%がクリーナープロダクションで削減されたと評価されている。逆の言い方を

すれば、

エンド・オブ・パイプ的な思考だけで公害対策を行っておれば膨大な費用を廃水処理設備の建設に投資しなければならなかったことになる。

(2) クリーナープロダクションへのアプローチ法

近年の環境に対する取り組みは、企業などにおける国際標準化機構の環境マネジメントシステムに関する規格（ISO14000 シリーズ）の取得に見られるように、経営層を含めた全社的な取り組みで、環境負荷を低減する活動を管理するようになってきている。工場において、製品製造部門と環境保全部門が独立していることは、監査の立場からは、品質保証と同様に意義のあることであるが、合理化にたいする俯瞰的な見方を求められる際の阻害的要因になることもある。クリーナープロダクションへのアプローチに一番重要なことは、工場全体の“物の流れ”を総合的に把握することである。そのためには水質汚濁負荷の発生量と排出量の実態把握のための調査が必要である。調査は、工場全体の水量、BOD、COD、SS、窒素、燐についてそれぞれの出入量を捉えることと、排出源ごとに排出状態の把握を行なうことである。得られたデータはパレート図などを用いて、汚染量の多い排出箇所のウエイト付けを行い、排出量の多いところから、削減の対象箇所の選定と削減方法について検討するのが一般的である。また、汚染物質の排出の実態について、工場で働く者が全員で認識を共有することも同時に重要である。“物の流れ”は図1-3-1に示す項目で捉え、それぞれの流入量の削減対策の難易度と処理コストに占めるウエイト付けを行い、費用対効果の大きなものから削減対策を行う。それぞれの項目は定量化が必要で重量、金額の単位で表す。

(3) インプットの減量化

物の製造は、もともと良い品質のものを安く、速く作ることを基本に原料が選ばれている場合が多い。したがって、クリーナープロダクションへのアプローチの観点だけで、汚染物質の排出量を減らすための原料の転換は簡単ではない。しかし原料成分の流出分が汚染源の主体となっているため、製造コストと廃水処理コストのトータルコストから、味などの商品価値に影響がないような原料転換を行うことで汚濁物質の流出負荷の低減を図ることができる。

(4) 製造プロセスの改善

食品工場で水質汚濁負荷を低減するのに最も効果のある方法はやはり製造プロセスの改善である。食品リサイクル法では、工程で発生する廃棄物をできる限り固形物の形で回収し、リサイクルすることを薦めている。それらの対策と合わせて実際に行われている、排水量と汚染物質削減のいくつかの例を次に示す。

1) 惣菜工場における例²⁾

この工場では、高濃度系廃水を嫌気性で処理をしてメタンを燃料として回収し、低濃度系廃水は凝集浮上処理をして、嫌気性処理水と一緒に生物処理をした後、下水道に放流している。1999年にISO14001を取得し、「工場排水の水質の向上」を掲げ、工場における分別の改善などを行い、表1-5-1に示すように高濃度系の廃水量を設計値より大幅に低減した。しかし低濃度系の廃水では水量、水質ともに逆に増加している。今後さらに分別の改善、見直しを行って、低濃度系の水量を低減し、濃度を逆に高めてメタン発酵槽への負荷を増やし、有価ガスの回収のメリットを高めることなどを検討している。この工場は作業方法の変更で、高濃度系廃水の廃水量、廃水濃度の削減に成功しており、一方、低濃度系廃水については、汚染物の絶対量の削減が困難な場合には水量を削減して、メタン発酵の効率向上で燃料ガスの回収を高めることを視野に入れている。

表1-5-1 惣菜工場廃水における水質・水量改善

項目		設計値	実績値(平均)
高濃度系 廃水	pH	4.3	5.1
	BOD	2,310	1,860
	SS	550	927
	n-ヘキサン抽出物質	110	74
	廃水量	1,050	600
低濃度系 廃水	pH	6.5	5.2
	BOD	760	1,340
	SS	130	468
	n-ヘキサン抽出物質	50	56
	廃水量	550	650
放流水	pH	5~9	7.2
	BOD	<200	70
	SS	<200	41
	n-ヘキサン抽出物質	<30	1.7
	廃水量	1,900	1,300

単位: pHを除きmg/l

放流水には機械棟排水など300m³/dを含む

2) 清酒工場における例³⁾

清酒製造でもっとも汚染物質を排出するところは、洗米工程である。この工場では精米後にロータリーシフターを用いて、水を使わずに、あらかじめ糠を取り除いている。その結果、汚染物質の流出量も排水量も少なくでき、さらに、洗米廃水の凝集沈殿を省略することができた。また、最近の洗米機は洗米排水を循環使用することにより、洗米工程の排水水量を低減することができる。この場合、廃水の濃度は高くなるが沈殿操作が容易になる。洗米工程排水量は洗浄の操作の仕方で倍半になるといわれている。また、回収びんを自らの工場内で洗浄するケースは稀で、通常は洗び

ん業者が洗ったびんを使用している。その場合洗びん排水のBODは高くても数mg/lであり、地域によるが、通常はpH調整だけで放流できる。

3) 乳製品製造工場における例⁴⁾

この工場の機器の洗浄は予備水洗→アルカリ洗浄→中間水洗→酸洗浄→予備洗浄→最終洗浄の工程からなる。最初の予備水洗は乳分を多く含むため、再利用されないが、最終洗浄水は回収され予備洗浄水に使われている。中間水洗水については当初は、洗剤が含まれているために再利用が困難と考えられていたが、図1-5-1に示す膜ろ過を行うことにより、1日に150m³の水を冷却塔の補給水や、洗浄用水として再利用している。

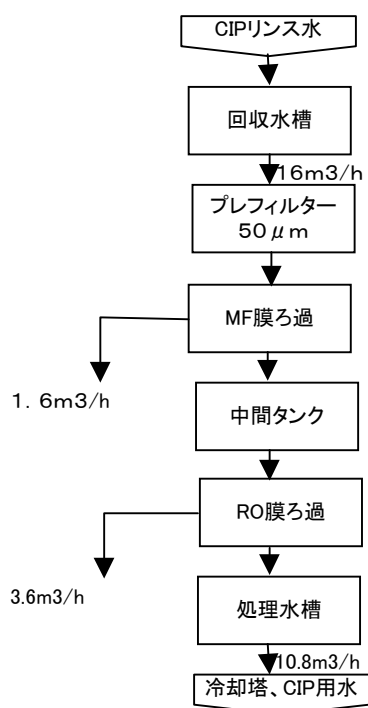


図1-5-1 膜による廃水の再利用

4) 菓子製造工場における例⁵⁾

この工場では、カステラと果肉ゼリーを主に作っている。カステラの製造には多くの玉子が消費され、玉子割機の洗浄水が主なBOD源となる。その低減のために、圧縮空気で玉子割機の付着物を吹き集めて回収する発生源対策を行い、カステラ製造廃水全体のBOD負荷量を30%削減している。果肉ゼリーの製造工程では負荷変動の大きな原因が缶詰から果肉を取り出すときにこぼれるシロップにある。そのため、果肉を取り出す工程全体を防液堤で囲み、床にこぼれたシロップを回収する対策が検討されている。

これらの例から判るように、汚濁負荷削減の取り組みは、作業方法の改善や、プロセスの変更、汚水の分離処理、水の再利用、漏洩物の回収などの形で行われている。

(5) 人材の育成

クリーナープロダクションで重要な役割を占めるのは、第2章で述べた環境管理システムをPDCAサイクルで継続的に改善していくことであり、それを動かす構成員の訓練、自覚、能力が原動力となる。これは、環境改善の目標に向かって、構成員が積極的に改善を図るための取り組みが行われるように、モチベーションや、インセンティブを与えることが重要な要素となる。

参考文献

- 1) 公害防止技術マニュアル（紙パルプ産業） 環境事業団（1998）
- 2) 福島武雄：惣菜、食品工場排水の最適処理ハンドブック、p.288（サイエンスフォーラム、2002）
- 3) 渡辺高年：日本酒、食品工場排水の最適処理ハンドブック、p.345（サイエンスフォーラム、2002）
- 4) 矢崎雅俊：牛乳・乳製品、食品工場排水の最適処理ハンドブック、p.298（サイエンスフォーラム、2002）
- 5) 大西正人：菓子、食品工場排水の最適処理ハンドブック、p.351（サイエンスフォーラム、2002）

第6章 産業排水処理における環境行政と施策

6.1 概要

産業排水に起因する水質汚濁の防止を図るためには、基本的には水域に排出される汚濁物質量をできるだけ減少させることである。すなわち、①汚濁発生源を少なくする、②個々の汚濁発生源での負荷発生量を低減するように処理するなどを行うことである。それを実現するために環境基本法に基づく環境基準の設定、その他関係法律による規制、監視測定、公害防止計画の策定、工場における公害防止体制の整備、公害防止施設の設置に対する助成、立地の適正化、産業排水処理技術の開発など各種の施策が講じられている。またこれらの施策については、国や地方公共団体、事業者などがそれぞれ役割を担いながら推進されている。

6.2 環境基準の設定

環境基本法では、環境の保全に関する施策を総合的、計画的に推進するため、環境の保全につい

て基本理念を定め、国、地方公共団体、事業者および国民の責務を明らかにするとともに環境の保全に関する施策の基本となる事項を定めている。この法律のなかで、政府は、大気の汚染、水質の汚濁などに係る環境上の条件について、それぞれ人の健康を保護し、生活環境を保全する上で維持されることが望ましい基準である環境基準を定めることとされている。水質の汚濁に係る環境基準は、健康項目については全公共用水域一律に定められているが、生活環境項目については、河川、湖沼、海域ごとに利水目的などに応じた水域類型を設けて、それぞれにBOD、COD、窒素、燐などの項目に関する基準値を定め、各公共用水域について水域類域を当てはめることにより当該公共用水域の環境基準を具体的に示すことになっている。またこの環境基準の確保を目標として、水質汚濁防止法など関係法律によって必要な規制の措置を講じるよう定めている。

6. 3 関係法律による規制

1) 水質汚濁防止法

水質汚濁防止法は、工場及び事業場から公共用水域に排出される水の排出および地下に浸透する水の浸透を規制するとともに、生活排水対策の実施を推進することなどによって、公共用水域及び地下水の水質の汚濁の防止を図り、もって国民の健康を保護するとともに生活環境を保全することなどを目的とする。規制の方法としては、全国一律に適用される排水濃度を規制する排水規制と閉鎖性海域の水質保全を目的として地域を限定して規制される水質総量規制からなる。排水規制は、工場、事業場から公共用水域への排水の濃度を規制するもので、規制を行うべき汚水または廃液を排出する施設を「特定施設」として指定し、当該施設を設置する工場、事業場を「特定事業場」として、排水基準に基づいて特定事業場からの排水の規制が行われる。水質総量規制は、広域的な閉鎖性水域について汚濁負荷を総合的に削減するという観点から、1978年に導入された規制手法で、対象地域を指定して従来の排水規制に加えて行われるものである。現在、瀬戸内海、東京湾および伊勢湾に流入する汚濁負荷が発生する地域を「指定地域」として指定し、内閣総理大臣の定める総量削減基本方針に基づき、関係都府県が総量削減計画を定め、これに基づいて特定事業場を対象にCOD・窒素・燐に係る汚濁負荷量を規制している。

2) 瀬戸内海環境保全特別措置法

瀬戸内海環境保全特別措置法は、瀬戸内海の環境の保全上有効な施策の実施を推進するための瀬戸内海の環境保全に関する計画の策定などに関し必要な事項を定めるとともに、特定施設の設置の規制、富栄養化による被害の発生の防止、自然海浜の保全などに関し、特別の措置を講ずることにより瀬戸内海の環境の保全を図ることを目的とする。この法律では、京都府、大阪府、兵庫県など関係13府県の瀬戸内海への流域地域が対象となっており、特定施設の許可制や自然海浜の保全な

どが規定されている。これらの瀬戸内海に流入する汚濁負荷が発生する地域については、水質汚濁防止法と同様にCOD、窒素、磷に係る汚濁負荷量の総量規制が行なわれている。

3) 湖沼水質保全特別措置法

湖沼水質保全法は、湖沼の水質の保全を図るため、湖沼水質保全基本方針を定めるとともに、水質の汚濁に係る環境基準の確保が重要な湖沼について水質の保全に関し、実施すべき施策に関する計画の策定および汚水、廃液その他の水質汚濁の原因となるものを排出する施設に係る必要な規制を行うなどの特別の措置を講じ、国民の健康で文化的な生活の確保に寄与することを目的とする。この法律では、環境基準が現に確保されておらず、または確保されないこととなる恐れが著しい湖沼であって、特に水質の保全に関する施策を総合的に講ずる必要があると認められるものを「指定湖沼」として指定できることとされており、霞ヶ浦、琵琶湖などの10湖沼が指定されている。これら10湖沼についてCOD、窒素、磷の総量規制が行われている。

4) 下水道法

下水道法は、流域別下水道整備総合計画の策定に関する事項、公共下水道、流域下水道、都市下水路の設置その他の管理基準などを定めて、下水道の整備を図り、都市の健全な発達、公衆衛生の向上に寄与し、公共用水域の水質の保全に資することを目的とするものである。下水道の種類としては、大別して公共下水道、流域下水道、都市下水路の3つがある。下水道へ産業排水を放流する場合は公共下水道または流域下水道の施設の機能を著しく妨げ、施設を損傷するおそれがある場合は、条例で「除外施設」を設けなければならないこととなっている。

6. 4 監視測定体制の整備

(1) 公共用水域の水質監視

水質汚濁防止法に基づき、都道府県知事および政令市長は公共用水域の水質の常時監視を実施している。環境省は、このために必要な経費のうち測定計画の作成費および水質調査に係る経費などについて助成を行っている。

(2) 排水の監視

水質汚濁防止法に基づき、国、都道府県知事および政令市長は、工場又は事業場の排水基準の遵守状況を監視するため、必要に応じ工場または事業場に報告を求め、または立入検査を行っている。これらの監視行為に基づき、都道府県知事又は政令市長は、改善命令などの必要な行政措置を工場または事業場に行っている。

6. 5 工場における公害防止体制の整備

特定工場における公害防止組織の整備に関する法律は、特定工場において公害防止に関する業務を統括する公害防止統括者、公害防止に関して必要な専門知識および技能を有する公害防止管理者などの選任を義務づけている。

6. 6 助成措置など

産業公害防止施設の設置に対して中小企業設備近代化資金や中小企業金融公庫、環境事業団等による融資が行われている。また税制上の優遇措置も行われている。

第7章 廃水処理方式・技術の選定

7. 1 廃水の処理方式

廃水処理は廃水中に含まれる汚濁物質を（1）ろ過や吸着などで除去する方法、（2）酸化や還元などにより変化させる方法のいずれかで行う。汚染物質の大きさと、それらの物質を除去するために通常用いられている単位操作を図1-7-1に示す。また、廃水の性状と廃水処理装置の選定並びにシステムの概念的な構成を図1-7-2に示す。処理性能の確認は回分試験や、室内小型連続処理試験、現地連続処理試験で行われる。実績の多い廃水処理の場合は、廃水の水質分析値を基に処理方式と処理性能を決めることができる。しかし、これまでに実績のない新しい工場建設に伴う初めての廃水については、試料が入手できないために類似の製品工程の廃水性状を参考にするか、あるいは、原料の性状、歩留まりなどから廃水性状を推定しなければならない。一方、新しい処理方式を採用する場合や、原水の変動が大きい場合は、現地で連続処理試験を実施して、性能の確認を行うことがリスク回避と経済性の観点から望ましい。

7. 2 プロセスの選定

廃水処理装置は、反応のさせ方、装置の構造・構成、大きさ、環境対策、外観などにそれぞれの特長があり、立地環境条件に適したものを性能面、経済性、安全性、保全性などの総合評価を行って選定することが大切である。例えば、放流水質の規制の厳しい町の周辺に工場を建設する場合には、放流水質と共に臭い、騒音、外観、省スペースに配慮したプロセス、装置の選定が重要である。一方、逆に放流水質規制の緩やかな広大な場所に建設する場合は、ラグーンのようなシンプルなプロセスの選定も可能となる。

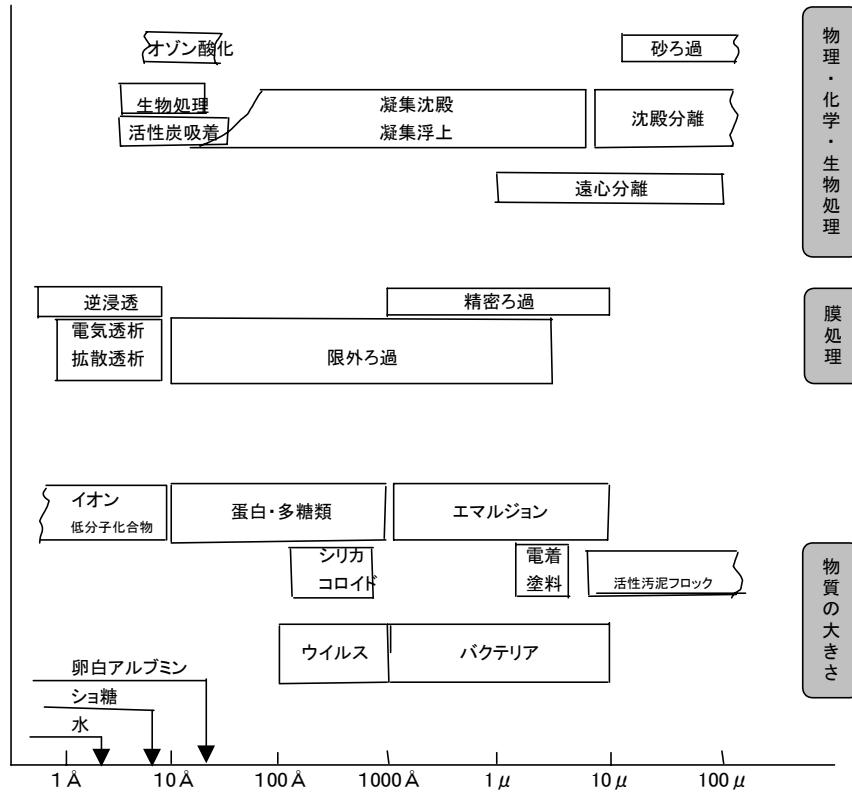


図 1-7-1 廃水処理における汚染物質の大きさと処理方式

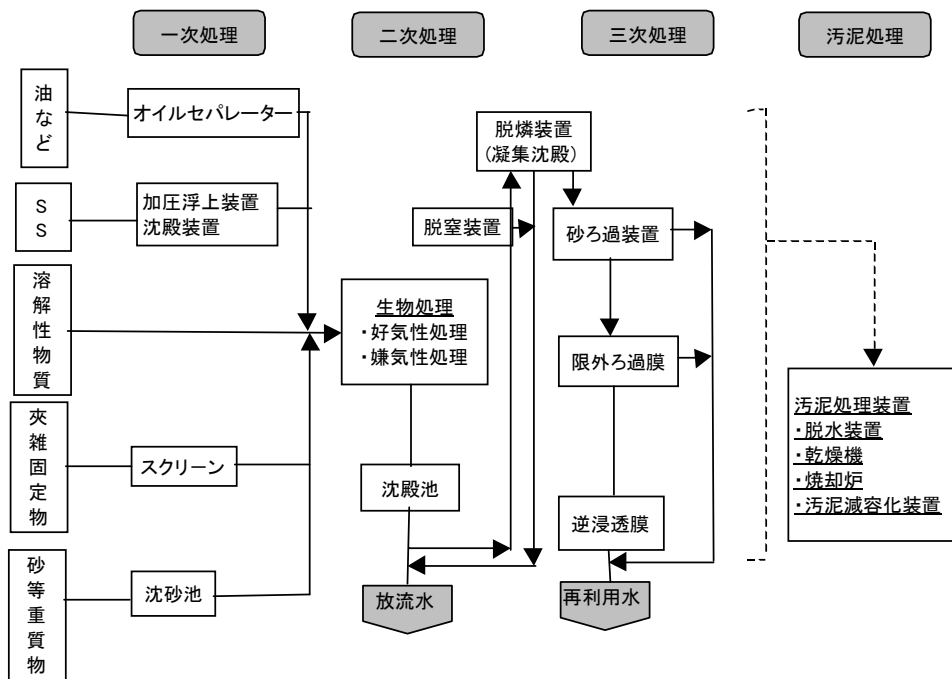


図 1-7-2 廃水性状と処理方式の概念

第8章 産業廃水処理施設の建設計画と建設・維持管理などの経費

8.1 建設計画

廃水処理設備は工場の生産に連動して稼働を続ける。工場の生産は社会的なニーズに合わせて製品が変わっていくことが常であり、生産現場では製造プロセスの合理化も絶えず行われている。一方、周辺の環境条件も変化をしている。しかし、廃水処理設備の建設に際してこれらの変化を予測して建設計画を策定することには困難とリスクを伴うために、通常は一定の経済的な制約の中で将来の対応可能範囲の予測を含めた建設計画が作られる。一方、環境保全の立場からは、廃水処理施設は工場の生産施設と同等に、生産にとって重要な位置を占めており、処理の安定操業が、生産の計画的安定操業につながっている。そのためには廃水の属性を理解することが大切であり、特に水量、汚濁負荷の日変動や季節変化に対する情報を類似の工場から得て対応できる設備にしておくことが重要である。一方、廃水処理設備の運転の信頼性を確保するために、システム安全工学的手法、例えばHAZOP(Hazard and Operability Study)の手法を用いて、通常状態からのズレ(例えば、pH、流量、濃度、圧力など)から、処理不良や危険を予測して、防御機能を付加とすることも重要である。

8.2 建設・維持管理などの経費

廃水処理設備の建設に際して、経済性と保全性、運転の容易性、安全性などを考慮しなければならない。廃水処理設備は恒常的に費用が発生する。廃水処理設備の建設に際して重要なことは、建設費と、用役費、修理費、管理費、廃棄費用までのライフサイクルコストで評価することが必要である。保全性については、故障を起さないことや、短時間で修理ができ、少ない捕修費用で済むことが重要である。

第9章 廃水処理施設の設計

9.1 プロセス計画設計

廃水処理施設の設計においては、水を浄化する設備の設計と同時に、経済性、周辺環境などへの配慮が必要である。プロセス計画設計は廃水処理施設全体の機能をギャランティーする段階の作業であり、設計要求条件と代表的な検討事項を表1-9-1に示す。プロセス計画設計の時点で必要な技術の信頼性の確保と経済性の要求事項は、利害が相反するいわゆるトレードオフの関係にある場合が多い。基本的には経済性を基軸にして、それぞれの要求事項を満足させることが必要である。

表 1-9-1 設計要求条件と代表的な検討事項

要求条件	管理単位	代表的な検討事項								
経済性	固定費	減価償却費 税金・保険 廃却費								
	変動費	用役費 保全費 人件費								
技術の信頼性の確保	フローシート	物質収支 運転条件 PID								
	機器・配管	腐食 磨耗 操作性、閉塞 予備機								
	構造物	地耐力 構造・材料 照明、防火								
労働安全衛生の確保	危険	機械安全設計(フェールセーフ) 漏洩 火災								
	作業環境	騒音 臭い								
環境保全	排水	水質基準								
	大気	排ガス								
	土壌	漏洩 薬品……凝集沈殿、脱水								
法的制約	設備、労働安全	<table border="0"> <tr> <td>建築基準法</td> <td>騒音規制法</td> </tr> <tr> <td>消防法</td> <td>労働基準法</td> </tr> <tr> <td>高圧ガス取締法</td> <td>ボイラーおよび圧力容器安全規則</td> </tr> <tr> <td>危険物の規制に関する政令</td> <td>電気事業法</td> </tr> </table>	建築基準法	騒音規制法	消防法	労働基準法	高圧ガス取締法	ボイラーおよび圧力容器安全規則	危険物の規制に関する政令	電気事業法
建築基準法	騒音規制法									
消防法	労働基準法									
高圧ガス取締法	ボイラーおよび圧力容器安全規則									
危険物の規制に関する政令	電気事業法									

これらはトレードオフの関係にある。経済性を基軸に各条件を満足する検討が求められる。

9. 2 プロセス基本設計

プロセス基本設計の段階では、詳細設計の基礎資料となる設計数値や配置、機器仕様の確認を行う。代表的なデータとしてはP&Iフローダイアグラムやプロットプラン、ユーティリティ・フローダイアグラムなどがある。

9. 3 詳細設計

この時点で、廃水処理設備の品質や、性能、運転性、保全性、安全性などの機能面のほとんどが決まってしまう。一般的には、最終図面の承認後に建設に取り掛かるが、特に安全性に対する配慮を怠らないようにすることも重要である。廃水処理施設では危険物を扱うこともあるし、酸欠事故、水死事故、回転機械接触事故などを起す可能性のある危険な場所があるために安全の確保は重要である。安全については、設計段階から、ハザード(危険因子)の特定を行い、リスク対策をとっておくことが必要である。安全設計の基本をフェールセーフ(機械設計原則)におき、さらに人間の過

失による信頼性や安全性が損なわれないようにするフール・プルーフ (fool-proof) などの手法を設計に取り入れることも有効である¹⁾。

参考文献

- 1) A.Kumar: Analyzing System Safety, Pollution Engineering, p. 46, June (2000)

第10章 廃水処理施設の管理・運用計画

廃水処理設備の最も重要な管理項目は、当然のことながら、工場からの排水が排水基準に適合することである。さらに、近年は周辺環境に対する配慮、地球環境保全に対する対応方針の明確化と、結果についての開示責任が企業に求められてきている。これらの要件を満足するために、廃水処理設備の安定的運転の確保は欠かすことのできないものであり、基準書の整備、設備の保全計画、労働安全衛生管理計画、環境管理計画、要員の教育計画、運転記録とアカウントビリティ(説明責任)などの仕組みを組織内に持つことが有効である。

10.1 基準書の整備

基準書は処理性能を確保するための歯止めとして重要であり、定常状態の基準書と緊急事態の対応マニュアルの二種類が作成される。定常状態に対しては、運転基準、保守点検基準、水質管理基準、報告基準などが整備される。一方、緊急事態に対しては、装置の故障による停止や、処理能力を大幅に超える負荷などの不測事態の発生への対応が求められる。緊急事態に対しては、危機ごとに、時系列的に対策組織を明確にし、復旧対策にまでいたるマニュアルの整備と緊急対応訓練が必要である。緊急事態のほとんどの事象は工場全体での対応が必要なケースが多く、工場の安全管理や環境管理システムの中で対応する必要がある。

10.2 設備の保全計画

廃水処理設備の保全は、工場の目的に照らして最も合理的な方式である必要があり、経済性の判断に基づき保全計画を立てることが原則である。通常、生産設備の保全は次の4つに分類される。

- ①日常保全、定期点検と予知保全(診断で修理時期、方法を定める)の3方式からなる予防保全
- ②同種の事故の再発を防ぐ改良保全
- ③故障が起こってから保全を行う事後保全
- ④設備の開発・設計段階から保全活動の結果を反映させ、信頼の高い設備にする保全予防

10.3 労働安全衛生管理計画

廃水処理設備の運転に伴う災害発生のゼロを目標に、設備、環境、作業方法などを整備し、作業者の安全、健康を維持するための管理が重要である。これは、組織が災害を防止し、発生した災害に適切に処置・対策を講じることである。労働安全衛生管理計画には、作業者の保全やモラルの維持、高揚を図る一面もある。

10.4 環境管理計画

廃水処理設備の運転において、排水の管理は重要であるが、系外に排出される廃棄物、臭い、排ガス、騒音などについても基準値に適合するための環境管理システムが必要であり、これらは工場全体のシステムとの整合性をもって作成される。2001年4月からはPRTR制度(Pollutant Release and Transfer Register)が実施された。この制度は、人の健康や生態系に有害な恐れのある化学物質について、事業所から環境(大気、水、土壌)への排出量および廃棄物に含まれる事業所外への移動量を、事業者が自ら把握し、国に対して届け出る制度である。また、PRTR制度とともに導入されるMSDS制度(Material Safety Data Sheet)により、対象化学物質を含有する製品を、販売する場合、または提供する際は、その化学物質の性状、取り扱いに関する情報を事前に提供することになっている。このデータシートには取扱上・保管上の注意や、有害性、廃棄上・輸送上の注意事項が記載されており、環境への漏洩などを防ぐことを目的としている。したがって、廃水処理に使用する、凝集剤、中和剤などの購入の際にはMSDSで安全性を確認する管理が必要となる。

10.5 教育訓練計画

廃水処理設備の運転管理に携わる人の教育訓練計画と管理は重要である。設備を運転管理する人に求められる能力としては、課題設定能力、職務遂行能力、対人能力、問題解決能力などがある。教育訓練はオンザジョブトレーニング、オフザジョブトレーニング、自己啓発によって行われる。

10.6 記録とアカウントビリティ

廃水処理設備の水質データ、運転条件、用役使用量(電気、水、薬品など)保全データなどは系統性、連続性をもって記録され、製造工程や原価管理との関係からこれらのデータが解析され、経済性の追及と合わせて環境保全が図られることが望ましい。装置の安定化、合理化、事故防止に対しては、これらのデータを品質管理の手法などを用いて解析し、改善策をとることができる。一方では、環境を利用して便益を得ている企業としては、環境負荷の低減に対するアカウントビリティ(説明責任)の重要性の高まりとともに、現状の環境負荷の把握と削減計画に対する組織的かつ長期的

対策の重要性が増してきている。

第11章 水質モニタリングの実施

11.1 水質モニタリングの必要性

わが国において、工場および事業場から公共用水域に排出される排水は水質汚濁防止法によって規制され、公共用水域の水質汚濁の防止が図られている。このため、事業者へは、事業者が負うべき最低限の責務としてふさわしい規制が課せられており、事業者がそれを遵守することで水域の水質の保全が図られている。すなわち、水質汚濁防止法では、まず、水質汚濁の原因となる汚水または排水が定められ、次にそれらを排出する施設を特定施設として指定し、その後に特定施設を設置する特定事業場を規制の対象としている。工場及び事業場から排出される排水には、公共用水域に排出する場合に広く適用される「排水基準に基づく規制」と、特定の水域に排出する場合に適用される「総量規制基準に基づく規制」が課せられている。「排水基準に基づく規制」を例にみると、工場および事業場内に特定施設を設置しようとする事業者は、その内容の都道府県知事への届出が必要であり、事業者は排水基準に適合しない排水を公共用水域に排出してはならないこととされている。加えて、事業者には排水水の汚濁の状態を自らチェックし、常にその状態を把握するために測定と記録（水質モニタリング）の義務が課せられている。また、「総量規制基準に基づく規制」では、指定地域内の事業場の設置者は、当該指定地域内事業場に係る総量規制基準を遵守するとともに、排水水の汚濁負荷量の測定と記録（水質モニタリング）の義務が課せられている。このように、産業排水を公共用水域に排出する事業者は、その排水水の状態を把握するための水質モニタリングが必須であり、基準との適合性を常にチェックすることで、公共用水域の水質の保全に努めるのが責務となっている。

11.2 水質モニタリングの種類とその概要

(1) 水質モニタリングの種類

環境基本法および水質汚濁防止法などに基づいて実施される水質モニタリングは、表1-11-1に示されるように、事業者が実施する「当該排水に係る水質モニタリング」と、地方公共団体などが実施する「公共用水域等の水質汚濁状況の監視に係る水質モニタリング」の2種類に大別される。事業者が実施する「当該排水に係る水質モニタリング」には、排水基準の規定に基づくモニタリングおよび総量規制基準の規定に基づくモニタリングがあり、それに加えて、排水処理の効率化などを支援するためにモニタリングが実施される場合もある。一方、地方公共団体などが実施する「公共用水域等の水質汚濁状況の監視に係る水質モニタリング」では、公共用水域の水質汚濁状況の常時監視に係る水質モニタリング（底質調査を含む）、地下水の水質汚濁状況の常時監視に係る

る水質モニタリング、工場および事業場排水の水質調査（特定事業場から排出される排水の水質監視）、その他のモニタリング（水生生物、栄養塩類、農薬、化学物質等）などがある。

表 1-11-1 水質モニタリングの種類

	実施者	区 分	モニタリングの種類	適用法令
水 質 モ ニ タ リ ン グ	事業者	当該排水に係る水質 モニタリング	排水基準の規制に基づくモニタリング	水質汚濁防止法
			総量規制基準の規制に基づくモニタリング	瀬戸内海環境保全 特別措置法
			その他のモニタリング（処理の効率化のための工程管理）	—
	地方公 共団体 等	公共用水域等の水質汚 濁状況の監視に係る水 質モニタリング	公共用水域の水質汚濁状況の常時監視に係る水質モニタリング （底質調査を含む）	環境基本法
			地下水の水質汚濁状況の常時監視に係る水質モニタリング	
			工場及び事業場排水の水質調査 （特定事業場から排出される排水の水質監視）	水質汚濁防止法
			その他のモニタリング（水生生物、栄養塩類、農薬、化学物質等）	

（２） 水質モニタリングの概要

1) 事業者が実施する「当該排水に係る水質モニタリング」

前述のように、事業者には排水の汚濁の状態（濃度規制）や汚濁負荷量（総量規制）を自らが測定し記録する義務がある。排水の汚濁の状態（濃度規制）の測定については、その具体的な方法が示されていないものの、必要に応じて都道府県知事および政令市長から排水基準の遵守状況について報告を求められる場合や、立入り検査が行なわれる場合があるため、それに応じた水質のモニタリングが必要となる。一方、排水の汚濁負荷量（総量規制）の測定については、CODを例にとると、表1-11-2に示されるように具体的な測定方法などが示されている。

<COD汚濁負荷量の算出方法>

$$L = C \cdot Q \times 10^{-3}$$

ここに、L : 排出される汚濁負荷量 (kg/日)

C : 特定排水のCOD値 (mg/l)

Q : 特定排水の量 (m³/日)

表 1-11-2 COD汚濁負荷量の測定方法と測定頻度

日平均排水量	測定方法			測定頻度
	区分	計測法	備考	
400m ³ 以上	濃度	(1) 水質自動計測器 (COD計、TOC計、TOD計、UV計等)	—	排水の期間中、毎日
		(2) コンポジットサンプラーと指定計測法	(1) の計測法が適当でない場合等	
		(3) 指定計測法 (1日3回以上の混合試料)	(1) 又は (2) の計測法が困難で、都道府県知事が認めた場合	
		(4) 簡易な計測器		
	排水量	(1) 流量計又は流速計	—	
		(2) 積算体積計		
(3) 簡易な計測方法 (JIS K0094. 8)		(1) 又は (2) の計測法が困難で、都道府県知事が認めた場合		
200m ³ 以上	濃度	(1) ~ (4) のいずれかの方法	—	7日を超えない排水の期間ごとに1回以上
400m ³ 未満	排水量	(1) ~ (3) のいずれかの方法	—	
100m ³ 以上	濃度	(1) ~ (4) のいずれかの方法	—	14日を超えない排水の期間ごとに1回以上
200m ³ 未満	排水量	(1) ~ (3) のいずれかの方法	—	
50m ³ 以上	濃度	(1) ~ (4) のいずれかの方法	—	30日を超えない排水の期間ごとに1回以上
100m ³ 未満	排水量	(1) ~ (3) のいずれかの方法	—	

2) 地方公共団体などが実施する「公共用水域等の水質汚濁状況の監視に係る水質モニタリング」

都道府県知事は、公共用水域などの汚濁状況の常時監視が義務付けられている。表1-11-3に、河川水を例にとった水質モニタリングの概要を示す。なお、調査方法は、「水質調査方法(昭和46年9月30日 環水管第30号)」によるものである。

表 1-11-3 河川水質のモニタリングの概要

	調査項目	調査頻度	採水頻度	調査地点	その他
通年調査	環境基準が設定されている健康項目	毎月1日以上	4回/日	基準点及び利水上重要な地点	比較的晴天が続き、水質が安定している日に実施 原則として、河川の流心で採水、川幅の広い場合は、右岸、左岸それぞれを別々の採水地点として設定
	環境基準が設定されている健康項目のうち、排出水の汚染状態の状況から判断して必要と思われる項目	適宜	4回/日	排出水の汚染状態の状況から判断して必要と思われる地点	
	環境基準が設定されている生活環境項目	毎月1日以上	4回/日	基準点及び利水上重要な地点	
通日調査	環境基準が設定されている生活環境項目	2日/年程度	2時間間隔で13回	日間変動の大きい地点	
補充調査	環境基準が設定されている生活環境項目	4日/年以上	4回/日	補充すべき地点	採水部位は、原則として水深の2割程度の深さ 採水時刻は、人の活動、工場の操業、汚濁物質の流達時間等を考慮する

11.3 水質モニタリングで使用される水質自動測定機器などの概要

水質モニタリングが実施される際、連続監視の必要性などから水質自動計測機器などが使用される場合がある。表1-11-4に、水質モニタリングで使用される代表的な水質自動測定機器などの概要を示す。

表 1-11-4 代表的な水質自動測定機器等の概要

項目	名称	測定方法の一例	測定原理等
水温	水温計	熱電対法	熱電対によって溶液の水温を測定する方法
pH	pH計	ガラス電極法	ガラス電極と比較電極の間に生じた電圧（電位差）を測定することで、溶液のpHを求める方法
濁度	濁度計	透過、散乱吸光法	透過光、散乱光などの吸光度を測定し、溶液の濁度を求める方法
DO	DO計	電極法	隔膜形ガルバニ電池式、ポーラロ式の電極によって溶液中の溶存酸素を測定する方法
電気伝導度	導電率計	電極法	電極によって溶液の抵抗を測定し、導電率を求める方法
酸化還元電位	ORP計	金属電極法	金属電極によって溶液中の酸化還元電位を測定する方法
COD	COD計	過マンガン酸カリウム酸化/ 電位差滴定法	溶液中の被酸化性物質を過マンガン酸カリウムで酸化し、消費された過マンガン酸カリウムの量を電位差滴定（ORP）によって求める方法
	TOC計	燃焼触媒酸化/赤外線吸光法	溶液中の被酸化性物質を燃焼させ、発生する炭酸ガスを赤外線吸光法によって測定する方法 CODの指定計測法との相関によって、CODを推定する
	UV計	紫外線吸光法	溶液に紫外線を透過させ、その吸光度を測定する方法 CODの指定計測法との相関によって、CODを推定する
全窒素	全窒素計	紫外線酸化法	溶液をアルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム/紫外線によって酸化し、溶液の紫外線吸光度を測定する方法
全りん	全りん計	紫外線酸化法	溶液をペルオキシ二硫酸カリウム/紫外線によって酸化し、モリブデン青吸光度を測定する方法

参考文献

- 1) 環境法令研究会編集：環境六法（平成14年度版）、中央法規出版、(2002)
- 2) 社) 海外環境協力センター：水環境保全技術研修マニュアル総論（1998）
- 3) 財) 地球環境センター：Database of Technology of Water Pollution Continuous Monitoring in JAPAN(1995)

第2部 基礎技術編

第2部 基礎技術編

第1章 廃水処理技術の概論

1.1 処理技術の単位操作

廃水処理技術は水に存在する粒子や溶解物質を水から分離するか、無害な安定した物質に変化させることである。処理方法は物理処理、化学処理、物理化学処理、生物処理に分けることができる。表2-1-1に処理方式、除去方法と主な技術を示す。一方、廃水処理に伴って発生するスクリーンかすや、分離油、汚泥などの一部は飼料、肥料などに用いられることがあるが、大半は脱水や、乾燥あるいは焼却などの減容化を行った後に産業廃棄物として処分される。

表2-1-1 廃水処理方式と除去方法並びに代表的技術

処理方式	除去方法	代表的技術
物理処理	篩ろ過 比重差 熱エネルギー 電気エネルギー 浸透圧	スクリーンろ過 沈殿、浮上分離 蒸発、乾燥 電気分解 逆浸透膜
化学処理	酸化反応 還元反応 複分解反応	酸化 還元 中和、凝集
物理化学処理	界面電位 吸着 イオン交換 電気化学反応 超臨界	凝集沈殿、凝集浮上 活性炭吸着 イオン交換樹脂・膜 電気透析、電気分解 超臨界水酸化
生物処理	好気性分解 嫌気性分解 嫌気・好気性反応	活性汚泥法、脱窒、脱磷 嫌気性消化法 脱窒、生物学的磷除去

1.2 処理システム

廃水処理設備は(1)廃水の特性、(2)放流水水質のレベル、(3)経済性、(4)立地環境条件、(5)企業の環境方針などの条件を考慮に入れて、構成する単位操作を選び処理システムが構成される。食品工場における廃水処理技術と処理の要求度の概念的な関係は図2-1-1に示される通りである。本図から明らかなように食品工場の廃水処理システムは生物処理が主体である。前処理工程では、標示ラベルや、ビニールシートなどの夾雑固形物を除去するためにスクリーンが設けられることが多い。食用油製造廃水のように多量の油分を含む廃水の場合は、重力式の油水分離槽が設けられる。次にBODを分解するために生物処理が行われるが、好気性生物処理を行う場合は、BOD濃度が高濃度(数千~数万mg/l)であれば希釈が必要になる。近年、このような高濃度廃

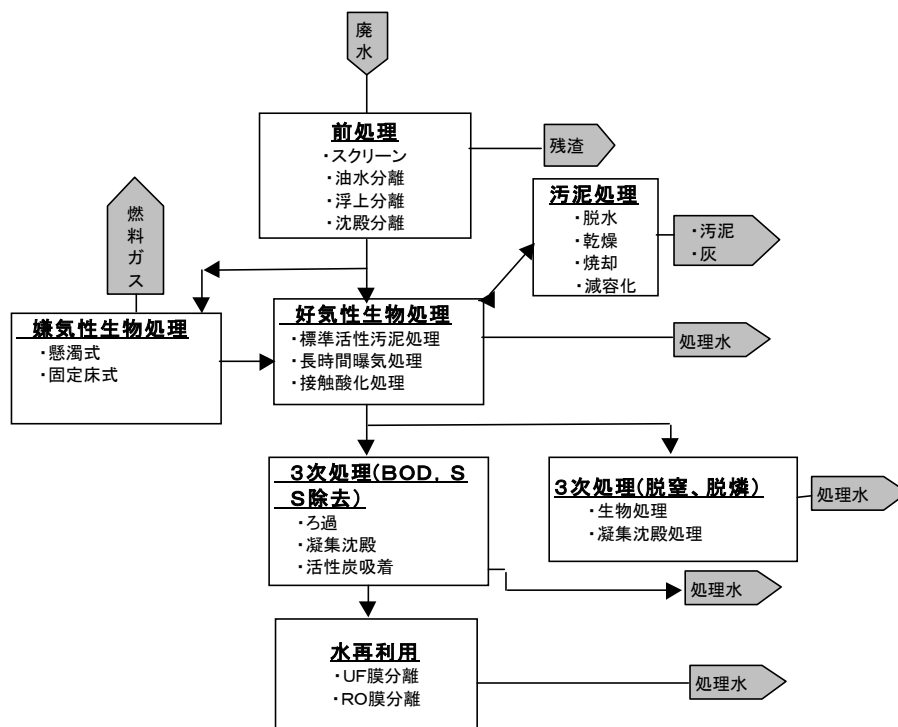


図 2-1-1 一般的な廃水処理システム

水は嫌気性生物処理により一次処理を行い、希釈をせずに好気性生物処理で二次処理をすることが多くなってきている。嫌気性生物処理の導入により（１）好気性生物処理装置の負荷の低減、（２）廃水中の有機物を燃料ガスに転換、（３）希釈水が不要になるか少なくなるために沈殿池を小さくできる、（４）バルキングの発生を抑えることができるなどの利点がある。嫌気性生物処理のBOD除去率は一般的に80～90%であり、残留BODの除去は好気性生物処理により行われ、その除去率は95～99%である。工場が下水道の整備された地域にあれば、嫌気性生物処理の処理水を直接下水道に排出することができるケースも多い。下水道の整備がされておらず、放流規制値の厳しい場所では、BOD、COD、SSなどの低減のための三次処理が必要となる。この場合は、砂ろ過、凝集沈殿、活性炭吸着の単独使用または組み合わせによる追加的処理が行われる。窒素、リンの低減を必要とする場合は一般的にはそれぞれ、生物脱窒と凝集沈殿が行われる。生物脱窒槽は活性汚泥の曝気槽から独立して作られることもあるが、通常はランニングコストの低減を図るために、無酸素処理と好気性処理を組み合わせたものが用いられる。水の再利用は用途により処理方式が異なる。冷却水、トイレ洗浄水の場合はUF膜で微粒子を除去するだけで使用されることもあるし、製品ラインの洗浄水に用いる場合は、RO膜を用いて脱塩処理をした処理水が再利用されている。一方、廃水処理の過程で発生する汚泥の処理は経済的にも環境対策面からも大きな問題である。これまで多くの場合、余剰汚泥は凝集剤を添加して、脱水してケーキ状にして、減容化したものを産業廃棄

物として場外処分してきた。余剰汚泥の発生量の多い廃水処理場では、脱水汚泥を焼却して灰にしてから搬出することも行われている。一部ではコンポストにしたり、乾燥して肥料に再利用することも行われている。廃水処理場全体の運転費に占める汚泥の処理・処分費の比率は多くの処理場で70%以上に達しており、さらに処分場の不足から高騰する傾向にある。そのため近年、好熱菌や、オゾン、機械的摩滅によって汚泥の細胞を破壊しながら汚泥の減容を行う技術が普及し始めている。経済効果とともに、環境マネジメントシステムISO14000の観点からも好ましい処理方法と考えられる。

第2章 廃水処理施設と施設設計の基本事項

2. 1 廃水処理の目的と目標

廃水処理を行うときの目的は次の2つのいずれかである。

- 1) 排水の許容限界水質基準値以下にする
- 2) 再利用水としての許容限界水質基準値以下にする

放流水質の目標値は、現行の規制値のほか、不測の廃水変動に対する許容幅や、工場の増設計画、周辺環境の変化などを考慮して設定される。この場合、不測の廃水負荷の変動、廃水水質の変化、周辺環境の予想される変化、例えば、水の不足、排水量の規制強化、水質規制強化などを予測することは極めて困難を伴うし、また不確実なものであることが多いため、経済性を基軸にして廃水処理設備の能力が工場の生産能力の限界につながることを明らかにすることで歯止めが行われる。下水道に排出する場合は、排除基準値が地域により異なり、また料金体系も異なっているために、下水道排出までに要する廃水処理の費用と、下水道放流料金の二つの費用の合計の最小化が図れることを条件に処理水質を決めることになる。一方、廃水の処理水を再利用する場合は利用目的によって処理の程度は異なる。参考に工業用水の水質を表2-2-1に示す。

表2-2-1 工業用水道供給標準水質

項目	基準値
濁度	20mg/l
pH	6.5~8.0
アルカリ度(CaCO ₃)	75mg/l
硬度(CaCO ₃)	120mg/l
蒸発残留物	250mg/l
塩素イオン(Cl ₂)	80mg/l
鉄(Fe)	0.3mg/l
マンガン(Mn)	0.2mg/l

2. 2 廃水調査と処理方式の評価

廃水処理設備の計画に先立ち類似の工場において次ぎの調査が一般的に行われる。

(1) 原料と製造工程と廃水の調査

総合廃水の調査と同時に工程別の廃水量、水質、時間変動を調査する。生産品目に日変動、季節変動などがある場合はそれぞれの変動幅を調査する。水質の分析は放流水の規制項目のほか、設計に必要な項目、例えば塩類濃度、温度、TOD、TOC、全蒸発残留物量などを測定しておく必要がある。次に実施しなければならない事項は以下の通りである。①廃水量と汚濁物質の低減、②それぞれの変動幅の低減、③有価物の回収の可能性と評価、並びに④水の再利用の可能性と要求水質である。一方、食品工場廃水の場合は有毒物質、有害物質が含まれることはほとんどないが、機器洗浄滅菌に使われる塩素系殺菌剤については、排水系への流出量を管理できるようにしておくことが重要である。

(2) 周辺環境調査

工場の立地環境に関して、排水基準値、放流先環境、行政の考え方などを明確にする。廃水処理設備に関連する特定施設とその配置、廃水の集水方法、排水の放流方法、廃水処理設備建設用地などを調査する。また、下水道の排除基準と料金体系、共同処理場の有無の調査を行う。

(3) 処理試験

廃水処理の実績がない場合や、新しいプロセス・装置の導入を行う場合には処理試験を行って性能の確認と設計に必要なデータを取るのが良い。処理試験には、現地で実機に近い状態で負荷変動を与えながら実証を行うパイロットスケールテストから、回分試験で性能予測や設計に必要なデータを取る方法などがある。食品工場廃水の処理テストを行うときには、汚濁濃度の変動が一般的に大きく、また腐敗しやすい点を考慮に入れて行うことが必要である。

(4) 総合判断

処理方式の決定は環境立地条件に適合する方式の中から、最も経済性のある方法が選ばれる。一般的には排水系統別に処理をした場合の建設費、運転管理費を求めて、次いで、総合廃水処理の場合との経済性の比較検討の結果を基にプロセス、システムの評価が行われる。一方では、下水道の普及に伴い下水道に放流できる工場が増加している。下水道に放流するための廃水処理装置は除害設備と呼ばれ、工場、事業場が公共下水道を利用する場合には、排出水の水質値と水質使用料金の関係から除害設備の最も経済的な仕様が決定されている。工場からの排水を下水道が受け入れる場

合の放流水質と料金の関係については第2部3-3で述べる。また、工業団地などでは共同廃水処理場のあるところもあり、下水道と同様に経済性の最適値になる処理方式を決めることが重要である。これまでに述べてきた経済性の判断は、同時に環境への配慮を含めたものであることが近年求められている。すなわち、プロセスの決定、機器の選定に当たっては、ライフサイクルコストの観点からの評価が重要である。ライフサイクルコストは、設備費（減価償却費、租税公課、保険料など）のほかに、運転費（用役使用量、バイプロダクトの廃棄費用、メタンガスのクレジットなど）、維持管理費（人件費、修理費など）、さらに使用後の廃棄費用を含むトータルコストで評価を行うことを求めている。こうした社会的な背景の中で、廃水中の有価物を回収して産業廃棄物を減らすことも資源循環型社会形成に有効な方法と考えられる。

2. 3 設計上の留意点

廃水処理設備を設計する場合には機能の確保と共に設備の経済性、信頼性、安全性、環境への配慮が必要である。機能については負荷変動、水質変動に対しても安定した処理が行えることが重要である。廃水処理設備のそれぞれの単位操作能力を時間的瞬間最大負荷で設計することは経済性が著しく低下するので、通常は原水調整槽を設けて、水量と水質の平準化をできるだけ行うのが一般的な方法である。廃水処理設備が故障や事故で停止すると工場の操業を止めなければならない事態にいたるので、廃水処理設備の信頼性の確保については生産設備と同じレベルで設計する必要がある。そのために信頼性の高い機器を採用することも重要であるが、経済性を考慮すれば、機能を一部縮小しながらでも処理が続けられるシステム構成の設計を行うことも重要である。安全性についても設備におけるプロセスパラメータ（反応、攪拌、pH、温度、圧力など）の目的状態からのずれを起点にして、その原因と危険事象を解析し、それらの危険事象への進展を防止する防護機能を備える設計を心掛けることも重要である。

第3章 処理水放流基準への適合

日本が最初に法律を定めて工場排水を規制し、公共用水域の水質保全をするきっかけは、1958年に起こった製紙工場廃水による漁業被害の紛争であり、同年12月に水質保全法と工場排水規制法の2法が成立し、翌年3月に施行された。しかし生産を重視した経済政策は、環境の整備なしには生産の拡大がもはや望めない状態を生じ、1970年になってこの2法を一本化して水質汚濁防止法が成立した。本法では、一律基準であって水域の水質環境が保全できない場合は、水域を限って条例で上乘せ基準を許し水質改善を図っていく権限が地方に委譲された。

3. 1 環境基準への配慮

廃水処理設備の設置を検討する時に地域社会との共生の認識が根底にあることが現代社会では求められ、第1章で述べた環境基準についての配慮が必要である。そのためには立地環境を理解することが大切であり、環境基準を明確に整理しておくことが重要である。環境基本法に基づく水質に関する環境基準は、人の健康に係る環境基準と、生活環境に係る環境基準に分けて設けられている。人の健康を保護するものとしては、重金属や有機塩素化合物、農薬など26項目、生活環境の保全については、水素イオン濃度、溶存酸素、浮遊物質量、生物化学的酸素要求量、化学的酸素要求量、全窒素、全リンなど9項目が挙げられる。前者は全国一律基準であるのに対し、後者は河川や湖沼、海域について別々に定められている。表2-3-1に人の健康に係る環境基準を示す。生活環境に係る環境基準については、表2-3-2に河川、表2-3-3に湖沼、表2-3-4に海域の値を示す。

表2-3-1 人の健康に係わる環境基準

項目	基準値
カドミウム	0.01mg/l以下
全シアン	検出されないこと
鉛	0.01mg/l以下
クロム(6価)	0.05mg/l以下
砒素	0.01mg/l以下
総水銀	0.0005mg/l以下
アルキル水銀	検出されないこと
PCBs	検出されないこと
ジクロメタン	0.02mg/l以下
四塩化炭素	0.002mg/l以下
1・2-ジクロロエタン	0.004mg/l以下
1・1-ジクロロエチレン	0.02mg/l以下
シス-1・2-ジクロロエチレン	0.04mg/l以下
1・1・1-トリクロロエタン	1mg/l以下
1・1・2-トリクロロエタン	0.006mg/l以下
トリクロロエチレン	0.03mg/l以下
テトラクロロエチレン	0.01mg/l以下
1・3-ジクロロプロペン	0.002mg/l以下
チウラム	0.006mg/l以下
シマジン	0.03mg/l以下
チオベンカルブ	0.02mg/l以下
ベンゼン	0.01mg/l以下
セレン	0.01mg/l以下
硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	10mg/l以下
ふっ素	0.8mg/l以下
ほう素	1mg/l以下

表2-3-2 生活環境に係わる環境基準
河川(湖、沼を除く)

項目 類型	利用目的の適応性	基準値				
		水素イオン 濃度 (pH)	生物化学的 酸素要求量 (BOD)	浮遊物質 量 (SS)	溶存酸素量 (DO)	大腸菌群数
AA	水道1級 自然環境保全及びA以下の欄に かかげるもの	6.5以上 8.5以下	1mg/ℓ以下	25mg/ℓ以下	7.5mg/ℓ以上	50MPN /100ml 以下
A	水道2級 水産1級 水浴 およびB以下の欄にかかげるもの	6.5以上 8.5以下	2mg/ℓ以下	25mg/ℓ以下	7.5mg/ℓ以上	1000MPN /100ml 以下
B	水道3級 水産2級 およびC以下の欄にかかげるもの	6.5以上 8.5以下	3mg/ℓ以下	25mg/ℓ以下	5mg/ℓ以上	5000MPN /100ml 以下
C	水産3級 工業用水1級 およびD以下の欄にかかげるもの	6.5以上 8.5以下	5mg/ℓ以下	50mg/ℓ以下	5mg/ℓ以上	—
D	工業用水2級 農業用水 およびEの欄にかかげるもの	6.0以上 8.5以下	8mg/ℓ以下	100mg/ℓ以下	2mg/ℓ以上	—
E	工業用水3級 環境保全	6.0以上 8.5以下	10mg/ℓ以下	ごみなどの 浮遊が認め られないこと	2mg/ℓ以上	—

- (1) 基準値は、日間平均値とする。(湖沼・海域もこれに準ずる)
(2) 農業用利水点については、水素イオン濃度6.0以上7.5以下、溶存酸素量5mg/ℓ以上とする(湖沼もこれに準ずる)
(3) 自然環境保全：自然探勝などの環境保全
水道1級：ろ過などによる簡易な浄水操作を行うもの
水道2級：沈殿ろ過などによる通常の浄水操作を行うもの
水道3級：前処理などを伴う高度の浄水操作を行うもの
水産1級：ヤマメ・イワナなど貧腐水性水域の水産生物用ならびに水産2級および水産3級の水産生物用
水産2級：サケ科魚類およびアユなど貧腐水性水域の水産生物用および水産3級の水産生物用
水産3級：コイ、フナなどβ-中腐水性水域の水産生物用
工業用水1級：沈殿などによる通常の浄水操作を行うもの
工業用水2級：薬品注入などによる高度の浄水操作を行うもの
工業用水3級：特殊の浄水操作を行うもの
環境保全：国民の日常生活(沿岸の遊歩などを含む)において不快感を生じない限度

表2-3-3 湖沼（天然湖沼および貯水量1千万m³以上の人工湖）

項目 類型	利用目的の適応性	基準値				
		水素イオン 濃度 (pH)	化学的酸素 要求量 (COD)	浮遊物質 量 (SS)	溶存酸素量 (DO)	大腸菌群数
AA	水道1級	6.5以上				
	水産1級 自然環境保全及びA以下の欄にかかげるもの	8.5以下	1mg/ℓ以下	1mg/ℓ以下	7.5mg/ℓ以上	50MPN /100mℓ 以下
A	水道2,3級	6.5以上				
	水産2級 水浴 およびB以下の欄にかかげるもの	8.5以下	3mg/ℓ以下	5mg/ℓ以下	7.5mg/ℓ以上	1000MPN /100mℓ 以下
B	水産3級	6.5以上				
	工業用水1級 農業用水 およびC以下の欄にかかげるもの	8.5以下	5mg/ℓ以下	15mg/ℓ以下	5mg/ℓ以上	—
C	工業用水2級	6.0以上				
	環境保全	8.5以下	8mg/ℓ以下	ごみなどの 浮遊が認め られないこと	2mg/ℓ以上	—

1. 自然環境保全：自然探勝などの環境保全
2. 水道1級：ろ過などによる簡易な浄水操作を行うもの
水道2,3級：沈殿ろ過などによる通常の浄水操作、または前処理などを伴う高度の浄水操作を行うもの
3. 水産1級：ヒメマスなど貧栄養湖型の水域の水産生物用ならびに水産2級および水産3級の水産生物用
水産2級：サケ科魚類およびアユなど貧栄養湖型の水域の水産生物用および水産3級の水産生物用
水産3級：コイ、フナなど富栄養湖型の水域の水産生物用
4. 工業用水1級：沈殿などによる通常の浄水操作を行うもの
工業用水2級：薬品注入などによる高度の浄水操作、または特殊の浄水操作を行うもの
5. 環境保全：国民の日常生活（沿岸の遊歩などを含む）において不快感を生じない限度

項目 類型	利用目的の適応性	基準値	
		全窒素	全磷
I	自然環境保全及びII以下の欄に掲げるもの	0.1mg/ℓ以下	0.005mg/ℓ以下
II	水道1、2、3級(特殊なものを除く) 水産1種 水浴及びIII以下の欄に掲げるもの	0.2mg/ℓ以下	0.01mg/ℓ以下
III	水道3級(特殊なもの)及びIV以下に掲げるもの	0.4mg/ℓ以下	0.03mg/ℓ以下
IV	水産2種及びVの欄に掲げるもの	0.6mg/ℓ以下	0.05mg/ℓ以下
V	水産3種 工業用水 農業用水 環境保全	1mg/ℓ以下	0.1mg/ℓ以下

1. 自然環境保全：自然探勝などの環境保全
2. 水道1級：ろ過などによる簡易な浄水操作を行うもの
水道2級：沈殿ろ過などによる通常の浄水操作を行うもの
水道3級：前処理などを伴う高度の浄水操作を行うもの
3. 水産1種：サケ科魚類及びアユ等の水産水産生物用並びに水産2種および水産3級の水産生物用
水産2種：ワカサギ等の水産生物用及び水産3級の水産生物用
水産3種：コイ、フナ等の水産生物用
4. 環境保全：国民の日常生活（沿岸の遊歩などを含む）において不快感を生じない限度

表 2-3-4 海域

ア

項目 類型	利用目的の適応性	基準値				
		水素イオン 濃度 (pH)	化学的酸素 要求量 (COD)	溶存酸素量 (DO)	大腸菌群数	n-ヘキサン 抽出物質 (油分など)
A	水産1級 水浴 自然環境保全及び B以下の欄にか掲げるもの	7.8以上 8.3以下	2mg/ℓ以下	7.5mg/ℓ以上	1000MPN /100ml 以下	検出されない こと
B	水産2級 工業用水 及びCの欄に掲げるもの	7.8以上 8.3以下	3mg/ℓ以下	5mg/ℓ以上	—	検出されない こと
C	環境保全	7.0以上 8.3以下	8mg/ℓ以下	2mg/ℓ以上	—	—

1. 自然環境保全 : 自然探勝等の環境保全
2. 水産1級 : マダイ・ブリ・ワカメなどの水産生物用および水産2級の水産生物用
水産2級 : ポラ・ノリなどの水産生物用
3. 環境保全 : 国民の日常生活(沿岸の遊歩などを含む)において不快感を生じない限度

イ

項目 類型	利用目的の適応性	基準値	
		全窒素	全磷
I	自然環境保全及びⅡ以下の欄に 掲げるもの(水産2種及び3種を除く)	0.2mg/ℓ以下	0.02mg/ℓ以下
Ⅱ	水産1種 水浴及びⅢ以下の欄に掲げるもの (水産2種及び3種を除く)	0.3mg/ℓ以下	0.03mg/ℓ以下
Ⅲ	水産2種及びⅣ以下の欄に 掲げるもの(水産3種を除く)	0.6mg/ℓ以下	0.05mg/ℓ以下
Ⅳ	水産3種 工業用水 生物生息環境保全	1mg/ℓ以下	0.09mg/ℓ以下

1. 自然環境保全 : 自然探勝等の環境保全
2. 水産1種 : 底生魚介類を含め多様な水産生物がバランス良く、かつ、安定して漁獲される
水産2種 : 一部の底生魚介類を除き、魚類を中心とした水産生物が多獲される
水産3種 : 汚濁に強い特定の水産生物が漁獲される
3. 生物生息環境保全 : 年間を通して底生生物が生息できる限度

3. 2 排水基準

水質汚濁防止法は人の健康を守り、また生活環境を保全するために、事業所から排出された排水により公共用水域や地下水が汚染されることを防ぐことを目的としている。水質汚濁防止法は全国一律の基準と、事業所から公共用水域に排出される排水基準を都道府県条例で規制強化することを認めている。この条例は政令で定められた次の(1)または(2)のいずれかの要件を備えている汚水または排水を排出する特定施設に適用される。

- (1) カドミウムその他の人の健康にかかわる被害を生じる恐れがある物質として政令で定める物質を含むこと。
- (2) 化学的酸素要求量その他の水の汚染状態（熱によるものを含み、前号に規定する物質による物を除く）を示す項目として政令で定める項目に関し、生活環境に係る被害を生じる恐れがある程度のものであること。

排出基準には人の健康を守るものと、生活環境を保全するための2つがある。水質汚濁防止法は1996年の時点でおよそ300,000の事業所に適用されている。国の排水基準は全国一律であって人の健康に係るものと生活環境項目に係るもの2つのカテゴリから成り立っている。人の健康に係る項目は表2-3-5に示す27項目がり、生活環境にかかわる項目は表2-3-6に示す15項目がある。水質汚濁防止法では表2-3-7に示すように一律基準のほか3種類の排水基準を設けて、業種、地域、施設規模、規制項目によって排水規制の実効的な運用が図れるようになっている。

上乘せ基準では、都道府県知事が、全国一律基準だけでは公共用水域の環境基準の確保が不十分と判断した場合に、より厳しい排出基準を定めることを認めている。この基準は、一律基準より厳しい規制基準を定める方法と、特定事業場のうちで日廃水量が50m³以下ものに広げる場合もある。一方、閉鎖水域の環境基準(COD)の達成率は他の水域に比べて低い。これは窒素と燐を含む栄養塩の慢性的流入によるもので、富栄養化がより厳しくなっているためである。この閉鎖性海域では赤潮が頻繁に発生している。

総量規制では、こうした汚染された工業地域の周辺の閉鎖性海域の水質改善を図るために、汚濁負荷の低減を行うための地域別の総量規制を定める事を認めている。現在、東京湾、伊勢湾と瀬戸内海の流域内の特定事業場の排水規制を厳しく規制されており、これらの特定水域のCOD汚濁負荷低減目標の達成状況報告と、汚濁削減目標の設定が5年毎に行われている。2002年春には第5次総量規制がスタートし、CODの削減と併せて窒素、燐のより効果的な削減が図られることとなった。横だし基準では、排水基準を定める項目を増やすやり方と、特定事業場以外に規制をかけることができる。

表 2-3-5 人の健康にかかわる一律排水基準

有害物質	基準値
カドミウム及びその化合物	カドミウムにつき0.1(mg/ℓ)
シアン化合物	シアンにつき1(mg/ℓ)
有機リン(パラチオン、メチルパラチオン、及びEPNIに限る。)	1(mg/ℓ)
鉛及びその化合物	鉛につき0.1(mg/ℓ)
六価クロム化合物	六価クロムにつき0.5(mg/ℓ)
砒素及びその化合物	砒素につき0.1(mg/ℓ)
水銀及びアルキル水銀その他の水銀化合物	水銀につき0.005(mg/ℓ)
アルキル水銀化合物	検出されないこと
PCB	0.003(mg/ℓ)
トリクロロエチレン	0.3(mg/ℓ)
テトラクロロエチレン	0.1(mg/ℓ)
ジクロロメタン	0.2(mg/ℓ)
四塩化炭素	0.02(mg/ℓ)
1・2-ジクロロエタン	0.04(mg/ℓ)
1・1-ジクロロエチレン	0.2(mg/ℓ)
シス-1・2-ジクロロエチレン	0.4(mg/ℓ)
1・1・1-トリクロロエタン	3(mg/ℓ)
1・1・2-トリクロロエタン	0.06(mg/ℓ)
1・3-ジクロロプロペン	0.02(mg/ℓ)
チウラム	0.06(mg/ℓ)
シマジン	0.03(mg/ℓ)
チオベンカルブ	0.2(mg/ℓ)
ベンゼン	0.1(mg/ℓ)
セレン及びその化合物	セレンにつき0.1(mg/ℓ)
ほう素及びその化合物	ほう素につき10(mg/ℓ)
ふっ素及びその化合物	ふっ素につき8(mg/ℓ)
アンモニア、アンモニア化合物、亜硝酸化合物及び硝酸化合物	100(mg/ℓ) ※

※アンモニア性窒素に0.4を乗じたものと亜硝酸性窒素及び硝酸性窒素との合計に基準が適用される。

表2-3-6 生活環境項目にかかわる一律排水基準

有害物質	基準値
水素イオン濃度(pH)	
海域以外の水域への排出	5.8 ~ 8.6
海域への排出	5.0 ~ 9.0
生物化学的酸素要求量(BOD)	160(mg/ℓ) (日間平均 120(mg/ℓ))
化学的酸素要求量(COD _{Mn})	160(mg/ℓ) (日間平均 120(mg/ℓ))
浮遊物量(SS)	200(mg/ℓ) (日間平均 150(mg/ℓ))
ノルマルヘキサン抽出物含有量	
鉱油類含有量	5(mg/ℓ)
動植物油脂類含有量	30(mg/ℓ)
フェノール類含有量	5(mg/ℓ)
銅含有量	3(mg/ℓ)
亜鉛含有量	5(mg/ℓ)
溶解性鉄含有量	10(mg/ℓ)
溶解性マンガン含有量	10(mg/ℓ)
クロム含有量	2(mg/ℓ)
弗素含有量	15(mg/ℓ)
大腸菌群数	日間平均 3000個/cm ³
窒素含有量	120(mg/ℓ) (日間平均 60(mg/ℓ))
燐含有量	16(mg/ℓ) (日間平均 8(mg/ℓ))

表2-3-7 水質汚濁防止のための規制基準の種類とその対象

基準の種類	対象業種	対象地域	対象施設規模	規制対象項目
一律基準	全業種	全国の公共用水域	法律で定める 特定施設	・生活環境項目 ・有害物質
上乗せ基準		環境基準達成のために 厳しい規制を必要とし、 水質汚濁防止法に基づ き都道府県条例で規制 する地域	法律で定める 特定施設(排水量 50m ³ 以下も対象と なることもある)	・生活環境項目 ・有害物質
総量規制		法律で指定する地域 (東京湾、伊勢湾、瀬戸 内海流域内)	法律で定める 特定施設	・指定物質 (COD、N、P)
横出し基準		都道府県が当てはめた 環境基準の達成のため や、水質保全のために 厳しい規制を必要とし 都道府県条例で規定す る地域	法律で定める 特定施設とそれら 以外の施設	現行の排出基準 で設定されてい ない項目

3. 3 下水道への排除

特定施設の設置者や、一定の水量、水質の排水を下水道に流そうとする工場・事業場で表2-3-8に該当する場合は下水道法に基づき届出の義務がある。排水を下水道に流すことを「排除」、その時の水質基準を「排除基準」と言う。排除基準は水質汚濁防止法とダイオキシン類対策特別措置法を基本として自治体が立地環境を反映して条例で基準値を決める。排除基準には①人の健康に係る被害を生ずる恐れのある項目(表2-3-9)、②生活環境に係る被害を生ずる恐れのある項目(表2-3-10)、③下水処理上に負荷をかける項目(表2-3-11)、④施設を損傷する恐れのある項目(表2-3-12)があり、それぞれの表は神戸市の例を示す。しかし規制項目のうち、生物化学的酸素要求量(BOD)、浮遊物質(SS) および動植物油脂類含有量の3項目については下水処理場で処理ができるため、追加料金を支払えば排除することができる。神戸市の制度では次の(1)と(2)の両方の要件に該当する事業場は水質使用量の支払をすることにより排除基準より高い排水を下水道に放流することができる。

- (1) 水量：1ヶ月当りの汚水の排除量が500m³を超える
- (2) 水質：生物化学的酸素要求量(BOD)・・・200mg/l～2,000mg/l
 浮遊物質(SS)・・・・・・・・・・200mg/l～2,000mg/l
 動植物油脂類含有量・・・・・・・・・・30mg/l～150mg/l

表2-3-8 公共下水道使用の届けの該当項目

該当項目	該当水量・水質
排水量(日最大量)	>50m ³
該当する水質	
pH	<5.7 or >8.7
BOD	>300mg/l
SS	>300mg/l
動植物油脂類含有量	>30mg/l
温度	>40℃
アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素及び硝酸性窒素	>300mg/l
窒素含有物	>150mg/l
燐含有物	>20mg/l
その他	表2-3-9～12の基準を満足しない

表2-3-9 人の健康にかかわる被害を生ずる恐れのある項目

ダイオキシン類(神戸市下水道条例)

項目	排除基準
ダイオキシン類	10pg-TEQ/ℓ以下

ダイオキシン類以外(神戸市下水道条例)

(mg/ℓ以下)

項目	排除基準	
	東灘・中央・垂水処理区	ポートアイランド処理区
カドミウム及びその化合物	0.05	0.03
シアン化合物	0.7	0.3
有機燐化合物	0.7	0.3
鉛及びその化合物	0.1	0.1
六価クロム化合物	0.35	0.1
砒素及びその化合物	0.1	0.05
水銀及びアルキル水銀その他の水銀化合物	0.005	0.005
アルキル水銀化合物	検出されないこと	検出されないこと
ポリ塩化ビフェニル	0.003	0.003
ジクロロメタン	0.2	0.2
四塩化炭素	0.02	0.02
1,2-ジクロロエタン	0.04	0.04
1,1-ジクロロエチレン	0.2	0.2
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.4	0.4
1,1,1-トリクロロエタン	3	3
1,1,2-トリクロロエタン	0.06	0.06
トリクロロエチレン	0.3	0.3
テトラクロロエチレン	0.1	0.1
1,3-ジクロロプロペン	0.02	0.02
チウラム	0.06	0.06
シマジン	0.03	0.03
チオベンカルブ	0.2	0.2
ベンゼン	0.1	0.1
セレン及びその化合物	0.1	0.1
ほう素及びその化合物	230	230
ふっ素及びその化合物	15	15

表2-3-10 生活環境にかかわる被害を生ずる恐れのある項目(神戸市下水道条例)

項目	排除基準
フェノール類	5mg/ℓ以下
銅及びその化合物	3mg/ℓ以下
亜鉛及びその化合物	5mg/ℓ以下
鉄及びその化合物(溶解性)	10mg/ℓ以下
マンガン及びその化合物(溶解性)	10mg/ℓ以下
クロム及びその化合物	2mg/ℓ以下

表 2-3-11 下水処理場に負担をかける項目 (神戸市下水道条例)

項目		排除基準
水素イオン濃度(pH)		5を超え 9未満
生物化学的酸素要求量(BOD) *		2000mg/ℓ以下
浮遊物質(SS) *		2000mg/ℓ以下
ノルマルヘキサン抽出物質	イ. 動植物油脂類含有量 *	150mg/ℓ以下
	ロ. 鉱油類含有量	5mg/ℓ以下

(備考) * は月排水量が500m³以下の事業場には適用されない。

表 2-3-12 施設を損傷する恐れのある項目 (神戸市下水道条例)

項目	排除基準
温 度	45℃未満
沃 素 消 費 量	220mg/ℓ未満

また、水質料金の計算は次のように行われる。

$$F(\text{水質濃度}) = A + 1.1 \times B + 2 \times C$$

A: BOD が 200mg/ℓ を超える場合、その値から 200 を引いた値

B: SS が 200mg/ℓ を超える場合、その値から 200 を引いた値

C: 動植物油脂類含有量が 30mg/ℓ を超える場合、その値から 30 を引いた値

次に水質濃度 F の値に応じて、表 2-3-13 の単価に基づく水質使用料が下水道使用料に加算される。

表 2-3-13 水質使用料金 (神戸市)

水質濃度(F)	料金(1m ³ につき)
1~100	9 円
101~300	35 円
301~500	70 円
501~800	110 円
801~1,100	165 円
1,101~1,500	225 円
1,501~2,000	300 円
2,001~2,500	390 円
2,501~3,400	510 円

第4章 前処理技術

4.1 スクリーニング

(1) スクリーニングの基本技術

廃水中の比較的粗大な浮遊物を除去するために、廃水をスクリーンを通過させてスクリーンの目より大きな浮遊物をスクリーン上に残留させて取り除くことをスクリーニングという。スクリーンは通常水路の途中や廃水貯留槽の入口に設けられ、廃水は自然流下でこれを通過するようになっている。この際スクリーン上に残留する夾雑物を放置すると流路の抵抗が大きくなって流量の減少や上流側水位の上昇が起こる。これを防止するために随時残留物を掻き揚げて取り出さなければならない。これを機械的あるいは人的に行う方式には、バースクリーン型、振動スクリーン型、ドラム型があるが、最も広く一般に用いられているのは、設置の容易さ、管理の容易さ、価格などの点からバースクリーン型である。

1) スクリーンの有効目幅

平帯鋼などからできているバースクリーンは開口部の有効間隔が①50mm程度以上の粗目スクリーン、②15～50mmの普通目スクリーン、および③15mm程度以下の細目スクリーンの3種類がある。粗目スクリーンは普通目スクリーンの保護用として用いられることがあるが、通常は廃水処理設備の機械の保護を目的に普通目スクリーンが多く用いられる。細目スクリーンは夾雑物の生物処理などのプロセスへの影響を避けるために設置されることが多い。

2) バースクリーン設置の指針

日本下水道協会発行の下水道施設設計指針によれば、汚水用スクリーンは有効間隔20～25mmの平鋼製格子形とし、掻揚げ装置を設けて傾斜角は水平に対し70度前後としている。スクリーン通過流速は、計画流量に対して0.45m/sを標準とし、スクリーンは前後の水位差1.0mに対して十分な強度を有することとしている。食品工場排水処理の場合は大きな夾雑物は通常工場内のスクリーンで除去されるため、廃水処理場での夾雑固形物は比較的少なく、手掻揚げの普通目バースクリーンを設けている所が多い。手掻揚げの場合のスクリーンの水平に対する角度は40～60度で設計される。また廃水量が少なく夾雑固形物が多い場合には回転式のバースクリーンが使われる。バースクリーンによる損失水頭 h_r は次式で求めることができる。

$$h_r = \beta \sin \alpha (t/b)^{4/3} v^2$$

ただし、 α ：スクリーンの水平との角度、 t ：スクリーンバーの厚さ、 β ：スクリーンバーの断面形状による係数で円棒の場合は1.79、前後半円バーの場合は1.67、矩形バーの場合は2.42、 b ：スクリーンの有効間隔、 v ：スクリーン前における廃水の流速。実際にはこれにスクリ

ーンかすによる損失水頭を加えて求める。これらを考慮したスクリーンの全体の幅は一般には上流水路幅の180%くらいとなる。

(2) スクリーンの種類

食品工場廃止処理のスクリーニングを行う装置は、バースクリーン（機械掻揚げ式、手掻揚げ式、回転式）が中心であるが、有効径が200～1,000 μ 前後のステンレス製の過網を有する回転円筒ドラム型マイクロストレーナーや破砕機付スクリーンも用いられる。代表的な手掻揚げバースクリーンの構造を図2-4-1に、回転式スクリーンの構造を図2-4-2に示す。

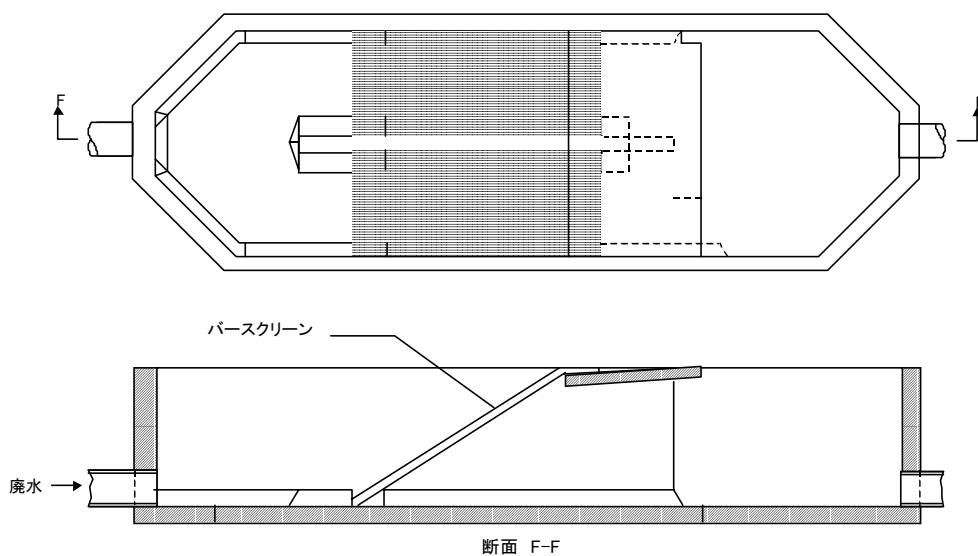


図2-4-1 バースクリーン

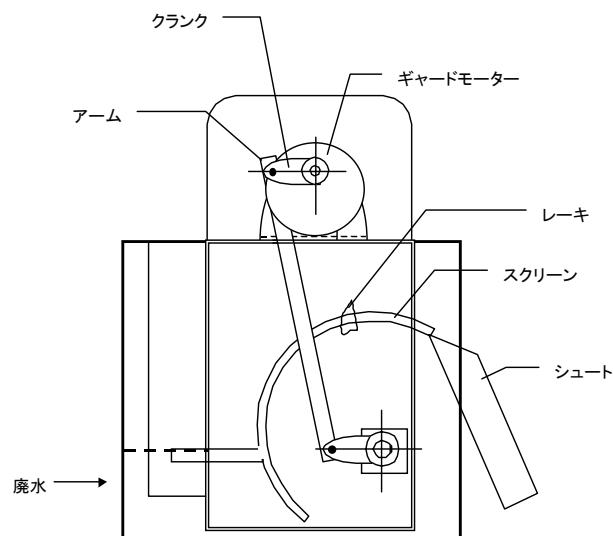


図2-4-2 回転式バースクリーン

4. 2 油水分離¹⁾

(1) 油水分離の基本技術

廃水中に含まれる油脂類の分離は、水と油の比重差を利用して油脂類を浮上させて水から分離するやり方が一般的である。水中における油滴の浮上速度はストークスの法則が適用できる。

$$V_r = (g / 18 \mu) (P_w - P_o) D^2$$

ここに、 V_r ：油滴の浮上速度 (cm/s)、 g ：重力加速度 (cm/s^2)、 μ ：水の絶対粘度 (P)、 P_w ：水の密度 (g/cm^3)、 P_o ：油の密度 (g/cm^3)、 D ：油滴の直径 (cm) とする。もし 150μ ($D=0.015 \text{ cm}$) の直径を持つ均等粒径の油滴を完全な層流の水槽で浮上分離するとすれば、

$$V_r = (980 / 18 \times 0.01) \times (1.0 - 0.9) \times 0.015^2 = 0.12 \text{ cm/s}$$

となる。これに対して水槽中の廃水の水平流速 $V_H = 90 \text{ cm/min} = 1.5 \text{ cm/s}$ 、水槽の深さ $d = 240 \text{ cm}$ とすれば、図 2-4-3 の B 点にあった油滴が水面まで浮上するのに要する時間は、

$$t = d / V_r = 240 / 0.12 = 2,000 \text{ S} = 33.2 \text{ min}$$

となり、この間に廃水は AD の距離を移動する。したがって総長 L は、

$$L = (V_H / V_r) d = V_H t = 1.5 \times 2,000 = 3,000 \text{ cm} = 30 \text{ m}$$

この場合、 0.015 cm の油滴は BD の浮上限界線を境として上方の廃水には油を含み、下方の廃水には油がまったく存在しないことになる。しかし、実際の油水分離槽で完全な層流が確保されることは難しく、水槽壁面の影響、温度差による対流、風邪による攪乱流、水槽内構造物による偏流などによって、浮上分離効果は悪くなる。産業排水処理に広く使われている API (American Petroleum Institute) が制定したオイルセパレータでは理論計算値に乱流係数 ($F_t = 1.07 \sim 1.45$) と短絡流係数 ($F_s = 1.2$) を安全係数として掛けて総長を決定している。

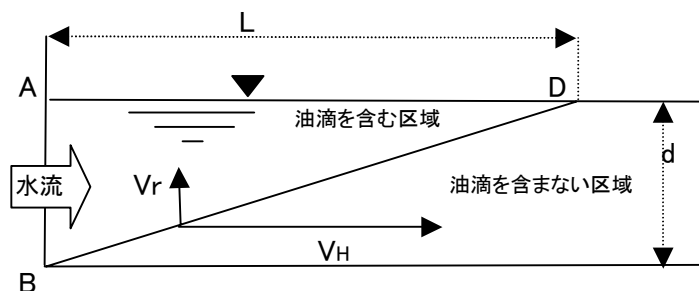


図 2-4-3 油水分離槽の油滴の浮上

(2) 油水分離装置の種類

油水分離装置は水槽内に何も設けずに浮上分離を行う API (American Petroleum Institute) オイルセパレータと、水槽内に平行板を有する PPI (Parallel Plate Interceptor) オイルセパレータ、さらに波状板を有する CPI (Corrugated Plate Interceptor) オイルセパレータが代表的なものとしてある。食品工場廃水の油分は食用油製造工場を除いては一般に低いため、本格的な油水分離槽を設ける必要はなく、通常は流入部に沈砂池やスカム分離槽と兼ねた水路で油分を除去するが、油分が多い場合は、加圧浮上装置で浮遊固形物と一緒に除去することが多い。

4. 3 沈殿

(1) 沈殿の基本技術²⁾

液体中の固体粒子の沈降速度を決定する上で最も重要なものは、粒子の大きさと密度、液体の粘性と密度である。したがって固体粒子と液体の密度が同じであれば沈降は起こらない。もし密度に差があると、重力 F_g が粒子質量と、これと置き換わった液体質量の差に比例して、各粒子の上作用する。

$$F_g = V (\rho_1 - \rho) g$$

ここに V は粒子容積 (cm^3)、 ρ_1 は粒子密度 (g/cm^3)、 ρ は液体の密度 (g/cm^3)、 g は重力加速度 (cm/sec^2) である。この重力の働く液体中を沈降する粒子は、もし押しのければならない液体の慣性がなければ、無限に加速される。しかし液体の慣性の影響は、粒子の速度が増すにつれて増大し、粒子の運動を減速することになる。ニュートンは、この力は慣性によるもので、速度の2乗に比例することを示した。

$$F_D = 1/2 \cdot C_D A \rho v^2$$

ここに A は粒子の運動方向における射影面積で、 C_D は抵抗係数である。各粒子の抵抗力 F_D と、重力 F_g が相い均しくなった時に一定の沈降速度が生じる。

$$V (\rho_1 - \rho) g = 1/2 \cdot C_D A \rho v^2$$

$$v = [2V (\rho_1 - \rho) g / C_D A \rho]^{1/2}$$

直径 D の球形粒子については、 $A = (1/4) \pi D^2$ 、 $V = (1/6) \pi D^3$ であるので、沈降速度の式は次のようになる。

$$v = [4g (\rho_1 - \rho) D / 3C_D \rho]^{1/2}$$

抵抗係数 C_D は、粒子の形状により大きく変わる。同一形状粒子に対してはレイノルズ数 $R = vD / \nu = vD \rho / \mu$ (ν は動粘性係数、 μ は粘性係数) の関数である。低速度で運動する小球形についてストークスは次の粘性抵抗力を計算した。

$$F_D = 3 \pi \mu D v$$

抵抗係数 C_D は、ストークスの法則にしたがえば $24/R$ に等しいので、沈降速度は

$$v = (g / 18 \mu) (\rho_1 - \rho) D^2$$

となる。この式はストークスの式とよばれている。

実際の工場廃水に含まれる浮遊物は、球形ではなく、不規則な形状をしており、また完全な層流が確保されることは難しく、水槽壁面の影響、温度差による対流、風による攪乱流、水槽内構造物による編流などによって沈降分離効果は悪くなる。

(2) 沈殿装置

沈殿池には円形沈殿池 (図2-4-4) と角形沈殿池 (図2-4-5) があるが、建設費の安さから円形がよく用いられる。沈殿池の水深は処理容量に関係なく通常3m前後で設計される。沈殿池の表面積は汚泥界面沈降速度あるいは清澄ゾーン下降速度から求めるが、通常の有機物主体の汚泥の沈殿池に対する表面積負荷は $0.5 \sim 0.8 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{h r}$ である。円形沈殿池も角形沈殿池も内部に取り付けられるそれぞれの汚泥掻寄機の形状、方式は廃水に含まれる沈殿物の性状によって大きく変わることはないが、構造物の強度、駆動装置は表2-4-1に示す汚泥の性状によって軽負荷、中負荷、重負荷に分けて設計される。食品工場廃水処理における前処理、活性汚泥の最終沈殿池および活性汚泥の凝集沈殿処理はいずれも軽負荷が用いられる。

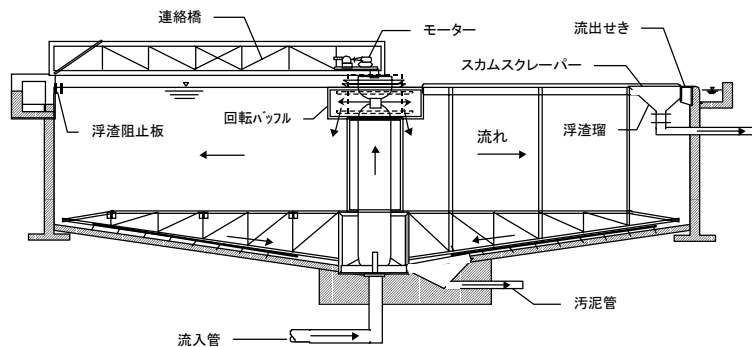


図2-4-4 円形沈殿池

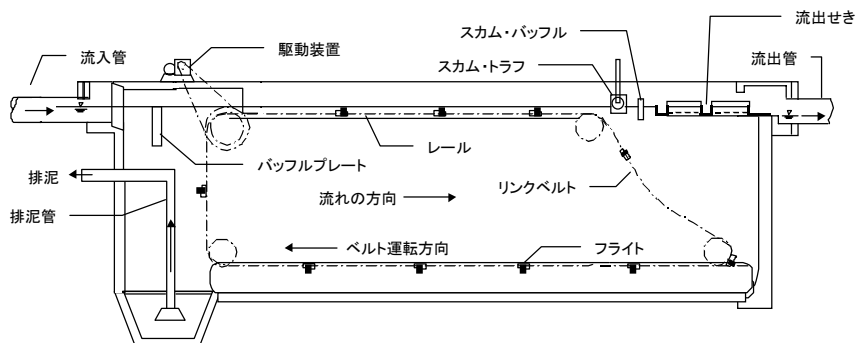


図2-4-5 角形沈殿池

表 2-4-1 汚泥の種類と沈殿池の負荷

負荷	軽負荷	中負荷	重負荷
汚泥の種類	有機性汚泥 水酸化アルミニウム などの軽質汚泥	硫酸カルシウム 炭酸カルシウム 粘土など	砂、酸化鉄などの 重質SS
見掛比重	1.0~1.03	1.03~1.17	1.17~1.45
排泥濃度(%)	<5	5~20	20~40

4.4 加圧浮上分離

(1) 加圧浮上の基本技術

加圧浮上による浮遊物の分離は、 $3 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$ ($0.29 \sim 0.49 \text{ MPa}$) の空気飽和加圧水を大気圧下にある廃水に混ぜると過飽和となり $70 \sim 90$ ミクロンの気泡が発生し、この気泡が固体粒子に物理的に捕獲されるか、あるいは固体粒子、気泡と液体の3相間に働く表面張力による付着によって、水より重い固体粒子を浮上させる。一般的に気液固相の3相間の関係は図2-4-6のように考えられ、表面張力による幾何学的な平衡条件は次式で示される。

$$\sigma_{GS} = \sigma_{SL} + \sigma_{GL} \cdot \cos \alpha$$

σ_{GS} : 気-固相間の表面張力

σ_{SL} : 固-液相間の表面張力

σ_{GL} : 気-液相間の表面張力

α : 接触角

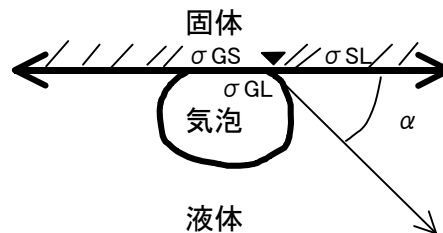


図 2-4-6 気液固相間の表面張力による平衡

接触角 α が 0 のときは、接触力がなく、気泡は固体に付着しない。 σ_{GS} が σ_{SL} より大きいときには接触角 α は 0 より大きく、気泡は固体に付着しやすくなり、接触角 α が 180° のときに付着力は最大となる。気泡による浮上を促進するためには、気泡が捕獲されやすいように PAC、高分子凝集剤などを用いて汚泥を凝集させる方法がある。もうひとつの方法として、界面張力の調整による次の二通りの方法がある。一つは σ_{GL} (気-液相間の表面張力) を低めるために起泡剤 (Frother) を用い水の表面張力を低下させるやり方である。一般的には、界面活性剤、炭素数が $5 \sim 8$ 程度の

アルコール、サポニン類が用いられるが、選定に際しては起泡性のほかに安定性、分散性などを考慮する必要がある。第2の方法は、 σ_{SL} （固-液相間の表面張力）を低下させるか、 σ_{GS} （気-固相間の表面張力）を高めるために捕集剤（Collector）を用いる方法がある。以前は油性捕集剤が用いられたが、現在では起泡剤と捕集剤を兼ねた化学的捕集剤が使われている。

（2） 加圧浮上装置

加圧浮上装置による直接的な除去対象物は、水と相を異にする SS および油分であり、COD、BOD、色度などで示される汚濁指標物質は凝集効果によって除去されるものである。加圧浮上処理が適用される廃水中の SS は $50 \sim 2,000 \text{ mg/l}$ であり、通常は凝集剤を用いて、SS を凝集させてから浮上分離を行うが、凝集汚泥の浮上速度が 20 m/h 以下の場合には適用できない。一方、BOD、COD、色度などの除去量については凝集試験による確認が必要である。加圧浮上装置は水に空気を $3 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$ で飽和溶解させ、その後に大気開放させるもので、装置の概略構造を図 2-4-7 に示す。循環水量の決定は、まず流入 SS 1 kg （乾物重量）に対して溶解空気量を 20 Nm^3 とし、次に循環水に対する空気溶解率を 4% （容積比）として計算される。一般的な食品製造廃水処理の場合、原水量の 30% に相当する量の処理水を加圧ポンプで昇圧し、循環ライン中のエジェクターから大気を吸い込み、ポンプサクション側に供給し、ポンプインペラの攪拌で空気を分散させた後に、空気溶解槽に送り、空気の溶解を行う。この空気飽和水は浮上分離槽で大気開放されて、微細気泡となって廃水中の SS に付着して浮上分離を行う。浮上分離槽表面のスラッジはスクレーパーで掻き取られる。そのスラッジの濃度は一般的な食品工場廃水の場合で、 $10,000 \sim 20,000 \text{ mg/l}$ 、凝集油の場合、 $6,000 \sim 12,000 \text{ mg/l}$ が目安となる。

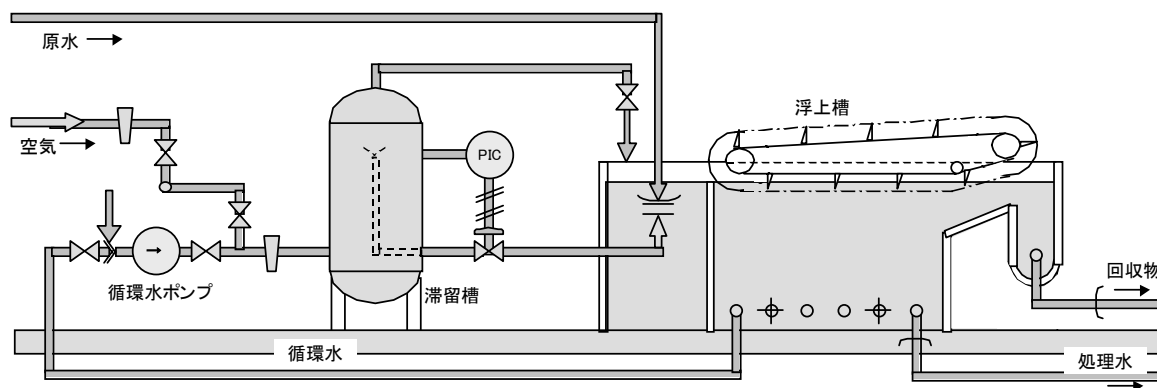


図 2-4-7 加圧浮上装置

4. 5 凝集

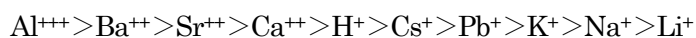
(1) 凝集の基本技術

廃水処理において凝集は主要な処理法として広く使われている。廃水の濁りや色の原因となっている不純物を除去するときに、粒子が細かくなっているとなかなか沈降しない。しかし、個々の微細粒子を互いに結合して大きくすれば沈降しやすくなる。この操作を凝集と言い、ストークスの式から沈降速度は粒径の2乗に比例して早くなることが知られている。凝集は電気的な力、化学的な力と物理的な力の3つの単独または組み合わせによって起こると考えられている。一般に水中に懸濁している粒子は、正または負に帯電していて、同じ電荷をもったイオン間に働くクーロンの反発力により互いに結合するのを妨げられている。粒子は小さくなるにしたがって、重量当たりの表面積が大きくなり、粒子表面の電荷の影響は大きくなる。粒子がコロイド領域 ($10^{-4} \sim 10^{-7}$ cm) まで小さくなると表面積の影響は非常に大きなものとなり、懸濁粒子は安定な状態で長時間浮遊する。このような状態の中へ粒子と反対の電荷を持つ物質を加えれば電気的な中和現象が起り、粒子の表面電荷は小さくなるかゼロになるため、粒子が近接しやすくなってファン・デル・ワールス力によって粒子同士が結合するようになる。

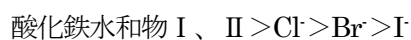
(2) 凝集剤の種類

1) 電解質による凝集

Schulze と Hardy の実験により、電解質によるコロイド粒子の凝集は、反対の電荷のイオンによって凝集し、その効果は原子価の大きいものほど大きく、また同じ原子価のものについては原子量の大きいほど凝集性が高いことがわかっている。一定時間内に凝集を起すに必要な電解質の限界濃度を、コロイド溶液に対するその電解質 (凝集剤) の凝結価という。電荷が負のコロイド粒子に対する凝結価 (Coagulation Value) の順位は、実験的に次のようであることが認められている³⁾。



一方、電荷が正のコロイド粒子に対する凝結力の順位は実験的に次のようであることが認められている。



2) 金属水酸化物による凝集

一般に廃水中に懸濁している粒子の表面は負に帯電していることが多く、正荷電の物質を加えれば凝集が起こる。Fe、Al などの水酸化物、または酸化物の水和物は中性付近で正電荷をもっているため凝集剤として使われる。水酸化アルミニウムを水中で生成するには、硫酸アルミニウム $\text{Al}_2(\text{SO}_4) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ (硫酸バンド) に水を加えると加水分解して $\text{Al}(\text{OH})_3$ を生ずる。 $\text{Al}(\text{OH})_3$ のフロク

クは多孔質のためその表面積は著しく大きく、物理的な吸着により懸濁物質をトラップする力も強い。同様に水中で $\text{Fe}(\text{OH})_2$ または $\text{Fe}(\text{OH})_3$ を生ずる硫酸第一鉄 ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)、塩化第二鉄 (FeCl_3) は、価格が硫酸アルミニウムより安く、水酸化物の比重がやや大きいので廃水処理では広く使われる。

3) 界面活性剤による凝集

液中に溶かした場合に液体の表面張力を著しく低下させる物質を界面活性剤という。界面活性剤は陰イオン性、陽イオン性、非イオン性、両性活性剤があり、これらは反対の電荷をもつ懸濁粒子に吸着し、その電荷を中和するとともに粒子表面を疎水性にして凝集を起させる作用をもっている。一般に無機凝集剤に比べて凝集力は大きいが高価である。

4) 有機高分子化合物による凝集

有機高分子化合物は重合または縮合で合成された高分子多価電解質の酸または塩基であり、界面活性剤よりも更に大きな凝集力をもっている。水に溶かすと解離して反対電荷の懸濁粒子に吸着して中和するとともに高分子物質自身が粒子間に架橋して凝集を起す。

(3) 凝集の方法と影響因子

凝集剤の添加による懸濁物質の凝集は、①凝集剤の廃水中への添加、②廃水中での凝集剤の拡散、③凝集剤と懸濁物質の接触を起すための攪拌、④粒子を成長させて大きな重いフロックに成長させるための攪拌の4段階に分けられる。大きくて重いフロックを作るためには攪拌強度と pH が大きく影響する⁴⁾。

1) 凝集に及ぼす攪拌の影響

凝集を効果的に行うためには、粒子同士の衝突回数が多い方がよい。そのためには粒子濃度が高く、粒子径が不均一である方がよい。攪拌条件はフロック形成の良否に大きな影響を与えるが、粒子と凝集剤の接触を良くするための攪拌は強い方がよい(急速攪拌)。その後のフロックを成長させる過程は緩やかな攪拌が良い(緩速攪拌)。以下の式で示される攪拌条件は、速度勾配 G 値と攪拌槽滞留時間 T から求められる。

$$G=(Pg/\mu)^{1/2} \quad (\text{m/sec/m})$$

ここに、 P は流体単位体積当りに加えられた動力 ($\text{kg} \cdot \text{m} / \text{m}^3 \cdot \text{sec}$)、 μ は粘性係数 ($\text{kg} / \text{m} \cdot \text{sec}$)、 g_c は重力換算係数 ($\text{kg} / \text{m} \cdot \text{sec}^2$) であり、攪拌槽滞留時間を T (sec) とすると、 $G \cdot T$ は無次元となるが、良好なフロックを形成させるための $G \cdot T$ の値は $10^4 \sim 10^5$ の範囲内にあるべ

きとされており、急速攪拌の G 値は 100、緩速攪拌の G 値は 10 くらいが適当とされている。

2) 凝集に及ぼす pH の影響

無機の凝集剤の水酸化物の溶解度は pH によって大きく変わる。例えば硫酸アルミニウムを凝集剤として用いるときには、図 2-4-8 に示すように pH 8 付近において最も速やかにフロックを形成する。また、この溶解度曲線に対して偏っているのは図 2-4-9 に示されるように $\text{Al}(\text{OH})_3$ の等電点 (表面の電荷ゼロになる状態を溶液の pH で表しており、電気泳動速度がゼロとなる点) が pH 8 近くにあるためと考えられている。しかし実際の廃水は共存イオンの影響などで最適 pH が変わるので、凝集試験で求める必要がある。

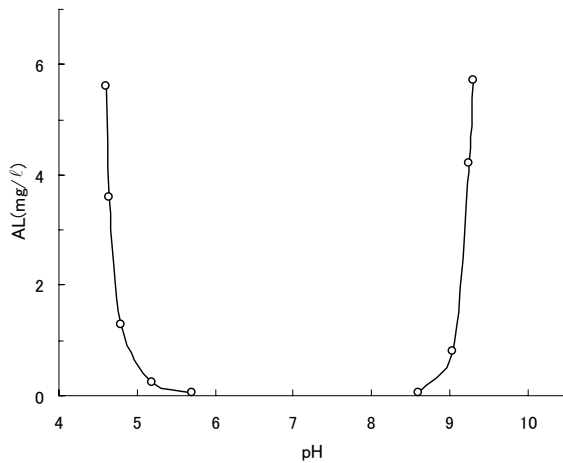


図 2-4-8 水酸化アルミニウムの溶解度

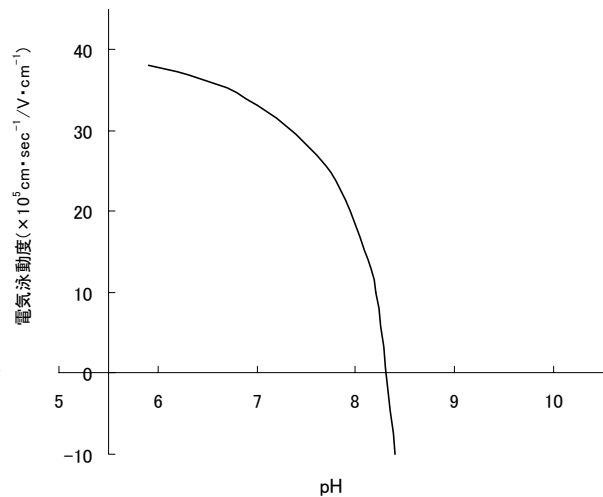


図 2-4-9 水酸化アルミニウムの等電点

参考文献

- 1) 佐藤宏：用水廃水便覧、p.180 (丸善, 1992)
- 2) 津野 洋：環境衛生工学、p.77 (共立, 1995)
- 3) 浅岡忠知：コロイド化学、p.64 (三共出版, 1967)
- 4) 井出哲夫：工場廃水とその処理、p.147 (技報堂, 1968)

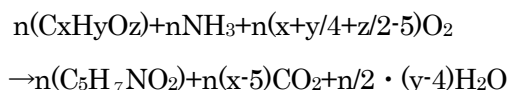
第5章 生物処理による廃水の浄化

5. 1 好気性生物処理

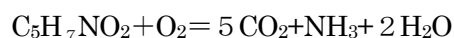
5. 1. 1 好気性生物処理の基本技術

(1) 除去メカニズムと処理方式

有機性廃水の好気性生物処理は活性汚泥処理と呼ばれ、微生物や微小動物の代謝を利用して有機物の酸化分解を行うもので、三段階の過程を経て行われるものと考えられている。初期除去は、廃水中の有機物が活性汚泥（微生物の集合体）と接触するに時に起こり、1～20分で活性汚泥に吸着される。次に細胞合成のためのエネルギー源としての酸化、そして微生物の餌となる有機物が不足する状態での自己酸化分解の過程がある。この一連の反応を Hoover ら¹⁾ は次の反応式で示している。まず廃水中の有機物(C_xH_yO_z)は、次の微生物酸化過程により活性汚泥(C₅H₇NO₂)の合成を行っている。



また、活性汚泥は有機物が不足状態で通常は運転されているために、合成と同時に次式で示されるように、汚泥の細胞物質の一部を酸化分解してエネルギーを得ている。



仮に有機物が乳糖(8CH₂O)とカゼイン(C₈H₁₂N₂O₃) 1gからなる合成廃水を酸化すると0.53gの活性汚泥(C₅H₇NO₂)が作られ、残りはCO₂とH₂Oに分解される。この汚泥が内生呼吸で半分酸化分解されると0.265gの余剰汚泥が生じることになる。好気性生物処理には懸濁汚泥を用いる処理として、標準活性汚泥法、長時間曝気法、コンタクトスタビリゼーション法、ステップエアレーション法、テーパードエアレーション法などの処理方式がある。いずれも三段階の除去機能を最大限に発揮させるために、BOD-MLSS 負荷(BOD kg / ML S S kg・日)の設定、汚泥負荷の均等化、酸素供給の適正化などがとられており、処理水質の向上や余剰汚泥発生量の減容化、処理の安定化などに特長を持っている。一方、微生物の保持の安定化を図るために、曝気槽に固定式接触材や浮遊式の担体を充填する生物膜法がある。さらに、曝気槽の混合特性からプラグフロー方式、完全混合方式があり、バルキングの抑制の効果やショックロードの緩和にそれぞれの特長がある。食品工場廃水処理設備の計画段階では、廃水処理設備の設置目的・環境条件などに合った処理方式の選定、あるいはこれらの組み合わせが検討される。

(2) BOD 負荷と温度の影響

活性汚泥処理の場合の BOD 除去速度は BOD-MLSS 負荷(BOD kg / ML S S kg・d) で表され、設計に用いられる BOD 除去速度は通常 0.02~0.4 (BOD kg / ML S S kg・d) の範囲であ

る。設計に用いられる曝気槽内の MLSS 濃度は処理方式によって異なるが 2,000~5,000 mg / ℓ の範囲であり、仮に BOD-MLSS 負荷を 0.2 (BOD kg / ML S S kg · d)、MLSS 濃度を 5,000 mg / ℓ とすると容量負荷は 1.0kg / m³ · d となる。通常汚泥負荷がやや高い方が清澄な処理水が得やすく、BOD-MLSS 負荷 0.1 付近で最も清澄な処理水を得ることができる。一方低負荷 (BOD-MLSS 負荷 0.01 付近) になると BOD、COD の水質の悪化はないが、汚泥が分散して濁りが多くなる。BOD での時間変化 Y_t の除去は、BOD 初期濃度を L(mg/ℓ)、反応時間を t (日)、除去速度係数を k (1/日) とすると、次のように表すことができる²⁾。

$$Y_t = L(1 - 10^{-kt})$$

また、k は温度の影響を受け、その影響は水温が 1 0℃~3 0℃の範囲では、温度係数 θ(1.047) を用いて次の関係式で示されることが知られている。k₁ は温度 t₁ における除去速度、k₂ は温度 t₂ における除去速度である。

$$k_1 / k_2 = \theta^{(t_1 - t_2)}$$

これによると BOD の除去速度係数の値は、温度が 1℃上がると 4.7%大きくなり、1 0℃では 58%、20℃上がると 2.5 倍になるように温度の影響を大きく受ける。実際の廃水処理装置の曝気槽の水温は 5℃~4 0℃までの広範囲に渡っているため、設計に際しての BOD-MLSS 負荷の決定は予想される低温側の除去速度と、MLSS 濃度の増減などを考慮に入れて設計することが必要である。

(3) 酸素必要量と曝気方式

有機物の酸化に必要な酸素量は TOD の値または、BOD₅ から ultimate BOD を推定して求める。酸素必要量は廃水の成分により異なるが通常は BOD₅ のおおよそ 1.5 倍位である。必要酸素供給量 N₀(kg/h) を求めるときには、曝気装置の酸素供給能力 N (kg/h) は、真水の飽和酸素濃度(20℃, 1 atm) C_w (mg / ℓ)、廃水の飽和溶存酸素濃度 C_{sw} (mg / ℓ)、運転時の溶存酸素レベル C_l (mg / ℓ)、温度 t (℃)、廃水の真水に対する酸素移動速度比 α を用いて次式により補正が行われる。

$$N = N_0 / \{[(C_{sw} - C_l) / C_w] (1.024)^{(t-20)} \alpha\}$$

C_w は 8.84 で、食品工場廃水の場合の C_{sw} ≒ C_w × 0.9、α ≒ 0.9 であるが、運転時の溶存酸素レベルは標準活性汚泥法では通常 1~2 mg / ℓ、長時間曝気法やラグーンでは 3~5 mg / ℓ で設計されることが多い。この式から運転時の溶存酸素レベルが酸素供給量、すなわち曝気動力に大きく影響していることがわかる。溶存酸素濃度が BOD 除去反応速度の律速となるレベルは、種々の実験から 0.2~0.5 mg / ℓ 付近といわれている。曝気方式には散気式 (微細気泡型、粗大気泡型など) と機械式表面曝気機 (固定式、浮遊式)、水中曝気機、エジェクター装置などがあるが、プロセスに基づく混合方式 (プラグフロー、完全混合)、経済性、維持管理の容易さ、立地条件などを考慮して選定される。

(4) 必要な栄養塩

生物処理には窒素とリンが、 $BOD:N:P=100:5:1$ の割合で必要といわれている。食品工場廃水はリンの比率が低いために、リン酸やリン酸アンモニウムの形で添加されることが多い。

(5) pH の影響

生物処理における pH の有効な範囲は廃水中にある基質によって違いがあるが、食品工場廃水の場合はだいたい5～9であり、好ましくは7前後である。食品工場の廃水は腐敗しやすく、廃水処理設備に到着する時点で有機酸にまで分解されて、低い pH を示すことがある。これらの有機酸は曝気槽で容易に酸化され炭酸ガスになるが、曝気で大気中に放散されて pH が上昇するという結果も生じる。酸化によって生じる塩基性無水塩物も炭酸ガスと反応して緩衝作用のある炭酸塩を作るために、曝気液はややアルカリ側に保たれる。また、製造工程で用いられる洗浄剤のアルカリも有機物の分解で生じる炭酸ガス、炭酸塩と反応してその pH が下がる。このために食品工場の廃水処理においては pH 調節を行う必要は余りない。

5. 1. 2 標準活性汚泥法

一般的な標準活性汚泥法は $BOD-NLSS$ 負荷 $0.2\sim 0.4$ ($kg / ML S S kg \cdot d$)、 $MLSS$ 濃度 $3,000\sim 5,000 mg / l$ で設計される。曝気槽滞留時間はおよそ8時間くらいである。BOD、SSの除去率は高く、処理水が良好な時にはBOD、SSともに数 mg / l の清澄水が得られる。沈殿池は軽負荷沈殿池が用いられる。食品工場廃水処理の場合の余剰汚泥の発生量は流入BOD量の20~30%位の例が多い。

5. 1. 3 長時間曝気法

長時間曝気法は $BOD-MLSS$ 負荷 $0.03\sim 0.05$ ($kg / ML S S kg \cdot d$)、 $MLSS$ 濃度 $3,000\sim 6,000 mg / l$ で設計されるために滞留時間は24時間くらいになる。この処理の特長は、BOD負荷を低くして発生した余剰汚泥を内生呼吸で酸化分解し、余剰汚泥の発生を少なくすることである。その結果、汚泥の凝集性が悪く、処理水質は標準活性汚泥処理と比べて悪い。本法は小容量廃水処理に適しており、回分式で操作されることも多い。その場合は沈殿槽を設けずに、曝気槽の運転を1日数時間停止して、汚泥を静止沈降させて上澄水だけを放流する。システムが複雑でなく、余剰汚泥の処理がほとんど必要でないという利点があるが、建設費が高く、設置スペースを広く必要とし、且つ放流水の水質規制値が緩やかな所でないとな採用できないなどの制約がある。

5. 1. 4 浮遊担体法

曝気槽の中に水より僅かに軽い樹脂製の浮遊担体を充填し、その表面に汚泥を生育させて廃水と接触させて処理を行う方法である。担体の形状、材質にはいくつかの種類があるが、図2-5-1に示す充填材は表面積が $500\text{m}^2/\text{m}^3$ あって、汚泥の付着が容易で流動しやすい形状にできている。気泡曝気によって容易に流動を起し、気泡の分散を促進し、かつ気泡の滞留時間を延ばすために酸素の溶解率を高める働きも備えている。曝気槽からの担体の流出はスクリーンで阻止されるが、微細なSSが流出する。このSSは重力沈降で $100\text{mg}/\ell$ 以下にすることが難しいために、凝集沈殿または加圧浮上で分離する。この方式の場合、沈殿池あるいは凝集沈殿池などで捕集した汚泥の返送は行わない。生物膜処理の特長として負荷の選定でBOD除去率が選択できるため、BOD $5,000\text{mg}/\ell$ の高濃度廃水の直接処理も可能であり、高濃度廃水の前処理として用いれば希釈をせずに活性汚泥処理ができる。BODの除去率の目安は、例えば担体(PABIO Mover)の充填率(充填担体量/曝気槽容量)を67%とし、処理水の溶解性BODを $20\text{mg}/\ell$ 以下にするとすれば、曝気槽あたりのBOD容積負荷は、

BOD 除去率 99%以上の場合	BOD $1.5\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ (水温 $10\sim 15^\circ\text{C}$)
	BOD $2.0\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ (水温 15°C 以上)
90%以上の場合	BOD $2.0\sim 4.0\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$
70~90%の場合	BOD $4.0\sim 10\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$

となり、低濃度廃水処理にも凝集沈殿と組み合わせることでコンパクトな設備による処理が行える。

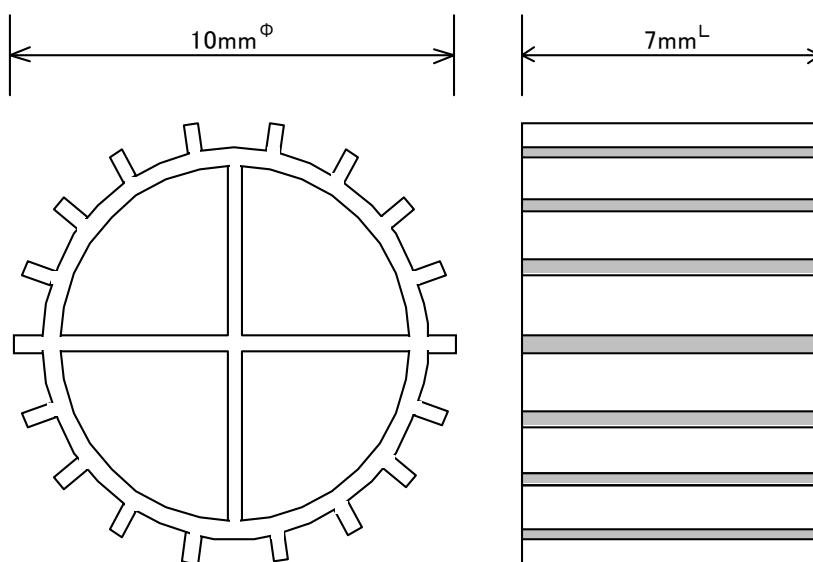


図2-5-1 カルドネス充填材

5. 1. 5 膜分離活性汚泥法

有機性廃水処理の基本技術である活性汚泥処理において、沈殿池や加圧浮上装置、砂ろ過装置によって行っている汚泥の分離を孔径 $0.4\mu\text{m}$ の精密ろ過膜を用いて行う方法である。この方式には曝気槽内に膜モジュールを直接浸漬させるやり方と、槽外に設置してポンプで圧入してろ過するやり方がある。適用できる廃水の BOD 濃度はおおよそ $3,000\text{ mg/l}$ 以下で、処理水の水質は流入廃止濃度により異なるが、 $\text{BOD}10\text{ mg/l}$ 以下、 $\text{SS}5\text{ mg/l}$ 以下の良質な処理水を安定して得られる。一方、高度処理を必要としない時には、通常の二次処理と比べて、設備費が割高となり、膜の洗浄、交換などの手間が生じる。

5. 1. 6 ラグーン処理

ラグーン、オキシデーション・デイツチ、長時間曝気など類似の処理方式があるが定義は明確でない。日本で用いられているラグーンは BOD-MLSS 負荷が $0.02\sim 0.07\text{ (kg / ML S S kg} \cdot \text{d)}$ 、 MLSS が $2,000\text{ mg/l}$ で設計され、余剰汚泥の処理をあえて行わなくても良く、且つ沈殿池がなくても廃水処理が可能な好気性生物酸化システムと考えられる。曝気槽の滞留時間が 1 週間前後におよび、槽容量が大きくなるため、素掘りの池を一部補強して用いられることも多い。沈殿池を設けない場合は、曝気を停めて汚泥を静止沈降させ、上澄水の放流を行う。このため曝気槽の水位は変動が生じるために浮遊式の曝気機が使われる。ラグーン槽の溶存酸素濃度は高く、通常 5 mg/l くらいに保たれており、そのために曝気機の動力は相当大きくなり、また、槽底に汚泥を沈積させないために大きな攪拌動力が必要である。これらの両方の所要動力は比較的近い値にあり、目安としては、標準活性汚泥処理の曝気に必要な動力の 3~4 倍、あるいは槽容量 1m^3 当り 0.01 kw が必要である。処理水質は長時間曝気と同様に汚泥が分散するために標準活性汚泥処理より悪いが、広い設置スペースと放流水質基準が緩やかであれば、低温にも強く、運転操作が簡単で、少ない余剰汚泥の発生で安定的な処理が行えるため、北海道の澱粉工場では多く使われている。

5. 2 嫌気性処理

5. 2. 1 嫌気性処理の基本技術

(1) 反応のメカニズムと特長

嫌気性処理は廃水中の有機物を、最初に加水分解し、次いで揮発性脂肪酸 (VFA) にまで分解して最後にメタンを生成する三段階の逐次反応で分解する。また、硫酸塩や硝酸塩などの一部の無機物も還元する。嫌気性処理における代表的な物質の分解経路とその過程で関与する微生物をモデル化すると図 2-5-2 のようになる。食品工場に含まれる分子の大きな有機物は、最初に加水分解菌により単糖類、芳香族化合物、アミノ酸、長鎖脂肪酸などに低分子化され、次いで酸生成菌に

よってVFAに分解される。さらにVFAは酸生成菌や水素生成性酢酸生成菌と水素資化性菌の共生による共生酢酸生成菌によって酢酸に分解される。そしてこの酢酸はメタン生成菌によってメタンガスと炭酸ガスに分解される。メタンに直接分解される物質としては、酢酸のほかにもメタノール、ギ酸などがある。食品工場廃水には硫化物が含まれることが多いが、廃水中の硫化物は還元されて硫化水素が発生する。硫酸塩が多い場合にメタンの生成量が減少するのは、硫酸塩還元菌の方が水素に対する親和性が強く、硫化水素を優先的に生成するためと言われている³⁾。また硫酸塩の嫌気性生物に対する阻害の度合いはリアクター内に生成する硫化水素の濃度とpHで決まるが、硫化水素の生成量は S^{2-}/TOC がおおよそ0.3以上になると資化基質の不足が硫酸塩還元反応の律速となり、過剰の硫酸塩は未反応のまま阻害をおよぼすことなく系外に出ていく⁴⁾。嫌気性分解の過程は未だ解明されていないことが多いが、食品工場廃水処理において既に数多くの実績があり、工業的には制御方法も確立しており安定運転が十分に可能となっている。嫌気性処理と活性汚泥処理を比較すると嫌気性処理には以下の特長がある。

- ① 廃水中の有機物をメタンとして回収できる (0.35Nm³CH₄/kgTOD)、
- ② 活性汚泥処理の前処理に用いるとシステム全体の所用動力が活性汚泥単独処理の30~50%となる、
- ③ 余剰汚泥の発生量は活性汚泥法の15~60%であり、汚泥の処分費が低減できる、
- ④ 栄養塩必要量は活性汚泥法の10~20%であり、薬品代が節約できる、
- ⑤ 運転操作因子が少なく、運転が容易で処理が安定している。

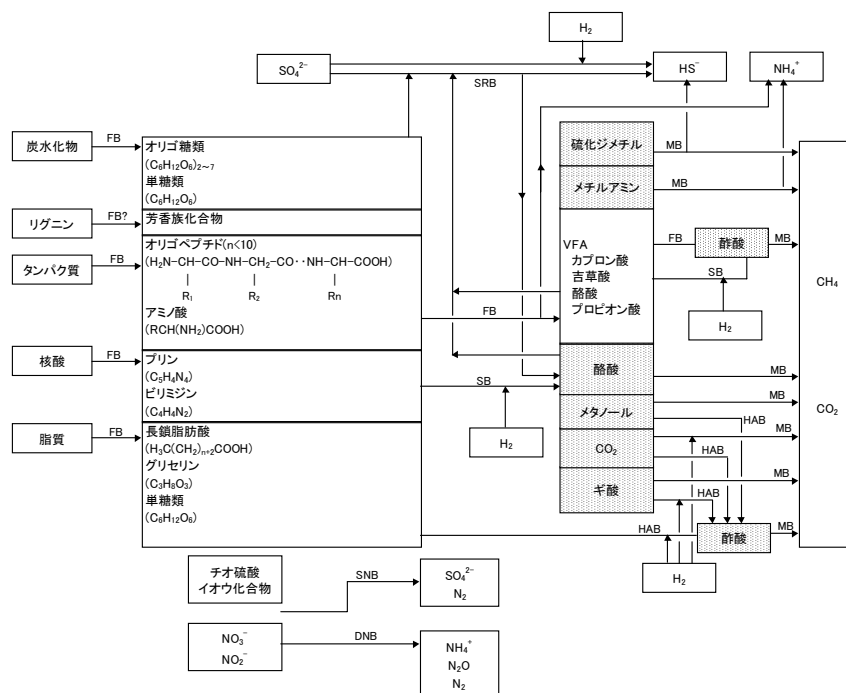


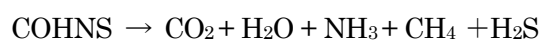
図 2-5-2 嫌気性反応の分解経路のモデル図

(2) 温度の影響⁵⁾

嫌気性処理の反応温度は5 5℃近辺の高温発酵、3 6℃近辺の中温発酵、そして常温発酵がある。食品工場廃水の嫌気性処理はほとんど中温発酵で行われている。高温発酵が余り用いられない理由は、基質の汚泥転換率は温度が高くなると減少し、ガス化率が上昇するが、高温メタン菌は種類が少なく、増殖速度が遅いため前駆反応で生成した有機酸が蓄積し、メタン菌の反応を阻害することが律速していると考えられる。また、リアクター内の菌体量を調べた実験では中温発酵が最も多く、次いで常温発酵(20~25℃)と高温発酵の順となっており、単位容積当たりの処理能力は中温発酵が最も高く、次いで高温発酵、常温発酵となっている。高温発酵が常温発酵より単位容積当たりの処理能力が高いのは、高温発酵菌の反応速度が早いためと考えられる。

(3) pH とアルカリ度の影響

有機物の分解は酸生成菌による可溶化で始まるが、その至適 pH は 4.0~7.8 といわれている。一方、メタン生成菌の至適 pH は 7.0~8.8 といわれている。したがって、酸生成とメタン発酵を別々の槽に分けて処理する方法(2相嫌気性処理)がある。しかし、食品工場廃水の場合、有機性固形物を多く含む廃水を除けば、基質の有機酸への分解は容易で早いため、酸生成過程が全体の反応速度に影響をおよぼすことはなく、有機酸をメタンに分解する過程が律速となっている。このためリアクターの pH を中性付近に保った一つの槽で、酸生成菌とメタン生成菌を混合した状態で処理を行うことが多い。こうした理由のほか、建設費の削減と運転操作の容易化がある。1槽処理の場合、リアクター内の pH の管理の目安は 6.5~7.5 であり、pH が 6.0 を下回るとメタン生成が徐々に低下し、5.0 以下になると、活性が回復するのに長時間が必要となる。例えば過負荷になって、生成された有機酸のメタン転換が追いつかない状態になり、酸発酵で生じた有機酸(VFA)と炭酸塩(H₂CO₃)が利用可能なアルカリ度を上回れば pH は低下し、いくらアルカリ剤を添加してもメタン生成能は低下したままで処理の悪循環が繰り返される。ステフェン廃水(廃糖密からしよ糖を回収する工程の廃水)について行った実験結果の一例を図2-5-3と図2-5-4に示す⁵⁾。この場合は運転負荷を低下させてリアクター内の pH を回復させる必要がある。リアクターの pH の安定にはリアクター内のアルカリ度による緩衝作用が重要な働きをしている。このアルカリ度は廃水中に含まれるアルカリ度と嫌気性処理で生じるアルカリ度の両方を利用することができる。嫌気性処理で生じるアルカリ度はたんぱく質や、有機酸塩、硫酸塩、硝酸塩、亜硫酸塩などから放出される陽イオンで作られる。例えばたんぱく質の場合は次のように反応して、



緩衝作用を有する炭酸アンモニウムが生成される。

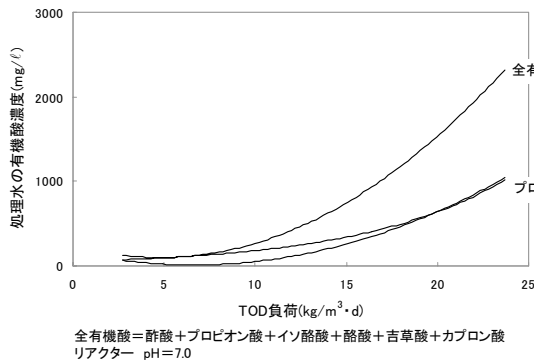


図 2-5-3 負荷と有機酸の蓄積

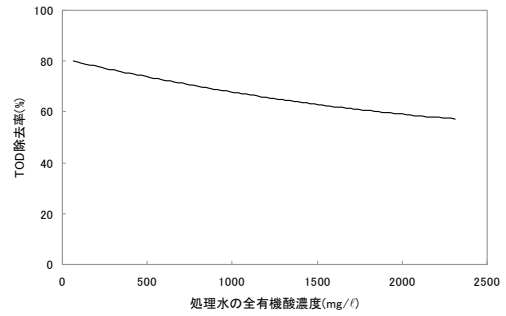


図 2-5-4 有機酸濃度と TOD 除去率の関係

一方、炭化水素や、糖類、有機酸、アルコールなどは分解過程で陽イオンを生じないためにアルカリ度は生成されない。したがって原水と代謝物に由来するアルカリ度で中和ができない場合は、苛性ソーダなどのアルカリ剤の添加が必要となる。

(4) 余剰汚泥の発生⁶⁾

嫌気性処理における余剰汚泥の発生率に関しては Henze ら⁸⁾ が図 2-5-5 のようにまとめている。実際の嫌気性処理装置は COD 負荷 (kg COD / kg VSS · d) が 0.3~0.5 で運転されており、余剰汚泥の発生率は図 2-5-5 より 0.03~0.12 (kgVSS / kg 溶解性除去 COD) となる。通常、除去 COD 1 kg 当り 0.2~0.3 (kgVSS / kg 溶解性除去 COD) の余剰汚泥の発生を伴う活性汚泥法と比べると少ないことが判る。

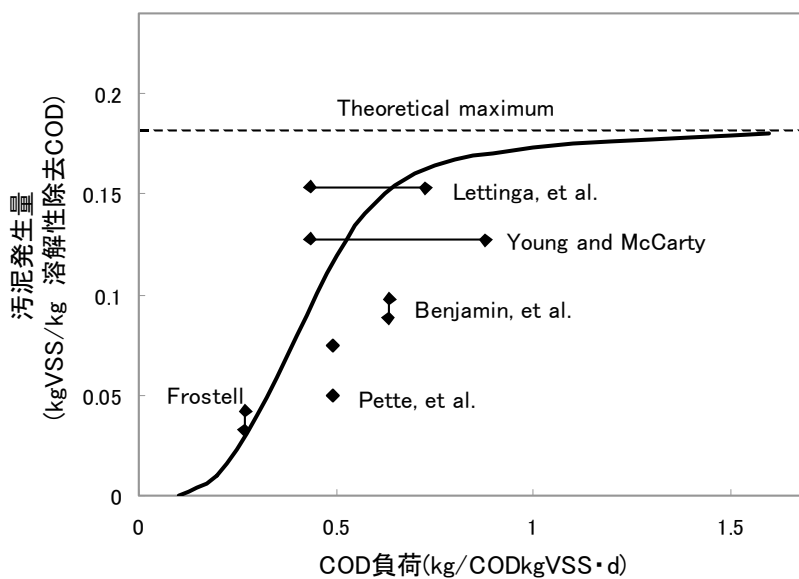


図 2-5-5 嫌気性廃水処理における COD 負荷と余剰汚泥発生量

(5) 栄養塩と微量元素

廃水を生物処理する場合、微生物が代謝を行うためには無機栄養塩と微量元素が必要である。好気性処理の場合は $BOD:N:P = 100:5:1$ が必要であるが、嫌気性処理の場合も好気性処理と同様に窒素、リンなどの最低必要量がある。嫌気性汚泥のVSS (Volatile Suspended Solids) 中に窒素が10.5%、リンが1.5%含まれていることから⁷⁾、図2-5-5のCOD負荷と余剰汚泥発生量の関係に用いて、原水CODに対する窒素の必要量をまとめると図2-5-6のようになる。またリンの必要量は菌体のN/P比から $N:P = 7:1$ と考えられる。もし、リアクターのCOD負荷が 0.5 ($\text{kg COD/kg VSS} \cdot \text{d}$) で運転されているなら、おおよそ $COD:N:P = 100:0.6:0.08$ となり、好気性処理に比べてN、Pの必要量は少ない。微量元素については、嫌気性処理には表2-5-1に示す微量の金属塩が嫌気性微生物の凝集、補酵素生産、活性化などに必要であるといわれている⁸⁾。

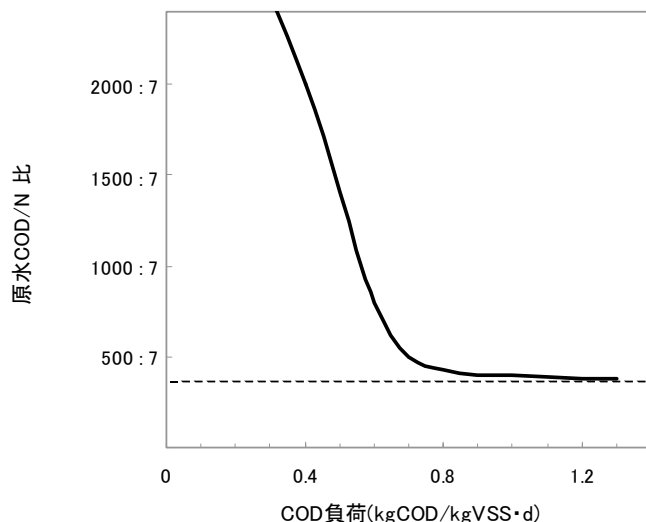


図2-5-6 嫌気性処理における窒素必要量

表2-5-1 嫌気性処理における微量金属塩とその効果

金属塩	実験における有効濃度 (g/m^3)	効果	研究者
Fe^{++}	0.2	硫化物の沈殿 凝集	Speeceら
Ni^{++}	(0.01 ?)	細胞膜構成 メタン菌の補酵素 F430形成	Thauer
Mg^{++}	0.006	活性化	Murrayら
Ca^{++}	0.01~0.02	凝集	Lettingaら
Ba^{++}	0.01~0.04	凝集	Lettingaら
Co^{++}	0.01~0.1	凝集	Lettingaら
	0.01	ビタミン B_{12} 形成	Speeceら
	0.003	活性化	Murrayら
SO_4^{--}	0.02	活性化	van den Berg

5. 2. 2 処理方式

初期の嫌気性処理は懸濁性嫌気生物を完全混合型のリアクター内で反応させる方式であった。嫌気性汚泥は活性汚泥と比べて、基質に対する吸着力が弱く、完全混合型の場合はリアクターに流入する廃水中の基質が処理水と同じ濃度で嫌気性菌に接触するため高負荷運転ができなく、また菌体濃度を保つために沈殿池を必要とするなどの問題があった。これらの問題を解決するために菌体の高濃度保持を図り、且つプラグフロー型のリアクターが開発され、食品工場廃水処理を中心に100基以上が稼働している。プラグフローの場合、廃水をリアクターの底部から流入させる上向流の方が、底部に高濃度で存在する嫌気性菌との接触が可能となるため、下降流よりも優れているとされている⁹⁾。リアクター内に菌体を高濃度に保持する方法としては、①バイオマスが付着しやすく、かつ閉塞しないように工夫された担体を投入し生物膜を形成させる、②バイオマスを自己造粒させ沈降性の良い高密度のグラニュールを形成させる二通りがある。前者は一般的に固定床と呼ばれ、写真2-5-1の形状をしたものなどがリアクター内に充填されている。充填材の密度は通常水より軽く、槽内で浮遊状態にあるが流動はしていない。後者は写真2-5-2に示すような沈降性の良い粒状の生物塊をリアクター内に保持したもので、一般的にはUASB法(Up-flow Anaerobic Sludge Blanket)と呼ばれている。



写真2-5-1 固定床充填材
(樹脂製、59mm φ×19mmH)



写真2-5-2 グラニュール嫌気性汚泥

5. 3 嫌気性・好気性複合処理

嫌気性処理の処理水は好気性処理と比べて、BOD、SSなどの除去率が低いために、排出基準値が厳しいところでは直接放流することができない。したがって、下水道に直接排出できる地域を除けば好気性処理で二次処理をしてから放流するのが一般的である。嫌気性処理の使われ方としては、嫌気性処理の利点を活かした次のような方法がある¹⁰⁾。

①下水道放流の除害設備として

下水道放流ができる場所にビール工場が建設されるのに伴い、嫌気性単独処理が導入された例の概略フローを図2-5-7に、処理結果を表2-5-2に、また好気性単独処理との経済性の比較を表2-5-3に示す。

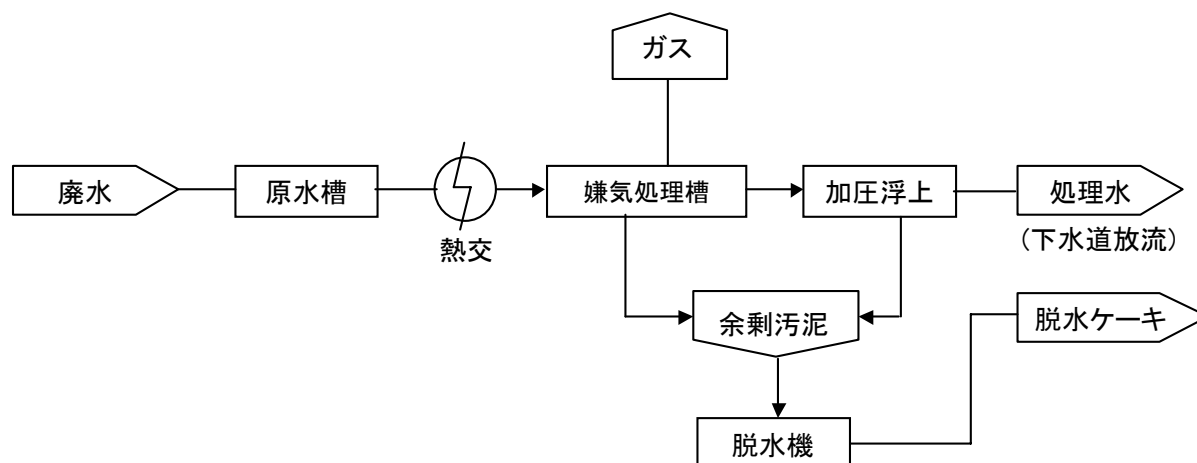


図2-5-7 ビール工場廃水処理フロー (下水放流)

表2-5-2 嫌気性処理結果 (下水放流)

年月日		(週平均値)			
		89.5.8~	89.5.15~	89.5.22~	89.5.29~
原水量	Q (m ³ /日)	2,710	3,560	3,460	3,820
原水水質	TOD (mg/l)	1,470	1,530	1,390	1,350
	BOD (mg/l)	900	966	712	694
	SS (mg/l)	140	357	260	143
嫌気処理水	TOD (mg/l)	300	320	280	250
	BOD (mg/l)	84	120	50	46
	SS (mg/l)	140	150	140	120
発生ガス量	G (m ³ /日)	1,100	1,210	924	969

表 2-5-3 嫌気性処理と好気性処理の運転費の比較（下水放流）

項目	単価(円)	嫌気処理+加圧浮上		好気単独処理	
		使用量/日	円/日	使用量/日	円/日
電力	18/kW時	3,200kW時	57,600	6,800kW時	122,400
蒸気	3/kg	12,000kg	36,000	-	-
45%苛性ソーダ	40/kg	1,600kg	64,000	-	-
凝集剤	1,400/kg	4kg	5,600	15kg	21,000
脱硫剤	170/kg	4.2kg	714	-	-
汚泥処分費	10,000/m ³	1.5m ³	15,000	6m ³	60,000
メタンガス	28,000/kl※	2kl	▲ 56,000	-	-
計			122,914		203,400
差額			▲ 80,486		

※ A重油換算

②工場増産対応設備として

食品工場が増産に際して、既設活性汚泥処理設備の負荷軽減のために、嫌気性処理を前処理として導入した例について概略フローを図2-5-8に、処理結果を表2-5-4に、また好気性単独処理との比較を表2-5-5に示す。運転費の削減効果と、嫌気性処理を前処理に導入したことにより既設活性汚泥装置のバルキングがなくなったことのメリットも大きい。この例では既設の活性汚泥処理設備を利用しているが、嫌気性処理に好気性処理を組み合わせた設備を新設する場合の設備費の総計は、好気性単独処理設備より幾分高くなるが、運転費の安さから、設備費の差は通常一年以内に償却できる。

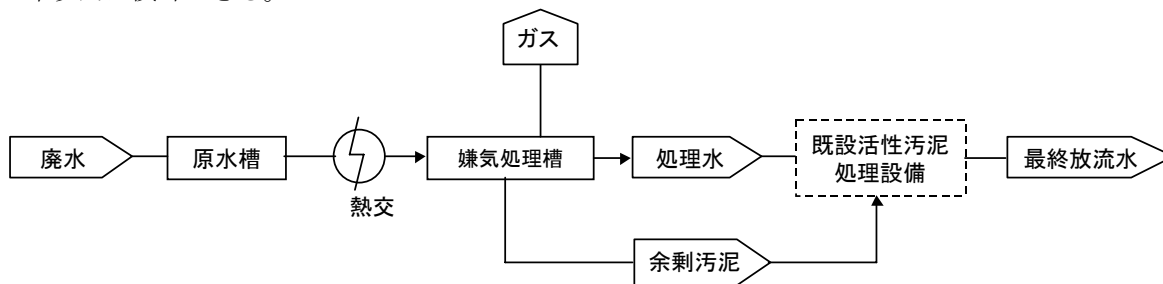


図 2-5-8 食品工場廃水処理フロー（工場増産対応）

表 2-5-4 嫌気性処理結果（工場増産対応）

年月日		88.9.27～	88.11.29～	89.2.1～	89.2.8～
原水量	Q (m ³ /日)	285	307	330	335
原水水質	TOD (mg/l)	21,257	19,364	23,743	25,229
	BOD (mg/l)	15,143	13,000	14,671	15,879
	SS (mg/l)	1,784	1,889	4,270	4,776
嫌気処理水	TOD (mg/l)	3,188	3,290	5,311	5,687
	BOD (mg/l)	1,211	1,210	2,709	3,245
	SS (mg/l)	715	698	1,393	1,792

(週平均値)

表 2-5-5 嫌気性処理と好気性処理の運転費の比較（工場増産対応）

項目	単価(円)	嫌気処理+好気処理		好気単独処理	
		使用量/日	円/日	使用量/日	円/日
電力	18/kW時	1,628kW時	29,304	3,222kW時	57,996
脱硫剤	170/kg	47kg	7,990	-	-
脱水薬品	22/kg-DS	460kg-DS	10,120	1,260kg-DS	27,720
汚泥搬出处分	10,000/m ³	1.53m ³	15,300	4.2m ³	42,000
メタンガス	28,000/kℓ※	2.07kℓ	▲ 57,960	-	-
計			4,754		127,716
差額			▲ 122,962		

※ A重油換算

③省エネ、省資源対策として

廃水が高濃度（BOD 約 5,000 mg / ℓ）であるために工業用水で希釈して活性汚泥処理を行っていた工場が、嫌気性処理を前処理して導入し、希釈用工業用水をなくすと共に、嫌気性処理の利点を活かして廃水処理の合理化を図った例の概略フローを図 2-5-9 に、処理結果を表 2-5-6 に、また好気性単独処理との比較を表 2-5-7 に示す。この場合も嫌気性処理と好気性処理の組み合わせた新設設備は好気性単独処理設備より高くなるが、運転費の安さから通常は一年以内にその差を償却できる。

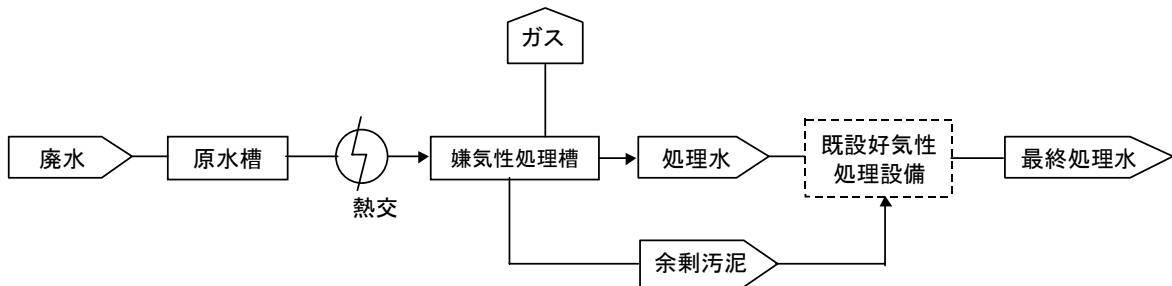


図 2-5-9 高濃度廃水処理フロー（省エネ対策）

表 2-5-6 嫌気性処理結果（省エネ対策）

年月日		89.3.13~19	89.4.10~16	89.5.15~21
原水量	Q (m ³ /日)	950	900	1,300
原水水質	TOD (mg/ℓ)	8,500	12,000	10,000
	SS (mg/ℓ)	150	200	150
嫌気処理水	TOD (mg/ℓ)	3,600	4,800	3,000
	SS (mg/ℓ)	300	220	140
発生ガス量	G (m ³ /日)	2,000	2,600	3,100

（週平均値）

表 2-5-7 嫌気性処理と好気性処理の運転費の比較 (省エネ対策)

項目	単価(円)	嫌気処理+好気処理		好気単独処理	
		使用量/日	円/日	使用量/日	円/日
電力	18/kW時	5,224kW時	94,032	15,808kW時	284,544
蒸気	3/kg	4,330kg	12,900	-	-
脱硫剤	170/kg	12.4kg	2,108	-	-
希釈水	30/m ³	-	-	2,000m ³	60,000
薬品 NaOH	40/kg	1,050kg	42,000	-	-
尿素	100/kg	415kg	41,500	822kg	82,220
リン酸	160/kg	143kg	28,880	271kg	43,360
脱水 FeCL ₃	26/kg	56kg	1,456	150kg	3,900
薬品 ポリマー	1,200/kg	7.8kg	9,360	21kg	25,200
汚泥処分費	10,000/t	5.6t	56,000	15t	150,000
メタンガス	28,000/kl※	3.2kl	▲ 89,600	-	-
計			198,636		649,224
差額			▲ 450,588		

※ A重油換算

文献

- 1) N. Porges, L. Jaswicz, & S. R. Hoover: Principles of biological oxidation, Biological Treatment (1953)
- 2) 内藤幸穂、他：産業排水処理、p.69 (技報堂, 1958)
- 3) 松井三郎ら：硫酸塩還元菌、環境技術、18 (4), p.229 (1989)
- 4) 宝月章彦ら：合成有機性廃水の嫌気性分解に及ぼす硫酸イオンの影響に関する研究、環境技術、18 (7) p.418 (1989)
- 5) 宝月章彦ら：嫌気性処理における発酵温度と性能に関する研究、水処理技術、Vol.30, No.1 (1989)
- 6) 宝月章彦：嫌気性処理の基本事項、食品工場排水の最適処理ハンドブック、p. 46 (サイエンスフォーラム, 2002)
- 7) Speece, R.E., et.al : Nutrient requirements and biological solids accumulation in anaerobic digestion, Proceeding of the international conference, Pergamon Press, Oxford UK, p.305 (1962)
- 8) Henz, H., et.al: Anaerobic treatment of wastewater in fixed bed film reactor, A literature review, Wat. Sci. Tech.15, (1983)
- 9) Weiland, P., et.al.: Anaerobic Digestion 1988, Proc. 5th Int. Symp. On Aerobic Digestion. Ed. Pergamon Press. 146 (1988)
- 10) 宝月章彦：嫌気性処理による産業廃水からのエネルギー回収、用水と廃水、Vol.33, No.4 (1991)

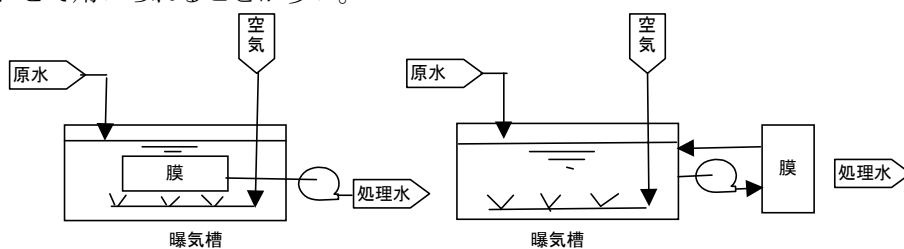
第6章 高度処理と処理水の再利用

食品工場廃水における高度処理は、活性汚泥処理の処理水中に残留するBOD、SS、窒素、燐などをさらに低減して放流するために行われる。処理水の再利用に当たっては、利用先の水質を満足するために必要な処理を加えて目的に合った用水にするものである。

6.1 残留BOD、COD、SSの除去

(1) 生物処理

食品工場廃水を活性汚泥処理したときの処理水は、通常、BOD $5 \sim 15 \text{ mg/l}$ 、COD $10 \sim 40 \text{ mg/l}$ 、SS $5 \sim 20 \text{ mg/l}$ である。BODの残留分は活性汚泥処理装置からの未反応物のリークや、代謝産物のほかに、微細SSの流出に起因する。廃水が難分解性の有機物を多く含む場合にはBODが下限値に下がっても、高いCODの値を示すことがある。したがってさらにBOD、 COD_{Mn} 、SSを下げる場合に活性汚泥処理水を再度生物処理しても余り効果は得られない。このため近年、二次処理のプロセスに膜を組み入れて三次処理の機能を持たせた生物処理と膜処理のハイブリッド型の処理方式が用いられるようになってきた。この方式では沈殿池の代わりにMF膜やUF膜が用いられる。膜分離活性汚泥法は図2-6-1に示されるように、膜を曝気槽内に沈める浸漬方式と、膜モジュールを曝気槽外に設置するクロスフロー方式がある。浸漬方式では、膜モジュールの下から曝気を行い、気液混合上昇流により、汚泥の蓄積、膜ファウリング（汚染）を防止する。ろ過方法は、ポンプで吸引する方式が多い。一方クロスフロー方式は、循環ポンプで曝気槽液を膜モジュールに加圧供給して、クロス方式で汚泥と水の分離を行うもので、浸漬方式と比べて、高濃度MLSSに対応ができる。膜分離活性汚泥法では、MLSSを高く保持でき、バルキングによる沈殿池からの汚泥の流出の恐れがないため、通常の活性汚泥法の2倍近いBOD容積負荷を取ることができる。処理水質は、原水のBOD濃度、BOD負荷条件によって異なるが、原水濃度と処理水の関係の例を表2-6-1に示す。その他の生物膜処理には生物接触酸化装置がある。この装置は曝気槽内にさまざまな形状の充填材（ひも、ハニカム板、波板、リングなど）を入れ、その表面に生物膜を形成するものであるが、SSのろ過機能を有しないために後段に凝集沈殿池や砂ろ過を組み合わせて用いられることが多い。



膜モジュール浸漬方式

槽外膜モジュール置きクロスフロー方式

図 2-6-1 膜分離活性汚泥法

表 2-6-1 膜分離活性汚泥処理の性能

項目	設計標準(目安)		食品廃水処理実績	
	原水	処理水	原水	処理水
BOD (mg/l)	1,000~3,000	<20	538	<2
COD (mg/l)			154	<9
油脂類 (mg/l)	<100		80	<2
SS (mg/l)	<300	<5	231	<2

備考

MLSS (mg/l) : ;10,000~18,000、 BOD-MLSS負荷(kg BOD/kg MLSS・d) : 0.2~0.4
容積負荷((kg BOD/m³・d) 目安 : 2.0~4.0……酸素律速

(2) 物理処理

物理的処理の代表はろ過であり、SSの除去を主目的としている。三次処理に使われるろ過装置は砂とアンストラサイトの2種類のろ材を複層にした高速ろ過装置が広く用いられている。複層ろ過装置のろ過速度は10~20m/h、粒径5~10μ以上のSSが6~8kgSS/m²捕捉され、捕捉SSによるろ過抵抗が大きくなると逆洗を自動的に行ってろ材の洗浄を行う運転である。また、ろ砂が連続的に移動・洗浄され、再びろ過槽に循環される構造になっており、逆洗工程が必要でないろ過装置も開発され使われている。いずれも処理水のSSは10mg/l以下が標準である。

(3) 物理化学処理

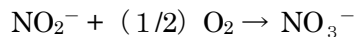
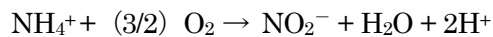
代表的な処理方法に凝集沈殿がある。凝集沈殿はSSの除去と共に、コロイド状の微細有機物に起因するCODも除去することができる。沈降しやすいフロックを作るために、凝集剤としては硫酸アルミニウム、PAC、塩化第二鉄などの無機凝集剤と高分子凝集剤を併用して用いられることが多い。処理水のSSは通常10mg/l以下であり、溶解性CODも通常は二次処理水の30%近く除去されるが、凝集剤の選定や操作条件の確立には、凝集試験での確認が必要である。しかし凝集沈殿処理によるCODの除去はSS除去の付随的効果しか得られないため、CODの除去を主体に考える場合には活性炭吸着がもっとも一般的な除去方法となる。これは活性炭表面の細孔にCOD成分を吸着して除去するもので、活性炭への吸着が飽和に達すると活性炭の再生を行う。活性炭吸着装置には、活性炭が飽和吸着に達すると入れ替える方式と、飽和活性炭を連続的に抜き出し、再生を行い、再び吸着槽に戻していく流動床式活性炭吸着装置などがある。通常、活性炭の再生は小規模の場合は外部で行い、多量の活性炭を用いるところでは再生炉を廃水処理場に設置して自家再生を行っているところが多い。

6. 2 窒素除去

6. 2. 1 窒素除去の基本技術

廃水に含まれる窒素には有機態窒素と無機態窒素があり、存在形態には水中に溶解しているものと SS として懸濁しているものがある。窒素の除去技術には生物処理と、物理化学処理（塩素処理、アンモニアストリッピング、イオン交換など）がある。食品工場廃水処理の窒素除去は活性汚泥処理などの生物処理をした後に残留する窒素の除去が主である。この場合の窒素はアンモニアや、硝酸、亜硝酸、アミン類の形で存在するため、その除去には技術的にも経済的にも優れている生物脱窒処理法が広く用いられている。生物処理による窒素の除去はアンモニアを好気性条件下で硝酸に酸化する硝化反応と、嫌気性条件下で硝酸を還元して窒素ガスに還元する脱窒反応からなっている。

硝化反応



脱窒反応



この反応においてアンモニア性窒素 1 kg を酸化するのに酸素約 4.6 kg が必要であり、アンモニアの酸化により液中のアルカリ度が減少する。硝化槽の菌体が温度と pH に敏感であるために、これらの反応を効率よく行うためには、pH のコントロールと水温の維持には注意が必要である。さらに、反応槽の容量を小さくするために、硝化反応と脱窒反応の菌体濃度を高めることが有効であり、それぞれに生物膜法やグラニューール形成法、膜分離活性汚泥法などが実用化されている。硝化・脱窒工程を二次処理の後に独立して設けるやり方もあるが、生物脱窒のプロセスでは水素供与体としてのメタノールなどの代わりに原廃水を用いる方法が経済的に優れているため、二次処理に組み込んで行うのが一般的である。

6. 2. 2 処理プロセスの種類

(1) 循環式嫌気・好気活性汚泥法

好気・嫌気を組み合わせた脱窒プロセスを、BOD 酸化工程、硝化工程、脱窒工程の菌体相の分離方法から見ると図 2-6-2 のようになる。これらではいずれとも、硝化過程ではアルカリ剤の注入および脱窒過程での有機物の添加が必要であることから、硝化槽の前に脱窒槽を配し、硝化槽から脱窒槽に混合液を循環する方式が開発され用いられている。この方式では流入水の BOD を脱窒の有機物に利用できること、硝化の前に脱窒に伴うアルカリ度の生成効果が見込まれることから経済的である。しかし、処理効率に限界があり 70% 程度の窒素除去率である。このため、図 2-

6-3に示すように、BOD 酸化、硝化、脱窒の菌体を独立させずに混合状態で行う単相汚泥・循環脱窒方式が現在広く用いられている。これは硝化槽の前に脱窒槽を設け、硝化槽処理水を脱窒槽に循環させるものであり、さらに後段での有機物の添加による脱窒で窒素除去効率を上げている。さらに、反応効率を高めるための生物膜法、グラニュール化法、膜分離活性汚泥法による菌体の保持技術がこれらのプロセスに組み入れるために、循環式脱窒・好気活性汚泥法による脱窒方法は多岐にわたってきている。脱窒反応では窒素量の3~5倍量のBODが必要で、廃水がこれ以上のBODを含む場合は、第1段での循環式脱窒段階では、メタノールなどの水素供与体の添加の必要がないため経済的に脱窒ができる。その段階での脱窒率は原水のBOD量と循環させる硝化液量比で決まり、循環量率（原水に対する倍率）をn、汚泥返送率（原水に対する倍率）をrとすると、原水のBODが十分にある場合は次式で求められる。

$$\text{脱窒率} = n / (1+n+r)$$

循環率を増やすと脱窒率は上昇するが、循環動力も増加するため、通常は50~80%の脱窒率で設計をし、残りは酸化・硝化槽の後に第二脱窒槽を設けることが多い。第二段での脱窒槽ではBODが不足するため、メタノールなどの水素供与体となる有機物の添加が必要となる。再曝気槽は脱窒槽からリークする未酸化有機物の除去、溶存酸素の回復、そして汚泥に付着する窒素ガスを分離する目的で設けられる。食品工場廃水処理に適用した場合、処理水の全窒素は10~20 mg/l以下、除去率90~95%が得られる。

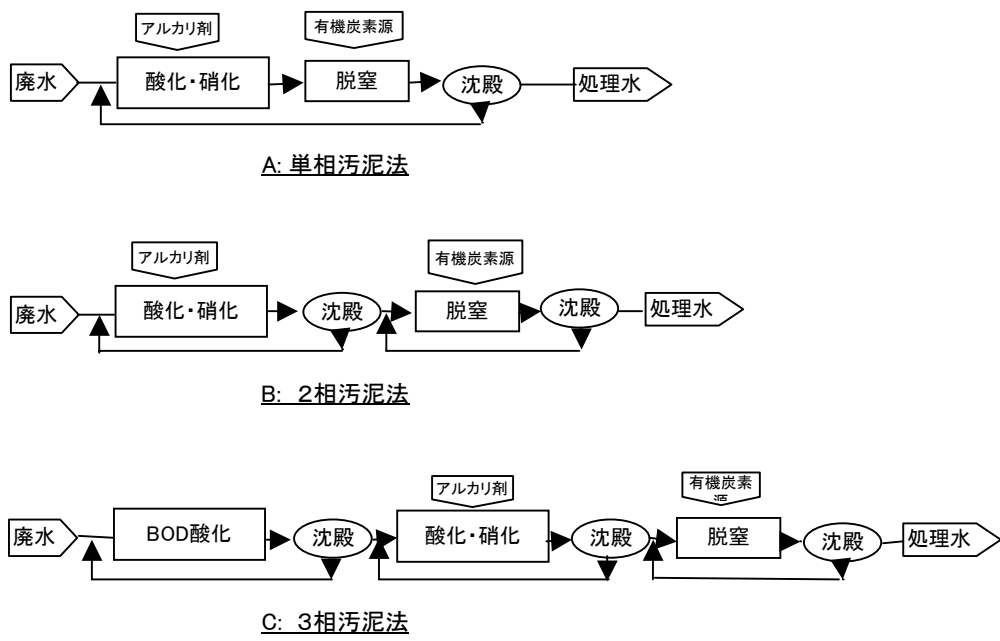


図 2-6-2 循環式好気・嫌気活性汚泥法のプロセスの種類

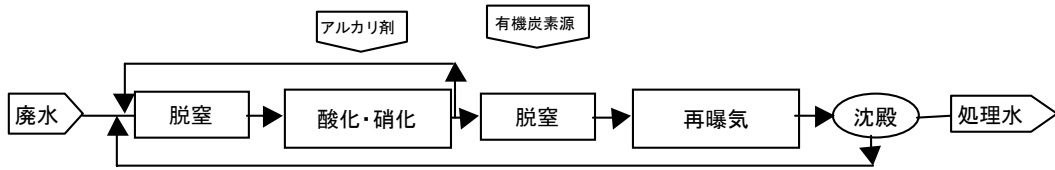
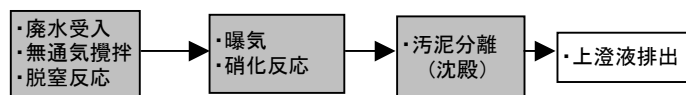


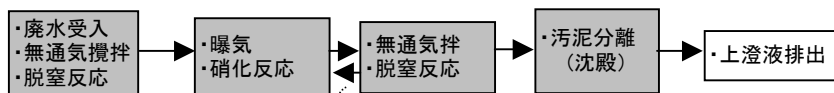
図 2-6-3 単相汚泥・循環脱窒方式

(2) 回分式嫌気・好気活性汚泥法

この方式は活性汚泥の曝気槽を通気状態と無酸素状態に切り替えながら BOD 除去、アンモニア酸化と脱窒を一つまたは複数の曝気槽を用いて行う方法である。回分式には図 2-6-4 に示す方法があるが、設備が簡単で設置面積が少なく、維持管理が容易という特長がある。図の A は制限曝気方式と呼ばれ、廃水を受け入れているときには曝気を停止して、攪拌だけを行い脱窒を行う方法であり、窒素の除去率は 70% 位である。B は間歇曝気と呼ばれ、曝気 (好気状態) と攪拌 (無酸素状態) を交互に行う。C は B と同様に曝気と攪拌を繰り返すが、硝化終了後、攪拌の前に廃水を注入し脱窒工程で BOD の利用を促進するものである。廃水の注入は数回に分けて行われるために窒素の除去率は 90% 以上が得られる。

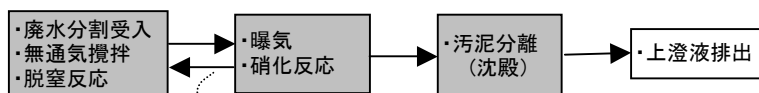


A: 制限曝気方式



数サイクル繰り返し行う

B: 間歇曝気方式



数サイクル繰り返し行う

C: 廃水分割注入・間歇曝気方式

図 2-6-4 回分式嫌気・好気活性汚泥法

6. 2. 3 保持菌体量の増大方法

(1) 生物膜法

硝化菌はフロックを形成しないために、活性汚泥のフロック内に生育する。このため硝化菌の濃度を高めるために、BOD 除去の場合と同じように担体を用いる。菌体の保持をする担体には固定床式と浮遊式があり、その材料としては、樹脂や、無機材が用いられ、また、ポリエチレングリコールを利用した包括固定化担体などもある。生物膜法による硝化速度は懸濁方式に比べて3倍くらい早い。生物膜法の処理プロセスは図2-6-2および図2-6-3のいずれの方法でも用いることができる。この処理方式は沈殿池を必要としないために汚泥管理が容易である。また沈殿池を設けた場合には、凝集沈殿も可能なためにSS除去、リン除去を同時に行って良好な水質を得ることができる。

(2) グラニューール法

脱窒菌を1～2mmの粒状に造粒化したグラニューール（微生物の粒塊）を使用し、図2-6-5に示すリアクター内に充填する。上向流で硝酸を含む廃水をグラニューールと接触させて還元して窒素ガスに脱窒する。グラニューールは上部のGSS（Gas-Solids Separator）で分離される。脱窒菌のグラニューール化で菌体濃度を数万mg/lまで高めることができ、NO₃-N 負荷を懸濁法の5～10倍の10kg/m³・dまで高めることができるために大幅な装置のコンパクト化が図れる。また、NO₃-Nが50～1,500mg/lの廃水に適用でき、99%以上の窒素除去率が得られる。

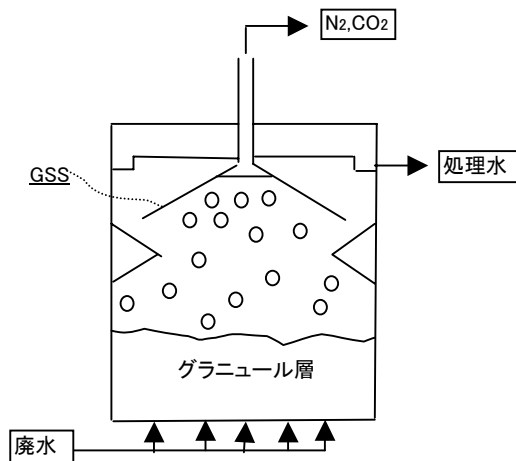


図2-6-5 グラニューール式脱窒装置

6. 3 磷除去

6. 3. 1 磷除去の原理と方法

食品工業で磷は少量ではあるが、広い分野にわたって使われており、廃水中には磷酸塩の形で存在する。活性汚泥処理の処理水に残留する磷の量は、BOD と磷の比率や、曝気槽の溶存酸素、余剰発生率によって変わる。流入する磷の収支としては、余剰汚泥と一緒に系外に出される分と、処理水に含まれて流出する分に分かれる。活性汚泥の処理水中の磷の除去法には、凝集剤を添加して水に不溶性の磷酸塩にして分離する物理化学法や、活性汚泥に過剰に摂取させる生物法、ジルコニウムによる物理吸着法などがある。その主な除去方法と、その原理、特長などを表 2-6-2 に示す。

表 2-6-2 主な磷除去方法

	嫌気・好気活性汚泥法	凝集沈殿法	フォストリップ法	ジルコニウム吸着法
除去のメカニズム	嫌気・好気活性汚泥処理における汚泥の磷放出と磷吸着を利用した高磷含有汚泥の引き抜き	活性汚泥処理水に凝集剤を加えて沈殿分離	嫌気・好気活性汚泥と凝集沈殿の組合せ	ジルコニウムフェライトに吸着
特長	<ul style="list-style-type: none"> ・活性汚泥装置の一部改造で処理可能 ・単相式・生物学的磷除去循環脱窒方式で磷除去率97%の報告例あり 	<ul style="list-style-type: none"> ・除去率が高い ・0.1mg/ℓくらいまで低下(目安) 	<ul style="list-style-type: none"> ・磷濃縮後に凝集をすることで凝集剤使用量が少ない ・0.5mg/ℓくらいまで低下(目安) 	<ul style="list-style-type: none"> ・磷回収ができる ・1mg/ℓくらいまで低下(目安)
課題	<ul style="list-style-type: none"> ・除去率が物理化学処理に比べて低い 	<ul style="list-style-type: none"> ・薬剤費が発生 	<ul style="list-style-type: none"> ・運転操作要因増加 	<ul style="list-style-type: none"> ・経済性

6. 3. 2 嫌気・好気活性汚泥法

活性汚泥は好氣的条件下では磷を細胞内にポリ磷酸として貯蔵し、嫌気状態で有機基質存在下では有機基質を摂取し磷を放出する。このため、活性汚泥を嫌氣的状態にして、有機基質を与え、その後好気条件下に戻すと、磷の過剰摂取現象が起こる。通常活性汚泥中の磷含有量は1.0～1.6%前後であるが、過剰摂取した汚泥の磷含有量は5%位に増える。生物脱磷の基本は図2-6-6に示すAO法(Anaerobic Oxidation)と呼ばれプロセスであり、過剰に磷を摂取・蓄積した汚泥を余剰汚泥として系外に引き抜くことにより90%前後の磷が除去される。これに脱窒槽を加えると脱磷と脱窒が同時に行え、75%位の窒素の除去が同時にできる。そのフローを図2-6-7に示す。さらに単相汚泥法・生物学的磷除去循環方式二段脱窒法で余剰汚泥を適量引き抜くと、磷95%以上、窒素90%以上の同時除去が行える。そのフローを図2-6-8に示す。生物学的磷除去による磷の除去方法は生物脱窒を兼ねて行うことができるため、脱窒と脱磷の同時除去が行われることが多い。

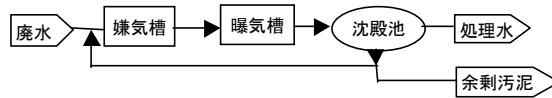


図 2-6-6 生物脱磷の基本プロセス (AO 法)

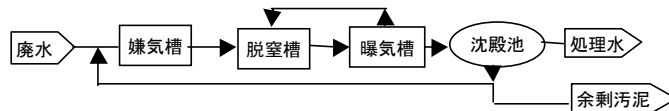


図 2-6-7 生物脱窒・脱磷プロセス (A₂O 法)

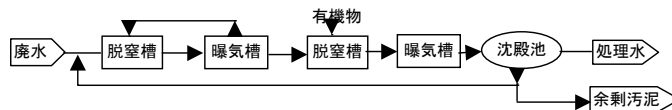


図 2-6-8 単相汚泥法・循環脱窒・脱磷プロセス

6. 3. 3 凝集沈殿処理

活性汚泥処理水の磷除去から方法としては、3 価または2 価の金属塩である硫酸バンドや塩化第二鉄、硫酸第一鉄などを凝集剤に用いて難溶解性の磷酸アルミニウムや磷酸鉄に変えて沈降分離する方法が広く用いられている。凝集の方法には、凝集剤を活性汚泥処理プロセスの沈殿池入口に注入する方法と、凝集沈殿槽を独立して設ける方法がある。残留磷の濃度は一般的に、前者では0.5～数 mg/l、後者で0.1 mg/lを得ることができる。磷を除去する場合の磷除去率と硫酸バンドの必要量の関係を表2-6-3に示す。実際には過剰添加が必要であり、さらに除去効果をも高めるために陰イオン高分子剤を併用することもある。凝集最適 pH は硫酸バンドが6～7、第二鉄の凝集最適 pH が4.5～5.0、第一鉄が8前後であるために pH 調整の必要が生じる場合がある。また、石灰を pH 9.5～10にした活性汚泥処理水に加えると水に難溶解性のヒドロキシアパタイトを形成する。石灰による脱磷には凝集沈殿法と接触ろ過法がある。石灰凝集の利点は硫酸バンドなどのように陰イオンの蓄積がないために塩類が増加しないのと、ポリ磷酸も除去できる点にある。

表 2-6-3 磷除去と硫酸バンド必要量

磷除去率(%)	P 1gに対する Al ₂ (SO ₄) ₃ ・14H ₂ O の必要量(重量比)
75	13
85	16
95	22

6. 3. 4 フォストリップ法

フォストリップ法は1960年代に開発された方法で、図2-6-9に示すように、好気状態で汚泥に吸着した磷を嫌気状態にした磷溶出槽で溶出させる。その上澄水に凝集剤を添加して磷を凝集沈降分離する。一方、磷溶出槽で磷を放出した汚泥は曝気槽に返送される。

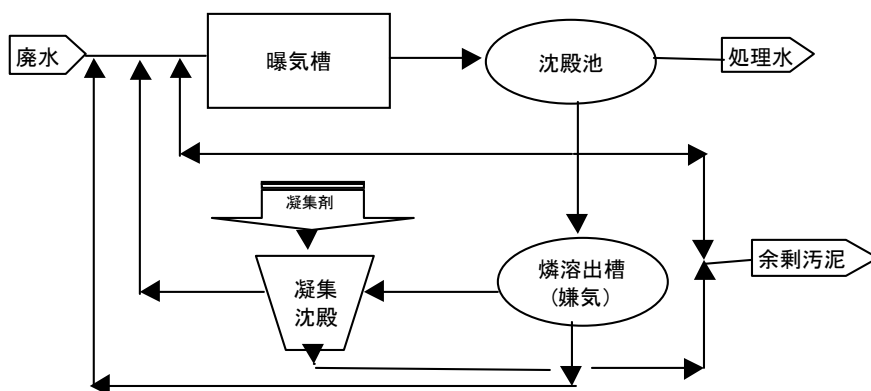


図2-6-9 フォストリップ法による脱磷プロセス

6. 3. 5 ジルコニウム吸着法

粒状のジルコニウムフェライトはイオン交換性を持つために酸性溶液中で磷を吸着し、アルカリ溶液で脱離を行う。本法では磷回収が可能である¹⁾。

6. 4 色度除去

(1) 脱色方法

食品工場廃水の二次処理水には、不快感を与えるような色を残すことは少ないが、廃水の種類により僅かではあるが固有の色が残ることがある。着色は生物処理の過程で生じた微粒子や、生物分解過程の副産物、未分解成分が原因となっている。色素成分が微粒子やコロイド粒子の場合は、凝集沈殿で除去ができるが、溶解性の物質はオゾンなどによる酸化分解や活性炭吸着で除去を行う。一般的な脱色法と各々の特長を表2-6-4に示す。

表2-6-4 脱色方法とその一般的な比較

処理方式	凝集沈殿	オゾン酸化	O ₃ +UV	活性炭吸着
脱色の対象物質、他	・微粒子 ・コロイド物質 ・一部の溶解性物質	・難分解性溶解物質	・難分解性溶解物質	・難分解性溶解物質
性能確認試験	・凝集試験	・脱色試験	・脱色試験	・等温吸着性能など
処理水質	・溶解性色素分残留	・普通	・普通	・良い
設備費	・凝集沈殿槽だけの場合は普通 ・pH調整を付加すると高い ・活性汚泥沈殿池を兼用すると安い。効果は低下する	・通常前処理にSS除去装置を設置 ・オゾン発生器が高いために割高となる	・オゾン単独酸化より高い	・砂ろ過などの前処理が要するため高い ・大容量処理の場合再生炉設置など
運転費	・一般的には安い ・pH調整が要する時は高い	・脱色程度により異なるが高い	・脱色程度により異なるが高い	・活性炭の吸着量によるが高い
設置面積	・比較的場所を取る	・コンパクト	・コンパクト	・普通
他	・スラッジ発生 ・操作因子増大	・COD,BOD低減 ・滅菌ができる ・操作が簡単	・COD,BOD低減 ・滅菌ができる ・UVのメンテ	・COD,BOD低減 ・操作因子増大

(2)凝集沈殿処理

もっとも広くも使われている方法であり、原理はSS除去と同じである。ただ脱色の場合は残留微粒子の親水性や疎水性などに関係する表面電位や残留蛋白性微粒子の等電点(pH 5前後が多い)の影響を考慮して、凝集剤とpHの選定を行うことが脱色効果を経済的に高めるために重要である。凝集沈殿による脱色は溶解性着色物質の除去が困難なために脱色には限界がある。

(3) オゾン酸化処理

オゾンはフッ素に次ぐ強力な酸化剤であり、殺菌、脱色、脱臭、残留微量有機物の分解に用いられる。オゾンの発生は工業的には高電圧無声放電方式が用いられている。空気を原料とする場合と、酸素または酸素リッチの空気を用いて発生させる方法がある。脱色を効率良く行うために、接触装置の設計において、オゾン気泡径の微細化、攪拌による気液混合、向流接触方式などの工夫がなされる。オゾンによる脱色が進むにつれて、反応時間が長くなり、オゾンの利用率が低下するために経済性が急激に低下する傾向がある。

(4) オゾン+UV 酸化処理

オゾンと過酸化水素、あるいは紫外線と組み合わせて有機物を分解する方法である。このプロセスは、オゾン単独処理に比べて紫外線がオゾンの分解を促進し、その結果非常に強い酸化力を持つ

OHラジカルの生成が増大し、有機物の酸化分解が促進できる。本来シアン化合物の分解に開発されたものであり、設備費、運転費が高価であるため、微量残留難分解性有機物の分解など特殊な処理に用いられる。

(5)活性炭吸着処理

活性炭は粉末と粒状があるが、廃水処理に使われるのは主に粒状炭である。粒状活性炭は原料の違いから石炭系、椰子殻系に、またその形状から成型炭、破碎炭などに分類される。脱色試験は通常フロイントリッヒの吸着等温式に近似するために、吸着線の勾配から活性炭吸着方式の適否を判断する。活性炭吸着装置は固定床吸着方式（回分運転）と流動床方式（連続運転）、移動床（連続運転）があり、飽和活性炭の再生にはオンサイトとオフサイトの両方式がある。

6. 5 処理水の再利用

食品品工場の用水には原料水、製品処理・洗浄水、ボイラー用水、冷却水、床・車など洗浄水、親水用水、植物散水、トイレ用水などがある。原料水、製品処理・洗浄水の水質に関しては製品により違いがあり企業がそれぞれの基準を定めている。ボイラー用水の水質はJISで規定されている。冷却水の水質は一般的に余り厳密な基準はないがボイラー用水に準じることが多い。食品工場において処理水を床・車などの洗浄に使用する場合は、製品へのコンタミネーションの危険を避けるために、殺菌、脱塩処理が必要となる。食品工場における処理水の主な用途は、経済性から、植物散水とトイレフラッシュ水である。これらに要求される用水の水質は、一般的には三次処理水で十分であるが、取り扱い上滅菌をすることが好ましく、また、不快感を与える臭いや、色、泡立ちの対策も考慮されなければならない。表2-6-5に処理水の用途、処理方式とその水質の例を示す。

表2-6-5 処理水の再利用と水質

用途	散水用水 ²⁾ トイレ・フラッシュ用水	親水用水 ²⁾ 修景用水	工業用水の標準水質
処理方式	凝集沈殿+ろ過+UF膜	左記+O ₃ +活性炭+UF膜	
大腸菌群(個/mℓ)	<10	<0.5	<1 ^{※1}
残留塩素(mg/ℓ)	>0.4	—	>0.1 ^{※2}
濁度(度)	—	<10	<20
pH	5.8~8.6	5.8~8.6	6.5~8.0
蒸発残留物(mg/ℓ)			<250
アルカリ度(CaCO ₃)(mg/ℓ)			<75
硬度(mg/ℓ)			<120
塩素イオン(mg/ℓ)			<80
色度(度)	40	10	2~80 ^{※3} 5~10 ^{※4}
BOD(mg/ℓ)	<20	<10	—
COD(mg/ℓ)	<30	—	—

註※1 公衆浴場の基準 ※2 水道水の法的基準値 ※3 ボイラー用水(圧による)の許容値
※4 食品工業一般の許容値

参考文献

- 1) 高井智丈、他：リンの回収・資源化技術、食品工場排水の最適処理ハンドブック、p. 260 (サイエンスフォーラム, 2002)
- 2) 川端雅博：水のリサイクル技術、食品工場排水の最適処理ハンドブック、p. 253 (サイエンスフォーラム, 2002)

第7章 汚泥処理と減容化

食品工場廃水処理で発生する余剰汚泥の処理・処分費は廃水処理の全運転費の70%前後を占めており、最も合理化が急がれる分野でもある。食品工場廃水処理で発生する汚泥は脱水機で脱水をして場外搬出処分されることが多いが、さらに乾燥して肥料にしたり、焼却してさらに減容化をしてから処分している廃水処理場もある。汚泥の脱水機にはいろいろな機種があり、また凝集剤も汚泥の種類、脱水機の機種に適したものが多く市販されている。一方では、汚泥の減容化技術を導入して余剰汚泥の処分の必要のない廃水処理場も増えだしている。

7. 1 脱水処理

7. 1. 1 汚泥の凝集

汚泥の圧搾脱水を効果的に行うために、余剰汚泥に凝集剤を添加して、強固なフロックを作り、微細粒子のリークと炉布の目詰まりを防ぎ、含水率の低下を図ることが行われる。汚泥の脱水に使われている凝集剤には表2-7-1に示される無機凝集剤と、表2-7-2に示される高分子凝集剤がある。その他にベントナイトなどの凝集助剤が使われることもあるが、余剰汚泥量が増えることと、高分子凝集助剤の発達で、現在ではその必要性が少なくなったために用いられることはほとんどない。有機汚泥は通常その表面が負に帯電して互いに反発して分散しているため、カチオン系の無機凝集剤で表面荷電を中和して粒子を凝集させることが多い。高分子凝集剤はこれらの作用と架橋吸着によりフロックの形成と安定化を促進する。脱水を効果的に行うためには、何種類かの凝集剤を用いて、その添加量と最適なpHの組合せを知る必要がある。一方、2001年よりわが国においてもPRTR法(Pollutant Release and Transfer Register、化学物質管理促進法)により、化学物質の環境への排出量及び廃棄物に含まれての移動量を登録して公表する仕組みが義務付けられた。凝集剤メーカーから汚泥処理に使う凝集剤の安全性に関するMSDS(Material Safety Data Sheet)を入手し安全の確認を行うことが必要である。

表2-7-1 脱水に用いられる一般的な無機凝集剤

薬品名	分子式
硫酸アルミニウム	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
塩化第二鉄	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
ポリ塩化アルミニウム	$[\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n}]_m$
消石灰	$\text{Ca}(\text{OH})_2$

表 2-7-2 脱水に用いられる一般的な高分子凝集剤

陽イオン	ポリエチレンイミン、ポリメタアクリル酸エステル
陰イオン性	ポリアクリル酸ナトリウム、ポリアクリルアミド
非イオン性	ポリアクリルアミド、ポリオキシエチレン

7. 1. 2 脱水装置

汚泥の脱水方法は機械脱水と自然脱水がある。自然脱水は小容量の脱水の場合に、乾燥床や脱水袋を用いて行われることがあるが、場所を広く取り、臭いの発生を伴うために適用には制約がある。機械脱水には表 2-7-3 に示される種類があり、狭い面積で汚泥の減容化を図ることができるために広く用いられている。汚泥の脱水には汚泥性状と設置条件の面で多様性があるため、多くの種類の脱水機が市販されている。それぞれの特徴を以下に紹介する。

表 2-7-3 一般的な脱水機の機種と特徴

脱水機機種	ベルトプレス	遠心脱水機	フィルタープレス	真空脱水機	スクリーブプレス
脱水率	○	△	◎	▲	◎
SS回収率	△	○	○	◎	▲
設備費	◎	△	▲	○	▲
運転費	◎	▲	○	△	△
設置面積	○	◎	▲	▲	△
維持管理性	○	◎	△	○	○
作業環境	△	◎	△	▲	◎

(註)

適用環境、経済評価基準によって異なるが、一般的な使い方における基準として；

◎優れている ○良い △普通 ▲不利な点がある

(1) ベルトプレス脱水機

ベルトプレス脱水機は図 2-7-1 に示されるように 2 枚のろ布ベルトとゴムベルト、ローラー、蛇行防止装置、駆動装置などから構成される。凝集剤の添加でフロック化された汚泥は下部ろ布の上面に供給されて重力脱水され、次いで 2 枚のろ布の間に入り、徐々に高圧部へと送られながら脱水が行われる。圧搾圧力はローラーからゴムベルトを介して伝えられる。高圧部を出た汚泥はケーキ掻取ナイフ部でろ布から剥離される。ろ布は目詰まりを防止するために高圧水による水洗が行われる。一般的に含水率はフィルタープレスに次いで低いといわれているが、ろ布の洗浄水量が多い。

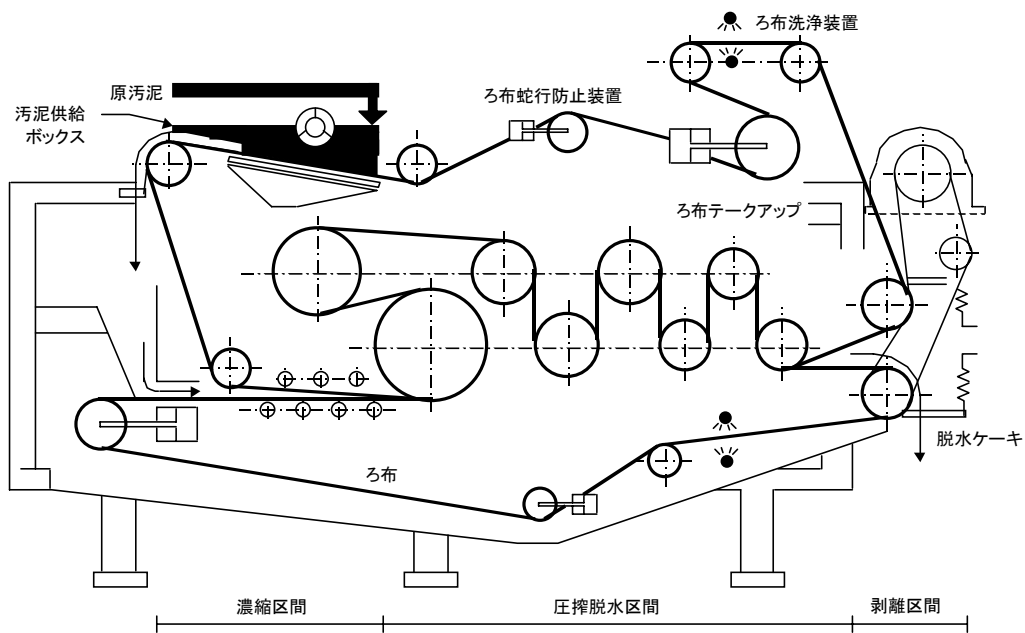


図 2-7-1 ベルトプレス脱水機

(2) 遠心脱水機

汚泥の脱水に使われる遠心脱水機は図 2-7-2 に示されるように回転する外胴ボールと内胴スクリー部から構成される。汚泥は高速回転で発生する 1,000~2,000G の遠心効果で外胴の内壁に圧縮され、外胴ボールと若干の回転差で回転している内胴スクリーで一定方向に掻き寄せられ、外胴部の円錐部分の内壁に沿って移動し、脱水ケーキとして排出される。遠心脱水機内部の液面の高さは液排出孔の位置の調節により自由に変えることができる。遠心分離の際にはフロックに大きな力が掛かるため、凝集力の強い高分子凝集剤を用いて SS の回収率を高める必要がある。遠心脱水機はフロックと水の密度差を利用しているため、有機物含有比率の多い食品工場廃水汚泥の場合、ケーキの含水率は他の脱水機に比べて高い。しかし、設置場所が少なくすむことや、作業環境を清潔に保ちやすいために食品工場の廃水処理にも広く使われている。

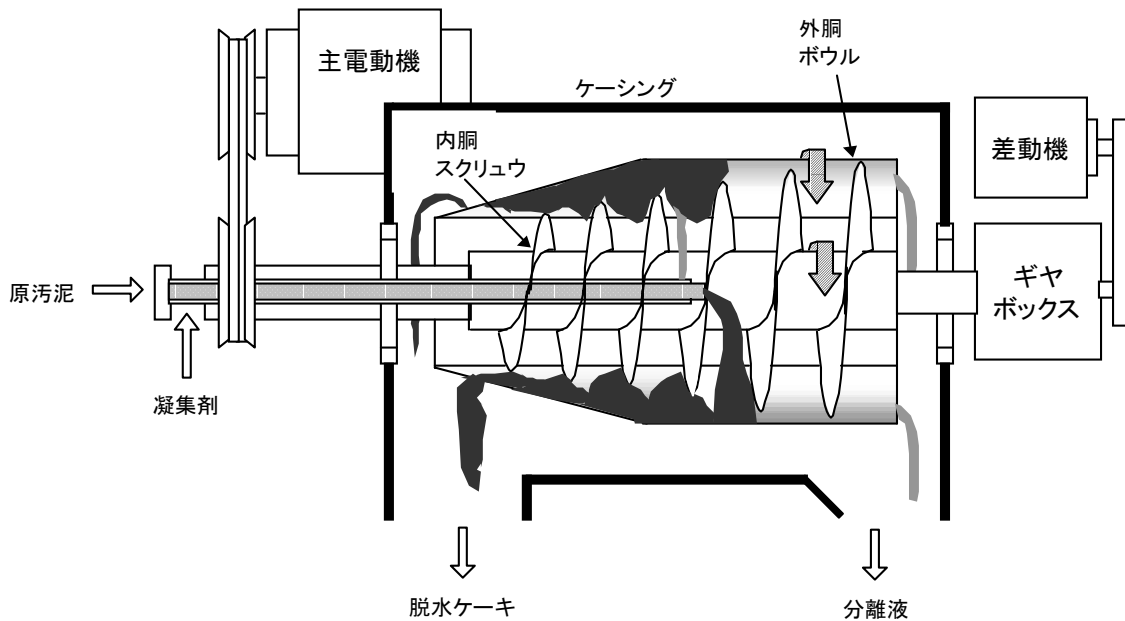


図 2-7-2 遠心脱水機

(3) フィルタープレス脱水機

もっとも古くから使われている脱水の方法であり、完全自動化されているが回分運転である。フィルタープレスによる脱水は図2-7-3に示される枠内にあるダイヤフラムで、ろ布を介して汚泥を圧搾するものである。圧搾後は開枠して汚泥を剥離脱落させた後に、高圧水でろ布の洗浄を行う。汚泥の最適な脱水を行うためには、炉布の選定、加圧圧力・速度・時間、凝集剤の組合せをテストで求める。フィルタープレスを用いた脱水は一般的に含水率が他の脱水方法より低く、SSの回収率も比較的高い。

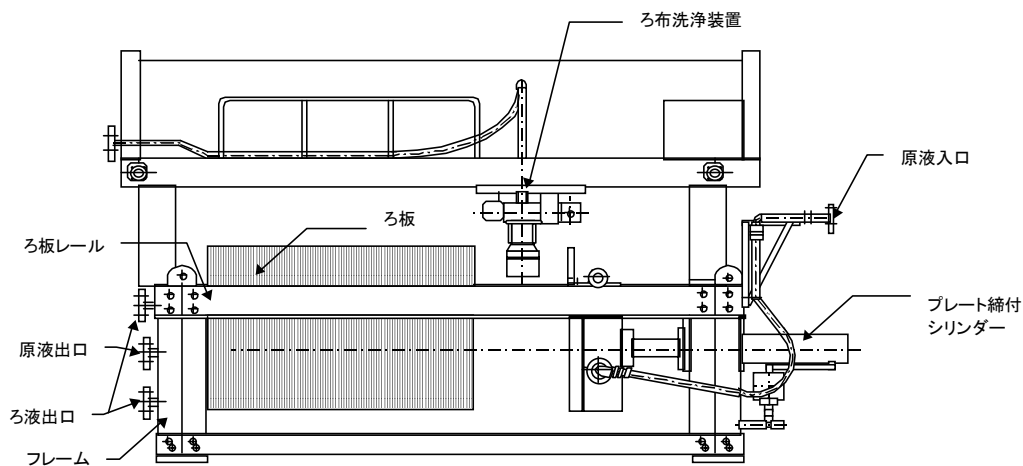


図 2-7-3 フィルタープレス脱水機

(4) 真空脱水機

真空脱水機は図2-7-4に示されるように回転する円筒の内面に減圧部を設け、外側から汚泥を回転円筒の外面に張られたろ布を介して吸引ろ過脱水するものである。回転円筒体は吸着部、脱液部、剥離部、ろ布洗浄部に分かれている。圧力差が他の脱水機と比べて小さいために、脱水ケーキの含水率は高い。含水率の低下のために脱液部にベルトプレス式の加圧機構を設ける方法や、ケーキの剥離を容易にする機構を備えた機種がある。凝集剤としては、無機凝集剤が使われることが多く、ろ布の目詰まり防止の洗浄水も多く、SSの回収率も比較的低い。

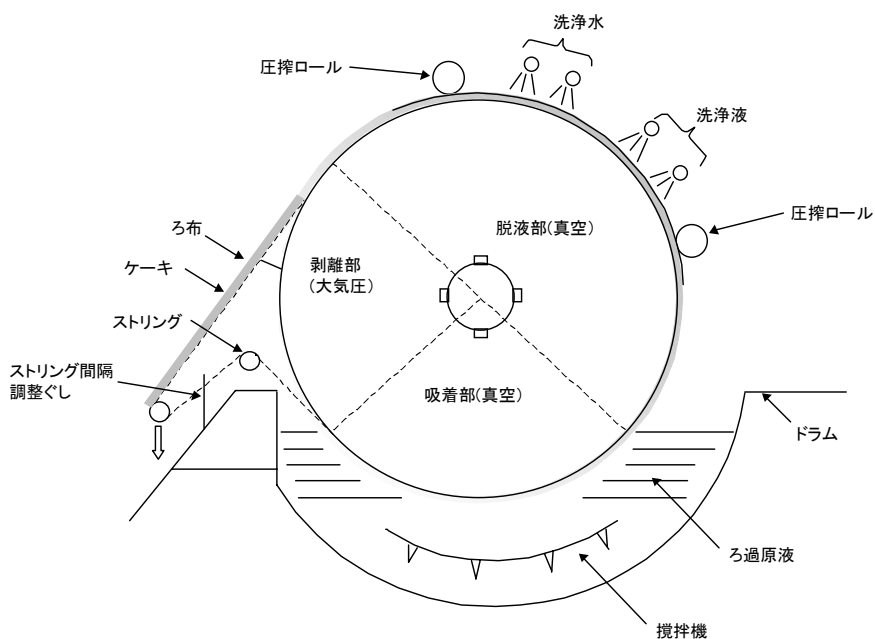


図2-7-4 真空脱水機

(5) スクリュープレス脱水機

スクリープレス脱水機は図2-7-5に示されるようにスクリーン機能をもったパンチングメタルでできた外筒と、低速で回転するテーパの付いたスクリー軸で構成されている。凝集された汚泥のフロックは脱水機室内をゆっくりと狭い場所に押し込まれ圧搾、脱水される。パンチングメタルの開口部が比較的大きいためにフロックのリークを防ぐために凝集剤の選定、反応条件には特に注意を払い、強固なフロックを形成させることが必要である。また、脱水ケーキの出口にあるスクレーパーの開閉を調整することで、含水率の調節が可能である。

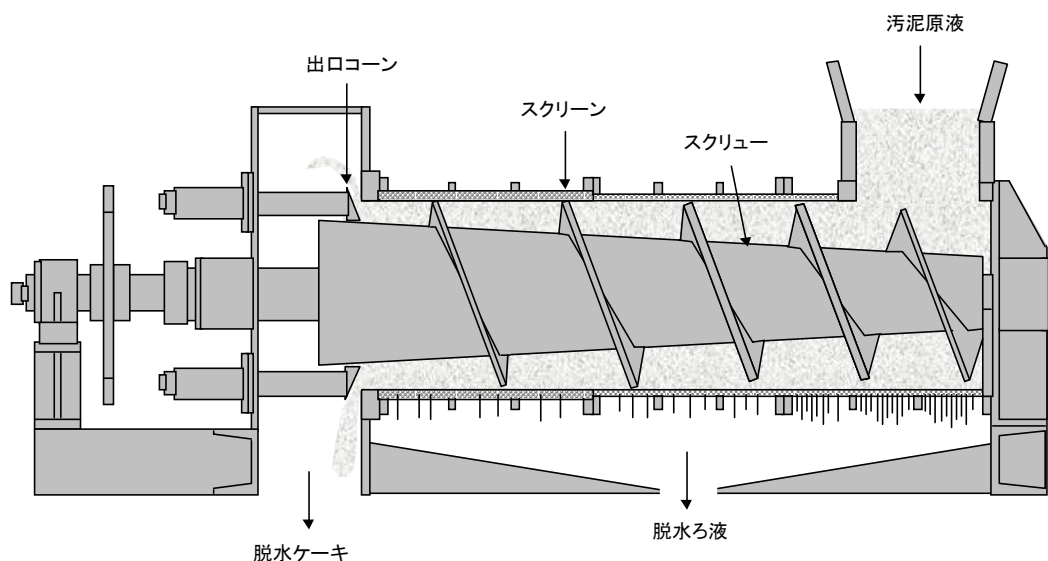


図 2-7-5 スクリュープレス脱水機

7. 2 乾燥

脱水汚泥は水分を未だ75～90%含んでおり、放置すると腐敗をお越し悪臭を発生する。したがって脱水ケーキを肥料に利用する場合は、施肥作業が容易な粒状に成型、乾燥して保管できるようにする。食品工場の汚泥を肥料に使う場合は肥料取締法の規定と共に、有機肥料等品質保全研究会推進基準（表2-7-4）を満足することが必要である。汚泥の乾燥に使われている炉の形式にはロータリードライヤー方式、縦型多段方式、流動層方式、噴霧乾燥方式などがある。食品工場ではロータリードライヤー方式が多く、大容量処理の場合には縦型多段方式が用いられる。

表 2-7-4 有機質肥料等品質保全研究会推奨基準

共通品質基準	1. ヒ素、カドミウム及び水銀は肥料取締法に基づく特殊肥料等の指定に掲げる規則に適合すること。 (ヒ素<50mg/l カドミウム<5mg/l 水銀<2mg/l)			
	2. 植物の生育に異常を認めないこと。なお幼植物(小松菜による)異常の有無を検定することが望ましい。			
3. 乾物あたりの銅及び亜鉛の含有率がそれぞれ、600mg/lおよび1,800mg/l以下であること。				
機種別品質基準	表示	基準項目	食品工業汚泥堆肥 基準値	食品工業汚泥肥料 基準値
	品質表示を要する基準項目	有機物 乾物当り	40%以上	50%以上
		炭素・窒素比 (C/N)	10以下	10以下
品質表示を要さない項目	窒素(N)全量 乾物当り	2.5%以上	2.5%以上	
	水分 乾物当り	2%以上	2%以上	
		アルカリ分 乾物当り	25%以下	25%以下
		pH 現物につき	50%以下	30%以下
			8.5以下	—

(1) ロータリードライヤー

ロータリードライヤーは図2-7-6に示されるように、回転ドラムとドラム内部の攪拌羽根(送出し兼用)、熱風発生装置、サイクロン、脱臭装置などから構成される。脱水汚泥はドラムの回転にしたがって掻き揚げられながら落下し、熱風との接触を繰り返しながら移送され、含水率10%以下の乾燥汚泥が排出口から排出される。熱風は約700℃から120℃に下がり、粉塵を除去し、脱臭後に大気中に排気される。汚泥と熱風方向との関係から並流と向流方式がある。

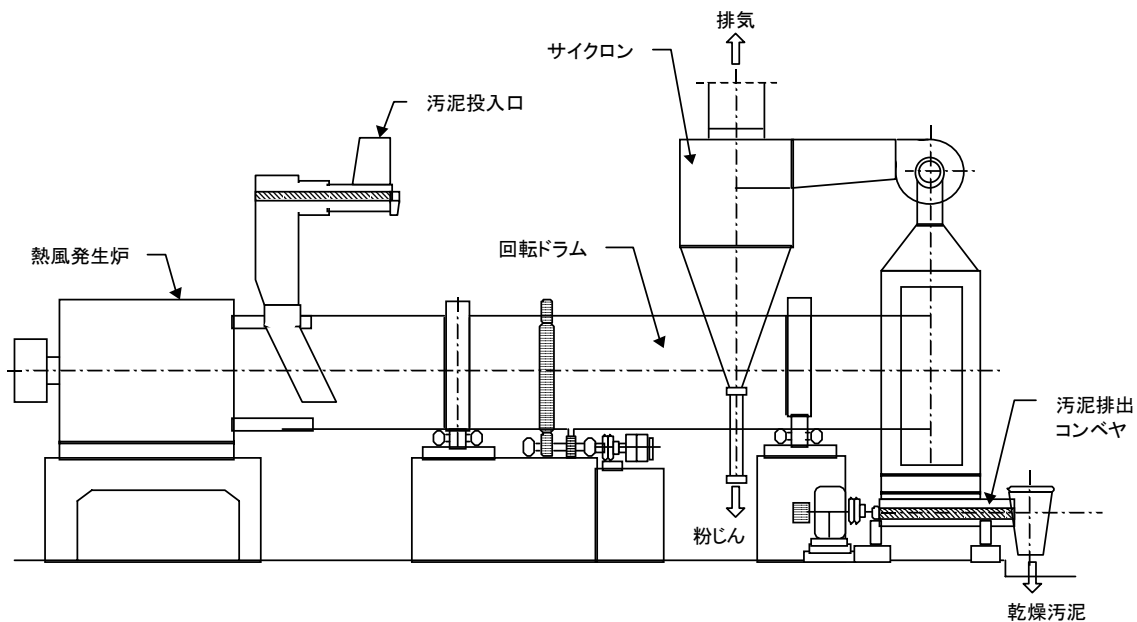


図2-7-6 ロータリードライヤー

(2) 縦型多段方式乾燥機

脱水ケーキは炉の上部から投入され、上方から下方へと送られる。外部の側面に取り付けられたバーナーから熱風が送られる中で、汚泥は回転軸に取り付けられたアームで各段の水平移動を行い、開口部から下の段へ移動しながら乾燥をされる。概略構造図を図2-7-7に示す。

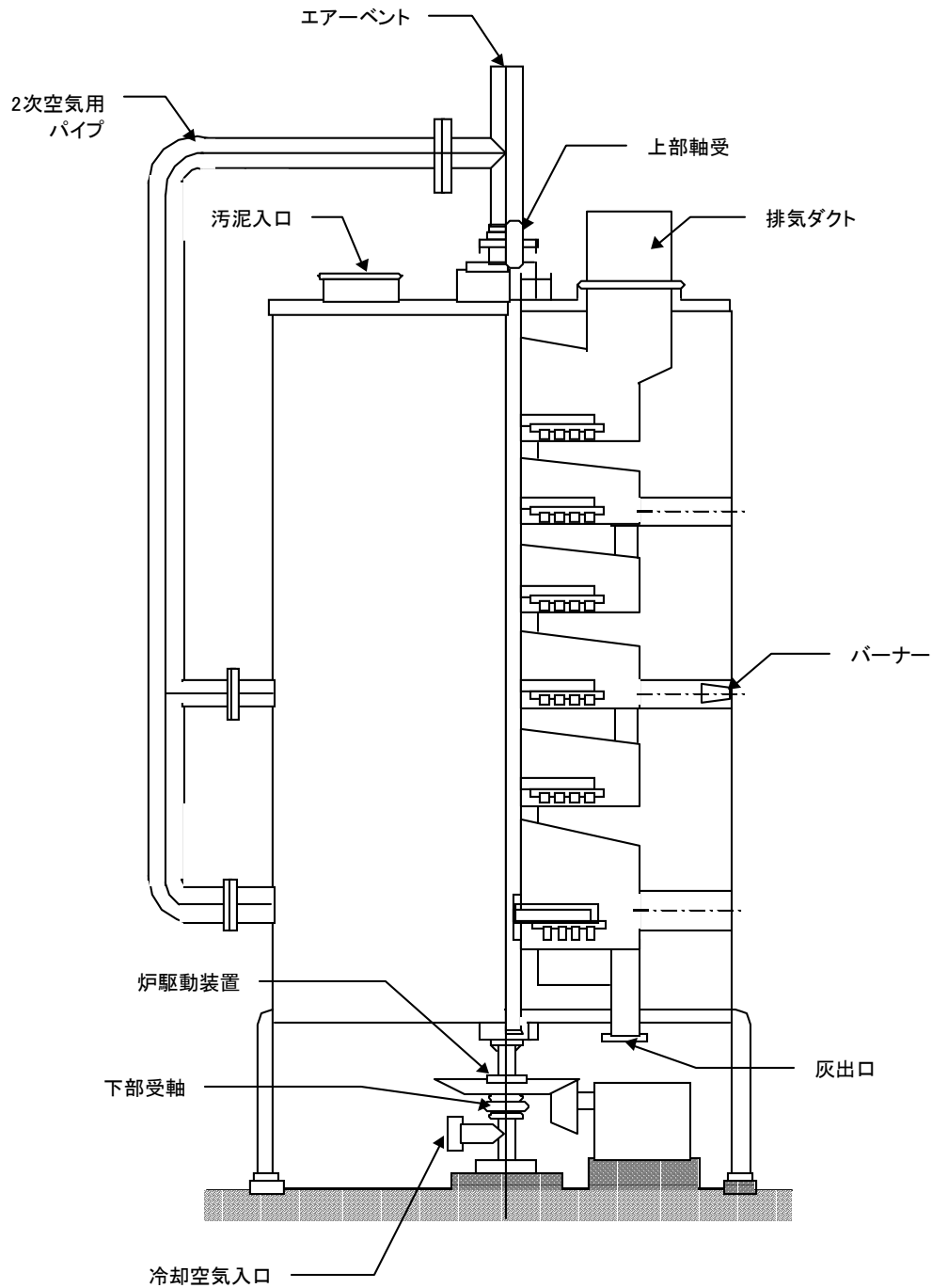


図 2-7-7 縦型多段方式乾燥機

7. 3 焼却

汚泥の焼却は衛生的かつ安定性のある廃棄物に減容化するために行われるもので、焼却装置の型式は乾燥機とほぼ同じである。燃焼温度は炉の形式によって異なるが、おおよそ700～1,000℃で燃やされ、内部は耐火材が貼られ高温に耐えるように設計されている。

7. 4 コンポスト化

汚泥の有効利用のひとつに、汚泥を堆肥化（コンポスト化）して肥料にする方法がある。コンポスト化を行う場合、販売流通経路の確保、保管性の問題、施肥作業性の評価を含めた総合的な判断が必要である。なお、汚泥に有害物質や重金属が含まれていれば肥料には使えない。

(1) コンポスト化

コンポストは、汚泥の好気性菌による好気性発酵の生成物であり、こうした細菌に最適な生活環境を与えることにより、コンポスト化を促進できる。それらの条件には、汚泥の含水率、温度、酸素、C/N比などがある。コンポスト化を行う場合の原料汚泥の最適な初期含水率は40～60%であるため、80～90%の水分を含む汚泥にコンポストの一部を戻して水分の調整を行う。また、C/N比のバランスをとることと、含水率の低減のために、食品工場の原料、仕損製品の固形廃棄物を混ぜることも有効である。水分調整された汚泥は醗酵室で機械的な鋤き返しを受けながら10～20日発酵を続ける。そのときの発酵温度は最高で70～80℃に達する。発酵熱により汚泥の水分は蒸発し、病原菌などが殺菌される。一次発酵を終えたコンポストは微好気状態でさらに1～3ヶ月間にわたり熟成を受け、腐植質化と水分の蒸発が行われて肥料となる。

(2) コンポスト化装置

コンポスト化に用いられる装置は平面配置型と縦配置型などあるが、縦配置型は場所を取らない利点がある。縦配置型の一例を図2-7-8に示す。

7. 5 減容化技術

生物処理に伴い発生する余剰汚泥のほとんどは脱水、あるいは脱水・焼却されて減容化された後、産業廃棄物処分場に埋め立て処分されている。しかし、埋立地の確保は年々困難になってきており、それに伴い、投棄費用も高騰している。そのため好熱菌や、オゾンを用いた汚泥減容化技術が実用化され、余剰汚泥の発生を伴わない生物処理プロセスの普及が始まっている。

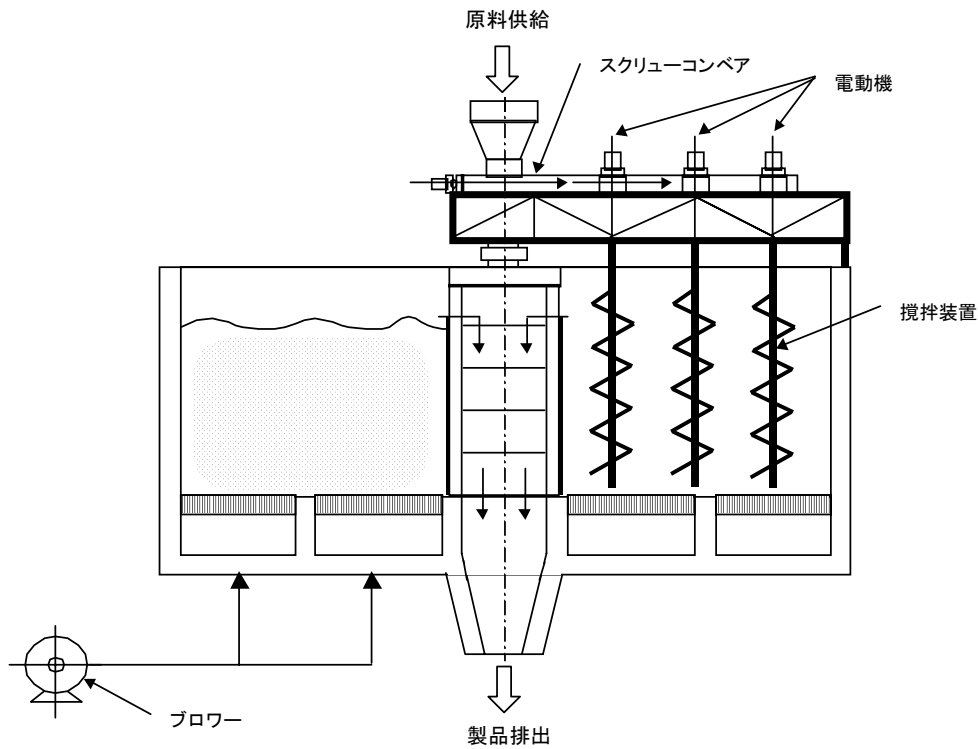


図 2-7-8 縦配置型コンポスター

(1) 好熱菌による減容化プロセス¹⁾

余剰汚泥の好熱菌による分解、減容化のプロセスを図2-7-9に示す。余剰汚泥は65℃に保たれた好熱菌槽に送られ、好熱菌の酵素で可溶化された後に再び曝気槽に返送される。溶解汚泥は曝気槽で活性汚泥の餌となって、炭酸ガスと水に無機化される。表2-7-5に余剰汚泥の循環比率と処理水質、また図2-7-10に余剰汚泥の発生量の関係を示す。これらの結果から明らかのように、余剰汚泥発生量の3倍の汚泥量を好熱菌槽に循環して好熱菌の作用を受けさせれば、余剰汚泥の発生がほぼゼロになることが判る。既設の活性汚泥設備に本減容化プロセスを導入する場合、曝気槽での負荷が増加するために酸素供給量の増加が必要になる。

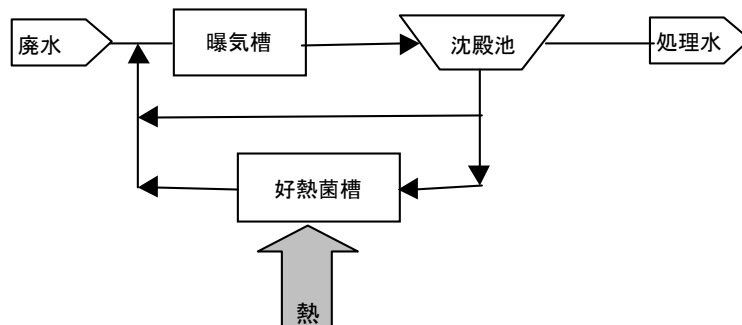


図 2-7-9 好熱菌による汚泥減容化プロセス

表 2-7-5 好熱菌槽の運転条件と処理水質

RUN	1	2	3	4	5
曝気槽負荷 (TOCkg/kgVSS/d)	0.15	0.17	0.19	0.21	0.15
MLVSS (mg/ℓ)	2,000	1,800	1,800	1,800	2,400
好熱菌槽 温度 (°C)	65				
汚泥循環比率 Q_s/Q_w	0	1	2	3	4
処理水 S-BOD (mg/ℓ)	<5	<5	<5	<5	<5
SS (mg/ℓ)	21	21	23	23	22

Qs: 好熱菌槽への返送量 Qw: 活性汚泥で発生する余剰汚泥量

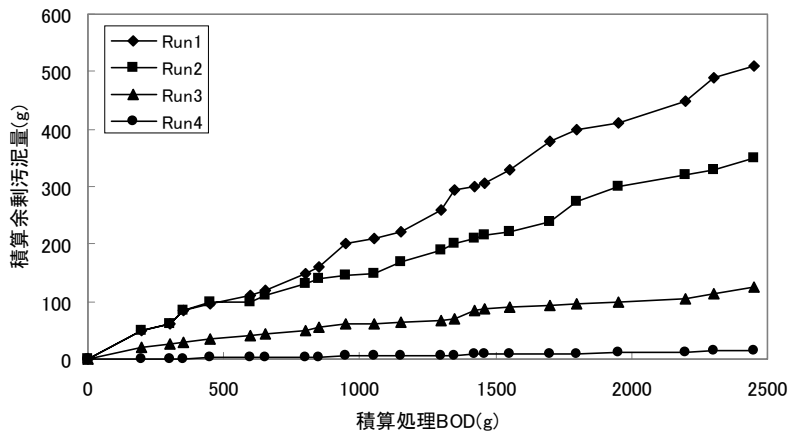


図 2-7-10 積算余剰汚泥発生量の比較

注)人為的に引抜いた汚泥量と処理水として系外に排出された SS 量の合計を発生汚泥量とした。

(2) オゾンによる減容化プロセス²⁾

余剰汚泥のオゾンによる分解、減容化のプロセスを図 2-7-11 に示す。余剰汚泥はオゾン処理槽に送られて可溶化され再び曝気槽に返送される。オゾンの反応の効率化を図るためにオゾン処理槽の pH は酸性に調整されており、溶解汚泥を曝気槽に返送するときには中和を行う。溶解汚泥は曝気槽で活性汚泥の餌となって、炭酸ガスと水に無機化される。本プロセスの場合も、余剰汚泥発生量の 3~4 倍の汚泥量をオゾン処理槽に循環してオゾンの作用を受けさせれば、余剰汚泥の発生がほぼゼロになる。既設の活性汚泥設備に本減容化プロセスを導入する場合、曝気槽での負荷が増加するために酸素供給量の増加が必要になる。

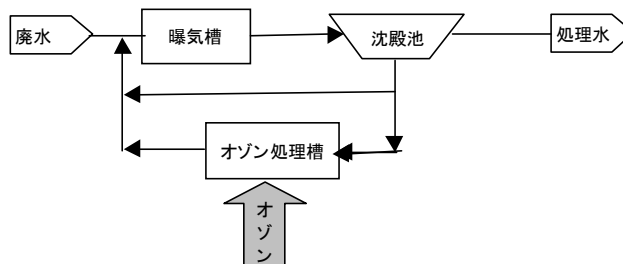


図 2-7-11 オゾンによる汚泥減容化プロセス

参考文献

- 1) 赤司昭、他：好熱菌による汚泥消滅プロセス、食品工場排水の最適処理ハンドブック、p.156
(サイエンスフォーラム,2002)
- 2) 西村総介：オゾンを用いた汚泥減容化プロセス、食品工場排水の最適処理ハンドブック、p.165
(サイエンスフォーラム, 2002)

第8章 運転管理と対策

8. 1 好気性生物処理

好気性生物処理には活性汚泥法などの懸濁式と、浮遊担体や、固定式接触材などを用いる膜生物処理法があり、運転管理方法はそれぞれの構成機器により異なる。ここでは好気性生物処理の共通管理項目について述べる。

(1) 適正負荷

活性汚泥処理装置の曝気槽におけるBOD・MLSS負荷（BOD kg / kg SS・d）と処理性能の関係は曝気槽水温により異なるが、食品工場廃水処理の場合には通常0.4（BOD kg / kg SS・d）以下で運転される。曝気槽のMLSSは一般的には3,000～5,000mg / lに保たれる。流入負荷の長期的な変動に対しては、BOD負荷が増加するときは、MLSS濃度を高くし、逆にBOD負荷が低下する時期は、MLSS濃度を低くしてBOD・MLSS負荷の調整を行うことができる。冬場水温が低下するときは、MLSS濃度を高めにして反応速度が遅くなった分を汚泥量の増加で補う必要がある。一方、水温の高いときには、少ないMLSSで処理ができる。BOD・MLSS負荷が低くなるにしたがって、汚泥の自己硝化が進み余剰汚泥の発生量は少なくなる。これらのことを踏まえて曝気槽のMLSSを適正に保つ汚泥の濃度管理が重要である。このためには運転データを整理・分析して、長期的には季節変動に合わせた汚泥濃度管理を、また、日単位の短期的な安定運転確保のためには、調整槽を最大限に利用する負荷管理マニュアルの作成が必要である。

(2) 汚泥の沈降分離

活性汚泥処理における汚泥の沈降分離に関する障害を表2-8-1にまとめて示した¹⁾。汚泥分離の障害の多くは、前項で述べた汚泥管理を適正に維持し負荷条件を改善すれば解消される。活性汚泥処理で特に厄介な問題はバルキングの発生である。バルキングの誘発因子の中で廃水の組成に由来するものとしては、①糖類などの低分子の炭水化合物を多く含むこと、②還元性硫黄を多く含むこと、③N、P、Feなどの栄養塩の不足などの他に、④毒物混入が考えられる。一方、運転条件に関係するものとしては、①低負荷運転（<0.2 kg BOD / kg SS・d）、②高負荷運転

($> 0.4 \text{ kg BOD/kg SS} \cdot \text{d}$)、③低DO ($< 0.2 \text{ mg/l}$)、④pH異常 (6.5~8から大幅に外れる)、⑤短いSRT (Sludge Retention Time) などが考えられる。バルキングが発生したときには、これらの要因を取り除くことで、汚泥の沈降性は改善されるが、応急処置としては、①消石灰、ベントナイトなどの重量化剤の投入、②バルキング制剤の投入が有効である。一般にバルキング汚泥は厚密性に問題があるものの、凝集性は高いため、凝集剤の添加はそれほど効果がない。むしろ凝集剤に含まれるアルミニウムの活性汚泥の呼吸活性に及ぼす影響や、リンと結合してリン不足を引き起こし、逆に悪化することが心配される。また、沈殿池における凝集剤の投入は一時的な効果はあるが、曝気槽に返送されて再び曝気されると、凝集性が低下し、凝集剤の添加量が次第に増大してくる。一方、恒常的にバルキングが発生する場合は、プロセスの見直しが必要となるが、有効な方法としては、①曝気槽内でBOD基質濃度に勾配をつけるプラグフロー式の採用、②回分運転方式の採用、③嫌気性処理を前処理として組み込む、または生物学的リン除去、脱窒の組み込み、④好熱菌やオゾン添加による汚泥減容化装置の組み込みなどが有効である。いずれの方法も、バルキングを起す菌が好気性であるために嫌気性の部分を組み込むなどで活性を抑制することを狙っているが、③④ではエネルギーの回収や汚泥削減対策と合わせて行うことができる。

表2-8-1 活性汚泥の沈降分離障害

固液体分離障害		外観	誘発原因	対処法
白濁	分散	汚泥界面不明瞭 フロック小さい 懸濁状態	高濃度有機物流入 MLSSの不足	負荷低減
	解体	上澄みの濁り 透視度低下	低負荷過曝気 大型生物の異常増殖 有害物流入	MLSS低減 曝気量抑制 有害物排除
スカム発生		褐色粘性物質	放線菌、真菌類の 異常繁殖	殺菌 SRT短縮
沈殿池で汚泥塊が浮上		汚泥の一部が浮上	硝化の進行 脱窒による気泡付着	曝気量低減 MLSS低減
バルキング	糸状性	SVIの上昇 汚泥界面は明瞭	低負荷 低DO	曝気量低減 MLSS低減 嫌気部分設定 廃水分注
	非糸状性	上澄み液は清澄 汚泥の粘性上昇 発泡	高負荷	MLSS増加 負荷調整

(3) 溶存酸素

曝気槽の溶存酸素が反応の律速になる濃度は、基質に対する活性汚泥の親和性で異なるが、食品工場廃水処理の場合は大体0.5 mg/lと考えられる。一方、過曝気は窒素の硝化反応を進め、沈殿池で還元窒素ガスによる汚泥の浮上現象を引き起こす。また、曝気槽における過曝気による汚泥の分散も処理水を悪化させる。しかしいずれも溶存酸素濃度が高いことが直接の原因ではなく、BOD・MLSS 負荷が低いことに起因している。したがって、曝気槽の溶存酸素は通常0.5～2 mg/lに保たれていれば十分であり、過去の運転データを基に、バルキングなどの他の諸現象と合わせて適正值を決めることが重要である。

(4) pH

曝気槽のpHは活性汚泥の酵素の活性に影響を及ぼす。活性汚泥の至適pHは通常6～8の間にあり、pHがこの範囲を上回ったり、下回ると活性度は低下する。食品工場廃水処理の場合、アルカリ洗浄剤で廃水のpHが高くなることがあるが、代謝から生じた炭酸ガスが炭酸塩および水酸化物と反応して重炭酸塩を生じることによってpHが下がる。一方、有機酸を含みpHが低い廃水は酸の分解と、分解で生じた炭酸ガスが曝気によって大気中に放散されるためにpHは上昇する。有機酸塩を酸化すれば塩基性の無水物ができ、これが炭酸ガスと反応して緩衝作用のある重炭酸塩を形成してpHを8付近で安定させる²⁾。したがって食品工場廃水処理の場合、一般的にはpH調整を行わなくても曝気槽のpHは6.5～8に保たれ性能に大きな影響をおよぼすことはない。

(5) 温度

温度は生化学反応の反応速度に影響をおよぼす。温度と反応速度の関係はいろいろな実験結果から、推定することができるが、温度が10℃上昇するとほぼ2倍になることが経験上知られている〔第2部第5章5.1.1(2)参照〕。実際に季節変動に伴う曝気槽の水温を調整することは、大きな経済的負担を強いられるため、MLSS濃度の調節でBOD・MLSS負荷の調節を行って処理性能を確保するのが一般的である。例えば、冬場の温度低下に対しては、MLSS濃度を反応速度が低下した分だけ増加させ、夏場の温度上昇時には、内生呼吸が進み酸素不足を起すのでMLSS濃度を下げる。これらの運転条件の変更で対処できないときは、加温あるいは冷却を行う必要がある。活性汚泥の温度に対する活性範囲は基質、酸素濃度、pHなどの反応に関係する因子により異なるが、経験的には寒冷地では5℃前後でも安定処理が行われており、高温側では40℃前後でも問題なく処理が行われている。

(6) 栄養塩

活性汚泥の栄養塩は菌体の組成分析から通常 BOD:N:P = 100:5:1 が必要とされている。食品工場廃水の場合は通常窒素は足りるがリンが不足することが多い。

8. 2 嫌気性生物処理

(1) メタン発酵

嫌気性生物処理には懸濁式、UASB 式および固定床式があって、菌体の保持の仕方に大きな違いがある。これらの方式の管理項目と、問題に対する対策を表 2-8-2 に示す。嫌気性処理は負荷変動に対して安定しているが、設計条件から外れて運転をして、一度性能に影響が出ると修復に時間がかかる。したがって、好気性処理と同様に、過去の運転データから、季節変動などに対する長期的な対策と、日常の変化に対応できる運転マニュアルを整備して、運転管理に当たることが望ましい。

表 2-8-2 嫌気性処理の主な管理項目と問題と対策

管理項目	管理値	対策
消化槽温度	30~39°C	・運転休止時は省エネのために温度低下
pH	6.5~7.5	・アルカリによる中和 ・中和効果少ない時は負荷低減
有機酸 ⁶⁾	VFA200~300mg/l以上で徐々に低下	・負荷低減
ORP ⁷⁾	-100~-400mv	・嫌気状態確保
ガス発生量	0.35Nm ³ /kg除去TOC ・見掛ガス発生量はpHが高いと減少 ・メタン濃度はpHが高いと増大	・負荷調整 ・温度、pH適正化
有害物混入	条件により変わるため参考値4) Mg ⁺⁺ 1,900mg/l Ca ⁺⁺ 4,800mg/l K ⁺ 4,800mg/l Na ⁺ 7,400mg/l NH ₄ -N 5,000~7,000mg/lで実績あり SO ₄ ^{- -} COD/SO ₄ > 7.5~20	・pH高める ・塩化鉄による硫化物の沈殿 ・中和剤変更NaOH→Mg(OH) ₂
汚泥流出 (UASB)	グラニューウルの流出	・プラグ流によるアルカリの有効利用による、pH中性化 ・循環流量の低減
汚泥閉塞 ⁵⁾ (固定床)	空隙率 60~85%	・窒素ガスによるパージ(年1~2回)

(2) 窒素除去³⁾

生物脱窒は硝化と脱窒から成り立つが、硝化反応は脱窒反応に比べて遅く、温度、pH、溶存酸素などの影響を受けやすいため、管理の中心は硝化槽になる。例えば、硝化反応における窒素の

酸化は溶存酸素濃度が0.5 mg/ℓ以下になると酸素律速となるため、溶存酸素濃度は2～3 mg/ℓ以上に保たれることが望ましい。硝化槽のpHは、アルカリ度が不足すると生成された硝酸によって低下する。生物脱窒プロセスでは有機性窒素がアンモニアに分解される過程でアルカリ度が3.57 mg/ℓ生産される。硝化反応ではアルカリ度がアンモニア性窒素1 mg/ℓ当り7.14 mg/ℓ消費される。また脱窒工程では硝酸性窒素1 mg/ℓ当りアルカリ度が3.57 mg/ℓ生成されることが知られている。廃水中のアルカリ度が相当分含まれている場合は硝化槽のpHはほとんど低下しない。不足するとpHは低下するが、pH6程度までは硝化反応速度が大幅に低下することはない。もしpHがこれを下回る場合は、苛性ソーダなどのアルカリ剤でpHを調整する必要がある。また、硝化菌は活性汚泥微生物に比べ、温度の影響を受けやすく、処理温度が10℃を下回ると極端に硝化反応速度が低下する。対策としては、硝化菌の高濃度の維持を図るのが経済的な解決方法であるが、対処できない場合は硝化槽の加温が必要になる。

参考文献

- 1) 長谷川進: バルキングの診断および対策の実際、食品工場排水の最適処理ハンドブック、p.357 (サイエンスフォーラム、2002)
- 2) エッケンフェルダール (岩井重久訳): 廃水の生物学的処理、p.68、(コロナ社、1965)
- 3) 橋本奨、他: 新しい活性汚泥法、p.71、産業用水調査会 (1986)
- 4) 高村義郎、他: 嫌気処理設備、食品工場排水の最適処理ハンドブック、p.110 (サイエンスフォーラム 2002)
- 5) Hogetsu A et al: Biomass control in a fixed bed Anaerobic reactor, J. Fermentation and Bioengineering, Vol. 67, No.3, 200 (1989)
- 6) 宝月章彦、他: 嫌気性処理における発酵温度と処理性能に関する研究、環境技術、Vol.30、No.1 (1989)
- 7) 宝月章彦: 好気性処理との比較における嫌気性処理の特長と適用、環境技術、Vol.19、No.12 (1990)

第3部 食品工場における廃水処理の実施例

第3部 食品工場における廃水処理の実施例

第1章 食品原料と製造工程廃水

1.1 製品と廃水の特長

食品製造工場から排出される廃水の性状と排水量は製品の種類と製造方法の違いによって、それぞれ異なっている。また、惣菜工場や飲料工場のように作られる製品が季節により変わったり、製造量変動するために廃水の性状、排水量が大きく変わる場合もある。北海道で行われている澱粉製造工場や、多くの日本酒醸造工場のように年間の限られた期間だけにしか廃水を出さない工場もある。しかし、食品製造工場の廃水を処理する場合には、そのほとんどで生物処理を行っている。主な産業廃水の性状と処理方法を表3-1-1に示す。食品製造工場廃水の特徴はBOD、SS、油分が高く、腐敗しやすく、酸発酵を起して悪臭を発生させやすい。廃水処理を行う場合、好気性生物処理や嫌気性生物処理に障害を及ぼす油分や固形物の前処理を適切に行うことが重要である。

表3-1-1 ビール廃水処理に於ける嫌気性処理装置の性能

項目	仕様
槽内温度	35.5℃
槽内pH	7.2
汚泥負荷	0.31kg BOD/kgVSS/d
流入水BOD	1,420mg/ℓ
処理水BOD	104mg/ℓ
流入水SS	117mg/ℓ
処理水SS	135mg/ℓ
BOD 除去率	93%

1.2 処理方式の選択

廃水処理設備の建設に当たっては、食品製造工場廃水のみならず、いずれの廃水についても、廃水の特長、設置場所の条件、経済性などを考慮に入れて処理方式の選定を行うことが重要である。食品工場廃水の基本的な処理フローは調整槽＋曝気槽＋沈殿槽であり、1990年代初めまでは活性汚泥処理やラグーンが主流であった。近年は処理性能の向上、運転費の低減、環境への適合を図るために新しい処理方式が広まっている。その代表的なプロセスが嫌気性処理法であり、嫌気性菌の保持量を飛躍的に高める技術の開発により経済的に安定的な処理ができるようになった。そのため、下水道整備地域では嫌気性処理の処理水を直接下水道に放流することも可能となった。さらに、食品工場廃水は有機物を多く含むため、嫌気性処理が活性汚泥処理の前処理として用いられ、嫌気性処理と好気性処理のハイブリッド化により、メタンガスの生産による、大幅な省エネルギー化が図られるようになった。

活性汚泥処理の欠点の1つにバルキングの発生がある。これらに対しても、浮遊担体を用いた生物膜活性汚泥法や、沈殿池の代わりにUF膜分離を用いる装置の開発によりバルキング問題を避けることもできるようになった。最近では放流規制値が厳しくなっており、特に窒素除去の要求が高くなってきている。脱窒方法も循環式硝化脱窒二段法などのプロセスの開発や、浮遊担体で菌体の保持量を高めることのできるハードの開発によって処理性能が大幅に改善されている。高度処理においては、BOD、COD、SSの除去に凝集沈殿装置、高速砂ろ過装置、加圧浮上装置などが使われている。色度除去に対しては凝集沈殿、オゾン単独あるいはオゾンと紫外線照射（UV）を併用する方法や活性炭吸着装置が用いられる。

投棄費用が高騰している余剰活性汚泥の処理についても、余剰汚泥の発生をほとんど伴わない生物処理プロセスも実用化されており、廃水性状と放流水の規制値との関係によるが、余剰汚泥の発生を十分にゼロにすることも可能になってきた。図3-1-1に、廃水の特性、立地条件、処理目的と処理フローの概念的関係を示す。

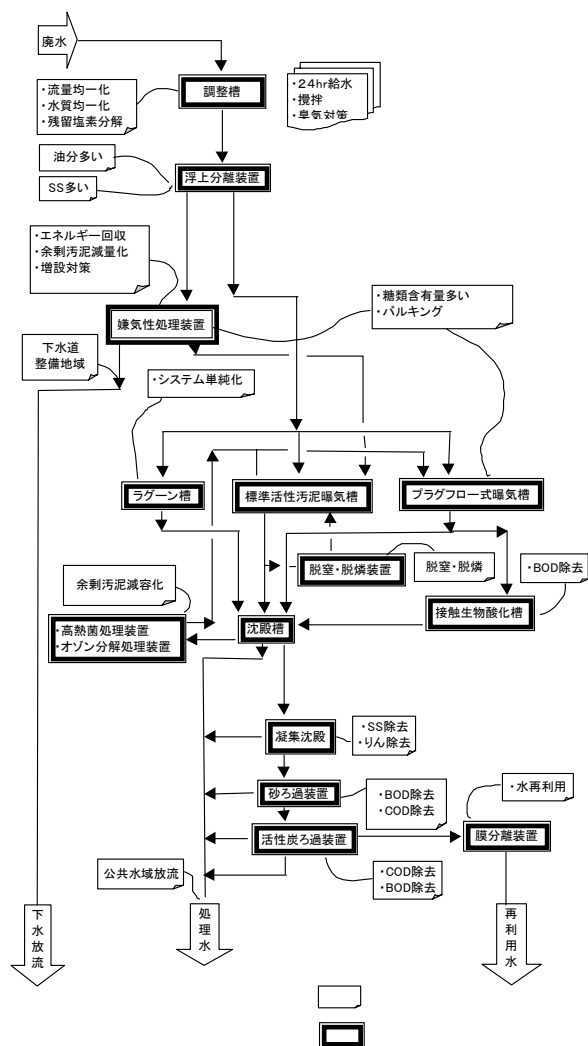


図3-1-1 食品工場廃水の処理要求と処理方式

第2章 飲料製品

2. 1 廃水の水量と水質

清涼飲料（炭酸飲料）工場では、使用する水の性状が製品におよぼす影響が大きいため、薬剤凝集沈殿、砂ろ過、活性炭ろ過、脱気などの水処理をした飲料水よりも良質の用水を原料水として用いる。清涼飲料は図3-2-1に示されるように、この水に炭酸ガスと砂糖、シロップなどの甘味料、フレーバーを溶解して作る。廃水はその大半が缶、ガラスびんの洗浄排水と装置、容器、床などの洗浄排水である。廃水量は製品、工場によって差はあるが一般的には製品の10倍量の水を必要とする。したがって廃水量は製品量の10倍くらいとなる。一般的な廃水量は1、000標準ケース当りおおよそ50m³くらいが目安である¹⁾。炭酸飲料の一般成分を表3-2-1²⁾に示す。製造工程廃水性状の例を表3-2-2²⁾に示す。この表からも明らかなように、洗浄工程でアルカリ洗浄剤を使用するためにpHはアルカリ側である。また、BOD、SS濃度も高くそのまま公共用水域に放流することは環境汚染を引き起こすことになる。

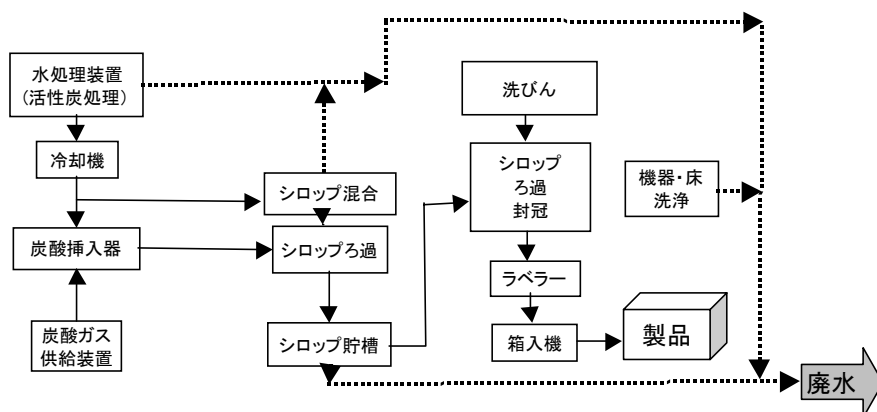


図3-2-1 炭酸飲料製造工程と廃水の排出

表3-2-1 炭酸飲料の性状

炭酸飲料	BOD (mg/l)	Total Solid (mg/l)	Total Acidity (mg/l)	pH
コココーラ	67,400	114,900	1,526	2.4
ペプシコーラ	79,500	122,000	1,466	2.5
カナダドライ	64,500	101,300	3,150	2.4

表3-2-2 炭酸飲料廃水の性状

工場	pH	全アルカリ度 (mg/l)	BOD (mg/l)	SS (mg/l)
A	10.6~11.4	390	380	170
B	10.0~11.2	250	660	160
C	10.4~11.2	220	250	340
平均		290	430	220

2. 2 処理実施例³⁾

(1) 設計条件

主要製品	コーラ飲料		
容器	ガラスびん、PET ボトル、缶		
排水量	4, 000 m ³ /日	最大時間流量	300 m ³ /h
廃水水質	BOD	400 mg/ℓ	(日平均)
	pH	5.8~11.0	
	SS	50~70 mg/ℓ	
処理水水質	BOD	30 mg/ℓ	(日平均)
	pH	7.0~8.0	
	SS	20~30 mg/ℓ	

(2) 処理方法

この工場は排水基準が緩やかな場所にあり、また、廃水処理場を十分に確保できる場所であったため、余剰汚泥の発生量が極めて少なく、運転管理が容易なラグーン方式を採用した。図3-2-2にその設備の概要を示す。原水は沈砂池兼油分離槽で大きな固形物が除去された後、ラグーン槽に入り、活性汚泥により酸化分解される。ラグーン槽の総容量は20,000 m³、滞留時間が5日、BOD・MLSS 負荷は通常の活性汚泥処理の1/5~1/10と低いため、汚泥の自己酸化が進み、余剰汚泥の発生量は極めて少ない。ラグーン槽は4槽に仕切られており、各槽のエアレーターは間欠運転され、酸素の供給と攪拌が行われる。ラグーン最終槽は汚泥の沈降分離のための沈殿池を兼ねており、1日に4~7時間の曝気を行い、上澄水はエアレーター休止中に、12時間かけてゲートから放流される。一方、ラグーン最終槽の沈殿濃縮汚泥の一部はラグーン第1槽にポンプで返送される。炭酸飲料廃水は活性汚泥の栄養素の窒素とリンが不足するため、原水に尿素とリン安を添加している。

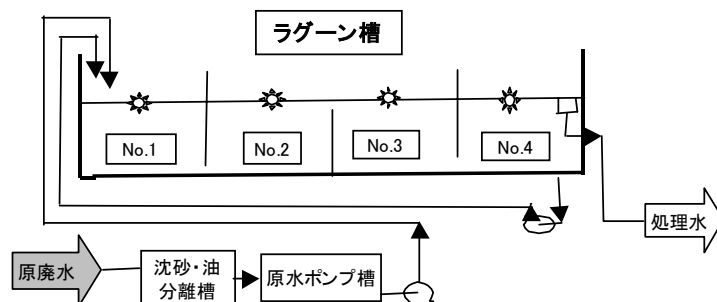


図3-2-2 炭酸飲料廃水処理装置概念図

(3) 処理結果

本設備は札幌に建設されており、冬季には外気温が -15°C 近くまで下るが、原水水温が高いためラグーン槽の水温は 8°C 以上に保たれており、良好な処理が年間を通じて得られている。原水水質の代表な例を表3-2-3に示す。また、処理水の1年間の平均値、最大値、最小値を表3-2-4に示す。本設備は1974年から廃水処理を開始したが、これまでに余剰汚泥の引き抜きは一度も行っていない。

表3-2-3 原廃水性状 (月平均値)

ライン	pH	COD	BOD	SS
1, 2	10.1	320	162	3.8
3, 4	10.0	175	151	16.6

表3-2-4 炭酸飲料廃水処理水の水質

項目	気温 $^{\circ}\text{C}$	水温 $^{\circ}\text{C}$	pH	COD (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	溶存酸素 (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)	透視度 (cm)	大腸菌数 (個/ $1\text{m}\ell$)
年平均	10.7	16.7	7.3	9.0	2.6	4.5	4.3	40	105
最大値	33	25.4	7.6	11.3	5.4	9.2	11.3	50	279
最小値	-15	8.5	7.1	7.8	1.6	1.7	2.4	20	2

2. 3 運転管理における留意点

運転管理が容易なラグーン方式であるがバルキングが発生する。BODと窒素、燐のバランスの管理を行いバルキングの発生を抑制することが大切である。また、BOD-MLSS負荷の極めて低い状態で運転されるため、原水中の窒素は酸化されて、硝酸塩となる。この硝酸塩はラグーン最終槽において無酸素状態に置かれると、容易に還元されて窒素ガスを発生させる。この窒素の微細気泡が汚泥に付着して汚泥の沈降不良を起すことがある。その結果、汚泥の流出が起り、ラグーン槽内のMLSSが減少し、処理水の水質を悪化させ、処理能力の低下を招く危険性がある。

参考文献

- 1) 井出哲夫：工場廃水とその処理、p.423 (技報堂、1978)
- 2) 外池良三：用水廃水便覧、p.781 (丸善、1992)
- 3) 藍原英樹：飲料工場における排水処理の現状、食品工場排水の最適処理ハンドブック、p.278、(サイエンスフォーラム、2002)

第3章 醸造製品

3. 1 ビール

3. 1. 1 廃水の水量と水質

ビールの製造は麦芽と副原料の米、コンスターチなどを仕込槽に入れて糖化させ、ろ液の麦汁にホップを加えて煮沸釜で熱処理を行い、次いで、7～10℃に冷却し、酵母を加えて7～10日間発酵させて作られる。ビール工場の廃水は製造方法、麦芽製造工程の有無などにより性状と廃水量が異なる。最近では麦芽製造工場で集中生産した乾燥麦芽を用いてビール発酵を行なうことが多いが、図3-3-1には全製造工程と排水系統の関係を示す。高濃度のBOD、SSを含んだ廃液は、仕込槽の後のろ過槽で分離したろ過残渣をスクリーンプレスで脱水する工程から多く排出される。絞りは栄養素に富んでいるため家畜の餌として利用される。

ホップ分離槽からも同様に高濃度のBOD、SSを含んだ分離液が排出される。主発酵槽では発酵が終わった酵母は分離され、洗浄されて再利用される。一部は乾燥して食品、医薬品などに再利用される。この工程からは主に洗浄水が廃液として排出される。後発酵槽では1～2ヶ月掛けて熟成が行われ、定期的に酵母の沈殿物を取り出して水洗をするために洗浄廃水が出る。

最後のろ過工程では熟成されたビールに含まれる残存酵母、不溶性のタンパク質、タンニンなどを除去する。このろ過には珪素土を使うことが多く、ろ過装置の洗浄水中に珪藻土多く流れ出し、廃水処理設備の流入部で沈降分離されて廃棄物として処分される。生ビールを製造する場合には熱殺菌が行なわれない。したがって、このろ過装置の洗浄は製品の微生物対策上重要であり、洗浄が強化されて行われるために多量の廃水が出る。最後に容器充填工程であり、回収びん、樽はアルカリ洗剤と酸洗剤を使って洗浄される。この時に内部に残っているビールと、びんに貼られていたラベルが排水中に排出される。ビールの生産量と排水量の関係については、概略の目安として、製品量の15～20倍量の排水があると言われている¹⁾。

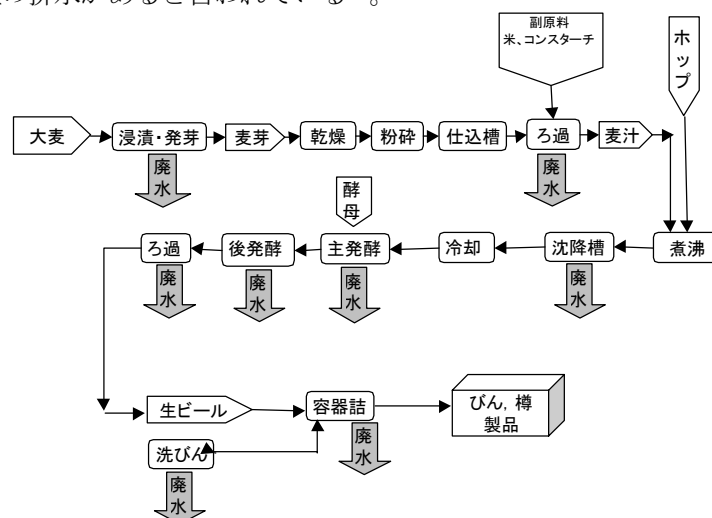


図3-3-1 ビール製造工程と廃水排出

3. 1. 2 処理実施例

(1) 設計条件

廃水量 7, 000 m³/日 (醸造廃水=5, 400 m³/日、びん詰=1, 600 m³/日)

廃水水質 BOD 1, 500 mg/ℓ (醸造廃水=1, 700 mg/ℓ、びん詰=300 mg/ℓ)

SS 65 mg/ℓ (醸造廃水=800 mg/ℓ、びん詰=150~300 mg/ℓ)

処理水水質 BOD < 20 mg/ℓ (嫌気性処理水<200 mg/ℓ、活性汚泥処理水<20 mg/ℓ)

SS < 20 mg/ℓ (嫌気性処理水<200 mg/ℓ、活性汚泥処理水<20 mg/ℓ)

(2) 処理方式

このビール工場は、活性汚泥処理装置で廃水処理を行っていたが、ビール増産に際し、廃水処理設備の見直しを行い、処理能力の増大と処理コストの低減を図るために嫌気性処理装置の追加を行った。処理フローを図3-3-2に示す。醸造廃水と、びん詰、缶詰より発生する混合廃水7, 000 m³/日はスクリーン槽で夾雑固形物を除去後、原水調整槽から、新設の嫌気性処理装置に6, 400 m³/日、既設の活性汚泥に600 m³/日に振り分けられて送られる。嫌気性処理される廃水は加圧浮上装置でSSを取り除き、苛性ソーダまたは塩酸でpH調整後に嫌気性処理槽に入る。槽内の温度は蒸気加温により36℃に保たれる。嫌気性処理槽で発生するメタンガスは脱硫され、ガスホルダーに蓄えられ、ボイラーの燃料に使われる。加圧浮上装置で分離されたスカムは既設活性汚泥装置の曝気槽で減容化される。一方、残りの600 m³/日の廃水は曝気槽に入り、沈殿池で汚泥を分離後、嫌気性処理水と混合されて下水道に放流される。嫌気性処理で発生する余剰汚泥(グラニュール汚泥)は、嫌気性処理槽からグラニュールが流出した時の補給用として貯槽に蓄えられる。活性汚泥の余剰汚泥はシクナーで濃縮され脱水されて場外に産業廃棄物として排出される。

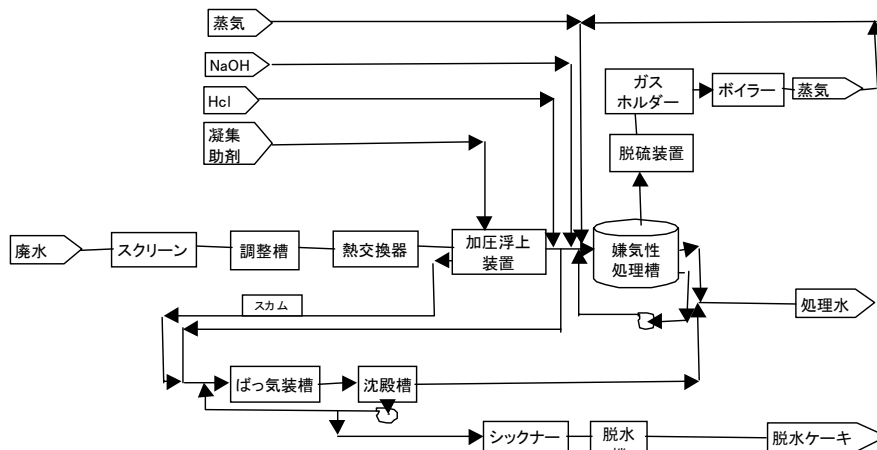


図3-3-2 ビール工場廃水処理フロー

(3) 処理結果¹⁾

本設備の主体が嫌気性処理になっているため、ここでは活性汚泥の性能については省略する。嫌気性処理装置の仕様を表3-3-1に示す。表中の汚泥負荷は嫌気性槽内汚泥(グラニュール汚泥)に対する BOD 負荷量を表し運転管理の重要な指標である。図3-3-3に BOD 汚泥負荷と温度と BOD 除去率の関係を示すが、嫌気性槽内の温度が下がると BOD の除去率が5%程度低下している。この図から、ビール廃水処理の場合、嫌気性処理槽の温度が28℃以上に保たれれば、BOD・MLSS 負荷0.6 kg/kgVSS・d くらいまでは安定した性能が得られるものと考えられる。本設備の通常の汚泥負荷は0.3 kg BOD/kg VSS・d 前後であり、常時安定的に BOD 除去率90%以上が得られている。図3-3-4に約3ヶ月間の負荷変動と処理性能を示す。大きな負荷変動があるにもかかわらず、安定した処理が行われていることを示している。

表3-3-1 ビール廃水処理に於ける嫌気性処理装置の性能

項目	仕様
槽内温度	35.5℃
槽内pH	7.2
汚泥負荷	0.31kg BOD/kgVSS/d
流入水BOD	1,420mg/l
処理水BOD	104mg/l
流入水SS	117mg/l
処理水SS	135mg/l
BOD 除去率	93%

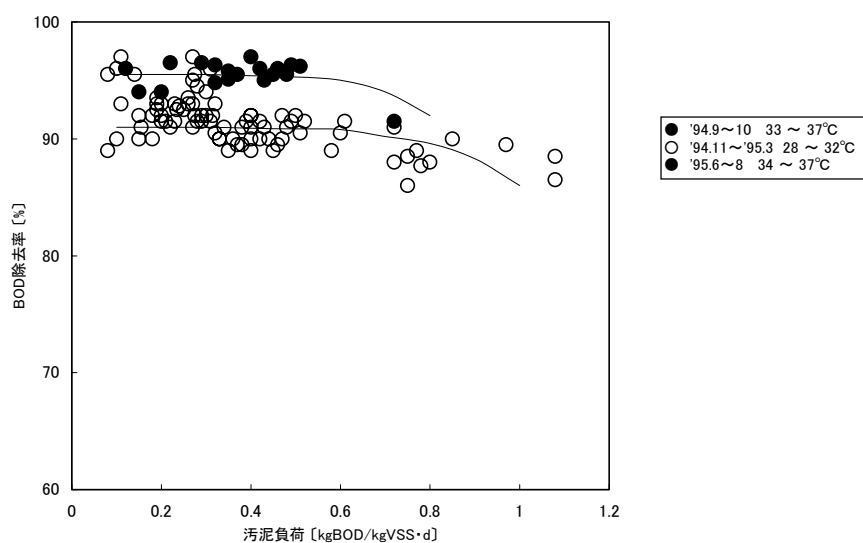


図3-3-3 BOD-MLSS 負荷と BOD 除去率の関係

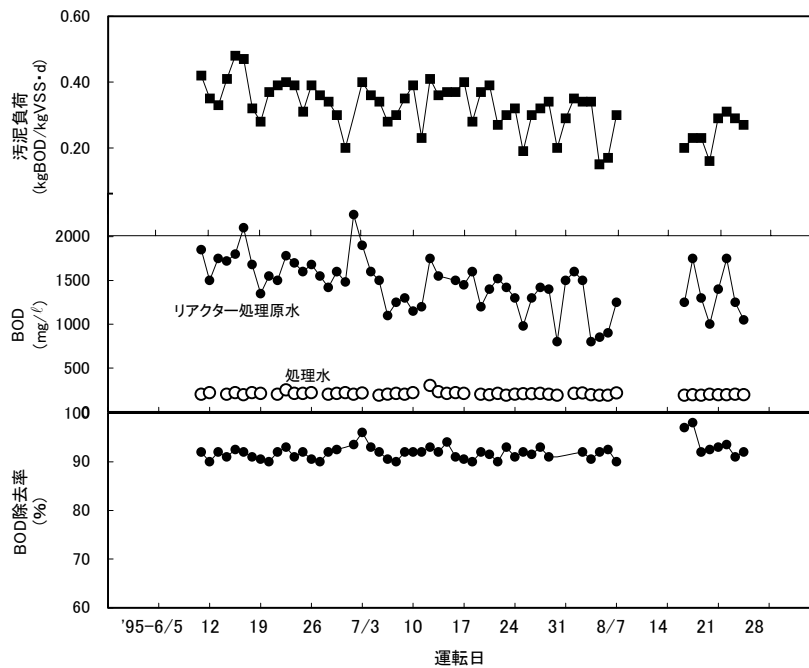


図3-3-4 ビール工場廃水処理における BOD-MLSS 負荷と BOD 除去

3. 1. 3 運転管理における留意点

産業廃水処理に用いられる嫌気性処理には、微生物をグラニュール状に粒状化させる UASB 法 (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket) と、微生物を充填材表面に付着させる固定床法がある。UASB 法は固定床法に比べて、単位容積当たりの嫌気性菌の保有量が多く、高負荷運転ができるが、汚泥が流出する危険性がある。汚泥の流出の大きな原因は原水中の SS がグラニュール汚泥に付着し、発生ガスの離脱不良が起こるためである。原水流入 SS と嫌気性槽からの流出するグラニュール汚泥の関係を図3-3-5に示す。許容される流入 SS 量は、グラニュールの増殖量を超えない範囲であることが必要で、本処理装置の場合は約 400 mg/l であった。

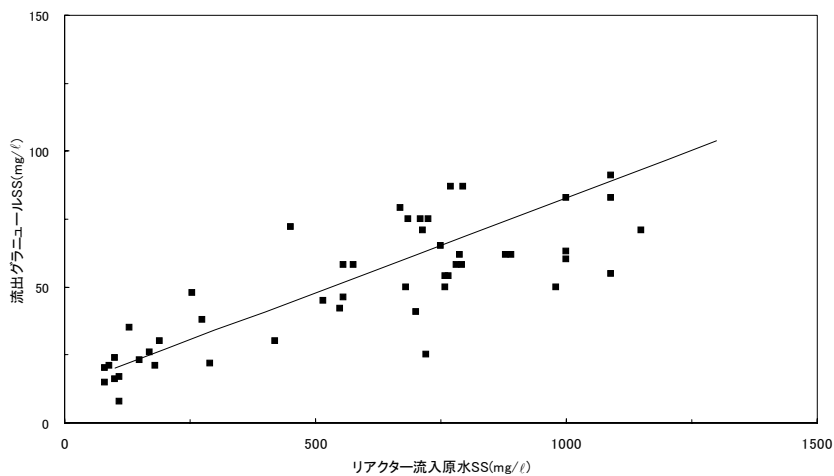


図3-3-5 流入廃水の SS と流出グラニュール SS の関係

3. 2 日本酒

3. 2. 1 廃水の水量と水質

清酒製造工程と廃水の排出される工程の関係を図3-3-6に示す。精米された白米は洗米機で糠を洗い落とす。この時に澱粉質が流れ出る。清酒製造工程の廃水の汚染源はほとんどがこの洗米工程から排出される。したがって米をいかに少ない水で洗うかによって、廃水処理設備への負荷が大きく変わってくる。最近では精米後の米をロータリーシフターや研米機で、糠をあらかじめ除去して、洗米廃水の量と濃度を下げる努力が行われている。また、洗米排水を循環使用することによって、排水量の削減が可能であり、廃水の濃度は高くなるが、沈殿槽の水量負荷が小さくなり、運転管理が容易になる。そのほかの排水は洗びん工程からのものと、機器の洗浄排水がある。しかし最近では、回収びんは洗びん業者が行っていることが多く、清酒工場から排出される洗びん廃水のBODは数mg/lと低いために、pH調整だけで放流されることが多い。清酒の生産量と排水量の関係の大雑把な目安としては、製品量の20～30倍量の廃水が出ると言われている²⁾。

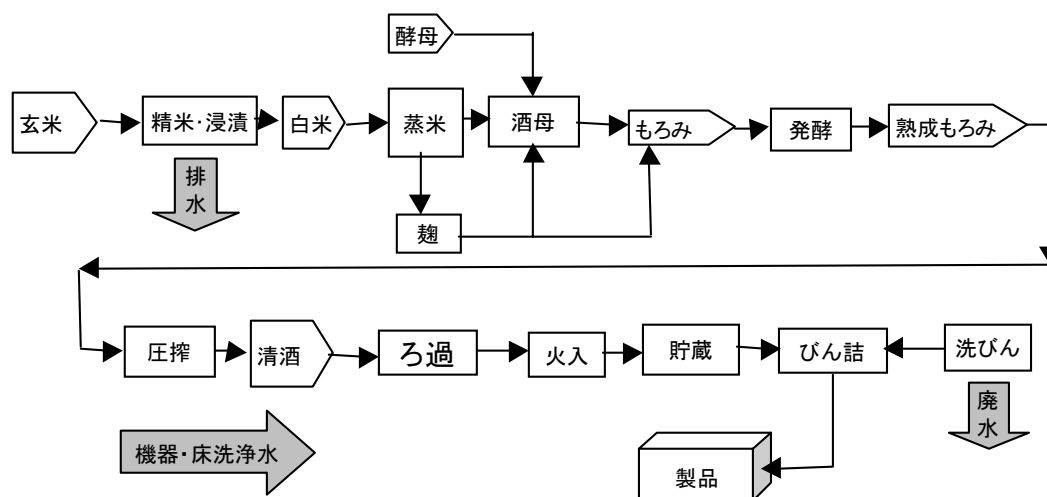


図3-3-6 清酒製造工程と廃水排出

3. 2. 2 処理実施例

(1) 設計条件

排水量	250 m ³ /日	(洗米廃水: 雑廃水 = 120 m ³ /日 : 130 m ³ /日)
廃水水質	BOD 750 mg/l	(洗米廃水 4,000 mg/l)
	SS 120 mg/l	(洗米廃水 5,000 mg/l)
処理水水質	BOD < 20 mg/l	
	SS < 30 mg/l	

(2) 処理方式

本設備は良好な自然環境の中に設置されており、高度処理が行われている。図3-3-7に設備の概略フローを示す。洗米廃水は凝集沈殿槽で固形分を分離し、上澄水は雑廃水と一緒に曝気槽に送られる。活性汚泥処理の処理水は凝集沈殿によりSSを除去した後、砂ろ過を経て活性炭で処理され、塩素滅菌されて河川に放流される。洗米廃水中の窒素とリンが少ないので、尿素と磷酸アンモニウムを栄養塩として添加している。洗米廃水の沈殿固形物は家畜に無害な凝集剤を用いて濃縮、脱水して飼料にしている。

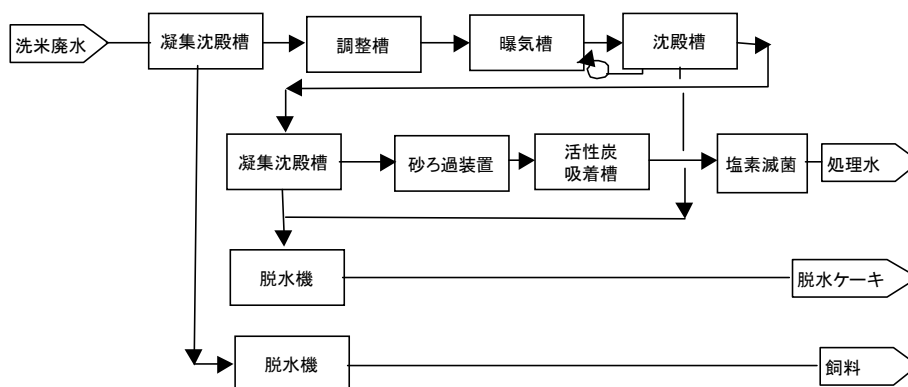


図 3-3-7 洗米工程廃水の処理フロー

(3) 処理結果

洗米廃水は凝集沈殿により BOD, COD を大幅に除去することができる。表3-3-2に供試洗米廃水の性状を、表3-3-3に凝集処理試験の結果を示す。排水直後の洗米廃水を凝集沈殿した時の、BOD 除去率は約85%、COD が約80%と高い値を示す。しかし、洗米廃水の腐敗の進行は早く、腐敗と共に BOD, COD の除去率は低下する。48時間室温で放置した洗米廃水を同じように凝集沈殿すると、BOD 除去率が35%、COD が56%に低下する。これは洗米廃水中の固形物が可溶化して、溶解性の BOD, COD 成分に変化し、かつ凝集しにくくなるためである。洗米廃水の凝集試験の結果の一例を図3-3-8に示す³⁾。この結果より、凝集剤として、PAC250A を加え、凝集助剤としてコーナンフロック3000S（非イオン性高分子凝集剤）を加えた場合の凝集SSの沈降性が極めて早いことが判る。凝集沈殿の上澄水は、活性汚泥処理で BOD が10mg/l前後にまで低下しているが、さらに高度処理されて BOD, SS 共に数mg/lの処理水を得ている。

表 3-3-2 試験に用いた洗米廃水の性状

外観	pH	SS(mg/l)	COD(mg/l)	BOD(mg/l)
白濁色	6.6	717	990	1,250

表 3-3-3 洗米廃水凝集沈殿処理結果

Run No.	薬注量(mg/ℓ)				凝集状態			処理水			
	硫酸 アルミ	PAC 250A	NaOH	コーナン フロック	フロック 状態	沈降性	フロック 量(%)	pH	SS (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)
1	200	—	58	10	C	C	10	6.8	<50	230	215
2	300	—	105	10	C	C	12	6.7	<50	209	216
3	400	—	150	10	B2	B2	15	6.8	<30	196	215
4	500	—	200	10	B1	B1	16	6.8	<30	191	208
5	1,000	—	365	10	B3	B3	26	6.8	<30	179	185
6	—	200	15	10	C	C	10	7	<50	213	232
7	—	300	25	10	C	C	12	6.8	<30	219	232
8	—	400	42	10	B	B	15	6.9	<30	213	232
9	—	500	58	10	B	B	16	7	<30	213	221
10	—	1,000	94	10	C	C	23	6.8	<30	196	212

(注)凝集状態、沈降性 B:良好、B1:より良好、B3:最も良好、C:普通

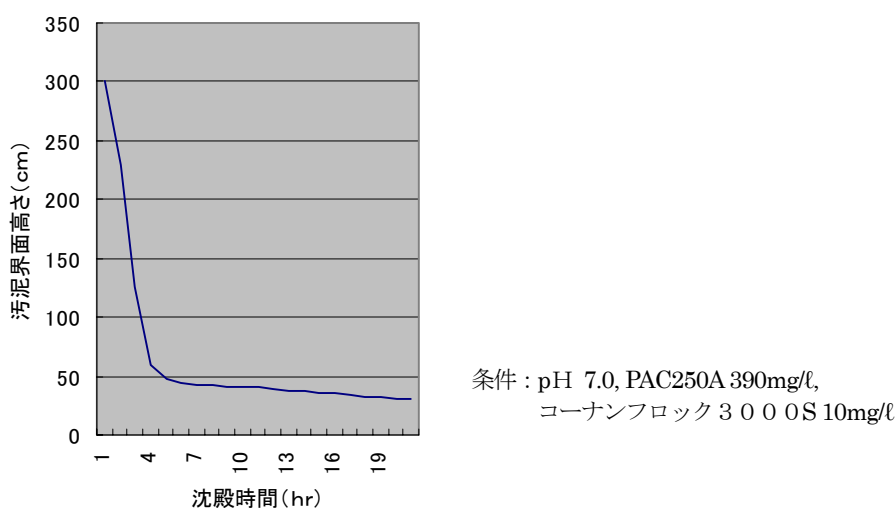


図 3-3-8 洗米廃水の凝集沈降試験結果

3. 2. 3 運転管理における留意点

廃水処理の安定的な運転を継続的に得るために重要な点は、凝集沈殿による前処理である。前述の通り、洗米廃水が腐敗を起す前に SS 分を凝集沈殿・濃縮して系外に出すことが大切である。また、清酒工場の廃水処理の活性汚泥の沈降性は悪い。これは窒素などの不足から、多糖類の分解過程が遅れて粘性が増し、汚泥が分散気味となり、沈降性が悪く、厚密性も悪くなる現象を起すためと考えられている。この現象はバルキングと呼ばれる。清酒工場廃水処理のバルキングは通常のバルキングと異なり、糸状菌が少なく、曝気槽に粘性のある泡が発生する。この解決には、窒素の添加やバルキング防止剤の使用が効果的である。清酒工場は季節操業が多く、長期間にわたり廃水が出てこないことが多い。この場合は、休止期間中、活性汚泥に廃糖蜜や糠などを栄養源として与えて保持しておく方法もあるが、近くに活性汚泥の入手できる下水処理場、または活性汚泥法による工場廃水処理設備があれば、休止期間中は曝気槽を空にしておき、廃水が再流入する数日前に、そ

こから汚泥を移送し、糠などで馴養を行いながら、廃水の受け入れに備える方法もある。

参考文献

- 1) 池本春樹：ビール工場廃水への PANBIC-G の適用、神鋼パンテック技報、Vol.39 No.2 (1996)
- 2) 外池良三：用水廃水便覧、p.774 (丸善、1992)
- 3) 園欽弥：洗米廃水の処理、日本醸造協会雑誌、67, 376 (1972)

第4章 油脂製品

4.1 廃水の水量と水質¹⁾

植物油は、なたね、とうもろこし、大豆を原料にして、図3-4-1に示す工程から作られる。製造工程は原料からの搾油工程と、油脂の精製工程に大別される。植物油の工業的採油法には圧搾法、抽出法、圧抽出法がある。圧搾法は乾燥、熱処理をした原料に圧力をかけて油を搾り出す方法であるが、原料中に油分が4～7%残る。抽出法はノルマルヘキサンを溶媒に用い、熱処理された原料から油分を抽出する。圧抽出法は圧搾後の原料の残油分を抽出法で行うものである。精製工程では、搾油された油の中に含まれるごみ、糖類、たんぱく質、ガム質(粘質性物質)、脂肪酸、色素、有臭物質などの不純物を取り除く。この工程には燐酸、苛性ソーダ、水が用いられる。また、ろ過助剤を用いてろ過精製が行われる。植物油製造工場で行われる水の使用原単位は工場の生産規模によって異なる。表3-4-1に年間処理原料量と用水別の使用比率、水量原単位を示す。水原単位は30～80m³/原料トンとかなりばらつきがある。工程別の用水の使用比率を表3-4-2に示す。冷却水を除く工程水の使用割合は低く、廃水の多くは精製工程にある脱酸工程と脱臭工程から排出される。脱酸工程の廃水の水質を表3-4-3に、脱臭工程の廃水の水質を表3-4-4に示す。

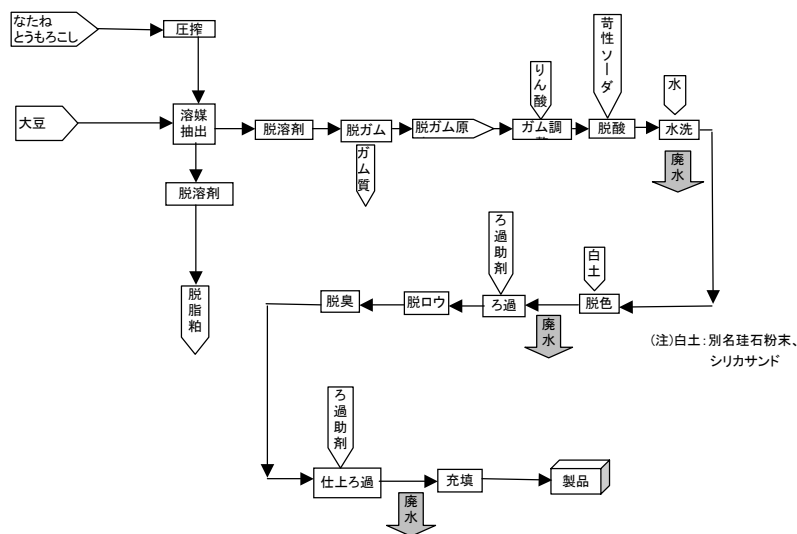


図3-4-1 植物油製造工程と廃水の排出

表 3-4-1 植物油製造工場の規模と水の使用量

原料処理量 年間、千トン	用水比率(%)					水量原単位 m ³ /原料トン
	上水	工業用水	回収水	海水	その他	
<10	5.0	18.5	12.1	0	64.4	35.9
10~50	2.1	8.7	45.3	25.1	18.8	36.7
50~100	1.0	8.5	11.0	73.4	6.1	83.1
100~300	0.8	2.5	70.6	26.0	0.1	62.2
≥300	0.5	7.3	56.0	36.2	0	31.0
平均	0.8	6.1	53.9	36.2	3.0	41.9

表 3-4-2 植物油製造工場の工程別水の使用比率 (%)

原料処理量 年間、千トン	圧搾・抽出工程		精製工程		洗びん 用水	ボイラー 用水	生活用水 他
	冷却水	工程水	冷却水	工程水			
<10	25.9	0	54.1	7.2	1.6	4.6	6.6
10~50	29.4	0.7	51	5.8	0.6	3.5	9
50~100	31.5	0.2	42.5	1.3	0.1	2.8	21.7
100~300	41.5	0.1	56.4	0.3	0.1	1.1	0.5
≥300	51.1	0	41.2	3.4	0.1	2.8	1.4

表 3-4-3 脱酸工程廃水の水質

pH	6~7
COD	400~7,400 mg/l
n-ヘキサン抽出物質	1,000~10,000 mg/l

表 3-4-4 脱臭工程廃水の水質

pH	中性
COD	50~100 mg/l
n-ヘキサン抽出物質	50~100 mg/l
SS	30~400 mg/l

4. 2 処理実施例

4. 2. 1 加圧浮上処理の実施例¹⁾

植物油製造工程の廃水に海水を混ぜると凝集作用を発揮する。日本の植物油製造工場は原料を輸入しているため、臨海地域に立地していることが多く、海水の入手は容易である。表 3-4-5 に大豆油廃水に塩を添加した時の COD の変化を示す。廃水 1 ℓ に対しておおよそ塩 30 g を加えて攪拌するとフロックを生じ、上澄水の COD は 90% 以上除去される。

表 3-4-5 植物油製造廃水の人工海水添加による塩析試験結果

RUN No.	廃水量	人口海水 ml	処理水 COD mg/l
1	100	200	574
2	100	300	193
3	100	400	133
4	100	100	447
5	100	100	275
6	100	200	247

原水 COD 7,400 mg/l

(1) 処理方式

加圧浮上二段処理のフローを図3-4-2に示す。一段目の加圧浮上装置には排水量とほぼ同じ量の海水を添加する。濃縮スカムは脱水処理されて場外に産業廃棄物として搬出される。一段目の加圧装置の処理水はpH調整と凝集剤の添加を行い、二段目の加圧浮上装置で処理されて放流される。スカムは一段目のスカムと同じように脱水される。その容量は廃水の約20%近くを占め、固形物濃度は5%位である。

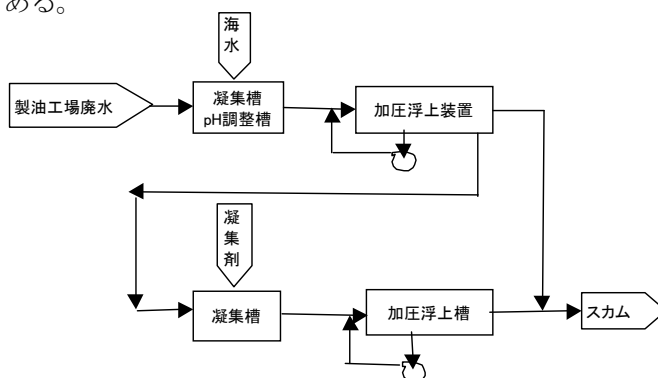


図3-4-2 植物湯製造工場廃水における加圧浮上処理フロー

(2) 処理結果

一段目の加圧装置のCOD除去率は90%以上であり、2段目でさらに80~90%のCOD除去率が得られる。いずれも処理水は無色透明である。

4. 2. 2 生物処理の実施例

(1) 設計条件

廃水量	600m ³ /日
廃水水質	BOD 8,000 mg/ℓ
	TOD 14,000 mg/ℓ
	SS 1,700 mg/ℓ
	窒素 400 mg/ℓ
処理水水質	BOD <280 mg/ℓ
	SS <280 mg/ℓ

(2) 処理方式

この処理設備は、廃水中の有機物からメタンを回収し、また、活性汚泥処理への負荷を軽減し、省エネを図ると同時に余剰汚泥の発生量を減らすことができる。処理設備の概略フローを図3-4

ー 3 に示す。原水は熱交換器で温度調整された後に嫌気性処理装置に入る。嫌気性処理槽内の水温は 36℃前後に保たれ、内部には充填材がほぼ 100% 充填浮遊している。その表面には嫌気性菌が保持されており、有機物を分解しメタンガスなどに変える。嫌気性処理装置の処理水は脱窒槽に入り、沈殿池から返送されてくる返送汚泥水中に含まれる硝酸を窒素ガスに還元する。脱窒槽を出た水は曝気槽に入り有機物の酸化分解と硝化が行われる。次に脱窒槽に入り、硝酸が再度還元され、脱窒が行われる。脱窒槽を出た水は沈殿池で汚泥を分離した後、処理水として放流される。沈殿池の汚泥と消化液は上流側の脱窒槽に返送される。嫌気性処理槽で発生したガスは脱硫装置で硫化水素を除去し、ボイラーの熱源に使われる。発生した蒸気は嫌気性処理槽の加温に用いられる。

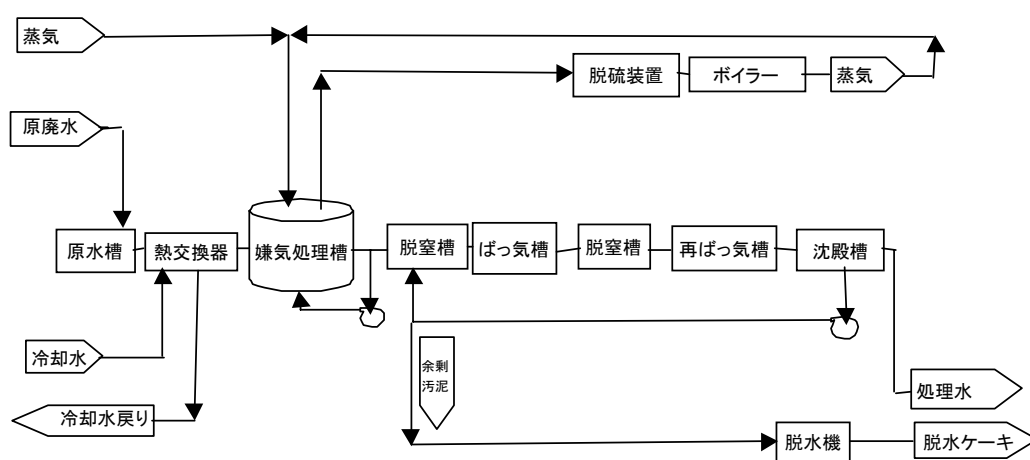


図 3-4-3 植物油製造工場廃水の生物処理フロー

(3) 処理結果

固定床式の嫌気性処理装置であり嫌気性菌の付着までいくぶん時間がかかったが、廃水の基質の変化と、急激な負荷変動に対する安定性が高く、BOD 除去率は 70%以上が安定的に得られる。後段の好気性処理装置では 90%以上の BOD 除去性能が安定的に得られる。ガス発生量は嫌気性処理装置の pH に見かけ上は左右される。嫌気性処理槽液がアルカリ側に行くほど炭酸ガスの溶解が高まるためにガス発生量は減少し、逆に pH が酸性側に行くとガス発生量は多くなる。pH 6~8 で運転されていれば発生ガス中に含まれるメタンガス量は理論値とほぼ同じ量が発生する。余剰汚泥の発生量は好気性処理の 1/3~1/5 で、設備導入の目的である省エネと発生汚泥量の削減は達成されている。

4.3 運転管理における留意点

植物油製造工場の廃水は比較的排水量が少なく変動も少ないが、多量の油分を含んでいるため、前処理の油分離槽で油を十分に取ることが重要である。嫌気性処理や活性汚泥処理を行っている場合には特に油分除去に注意が必要である。第 2 ステージの凝集加圧浮上処理では廃水のアルカリ度

や塩類濃度で凝集剤の効果が大きく変わるのでジャーテスターで最適な薬注条件を求めることが大切である。同時に、なたねを原料にする工程廃水と大豆を原料にする場合では凝集条件が異なるため、それぞれの凝集特性を把握して管理する必要がある。

参考文献

1) 堀一：油脂製品、食品工場排水の最適処理ハンドブック、p.308、サイエンスフォーラム（2002）

第5章 牛乳・乳製品

5. 1 廃水の水量と水質¹⁾

牛乳・乳製品の製造工程を図3-5-1に示す。牛乳・乳製品製造工場では用水は、洗浄、冷却・空調、ボイラー、生活用水などに用いられ、廃水の排出源は容器、機械、床などの洗い水、漏洩事故などによる原料・製品の流出、不合格製品・汚染原料製品の廃棄などがある。水の用途別の使用比率を図3-5-2に示す。洗浄水がおおよそ60%を占めており、牛乳・乳製品製造工場の廃水は製造終了後に行われる機器などの薬液洗浄前後のすすぎ水が主体である。水量原単位と廃水水質を表3-5-1に示す。牛乳・乳製品製造工場は夏場に生産量が増えるために、廃水量、汚濁負荷ともに最大となる。工場の操業状態によって廃水量と汚濁濃度は3倍以上の時間変動がある。日間変動も2倍程度あり、特に週末に負荷が増大する。

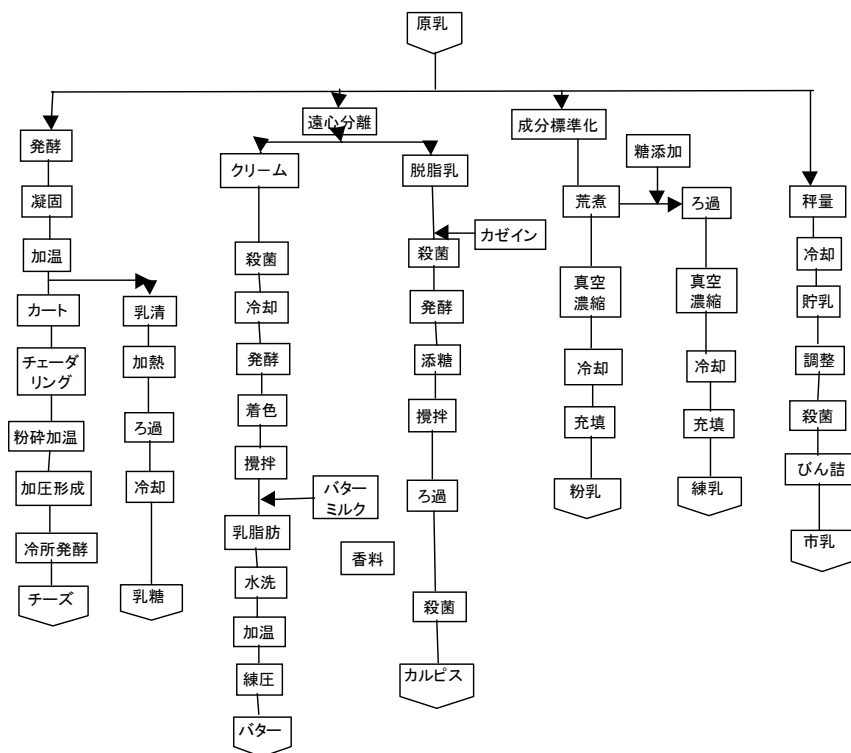


図 3-5-1 乳製品製造工程

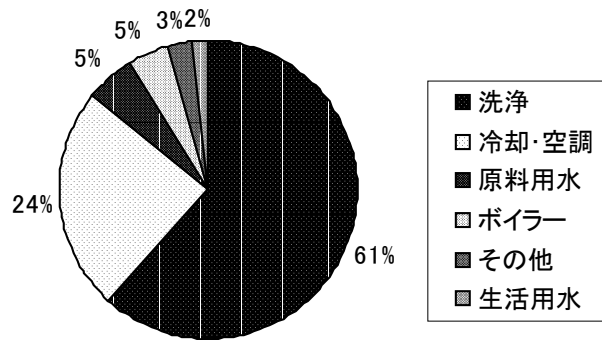


図 3-5-2 用途別用水の使用量の割合

表 3-5-1 牛乳・乳製品工場の廃水の水量と水質

製品	pH	BOD mg/l	COD mg/l	SS mg/l	油分※ mg/l	水量原単位 m ³ /トン
市乳・乳飲料	11	750	400	150	90	10
乳酪	10	600	300	100	60	3
デザート	11	750	350	250	130	13
冷菓	11	800	400	200	200	20

※ n-ヘキサン抽出物

5. 2 処理実施例

乳業工場の廃水処理に使われている標準活性汚泥処理の例を紹介する²⁾。

(1) 設計条件

廃水量 540 m³/12hr/日 (12時間操業)

廃水水質 pH 8.4

BOD 200 mg/l

処理水 pH 6~8

BOD 20 mg/l 以下

COD 20 mg/l 以下

SS 20 mg/l 以下

大腸菌 330個/ml 以下

(2) 処理方式

牛乳・乳製品製造工場の廃水は水量、汚濁負荷共に時間、日変動が大きいために標準活性汚泥法を採用する場合は、調整槽で廃水の質と量の均質化をできるだけ行ってから曝気槽に送ることが望ましい。一方、別の対策として、負荷変動に対して安定性が高く、比較的運転が容易な長時間曝気法

が採用されることがあるが、標準活性汚泥法より広い設置場所を必要とする。本設備の場合は標準活性汚泥法が採用された。牛乳・乳製品製造工場の廃水は BOD と窒素、磷のバランスが取れているので栄養塩を加える必要はない。標準活性汚泥法は長時間曝気法に比べて余剰汚泥の発生量が一般的には多いが、本設備では濃縮された余剰汚泥を好気性消化して、長時間曝気と同じ発生量に抑えている。図 3-5-3 に本設備の処理フローを示す。原水はスクリーンで夾雑固形物を除去され、調整槽で均一化を図りながら後段の曝気槽へ送られる。沈殿池で汚泥と分離されて塩素滅菌されて放流される。余剰汚泥は好気性消化槽で酸化分解されて減容化が図られる。

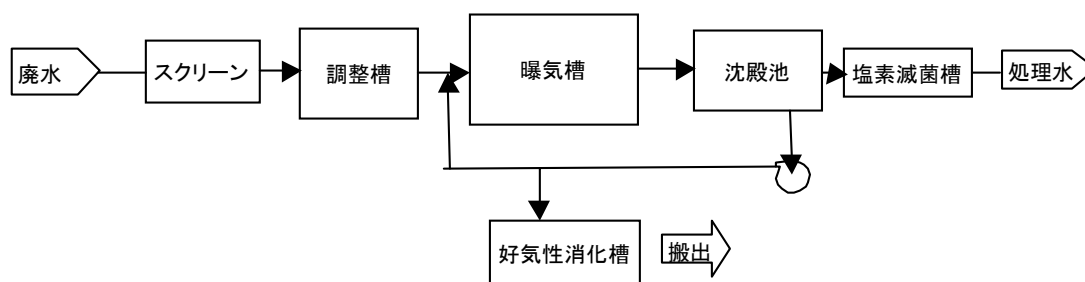


図 3-5-3 乳業工場廃水処理設備フロー

(3) 処理結果

本装置の運転結果を表 3-5-2 に示す。原水の汚染濃度が計画値より比較的低いですが、運転開始直後の MLSS 濃度が低かった時には、処理水の BOD は設計値の 20 mg/l をオーバーすることもあったが、MLSS の増加とともに処理水の BOD は低下した。余剰汚泥の好気性消化の曝気時間は約 10～20 日間であり、酸化されて減容化された汚泥を曝気槽に戻すことで、好気性消化後の余剰量と、処理水に流出する SS とが、ほぼバランスするために場外搬出の必要性はほとんどない。

表 3-5-2 乳業廃水の標準活性汚泥法による処理結果

月, 日	原水				曝気槽		処理水			
	pH	BOD	COD	SS	MLSS	DO	pH	BOD	COD	SS
5月1日	7.6	121	41	6	1,200	4.2	7.1	19	7.0	22
5月5日	7.3	134	46	17	1,110	4.6	7.1	22	7.4	16
5月10日	7.4	110	36	8	1,308	3.2	7.2	16	5.1	18
7月10日	7.1	140	47	5	2,100	3.6	7.0	11	3.4	8
9月10日	6.8	96	31	3	1,860	2.8	7.0	14	5.2	6
10月10日	7.4	126	40	6	2,460	3.2	7.1	18	6.1	10
11月10日	7.6	118	40	4	3,120	3.8	7.2	12	4.2	8
12月10日	7.2	180	58	9	3,080	3.8	7.0	12	4.8	20

5. 3 運転管理における留意点

乳業廃水の場合には沈殿池での汚泥の沈降分離が難しくなり、処理水中の SS 濃度が高くなることがある。この現象は汚泥が過曝気になり、汚泥フロックの凝集性が悪くなり、分散状態となって沈降性が悪くなることによる。標準活性汚泥法と長時間曝気法における MLSS 濃度と汚泥の沈降性の指標である SV₃₀（汚泥を 30 分間静止沈降した時の汚泥界面高さの百分率）の関係を図 3-5-4¹⁾ に示す。一方、MLSS 濃度が高くなると、曝気槽の溶存酸素は低下し処理性能が低下する。この場合は汚泥の引抜を行って溶存酸素を 1～2 mg/l に回復する必要がある。

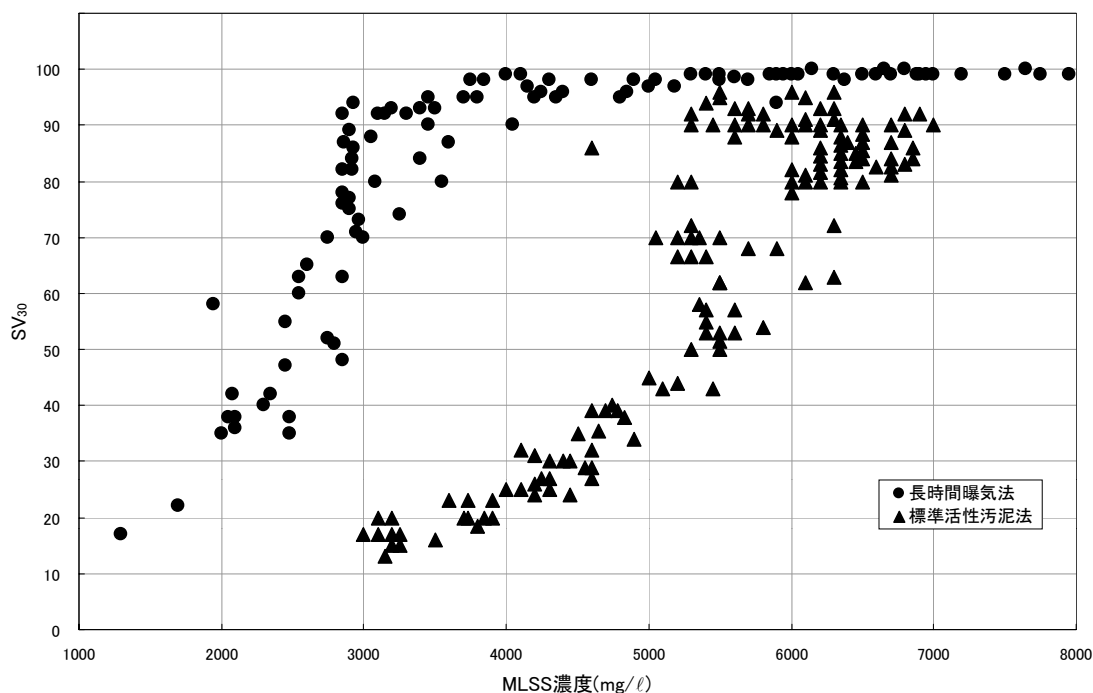


図 3-5-4 標準活性汚泥処理と長時間曝気における MLSS と SV₃₀

参考文献

- 1) 矢崎雅俊：牛乳・乳製品、食品工場排水の最適処理ハンドブック、p.298、サイエンスフォーラム（2002）
- 2) 食品工場における廃水処理について、神鋼ファウドラー技報、Vol.13, No.4（1970）

第6章 農産物加工製品

6. 1 廃水の水量と水質

農産物加工において用水を多量に使う産業には、小麦澱粉、じゃがいも澱粉、さつまいも澱粉、製糖などがある。じゃがいも澱粉工場は、じゃがいもの産地の北海道に集中しており、小麦澱粉と

精糖工場は原料を輸入にたよっているため、港の近くで、かつ、水の入手が容易な場所に在する。したがって、地理的な条件が廃水の処理方式を特徴付ける結果となっている。小麦澱粉製造工程で使用する水量は、原料小麦の7~15倍（重量比）であり、製造方法の違いによって大きな差がある。廃水はBODとSSが主体であり腐敗しやすい。小麦澱粉製造工程と廃水の排出箇所を図3-6-1に示す¹⁾。小麦澱粉製造廃水の代表的な水質を表3-6-1に示す。

じゃがいも澱粉製造工程で使用する水量は、じゃがいも1トンに対して13~44m³の水を使用する²⁾。廃水量原単位の差は廃水の主な排出源であるセパレート工程（粉碎原料から澱粉と乳液と粕に分離し、精製濃縮を行う工程）における澱粉回収率の違いによる。じゃがいも澱粉工場は比較的小規模の工場が多く、廃水量が多く、加えてBOD、SS濃度が高く、夏の終わりから初冬にかけての季節操業がほとんどである。じゃがいも澱粉廃水の代表的な水質を表3-6-2に示す。

さつまいもを原料とする澱粉製造工程の廃水量原単位は、じゃがいも澱粉廃水量の半分位であるが、BODの負荷はほぼ同じである。製糖工業は甘蔗とてんさいを原料とするが、日本では、甘蔗が用いることもほとんどなくなり、最近は輸入粗糖を原料とする精製糖工業に変わってきている。甘蔗糖の製造は、原料1トン当たり15~20倍量の水を必要とし、高濃度のBOD、SSを排出するが、輸入粗糖の場合は排水量も少なく、BOD、SS濃度も低い。

てんさい糖の製造工程では、原料を流送・洗浄するフリューム工程から原料の8~10倍量（重量比）の廃水が出るが、この廃水が全廃水量の50~60%を占めている。そのほかの主な廃水は、原料からしょ糖分を抽出する工程のライムケーキ廃水、廃糖蜜からしょ糖を回収するステフェン工程からの廃水、ステフェン法に代わるイオン交換樹脂廃水がある。廃水量は工場によって差があるが、原料に対してライムケーキ廃水が1.3倍量程度、ステフェン工程が30~40%、ステフェン法に代わるイオン交換樹脂廃水が25~30%と言われている³⁾。表3-6-3に、てんさい糖製造工程の廃水の性状を示す。

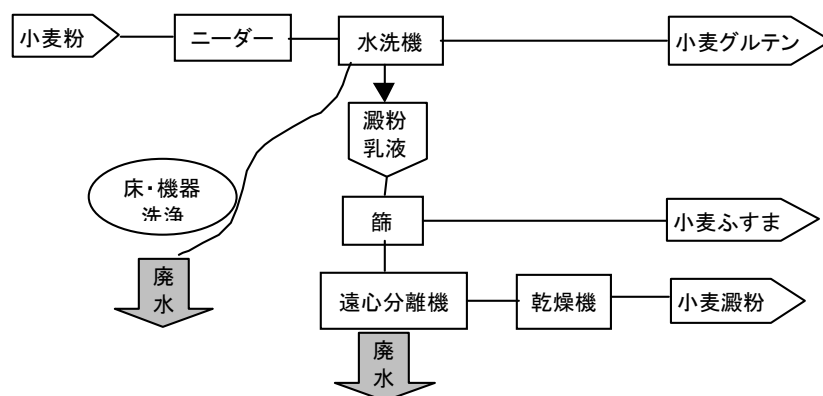


図 3-6-1 小麦澱粉製造工程と廃水の排出

表 3-6-1 小麦澱粉製造工程廃水水質 (pH を除く単位 mg/ℓ)

項目	最小	最大	平均
pH	4.4	5.4	—
TS	12,800	16,400	14,600
DS	10,140	12,000	11,100
SS	2,600	4,400	3,500
COD _{Cr}		20,600	18,750
BOD	9,400	13,200	11,300
TOC	4,600	5,800	5,200
T-N	500	600	550
T-P	170	190	180

表 3-6-2 ばれいしょ澱粉製造工程の廃水量と汚濁負荷 (原料 1 トン当り)

項目	フリューム 廃水	セパレート廃水		合計	
		従来法	濃厚脱汁法	従来法	濃厚脱汁法
廃水量 (m ³)	4.4~31	7~4		13~44	
BOD (kg)	0.1~2.0	13~15	6.2~16	14~56	17~40
SS (kg)	1.3~57	10~44	0.6~12	12~67	8~22

表 3-6-3 てんさい糖製造工程廃水の水質

項目	フリューム	ライムケーキ	ステフェン
pH	6.7~7.4		12.5
BOD (mg/ℓ)	200~630	1,420	4,000
SS (mg/ℓ)	700~3,090	2,860	1,300
TDS (mg/ℓ)		3,313	7,000

6.2 処理実施例 (小麦澱粉^{1) 4)})

小麦粉から小麦澱粉、小麦グルテンを製造する工場の廃水処理設備の概要を紹介する。本設備は既設の活性汚泥処理の前処理として導入され、省エネルギー、余剰汚泥の発生量の減量化、活性汚泥処理装置の安定運転を図ることができた。

(1) 設計条件

廃水量 最大 550m³/日 平均 500m³/日

廃水水質 COD_{Cr} 最大 20,000mg/ℓ 平均 16,000mg/ℓ

処理水水質 嫌気性処理装置処理水 COD_{Cr} 除去率 80%以上

(2) 処理方式

本廃水処理設備のフローを図3-6-2に示す。廃水は調整槽から熱交換器を経て嫌気性処理槽に入る。嫌気性処理の方式は内部に樹脂製の充填材が浮遊する固定床式で、pH 7、水温36℃付近に保たれる。pHは苛性ソーダで調整される。加温は蒸気で行われる。嫌気性処理槽で発生するガスは脱硫後ガスホルダーに貯えられ、製品乾燥の熱源に使われる。嫌気性処理装置を出た水は活性汚泥処理装置で処理され放流される。

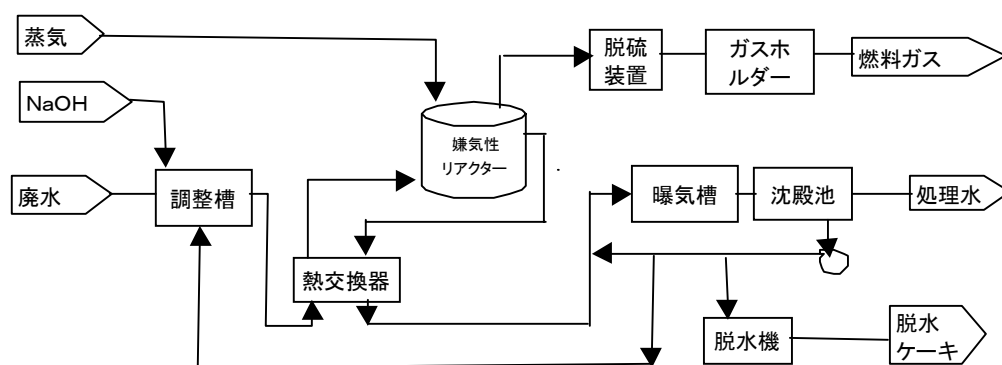


図3-6-2 小麦でんぷん廃水処理装置フロー

(3) 処理結果

嫌気性処理装置の立ち上げは、嫌気性菌の増殖速度が遅いため3ヶ月を要した。立ち上げ時の運転状態を図3-6-3に示す。この間は、投入COD_{Cr}量とメタンガス発生量の関係と、処理水中の有機酸濃度を監視しながら負荷の増加を図った。増殖メタン菌量を超える負荷がかかると酢酸、プロピオン酸などの有機酸が増加するので低級脂肪酸の濃度が数百mg/lを超えないように負荷調整を行った。嫌気性処理の処理結果を表3-6-4に示す。表3-6-5には活性汚泥処理の処理水質を示す。

6.3 運転管理における留意点（小麦澱粉）

固定床嫌気性処理装置は優れた安定性を有するが、増殖微生物により充填材の閉塞が生じるので定期的に嫌気性処理槽の底部から窒素ガスでパージを行うことが必要である。この時には脱離汚泥が曝気槽に流入するために活性汚泥処理の負荷が一時的に増加する。したがって、パージは年末・年始の休業時、または夏季休業時に年1回ないし2回に分けて行われる。嫌気性処理を活性汚泥の前処理として行うと活性汚泥のバルキングがほとんど解消され、沈殿池での汚泥の分離が容易になったが、窒素が増加した。この窒素の低減は、曝気槽の一部を嫌気状態にするか、間歇的に曝気を停めることにより容易に脱窒ができた。

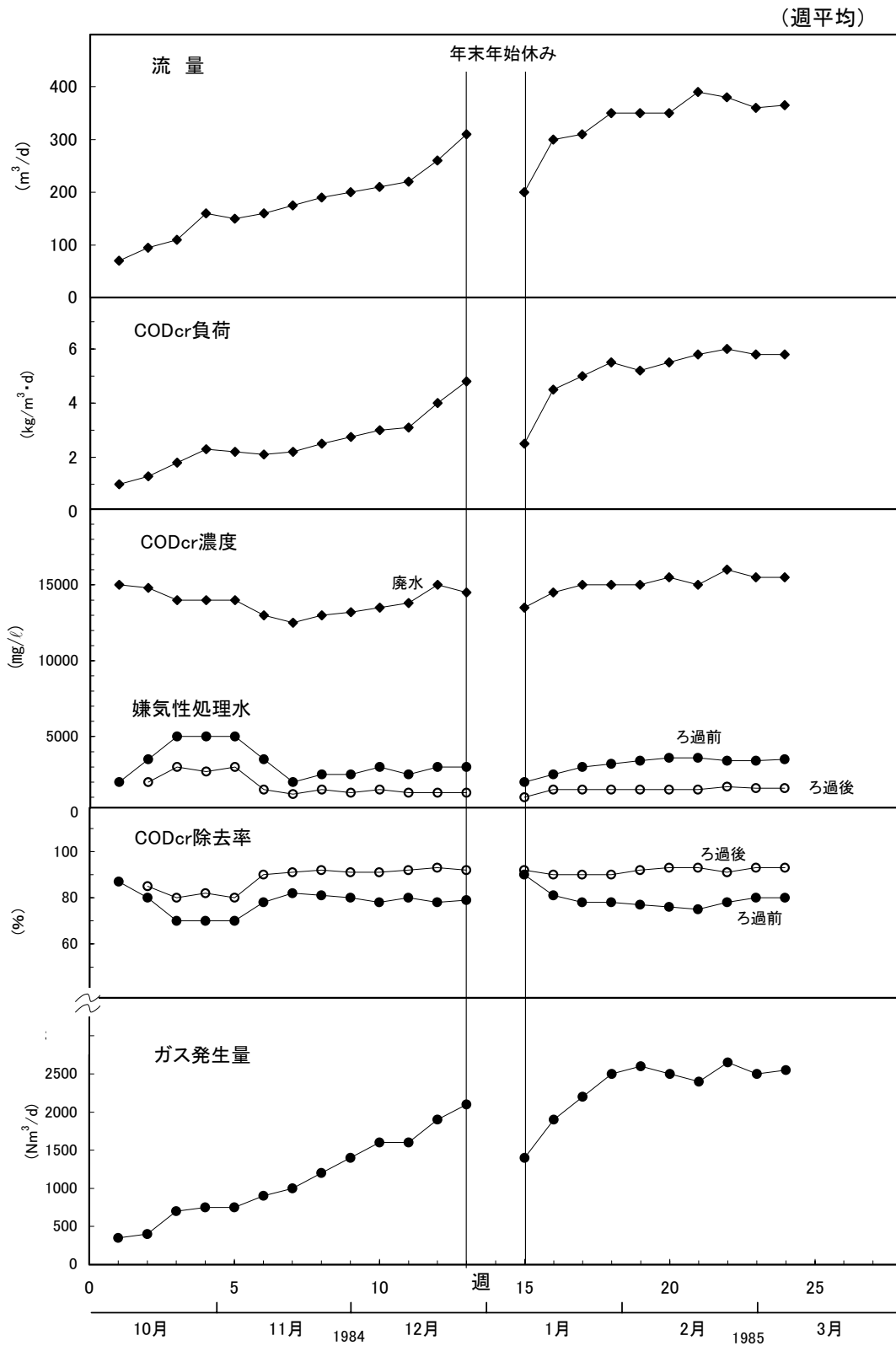


図3-6-3 嫌気性処理における運転立ち上げ

表 3-6-4 小麦澱粉製造工場廃水の嫌気性処理結果 (月平均)

項目	4月	6月	8月	10月	12月	2月
廃水量 (m ³ /日)	386	359	343	395	400	424
廃水TOC (mg/ℓ)	4,860	5,063	5,350	4,602	5,495	5,382
処理水TOC (mg/ℓ)	2,252	1,785	1,874	1,650	2,029	2,135
pH	7.1	7.2	7.0	7.0	7.1	7.1
発生ガス量 (m ³ /日)	1,569	1,781	1,810	1,615	2,012	1,688
メタン濃度 (%)	67	71	72	71	71	71

表 3-6-5 小麦澱粉製造工場廃水の活性汚泥法による処理水の水質
(嫌気性処理の後処理として)

COD (mg/ℓ)	15~56
BOD (mg/ℓ)	22~46
pH	7.0~8.0
T-N (mg/ℓ)	40~70
T-P (mg/ℓ)	60~80

6.4 処理実施例 (じゃがいも澱粉)

北海道のじゃがいも澱粉工場は、夏の終わりから初冬にかけて季節操業され、また、広大な敷地を有するため、運転立ち上げが容易で、負荷変動に対しても安定性の高いラグーン方式が採用される例が多い。以下に代表的な設備を紹介する。

(1) 設計条件

廃水量 3,600 m³/日
 廃水水質 BOD 1,800 mg/ℓ
 処理水 pH 5.8~8.6
 BOD < 120 mg/ℓ
 SS < 150 mg/ℓ

(2) 処理方式

この澱粉工場からの廃水は調整槽を設けずに、曝気槽 (ラグーン) に直接流入する。曝気槽の容量は約 30,000 m³ の素掘りの池でできており、37 kW のフローティング型機械式表面曝気機が 5 基設置されている。曝気槽の滞留時間は約 8 日間である。曝気槽の液はポンプで流量をコントロールしながら沈殿池に送られ、汚泥を分離後、処理水として放流される。工場排水の SS に対する基準値が緩やかなために、沈殿池の滞留時間は 6 時間で設計されている。沈殿池の汚泥は通常の活性汚泥処理と同様に曝気槽に返送される。

(3) 処理結果

廃水処理設備が設置された翌年の10月1ヶ月間の処理状況を表3-6-6に示す。ラグーンは初冬に生産が終わった後は、底部に溜まった汚泥が一部肥料として引き抜かれるが、翌年の操業開始まではそのまま放置されるのが普通である。工場の再開とともにラグーン槽は底部に溜まっている汚泥を用いて立ち上げを行う。操業がピークの10月の平均流入廃水量と平均BODは、それぞれ設計値の約85%と80%であり、処理水のBODは常に設計値をクリアしているが、SSが瞬間的にオーバーをしている。これは廃水処理設備を立ち上げた直後の不活性な汚泥の流失による一時的な現象である。曝気槽の水温は零度近くまで下がるが、BOD-MLSS負荷を0.05(kg BOD/kg MLSS・d)前後の低い値で設計しているため、水温低下に伴う処理水の悪化は見られない。

表3-6-6 ジャがいも澱粉製造工場廃水の処理結果

項目	廃水			処理水		
	平均	最大	最小	平均	最大	最小
廃水量 (m ³ /日)	3,040	3,360	2,760			
pH		6.8	5.7		7.5	7.0
SS (mg/ℓ)	602	3,730	176	119	188	54
CODmn (mg/ℓ)	939	2,440	409	85	116	60
BOD (mg/ℓ)	1,440	2,230	873	68	91	42
水温 °C		17	2		17	2

6.5 運転管理における留意点(ジャがいも澱粉)

長期運転休止により汚泥の嫌気化が進行すると糸状性バルキングが生じやすくなる。特にジャがいも澱粉廃水については、硫化物を100mg/ℓ前後含んでおり、糸状の硫黄細菌が異常に増殖する。この生物相の変化により、再立ち上げ時に元の生物相に戻るのに時間がかかる。この場合は、(1) 休止中汚泥が嫌気化しないように最低限度の曝気を行う、(2) 調整槽がある場合は濃厚廃水を貯留しておき、運転休止期間中は間歇的に投入する、(3) 運転立ち上げ時、活性汚泥フロックが解体している場合は凝集剤を添加して、沈殿池からの流出を防止して、MLSSの最低濃度を確保する、(4) 必要に応じて下水処理場から汚泥を搬入する。更に操業が再開される数日前から曝気を開始し、残留廃液または廃糖蜜を添加して汚泥の馴養を図ることが好ましい。特に汚泥が馴れない初期の段階から高い負荷が掛かると、沈殿池からのSSの流出が多くなる。ラグーンは好気性消化が同時に行われているために汚泥が分散しており、沈降性が悪く、沈殿池から汚泥が流出しやすい。流出がひどい時は、凝集剤を沈殿池のセンターウエルに直接連続添加することで抑えることができる。

参考文献

- 1) 村山隆二：小麦澱粉、食品工場排水の最適処理ハンドブック、p.318、サイエンスフォーラム (2002)
- 2) 黒川達爾雄：用水廃水便覧、p.784 (丸善、1992)
- 3) 雑賀幸之助：用水廃水便覧、p.760 (丸善、1992)
- 4) 東野宏昭：神鋼ファウドラ―技報、Vol.29, No.2 (1985)

第7章 惣菜製品

7. 1 廃水の水量と水質

惣菜工場は特定製品の惣菜を作る比較的小規模のものから、惣菜とともに菓子、パン、麺類など合わせて400種類におよぶ製品を作る大規模工場までがある。ここでは、年始の1日を除いて連続操業している多品種製造の大型工場の廃水処理を取り上げる¹⁾。用水量の原単位は製品により差が大きく、工程別のデータが得られない。一例として主原料の年間使用量が、小麦9,800トン、大豆3,600トン、こんにゃく粉137トンの工場で、製品として、麺類6,842トン、食パン5,900トン、菓子パン4,600トン、こんにゃく類2,700トン、豆腐類8,500トン、揚げ類1,400トンを製造している場合、35万m³の水を使い、その約80%を廃水として排出している。廃水量原単位に換算すると原料1トンに対して約20m³、製品1トンに対して約9m³となり、用水型の産業である。惣菜製造工場が高濃度廃水を排出する煮豆、納豆、玉子豆腐の製造工程を図3-7-1に、その廃水の水質を表3-7-1に示す。

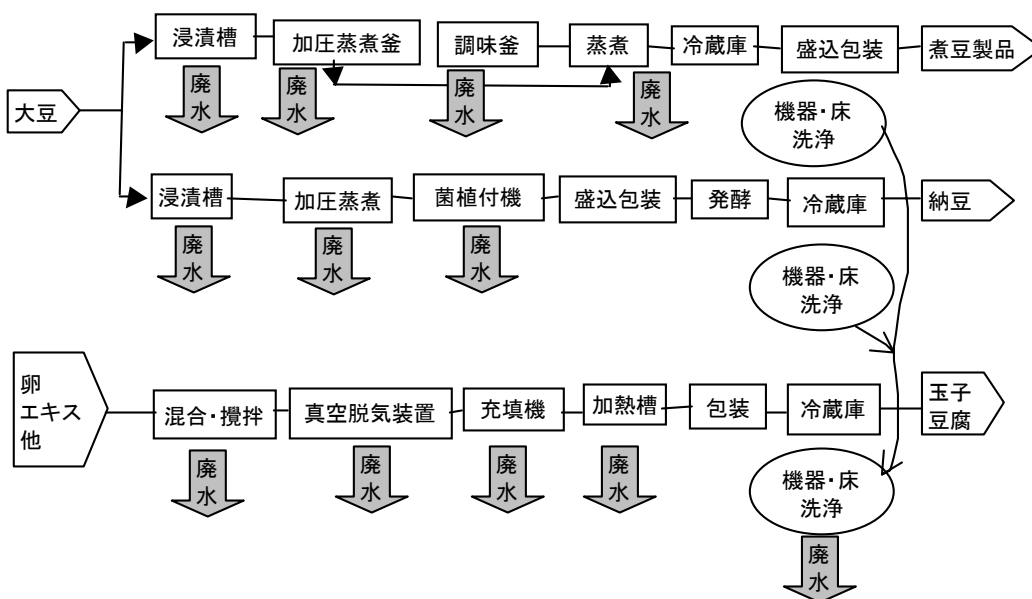


図3-7-1 大型惣菜製造工程と廃水の排出

表 3-7-1 惣菜製造工程別の廃水水質 (mg/ℓ)

項目	玉子豆腐			納豆			煮豆		
	高濃度	中濃度	低濃度	釜廃水	浸漬廃水	釜清掃廃水	浸漬廃水	真空釜煮汁	清掃廃水
BOD	6,260	486	82	814	100	117	2,370	358,000	2,220
TOC	3,340	272	29	572	96	90	1,360	222,000	1,470
S-TOC	1,450	175	22	499	93	102	1,290	196,000	780
SS	2,720	143	212	195	5	73	78	675	63
n-ヘキサン抽出物質	4,780	689	<5	<5	<2	<5	<5	6	<5
全窒素	438	38	2	84	8	41	52	799	13
全りん	22	4	1	8	1	10	20	152	4

7. 2 処理実施例

(1) 設計条件

廃水量 1, 600 m³ / 日 (高濃度廃水 1, 505 m³ / 日、低濃度廃水 650 m³ / 日)

廃水水質

高濃度廃水

pH 4.3
 BOD 2,310 mg/ℓ
 SS 550 mg/ℓ
 n-ヘキサン抽出物 110 mg/ℓ

低濃度廃水

pH 6.3
 BOD 760 mg/ℓ
 SS 130 mg/ℓ
 n-ヘキサン抽出物 50 mg/ℓ

処理水水質 (放流水)

pH 5~9
 BOD <200 mg/ℓ
 SS <200 mg/ℓ
 n-ヘキサン抽出物 <30 mg/ℓ

(2) 処理方式

本設備は下水道整備地域にあるため、図3-7-2に示されるように、低濃度排水と高濃度廃水を分けて処理をして下水道に放流する。低濃度廃水はスクリーンで夾雑固形物を除去し、凝集浮上処理をし、中和後放流する。高濃度廃水は低濃度廃水と同様にスクリーンで夾雑固形物を除去後、調整槽から熱交換器を経て嫌気性処理槽に送られる。嫌気性処理の方式は内部に樹脂製の充填材が浮遊する固定床式で、嫌気性槽内はpH7、水温36℃付近に保たれる。pHは苛性ソーダで調整され、加温は蒸気で行われる。嫌気性処理槽で発生するガスは脱硫されて、ガスホルダーに貯えられ、ボイラーの熱源に使われる。嫌気性処理装置をでた水は浮遊担体を保有する好気性処理装置で処理

される。次いで、担体の表面から剥離した汚泥と流入廃水中の SS を除去するために、塩化第二鉄と高分子凝集剤を添加して、凝集浮上槽で分離後、pH 調整をして下水に放流される。

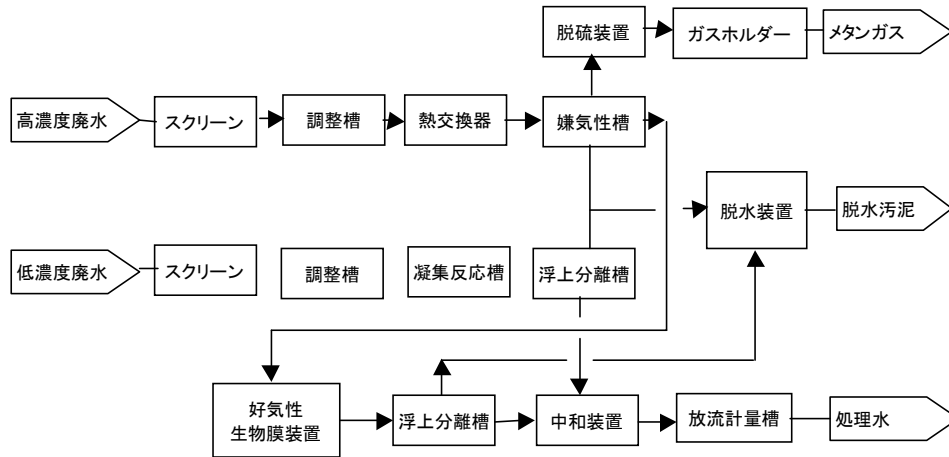


図 3-7-2 惣菜工場廃水処理フロー(下水放流)

(3) 処理結果

半月平均の1年間の水質変化について、高濃度廃水系を図3-7-3に、低濃度廃水系を図3-7-4に示す。流入廃水の BOD の季節変化は、高濃度系、低濃度系ともに2倍程度、また、SS 濃度については3倍程度の変動が見られる。高濃度系廃水処理の処理結果を1年間の平均値でみると、図3-7-5に示されるように、嫌気性処理装置で原水の BOD 1,860 mg/l が 650 mg/l 辺りまで安定的に下がり、後段の生物膜式好気性処理で、250 mg/l 前後まで下がる。さらに、凝集加圧浮上処理後の処理水の平均 BOD は 6 mg/l まで下がっている。低濃度廃水の処理水と混合して下水道に放流される水質については、図3-7-6に示される。

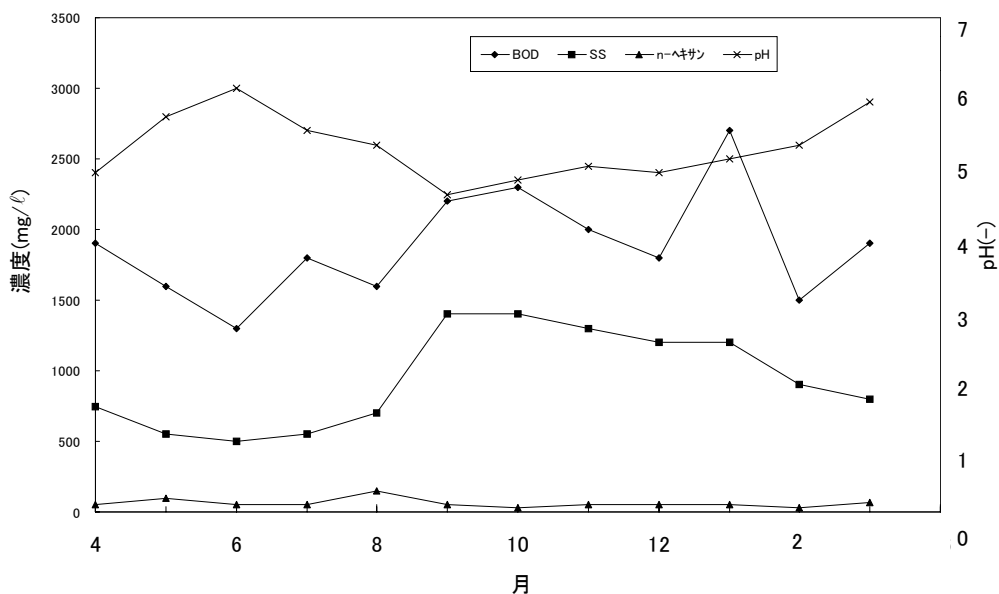


図 3-7-3 惣菜製造廃水の年間水質変化 (高濃度系)

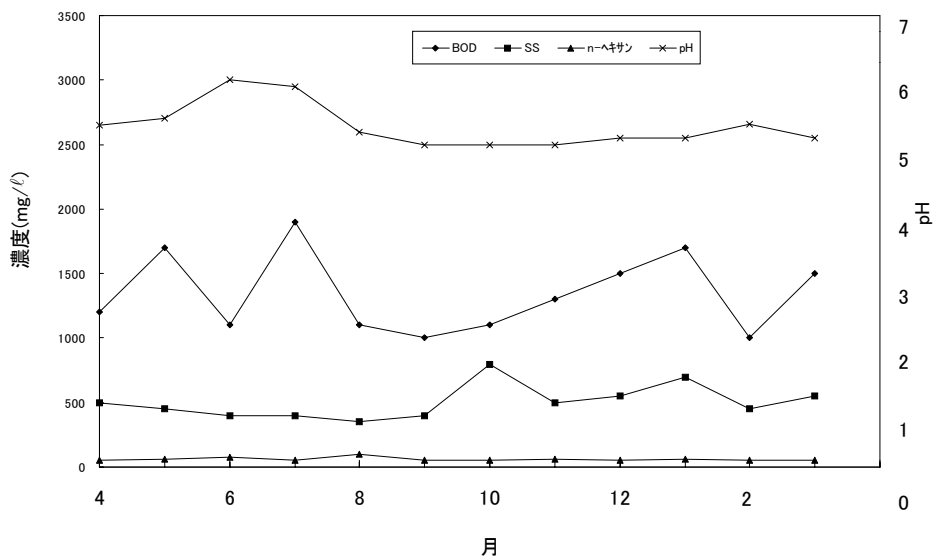


図 3-7-4 惣菜製造廃水の年間水質変化 (低濃度系)

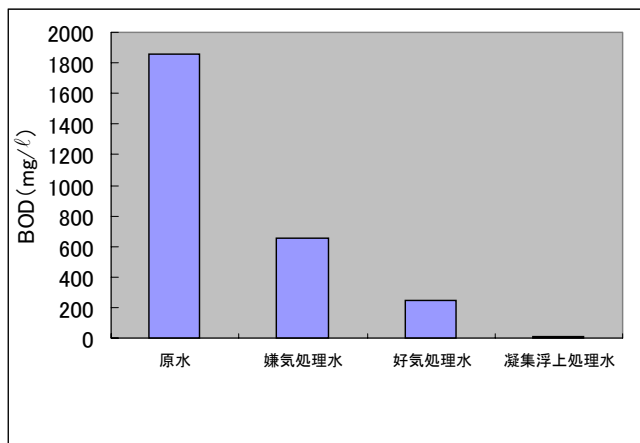


図 3-7-5 高濃度廃水系処理結果

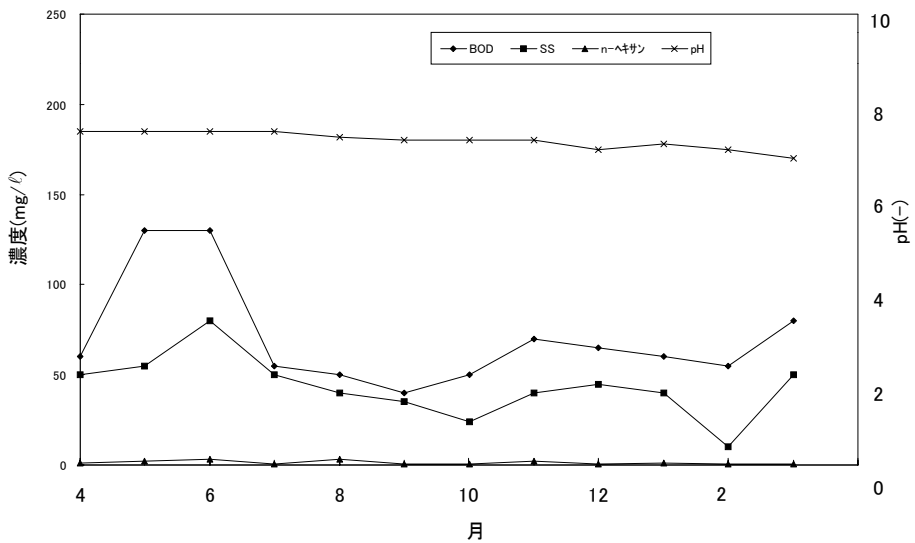


図 3-7-6 惣菜製造廃水の処理結果

7. 3 運転管理における留意点

食品製造工場では機器の洗浄に洗剤、消毒剤が用いられる。間違っても多量に使われたり、漏洩事故を起すと、嫌気性処理装置、好気性処理装置で異常な泡立ちを起す原因となる。特に殺菌剤の漏洩は一時的に嫌気性処理装置、好気性処理装置の生物活性を低下させ、処理水水質の悪化を招くので注意が必要である。また、廃水に含まれる固形物は槽底に蓄積すると腐敗して悪臭発生の原因となるので、廃水ピット、調整槽、加圧浮上装置などの定期的な清掃が望ましい。

参考文献

- 1) 副島武雄：食品工場排水の最適処理ハンドブック、p.345、サイエンスフォーラム（2002）

第8章 菓子など製品

8. 1 廃水の水量と水質

菓子製造工程廃水は製品の種類により様々である。また、季節変動も大きい。ここでは果肉ゼリーとカステラの製造工程廃水について紹介する¹⁾。果肉ゼリーは、びわなどの果物の果肉をゼリーの中に入れてもので、液糖などの原料を混合機で調合して、あらかじめ果肉を詰めたカップに充填する。廃水は機器洗浄水と、果肉を缶詰から取り出すときにこぼれるシロップと、シール機で溢れ出る調合液の洗浄排水が主である。図3-8-1に果肉ゼリーの製造工程と廃水の排出箇所を示す。カステラは鶏卵などの原料を調合して木箱に入れて焙焼釜で焼いて作る。カステラの製造工程を図3-8-2に示す。廃水は卵割機、混合機、充填機の洗浄排水と木箱の洗浄排水が主なものである。

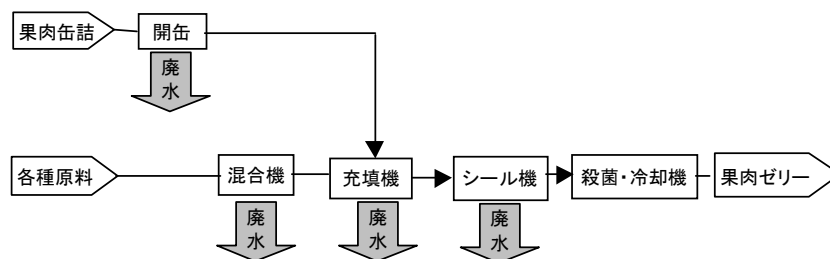


図 3-8-1 果肉ゼリー製造工程と廃水の排出

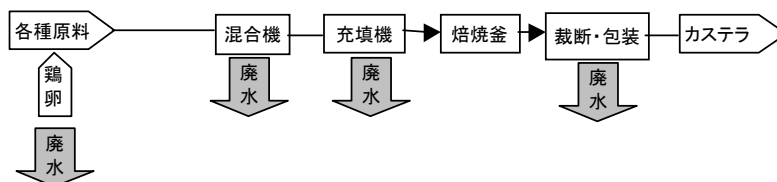


図3-8-2 カステラ製造工程と廃水の排出

8. 2 処理実施例

(1) 設計条件

廃水量		1 6 0 m ³ / 日
廃水水質	BOD	4, 0 0 0 mg / ℓ
	COD _{Mn}	2, 5 0 0 mg / ℓ
処理水水質	BOD	1 0 mg / ℓ (日間平均)
	COD _{Mn}	2 0 mg / ℓ (日間平均)

(2) 処理方式

ここで紹介する例は、放流水の基準値が厳しい場所にあるため、標準活性汚泥法と接触曝気槽の2段処理を行い、処理水悪化時の緊急用に凝集沈殿池を備えている。処理設備のフローを図3-8-3に示す。廃水は調整槽で流量の定量化調整と、不足している窒素とリンの添加が行われる。次いで曝気槽に入り、沈殿池で汚泥を分離後、接触曝気槽で残留 BOD と COD_{Mn} の再除去を行う。そして緊急用の凝集沈殿槽を経て塩素滅菌後に放流される。曝気槽はバルキングを防止するために10段のプラグフローになっている。余剰汚泥は濃縮槽で濃縮後、汚泥貯槽に貯え、定期的に移動脱水車で脱水をしてから搬出される。

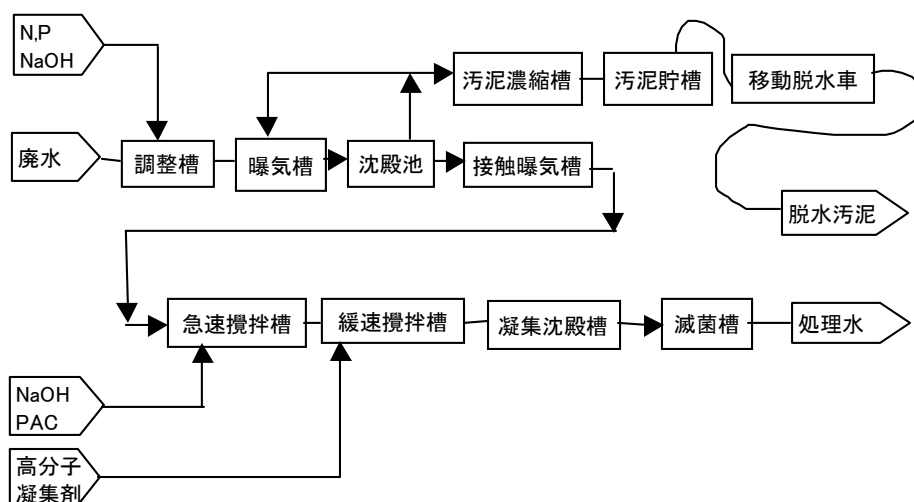


図3-8-3 菓子製造工場廃水処理設備のフロー

(3) 処理結果

本設備の廃水量、水質の季節変動は大きく、調整槽出口の BOD 濃度は2, 0 0 0 ~ 4, 5 0 0 mg / ℓの変動があるが、沈殿池出口では常時 BOD 5 ~ 3 0 mg / ℓ、COD_{Mn} 2 0 ~ 4 0 mg / ℓが得られる。最終処理水の BOD は2 ~ 1 5 mg / ℓ、COD_{Mn} 1 0 ~ 2 5 mg / ℓが得られ、緊急用の凝集沈

殿槽を使う事態は発生していない。果肉ゼリー廃水の栄養バランスは $BOD : N : P = 100 : 0.4 : 0.1$ 、カステラ廃水が $BOD : N : P = 100 : 0.2 : 0.1$ でいずれも N、P が不足する。本設備は浄化槽排水を受け入れることによって、窒素、リンの添加量の削減を図っている。さらに BOD の汚泥転換率と必要栄養塩の関係より N、P の添加量の管理を行っており、運転費の削減と富栄養化防止を図っている。例えば通常操業期には汚泥負荷が低くなり、汚泥転換率が 0.2 以下になれば栄養塩の添加は行っていない。

8.3 運転管理における留意点

糖類を多く含む廃水の活性汚泥処理においては、多糖類の蓄積による粘性バルキングが発生し、沈殿池における汚泥の分離が困難となることが一般的に多い。糖類が原因でバルキングを起しやすい菓子製造、製パン、果汁製造などの廃水を、好気性菌を用いて生物処理する場合のバルキング防止対策は、設備面と運転面の両面から考えられる。設備的には曝気槽に基質濃度勾配をつけるプラグフロー方式の採用や、嫌気部を設ける回分式活性汚泥法などがある。運転管理上からはバルキング誘引糸状菌の比増殖速度が他の細菌より遅いので、フロック形成菌の増殖速度を速める適正 BOD - MLSS 負荷 ($0.2 \sim 0.4 \text{ kg BOD} / \text{kg MLSS} \cdot \text{d}$) になるように MLSS 濃度を調整することや、曝気槽内の溶存酸素がゼロになったり過曝気にならないように曝気量を調節することでバルキングの防止ができる。本設備は実際にプラグフロー方式の採用と、曝気槽の各段の溶存酸素を一定レベルに保持するテーパードエアレーションを行ってバルキングの発生を防いでいる。また、二段目の接触曝気槽は糸状菌を保持し、沈殿池への流出を防ぐので、バルキング防止には有効な手段と考えられる。

参考文献

- 1) 大西正人：食品工場排水の最適処理ハンドブック、p.351、サイエンスフォーラム（2002）