



日本中央競馬会
特別振興資金助成事業

家畜汚水処理施設設計・維持管理マニュアル

畜産環境対策技術総合設計基準調査普及事業

令和4年3月



一般財団法人 畜産環境整備機構

はじめに

本マニュアルは、養豚および酪農において発生する液状排せつ物(汚水)の処理に関する手引き書である。養豚における豚舎汚水の浄化処理技術について、また酪農における牛舎汚水および搾乳関連排水の浄化処理技術とふん尿混合スラリーの液肥化およびメタン発酵技術について、設計と維持管理の手法を記載した。

家畜汚水浄化処理施設の設計等に際しては、これまで「家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術」(畜産環境整備機構 2004)が広く利用されてきたが、水質規制の変化や新たな技術展開があり、現在では情報の不足する面も出てきている。特に、水質汚濁防止法に基づく硝酸性窒素等の規制において、畜産農業の暫定規制値が逐次強化されつつあり、硝酸性窒素等の低減に向けて改善を進めることが畜産業全体の責務となっていることから、本マニュアルは窒素除去技術の理解促進を重要な目的の一つとした。

また、酪農においては搾乳関連排水(パーラー排水など)の浄化処理が徐々に件数が増加しつつある中で、設計諸元の必要性も増してきている。

さらに、養豚、酪農のどちらにおいても膜分離を導入した汚水浄化処理施設の割合が増えつつある。このことから、膜分離技術についての解説も新たに加えた。

本マニュアルの全文は本機構ホームページにオンライン版として掲載予定である。今後想定される内容の修正・変更についてはオンライン版に随時反映し、変更箇所を明示することとしているので、本書をご利用の際にはオンライン版もご確認頂くようお願いいたします。

本マニュアルは、日本中央競馬会の特別振興資金助成事業の支援を受け作成いたしました。ここに謝意を表します。

令和4年3月

一般財団法人 畜産環境整備機構

本書の利用にあたっての留意事項

1. 本書に記載した事項について今後、修正が必要になる点も出てくる可能性がある。また、規制基準値等は今後変化することが予想される。このため、畜産環境整備機構のホームページに掲載するオンライン版は必要に応じて内容修正を行うとともに、修正点を明示する。本書の利用にあたっては、オンライン版も確認いただきたい。
2. 新技術の章では本格普及には至っていない技術も紹介した。掲載の選定条件としては、①技術内容が公表されていること、②複数の実施例があること、③導入を請け負う会社があること、の3点とした。これらの条件には合致しないものの、注目される新技術については、参考情報としてコラムで紹介した。
3. 処理施設の設計は本書に示した手法に限られるものではない。ただし、基本原理を逸脱していないかどうか慎重な検討が重要である。
4. 本書に掲載した設計事例は実績の豊富なメーカーにより作成されたものである。紹介した事例以外にも多くの形式の汚水処理施設がある。各処理施設の特徴はそれぞれ異なることから、農場の状況に合致した施設の選定が肝要である。

目 次

第1章 汚水処理にかかわる法律	1
§ 1-1 汚水処理関連法体系	3
§ 1-2 家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律	4
§ 1-3 水質汚濁防止法の基本	6
§ 1-4 汚水処理施設設置等の手続き	7
§ 1-5 排水基準値	8
・コラム：硝酸性窒素等の規制目的	10
・コラム：窒素化合物の名称	11
・コラム：養豚排水の銅・亜塩濃度	12
・コラム：排水量と水質規制の関係	13
§ 1-6 排出水の自主測定義務	14
・コラム：水質測定の公定法・環境計量証明とは	15
§ 1-7 浄化処理施設の固定資産税軽減措置	16
第2章 汚水処理にかかわる基本事項	19
§ 2-1 家畜排せつ物中の汚濁物質量	21
§ 2-2 汚水の成分と除去の原理	23
§ 2-3 生物処理の原理	25
§ 2-4 汚水処理の基本用語	26
第3章 養豚汚水処理	27
§ 3-1 汚水処理施設の対象頭数の算定	29
§ 3-2 ふん尿分離式豚舎の場合の汚水量	30
§ 3-3 ふん尿分離式豚舎における生物化学的酸素要求量 (BOD) 負荷量原単位	32
§ 3-4 ふん尿分離式豚舎における浮遊物質 (SS) 負荷量原単位	34
§ 3-5 ふん尿分離式豚舎における窒素 (N) 負荷量原単位	36
§ 3-6 ふん尿分離式豚舎におけるりん (P) 負荷量原単位	37
・コラム：汚水の量と水質の季節変動	38
§ 3-7 ふん尿混合式豚舎の汚水処理施設設計に使用する汚濁物負荷量と汚水量	39
・コラム：汚水の濃度と水量	40
・コラム：給餌方式が汚水水質に与える影響	41
§ 3-8 汚水処理の基本工程	42
§ 3-9 汚水貯留槽	44
§ 3-10 篩別による夾雑物の除去	45
§ 3-11 汚水の凝集分離処理（前搾り）	46
§ 3-12 生物処理（活性汚泥法）の概要	47

・コラム：活性汚泥微生物は特別な種類なのでしょうか？	48
§ 3-13 活性汚泥法反応槽	49
・コラム：反応槽容積のおおよその目安	52
・コラム：反応槽の水温	53
・コラム：曝気槽の異常発泡	54
§ 3-14 沈殿分離槽（最終沈殿槽）	55
§ 3-15 膜分離活性汚泥法	56
・コラム：分離膜の寿命	59
・コラム：外付け型膜分離法	60
§ 3-16 放流水の消毒	61
§ 3-17 余剰汚泥の脱水処理	62
§ 3-18 脱水処理に利用可能な凝集促進材	64
第 4 章 窒素除去技術	65
§ 4-1 窒素除去の原理	67
§ 4-2 間欠曝気法	69
§ 4-3 循環式硝化脱窒法	79
§ 4-4 メタノール添加による窒素除去法	87
・コラム：その他の窒素除去法	92
第 5 章 高度処理技術	93
§ 5-1 りん除去の原理	95
§ 5-2 凝集沈殿法によるりん除去	97
・コラム：ドロマイト石灰によるりん除去	99
§ 5-3 色度除去の基本	100
§ 5-4 オゾン酸化法による色度除去	101
§ 5-5 活性炭吸着法による色度除去	102
・コラム：処理水の着色はどんな成分？	103
・コラム：ドロマイト石灰による色度除去	104
第 6 章 施設の維持管理	105
§ 6-1 浄化処理施設維持管理の基本事項	107
§ 6-2 維持管理の重要ポイント	109
§ 6-3 浄化処理施設の管理委託	110
・コラム：遠隔管理システムの利用	111
§ 6-4 汚水 BOD / N 比の調整	112
§ 6-5 活性汚泥濃度 (MLSS) の調整	113
・コラム：活性汚泥濃度 (MLSS) の自動制御技術	114
§ 6-6 曝気槽の溶存酸素濃度 (DO) の調整	115
・コラム：過曝気とは	116

・コラム：酸化還元電位（ORP）による曝気槽の管理	117
§ 6-7 硝化活性の維持	118
§ 6-8 脱窒活性の維持	120
§ 6-9 処理水質の把握	121
・コラム：スケール発生トラブル	123
・コラム：汚水処理からの悪臭発生防止	124
第 7 章 酪農汚水の処理	125
§ 7-1 乳牛排せつ物中の汚濁負荷量	127
§ 7-2 酪農汚水の負荷量原単位	128
・コラム：生乳中の汚濁物質量	131
§ 7-3 搾乳関連排水の処理	132
・コラム：搾乳関連排水の低コスト処理	137
§ 7-4 牛舎汚水の処理	138
第 8 章 酪農用メタン発酵技術	143
§ 8-1 メタン発酵（嫌気性処理）技術の基本	145
§ 8-2 メタン発酵消化液の液肥利用	147
§ 8-3 メタン発酵施設設計の基本	148
第 9 章 汚水処理新技術事例	155
§ 9-1 BOD 制御による省エネ型のスマート排水処理	157
§ 9-2 炭素繊維による窒素除去促進法	159
§ 9-3 硫黄脱窒法	161
§ 9-4 アミノ酸バランス飼料による窒素排せつ量低減	164
第 10 章 養豚汚水処理施設のメーカー設計事例	167
§ 10-1 循環式硝化脱窒法（肥育豚 2000 頭規模）	169
§ 10-2 循環式硝化脱窒法（肥育豚 5000 頭規模）	174
§ 10-3 回分式 OD 法（神奈川方式）（肥育豚 2000 頭規模）	179
§ 10-4 膜分離方式循環式硝化脱窒法（中空糸膜方式）（肥育豚 2000 頭規模）	184
§ 10-5 膜分離方式循環式硝化脱窒法（中空糸膜方式）（肥育豚 5000 頭規模）	189
§ 10-6 膜分離活性汚泥法（平膜方式）（肥育豚 2000 頭規模）	194
§ 10-7 膜分離活性汚泥法（平膜方式）（肥育豚 5000 頭規模）	200
§ 10-8 複合ラグーン方式（肥育豚 2000 頭規模）	207
§ 10-9 複合ラグーン方式（肥育豚 5000 頭規模）	213
第 11 章 酪農汚水処理施設のメーカー設計事例	219
§ 11-1 パーラー排水処理施設（膜分離活性汚泥法）（搾乳牛 200 頭規模）	221
§ 11-2 搾乳関連排水処理施設（膜分離活性汚泥法）（搾乳牛 1000 頭規模）	225

第12章 酪農用メタン発酵施設のメーカー設計事例	231
§12-1 個別型・湿式（搾乳牛200頭規模）	233
§12-2 個別型・湿式（搾乳牛300頭規模）	235
§12-3 個別型・湿式（搾乳牛500頭規模）	237
§12-4 個別型・湿式（搾乳牛600頭規模）	240
§12-5 共同利用型・湿式（搾乳牛1500頭規模）	243
§12-6 共同利用型・湿式（搾乳牛3000頭規模）	246
§12-7 個別型・乾式（搾乳牛100頭規模）	249
第13章 用語解説	253

第1章

汚水処理にかかわる法律

第 1 章のポイント

家畜排せつ物の処理に係る施設整備と稼働については、関連法令を遵守しなければならない。特に、公共水域（河川・湖沼・海域）への放流を伴う污水处理では水質汚濁防止法と条例で定められた水質基準値の順守が事業者としての義務になる。これらの法律の概要を解説する。

§ 1-1 汚水処理関連法体系

要点 「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」が平成 11 年(1999 年)に制定、施行されて以降 20 年余の間に同法の趣旨に合致した諸技術が導入され畜産環境対策の柱になってきた。一方、同法以外にも下記の法律が汚水処理分野に関係する。

1. 環境基本法
2. 水質汚濁防止法
3. 悪臭防止法
4. 大気汚染防止法
5. 廃棄物の処理及び清掃に関する法律

解説

1) 環境基本法

環境保全に関連する法体系において、基本的事項を定めているのが環境基本法である。環境基本法は、第 1 条(目的)において、「環境の保全について、基本理念を定め、並びに国、地方公共団体、事業者及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ることにより、環境の保全に関する施策を総合的かつ計画的に推進」する旨規定している。第 8 条において、「事業者は、基本理念にのっとり、その事業活動を行うに当たっては、これに伴って生ずるばい煙、汚水、廃棄物等の処理その他の公害を防止」する責務を有していると規定している。また、第 16 条(環境基準)において、「政府は、大気汚染、水質汚濁、土壌汚染及び騒音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、及び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を定めるものとする」としており、本規定に基づき水質汚濁に係る基準等各種の環境基準が定められているところである。更に、第 21 条において、国は環境の保全上の支障を防止するための規制の措置を講じなければならない旨規定しており、これを受けて水質汚濁防止法等個別の規制法が整備されている。

2) 個別の規制法

環境に関する個別の規制法としては、①水質に関連するものとして、水質汚濁防止法、湖沼水質保全特別措置法、特定水道利水障害の防止のための水道水源水域の水質の保全に関する特別措置法、②悪臭に関連するものとして、悪臭防止法、③大気汚染に関連するものとして、大気汚染防止法、④廃棄物に関連するものとして、廃棄物の処理及び清掃に関する法律等がある。これらはいずれも畜産に関連の深いものである。

§1-2 家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律 (略称「家畜排せつ物法」)

要点 家畜排せつ物は、野積みや素堀といった不適切な管理によって、悪臭の発生要因となる、河川や地下水へ流出して水質汚染を招くなど、環境問題の発生源となる。一方で、堆肥化など適切な処理を施すことによって、土壌改良資材や肥料として農村地域における貴重な資源としての側面も有する。このため、野積み・素堀を解消し家畜排せつ物の管理（処理や保管）の適正化を図りつつ、家畜排せつ物の利用促進を図ることにより健全な畜産業の発展に資する目的で、「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」が平成11年に制定、施行された。同法では、家畜排せつ物管理施設の管理基準が定められており、汚水処理に関連する基準としては、「液状の家畜排せつ物の管理施設は、不浸透性材料で築造した貯留槽とすること」とされている。すなわち、過去に見られたような素堀池に汚水等を貯留する行為は禁止されている。また、施設の管理の方法に関する基準も定められている。

解説

家畜排せつ物法では、排せつ間もないふん尿だけでなく、稲わら等との混合物、乾燥物、発酵後のたい肥や液肥といったものまでを含めて「家畜排せつ物」として取り扱うこととしている。理由は、たい肥とふん尿の区別が困難な場合があること、ふん尿のみならずたい肥等についても不適切な管理によって畜産環境問題を引き起こす恐れがあるためである（農林水産省 HP 家畜排せつ物法管理基準と施行状況より抜粋）。

家畜排せつ物法に基づく管理基準は以下のように規定されている。

○施行規則第1条第1項第1号

たい肥舎その他の家畜排せつ物の処理又は保管の用に供する施設（以下「管理施設」という。）の構造設備に関する基準

イ 固形状の家畜排せつ物の管理施設は、床を不浸透性材料（コンクリート等汚水が浸透しないものをいう。以下同じ。）で築造し、適当な覆い及び側壁を設けること。

ロ 液状の家畜排せつ物の管理施設は、不浸透性材料で築造した貯留槽とすること。

○施行規則第1条第1項第2号

家畜排せつ物の管理の方法に関する基準

イ 家畜排せつ物は管理施設において管理すること。

ロ 管理施設の定期的な点検を行うこと。

ハ 管理施設の床、覆い、側壁又は槽に破損があるときは、遅滞なく修繕を行うこと。

ニ 送風装置等を設置している場合は、当該装置の維持管理を適切に行うこと。

ホ 家畜排せつ物の年間の発生量、処理の方法及び処理の方法別の数量について記録すること。

家畜排せつ物法の管理基準

～ 管理基準の概要 ～

1 管理施設の構造設備に関する基準

- ① 固形状の家畜排せつ物の管理施設は、**床を不浸透性材料（コンクリート等）**で築造し、**適当な覆い及び側壁**を設けること。
- ② 液状の家畜排せつ物の管理施設は、**不浸透性材料で築造した貯留槽**とすること。

2 家畜排せつ物の管理の方法に関する基準

- ① 家畜排せつ物は**管理施設において管理**すること。
- ② 管理施設の**定期的な点検**を行うこと。
- ③ 管理施設の床、側壁等に破損があるときは**遅滞なく修繕**を行うこと
- ④ 家畜排せつ物の年間の発生量、処理の方法等について**記録**すること。

管理基準の適用対象外
 牛又は馬 10頭未満
 豚 100頭未満
 鶏 2,000羽未満



農水省 HP 「畜産環境をめぐる情勢 令和3年12月」より抜粋

<https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/attach/pdf/index-73.pdf>

【参考資料】

1) 家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律

https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/t_mondai/03_about/pdf/1_law2_2.pdf

2) 家畜排せつ物法管理基準と施行状況

https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/t_mondai/04_zyokyo/index.html

3) 家畜排せつ物法に基づく管理基準

https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/t_mondai/04_zyokyo/pdf/1_standard.pdf

§1-3 水質汚濁防止法の基本

要点 工場及び事業場から公共用水域に排出される水の排出及び地下に浸透する水の浸透を規制すること等によって、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等を目的とする旨が規定されている。

水質汚濁防止法では汚水を発生する各種施設を「特定施設」として指定し、この特定施設を設置する事業者（「特定事業場」）は管轄自治体に届出を行わねばならない。特定事業場には排水量や放流先水域に応じて水質規制が課せられる。畜産関連の特定施設としては、総面積 50 平方メートル以上の豚房、総面積 200 平方メートル以上の牛房、および総面積 500 平方メートル以上の馬房が指定されている。

畜種	特定施設の要件	参考（飼養規模）
豚	総面積50㎡以上の豚房施設 (湖沼法地域は40㎡以上)	肥育豚65頭程度以上
牛	総面積200㎡以上の牛房施設 (湖沼法地域は160㎡以上)	成牛35頭程度以上
馬	総面積500㎡以上の馬房施設 (湖沼法地域は400㎡以上)	成馬50頭程度以上

解説

公共用水域（河川、湖沼、港湾、沿岸海域その他公共の用に供される水域等）へ排水する場合、水質汚濁防止法に基づく排水基準値をクリアする必要がある。畜産農業の場合は、上記に示したいずれかに該当する飼養施設を有する事業場（特定事業場）が対象となる。

排水基準には様々な項目が定められているが、畜産農業に関連する項目は次のとおりである（詳細は自治体に照会のこと）。

(1) 有害物質（全ての特定事業場が対象）

畜産分野では「アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物及び硝酸化合物」（以下「硝酸性窒素等」と略す）

(2) その他の項目（1日当たりの平均的な排出水量 50 m³以上の特定事業場が対象）

生物化学的酸素要求量（BOD）又は化学的酸素要求量（COD）、浮遊物質（SS）、大腸菌群数、窒素含有量、リン含有量など。

各項目の排水基準値は「§1-5 排水基準値」参照のこと。

§1-4 汚水処理施設設置等の手続き

要点 水質汚濁防止法では、総面積 50 平方メートル以上の豚房、および総面積 200 平方メートル以上の牛房を設置する場合には届出を行う必要がある。この届け出においては、汚水を処理して放流する場合に「汚水等の処理の方法」も記載する必要がある。この届出は事業者としての義務である。

解説

水質汚濁防止法では、汚水を発生する各種施設を「特定施設」として指定し、この特定施設を設置する事業者（「特定事業場」）は管轄自治体に工事实施の 60 日前までに届出を行うこととしている。

設置時に必要な書類は表 1 に示した。書類には処理施設の構造等に係るものも含まれる。また、設置後に特定施設の構造や排水量を変更する場合には変更の届出、施設廃止時には使用廃止届が必要である。

表 1. 水質汚濁防止法に基づく届出に必要な書類

資料番号	資料の名称
資料 1	農場案内図
資料 2	特定施設等・汚水等の処理施設及びこれらに関連する主要施設の配置図
資料 3	特定施設等の構造図・仕様書・カタログ類
資料 4	特定施設等を含む操業の系統
資料 5	用水及び排水の系統図
資料 6	汚水等の処理施設の構造図・仕様書・カタログ類
資料 7	汚水等の処理の系統
資料 8	汚水等の処理施設の設計計算書

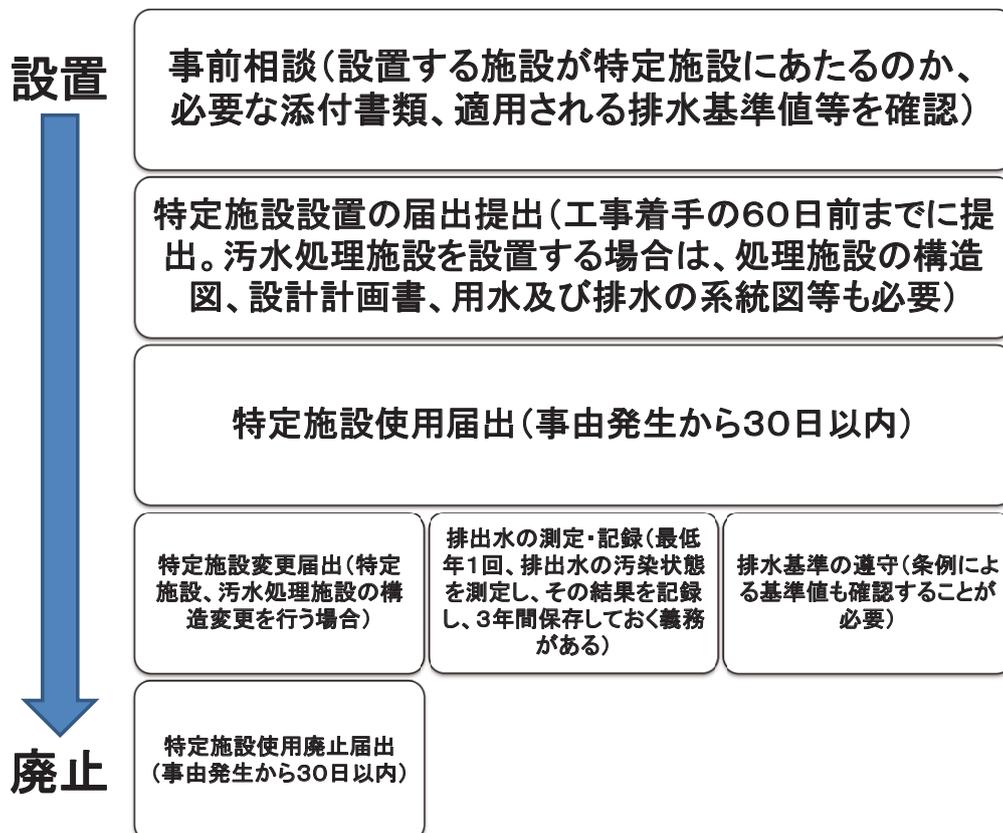


図 1. 水質汚濁防止法に基づく手続きの流れ

§1-5 排水基準値

要点 水質汚濁防止法の特定事業場に該当し、処理された汚水（排水）を排出する場合は、水質汚濁防止法で定められた排水基準、および各自治体の条例で定められた上乗せ排水基準を遵守しなければならない。水質汚濁防止法で排水基準の適用される成分は「有害物質」（人の健康に係る被害を生ずるおそれのある物質）と「その他の項目」の2種類に分けられ、それぞれの基準値は以下のとおりである。有害物質は排水量に関係なく適用されるが、その他の項目は日排水量が 50 m³以上に限って適用される。なお、上乗せ基準は地域により異なる。

表 1. 有害物質の排水基準値（畜産に関係する項目のみを示す）

項目	排水基準	備考
アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物及び硝酸化合物 (略称：硝酸性窒素等)	100 mg/L (畜産農業に対しては令和 4 年 6 月末まで 500 mg/L の暫定排水基準値が適用される。それ以降は現時点では未定。)	「アンモニア性窒素×0.4 + 亜硝酸性窒素 + 硝酸性窒素」の計算式で濃度を算出。

表 2. その他の項目の排水基準値

項目	排水基準	備考
水素イオン濃度 (pH)	5.8~8.6	海域に排出される場合 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)	海域及び湖沼以外の公共用水域に排出される排水に限って適用される
化学的酸素要求量 (COD)	160 mg/L (日間平均 120 mg/L)	海域及び湖沼に排出される排水に限って適用される
浮遊物質 (SS)	200 mg/L (日間平均 150 mg/L)	
大腸菌群数	3000 個/cm ³	日間平均
窒素	120 mg/L (日間平均 60 mg/L) (環境大臣が定める湖沼、海域及びこれらに流入する公共用水域に排出される排水に限って適用される)	畜産農業（豚房を有するものに限る）に対しては 130mg/L の暫定排水基準が設定されている。（令和 5 年 9 月末日まで）
磷	16 mg/L (日間平均 8 mg/L) (環境大臣が定める湖沼、海域及びこれらに流入する公共用水域に排出される排水に限って適用される)	畜産農業（豚房を有するものに限る）に対しては暫定排水基準の 22mg/L が設定されている。（令和 5 年 9 月末日まで）
銅	3 mg/L	
亜鉛	2 mg/L	

解説

排水基準は公共用水域に処理水を排出する場合に限って適用される。したがって、汚水または処理水を全量圃場還元している場合には適用されない。法律上の公共用水域とは、「①河川、湖沼、港湾、沿岸海域その他公共の用に供される水域」および「② ①に接続する公共溝渠、かんがい用水路その他公共の用に供される水路」とされている。河川等に流れ込む道路

側溝も公共用水域として取り扱われる（環境庁水質保全局、1996）。

「アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物及び硝酸化合物」（略称：硝酸性窒素等）の項目については、人の健康に係る被害を生ずるおそれのあることから、水質汚濁防止法の特定事業場に該当し排水を放流するすべての農場に適用される。

硝酸性窒素等の一般基準は 100mg/L であるが、畜産では現状の処理技術において達成が困難とされることから、暫定基準として 500mg/L（令和 4 年 6 月まで適用。その後は執筆時点では未定）が設けられている（図 1）。暫定基準は 3 年ごとに見直しがなされてきた。一般基準の遵守を目指した水質向上が畜産農業の課題となっている。

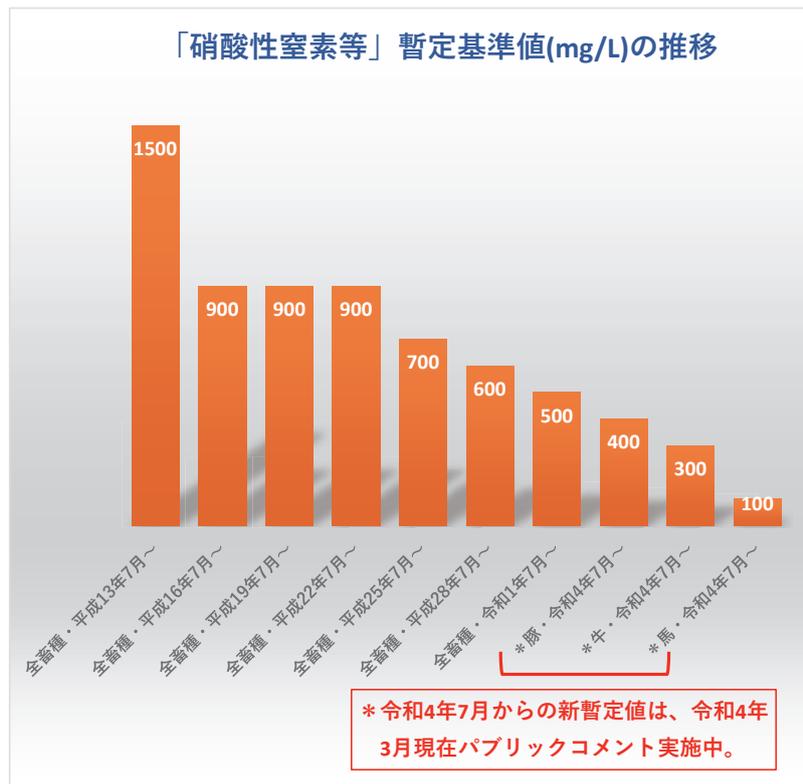


図 1. 水質汚濁防止法による硝酸性窒素等の暫定基準の推移

【参考資料】

環境庁水質保全局（1996）逐条解説水質汚濁防止法．中央法規出版株式会社．



コラム：硝酸性窒素等の規制目的

硝酸性窒素等（「アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物及び硝酸化合物」の略称）は水質汚濁防止法では有害物質とされています。肥料成分として重要な窒素化合物が有害物質というのは不思議な感じですが、飲料水の硝酸濃度が高いと乳幼児にブルーベビー症候群という病気が起こることがあるという事実に基づいています。

このため、飲料水については、硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素の合計量として 10mg/L 以下、亜硝酸態窒素として 0.04mg/L 以下と定められています。これを受けて、全公共用水域および地下水の環境基準でも、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素の濃度は 10mg/L 以下と定められています（「～性窒素」と「～態窒素」は同じ意味です）。

排水基準は環境基準の 10 倍に設定される場合が多いことから、硝酸性窒素等の排水基準は一般基準として 100mg/L と決められました。畜産では窒素化合物を高濃度に含む特性から、現状では一般基準の達成が困難とされ、暫定基準値が適用されていますが、早期に 100mg/L を達成するよう求められています。

硝酸と亜硝酸が有害とされる一方で、アンモニウム化合物は有害でないのになぜ「硝酸性窒素等」に含まれているのでしょうか。それは、アンモニウム化合物は水域に排出された後に自然界に生息する硝化細菌により硝酸または亜硝酸に酸化されるためです。0.4 をかける理由は、「規制すべきは硝酸と亜硝酸で、アンモニアは環境中で容易に硝化脱窒され、中間生成物として亜硝酸や硝酸が生成される。そこで、実測データを元にアンモニア性窒素濃度の 0.4 倍を加算することとした。」という経緯があるようです。

【参考資料】

内閣府：食品安全委員会食品安全総合情報システム。

<http://www.fsc.go.jp/fsciis/questionAndAnswer/show/mob07009000002>

環境省：地下水の水質汚濁に係る環境基準について。

<http://www.env.go.jp/kijun/tika.html>

環境省：水質汚濁に係る環境基準。 <http://www.env.go.jp/kijun/mizu.html>

日本下水道事業団技術開発本部。いまさら訊けない下水道講座 27. <アンモニアは悪くない！>。

<https://www.jswa.go.jp/g/g5/g5m/mb/html/m70.html>





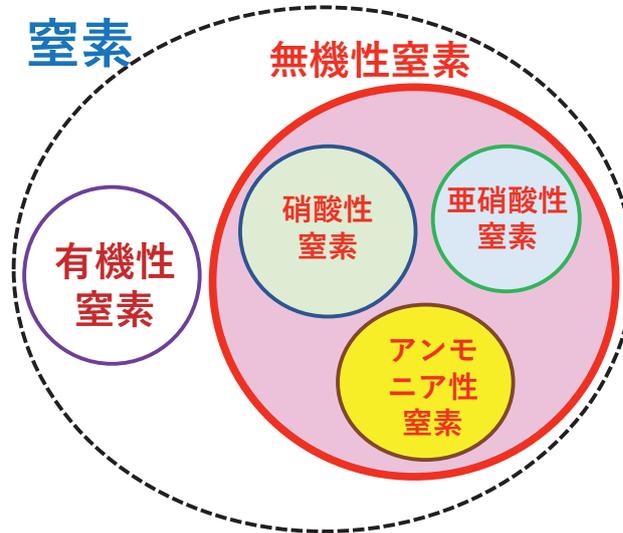
コラム：窒素化合物の名称

窒素化合物の呼び方は混同しやすいので、ここで整理をしておきます。
まず、排水に含まれる窒素化合物は、有機性窒素、アンモニア性窒素 (NH₄-N)、亜硝酸性窒素 (NO₂-N)、硝酸性窒素 (NO₃-N) の4種類です。「～性窒素」の代わりに「～態窒素」と記す場合もありますが、どちらでも意味は同じです。

「硝酸性窒素等」は、水質汚濁防止法の規制項目である「アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物及び硝酸化合物」の略称です。硝酸性窒素等はアンモニア性窒素の0.4倍に亜硝酸性窒素と硝酸性窒素を足し合わせて算出します。

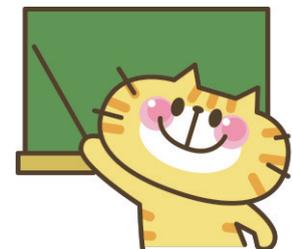
水質汚濁防止法では「窒素」という規制項目もありますが、「窒素」は図1に示すように、有機性窒素、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素を単純に合計したものです。

くどいようですが、「硝酸性窒素」、「硝酸性窒素等」、「窒素」はそれぞれ別の意味になりますので、混同しないようにご注意ください。



***注：水質汚濁防止法の規制項目である「アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物及び硝酸化合物」（略称：硝酸性窒素等）の濃度(mg/L)は、【アンモニア性窒素×0.4+亜硝酸性窒素+硝酸性窒素】の式で算出することが定められています。**

図1. 窒素化合物の名称





コラム：養豚排水の銅・亜鉛濃度

養豚用飼料には、成長促進、整腸、皮膚病予防などを目的として、亜鉛および銅が添加されることがあります。このため、汚水中には一定程度の亜鉛と銅が含まれます。

鈴木ら(2008)の調査によると、汚水中の平均濃度は亜鉛3.70mg/L及び銅1.84mg/Lで大部分が懸濁態であったと報告されています。また、汚水処理でのSS除去とともに濃度は低下し、処理水の平均濃度は亜鉛0.27mg/L及び銅0.14mg/Lで、基準値以下であったとされています。

また、鈴木ら(2009)は、処理水中に硝酸性窒素や亜硝酸性窒素($\text{NO}_x\text{-N}$)が過剰に蓄積しpHが低下すると、基準値を超過するほどではないものの処理水中の溶存態亜鉛濃度が高まるが、 $\text{NO}_x\text{-N}$ の蓄積を抑制しpH低下を防ぐと溶存態亜鉛濃度が低く保てるとしています。

飼料への過剰な亜鉛・銅の添加は、水質への影響ばかりでなく、堆肥の品質面でも問題になるので避けるべきです。

【参考資料】

鈴木良地・増田達明・中谷洋・原田英雄(2008) 愛知県内養豚浄化槽の排水中における亜鉛及び銅濃度. 愛知農総試研報 40:163-169

鈴木良地・増田達明・中谷洋・原田英雄(2009) 養豚浄化槽における亜鉛低減要因の解明. 愛知農総試研報 41:145-149.





コラム：排水量と水質規制の関係

水質汚濁防止法では、排水量（ $\text{m}^3/\text{日}$ ）によって異なった水質規制が適用されます。

ただし、硝酸性窒素等については有害物質に該当するため、わずかでも排水を放流する限り排水量に関係なく規制が適用されます。ただし、排水の全量を圃場還元していて放流量がゼロの場合は適用されません。

BOD、SSなどの「その他の項目」については、排水量が $50 \text{ m}^3/\text{日}$ 以上になると規制され、それ未満では適用外になります。

ただし、自治体の条例によって、項目によっては $50 \text{ m}^3/\text{日}$ 未満でも規制されている場合もありますので、詳細は各地域自治体の環境担当部局に確認してください。



§1-6 排水水の自主測定義務

要点 水質汚濁防止法に定める特定施設を設置し、排水基準が適用される事業場の設置者には、自らが排水水の汚染状態を少なくとも年に1回測定する義務と、測定結果の保存義務がある。違反した場合には罰則が適用されることがある。



解説

排水水（放流水）の水質を、1年1回以上、公定法により測定し、その結果を記録・保存することが義務づけられている。測定項目は、特定施設の届出書に記載されている項目である。硝酸性窒素等は必須項目である。なお、記録をしなかった場合等については罰則が適用される。

自主測定は排水の水質が最も悪い時に行うこととされている。また、分析は公定法により行う必要があるため、通常の場合は、計量法の登録を受けた計量証明事業者等に依頼する必要がある。計量証明登録がなされていない機関による公定法での分析結果については、水質測定記録表に加え、測定に伴い作成したチャートその他の資料が添付されていれば原則として有効となるが、この点の取り扱いについては自治体により異なるので管轄自治体に確認する必要がある。

測定結果は保管しておき、指示があった際には提示する必要がある。



コラム：水質測定 of 公定法・環境計量証明とは

水質汚濁防止法で定められた自主測定を行う場合、分析は「排水基準を定める省令の規定に基づく環境大臣が定める排水基準に係る検定方法」（環境庁告示 64 号）（これを公定法と呼びます）に掲載された手法で行う必要があります。

公定法は特殊な機器や知識が必要なため自前で行う事は困難ですので、通常は環境分析を専門とする会社に委託して分析することになります。このような会社は、環境計量士が在籍する環境計量証明事業の事業所として登録を受けていますので、測定結果には環境計量証明が添付され、その精度が保証されます。

一方で、法律に基づく自主測定ではなく、日常管理に必要な水質測定は、信頼できる会社であれば環境計量証明事業所でなくとも、また分析方法が公定法でなくとも問題ありません。また、本書で紹介した簡易法を利用して自前で大雑把に把握し参考にすることも選択肢になります。



§1-7 浄化処理施設の固定資産税軽減措置

要点 家畜汚水の処理施設とその関係資産は固定資産税の軽減特例が利用できる。

そのまま公共水域に放流すれば公害が生ずると認められる汚水を公害の生じない処理水にして排出するための汚水浄化処理施設が対象となる。

汚水処理用減価償却資産には、沈澱又は浮上装置、油水分離装置、汚泥処理装置、濾過装置、濃縮又は燃焼装置、蒸発洗浄又は冷却装置、中和装置、酸化又は還元装置、凝集沈澱装置、イオン交換装置、生物化学的処理装置、脱アンモニア装置、貯溜装置及び輸送装置並びにこれらに附属する電動機、ポンプ、配管、計測器その他の附属設備（汚水若しくは廃液の有用成分を回収すること又は汚水若しくは廃液を工業用水として再利用することを専らその目的とするものを除く。）が該当する。

解説

本軽減措置は水質汚濁防止法における暫定排水基準が適用されている畜産業等に対して適正な排水処理を促し、全業種で一般排水基準を遵守することにより、公共用水域における水質環境基準の達成・維持を目指した特例措置である。

環境対策設備の導入は事業者が取り組むべき課題の一つであるものの、環境規制は年々厳しくなっており、その都度、事業者には設備導入等の負担が生ずる。環境対策設備は非収益設備であることから、環境規制の円滑な施行の観点から、税制優遇措置が導入された。令和4年度からは、適用対象を暫定排水基準が適用されている事業者が取得する処理施設に限定した上、適用期限を2年延長することとなった。

新設施設が条件の税制特例処置であるが、詳細は担当窓口にお問い合わせのこと。

公害防止用施設(汚水又は廃液処理)に係る特例 《固定資産税》

1. 特例の対象者

公害防止用施設(汚水又は廃液処理)を設置した事業者等

2. 特例の内容

法律で定める公害防止用施設を設置した場合、課税標準に特例率を乗じることにより、固定資産税が軽減される特例が利用出来ます。

特例率は、2分の1を参酌して3分の1以上3分の2以下の範囲内において市町村の条例で定める割合です。

3. 特例の効果

【例】

対象施設の課税標準1,200万円、特例率1/2、税率1.4%の場合

〈通常の場合〉

〈特例措置の場合〉

16.8万円(1,200万円×1.4%)—8.4万円(1,200万円×1/2×1.4%)=8.4万円

8.4万円のメリット!!

4. 特例の対象となる施設

①水質汚濁防止法第2条第2項に規定する特定施設又は同条第3項に規定する指定地域特定施設を設置する工場又は事業場の汚水又は廃液の処理施設で、②総務省令で定めるもの。

①水質汚濁防止法に規定する施設	②総務省令で定める施設
<p>【特定施設】 水質汚濁防止法施行令第1条に規定する別表第1に掲げる施設。 別表第1の詳細は、以下のURL(環境省ホームページ)の「水質汚濁防止法施行令」を御覧ください。 http://www.env.go.jp/hourei/05/</p> <p>【指定地域特定施設】 水質汚濁防止法施行令第3条の2に規定する処理対象人数が201人以上500人以下のし尿浄化槽。</p>	<p>沈澱又は浮上装置、油水分離装置、汚泥処理装置、濾過装置、濃縮又は燃焼装置、蒸発洗浄又は冷却装置、中和装置、酸化又は還元装置、凝集沈澱装置、イオン交換装置、生物化学的処理装置、脱アンモニア装置、貯溜装置及び輸送装置、以上の装置に附属する電動機、ポンプ、配管、計測器その他の附属設備</p> <p>注：汚水若しくは廃液の有用成分を回収すること又は汚水若しくは廃液を工業用水として再利用することを専らその目的とするものを除きます。</p>

(農林水産省 HP より関係部分を抜粋)

【参考資料】

1) 令和4年度税制改正事項 令和3年12月 農林水産省

<https://www.maff.go.jp/j/aid/attach/pdf/index-25.pdf>

(第3 農山漁村の環境対策・活性化の4項に記載)

第2章

汚水処理に係る基本事項

第2章のポイント

本章では、汚水処理の各論に入る前の基本事項として、各畜種の排せつ物量、畜産汚水
の特性、汚水浄化処理の基本原理を述べる。

なお、メタン発酵については該当の章を参照のこと。

§2-1 家畜排せつ物中の汚濁物質質量

要点 家畜排せつ物の処理と利用を考えるにあたり、処理すべきふん尿の発生量を正確に把握する必要がある。排出ふん尿の総量とともに、排出ふん尿中の窒素やリンなどの物質重量も、汚濁物質質量として把握が必要である。この算定に必要な、各畜種・各飼養段階における標準的な排せつ物原単位を表1に示した。

この原単位は、各家畜に標準的な飼料を給餌した条件での排せつ物中の有機物量や窒素含有量を算出している。この改定原単位は、温暖化対策の基本資料となる「日本国インベントリー」の温室効果ガス排出量の根拠としても使用されている。

表1. 家畜排せつ物中の汚濁物質質量（すべて実重量、白地は改定せず）

区分			排せつ物量(kg/頭/日)		窒素量(gN/頭/日)		リン量(gP/頭/日)	
			ふん	尿	ふん	尿	ふん	尿
乳用牛	搾乳牛	初産	42.9	18.7	163.6	101.0	42.4	1.3
		2産	46.7	17.1	185.5	104.5	47.1	1.3
		3産以上	48.2	16.9	194.7	96.4	47.4	1.3
	乾乳牛		28.4	15.3	85.2	101.4	16.4	1.2
	育成牛	2歳未満、7ヶ月以上	23.2	12.5	58.5	71.1	13.9	1.4
		月齢3～6ヶ月	15.9	5.1	24.9	44.2	5.3	1.4
肉用牛	肥育牛雄	1歳以上	10.8	7.1	59.1	71.9	17.8	0.7
		月齢7～12ヶ月	10.3	6.3	51.3	71.6	7.8	0.7
		月齢3～6ヶ月	3.1	3.0	20.7	48.2	3.3	0.7
	肥育牛雌	1歳以上	11.2	5.8	46.4	57.2	14.3	0.7
		月齢7～12ヶ月	8.2	5.4	42.7	60.4	8.1	0.7
		月齢3～6ヶ月	4.7	3.1	22.0	51.6	3.5	0.7
	繁殖雌牛	2歳以上	18.2	7.4	61.8	74.9	19.0	0.7
		月齢7～24ヶ月	14.2	6.8	56.2	70.6	11.9	0.7
		月齢3～6ヶ月	5.7	3.4	24.3	54.3	3.5	0.7
	乳用種	月齢7ヶ月以上	14.6	7.8	61.3	85.5	15.1	0.7
		月齢3～6ヶ月	8.2	4.0	31.8	61.8	4.6	0.7
	交雑種	月齢7ヶ月以上	14.4	7.7	60.2	83.0	15.1	0.7
月齢3～6ヶ月		9.7	4.2	33.2	65.8	4.6	0.7	
豚	肥育豚	1.7	3.9	14.2	25.0	7.3	2.4	
	繁殖豚	2.2	4.7	19.8	30.7	8.0	4.6	
採卵鶏	雛	0.041	-	0.99	-	0.20	-	
	成鶏	0.090	-	1.73	-	0.55	-	
プロイラー			0.085	-	1.45	-	0.50	-

	日本国イベントリで改訂済み(2019年度値)
	本事業で改訂
	日本国イベントリで改訂予定(2019年度値)

解説

本マニュアル策定に際して、これまでの原単位を全面的に改定して表1のように設定する。この新規原単位は、主に、日本飼養標準（乳牛2017年版、肉用牛2008年版、豚2013年版）と最近の文献に基づいて算定した。旧数値から新数値への変化の主因は、家畜改良や給餌飼料の栄養学的な改善などが挙げられる。

気候変動に関わる温室効果ガス（二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素等）は農業活動である畜産経営からも排出される。今回の新規設定の原単位では、UNFCCC（気候変動枠組条約）に規定された温室効果ガスの国内年間排出量算定との共通した算出基礎データとするため、

乳用牛と肉用牛の区分が細分化されている。算出方法の詳細は日本国インベントリ報告書の「第5章農業分野」を参照のこと。

なお、りんに関しては温室効果ガス排出との関係が少ないため、本マニュアル作製にあたって関係資料を精査して設定した。

参考

現時点まで利用されてきた排せつ物中汚濁物質量の原単位を下記表2に示した。

表2 従来使用されてきた家畜排せつ物中の汚濁物質量

築城幹典、原田靖生「家畜の排泄物量推定プログラム」(システム農学、1997)

区分		排せつ物量 (kg/頭/日)		窒素量 (gN/頭/日)		リン量 (gP/頭/日)	
		ふん	尿	ふん	尿	ふん	尿
乳用牛	搾乳牛	45.5	13.4	152.8	152.7	42.9	1.3
	乾乳牛	29.7	6.1	38.5	57.8	16.0	3.8
	育成牛	17.9	6.7	85.3	73.7	14.7	1.4
肉用牛	2歳以上	20.0	6.7	62.7	83.3	15.8	0.7
	2歳未満	17.8	6.5	67.8	62.0	14.3	0.7
	乳用種	18.0	7.2	64.7	76.4	13.5	0.7
豚	肥育豚	2.1	3.8	8.3	25.9	6.5	2.2
	繁殖豚	3.3	7.0	11.0	40.0	9.9	5.7
採卵鶏	雛	0.059	-	1.54	-	0.21	-
	成鶏	0.136	-	3.28	-	0.58	-
ブロイラー		0.130	-	2.62	-	0.29	-

【参考資料】

- 1) 日本国インベントリ報告書 <https://www.nies.go.jp/gio/archive/nir/index.html>
- 2) 築城幹典、原田靖生「家畜の排泄物量推定プログラム」、システム農学 (J.JASS)、13 (1)、17-23 (1997)

§ 2-2 汚水の成分と除去の原理

要点 汚水中の汚濁成分の種類と、それぞれの処理法は表 1 のとおりである。

表 1. 汚濁成分の種類と処理法

成分	略称	由来	処理法
浮遊物質	SS	こぼれ餌、未消化物、砂分	篩別、沈殿、膜分離、凝集分離
易分解性有機物	BOD	ふん、こぼれ餌	微生物分解
窒素	N	大部分がアンモニア（一部はタンパク質等の有機物にも含まれるが分解してアンモニアに変化する）	硝化菌による硝化後に脱窒細菌で脱窒
りん	P	大部分がりん酸イオン	必要に応じて無機凝集剤による凝集分離

解説

汚水中の汚濁成分を大別すると、浮遊物質、易分解性有機物、窒素、りに分けることができる。これらを除去するには、物理的処理、生物的処理、化学的処理を組み合わせることが不可欠である。これらの異種の技術のすべてが適正に機能しなければ良好な処理水は得られない。

成分	除去技術
浮遊物質	<p>物理的除去（篩別）の原理と篩別装置の事例</p>
易分解性有機物	<p>細菌 有機物を分解</p> <p>原生動物 細菌を捕食 濁度低減。フロック形成</p> <p>後生動物 フロックを捕食 することで汚泥 発生量低減</p> <p>活性汚泥法による生物学的除去</p>

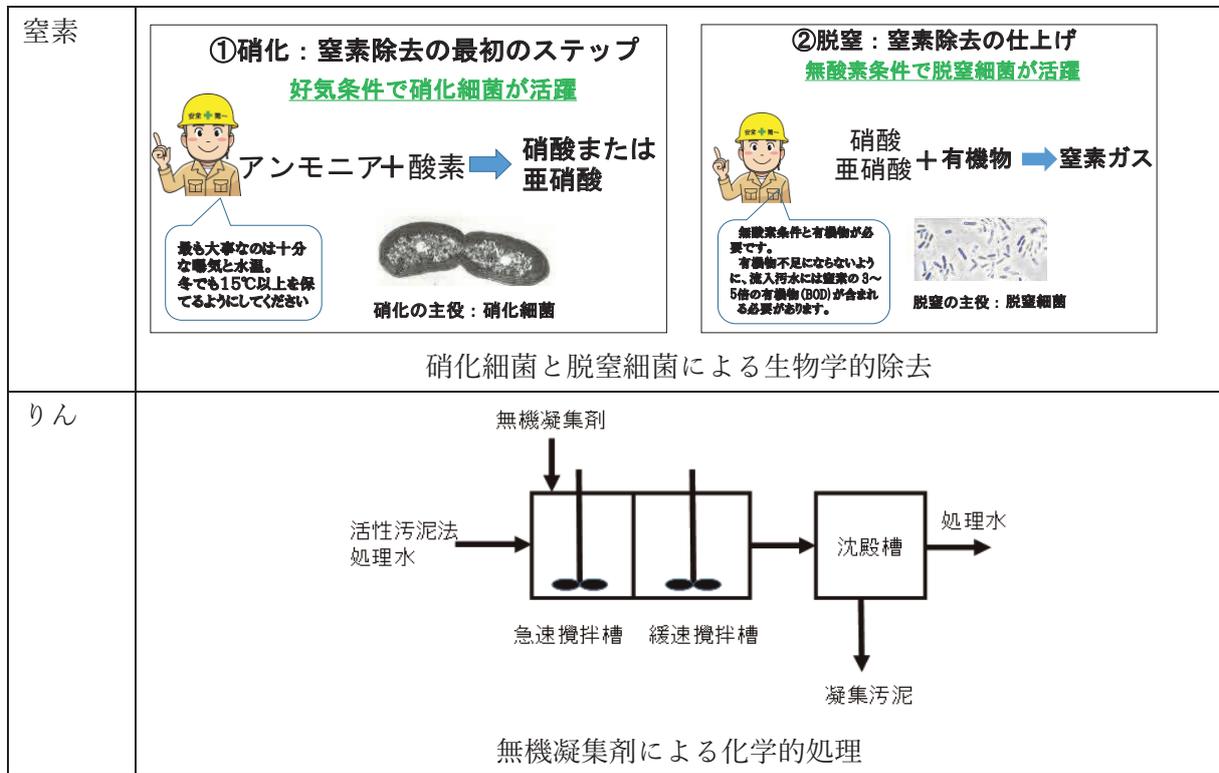
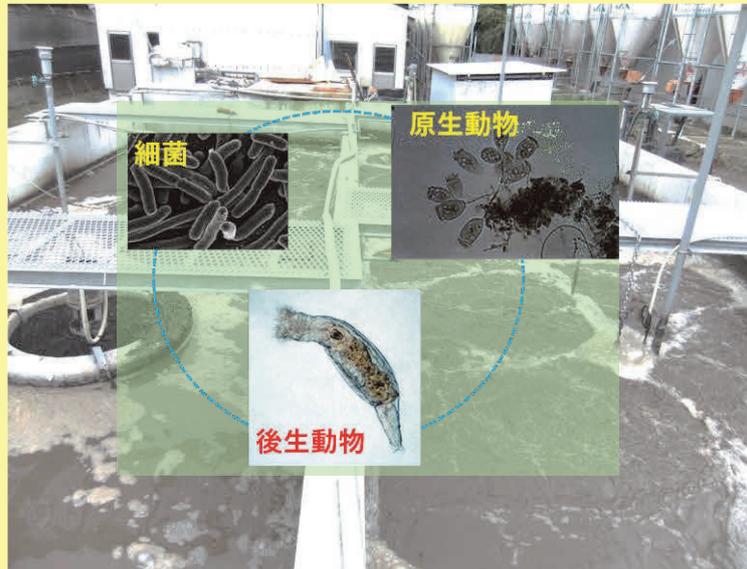


図1. 成分ごとの処理技術の原理

§ 2-3 生物処理の原理

要点 畜産の汚水処理では微生物を活用した活性汚泥法が一般的である。この方法では、浄化機能が高く、しかも沈降性の良好な微生物群を適正濃度に保ち、汚水を処理する。浄化を効率的に進めるためには細菌だけでなく、各種原生動物や後生動物も共存することが重要である。



解説

有機物を含む汚水を曝気し続けると、有機物を分解しながら微生物が増殖し、フロックと呼ばれる綿状の微細塊が水中に形成される。フロックは活性汚泥と呼ばれ、微生物の他に有機性・無機性の浮遊物、コロイドが加わり、分解作用とともに汚濁物の吸着作用も有する。

曝気してフロックに酸素を供給すると、有機物は酸化分解され炭酸ガスになり、アンモニアは亜硝酸や硝酸に変化する。次に曝気を停止して攪拌だけ行くと、亜硝酸・硝酸が窒素ガスに変化して窒素除去が完了する。

正常なフロックは、曝気や攪拌を停止すると速やかに沈殿する性質があり、浄化反応後にフロックを沈殿させると、清澄な上澄みが現れる。この上澄みを処理水として放流する。沈殿の代わりに分離膜でフロックをろ過して処理水を得る手法もある（膜分離活性汚泥法）。

浄化能力の高いフロック中には、細菌以外にも多様な原生動物や後生動物が共存している。これらの生物は細菌とともに浄化に寄与しており、顕微鏡観察によりこれらの生物の存在量を把握するとその施設において浄化が円滑に進んでいるかどうかを判断することができる。

汚水浄化処理は、ただ単に汚水に空気を吹き込めば良いということではない。浄化に効果の高い微生物を適量保持して活発に働かせることが基本である。

§ 2-4 汚水処理の基本用語

要点 本マニュアルでは汚水処理関連の基本用語を便宜的に表 1 のように定める。

表 1. 基本用語とその定義

名称		定義
汚水	生汚水	高分子凝集剤による分離処理を行っていない汚水
	凝集分離汚水	高分子凝集剤による分離処理（前搾り）を行った汚水
反応槽 (生物処理槽)	曝気槽	間欠曝気法、オキシデーショントッチ法、およびラグーン法の活性汚泥反応槽。
	好気槽 (硝化槽)	循環式硝化脱窒法において、硝化のために常時曝気を行う活性汚泥反応槽。
	無酸素槽 (脱窒槽)	循環式硝化脱窒法において、脱窒のため曝気を行わず攪拌のみ行う活性汚泥反応槽。溶存酸素は含まれないが、亜硝酸または硝酸イオンは存在する状態。
	嫌気槽	溶存酸素、亜硝酸、および硝酸のいずれも存在しない状態。汚水処理では、りん除去のための嫌気好気法の嫌気槽をこの状態にする。
凝集剤 (凝集促進材)	高分子凝集剤 (ポリマー)	主に汚水または余剰汚泥の凝集分離に使用される有機性高分子化合物からなる凝集剤。
	無機凝集剤	主にりんの凝集分離に使用されるアルミまたは鉄を含む化合物からなる凝集剤
汚水・処理水に加わる水分	混入水	畜舎内で非意図的に汚水に流入する水分。飲水器からのこぼれ水、遊び水、洗浄水、雨水等がある。
	投入水	活性汚泥処理を円滑に進めることを目的として、反応槽流入直前の汚水に添加する井戸水等の水分。
	希釈水	処理施設のトラブル時等に際して、放流直前の処理水に添加する井戸水等の水分。

解説

汚水処理で使用される用語の内重要なものについて表 1 のように整理した。

なお、本マニュアルにおいて便宜的に定めた用語もあり、すべてが一般的呼称というわけではない。

第 3 章

養 豚 污 水 处 理

第3章のポイント

本章では養豚汚水の浄化処理技術について具体的に解説する。旧マニュアル（畜産環境整備機構（2004）「家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術」）の内容を踏襲した部分も多いが、養豚汚水処理施設の設計の基礎となる汚濁物質負荷量原単位は近年の調査事例に基づき見直しを行った。また、窒素およびリンの汚濁物質負荷量原単位の数値は旧マニュアルでは記載されていなかったものである。

また、旧マニュアルでは内容的に不十分であった膜分離活性汚泥法について、近年の技術的進展と普及の拡大を背景に新たに解説を加えた。

§ 3-1 汚水処理施設の対象頭数の算定

要点 肥育豚（体重 70kg 前後）に換算した頭数を処理対象頭数とする。一貫経営の場合は、繁殖母豚数を 10 倍して処理対象肥育豚数に換算する。一貫経営以外の場合は、それぞれの農場の飼養状況に応じて表 1 によって肥育豚数に換算して合計する。（畜産環境整備機構, 2004）

表 1. 肥育豚への換算方法

種別	肥育豚換算頭数
哺乳中の子豚と母豚は合わせて	肥育豚 3 頭
離乳後体重 30～40kg 程度までの子豚	肥育豚 1/3 頭
繁殖豚（雄、雌どちらも）	肥育豚 2 頭

解説

浄化処理施設の規模算定を行なう場合、まず処理対象頭数を把握しなければならない。様々な成育段階（哺乳豚、子豚、肥育豚、繁殖豚）ごとに汚水量や汚濁物質排せつ量を設定するのは困難なため、処理施設の設計では肥育豚（体重 70kg 前後）に換算した頭数を基礎数値として用いる。

一貫経営の場合は、繁殖母豚数を 10 倍して肥育豚換算頭数とするが、一貫経営以外の場合は実際に飼養している各成育段階の頭数を表 1 により肥育豚に換算して合計した数値を肥育豚換算頭数とする。

【参考資料】

畜産環境整備機構（2004）家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術．財団法人畜産環境整備機構

§3-2 ふん尿分離式豚舎の場合の汚水量

要点 肥育豚 1 頭 1 日当たりの汚水量（単位汚水量）は、実態調査によると飼養条件や季節によって 5～30 L/頭/日の範囲で大きく変動する。一般に、汚水処理で窒素除去を効率よく進める観点から流入汚水の BOD/N 比は 3～4 の範囲になることが望ましいとされている（村田、1992）。調査によれば、市販配合飼料給与でふん尿分離式豚舎の場合、BOD/N 比が 3～4 になる確率の高い汚水量は表 1 の範囲である。この範囲を設計の目安とすることが妥当である。

なお、生活污水とは、豚舎から排出後バースクリーンなどによる異物除去以外には特段の処理を受けていない汚水をいう。凝集分離汚水とは、生活污水と余剰汚泥を汚水貯留槽に合流させた後に、高分子凝集剤添加の脱水分離処理を行った汚水をいう。なお、この脱水分離処理は「前搾り」「前分離」などと呼ばれる。

表 1. 肥育豚 1 頭 1 日あたりの汚水量の目安

汚水種別	単位汚水量 (L/頭/日)
生活污水	12～17
凝集分離汚水	13～17

解説

処理施設流入直前に井戸水等の清水を投入する場合は表 1 に投入量を加算する必要がある。この場合、水量が増えて汚濁物質の濃度は低下しても、汚濁物質の量や BOD/N 比は変わらない。

6 農場での生活污水、7 農場での凝集分離汚水の調査によると、BOD/N 比と K⁺濃度の間には図 1 のような関係があった。一方、尿中カリウム排せつ原単位は 9.2 g/頭・日と報告されている（荻野ら、2019）。よって、図 1 より BOD/N 比 3～4 の範囲に入る K⁺濃度のデータを抽出し、単位汚水量を下式から算出した。

$$\text{単位汚水量 (L/頭・日)} = 9.2 \div \text{汚水中 K}^+\text{濃度 (g/L)}$$

求めた単位汚水量の累積相対度数分布を求めると図 2 のようになった。図 2 において、25 パーセンタイル値と 75 パーセンタイル値を求めると、生活污水の場合 12～17 L/頭/日、凝集分離汚水の場合 13～17 L/頭/日となった。これを設計用単位汚水量とした。

なお、実際の汚水処理施設では、汚水量は尿、飲水器からのこぼれ水、遊び水、洗浄水などの量によって決まる。豚房におけるこれら水分の混入に応じて BOD/N 比も変化すると推定される。ただし、処理施設に流入する地点での清水投入の場合には、濃度の変化はあっても BOD/N 比の変化は生じない。

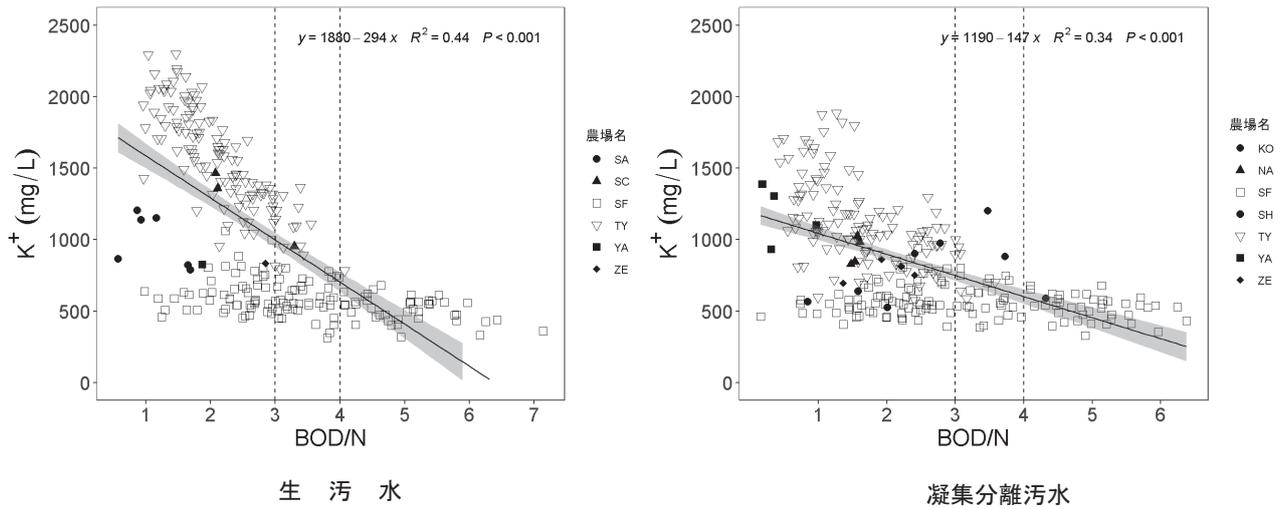
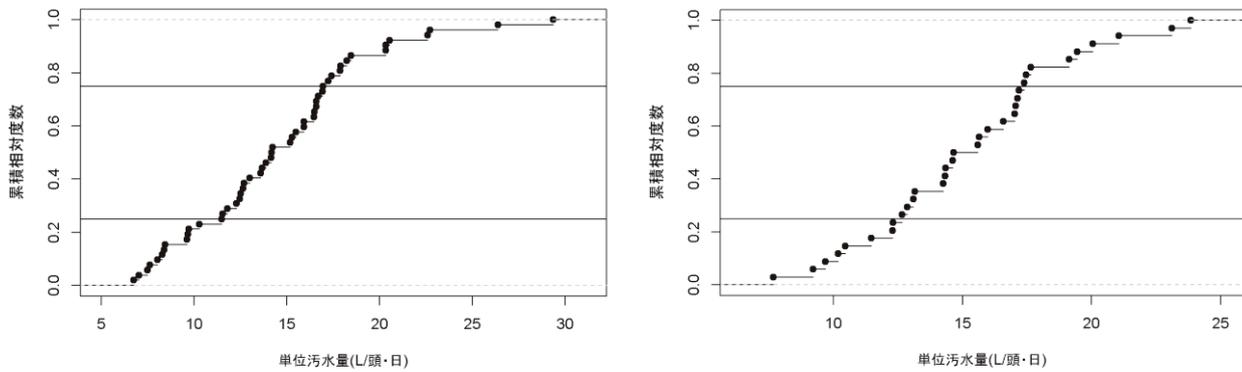


図 1. BOD/N 比と K⁺濃度の関係



生活污水
 25 パーセンタイル値：12 L/頭/日
 75 パーセンタイル値：17 L/頭/日

凝集分離污水
 25 パーセンタイル値：13 L/頭/日
 75 パーセンタイル値：17 L/頭/日

図 2. BOD/N 比 3~4 の時の K⁺濃度から算出した単位汚水量の累積相対度数分布

【参考資料】

村田恒雄（1992）下水の高度処理技術－快適な水環境の創出に向けて－. 理工図書株式会社.
 荻野暁史・大森英之・井上寛暁・山下恭広・長田隆（2020）肥育豚における窒素, リン, カリウム排
 量せつ原単位の推定. 日畜会報, **91**(3), 281-288.

§ 3-3 ふん尿分離式豚舎における生物化学的酸素要求量 (BOD) 負荷量原単位

要点 市販配合飼料給与で、ふん尿分離式豚舎利用の場合の汚水処理施設を設計する場合、窒素除去を効率よく進める観点から、BOD 負荷量原単位は表 1 の範囲を目安として設計を行うこと。

表 1. BOD 負荷量原単位の目安

汚水の種別	BOD (g/頭/日)
生活污水	60~80
凝集分離汚水	50~60

解説

6 農場での生活污水、7 農場での凝集分離汚水の調査によると、BOD 負荷量原単位は飼養条件や季節によって大きく変動し、生活污水で 18~130 g/頭/日、凝集分離汚水で 5~92 g/頭/日の範囲を示した (田中、2022)。このような広範囲の変動の中で、設計上の目安とすべき負荷量原単位を単純に平均値で決めるのは無理と考えられた。そこで、窒素除去に大きな影響を及ぼす BOD と全窒素の濃度比 (BOD/N) を適正化する観点で定めることとした。

農場調査の結果から、BOD/N 比と BOD とカリウムイオンの濃度比 (BOD/K⁺) の関係を見たところ、図 1、図 2 のように良好な相関関係がみられた。窒素除去に適した BOD/N 比は前述のように一般に 3~4 とされており、この BOD/N 比の時の BOD/K⁺比を図 1、図 2 から求めると、生活污水で 6.39~8.56、凝集分離汚水で 5.08~6.65 となった (田中、2022)。

上記の BOD/K⁺比に、カリウムの尿中排せつ量原単位値として荻野ら (2020) によって報告されている 9.2 g/頭/日 を乗じて (下式) BOD 負荷量原単位値を表 1 のように策定した。

$$\text{BOD 負荷量原単位 (g/頭/日)} = 9.2 \text{ (gK/頭/日)} \times \text{BOD/K}^+\text{比}$$

この BOD 負荷量原単位は目標値であり、この値に近づけるには、豚舎における洗浄水量、飲水量、こぼれ水量等を調整し汚水量を § 3-2 に示した値に近づけることが重要である。また、スクレーパーによる徐ふん時間帯や除ふん頻度によっても影響される。

適正 BOD 負荷量原単位が実現されると、BOD/N 比が適正化され窒素除去に有利である。汚水が実際に適正 BOD/N 範囲に入っているかどうかは、依頼分析による公定法で適宜確認する必要がある。

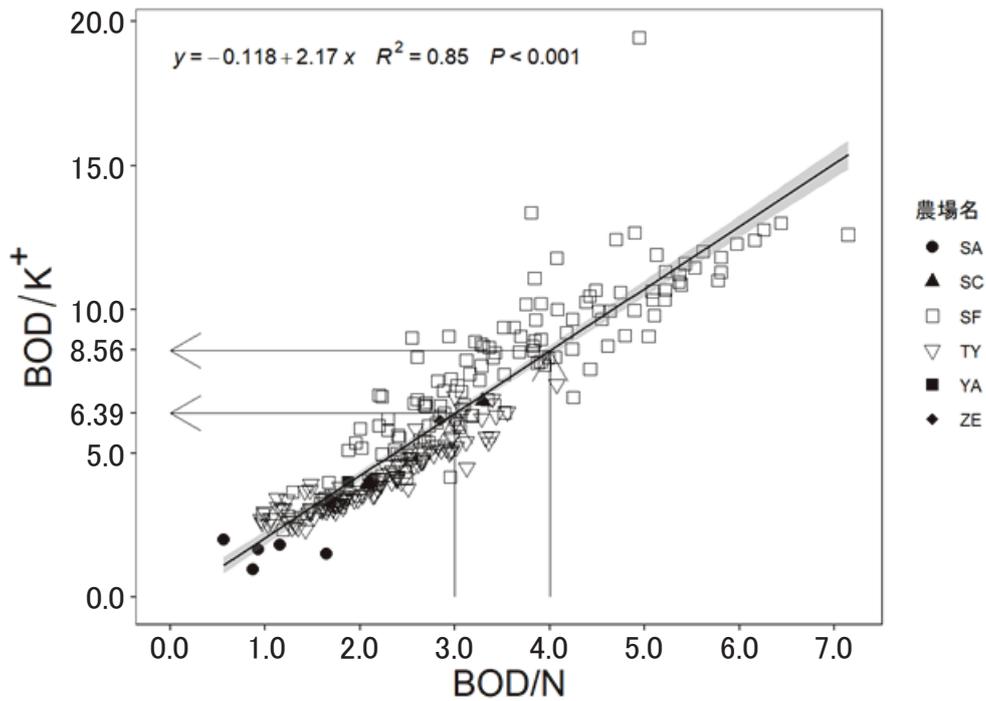


図1. 生汚水における BOD/N 比と BOD/K⁺比の関係

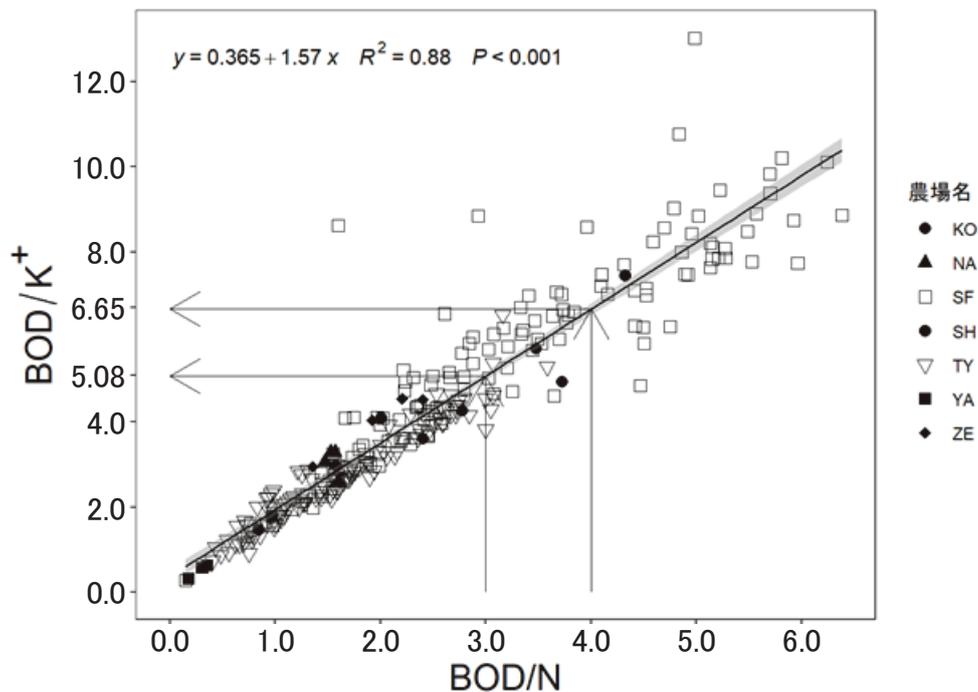


図2. 凝集分離汚水における BOD/N 比と BOD/K⁺比の関係

【参考資料】

田中康男 (2022) 養豚汚水における生物化学的酸素要求量(BOD)負荷量原単位の検討. 日本養豚学会誌, 59(1), 1-11.

荻野暁史・大森英之・井上寛暁・山下恭広・長田隆 (2020) 肥育豚における窒素, リン, カリウム排せつ量原単位の推定. 日畜会報, 91(3), 281-288.

§3-4 ふん尿分離式豚舎における浮遊物質（SS）負荷量原単位

要点 浮遊物質（SS）の負荷量原単位は飼養条件や季節によって大きく変動し、調査によるとその値は生活污水で10～150 g/頭/日、凝集分離污水で1～100 g/頭/日と広範囲で変動する。市販配合飼料給与でふん尿分離式豚舎の污水处理施設を設計する場合、窒素除去を効率よく進める観点から、表1の範囲を目安とする。

表1. SS負荷量原単位を目安

污水の種類別	SS (g/頭/日)
生活污水	83～98
凝集分離污水	11～26

解説

5農場での生活污水、7農場での凝集分離污水の調査によると、BODと窒素の濃度比(BOD/N)とSSとカリウムイオンの濃度比(SS/K⁺)の間には図1のような相関関係があった(田中、印刷中)。これらの相関関係から、窒素除去に適するBOD/N比3～4の範囲内に入ったSS/K⁺比のデータを抽出し、SS/K⁺比の累積相対度数分布を求めた(図2)。その結果、生活污水では70パーセンタイル値9.0、90パーセンタイル値10.6、凝集分離污水では70パーセンタイル値1.2、90パーセンタイル値2.8となった。これらのSS/K⁺比にカリウムの尿中排せつ量原単位値の9.2 g/頭/日(荻野ら, 2020)を乗じて表1の負荷量原単位値を求めた。

この適正SS負荷量原単位は言わば目標値であり、飼養管理等によりこの原単位に近づけることでBOD/N比が適正化され窒素除去に有利になると推定される。

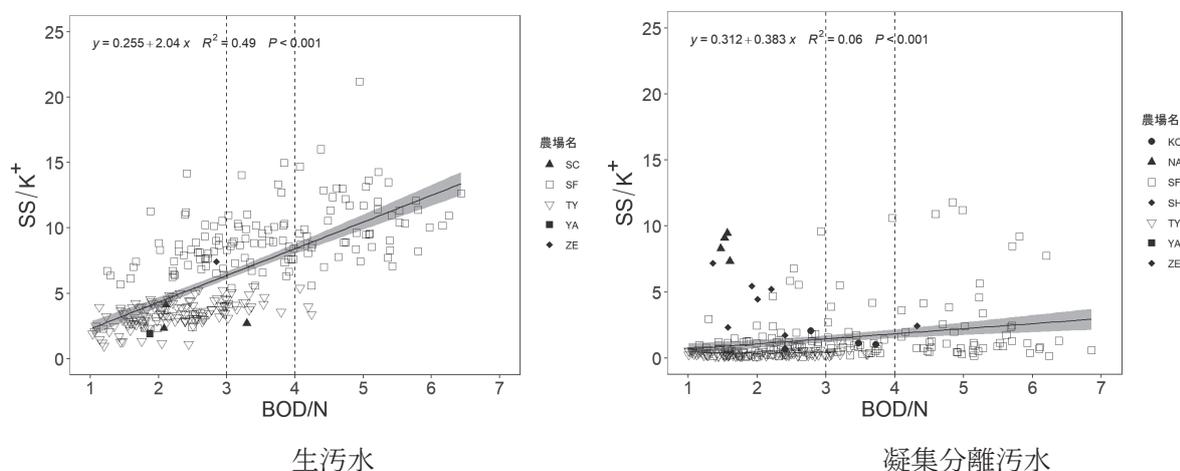


図1. 污水におけるBOD/N比とSS/K⁺比の関係

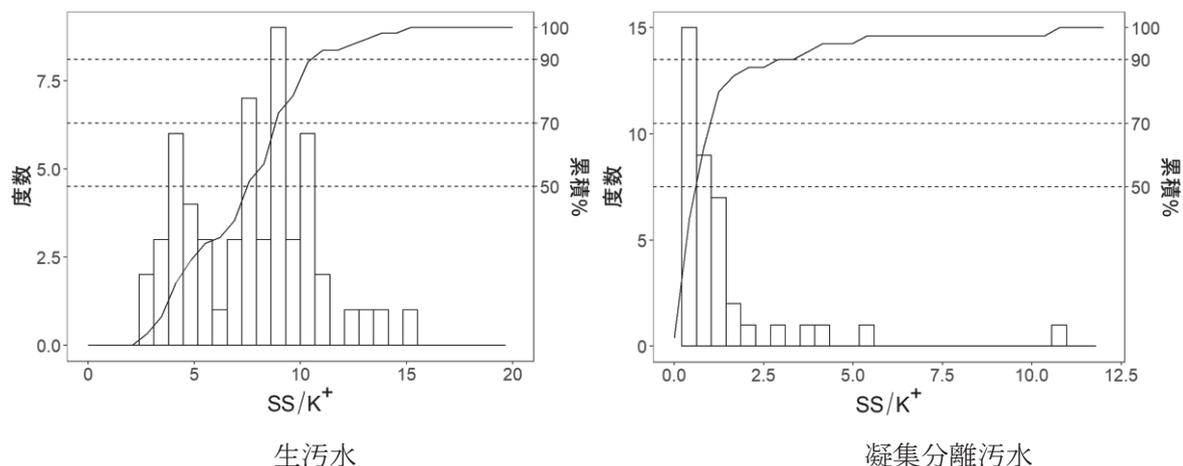


図2. 適正SS/K⁺比の分布

【参考資料】

田中康男（印刷中）養豚汚水における浮遊物質（SS）負荷量原単位の調査. 日本養豚学会誌.

荻野暁史・大森英之・井上寛暁・山下恭広・長田隆（2020）肥育豚における窒素,リン,カリウム排せつ量原単位の推定,日畜会報, **91(3)**, 281-288.

§3-5 ふん尿分離式豚舎における窒素（N）負荷量原単位

要点 ふん尿分離式豚舎用の汚水処理施設を設計する場合、窒素（N）の負荷量原単位は以下を目安にする。ただし、この数値は市販配合飼料を利用する場合である。その他の飼料を利用する場合は実測するか、同様の飼料を利用している事例を参考にして決める必要がある。

表 1. 窒素の負荷量原単位

汚水の種別	窒素 (g/頭/日)
生汚水	21~27
凝集分離汚水	17~21

解説

田中ら(2021)の調査によると、市販配合飼料給与の6農場の生汚水および5農場の凝集分離汚水の窒素とカリウムイオンの比(N/K⁺比)は図1のようになった。N/K⁺比は、75パーセンタイル値(箱の上縁)と外れ値を除いた最大値(ひげの上端)が、生汚水で2.31および2.90、凝集分離汚水では1.86および2.23であった。これらの数値にカリウムの尿中排せつ量原単位の9.2 g/頭/日(荻野ら, 2020)を乗ずることで、表1の窒素負荷量原単位を求めた。なお、75パーセンタイル値と最大値を選択した理由は、処理施設の窒素除去能力に余裕を持たせるためである。

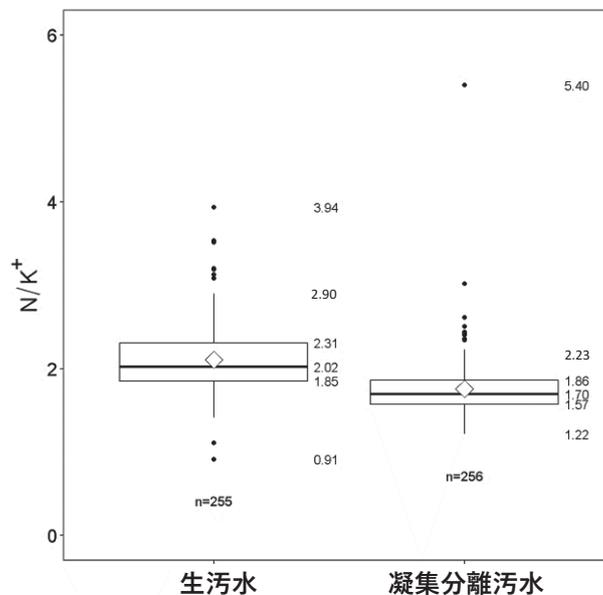


図 1. 汚水中 N/K⁺比の分布に関する調査結果

【参考資料】

- 田中康男・竹本佳正・長谷川輝明・薬師堂謙一・長田隆・半田裕紀・道宗直昭(2021)養豚汚水処理施設の設計に用いる窒素負荷量原単位の策定. 家畜衛生学雑誌, 47, 63~72.
- 荻野暁史・大森英之・井上寛暁・山下恭広・長田隆(2020) 肥育豚における窒素, リン, カリウム排せつ量原単位の推定, 日畜会報, 91(3), 281-288.

§3-6 ふん尿分離式豚舎におけるりん（P）負荷量原単位

要点 ふん尿分離式豚舎用の汚水処理施設を設計する場合、りん（P）の負荷量原単位は以下を目安にする。ただし、この数値は市販配合飼料を利用する場合である。

表 1. りん負荷量原単位

汚水の種別	全りん（g/頭/日）
生活污水	2.4～2.9
凝集分離汚水	1.0～1.5

解説

市販配合飼料給与の 4 農場の生活污水および 6 農場での凝集分離汚水の調査によると（田中, 2022）、BOD/N 比と全りん（TP）と K⁺の比（TP/K⁺比）の関係は図 1 のようになった。窒素除去に適した BOD/N 比は 3～4 とされていることから、BOD/N 比が 3～4 の範囲に入る TP/K⁺比のみを抽出して、累積相対度数分布をみると図 2 が得られた。図 2 における 70 パーセント値と 90 パーセント値は、生活污水で 0.26 および 0.32、凝集分離汚水で 0.11 および 0.16 となる。これらの比に尿中カリウム排せつ量原単位値の 9.2 g/頭/日（荻野ら、2020）を乗ずることで表 1 のりん負荷量原単位を求めた。

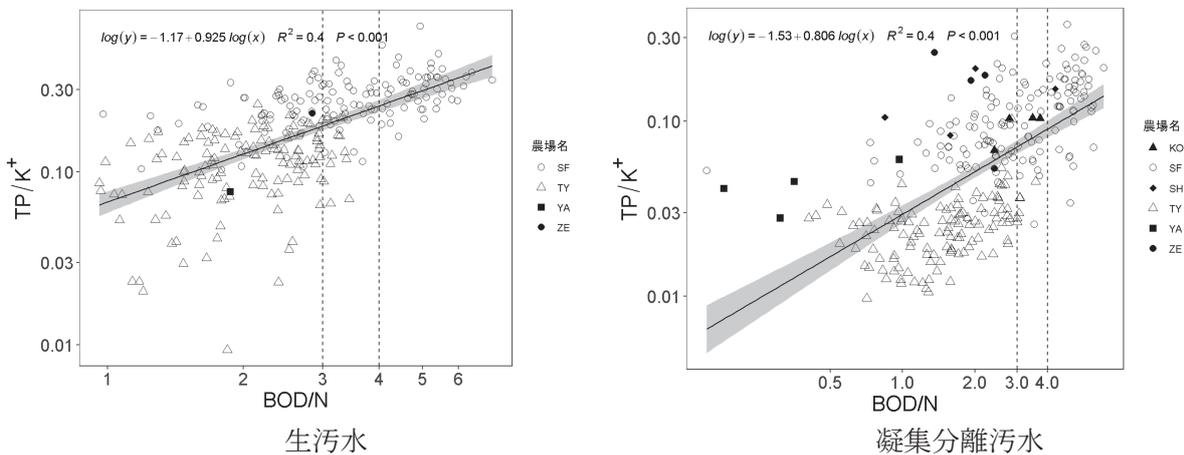


図 1. BOD/N 比と TP/K⁺比の関係

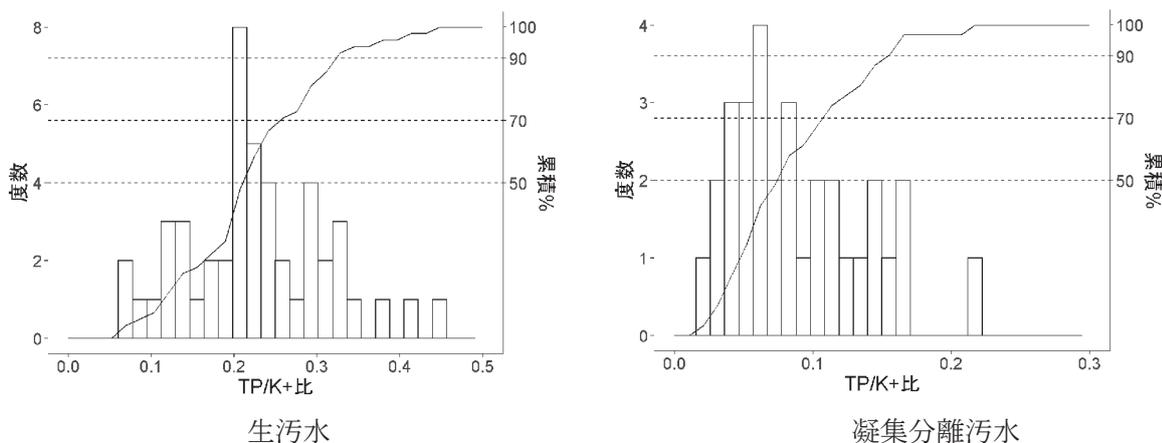


図 2. BOD/N 比が 3～4 の範囲内における TP/K⁺比の分布

【参考資料】

- 田中康男（2022）養豚汚水処理施設の全りん負荷量原単位の調査. 日本養豚学会誌、投稿中。
 荻野暁史・大森英之・井上寛暁・山下恭広・長田隆（2020）肥育豚における窒素、リン、カリウム排せつ量原単位の推定, 日畜会報, 91(3), 281-288.

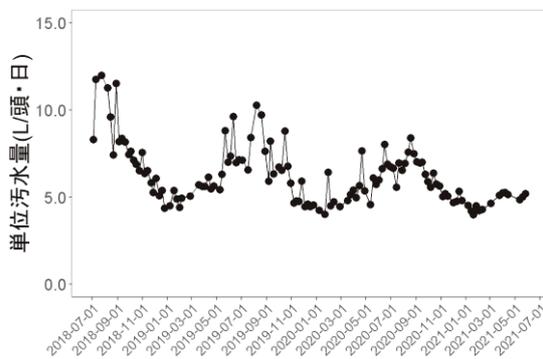


コラム：汚水の量と水質の季節変動

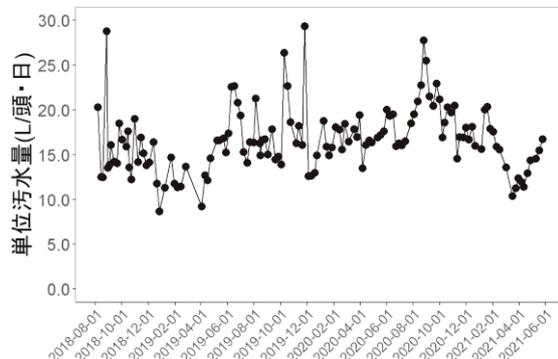
汚水の量と水質は農場によって千差万別ですが、ふん尿分離式豚舎の汚水に関する調査結果によると、水量と水質の季節変動パターンには共通性があるようです。

2つの農場での調査によると、図1に示すように汚水量は農場間で2倍ほどの差がありますが、夏期に高まり冬期に低下する傾向は共通です。また、図2を見ると、BOD/N比についても、2つの農場で2倍ほどの差がありましたが、季節変動については夏期に高まり冬期に低下する共通かつ明瞭なパターンが確認されました。冬期の最低値はどちらの農場も約1にまで低下しました。BOD/N比が1では十分な窒素除去は期待できないと考えられます。

以上のように、ふん尿分離式豚舎の汚水は水量と同時に水質も季節変動し、冬期には窒素除去に不利な状況になりやすいことに注意する必要があります。冬期に安定した窒素除去を進める方策については今後の重要課題です。

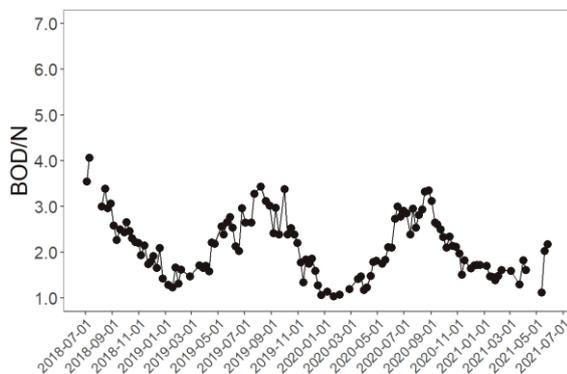


TY 農場

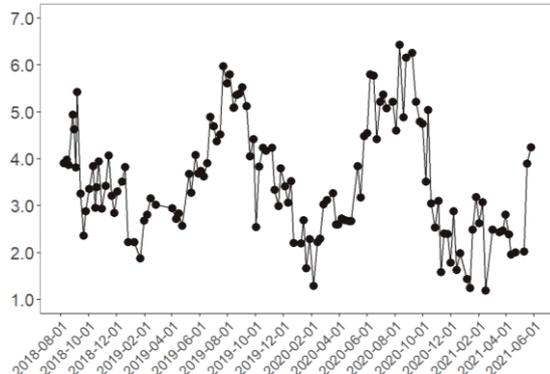


SF 農場

図1. カリウムイオン濃度から推定した汚水量（肥育豚1頭1日あたり）の季節変動



TY 農場



SF 農場

図2. 汚水の BOD/N 比の季節変動



§3-7 ふん尿混合式豚舎の汚水処理施設設計に使用する汚濁物負荷量と汚水量

要点 ふん尿混合式豚舎から発生するふん尿混合汚水の処理施設の設計には表1の負荷量原単位と汚水量を目安にする（畜産環境整備機構、2004）。

ただし、ふん尿混合汚水をそのまま処理するのは、負荷が非常に高く、処理施設が大型化し処理費用も高くなるので、原則として避けるべきである。

なお、ふん尿混合汚水を前搾りをした後に汚水処理施設に投入する場合の負荷量原単位については、現状では十分な調査事例が無いため、数値は記載できなかった。

表1. ふん尿混合式豚舎汚水の負荷量原単位および汚水量

汚水の種別	BOD (g/頭/日)	SS (g/頭/日)	窒素量 (g/頭/日)	汚水量 (L/頭/日)
生汚水	200	435	39	20
凝集分離汚水	—	—	—	—

解説

表1のBOD、SS、汚水量の原単位数値は、畜産環境整備機構（2004）に掲載されている。同書には「経済性の面から原則としてふん尿混合汚水の浄化処理は避けるべきであるが、やむを得ない場合は記載の諸元数値を用いる」という注意がなされている。この点は、本書でも同じ立場である。

なお、窒素量については§2-1の表1における肥育豚のふんと尿の窒素量の合計値である。近年ではふん尿混合汚水と余剰汚泥を合流させた後に高分子凝集剤を添加して脱水機で固液分離した汚水を処理施設に投入している事例もある。この場合には凝集分離工程で負荷の削減が計れることから、現実的な汚水処理が可能となる。ただし、ふん尿混合汚水を凝集分離した後の汚濁負荷量に関する調査事例が少ないため、数値は掲載できなかった。

【参考資料】

畜産環境整備機構（2004）家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術．財団法人畜産環境整備機構．

コラム：汚水の濃度と水量



畜産汚水の特性を考える場合に、ともすると濃度で判断しがちですが、「濃度が薄いから処理が容易」というわけではありません。たとえば、濃度 C mg/L で水量 V m³/日の場合、処理施設に流入する汚濁物質量は $C \times V$ kg/日になります。仮に洗浄水の使用量を 2 倍に増やしたとすると、濃度は $C/2$ になりますが、水量は $2V$ になるので、流入汚濁物質量は $C/2 \times 2V = C \times V$ kg/日で変わりません。

つまり、濃度と水量をかけ合わせた値で処理施設への流入量が決まるので、濃度を薄めれば負荷量が小さくなるということはないのです。

ただし、汚水の濃度を薄めると、処理水濃度を放流基準値にまで下げるための除去対象量がやや少なくなります。例えば、排水基準値を R mg/L とした場合、処理施設で除去すべき汚濁物質量は以下のように計算されます。

$$\text{流入濃度 } C \text{ の場合} : (C-R) \times V = CV - RV$$

$$\text{流入濃度 } C/2 \text{ の場合} : (C/2-R) \times 2V = CV - 2RV$$

両者を比較すると、当然ですが $CV - RV > CV - 2RV$ となり、汚水を薄めると除去対象量が小さくなることがわかります。

また、汚水を薄めると色度低減の効果も期待できます。

ただし、既設処理施設で新たに清水を加える操作をはじめると、水質汚濁防止法に基づく排水量変更の届けが必要になります。この場合、排水量が一定の量を超えると排水基準値がきびしくなる場合もあるので、汚水を薄めることについては慎重な検討が必要です。





コラム：給餌方式が汚水水質に与える影響

給餌方式の種類には、ドライフィーディング、ウェットフィーディング、リキッドフィーディングなどがあります。汚水性状はこれらの給餌方式によっても影響されます。

ドライ用給餌器では、別途に飲水器を設置することになりますが、宮脇ら（1994）によると、ニップル給水器では水の消費量は季節により大きく変動し、夏季では16.0L/日であったのに対し、冬季は5.9～6.2L/日であったと報告されています。この水量変動にともない水質も変化すると考えられます。

ウェット用給餌器は、飼槽内に給水器がセットされ、飼料と水が同時に摂取できるようになっています。宮脇ら（1994）によると、夏季の「水消費量」はドライ用給餌器に比較して明らかに減少し6.4～7.5L/日で、冬季には5.9～6.2L/日であったと報告されています。

リキッドフィーディングでは、水分摂取量が多く、尿量の増加およびふんの水分増加の傾向があるとされています（畜産環境整備機構 2013）。

飼料のBODや窒素の含有量はふん尿よりも高いため、こぼれ餌の汚水への混入量制御は重要です。畜産環境整備機構（2013）によると、こぼれ餌は制限給餌では少なく、不断給餌ではある程度発生するとされています。スノコ上に給餌器がある豚舎では、こぼれ餌が汚水に混じることで、汚水浄化処理への負荷を増加させる原因になります。

畜産環境整備機構（2013）によると、こぼれ餌の主な発生要因としては、豚の頭部のサイズに比べて給餌器の間口が広すぎると2頭が同時に頭を突っ込んでこぼす、逆に狭い場合も闘争により落ち着いて採食できずにこぼす、給餌器の高さが低いと飼槽に足を突っ込んでこぼす、給餌器の調節板の隙間が広すぎると飼料が多く出すぎてこぼすといったことが指摘されています。

さらに、畜産環境整備機構（2013）によると、給餌器やリキッドフィーディングの飼料貯留槽や飼料搬送パイプラインなどの残飼や洗浄水を汚水に投入している場合、高負荷の汚濁物質源になる可能性があり、活性汚泥処理が不安定になる場合があると指摘されています。

【参考資料】

宮脇耕平・伊東正吾・保科和夫(1994) ウェットフィーディングにおける肥育豚の水要求量と節水効果. 日豚会誌, 31, 35-42.

畜産環境整備機構(2013) 畜舎汚水浄化処理施設窒素対応管理マニュアル. 一般財団法人畜産環境整備機構.



§ 3-8 汚水処理の基本工程

要点 汚水の浄化処理は、図 1 に示す 4 段階の工程からなる。すなわち、①汚水中の夾雑物を物理的に取り除く篩別工程、②有機物と窒素化合物を微生物の活性で除去する生物処理工程、③微生物（活性汚泥）を分離して処理水を得る活性汚泥分離工程、および④増殖した微生物の懸濁液（余剰汚泥）に高分子凝集剤を添加して固形物にする余剰汚泥脱水工程である。これらの工程のすべてが確実に機能しないと汚水処理は順調に進まない。

①と④の工程を同時に行う「前搾り」を最初に実施する場合もある。各工程の詳細は § 3-9～ § 3-18 で解説する。

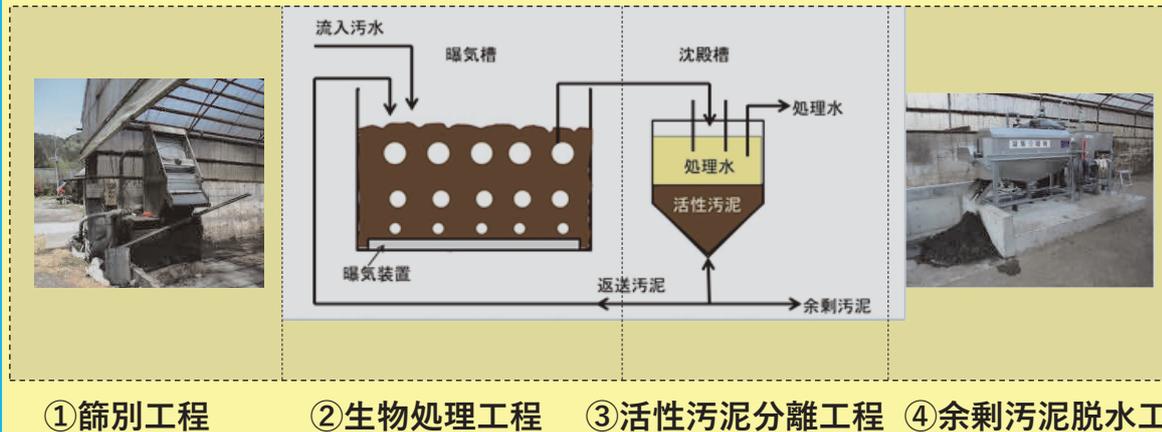


図 1. 汚水処理の基本工程

解説

図 1 の基本に則った処理施設であっても、具体的な仕様については選択の幅が大きい。典型的な施設構成を図 2～5 に示す 4 パターンに整理して示した。ただし、これら以外のパターンも数多く存在する。それぞれの形式は一長一短であり、それぞれの農場の、用地面積、目標処理水質、導入予算、維持管理予算、維持管理能力、等々の条件に応じた最適な形式を慎重に選定することが重要である。

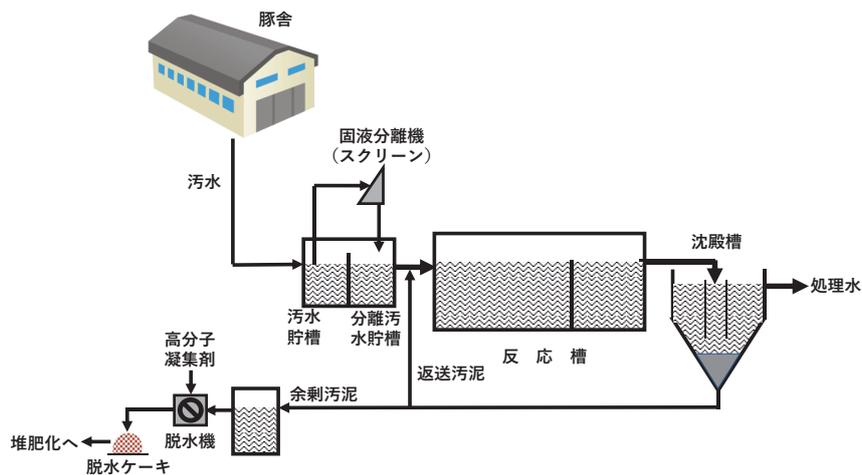


図 2. 汚水処理方式その 1：連続式＋沈殿槽方式

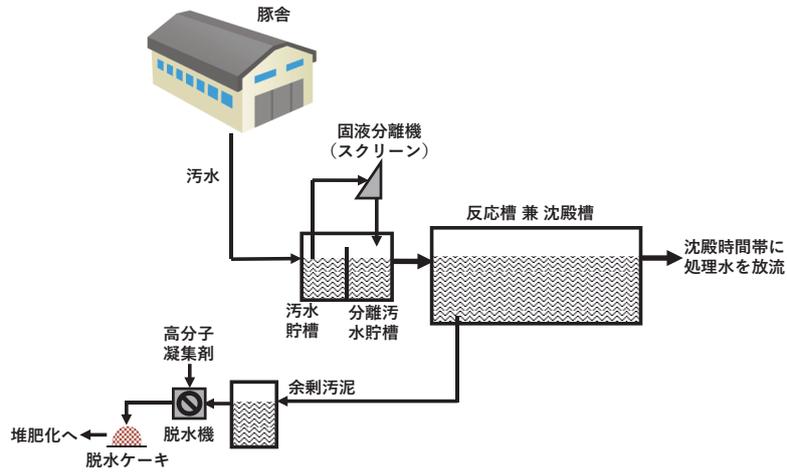


図 3. 汚水処理方式その 2 : 回分式

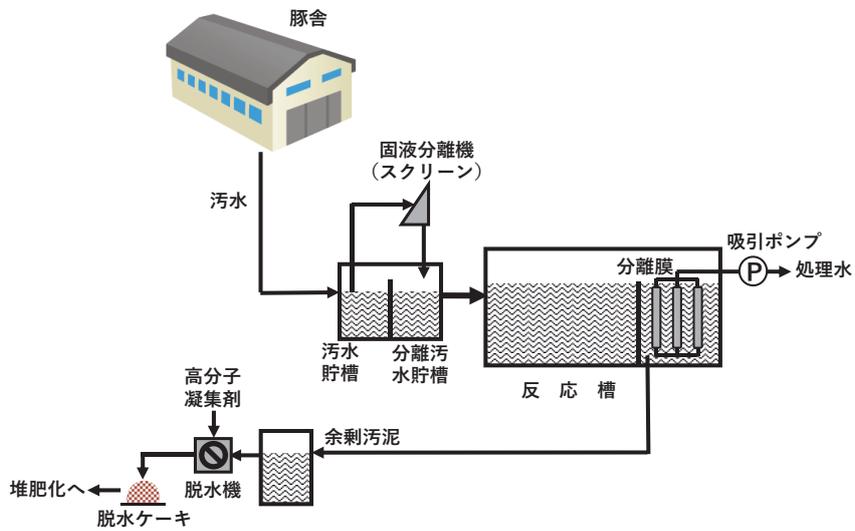


図 4. 汚水処理方式その 3 : 膜分離活性汚泥方式

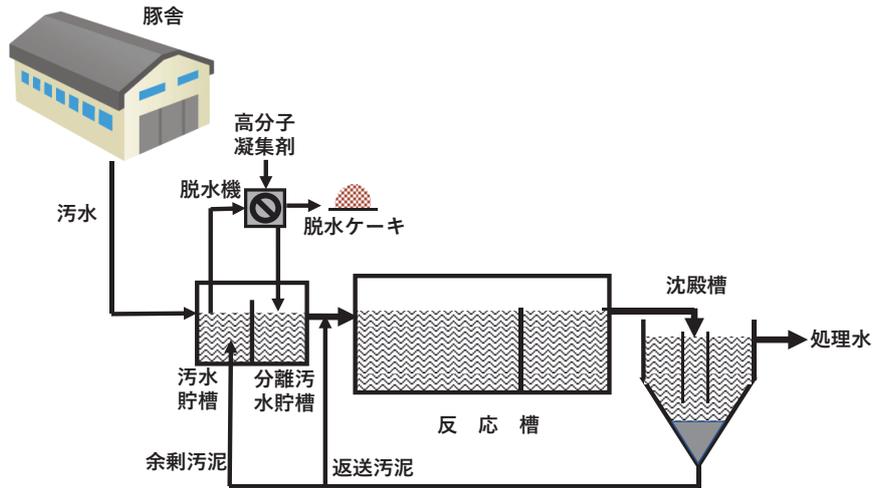


図 5. 汚水処理方式その 4 : 方式 1 に前搾りを追加した方式
(前搾りは方式 2 および 3 への追加も可能)

§ 3-9 汚水貯留槽

要点 反応槽への汚水流入量を一定にして処理の安定化を図ることを目的とした貯槽。一般的には1日分の汚水を貯留可能な容積とする。

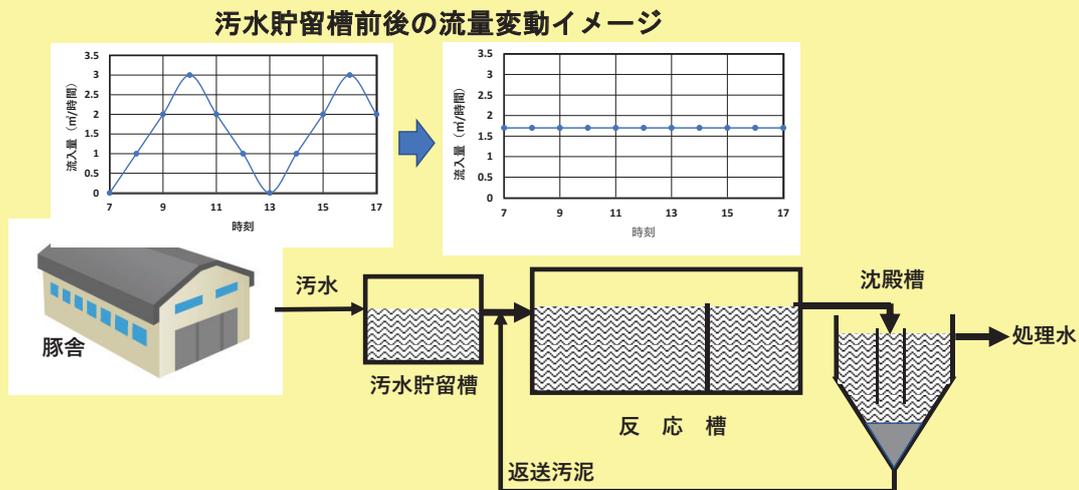


図 1. 汚水貯留槽の効果

解説

底部への汚泥の沈積を避けるため、汚水貯留槽には攪拌機構を備える必要がある。固液分離機への汚水移送ポンプを大きくして、戻り汚水を利用して攪拌する手法もある（畜産環境整備機構 2004）。また、水中攪拌機の設置も選択肢となる。

汚水からの臭気発生があるため、可能な限り密閉構造とするが、ポンプのメンテナンスを考慮して点検口、ポンプ引上げ機構を整備するとともに取り外しの容易な配管施工法に留意する。

【参考資料】

畜産環境整備機構(2004)家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術. 財団法人畜産環境整備機構.

§3-10 篩別による夾雑物の除去

要点 夾雑物が処理施設に流入するとポンプや配管の閉塞などのトラブルを引き起こす。このため、汚水が反応槽に流入する前に、目開き 1mm 前後の網またはウエッジワイヤー等で篩別除去する。

篩別装置には、傾斜スクリーン（ウエッジワイヤースクリーン）、振動篩、ベルトスクリーン等を用いる。

解説

豚毛、こぼれ餌、プラスチック片等が汚水処理施設に流入すると、ポンプや配管の閉塞、反応槽への蓄積などによりトラブルが発生する。また、膜分離活性汚泥方式の場合、豚毛が流入すると膜に付着してトラブルを引き起こすリスクがある。したがって、確実な除去が必要である。

夾雑物の除去に付随して、SS は 20～30%除去され、BOD はその半分以下程度の除去率で除去される（畜産環境整備機構 2004）。



傾斜スクリーン



振動篩



ベルトスクリーン

【参考資料】

畜産環境整備機構(2004)家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術. 財団法人畜産環境整備機構.

§3-11 汚水の凝集分離処理（前搾り）

要点 豚舎から処理施設に汚水が流入する経路として、貯留槽を経由してそのまま反応槽に流入させる場合と（図1）、余剰汚泥と合流後に高分子凝集剤を使用した凝集分離を行なった後に反応槽に流入させる場合とがある（図2）。後者における凝集分離は「前搾り」「前分離」と呼ばれる。

凝集分離を行なった汚水は浮遊物質（SS）濃度が格段に低下し、BODや窒素もある程度低下し、反応槽の負荷が軽減される。一方、BOD/N比は若干低下するため、窒素除去には不利になる場合もある。

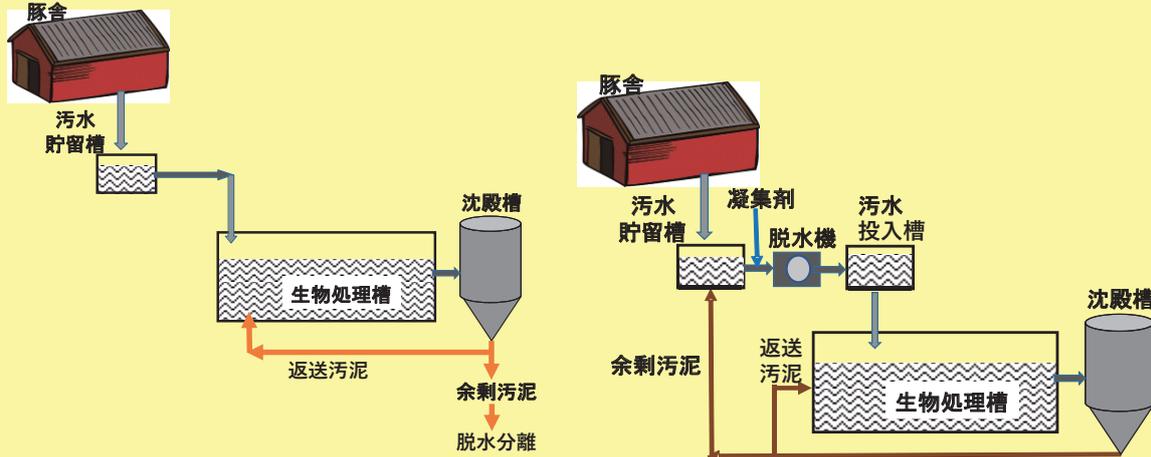


図1. 前搾りを行わないフロー

図2. 前搾りを導入したフロー

解説

高分子凝集剤の添加を伴う機械脱水は、従来は余剰汚泥の脱水処理専用利用されていた。しかし、近年は汚水処理の最初の段階で流入汚水と余剰汚泥を貯留槽に合流させ、その混合液に高分子凝集剤を添加し、機械脱水処理する事例が増えつつある。この方式を前搾りまたは前分離と呼ぶ。

この方式を導入すると、汚水の固液分離と余剰汚泥の脱水を一つの工程で済ませられる上に、適切な添加量で高分子凝集剤を用いればSS濃度も大幅に低減可能である。この効果により、曝気槽への有機物負荷がかなり低減され処理の安定化を図ることができる。特に、ふん尿混合汚水の場合には、必要不可欠な処理工程である。

一方、凝集剤を添加した機械脱水を行うと汚水のBOD/N比が若干低下することから、もともとBOD/N比が低めの汚水では窒素除去に必要なBODが不足気味になり、結果的に硝酸性窒素の残留による窒素除去率の悪化を招く場合もある。このような場合には、高分子凝集剤の添加率を減らしてBOD低減を抑制すると言った微調整が必要になることもある。

§ 3-12 生物処理（活性汚泥法）の概要

要点 活性汚泥法施設の最も基本的な形式は、反応槽（曝気槽）と沈殿槽からなる連続式である。この形式では、沈殿槽で沈降した活性汚泥が常に反応槽に返送され所要濃度の活性汚泥量が維持される。微生物の増殖により増えた分の汚泥は、余剰汚泥として引き抜き、脱水を経て、堆肥化施設に投入する。

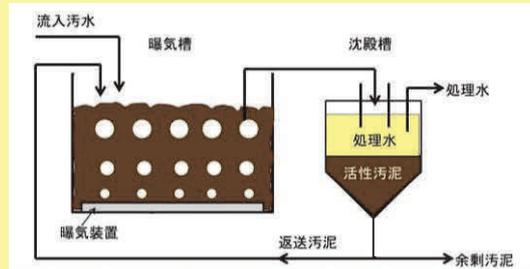


図 1. 連続式活性汚泥法施設の概要

回分式は沈殿槽が無い代わりに反応槽の曝気を1日に1回一定時間停止し活性汚泥を沈殿させ、上澄みを放流し、その後曝気を再開する。

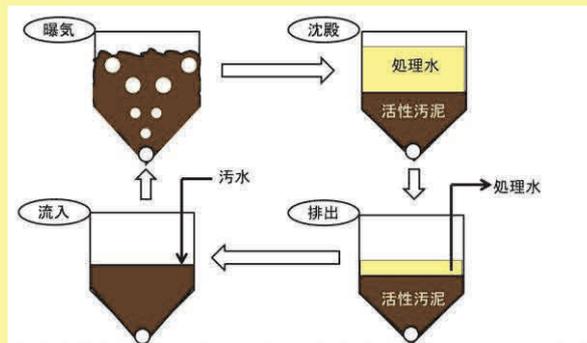


図 2. 回分式活性汚泥法の概要

解説

市販の活性汚泥法施設は上記のいずれかのタイプを基盤としつつ、反応槽の形状や曝気装置の種類、設計 BOD 負荷量などが異なる多様な仕様のものがある。

設計の基本が妥当であればどの製品でも一定の性能が期待できるが、それぞれ長所および短所があり、どの観点から見ても最良というようなものは存在しない。たとえば、設計 BOD 負荷が小さい施設は汚水水質が変動しても安定した処理が期待できる一方で、反応槽容積が大きくなるので建設費は嵩むことになる。一方、設計 BOD 負荷を高くした施設は、小型で建設費が安価になるが、BOD 負荷が設計時点の想定を少しでも超えると水質不良に陥るリスクも抱えることになる。個々の農家がどの点を重視するかを意識し、その要望に合致した施設を選択することが重要である。

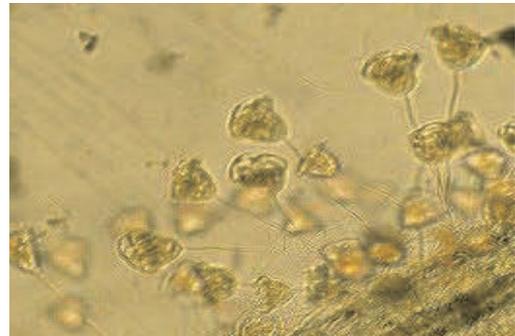
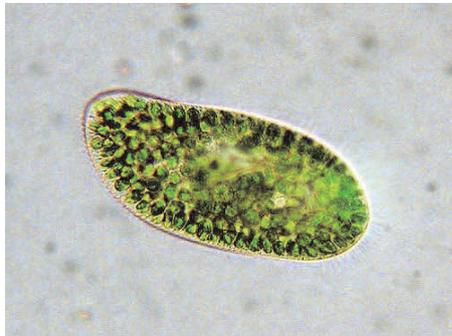
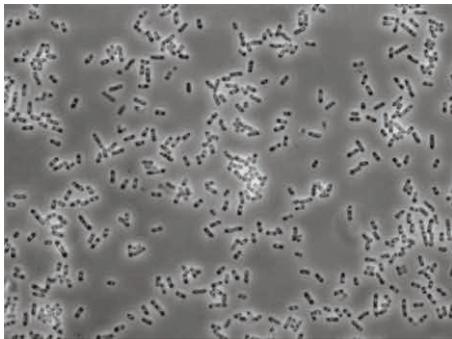
コラム：活性汚泥微生物は特別な種類なのでしょうか？



活性汚泥微生物は、細菌、原生動物、後生動物などの多様な微生物の集まりです。適正な条件で汚水処理をしていると自然に増殖します。一方酸素不足が長期間続いたりすると、浄化効果の低い微生物だけになってしまい、処理水の水質が悪化します。

処理水の水質が悪くなった時に添加する微生物資材も販売されているようですが、水質悪化の原因は正常な活性汚泥微生物が活躍できない条件になっていることですので、微生物の添加よりもまずは曝気槽の溶存酸素、MLSS、BOD 負荷などの基本条件を適正化することが大事です。これができるれば活性汚泥微生物は自然に元気を取り戻してくれます。

曝気槽はただ漫然と汚水に空気を吹き込んでいけば水がきれいになると言った魔法の箱ではありません。活性汚泥という「浄化微生物チーム」の監督をしているという気持ちを持ってください。良いメンバーを育てて、最大のパフォーマンスを発揮させることが監督の役目です。



§ 3-13 活性汚泥法反応槽

要点 反応槽内の好気槽（曝気槽）について、家畜汚水処理では曝気方式の相違に応じて主に表1の3種類が利用される（畜産環境整備機構、2004）。また、曝気方式については主に表2の3種類の装置が利用される（畜産環境整備機構、2004）。

表1. 曝気槽の種類

名称	形状等	特徴
標準タイプ	角形、水深は4~6m、散気式曝気または水中機械曝気	水深を深く取れるため省面積
オキシレーションディッチ（酸化溝法）タイプ	楕円形の循環水路の形状。表面機械曝気法を用いるため水深は2~3mと浅くする。	水深が浅いため必要面積が大きくなる。
ラグーンタイプ	すり鉢型で、最深部の水深は5m程度。	一般に低BOD負荷の長時間曝気法で使用される。

表2. 曝気方式の種類

名称	装置構造	特徴
散気式曝気法	ブロワから曝気槽底部に設けた散気装置（ディフューザー）に空気を送り微細な気泡にして放出上昇させることにより酸素供給と槽内の攪拌を行う。	採用事例が多い。標準タイプの曝気槽で使用される。
水中機械曝気法	水中で強い水流を作り槽内を攪拌するとともに、強い水流で生じた陰圧で空気を槽底部まで吸引し、微細な気泡にして水流とともに放出することにより曝気を行う。	標準タイプおよびラグーンタイプの曝気槽で利用される。モータが水没するため、モータ廃熱が直接曝気液に伝わり加温効果が発揮される。
表面機械曝気法	曝気槽表面で機械攪拌を行うことにより曝気と槽内の攪拌を行う。水深が深い場合には不適。	水深の浅いオキシレーションディッチタイプの曝気槽でスクリータイプが利用される。

解説

従来の活性汚泥法では曝気槽のみを設置するが多かったことから、反応槽イコール曝気槽であった。しかし、現在では硝化を目的とする槽と、脱窒を目的とする槽の2種類が併設される場合も多い。このため、本マニュアルでは硝化を目的とする槽は曝気槽または好気槽、脱窒を目的とする槽は無酸素槽と呼び、これらの総称として反応槽という用語を使用する。間欠曝気方式では、単一の槽が周期的に曝気槽および無酸素槽に切り替わることになる。

なお、「無酸素状態」と「嫌気状態」という用語が混同される場合もあるが、「無酸素状態」とは溶存酸素は存在しないが硝酸イオンまたは亜硝酸イオンは存在する場合を言い、「嫌気状態」は溶存酸素、硝酸イオン、亜硝酸イオンのいずれも存在しない状態を言う（日本下水道協会、2019）。脱窒は、無酸素状態で進行する反応である。

3種類のタイプの曝気槽、および各種曝気装置の事例と構造を図1~図6に示した。



図1. 標準タイプ曝気槽の事例

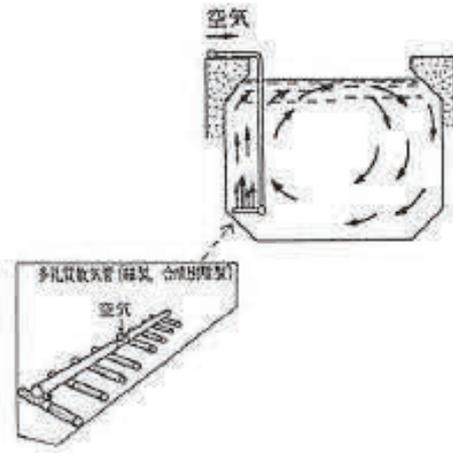


図2. 散気式曝気法に使用するブロワと散気装置の事例

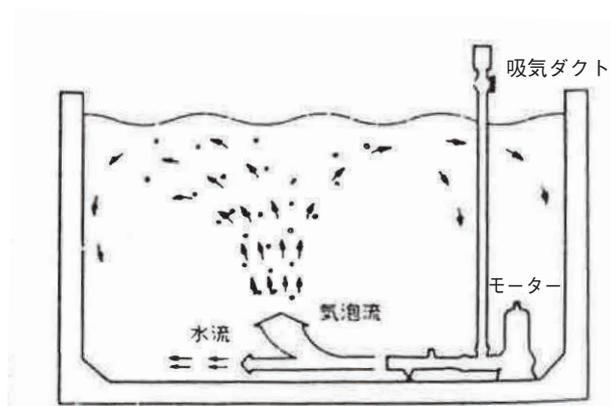
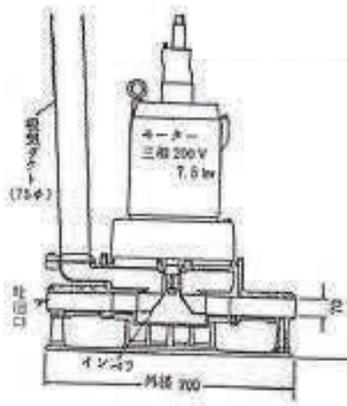


図3. 水中機械曝気装置の事例と曝気の原理



図4. オキシデーションディッチタイプ曝気槽の事例

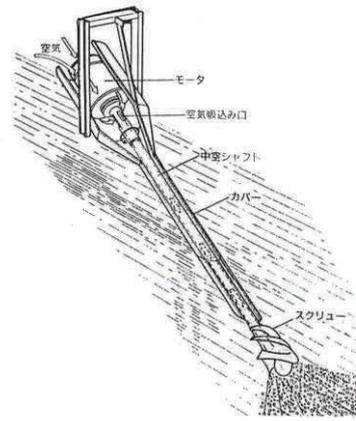


図5. オキシレーションデイツタイプ曝気槽で利用される表面機械曝気装置（スクリータイプ）の事例と構造

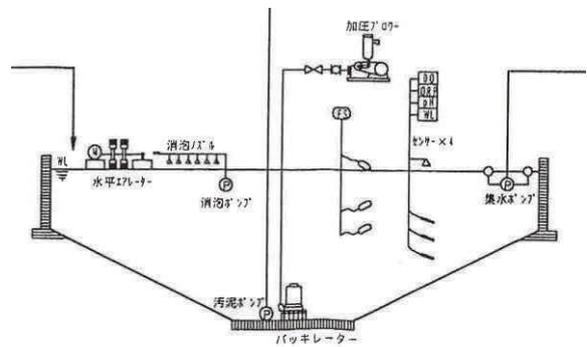


図6. ラグーンタイプ曝気槽の事例と構造

【参考資料】

畜産環境整備機構（2004）家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術．財団法人畜産環境整備機構．

日本下水道協会（2019）下水道施設計画・設計指針と解説 後編－2019年版－．公益社団法人日本下水道協会．



コラム：反応槽容積のおおよその目安

活性汚泥法処理施設は、BOD と窒素が同時に除去できるように、汚水の状況に応じて好気槽と無酸素槽の容積をそれぞれ綿密な計算で算定する必要があります。

一方、経営規模に応じた汚水処理施設の概要を知りたい場合もあります。図1は一貫経営の場合の母豚数と所要反応槽容積の関係です。あくまでおおよその目安で、設計数値ではないことにご注意ください。この図の算定には、BOD 負荷量原単位 60g/頭・日、BOD 容積負荷 0.4kg/m³・日という基礎数値を用いています。

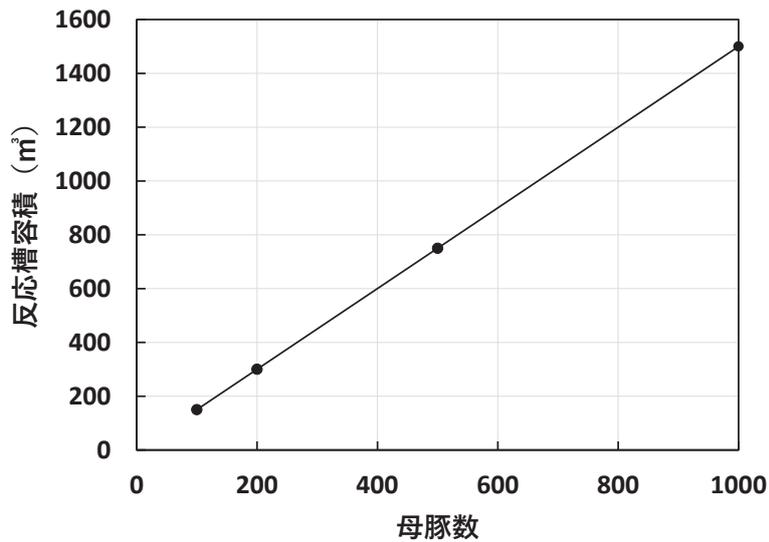


図1. 一貫経営の母豚数と活性汚泥法反応槽のおおよその容積の関係





コラム：反応槽の水温

活性汚泥の反応槽は微生物を働かせるバイオリアクターです。そのため、低温では性能が低下しますし、一定以上の高温になると微生物が働けなくなってしまいます。適温の目安は15～37℃程度です。

この温度範囲に維持するためには、まず冬期の加温と保温が大事になります。ルーツブロワタイプの送風機は、圧縮熱による温度上昇が著しいとされています（日本下水道協会、2019）。この熱が曝気空気を通じて曝気液に伝わることで、ある程度の温度上昇が期待できます。また、オキシデーション・デイチ法で使用されるスクリータイプ表面機械曝気装置ではモーターとカバーとの間隙を空気が通過する際にモーター熱が伝わり、この熱が送気により液中に伝わることで加温が期待できます。また、モーターが水没する水中エアレータ式ではモーター廃熱が直接曝気液に伝わります。一方、モーターが水面上に配置されプロペラ等で攪拌し曝気する形式の場合、加温効果は期待できません。

加温に加えて保温性も大事になります。曝気槽は地下式または半地下式にし、上部には保温蓋を取付けることが大事です。ただし、夏期の水温が37℃を超えるような場合には、保温蓋を取り外して放熱できるようにすることも必要です。

東北のある農家では曝気槽の上部がスラブ構造になっており、取り外しができないため夏期には40℃以上にまで水温が上昇し、硝化が停止してしまう事例もありました。



コラム：曝気槽の異常発泡



曝気槽は水面の一部に泡層が滞留する程度が正常ですが、時には泡が全面を覆い水面が見えなくなり、しかも泡層が徐々に厚みを増し、ついには曝気槽からあふれ出ることがあります（図1）。発泡が激しくなる原因は現在のところ解明されておらず、水温や運転条件が複雑に関連していると考えられます。

決定的な予防策は無いので、発泡が激しくなった場合は希釈した消泡剤を散布するのが最も確実で即効性があります。ただし、効果は半日程度しか持続しないので、夜間に発泡が再発するような場合には対応できません。発泡が激しくなりそうな時期の夜間には薬注ポンプで消泡剤を滴下するようにするなどの工夫が必要です。消泡剤にはシリコン系とアルコール系がありますが、膜分離を使用している場合はシリコン系は使えません。



図1. 異常発泡による曝気液の流出事例

調査によると、曝気液の泡だちやすさを示す発泡度は農場により、また季節により大きく異なります。（図2）。13.3℃以下の低水温で悪化しやすい傾向が示唆されていますが、まだ推定の範疇で、今後の解明が待たれます。

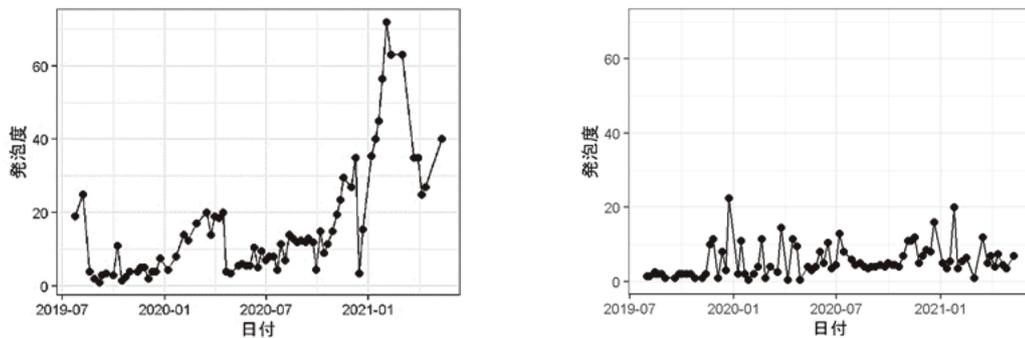


図2. 二農場での発泡度の経時変化事例（左：TY農場、右：SF農場）

【参考資料】

田中康男（2021）養豚汚水処理施設の異常発泡トラブルに関する機械学習法による分析．家畜衛生学雑誌，47：20－21．



§ 3-14 沈殿分離槽（最終沈殿槽）

要点 曝気槽からの活性汚泥混合液を流入させ、活性汚泥フロックを沈殿させ上澄液を放流するための槽。沈殿した活性汚泥は曝気槽へ返送し、増えすぎた余剰汚泥は引抜いて汚泥脱水設備に送る。

回分式活性汚泥法の場合は沈殿槽を設置せず、曝気槽を一定時間停止し活性汚泥を沈殿させ、上澄みを放流する。また、膜分離活性汚泥法の場合にも設置不要。

解説

畜産環境整備機構（2004）によれば、沈殿槽の容積は流入水量 $Q \text{ m}^3/\text{日}$ （流入汚水量＋返送汚泥量）の3時間ぶん以上（ $V/(Q/24) > 3$ ）とし、水面積負荷を $20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ 以下（ $Q/(A \times B) < 20$ ）とする。

沈殿後の上澄水が乗越えて流出する越流せきは、短絡流や偏流が生じないように、沈殿槽の全周に水平に設置する。せきの長さ1m当たりの流量（越流せき負荷）は $20 \sim 50 \text{ m}^3/\text{m}/\text{日}$ 程度を目安とする（ $Q/\text{堰総延長} < 50$ ）。ただし、せきの長さは可能な限り長くするほうが良い。

底部は60度のホッパー型とし（図1）、汚泥引抜きには水中ポンプまたはエアリフトポンプを用いる。60度にする理由は、汚泥が自重で自然に最深部に集まるようにするためである。

沈殿槽では、汚泥が沈殿せずに水面に浮上するトラブルが発生する可能性がある（図2）。汚泥が浮上してしまうと、越流水（処理水）とともに汚泥が流出するようになり水質が極端に悪化するので注意が必要である。これを防止するには、汚泥返送量を増やして沈殿槽に滞留する汚泥量を減らす必要がある。また、浮上した汚泥を表層水とともに吸引し曝気槽に返送するスカムスキマーの設置も選択肢である。ただし、大量の汚泥が浮上した後でスカムスキマーを稼働させても汚泥で閉塞し効果が発揮できない場合もある。浮上汚泥の量が少ない内に稼働を開始する必要がある。

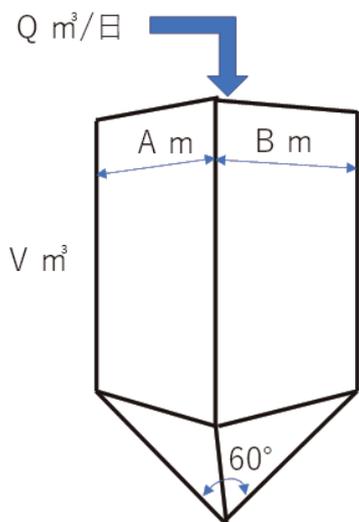


図1. 沈殿槽の基本形状



図2. 沈殿槽のスカム発生トラブル事例

【参考資料】

畜産環境整備機構(2004)家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術. 財団法人畜産環境整備機構.

§ 3-15 膜分離活性汚泥法

要点 膜分離活性汚泥法は、活性汚泥と処理水の分離を沈殿ではなく膜分離で行うのが特徴である(図1)。膜分離活性汚泥法は、畜産汚水処理施設をはじめとして、産業廃水処理施設、人用浄化槽、一部の下水処理場等で幅広く利用されている。

膜分離活性汚泥法の主なメリットは以下のとおりである。

- ・曝気槽内に高濃度の活性汚泥を維持できるので、反応槽容積を小さくできる。
- ・活性汚泥中の硝化細菌の維持に有利。
- ・沈殿槽から反応槽への汚泥返送が不要となるので汚泥管理が容易である。
- ・バルキングやスカム発生による沈殿不良に起因する水質劣化が無くなる。
- ・大腸菌やクリプトスポリジウムなどの有害微生物が除去できる。

一方主なデメリットは以下のとおりである。

- ・分離膜の管理(薬品洗浄、豚毛等付着物の除去、等)が必要となる。
- ・処理水量がろ過能力で限定されるので、膜面積が不十分であると水量増に対応できない事態が生ずる。
- ・定期的な膜交換にコストがかかる。

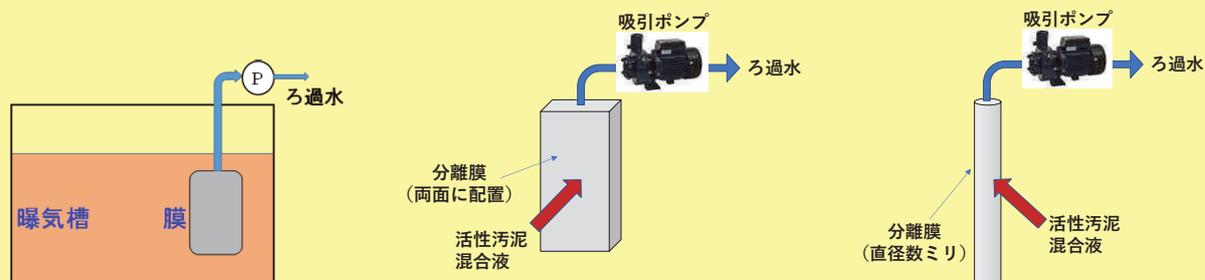


図1. 膜分離活性汚泥法の基本フロー

図2. 平膜分離膜の基本構造

図3. 中空糸分離膜の基本構造

解説

膜分離活性汚泥法には精密ろ過(MF)膜が使用される。孔径は $0.1\sim 0.4\ \mu\text{m}$ 程度で、SSおよび細菌まで除去できる。ただし、溶解性成分や色度は除去できない。ウイルスについては情報が少ないが、下水道膜処理技術会議(2011)によると、「ウイルスよりも孔径の大きいMF膜であっても、ウイルス除去率向上に有効との報告事例がある」と指摘されている。

膜の材質は多様で、ポリスルホン、ポリエチレン、酢酸セルロース、ポリアクリルニトリル、ポリプロピレン、ポリフッ化ビニリデン、ポリテトラフロロエチレン、セラミックなどがある。膜の耐用年数は、膜の仕様と使用条件によって相違する。

膜の形状もメーカーにより多様であるが、大別すると平膜(図2)と中空糸膜(図3)がある。平膜は豚毛等の夾雑物が付着しにくいという長所があり、中空糸膜はモジュール容積当たりの膜面積を大きくできる長所がある。現場の状況によって選択する必要がある。

膜の閉塞を抑制するには、膜モジュールの下部から強く曝気して膜を振動させると同時に膜表面に平行な流れを形成し膜表面を常時洗浄することが不可欠である。ろ過水は陸上に設置したポンプで吸引する(図4)。

ろ過能が低下した際には薬剤洗浄を行う。薬剤は次亜塩素酸ソーダ溶液が基本であるが、効果がみられない場合は不溶性カルシウムによる閉塞の可能性があるので低濃度の酸を用いる。適正薬剤とその濃度は膜の仕様により異なる。



図 4. 膜分離用吸引ポンプの事例

以下、平膜と中空糸膜のそれぞれの設計の要点を膜分離型畜舎排水処理装置の手引き作成委員会（2004）から引用する。

1. 平膜利用浸漬型膜分離装置の基本

- ・ 平膜の所要枚数

$$\text{膜カートリッジ枚数} = Q_{\max} \div S \div F$$

Q_{\max} ：日最大原水量（ $\text{m}^3/\text{日}$ ）

洗い水、希釈水、プロセス用水等を含めた最大原水量

S ：カートリッジ 1 枚当たりの有効膜面積（ $\text{m}^2/\text{枚}$ ）

F ：透過流束（フラックス）（ $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ ）（試験確認の上決定することが望ましい。）

- ・ 膜の設置

曝気槽と膜分離槽は 2 槽に分けることが望ましい。曝気槽で BOD を低減し、その後膜ユニットと設置した膜分離槽で固液分離を行う。膜分離槽から曝気槽へは汚泥返送を行い、汚泥濃度を均一化する。返送量は $2Q \sim 5Q$ 程度とする。

- ・ 膜分離槽の曝気

膜ブロウは曝気槽との兼用を避け、専用ブロウとする。所要空気量は膜カートリッジ 1 枚あたり $0.01 \text{ m}^3/\text{分}$ とする。また、膜ユニットの基数が多い場合、メンテナンス時を考慮し膜分離槽を複槽に分割し系列運転することが望ましい。

2. 中空糸膜利用浸漬型膜分離装置の基本

- ・ 膜ユニット容積あたりの処理水量

$$10 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ (膜ユニット容積)}/\text{日以上}$$

- ・ 曝気槽 MLSS 濃度

$$6000 \sim 15000 \text{ mg/L}$$

- ・ 脱窒槽・硝化槽容積

① BOD 容積負荷 $0.6 \text{ kg}/\text{m}^3/\text{日}$ 以下

② T-N 容積負荷 $0.24 \text{ kg}/\text{m}^3/\text{日}$ 以下

①と②で算出した数値のうち大きいほうの数値を脱窒槽と硝化槽 1:1 で容積配分する。

- ・ 硝化槽から脱窒槽への返送

目標窒素除去率から次式により循環比を求める。

$$\text{除去率 (\%)} = (R / (1 + R)) \times 100$$

$$R \text{ (循環比)} = \text{硝化液循環量} / \text{流入水量}$$

ただし、循環比は脱窒槽が脱窒に適した状態を保持できる範囲とする。

- ・ 吸引ポンプ

ろ過は定流量ろ過方式で行う。運転は間欠運転とし、吸引時間 13 分以内、停止時間 2 分以上とする。

- ・膜ユニットの曝気

膜洗浄に必要な曝気空気量は次式で求める。

$$\text{空気量} = 70 \sim 150 \text{ N m}^3 / \text{m}^2 / \text{時}$$

(m^2 : 膜ユニットの上部投影面積 (内寸))

【参考資料】

膜分離型畜舎排水処理装置の手引き作成委員会 (2004) 膜分離型畜舎排水処理装置の手引き. 農林水産省農林水産技術会議事務局・(独) 農業・生物系特定産業技術研究機構畜産草地研究所.

下水道膜処理技術会議 (2011) 下水道への膜処理技術導入のためのガイドライン [第 2 版].

https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000209.html

コラム：分離膜の寿命



膜分離活性汚泥法では、分離膜の寿命が維持管理コストに大きく影響します。分離膜は、定期的な薬品洗浄を行いながら長期間使用できますが、薬品洗浄で所要の性能が回復できない状態になったら寿命が尽きたと判断されます。

では、寿命はどのくらいかということになると、ろ過条件、活性汚泥混合液の性常、薬品洗浄に使用した薬品とその頻度等々の状況によって変わるので一律ではありません。メーカーに尋ねると、多くの場合、「5年程度は保証するが、それ以上どこまで持つかは使い次第です」といった返事が返ってきます。寿命の実績について、畜産分野では整理された情報はありませんが、英国における下水道施設での実績では、7年間使用時点でも膜交換比率は約3%に留まっているとの報告があり、また国内のある下水処理場では約6年の稼働実績があるが膜交換は行なわれていないといった事例が報告されています（下水道膜処理技術会議，2011）。

さらに、浄化槽，産業排水処理施設について施設毎の膜交換比率を調査し，施設数ベースで集計した報告事例によれば，7年経過しても50%近くが膜を全く交換しておらず9年以上経過した施設でも45%程度が膜を全く交換していなかったとされています（下水道膜処理技術会議，2011）。また、下水処理分野での耐用年数は10年としている例もあります（村上，2006）。



図1. 使用後の中空糸膜事例

【参考資料】

下水道膜処理技術会議（2011）下水道への膜処理技術導入のためのガイドライン [第2版]. <https://www.mlit.go.jp/common/000146906.pdf>

村上孝雄（2006）膜分離活性汚泥法の下水処理への応用. 膜（MEMBRANE），31（5）：235-237.



コラム：外付け型膜分離法



膜分離活性汚泥法では、曝気槽液中に浸漬するタイプの膜モジュールが通常の選択肢になっています。一方、沈殿槽を設置している既設浄化施設に膜分離を後付で導入する場合、曝気槽の構造上の制約から浸漬膜の設置が困難な場合もあります。

このような場合でも容易に膜分離を導入できる外付け型膜分離法という技術も開発されています。この方式では、中空糸膜の束がプラスチック円筒に充填されたケーシング型モジュール（図3）を曝気槽の横に必要本数設置します（図2）。ケーシングモジュールに曝気槽液を水中ポンプで循環させ、同時にブロウで空気を吹き込みます。モジュール上部から吸引ポンプでろ過液を処理水として引き抜きます。

利用上の注意点は、ケーシング内への豚毛等の夾雑物の流入を防ぐことです。このため水中ポンプは目開き2mm程度のステンレス網製のカゴ内に設置します。モジュールからの返流水はカゴ内に戻します。

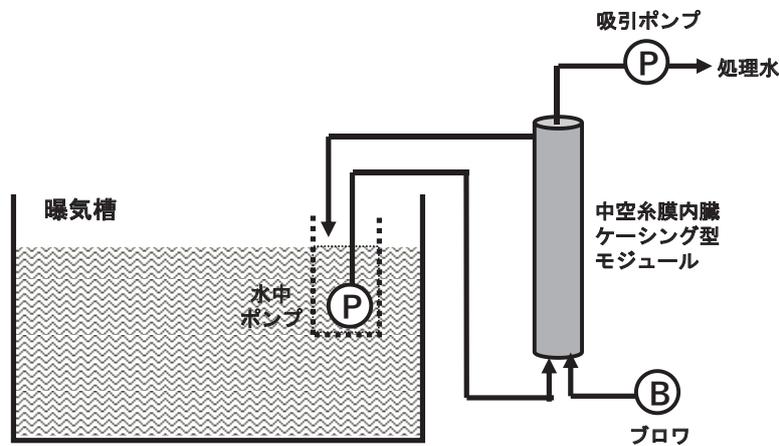


図1. 外付け型膜分離活性汚泥法の概要



図2. ケーシング膜の取付け状況



図3. ケーシングから取り出した中空糸膜の束



§ 3-16 放流水の消毒

要点 水質汚濁防止法では大腸菌群 3000 個/cm³ の基準値が定められている。活性汚泥法が良好な状況であれば、特段の消毒措置を行わずとも基準値以下になる場合もある。しかし、大腸菌群数を日常的に把握することは不可能なので、膜分離活性汚泥法でない場合、塩素消毒は常に実施することが無難である。

解説

放流水の消毒には、有効塩素 70%程度 of 市販固形塩素消毒剤を用い、処理水の流路に錠剤を充填したプラスチック製の薬筒を置き、処理水を薬筒下部の塩素剤と接触させて連続的に溶解させる (図 1)。処理水中に塩素として 3~10 mg/L 程度溶け込む量、もしくは消毒後 0.2 mg/L 程度の残留塩素を検出する量が必要であり、処理水 1 m³ 当たり約 7g の市販消毒剤を使用し、処理水が 5~10 分程度滞留する容積の消毒槽を設ける (畜産環境整備機構、2004)。

維持管理においては、塩素錠剤溶解器の薬筒の中を定期的に確認し塩素錠剤を補充する。また、定期的に塩素溶解後の処理水の残留塩素濃度を簡易測定キットで把握し、所定濃度になるように溶解器を調整する。

なお、大腸菌群以外の有害微生物のうち、原虫の一種であるクリプトスポリジウムに対しては、塩素消毒は効果が低い。クリプトスポリジウムは排水規制の対象にはなっていないが、膜分離活性汚泥方式を採用すると大腸菌群とクリプトスポリジウムの同時除去が可能になる。

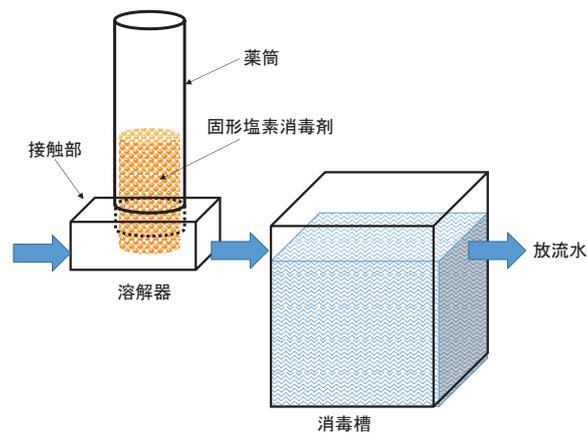


図 1. 塩素消毒設備の概要

【参考資料】

畜産環境整備機構(2004)家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術.

§ 3-17 余剰汚泥の脱水処理

要点 余剰汚泥の脱水では高分子凝集剤を汚泥スラリーに添加した後に緩速攪拌し、形成された凝集フロックを脱水機により分離回収する。高分子凝集剤は通常カチオン系が使用される。

既述のように、余剰汚泥と流入汚水を合流させてから脱水分離し、分離液を反応槽に流入させる場合もある。これは前搾りまたは前分離と呼ぶ。

脱水後の固形物（脱水ケーキと呼ばれる）は堆肥化施設に投入し、ふんとともに堆肥化する。

解説

同じカチオン系凝集剤であっても、カチオン度、分子量、粘性の異なる多くの仕様の製品があり、汚泥の性状により効果が異なるので、あらかじめ凝集試験を行って選定することが重要である。

凝集剤は液状でも市販されているが、価格の観点から通常は乾燥粉末で購入するが多い。粉末品を利用する場合、凝集剤粉末を袋から直接水中に投入すると凝集剤が塊を作って溶けにくくなってしまう。このため、凝集剤自動溶解装置の導入が望ましい。この装置では、装置のホッパーに定期的に粉末凝集剤を補充するだけで、後は設定濃度の凝集剤溶液が溶解攪拌槽に貯留される。凝集剤溶液はダイヤフラムポンプ等の定量ポンプで攪拌機付き凝集混和槽内の余剰汚泥スラリーに滴下し、凝集フロックを形成させる（図 1）。添加量は、分離液に白濁が残る程度が望ましい。灰黒色の場合添加不足、清澄な場合は添加過剰である。

脱水機には、多重円盤型、スクリュウプレス型、ウエッジワイヤー型など多様な製品が市販されている。耐久性、単位時間当たりの処理量、脱水ケーキ含水率等は製品によりかなり異なるので、選定にあたっては価格以外の観点からも評価する必要がある。

導入後に処理能力が不足すると対応が困難なので余裕を持った機種選定が必要である。一般的にはメーカー公表処理能力に対して 10～20%程度の余裕を持って機種選定する必要がある。脱水機の夜間無人運転は計画してはならないとされている（畜産環境整備機構、2004）。

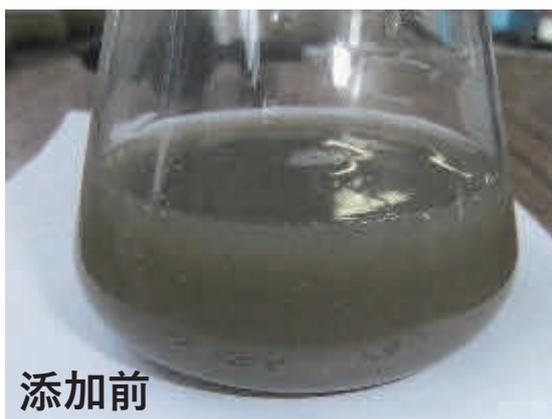


図 1. 高分子凝集剤添加時のフロック形成状況

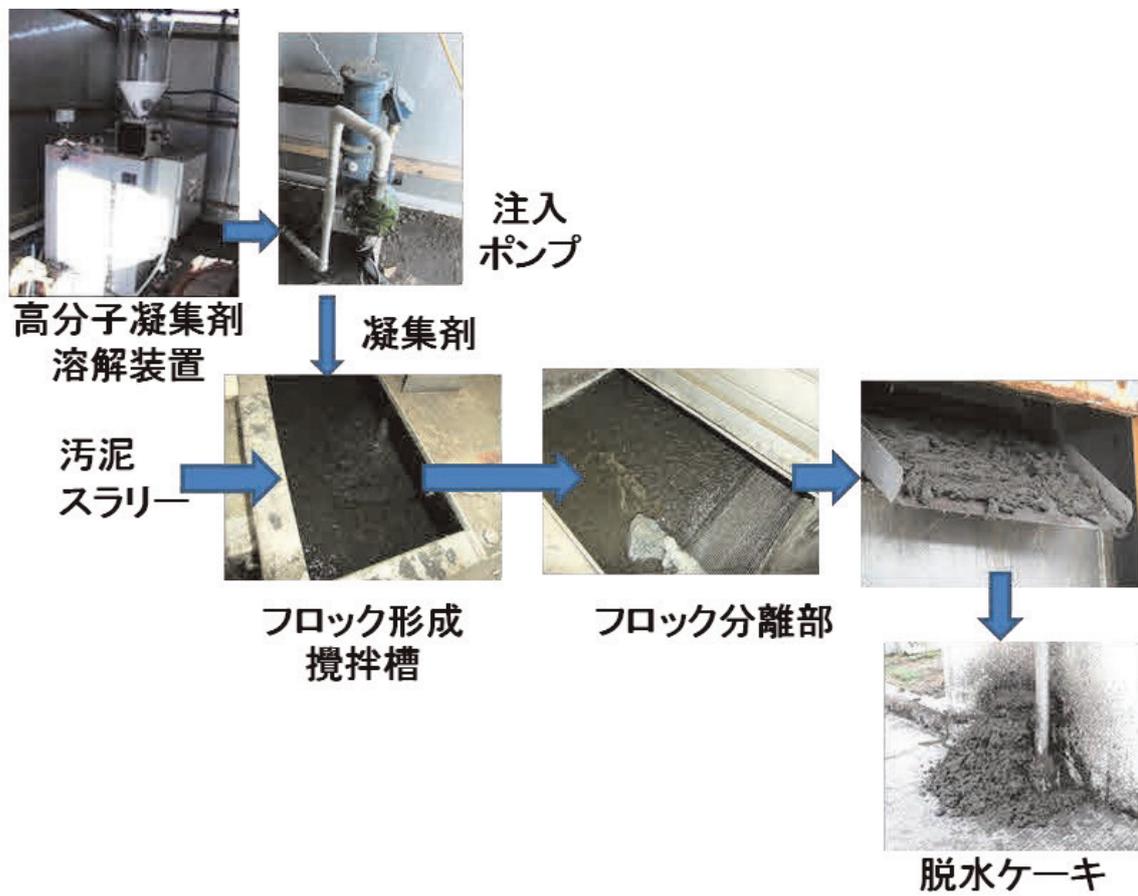


図2. 余剰汚泥の脱水分離フロー

【参考資料】

畜産環境整備機構(2004)家畜ふん尿処理施設的设计・審査技術. 財団法人畜産環境整備機構.

§ 3 -18 脱水処理に利用可能な凝集促進材

要点

家畜汚水処理で使用が許されている凝集促進材は表 1 の 7 種類である。これらの内、アルミニウム系無機凝集促進材と鉄系無機凝集促進材は、汚水処理では主にりんphの除去に利用される場合が多い。

表 1. 使用可能な凝集促進材

ポリアクリルアミド系高分子凝集促進材
ポリアクリル酸ナトリウム系高分子凝集促進材
ポリアクリル酸エステル系高分子凝集促進材
ポリメタクリル酸エステル系高分子凝集促進材
ポリアミジン系高分子凝集促進材
アルミニウム系無機凝集促進材
鉄系無機凝集促進材

解説

平成 29 年 11 月以前は、脱水用凝集促進材（凝集剤と同義）が混入した家畜ふんが原料に含まれる堆肥は、普通肥料として農林水産大臣の登録を受けることが必要であった。しかし平成 29 年 11 月に公定規格の改正があり、指定された凝集促進材であれば混入後も特殊肥料として扱えることとなった。

なお、使用可能な市販凝集促進材商品については農水省のホームページの下記 URL に掲載されている。

【参考資料】

農林水産省. 堆肥等の特殊肥料に使用可能な凝集促進材について.

maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k_hiryo/floc.html

第 4 章

窒 素 除 去 技 術

第4章のポイント

法律の章で述べたように、硝酸性窒素等の排水基準値は年とともに厳しさを増しつつあり、窒素濃度が高い養豚汚水の処理では特に頭の痛い課題である。一方、窒素除去を目的とした汚水処理は、農家が従来経験で培ってきた勘だけでは対応が困難であり、除去原理の理解と頻繁な水質把握を基盤とした運転調整が不可欠となる。

本章では、窒素除去の原理、窒素除去型施設的设计法、窒素除去のための運転管理法の詳細を解説する。なお、畜産環境整備機構（2004）の「家畜ふん尿処理施設的设计・審査技術」出版の時点では窒素除去の重要性は現在ほど高くなかったため詳細な解説はなされていなかった事項である。

§ 4-1 窒素除去の原理

要点 畜産汚水中の窒素除去では生物学的除去法を一般的に用いる。生物学的除去法では2種類の細菌群を活用する（図1）。

- ・硝化工程：硝化菌により、溶存酸素の多い条件下で汚水中のアンモニアを亜硝酸や硝酸に酸化する。
- ・脱窒工程：脱窒細菌により、硝化工程で蓄積した亜硝酸や硝酸を無酸素条件下で窒素ガスに還元し揮散させて除去する。

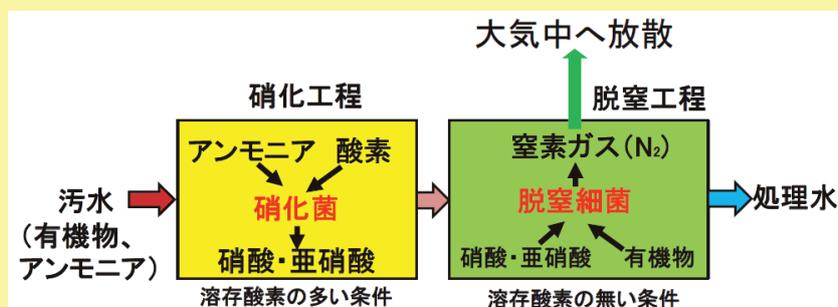


図1 窒素除去の原理

解説

硝化工程を円滑に進めるためには、以下(1)～(4)の条件が必要となる。

(1) 硝化菌は増殖速度が遅いことから、曝気槽の活性汚泥中に十分量の硝化菌が維持されるように、活性汚泥の槽内滞留時間（固形物滞留時間：SRT）を長くする必要がある。SRTが短い場合、硝化菌の増殖速度よりも汚泥とともに槽外に引き抜かれる速度のほうが上回り、硝化菌は存在しなくなる。なお、SRTは下式で求めることができる（日本下水道協会、2009）。

SRT（日）＝汚水処理系内に存在する活性汚泥量（kg）／1日当たり系外に排除される活性汚泥量（kg/日）

$$= (\text{反応タンク容量 (m}^3\text{)} \times \text{MLSS 濃度 (mg/L)}) / (\text{余剰汚泥量 (m}^3\text{/日)} \times \text{余剰汚泥濃度 (mg/L)})$$

硝化に必要なとされる SRT は、水温 20℃で約 6 日以上、水温 10℃で約 10 日以上とされている（日本下水道協会、2009）。SRT を高めるには、余剰汚泥の引き抜きを少なくして MLSS 濃度を高めればよい。ただし、MLSS 濃度が高すぎると沈殿槽から越流したり、曝気槽の溶存酸素の不足に陥ったりするので注意が必要である。

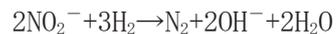
(2) 硝化工程に必要な溶存酸素濃度を高く保持する必要がある。水温 22℃以上の場合、溶存酸素 1mg/L のときの硝化速度は 1.2mg-N/(g-MLSS・hr) であるのに対して、溶存酸素 0.5mg/L では硝化速度は 0.4mg-N/(g-MLSS・hr) と 3 分の 1 程度にまで低下するとされている（日本下水道協会、2009）。

(3) 水温を高く保持する必要がある。亜硝酸菌（アンモニアを亜硝酸に酸化する硝化菌）の最適水温は 35℃近傍にあり、15℃以下では温度が低下するほど急速に活性は低下することが知られている（井出、1990）。最大活性と比較して、20℃では約 50%、10℃では約 20%、3℃では約 4%となる。このため、10℃以下では現実的な硝化活性は期待できず、結果的に窒素除去は困難となる。冬季であっても曝気槽の水温が 15～20℃程度を維持できるように施設設計の段階で十分に配慮する必要がある。その場合、曝気槽を地下方式にする、もしくは曝気装置のモーター熱を加温に利用する等が選択肢となる。

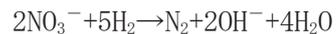
(4) 適正 pH を維持する必要がある。亜硝酸菌の最適 pH 域は 7.8~8.8 の範囲にあり、pH が酸性側の 6.4、またはアルカリ側の 9.2 では最大活性の 50% に低下する (井出、1990)。硝化だけが進んで脱窒が進行しない場合、アルカリ度 (アルカリ成分の総量を示す) が不足して pH が 6.4 以下に低下する。このような際には硝化活性が低下することとなる。脱窒が進行すればアルカリ度が供給されるため、pH を元に戻すことが可能である。

脱窒工程では、脱窒細菌の硝酸呼吸、あるいは亜硝酸呼吸を利用して、亜硝酸や硝酸を下式の還元経路に従って窒素ガスに還元する (井出、1990)。

- ・ 亜硝酸呼吸



- ・ 硝酸呼吸



上式の H_2 は、微生物内の呼吸酵素系を経由して、有機物から与えられる。多くの脱窒細菌は有機物を利用する従属栄養脱窒細菌に属しており、自然界や活性汚泥中に存在する従属栄養脱窒細菌の多くは、溶存酸素の存在下で酸素を利用して有機物酸化を行う一方、酸素欠乏状態では亜硝酸または硝酸を利用して有機物分解を行う脱窒機能を有する。

脱窒工程を進めるためには、上記のように有機物の存在が不可欠となる。この有機物には汚水中の有機物を利用するが、硝化工程ではアンモニアの硝化と同時に有機物の分解も進むため、後段の脱窒工程で十分な有機物を残留させるためには、流入汚水中の有機物量が窒素量に対して十分量存在しなければならない。一般に、脱窒が順調に進むためには、汚水中の BOD/N 比が 3 倍以上必要とされている (Osada ら、1991)。しかし、和木ら (2010) の調査によると、養豚汚水中の BOD/N 比は平均 2.7 であり、バランスが十分でないことが報告されている。窒素除去を進める上で、この条件を満足することが現実的には最も難しい点となる。

脱窒活性の最適水温は 37~39℃ である。20℃ の脱窒活性に対して 10℃ では半減するものの、硝化反応と比較した場合、比較的低温下でも脱窒が進行する (井出、1990)。

【参考資料】

日本下水道協会 (2009) 下水道施設計画・設計指針と解説. 日本下水道協会.

井出哲夫 (1990) 水処理工学 第 2 版. 技報堂出版.

Osada, T., Haga, K., Harada, Y. (1991). Removal of nitrogen and phosphorus from swine wastewater by the activated sludge units with the intermittent aeration process. Water Research 25(11), 1377-1388.

和木美代子、安田知子、福本泰之、黒田和孝、坂井隆宏、鈴木直人、鈴木良地、松葉賢次、鈴木一好 (2010) 養豚廃水の活性汚泥処理施設から排出される窒素の特性. 水環境学会誌, 33(4)、33-39.

§ 4-2 間欠曝気法

要点 反応槽の曝気を数時間サイクルでオン、オフさせる方式。曝気時にはアンモニアの硝化が進み、停止時に溶存酸素が低下し脱窒が進む。既存浄化施設への導入は比較的容易である。

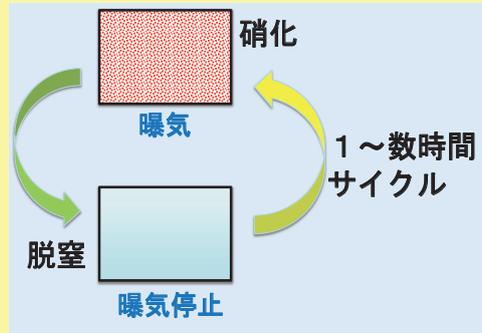


図 1 間欠曝気による窒素除去の原理

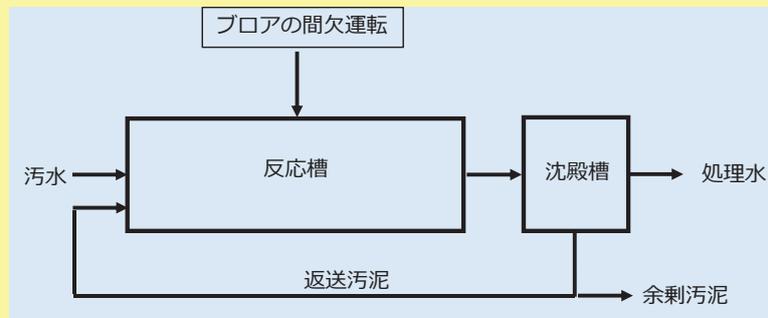


図 2 間欠曝気法（膜分離無し）の基本フロー

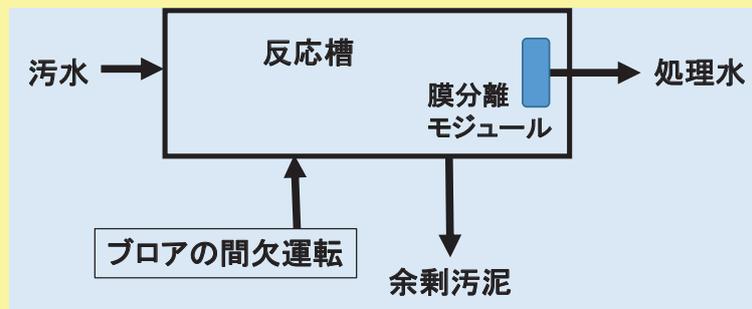


図 3 間欠曝気法（膜分離有り）の基本フロー

母豚 100 頭一貫経営（肥育豚換算 1000 頭）、ふん尿分離豚舎を想定した設計事例
 （示した数値は大凡の目安であり想定条件によりかなり変動する）

・表 1. 間欠曝気法（膜分離無し、汚水は連続流入）

汚水の種別	流入汚水量	流入汚水中全窒素濃度	流入汚水中 BOD 濃度	反応槽容量	曝気/非曝気時間比	曝気時通気量
生汚水	12m ³ /日	2138mg/L	6000mg/L	267.3m ³	1 : 1	12.8m ³ /分
凝集分離汚水	13m ³ /日	1615mg/L	4615mg/L	259.5m ³	1 : 1	11.6m ³ /分

・表 2. 修正間欠曝気法（膜分離無し、汚水は脱窒工程で流入）

汚水の種別	流入汚水量	流入汚水中全窒素濃度	流入汚水中 BOD 濃度	反応槽容量	曝気/非曝気時間比
生汚水	12m ³	2138mg/L	6000mg/L	178.2m ³	1 : 1
凝集分離汚水	13m ³	1615mg/L	4615mg/L	173.0m ³	1 : 1

・表 3. 間欠曝気法（膜分離有り、汚水は連続流入）

汚水の種別	流入汚水量	流入汚水中全窒素濃度	流入汚水中 BOD 濃度	反応槽容量	曝気/非曝気時間比
生汚水	12m ³	2138mg/L	6000mg/L	159.0m ³	1 : 1
凝集分離汚水	13m ³	1615mg/L	4615mg/L	155.7m ³	1 : 1

・表 4. 修正間欠曝気法（膜分離あり、汚水は脱窒工程で流入）の設計事例

汚水の種別	流入汚水量	流入汚水中全窒素濃度	流入汚水中 BOD 濃度	反応槽容量	曝気/非曝気時間比
生汚水	12m ³	2138mg/L	6000mg/L	106.0m ³	1 : 1
凝集分離汚水	13m ³	1615mg/L	4615mg/L	103.8m ³	1 : 1

解説

以下に間欠曝気法の設計計算事例を示す。この計算は理論に則ったものではあるが、想定流入汚水水質、各種係数の設定値、想定処理条件等により結果はかなり変動する。従って、下記の記述は、あくまで設計の考え方と大凡の設計値の目安を示すものである。

【生汚水が連続流入し、膜分離は無い場合の設計計算法】

（1）運転方式

ここでは、汚水が連続的に反応槽へ流入し、1時間の曝気と1時間の停止を交互（好気工程時間計12時間、脱窒工程時間計12時間）とした方式を仮定した。活性汚泥と処理水の分離は沈殿槽による。この連続流入方式は、既設の連続曝気式施設から間欠曝気

法に比較的容易に変更できる反面、脱窒工程だけでなく曝気工程にも汚水が流入するため、脱窒効率が悪く、大きな脱窒槽が必要となることが欠点である。

(2) 設計計算法の概要

年間の最低水温を 15℃と想定し、その水温で硝化反応と脱窒反応に必要な容量をそれぞれ算出し、いずれか大きい方を反応槽容積とする。

硝化反応で必要となる容量は、まず硝化細菌を槽内に保持するのに必要な好気条件下での活性汚泥滞留時間を算出し、その活性汚泥滞留時間を実現できる反応槽容量を算出する。

脱窒反応で必要となる容量は、脱窒対象窒素量に基づき算出する「必要脱窒速度」と、BOD-MLSS 負荷に基づき経験式で求める「期待される脱窒速度」が一致するようになる槽容量として算出する。

なお、計算に用いる各種係数は、既存の文献中には範囲で示されている場合が多い。以下の設計においては、施設能力に余裕を持たせる算定になるような係数値を範囲内から選択した。

(3) 設計水温

冬季の低温期を考慮して設計水温は 15℃とする。冬季にこれより低下する場合は、加温・保温の措置が必要。

(4) 設計水量

設計水量として、母豚 100 頭の一貫経営（肥育豚換算 1000 頭）を想定し 1 日 12m³とする。

(5) 汚濁物質

設計汚濁物質は、ふん尿分離豚舎における肥育豚 1 頭・1 日あたりの反応槽への流入量として下記に設定する。傾斜スクリーンによる固液分離後に反応槽へ流入したと仮定した。

・流入窒素(N)量:ここでは肥育豚 1 頭・1 日あたりの生汚水の窒素量として 27g(0.027kg)を設定した。傾斜スクリーンにより 5%除去されたとして、流入窒素(N)量は 25.7g(0.0257kg)を使用した。

・流入 BOD 量:肥育豚 1 頭・1 日あたりの生汚水中の BOD 量として 80g(0.080kg)を設定した。傾斜スクリーンにより 10%除去されたとして、流入 BOD 量は 72.0g(0.072kg)を使用した。

・溶解性 BOD 量(S-BOD 量):溶解性 BOD は尿中 BOD に由来すると仮定し、肥育豚 1 頭 1 日あたりの尿中 BOD 量として報告されている 18g(0.018kg)を使用する(家畜ふん尿処理利用手引き制作委員会、1989)。

・SS 量:肥育豚 1 頭 1 日あたりの生汚水の SS 量として 98g(0.098kg)と設定した。傾斜スクリーンにより 30%除去されたとして、流入 SS 量は 68.6g(0.0686kg)を使用した。

(6) 反応槽容量の算定

日本下水道協会(2019)の循環式硝化脱窒法施設の設計計算法を基盤とし、家畜汚水処理に用いる間欠曝気法の特徴を反映させるべく必要な変更を行い下記のように算定した。ここでは母豚 100 頭(肥育豚 1000 頭)あたりの必要反応槽容量を算出している。

1)MLSS 濃度

MLSS 濃度は 6000mg/L(6.0kg/m³)とする。

2)曝気・曝気停止のサイクル時間

曝気時間と停止時間の比は 1 : 1 とする。なお、理論的には曝気・停止の 1 サイクルの時間が短いほど窒素除去率は上昇し、除去率を 80%以上にするためには曝気・停止の合計時間を 4 時間以下にする必要があるとされている (東京都環境保全局, 1992)。ただし、ブロワの寿命の面では起動・停止の回数は少ない方がよいとも指摘されている (東京都環境保全局, 1992)。

養豚汚水での試験事例としては、曝気および停止それぞれ 1 時間 (須藤立・他, 2015)、同じく 1~3 時間 (Osada, Haga, & Harada, 1991)、同じく 1~4 時間 (須藤隆一・他, 1997) などがあり、曝気・停止それぞれについて 1~4 時間 (曝気・停止の 1 サイクル時間として 2~8 時間) が通常といえる。

3)反応槽容量

①硝化反応に必要な反応槽容量の算出

まず、仮に連続曝気を想定した場合に硝化細菌を確保するのに最小限必要となる好氣的固形物滞留時間 $ASRT_{min}$ (日)を算出する。

$$ASRT_{min} = 20.65 \times \exp(-0.0639T)$$

ここに、T は 15°C なので、

$$\begin{aligned} ASRT_{min} &= 20.65 \times \exp(-0.0639 \times 15) \\ &= 7.9[\text{日}] \end{aligned}$$

$ASRT_{min}$ に負荷変動 (Peak Load) を考慮した補正係数 ($S_{PL} : 1.5$) と、1 日あたりの好気 (曝気) 工程時間 ($t_A : 12$ 時間) を用い、間欠曝気方式を想定した場合の必要 SRT (SRT_r , 日) を算出する (Grady C P Jr et al, 1999)。

$$\begin{aligned} SRT_r &= ASRT_{min} \times S_{PL} \times 24 / t_A \\ &= 7.9[\text{日}] \times 1.5 \times (24[\text{時}] / 12[\text{時}]) \\ &\doteq 23.7[\text{日}] \end{aligned}$$

次に、 SRT_r の期間に蓄積する MLSS 量 (固形物量) (主に、従属栄養細菌や汚水に含まれる難分解性固形物の量) を推定する。

$$\begin{aligned} \text{MLSS 量} &= (S\text{-BOD 量} \times a + \text{SS 量} \times b) \times SRT_r / (1+c \cdot SRT_r) \\ &= ((18.0[\text{kgS-BOD/m}^3] \times 0.6) + (68.6[\text{kgSS/m}^3] \times 1.0)) \times 23.7[\text{日}] \\ &\quad / ((1 + 0.03 \times 23.7[\text{日}])) \\ &\doteq 1099.8[\text{kg}] \end{aligned}$$

ここに、

a : S-BOD に対する汚泥変換率 (kgMLSS/kgS-BOD)。0.4~ 0.6 の範囲 (日本下水道協会, 2009) とされており、ここでは 0.6 とする。

b : 汚水中の SS に対する汚泥転換率 (kgMLSS/kgSS) 。0.9~1.0 の範囲 (日本下水道協会, 2009) とされており、ここでは 1.0 とする。

c : 活性汚泥の内生呼吸による自己分解速度 (kgMLSS/kgMLSS/日)。0.03 ~ 0.05 の範囲 (日本下水道協会, 2009) とされており、ここでは 0.03 とする。

以上に基づき、硝化反応に必要な反応槽容量 V (m^3) を次式により算出する。

$$\begin{aligned} V &= \text{MLSS 量} / \text{MLSS 濃度} \\ &= 1099.8[\text{kg}] / 6.0[\text{kg}/m^3] \\ &\div 183.3[m^3] \end{aligned}$$

②脱窒対象窒素量の算出

1日当たりの脱窒対象窒素量 MN (kgN) は下式で算出される (M. Henze, 2002)。なお、処理水の目標 N 濃度は $100mgN/L$ ($0.1kgN/m^3$) とする。

$$\begin{aligned} MN &= \text{流入 } N \text{ 量} - \text{処理水の } N \text{ 量} - \text{活性汚泥に変換される } N \text{ 量} \\ &= \text{流入 } N \text{ 量} - \text{処理水の } N \text{ 量} - \text{活性汚泥変換量} \times N_x \\ &= \text{流入 } N \text{ 量} - \text{処理水の } N \text{ 量} - (\text{S-BOD 量} \times a + \text{SS 量} \times b) \times N_x \\ &= 25.7[\text{kgN}] - 0.1[\text{kgN}/m^3] \times 12[m^3/\text{頭}] - (18[\text{kg}] \times 0.6 + 68.6[\text{kg}] \times 1.0) \times 0.08 \\ &\quad [\text{kgN}/\text{kgMLSS}] \\ &= 25.7 - 1.2 - (10.8 + 68.6) \times 0.08 \\ &= 25.7 - 1.2 - 6.35 \\ &\div 18.2[\text{kgN}] \end{aligned}$$

ここに、

a : S-BOD に対する汚泥変換率 ($kgMLSS/kgS\text{-BOD}$)。0.4-0.6 の範囲 (日本下水道協会, 2019) とされており、ここでは 0.6 とする。

b : 汚水中の SS に対する汚泥転換率 ($kgMLSS/kgSS$)。0.9-1.0 の範囲 (日本下水道協会, 2019) とされており、ここでは 1.0 とする。

N_x : 活性汚泥の N 含量 ($kgN/kgMLSS$)。0.08 とする (日本下水道協会, 2019)。

③脱窒速度による反応槽容量の算出

日本下水道協会 (2019) によると、循環式硝化脱窒方式における無酸素タンク容量の決定においては、「必要脱窒速度」が「期待される脱窒速度」よりも小さい値であることを確認し、その条件が満たされない場合は槽容積を再検討することとされている。この評価法を準用し、反応槽容量の算定を行うこととした。

2種の脱窒速度が等しくなる時の容量を V (m^3) とすると、まず「必要脱窒速度」は下式で求められる (日本下水道協会, 2019)。

$$\begin{aligned} \text{必要脱窒速度 [gN/kgMLSS/時]} &= \text{脱窒対象窒素量 } MN[\text{kgN}] \times 10^3 / (\text{脱窒工程時間 [時]} \times \text{反応槽容量 } V[m^3] \times \text{MLSS [kg}/m^3]) \\ &= 18.2 \times 10^3 / 12 \times V \times 6.0 \\ &= 252.8/V \end{aligned}$$

日本下水道協会 (2019) によると、実施調査と室内実験により「期待される脱窒速度」は BOD-MLSS 負荷と相関があり、低水温期 ($8.0\text{-}16.6^\circ\text{C}$) においては次のような関係があるとしている。

$$\text{期待される脱窒速度} = 7.7 \times \text{BOD-SS 負荷} + 0.6$$

この式により槽容量 V (m^3) の時の速度を求めると下式になる。

$$\text{期待される脱窒速度 [gN/kgMLSS/時]} = 7.7 \times \text{BOD-SS 負荷 [kgBOD/kgMLSS/日]} + 0.6$$

$$\begin{aligned}
&= 7.7 \times \text{BOD 量} / (\text{MLSS 濃度} \times V) + 0.6 \\
&= 7.7 \times 72.0 / (6.0 \times V) + 0.6 \\
&= 92.4 / V + 0.6
\end{aligned}$$

必要脱窒速度と期待される脱窒速度が等しくなる容量 V は下式により求められる。

$$252.8 / V = 92.4 / V + 0.6$$

よって、

$$V \div 267.3 [\text{m}^3]$$

④反応槽容量の決定

硝化反応に必要な反応槽容量は 183.3m³、脱窒反応に必要な反応槽容量は 267.3m³ となり、必要な反応槽容量は大きい方を選択して 267.3m³ となる。

4) 必要空気量

硝化槽への通気では BOD 酸化、活性汚泥微生物の内生呼吸、およびアンモニア酸化を同時に進めるための十分な酸素量を供給しなければならない。畜産環境整備機構 (2004) と日本下水道協会 (2019) を参考にして、必要酸素量 AOR (kgO₂/d) を以下のように求める。

$$\text{AOR} = D_B + D_N + D_E$$

ここに、

D_B: 有機物の酸化に必要な酸素量 (kgO₂/日)

D_N: 硝化反応に必要な酸素量 (kgO₂/日)

D_E: 内生呼吸に必要な酸素量 (kgO₂/日)

以下それぞれの酸素量を算出する。

①有機物の酸化に必要な酸素量 D_B

有機物酸化に必要な酸素量は次式に示すように、流入水中の有機物量から脱窒反応で利用された有機物量を差し引いた値を対象とする。

$$D_B = (L_r - MN \cdot K) \cdot A$$

ここに、

L_r: 除去 BOD 量 (kgBOD/日)

流入した BOD はすべて除去されると仮定して、除去 BOD 量は流入 BOD 量を使用する。

MN: 脱窒させる必要がある窒素量 (kgN)

「脱窒反応に必要な反応槽容量の算出」を参照。MN は 18.2kgN/日と算出される。

K: 脱窒により消費される BOD 量 (kgBOD/kgN)。2.0~3.0 とされており (日本下水道協会, 2019) ここでは 3.0 とする。

A: 除去 BOD 当たりに必要な酸素量 (kgO₂/kgBOD)。0.6~1.0 (日本下水道協会, 2019) とされており、ここでは 1.0 とする。

よって、

$$\begin{aligned}
D_B &= (72.0 [\text{kgBOD/日}] - 18.2 [\text{kgN/日}] \times 3.0 [\text{kgBOD/kgN}]) \times 1.0 [\text{kgO}_2/\text{kgBOD}] \\
&= 17.4 [\text{kgO}_2]
\end{aligned}$$

②硝化に必要な酸素量 D_N (kgO₂/日)

硝化に必要な酸素量は下式で求められる。

$$D_N = C \times \text{硝化した N 量}$$

ここに、

C : 窒素(N) 1kg の硝化に消費される酸素量(kgO₂/kgN)で 4.57 を用いる。

汚水に含まれる窒素のうち活性汚泥に変換される窒素以外はすべて硝化されると仮定すると下式になる。

$$D_N = C \times (\text{流入 N 量} - \text{余剰汚泥に変換された N 量})$$

ここに、

流入 N 量は 25.7kgN/日。

$$\begin{aligned} \text{余剰汚泥変換量} &= \text{S-BOD 量} \times a + \text{SS 量} \times b - c \times \text{HRT} \times \text{MLSS 濃度} \\ &= 18.0 [\text{kgS-BOD}] \times 0.6 [\text{kgMLSS/kgS-BOD}] + 68.6 [\text{kgSS}] \cdot 1.0 \\ &\quad [\text{kgMLSS/kgSS}] - 0.03 [1/\text{日}] \times (267.3 [\text{m}^3]/12 [\text{m}^3]) \times 6 [\text{kgMLSS/m}^3] \\ &\doteq 75.4 [\text{kgMLSS}] \end{aligned}$$

ここに、

a: S-BOD に対する汚泥変換率(kgMLSS/kgS-BOD)。0.4-0.6 の範囲(日本下水道協会, 2019)とされており、ここでは 0.6 とする。

b: 汚水中の SS に対する汚泥転換率(kgMLSS/kgSS)。0.9-1.0 の範囲(日本下水道協会, 2019)とされており、ここでは 1.0 とする。

c : 活性汚泥の内生呼吸による自己分解速度。0.03 ~ 0.05 の範囲(日本下水道協会, 2019)とされており、ここでは 0.03 とする。

HRT(水理学的滞留時間、日) : 反応槽容量 ÷ 1日あたりの流入水量

よって、

$$\begin{aligned} \text{余剰汚泥に変換された N 量} &= \text{余剰汚泥変換量} \times N_x \\ &= 75.4 [\text{kgMLSS}] \cdot 0.08 [\text{kgN/kgMLSS}] \\ &\doteq 6.0 [\text{kgN}] \end{aligned}$$

ここに、

N_x : 活性汚泥の N 含量(kgN/kgMLSS)。0.08 とする(日本下水道協会, 2019)。

よって、

$$\begin{aligned} D_N &= 4.57 \times (25.7 - 6.0) \\ &\doteq 90.0 [\text{kgO}_2] \end{aligned}$$

③ 内生呼吸酸素量 D_E (kgO₂/日)

$$D_E = bS$$

ここに、

b : 単位 MLSS 当たりの内生呼吸による酸素消費量(kgO₂/kgMLSS/日)。0.03 とする(下水道協会, 2019)。

S : 総 MLSS (g)

「硝化反応に必要な反応槽容量の算出」「脱窒反応に必要な反応槽容量の算出」のうち「反応槽容量で決定」した必要容量が大きいほうの 286m³ で算出した MLSS 量を使用する。

よって、

$$D_E = 0.03[\text{kgO}_2/\text{kgMLSS}/\text{日}] \times 6.0[\text{kgMLSS}/\text{m}^3] \times 267.3[\text{m}^3] \\ \approx 48.1 [\text{kgO}_2/\text{日}]$$

以上より AOR は以下のように算出される。

$$\text{AOR} = D_B + D_N + D_E \\ = 17.4[\text{kgO}_2/\text{日}] + 90.0[\text{kgO}_2/\text{日}] + 48.1[\text{kgO}_2/\text{日}] \\ = 155.5[\text{kgO}_2/\text{日}]$$

必要空気送風量 (m³/分) は下式により求められる。

$$\text{空気送風量} = \text{AOR} \div 0.28 \div 0.06 \div t_A \div 60 \text{分}$$

ここに、

0.28 : 20°Cの空気 1L に含まれる酸素の量 (kg/m³)

0.06 : 水への酸素溶解率

よって、

$$\text{空気送風量} = 155.5[\text{kgO}_2 / \text{日}] \div 0.28[\text{kg}/\text{m}^3] \div 0.06 \div 12 \text{時間} \div 60 \text{分} \\ \approx 12.8[\text{m}^3/ \text{分}]$$

【修正間欠曝気法（膜分離無し、前絞り無し、脱窒工程でのみ流入）の設計計算法】

（1）運転方式

汚水の流入は脱窒効率を高めるために脱窒工程でのみ行うこととした。

（2）～（5）

間欠曝気法（膜分離無し、前絞り無し、連続流入）と同じ

（6）反応槽

1) MLSS 濃度

間欠曝気法（膜分離無し、前絞り無し、連続流入）と同じ

2) 曝気・曝気停止のサイクル時間

間欠曝気法（膜分離無し、前絞り無し、連続流入）と同じ

3) 反応槽容量

東京都環境保全局（1992）によると、修正間欠曝気法の反応槽容量は通常の間欠曝気法の 2/3 で済むとされている。よって、下式により 190.5 m³と算出される。

$$\begin{aligned} \text{修正間欠曝気方式反応槽容積} &= \text{通常間欠曝気方式反応槽容積} \times 2/3 \\ &= 267.3 \times 2/3 \\ &= 178.2 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

【膜分離活性汚泥法による間欠曝気法の設計計算法】

上記計算においては MLSS 濃度を 6000 mg/L と想定したが、膜分離活性汚泥法の場合 MLSS 濃度を 10000 mg/L 程度まで高めることが可能である。よって、MLSS の数値に 10kg/m³を用いて計算を行うことで膜分離活性汚泥法で間欠曝気を行う場合の反応容積が算出できる。

【間欠曝気法および修正間欠曝気法の留意事項】

(1) 曝気

曝気停止時に、散気管の目詰まりが発生したり、空気配管に液が逆流し曝気再開時に通気を阻害したりすることがあるので曝気停止時に液の逆流が生じないような散気器具への交換が必要になる場合もある。また、空気を供給できる時間が半分になるのでブローア的能力を高めることが必要になる場合もある。

(2) BOD/N 比の調整

東京都環境保全局（1992）によれば BOD/N 比 2.2 では窒素除去率 75%程度であるが、BOD/N 比 3.3 では 90%以上の除去率であった事例が紹介されている。従って、間欠曝気活性汚泥法でも BOD/N 比は少なくとも 3 以上であることが必要である。

【参考資料】

- Osada, T., Haga, K., & Harada, Y. (1991) Removal of nitrogen and phosphorus from swine wastewater by the activated sludge units with the intermittent aeration process. *Water Research* 25(11):1377-1388.
- Grady C P L Jr, G T Daigger, and H C Lim. (1999) *Biological Wastewater Treatment*

- Second Edition Revised and expanded. New York, Marel Dekker Inc.
- Henze, M et al (2002) Wastewater Treatment Third Edition: Biological and chemical processes, Springer Berlin Heideberg.
- 家畜ふん尿処理利用手引き制作委員会 (1989) 家畜尿汚水の処理利用技術と事例, 財団法人中央畜産会
- 須藤ら (2015) 畜舎排水処理施設における汚水中の硝酸性窒素等除去の検討. 茨城畜セ研報第 47 号.
- 須藤ら (1997) 間欠曝気方式による畜舎汚水の窒素除去方法の開発に関する研究. 1997 年度研究成果報告書概要 (KAKENHI-PROJECT-07555460).
- 畜産環境整備機構 (2004) 家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術. 財団法人畜産環境整備機構.
- 東京都環境保全局 (1992) 東京湾富栄養化対策技術手引, 東京都.
- 日本下水道協会 (2019) 下水道施設計画・設計指針と解説 (後編) - 2019 年版 -. 公益社団法人日本下水道協会.

§ 4-3 循環式硝化脱窒法

要点

反応槽を、曝気を行う硝化槽と、曝気は行わずに攪拌のみを行う脱窒槽とに分け、循環ポンプを硝化槽出口に設置して前段の脱窒槽に液の循環を行う窒素除去法である。脱窒槽では有機物を豊富に含む汚水が硝酸・亜硝酸を含有する循環液と接触し脱窒が起こる。

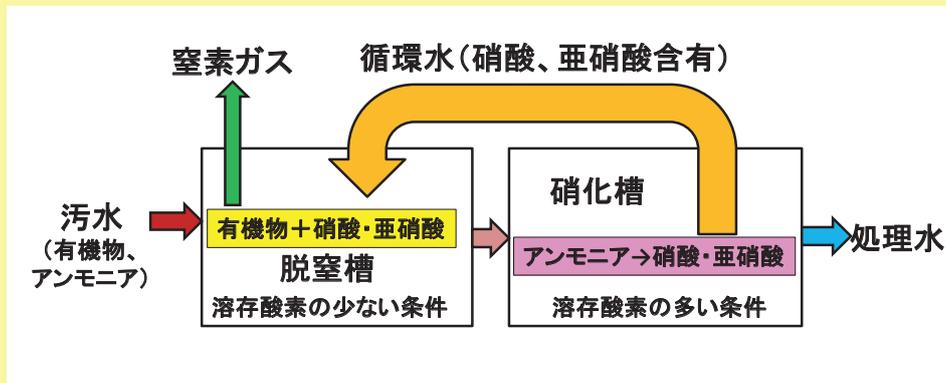


図 1. 循環式硝化脱窒法による窒素除去の原理

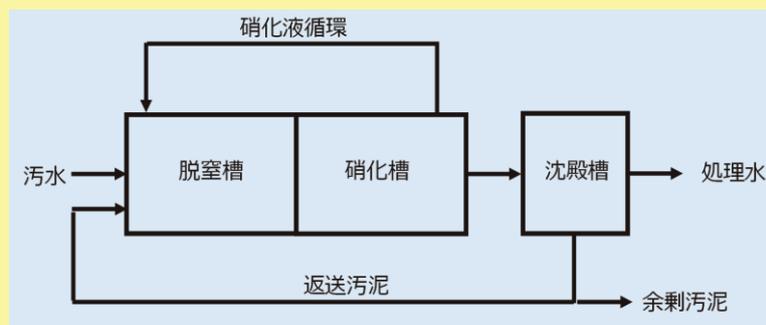


図 2 循環式硝化脱窒法（膜分離無し）の基本フロー

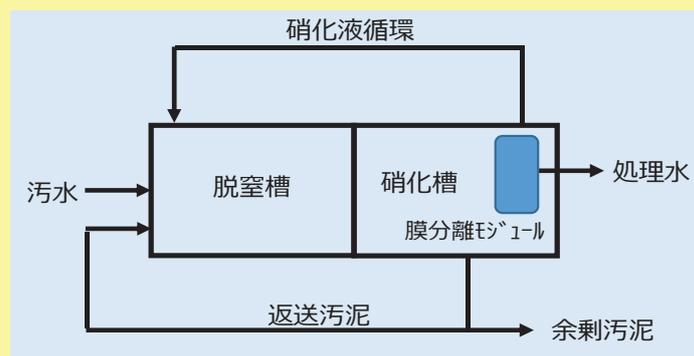


図 3 循環式硝化脱窒法（膜分離有り）の基本フロー

母豚 100 頭一貫経営（肥育豚換算 1000 頭）、ふん尿分離豚舎を想定した設計事例
 （示した数値は大凡の目安であり想定条件によりかなり変動する）

表 1. 循環式硝化脱窒法（膜分離無し）の設計緒言

汚水の種別	流入汚水量	流入汚水中全窒素濃度	流入汚水中 BOD 濃度	硝化槽容量	脱窒槽容量	硝化槽通気量	循環比
生活污水	12m ³	2138 mg/L	6000mg/L	115.9m ³	55.5m ³	5.3m ³ /分	19
凝集分離汚水	13m ³	1615 mg/L	4615mg/L	53.8m ³	66.1m ³	4.2m ³ /分	15

表 2. 循環式硝化脱窒法（膜分離有り）の設計諸元

汚水の種別	流入汚水量	流入汚水中全窒素濃度	流入汚水中 BOD 濃度	硝化槽容量	脱窒槽容量
生活污水	12m ³	2138 mg/L	6000 mg/L	69.5m ³	33.3m ³
凝集分離汚水	13m ³	1615 mg/L	4615 mg/L	32.2m ³	39.4m ³

解説

以下に循環式硝化脱窒法の設計計算事例を示す。この計算は理論に則ったものではあるが、想定流入汚水水質、各種係数の設定値、想定処理条件等により結果はかなり変動する。従って、下記の記述は、あくまで設計の考え方と大凡の設計値の目安を示すものである。

【凝集分離汚水が連続流入し、膜分離は無い場合の設計計算法】

(1) 運転方式

前処理として高分子凝集剤を使用し凝集分離した汚水を対象とした。汚水を投入する 1 槽目を脱窒槽、2 槽目を硝化槽として、2 槽目から 1 槽目にポンプにより循環させ、活性汚泥と処理水の分離は重力沈殿により行うと仮定した。

(2) 設計計算法の概要

年間の最低水温を 15℃と想定し、その水温で硝化反応と脱窒反応に必要な容量をそれぞれ算出する。

硝化反応で必要となる容量は、まず硝化細菌を槽内に保持するのに必要な好気条件下での活性汚泥滞留時間を算出し、その活性汚泥滞留時間を実現できる反応槽容量を算出する。

脱窒反応で必要となる容量は、脱窒対象窒素量に基づき算出する「必要脱窒速度」と、BOD-MLSS 負荷に基づき経験式で求める「期待される脱窒速度」が一致するようになる槽容量として算出する。

(3) 設計水量

設計水量として、肥育豚 1 頭あたり 1 日 13L、1000 頭で 13 m³/日とする。

(4) 汚濁物質量

設計汚濁物質は、肥育豚 1 頭 1 日あたりの反応槽への投入量として下記に設定する。高分子凝集剤を使用し凝集分離した後に反応槽へ投入することを想定した。

- ・ 窒素(N)量：肥育豚 1 頭・1 日あたりの窒素量として 21g(0.021kg)を設定した。
- ・ BOD 量：肥育豚 1 頭・1 日あたりの BOD 量として 60g(0.060kg)を設定した。
- ・ 溶解性 BOD 量(S-BOD 量)：尿中 BOD = S-BOD とみなし、肥育豚 1 頭 1 日あたりの溶

解性 BOD = 18g(0.018kg)を使用する(家畜ふん尿処理利用手引き制作委員会、1989)。

・SS量：肥育豚1頭1日あたりのSS量として26g(0.026kg)を設定した。

(5) 反応槽容量の算定

ここでは、母豚100頭(肥育豚1000頭)あたりの必要反応槽容量を算出している。

1) MLSS濃度

MLSS濃度は6000mg/L(6.0kg/m³)とする。

2) 硝化槽容量

十分な硝化反応を得るのに必要な硝化細菌を確保するのに最小限必要な好氣的固形物滞留時間ASRT_{min}(日)を算出する(日本下水道協会, 2019)。

$$\text{ASRT}_{\min} = 20.65 \times \exp(-0.0639T)$$

ここに、

T：水温(°C)は15°Cを使用する。

$$\begin{aligned}\text{ASRT}_{\min} &= 20.65 \cdot \exp(-0.0639T) \\ &= 20.65 \cdot \exp(-0.0639 \times 15) \\ &= 7.9 \text{ 日}\end{aligned}$$

ASRT_{min}に負荷変動(Peak Load)を考慮した補正係数(S_{PL})を用いて必要SRT(SRT_r, 日)を算出する(Grady C P Jr et al, 1999)。

$$\text{SRT}_r = \text{ASRT}_{\min} \cdot \text{S}_{\text{PL}}$$

S_{PL}は1.2-1.5の範囲とされており、ここでは1.5とする。

よって、

$$\begin{aligned}\text{SRT}_r &= 7.9 \text{ 日} \times 1.5 \\ &= 11.9 \text{ 日}\end{aligned}$$

つぎに、SRT_rの期間に蓄積するMLSS量(固形物量)を算出する。ここでは固形物の主要な構成物である従属栄養細菌や養豚排水に含まれる難分解性固形物の蓄積量を推定している。

$$\begin{aligned}\text{MLSS量} &= (\text{S-BOD量} \times a + \text{SS量} \times b) \cdot \text{SRT}_r / (1 + c \times \text{SRT}_r) \\ &= (18[\text{kgS-BOD/日}] \times 0.6 + 26[\text{kg/日}] \times 1.0) \times 11.9[\text{日}] \\ &\quad / (1 + 0.03 \times 11.9[\text{日}]) \\ &\approx 322.7[\text{kg}]\end{aligned}$$

ここに、

a：S-BODに対する汚泥変換率(kgMLSS/kgS-BOD)。0.4~0.6の範囲(日本下水道協会, 2009)とされており、ここでは0.6とする。

b：汚水中のSSに対する汚泥転換率(kgMLSS/kgSS)。0.9~1.0の範囲(日本下水道協会, 2009)とされており、ここでは1.0とする。

c：活性汚泥の内生呼吸による自己分解速度(kgMLSS/kgMLSS/日)。0.03~0.05の範囲(日本下水道協会, 2009)とされており、ここでは0.03とする。

以上に基づき、硝化反応に必要な反応槽容量V(m³)を次式により算出する。

$$\begin{aligned}V &= \text{MLSS量} \div \text{MLSS濃度} \\ &= 322.7[\text{kg}] \div 6.0[\text{kg/m}^3] \\ &\approx 53.8[\text{m}^3]\end{aligned}$$

3)脱窒槽容量

①脱窒対象窒素量の算出

1 日当たりに脱窒させる必要がある窒素量 MN(kgN)は下記の式より算出される (M. Henze, 2002)。なお、処理水の目標 N 濃度は 100mgN/L(0.1kgN/m³)とする。

$$\begin{aligned} \text{MN} &= \text{流入 N 量} - \text{処理水の N 量} - \text{活性汚泥に変換される N 量} \\ &= \text{流入 N 量} - \text{処理水の N 量} - \text{活性汚泥変換量} \times N_x \\ &= \text{流入 N 量} - \text{処理水の N 量} - (\text{S-BOD 量} \times a + \text{SS 量} \times b) \times N_x \\ &= 21.0[\text{kgN}] - 0.10[\text{kgN/m}^3] \times 13[\text{m}^3] - (18.0[\text{kg}] \times 0.6 + 26.0[\text{kgSS}] \times 1.0) \times \\ &\quad 0.08[\text{kgN/kgMLSS}] \\ &= 21.0 - 1.30 - 2.94 \\ &= 16.8[\text{kg}] \end{aligned}$$

ここに、

a : S-BOD に対する汚泥変換率(kgMLSS/kgS-BOD)。0.4-0.6 の範囲とされており (日本下水道協会, 2019)、ここでは 0.6 とする。

b : 汚水中の SS に対する汚泥転換率(kgMLSS/kgSS) 。0.9-1.0 の範囲とされており (日本下水道協会, 2019)、ここでは 1.0 とする。

N_x : 活性汚泥の N 含量(kgN/kgMLSS)。0.08 とする (日本下水道協会, 2019)。

②脱窒速度による反応槽容量の算出

日本下水道協会(2019)によると、循環式硝化脱窒方式における無酸素タンク容量の決定においては、「必要脱窒速度」が「期待される脱窒速度」よりも小さい値であることを確認し、その条件が満たされない場合は槽容積を再検討することとされている。この評価法を準用し、反応槽容量の算定を行うこととした。

2種の脱窒速度が等しくなるときの容量を V(m³)とすると、まず必要脱窒速度は下式で求められる (日本下水道協会, 2019)。

$$\begin{aligned} \text{必要脱窒速度}[\text{gN/kgMLSS/時}] &= \text{脱窒対象窒素量 MN}[\text{kgN}] \times 10^3 / (24 \times \text{反応槽容量 V}[\text{m}^3] \times \\ &\quad \text{MLSS}[\text{kg/m}^3]) \\ &= 16.8 \times 10^3 / (24 \times V \times 6.0) \\ &= 116.7/V \end{aligned}$$

日本下水道協会 (2019) は、実施設と室内実験のデータによると期待される脱窒速度は BOD-MLSS 負荷と相関があり、低水温期(8.0-16.6°C)においては次のような関係があるとしている。

$$\text{期待される脱窒速度} = 7.7 \times \text{BOD-SS 負荷} + 0.6$$

この式により槽容量 V(m³)の時の速度を求めると下式になる。

$$\begin{aligned} \text{期待される脱窒速度}[\text{gN/kgMLSS/時}] &= 7.7 \times \text{BOD-SS 負荷}[\text{kgBOD/kgMLSS/日}] + 0.6 \\ &= 7.7 \times \text{BOD 量} / (\text{MLSS 濃度} \times V) + 0.6 \\ &= 7.7 \times 60.0 / (6.0 \times V) + 0.6 \\ &= 77/V + 0.6 \end{aligned}$$

必要脱窒速度と期待される脱窒速度が等しくなることを想定することから下式が成り立つ。

$$116.7/V = 77/V + 0.6$$

よって

$$V \approx 66.1[\text{m}^3]$$

4) 反応槽容量の決定

硝化反応に必要な反応槽容量は 53.8m³、脱窒反応に必要な反応槽容量は 66.1m³であった。したがって、必要な反応槽容量は合計値の 119.9m³となる。

(6) 必要空気量

硝化槽への通気では BOD 酸化、活性汚泥微生物の内生呼吸、およびアンモニア酸化を同時に進めるための十分な酸素量を供給しなければならない。(畜産環境整備機構, 2004) と (日本下水道協会, 2019) を参考にして、必要酸素量 AOR (O₂/kg) を以下のように求める。

$$AOR = D_B + D_N + D_E$$

ここに、

D_B: 有機物の酸化に必要な酸素量 (kgO₂/日)

D_N: 硝化反応に必要な酸素量 (kgO₂/日)

D_E: 内生呼吸に必要な酸素量 (kgO₂/日)

以下それぞれの酸素量を算出する。

① 有機物の酸化に必要な酸素量 D_B (kgO₂ /日)

有機物酸化に必要な酸素量は次式に示すように、流入水中の有機物量から脱窒反応で利用された有機物量を差し引いた値を対象とする。

$$D_B = (L_r - MN \cdot K) \cdot A$$

ここに、

L_r: 除去 BOD 量 (gBOD/日)

流入した BOD はすべて除去されると仮定して、除去 BOD 量は流入 BOD 量を使用する。

MN は 15.9 kgN/日。

K: 脱窒により消費される BOD 量 (kgBOD/kgN)。2.0~3.0 とされており (日本下水道協会, 2019) ここでは 3.0 とする。

A: 除去 BOD 当たりに必要な酸素量 (kgO₂/kgBOD)。0.6~1.0 (日本下水道協会, 2019) とされており、ここでは 1.0 とする。

よって、

$$\begin{aligned} D_B &= (60.0 [\text{kgBOD/日}] - 16.8 [\text{kgN/日}] \times 3.0 [\text{kgBOD/kgN}]) \times 1.0 [\text{kgO}_2/\text{kgBOD}] \\ &= 9.6 [\text{kgO}_2] \end{aligned}$$

② 硝化に必要な酸素量 D_N (kgO₂/日)

硝化に必要な酸素量は下式で求められる。

$$D_N = C \times \text{硝化した N 量}$$

ここに、

C: 窒素 (N) 1kg の硝化に消費される酸素量 (kgO₂/kgN) で 4.57 を用いる。

汚水に含まれる窒素のうち活性汚泥に変換される窒素以外はすべて硝化されると仮定すると下式になる。

$$D_N = C \times (\text{流入 N 量} - \text{余剰汚泥に変換された N 量})$$

$$\text{余剰汚泥変換量} = S\text{-BOD 量} \times a + \text{SS 量} \times b - c \times \text{HRT} \times \text{MLSS 濃度}$$

$$\begin{aligned}
&= 18[\text{kgS-BOD}] \times 0.6[\text{kgMLSS/kgS-BOD}] + 26.0[\text{kgSS}] \cdot 1.0 \\
&[\text{kgMLSS/kgSS}] - 0.03[1/\text{日}] \times (87.6[\text{m}^3]/13[\text{m}^3]) \times 6.0[\text{kgMLSS/m}^3] \\
&\approx 35.6[\text{kgMLSS}]
\end{aligned}$$

ここに、

a: S-BOD に対する汚泥変換率 (kgMLSS/kgS-BOD)。0.4-0.6 の範囲 (日本下水道協会, 2019) とされており、ここでは 0.6 とする。

b: 汚水中の SS に対する汚泥転換率 (kgMLSS/kgSS) 。0.9-1.0 の範囲 (日本下水道協会, 2019) とされており、ここでは 1.0 とする。

c: 活性汚泥の内生呼吸による自己分解速度。0.03 ~ 0.05 の範囲 (日本下水道協会, 2019) とされており、ここでは 0.03 とする。

HRT(水理的滞留時間、日) : 反応槽容量 ÷ 1日あたりの流入水量
よって、

$$\begin{aligned}
\text{余剰汚泥に変換された N 量} &= \text{余剰汚泥変換量} \times N_x \\
&= 35.6[\text{kgMLSS}] \cdot 0.08[\text{kgN/kgMLSS}] \\
&\approx 2.8[\text{kgN}]
\end{aligned}$$

ここで、

N_x : 活性汚泥の N 含量 (kgN/kgMLSS) は、0.08 とする (日本下水道協会, 2019)。

よって、

$$\begin{aligned}
D_N &= 4.57 \times (21.0 - 2.8) \\
&\approx 83.1[\text{kgO}_2]
\end{aligned}$$

③ 内生呼吸酸素量 D_E (kg O₂/日)

$$D_E = bS$$

ここに、

b: 単位 MLSS 当たりの内性呼吸による酸素消費量 (kgO₂/kgMLSS/日)。0.03 とする (下水道協会, 2019)。

S: 総 MLSS (kg)。「硝化反応に必要な反応槽容量の算出」で算出した MLSS 量を使用する。

よって、

$$\begin{aligned}
D_E &= 0.03[\text{kgO}_2/\text{kgMLSS}/\text{日}] \times 322.3[\text{kgMLSS}] \\
&\approx 9.7[\text{kgO}_2/\text{日}]
\end{aligned}$$

以上より AOR は以下のように算出される。

$$\begin{aligned}
\text{AOR} &= D_B + D_N + D_E \\
&= 9.6[\text{kgO}_2/\text{日}] + 83.1[\text{kgO}_2/\text{日}] + 9.7[\text{kgO}_2/\text{日}] \\
&= 102.4[\text{kgO}_2/\text{日}]
\end{aligned}$$

必要空気送風量 (L/分) は下式により求められる。

$$\text{空気送風量} = \text{AOR} \div 0.28 \div 0.06 \div t_A \div 60 \text{分}$$

ここに、

0.28: 20°C の空気 1L に含まれる酸素の量 (kg/m³)

0.06: 水への酸素溶解率

よって、

$$\begin{aligned}
\text{空気送風量} &= 102.4 [\text{kgO}_2 / \text{日}] \div 0.28[\text{kg/m}^3] \div 0.06 \div 24 \text{時間} \div 60 \text{分} \\
&\approx 4.2[\text{m}^3 / \text{分}]
\end{aligned}$$

(7) 循環比の設定

日本下水道協会 (2009) によると、硝化槽から脱窒槽への循環量と流入水量との比 (循環比) により窒素除去率 E_N が決まることになる。具体的には下式で計算される。

$$E_N = (R / (1+R)) \times 100$$

ここに、

R : 循環比

$$R = (Q_r + Q_c) / Q_{in}$$

ここに、

Q_r : 返送汚泥量 (m³/日)

Q_c : 循環水量 (m³/日)

Q_{in} : 流入水量 (m³/日)

仮に汚水の窒素濃度 1000 mg/L から処理水濃度 100 mg/L まで低減させるとすると、90% の除去率が求められる (余剰汚泥としての窒素除去分を無視した場合)。この場合、循環比は 9 となる。事業場廃水処理の場合、循環水量は 1 日平均処理水量の 3～4 倍以上とされている。畜産汚水処理において処理水窒素濃度を 100 mg/L にするにはかなり高い循環比が必要といえる。

【留意事項】

(1) 脱窒槽の攪拌

脱窒槽には汚泥の沈殿を除き、また汚水と循環液の接触を促進するため攪拌装置を設置する。攪拌装置としては、水中モーター式攪拌装置または横軸水中羽根式を用いる。粗大気泡のエアレーション装置を設置し、DO が上昇しない程度に間欠運転する手法もある (日本下水道協会,2019)。

(2) BOD/N 比が 3.0 を下回る場合には、メタノール添加法を参照して電子供与体を添加する必要がある。

【凝集分離汚水が連続流入し、膜分離が有る場合の設計計算法】

(1) 運転方式

ここでは、前段処理として高分子凝集剤を使用し凝集分離した汚水を対象とした。汚水を投入する 1 槽目を脱窒槽、2 槽目を硝化槽として、2 槽目から 1 槽目にポンプにより循環させ、活性汚泥と処理水の分離は膜分離により行うと仮定した。

(2) 設計計算法の概要

循環式硝化脱窒法 (膜分離無し) と同じ

(3) 設計水量

循環式硝化脱窒法 (膜分離無し) と同じ

(4) 汚濁物質

循環式硝化脱窒法 (膜分離無し) と同じ

(5) 反応槽

1) MLSS 濃度

MLSS 濃度は 10000mg/L (10.0kg/m³) とする。

2) 硝化槽容量

循環式硝化脱窒法（膜分離無し）を参照して、MLSS 量を算出する。

硝化槽の必要容量 V(L)を次式により算出する。

$$\begin{aligned} V &= \text{MLSS 量} \div \text{MLSS 濃度} \\ &= 322.3\text{kg} \div 10.0\text{kg/m}^3 \\ &\div 32.2\text{m}^3 \end{aligned}$$

3)脱窒槽容量

循環式硝化脱窒法（膜分離無し）を参照して、脱窒対象窒素量は 16.8kg となり、脱窒槽容量は 39.4 m³となる。

4)反応槽容量の決定

硝化反応に必要な反応槽容量は 32.2m³、脱窒反応に必要な反応槽容量は 39.4m³であった。したがって、必要な反応槽容量は 71.6m³となる。

【参考資料】

Osada, T., Haga, K., & Harada, Y. (1991) Removal of nitrogen and phosphorus from swine wastewater by the activated sludge units with the intermittent aeration process. Water Research 25(11):1377-1388.

Grady C P L Jr, G T Daigger, and H C Lim. (1999) Biological Wastewater Treatment Second Edition Revised and expanded. New York, Marel Dekker Inc.

Henze, M et al (2002) Wastewater Treatment Third Edition: Biological and chemical processes, Springer Berlin Heideberg.

家畜ふん尿処理利用手引き制作委員会（1989）家畜尿汚水の処理利用技術と事例，財団法人中央畜産会

須藤ら（2015）畜舎排水処理施設における汚水中の硝酸性窒素等除去の検討．茨城畜セ研報第 47 号．

須藤ら（1997）間欠曝気方式による畜舎汚水の窒素除去方法の開発に関する研究．1997 年度研究成果報告書概要(KAKENHI-PROJECT-07555460)．

畜産環境整備機構（2004）家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術．財団法人畜産環境整備機構．

東京都環境保全局（1992）東京湾富栄養化対策技術手引，東京都．

日本下水道協会（2019）下水道施設計画・設計指針と解説（後編）－2019 年版－．公益社団法人日本下水道協会．

§4-4 メタノール添加による窒素除去法

要点

窒素除去の中心となる脱窒反応は無酸素条件（溶存酸素は無いが硝酸イオンまたは亜硝酸イオンは存在する状態を言う）において脱窒菌によって行われる。脱窒菌は通常、溶存酸素も利用できるが、無酸素条件下においては NO_2 や NO_3 の酸素を利用するため、窒素は N_2 として大気に放出される（図1）。メタノールは汚水中有機物と同様に脱窒反応において効率的に利用されることが知られている。

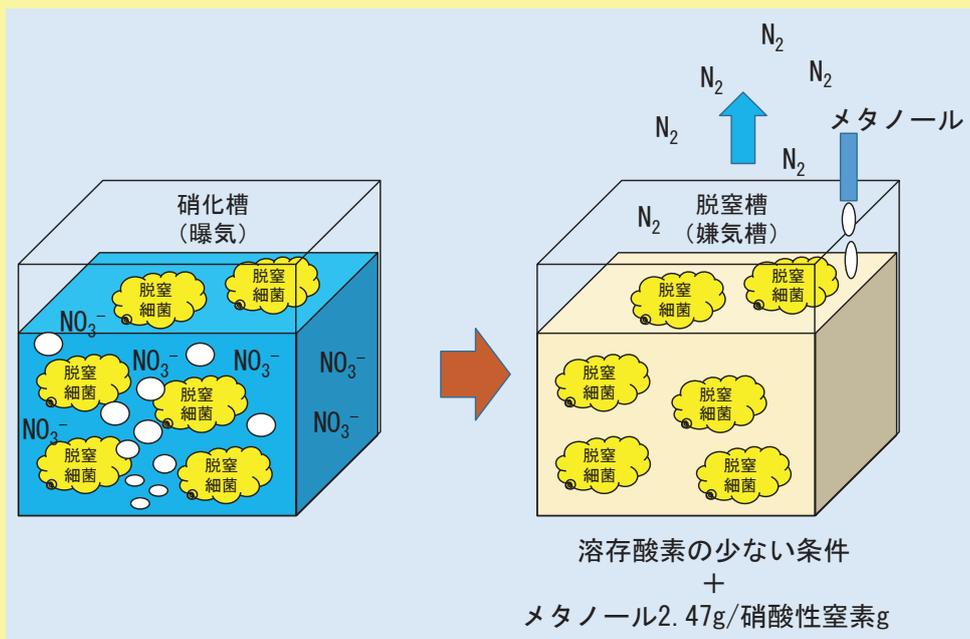


図1. メタノール添加による脱窒の原理

母豚100頭一貫経営（肥育豚換算1000頭）規模で、流入汚水のBOD/N比が1.5を想定した場合の設計諸元を表1に示した。

表1. メタノール添加循環式硝化脱窒法による窒素除去施設の設計諸元
（流入汚水のBOD/N比を1.5と想定した場合）

汚水の種別	反応槽流入水の水量	反応槽流入水の全窒素濃度	反応槽流入水のBOD濃度	硝化槽容量（肥育豚1000頭あたり）	メタノール添加脱窒槽容量（肥育豚1000頭あたり）	硝化槽必要空気量（肥育豚1000頭あたり）	50%メタノール添加量（肥育豚1000頭あたり）
生活污水	12 m ³	2138 mg/L	3000 mg/L	115.9 m ³	55.5 m ³	5.3 m ³ /分	96.5 L/日
凝集分離汚水	13 m ³	1615 mg/L	2308 mg/L	53.6 m ³	66.1 m ³	4.2 m ³ /分	78.8 L/日

解説

メタノール添加による窒素除去法の概要

脱窒に利用できる有機炭素源は、グルコース ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)、アセトン ($(\text{CH}_3)_2\text{CO}$)、エタノール ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)、メタノール (CH_3OH) などが考えられる。これらの中で、資化性、扱いや

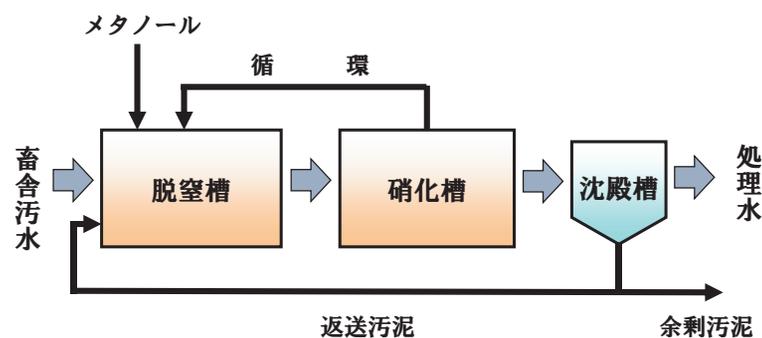


図 4. メタノール添加循環式硝化脱窒方式

メタノール添加による窒素除去法（循環式硝化脱窒方式）の設計例

母豚 100 頭の一貫経営（肥育豚換算 1000 頭）規模の農場の循環式硝化脱窒法で、流入汚水の BOD/N 比が 1.5 で BOD が不足する場合に、メタノール添加で補う想定での計算事例を下記に示す。

1. 設計の基礎諸元

循環式硝化脱窒法に準じて、設計の基礎諸元は以下のとおりとする。

水温 15℃、水量は生活污水の場合 13 m³/日、凝集分離後汚水の場合 12 m³/日とする。傾斜スクリーンを経た流入汚水中窒素量は生活污水で 25.7 kg/日、凝集分離後汚水の場合で 21.0 kg/日とする。BOD は BOD/N 比 1.5 より、生活污水で 38.6 kg/日、凝集分離後汚水で 31.5 kg/日とする。MLSS 濃度は 6000mg/L とする。

2. 硝化槽容積

硝化反応に必要な槽容積の算出は前述の循環式硝化脱窒法に準ずる。

3. 硝化槽必要空気量

硝化反応に必要な空気量の算出は前述の循環式硝化脱窒法に準ずる。

4. 脱窒槽容積

脱窒槽容量は前述の循環式硝化脱窒法に準じて算出する。

5. 添加メタノール量

メタノール 1 kg は BOD 1 kg に相当するので、所要添加メタノール量は下式で求められる。

$$(\text{流入 BOD 量} + \text{添加純メタノール重量}) / \text{流入窒素量} = 3$$

生活污水の場合、

$$(38.6 + \text{添加純メタノール重量}) / 25.7 = 3$$

よって、

$$\text{添加純メタノール重量} = 38.6 \text{ kg/日}$$

純メタノールの比重を 0.8 とすると、

$$\begin{aligned}\text{添加純メタノール容量} &= 38.6 / 0.8 \\ &= 48.3 \text{ L/日}\end{aligned}$$

一般的にメタノールは 50%濃度として使用することから、メタノール溶液添加容量は、
$$\begin{aligned}50\% \text{メタノール溶液添加容量} &= 48.25 \times 2 \\ &= 96.5 \text{ L/日}\end{aligned}$$

同じく、凝集分離後汚水の場合、

$$(31.5 + \text{添加純メタノール重量}) / 21.0 = 3$$

よって、

$$\text{添加純メタノール重量} = 31.5 \text{ kg/日}$$

純メタノールの比重を 0.8 とすると、

$$\text{添加純メタノール容量} = 39.4 \text{ L/日}$$

一般的にメタノールは 50%濃度として使用することから、メタノール溶液添加容量は、
$$\begin{aligned}50\% \text{メタノール溶液添加容量} &= 39.4 \times 2 \\ &= 78.8 \text{ L/日}\end{aligned}$$

メタノール等添加法の留意点

1. 攪拌装置

脱窒槽内では攪拌装置により均一に攪拌され、脱窒反応が遅滞なく進行するようになければならない。特に攪拌装置は 24 時間連続運転となるので比較的緩やかで、活性汚泥の沈殿やスカムの発生、槽内デッドゾーンが生じないような装置とする必要がある(全国都市清掃会議, 2006)。

なお、スカム発生が著しい場合には、スカムを破碎し分散させるため、水中ポンプで吸揚した槽内液を水面上からノズルで噴射することが有効な場合もある。

2. メタノール等貯留設備

メタノールは第 4 類アルコールの危険物に該当するため貯留設備は地下式にするなど消防法に準じなければならない(全国都市清掃会議 2006)。ただし、貯留容量が 400L 以下もしくは濃度 50%以下であれば適用されない。

3. メタノール等添加装置

消防法が適用される場合、注入ポンプのモーターは防爆型の必要がある(全国都市清掃会議 2006)。



図 5. メタノール貯留タンクと定量ポンプの一体型機器事例

4. 循環式硝化脱窒法及び間欠曝気法との組み合わせの考え方

循環式硝化脱窒法および間欠曝気法は、畜産経営においても取り組みやすく、ランニングコストの面からも有利な方法と考えられるが、汚水中の BOD/N 比が 3 以下の場合には脱窒が不十分になり硝酸性窒素が残留する場合がある。畜産汚水においては、BOD/N 比 3 以下の汚水も珍しくない。このような場合には、循環式硝化脱窒法の脱窒槽または間欠曝気法の曝気停止時間にメタノール等を供給することで脱窒を促進することが有効な可能性がある。なお、この場合再曝気槽の設置は不要である。

【参考資料】

井出哲夫(1990)水処理工学-理論と応用-第二版. 技報堂出版株式会社.

日本下水道協会(2019)下水道施設計画・設計指針と解説 後編-2019年版-. 公益社団法人日本下水道協会.

全国都市清掃会議(2006)汚泥再生処理センター等施設整備の計画・設計要領 2006 改訂版. 社団法人全国都市清掃会議.



コラム：その他の窒素除去法

本マニュアルでは、代表的な窒素除去法として間欠曝気法、循環式硝化脱窒法およびメタノール添加法について詳細な解説を行なっています。しかし、これ以外にも窒素除去手法は種々知られています。例えば、硝化内生脱窒法、オキシデーションデイチ法などがあります。

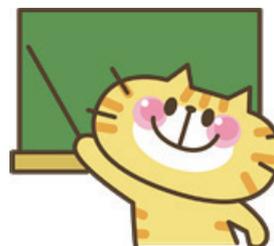
硝化内生脱窒法は、硝化工程の後に脱窒工程を配置するもので、脱窒反応に必要な水素供与体として活性汚泥に吸着された有機物や微生物細胞内に蓄積された有機物を利用します。この方法では、BOD-SS 負荷および DO 濃度によっては好気タンクにおいても脱窒が生じる場合があるとされています（日本下水道協会，2019）。

オキシデーションデイチ法は、低 BOD-SS 負荷条件かつ SRT が長くなることにより硝化反応が進行し、反応槽内に時間的又は空間的に無酸素状態が形成されることから脱窒反応も進むとされています（日本下水道協会，2019）。

特段の窒素除去対応を行っていない連続曝気型活性汚泥法施設であっても、高い窒素除去率が発現する場合があります。これは、曝気槽の部位によって DO 濃度が異なり、硝化と脱窒が同時進行する領域が発生している場合か、活性汚泥が曝気槽の一部に沈殿滞留して嫌気化し脱窒に適した部位が発生している場合等が考えられます。これらの状況が偶然に発生する場合に期待以上の窒素除去が進む場合もありますが、このような施設では意図的かつ安定して窒素除去性能を発現させるのは難しいのが実情です。

【参考資料】

日本下水道協会（2019）下水道施設計画・設計指針と解説後編－2019 年版－. 公益財団法人日本下水道協会.



第 5 章

高 度 处 理 技 術

第5章のポイント

本書では、窒素除去以外のりん除去および色度除去を便宜的に高度処理と呼ぶ。

りんの排水基準は、水質汚濁防止法では日排水量 50 m³以上で、放流先が法で定められた内湾に河川等を通じて排水が流入する地域にのみ適用されるため、適用対象戸数は多くはない。しかし、自治体によっては条例により独自に基準値が定められている場合もあり、このような地域ではりん除去技術も重要になる。

色度については基準は定められていないが、着色が濃い放流水は未処理汚水と誤解され近隣住民の苦情原因となる場合もある。このような場合には色度除去も重要になる。

§ 5-1 リン除去の原理

要点 汚水中のりん除去法には生物学的除去法と化学的除去法がある。生物学的除去法は、嫌気好気活性汚泥法と呼ばれ、特定の条件下で細菌がりんを細胞内に蓄積する現象を利用するが、条件制御が難しいことから畜産での実用化例は知られていない。

化学的除去法は、アルミ系または鉄系の凝集剤でりんを不溶化し、沈殿分離する。畜産分野でも利用されることがある。

解説

家畜汚水中にはりんも多く含まれている。水質汚濁防止法では、閉鎖性海域における富栄養化防止のため、指定地域内で排水量 50 m³/日以上以上の養豚排水に限り、りん含有量が規制されている。一般基準は 16mg/L であるが、現在は暫定基準として 22mg/L (2022 年現在) が設けられている (図 1)。地域によっては一般基準よりもさらに厳しい上乘せ基準が設けられているため、除去技術が必要となる。

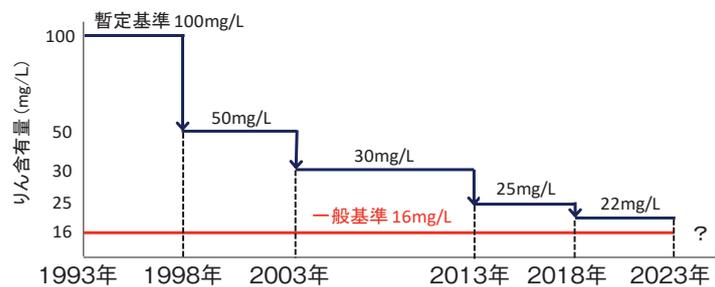


図 1 指定地域における養豚排水のりん含有量の暫定基準の推移

汚水中のりん除去には生物学的または化学的除去法がある。生物学的なりん除去法としては「嫌気好気活性汚泥法」(図 2) があり、窒素除去も同時に実施する場合は循環式硝化脱窒法と組み合わせた「嫌気無酸素好気法」(図 3) もある (日本下水道協会、2009)。これらの方法では各槽の処理条件を適正に制御する必要があり、水質性状が大きく変動する家畜汚水処理では適用が困難である。



図 2 嫌気好気活性汚泥法の基本フロー



図 3 嫌気無酸素好気法のフロー

家畜汚水処理ではアルミ系または鉄系の凝集剤でりんを不溶化し、沈殿分離する手法が一般的に利用される。なお、高分子凝集剤による汚水の脱水処理もりん低減に一定の効果があると報告されている (川村ら、2009)。このことから、汚水と余剰汚泥を混合して脱水処理し、その脱水ろ液を曝気槽に流入させる前絞り工程は、りん除去の観点からメリットがある。

りんは作物栽培に欠かせない肥料分であり、日本にとっては輸入に頼る枯渇性資源である。資源確保の観点から、回収循環利用は今後重要性が高まることが考えられる。

【参考資料】

日本下水道協会（2009）下水道施設計画・設計指針と解説．日本下水道協会．
川村英輔、田邊眞（2009）汚水脱水機を活用することで曝気槽へのBOD 負荷等が低減できる．参照日：2021年12月21日、参照先：
<http://www.pref.kanagawa.jp/uploaded/attachment/550092.pdf>

§5-2 凝集沈殿法によるりん除去

要点 りんの凝集沈殿法は、浄化処理水に鉄またはアルミを含有する無機凝集剤を添加してりん酸を不溶化し、沈殿除去する方法である（図1）。除去効果は高いが、新たな施設設置や薬品購入、さらに鉄またはアルミを含む汚泥が発生するので、余剰汚泥の脱水用に使用している既設脱水機の能力で対応できるか検討が必要である。

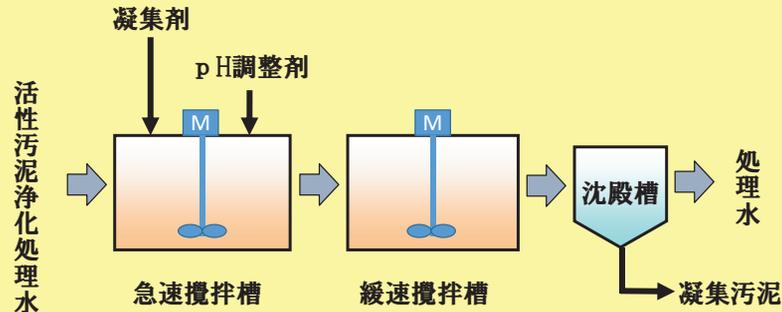


図1. 凝集沈殿法の基本フロー

解説

1. 凝集沈殿法によるりん除去の原理

家畜排せつ物中のりんは、リン酸エステル、リン脂質等の有機化合物に含まれている有機性リン化合物と、メタリン酸、ポリリン酸、ピロリン酸、オルトリン酸等の無機性リン酸に分類される。有機性リン化合物は、活性汚泥中の微生物によりほとんどが無機性リン酸に分解される。

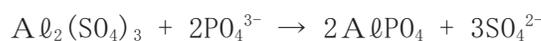
リン酸イオンはアルミニウムイオンおよび鉄イオンと結合して不溶性の沈殿物を形成する性質がある。このため、硫酸バンド（硫酸アルミニウム）、PAC（ポリ塩化アルミニウム）等のアルミ系凝集剤、または塩化第二鉄、ポリ硫酸第二鉄等の鉄系凝集剤を使用して沈殿除去することができる。凝集沈殿法のフローを図1に示した。凝集剤を処理水中に混和させるための急速攪拌槽と、凝集したフロックを大きく成長させるための緩速攪拌槽及び生成したフロックを分離する沈殿槽からなる。フロックの沈降を促進するための凝集助剤として高分子凝集剤が併用される場合もある。

りんの凝集沈殿法は、りん除去効果が高く運転管理は比較的容易とされるが、新たな処理施設の設置や薬品の購入が必要となり高イニシャルコストおよび高ランニングコストになりやすい。さらに、凝集沈殿汚泥の脱水処理が必要となる。なお、無機系凝集剤はりん酸とともにSS、COD、および色度の低減効果も有する。

2. 凝集沈殿法によるりん除去の設計法

アルミニウム系凝集剤の場合は原水中のPに対するモル比で3倍以上のAl、鉄系凝集剤の場合は4倍以上のFeを注入する（東京都環境保全局，1992）。

アルミおよび鉄とリン酸との反応は下式で示される。



急速攪拌槽の容積は

$$\text{容積}(\text{m}^3) = \text{急速攪拌槽への流入水量}(\text{m}^3/\text{d}) \times \text{滞留時間}(\text{min}) / 1,440(\text{min}/\text{d})$$

滞留時間は流入水量に対し5分程度が望ましい（全国都市清掃協会，2006）。

緩速攪拌槽の容積は

$$\text{容積 (m}^3\text{)} = \text{緩速攪拌槽への流入水量 (m}^3\text{/d)} \times \text{滞留時間 (min)} / 1,440 (\text{min/d})$$

滞留時間は流入水量に対し 20 分程度が望ましい（全国都市清掃協会，2006）。

3. 凝集沈殿法によるりん除去の留意点

前述したとおり新しい処理施設が必要となり、かつ薬剤コストが高い（橋本ら，1992）。また、凝集沈殿で発生する沈殿汚泥は濃縮性が悪く、重力濃縮後の汚泥濃度は通常の活性汚泥処理の余剰汚泥の 1/10 程度にとどまる（東京都環境保全局，1992）。通常は余剰汚泥と混合して脱水処理するが、余剰汚泥だけの場合に比べて高分子凝集剤の添加率を変化させる必要がある。

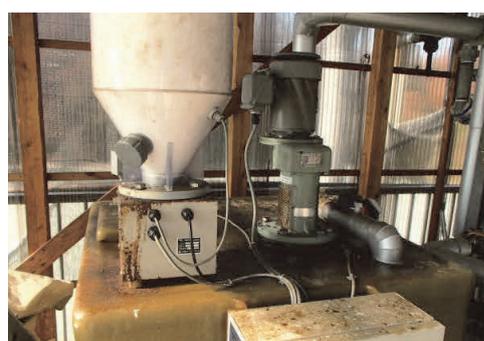
さらに、凝集沈殿後の pH を放流水の水質基準に適合させるため中和が必要になることがある（東京都環境保全局，1992）。

なお、凝集剤を添加した汚泥を家畜ふんに混合して堆肥化した場合、肥料の品質の確保等に関する法律第二条第二項、別表第一の凝集剤以外のものを利用すると特殊肥料として扱われなくなるので注意が必要である。

なお、凝集沈殿法の実施設事例を図 2 に、代表的な無機凝集剤の性質を表 1 に示した。



無機系凝集剤貯留槽



高分子凝集剤溶解装置

図 2 凝集沈殿法の実施設事例

表 1 代表的な無機凝集剤の性質

種 類	長 所	短 所
硫酸アルミニウム (硫酸バンド)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 除濁性が高い ・ 腐食性、刺激性が少ない 	<ul style="list-style-type: none"> ・ フロックが軽い ・ pH 8 以上では効果が低下する
ポリ塩化アルミニウム (PAC)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 凝集性が硫酸アルミニウムより良い ・ 中和剤が不要または少なくて良い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ フロックが軽い ・ pH 8 以上では効果が低下する
ポリ硫酸第 2 鉄	<ul style="list-style-type: none"> ・ フロックが重い ・ pH の低下が少ない 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 腐食性が高い ・ 処理水が着色することがある

【参考資料】

東京都環境保全局(1992). 東京湾富栄養化対策技術手引. 東京都.

全国都市清掃会議 (2006) 汚泥再生処理センター等施設整備の計画・設計要領 2006 改訂版. 社団法人全国都市清掃会議.

橋本奨, 須藤隆一(1992). 新しい活性汚泥法. 産業用水調査会.

コラム：ドロマイト石灰によるりん除去



畜舎の消毒などに噴霧塗布して利用される市販資材のドロマイト石灰（図1）は、スラリー状にして薬注ポンプで活性汚泥処理水に添加すると、りんを不溶化することができます。また、資材の主成分は水酸化カルシウムと水酸化マグネシウムのため、りん除去で発生する汚泥をりん酸質肥料として利用することもできます。



図1 ドロマイト石灰

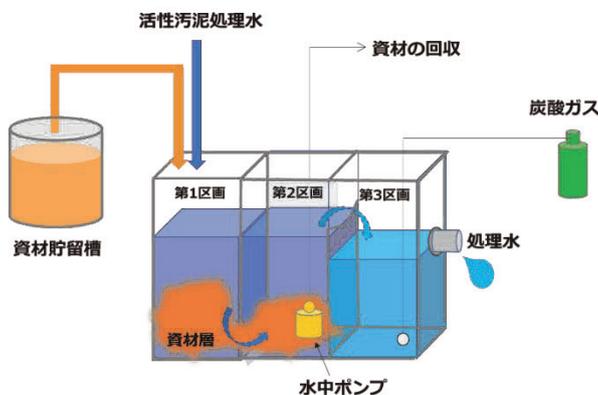


図2 処理装置の概要

ドロマイト石灰は、微粉末（粒径10～100 μ m）で水に分散しやすく、アルカリ化による消毒機能とカルシウムによる凝集効果があります。消石灰でも類似の効果がありますが、ドロマイト石灰の懸濁液は均質化が容易で、また薬注ポンプの閉塞トラブルが起きないため、消石灰より利用が容易と推察されます。ドロマイト石灰は6%濃度以下のスラリー状で使います。処理装置には、市販の土木工事用ノッチタンクのようなタンク内部が複数の槽に分画されているものを用います（図2）。タンクの第1区画に活性汚泥処理水と資材を連続的に流入させ、第2区画にかけて活性汚泥処理水と反応させます。反応後の資材は第1および第2区画の底部に沈積し処理水が第3区画から排出されます。

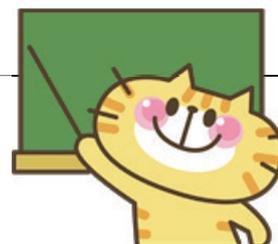
処理水のpHは資材添加率0.1%程度で11以上に高まるので炭酸ガスで中和処理する必要があります。炭酸ガスでの中和は過剰注入でもpH低下のリスクがないので安全です。タンク内に沈積した資材は水中ポンプで定期的に引き抜き回収します。

活性汚泥処理水1トン当たり、資材1kg添加（資材添加率0.1%）で100%近く、0.05%程度でも90%以上のりん除去が可能です。回収資材のりん含有率は30%で、りん酸質肥料としての利用基準を満たしています。一方、カドミウムやクロム、ヒ素などの有害成分は肥料取締法の規制値以下であることが確認されています。

回収資材を堆肥に混ぜ込んで製造した成型堆肥のリン酸肥効についてコマツナとチンゲンサイによる生育調査を行ったところ、成型堆肥区では原料堆肥区に比べてりん酸吸収量や利用率が高いことが確認されました。

【参考資料】

長谷川輝明、塚本崇志、松本崇志、長田隆、田中康男（2018）ドロマイト石灰を用いた養豚排水の高度処理技術および処理後に回収した資材の有効活用手法の検討．日本畜産環境学会誌17(1)、15.



§ 5-3 色度除去の基本

要点 色度を除去するには物理化学的手法しか選択肢がない。畜産分野では色度除去を行っている事例は少ないが、他分野での色度除去手法として最も一般的な方法はオゾン酸化法と活性炭吸着法である。無機凝集剤を使用した凝集沈殿法でもある程度色度が低減される。

解説

水質汚濁防止法では色度に関する規制は無い。しかしながら、養豚汚水の場合、污水处理施設で適切に処理しても茶褐色を呈する場合が多い。このような処理水は、見かけ上の汚濁感から未処理と誤解を受けやすく、近隣トラブルの要因になりやすい。また、放流先が海域の場合、COD が規制項目になるため COD 成分の一つでもある色度の除去が必要になる場合もある。

杉本ら(2013)は、養豚汚水の活性汚泥処理水の色度は 2.1~2910 度の範囲にあり、その平均は 528 度と報告している。一方、渡辺ら(1997)は、色度が 100 度以下になると COD は排水基準以下になることを報告している。そのため、放流水として望ましい色度は 100 度以下であり、80%以上の色度除去が必要ということになる。

森ら(2000)は、塩化第二鉄による凝集処理で 30%の脱色ができたことを報告している。

【参考資料】

杉本清美、長谷川輝明、山下恭広、田中康男(2013) 千葉県内養豚場における污水处理施設の実態調査. 千葉県畜産総合研究センター研究報告 13、77-78.

渡辺輝夫、市来秀之、道宗直昭(1997) 紫外線酸化法による畜舎排水の脱色技術. 九州農業試験場彙報 59、146.

森達摩、崎元道男(2000) 塩化第二鉄による凝集処理と黒ボク土カラム処理を併用した畜産排水の脱色. 大阪農技セ研報 36、5~7.

§5-4 オゾン酸化法による色度除去

要点 オゾンは着色原因物質の発色部位（不飽和結合）を酸化分解するため脱色効果が高い。反応速度は非常に大きく、脱臭効果も有する。さらに付随的な効果として細菌・ウイルス・クリプトスポリジウム等の広範囲の微生物に対して消毒効果がある。また、放流水中にはほとんど残留しないため放流水域への影響は少ない（日本下水道協会 2019）。

解説

オゾン発生装置は無声放電法が広く利用されている。この方法では、一對の電極間にガラスあるいはセラミックなどの誘導体をはさみ、原料ガス（酸素含有気体）を電極間に流しながら交流高電圧を印加する（日本下水道協会 2019）。オゾン発生の消費電力は、オゾンを微細気泡化し被処理水との接触を効率化させた装置の事例では、オゾン発生量 10 g/h で 1.2 kW、25 g/h で 2.3 kW、50 g/h で 7kW とされている。

脇屋ら(2013)によれば、活性汚泥処理水について 4 m³の接触槽を用い、微細気泡化したオゾンとの接触時間 40 分、オゾン添加量 80~120 mg/ℓの範囲で処理を行ったところ、色度は 80.9 から 5.8 にまで低下した。なお、下水道でのオゾン添加率は 5~15 mg/ℓとされており（日本下水道協会 2019）、これに比較すると養豚排水では高い添加率が必要といえる。

亜硝酸性窒素濃度が 50 mg/ℓ以上になると脱色効率が低下することが報告されており（脇屋ら 2013）、亜硝酸の蓄積を防ぐ運転管理が重要である。日本下水道協会（2019）によれば、亜硝酸態窒素はオゾンにより速やかに酸化され、理論上、亜硝酸性窒素 1 mg/ℓの酸化にオゾン 3.4 mg/ℓを消費する。

オゾン発生設備が屋内の場合は、漏えいしたオゾンが滞留しないよう換気設備を設けるとともにオゾン濃度計により環境オゾン濃度を常時監視することが望ましい（日本下水道協会 2019）。オゾン接触槽が屋内にある場合も同様である。なお、労働環境におけるオゾン許容濃度は 0.1 ppm とされている。

【参考資料】

日本下水道協会（2019）下水道施設計画・設計指針と解説 後編—2019 年版—。公益社団法人日本下水道協会。

脇屋裕一郎、松尾俊徳、高柳典弘、卜部大輔、河原弘文、永渕成樹。（2013）．微細気泡オゾンを利用した畜産排水処理水の脱色効果．日豚会誌，50（1）：1-7．

§5-5 活性炭吸着法による色度除去

要点 活性炭吸着法による色度除去法は、吸着能力を有する活性炭を使用して色度を除去する方法である。飽和吸着状態となると活性炭の交換が必要となる。このため、活性炭吸着法は技術としては確立されているが、家畜污水处理に適用する場合には、活性炭の寿命を予備試験で把握した上で、コスト面を含めた慎重な検討が必要である。

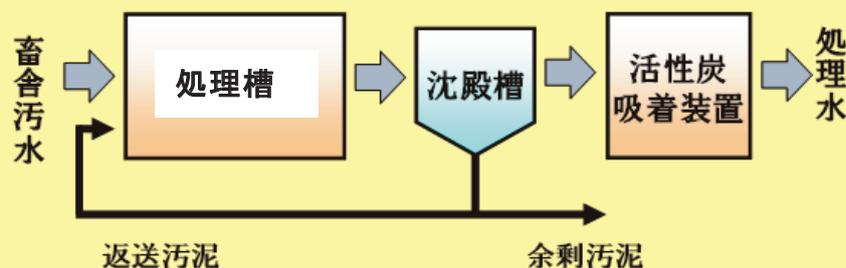


図1 活性炭吸着法の概要

解説

1. 活性炭吸着法による色度除去の原理

活性炭は、汚水中に含まれる溶解性、難分解性の有機物を吸着し、COD や色度除去に有効である(全国都市清掃会議, 2006)。活性炭はヤシガラ、木材、石炭、亜炭、石油ピッチなどを原料として、高温で炭化し、水蒸気等で活性化したもので、1~10.5nm と広い分布の多くの微細孔を持つ多孔質構造をもち(社団法人日本下水道協会, 2019)、重量当たりの表面積が 900~1,800m²/g(全国都市清掃会議, 2006)ときわめて大きく、この微細孔が吸着能力を持っている。比較的分子量の大きい色度、コロイド物質の吸着除去を目的とする場合は石炭系活性炭が適している(全国都市清掃会議, 2006)。ただし、活性炭は飽和吸着の状態となると除去率が低下する。

2. 活性炭吸着法による色度除去の適用

活性炭吸着法は、家畜污水处理分野では実施事例が少なく、適正処理条件も明らかとなっていない。このため、適用する際には必ず実排水で予備試験を行う必要がある。活性炭は、原料や製造方法によって吸着特性が異なるので、まずカラムテストを実施して、活性炭の種類を選択する(日本下水道協会, 2019)。次に、選択した活性炭で連続処理試験を行い、単位資材量当たりの色度吸着能を把握し、それに基づいてコストを算出する。

3. 活性炭吸着法による色素除去の留意点

一定量の処理により破過するので、定期的な活性炭の入れ替えが必要になる。使用済みの活性炭は熱処理により再生することも可能ではあるが、メーカーに依頼する必要があるので費用が発生する。一方、廃棄する場合には産業廃棄物としての処分費用が発生する。これらの点を勘案すると、活性炭吸着法は技術として確立されてはいるものの、畜産污水处理への適用には慎重な検討が必要である。

【参考資料】

全国都市清掃会議(2006) 汚泥再生処理センター等施設整備の計画・設計要領 2006 改訂版. 社団法人全国都市清掃会議.

日本下水道協会(2019) 下水道施設計画・設計指針と解説 後編-2019年版-. 公益社団法人日本下水道協会.

コラム：処理水の着色はどんな成分？



処理水の着色（ここでは濁りも含めて考えます）の原因となる成分はいくつかに分けることができます。一つは沈殿槽で沈殿しなかった未消化物や活性汚泥が原因になります。この場合は白濁または黒ずんで見えます。

良好な処理ができて濁りが無くなっても、茶褐色の色はかならず残ります。この茶褐色の成分は、微生物が分解しにくい有機物で、汚水中の有機物が分解される過程で生成した有機物も含まれます。これらの茶褐色有機物は分離膜も通過してしまうので、膜分離活性汚泥法でも着色の除去はできません（図1）。着色成分の大部分はBODを高めることはなく、また無害なのですが、見かけが悪いため近隣住民から未処理だという誤解を受けやすく、農家にとっては頭の痛いこととなります。なお、COD（化学的酸素消費量）は着色が強いほど高くなりますが、CODの規制は海域または湖沼に放流する場合にだけ適用されるので、河川等に放流する場合には規制上は問題になりません。

着色の原因成分として、下水処理の場合は、し尿由来のステルコビリル、ウロビリル等の他に、フミン質や微生物代謝成分等が含まれるとされています（日本下水道協会、2012）。畜産でもほぼ同様の成分と推定されます。

茶褐色の着色で苦情を受けた場合は、「無害です」と説明するしかありませんが、どうしても色を消さざるおえない場合には、現在のところオゾン酸化法が確実です。



図1 膜分離後の処理水の着色状況

【参考資料】

日本下水道協会（2012）下水試験方法上巻－2012年版－．公益社団法人日本下水道協会．





コラム：ドロマイト石灰による色度除去

ドロマイト石灰は既述のようにりん除去効果もありますが、色度についても効果を発揮します。りん除去への適用の場合と同様、6%濃度以下のスラリー状にして使用します。活性汚泥処理水1トンあたり、ドロマイト石灰を1.5kg添加（添加率0.15%）することで80%程度の色度除去が可能ことが確認されています（図1）。これは石灰成分による色度成分（フミン質等）の凝集によると考えられています。消石灰でも同様の効果がありますが、りん除去の項でも述べたように、微粉末化されているドロマイト石灰のほうがハンドリング性に優れており実用的と思われます。

また、資材添加により処理水のpHが上昇するので、pHが規制の上限値である8.6を超えない程度の添加量に抑えるか、または炭酸ガスによる中和処理を行う必要があります。

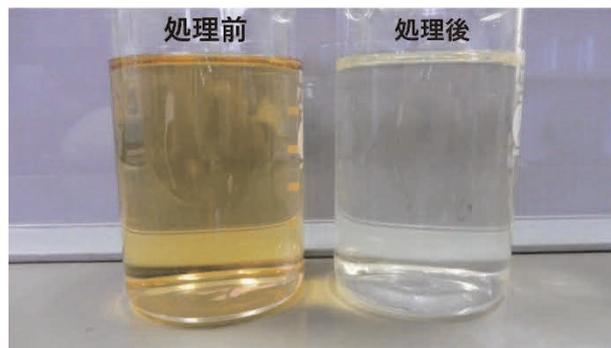
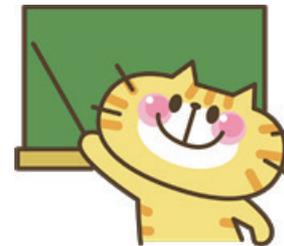


図1. ドロマイト石灰による処理前後の着色状況

【参考資料】

長谷川輝明、塚本崇志、松本崇志、長田隆、田中康男（2018）ドロマイト石灰を用いた養豚排水の高度処理技術および処理後に回収した資材の有効活用手法の検討. 日本畜産環境学会誌 17(1)、15.



第6章

施設の維持管理

第6章のポイント

どんなに高額で高性能な処理施設を設置したとしても、維持管理の手を抜くと本来の処理性能は発揮されないのが汚水処理の宿命である。長年の経験で維持管理の勘所を心得た農場も多いが、窒素除去に関する管理は従来 of 勘では対応しきれない面も多く、新たな対応を図る必要がある。

窒素除去を含む高度な調整管理はメンテナンス専門会社に委託することも有効であるが、費用面や防疫面で管理員の頻繁な出向は難しい面もある。一方で、近年進展のめざましいIoT技術やAI技術の導入は、遠隔監視のみならず遠隔調整も可能にし、最低頻度 of 出向で維持管理レベルを向上できる可能性がある。このような遠隔監視・制御技術についても本章で触れる。

§ 6-1 浄化処理施設維持管理の基本事項

要点 維持管理の基本は、以下の4点である。

- ① 日常管理
- ② 簡易法による水質等の把握
- ③ 水質の精密測定
- ④ 水質に基づく運転調整

上記の作業の内、①～②は自ら対応する必要があるが、③は専門業者へ委託することになる。④については独自対応に加えて、専門業者へ委託することも選択肢である。

解説

硝酸性窒素等の規制が導入される以前の浄化処理は、有機物 (BOD) や濁質 (SS) を放流可能水準まで低減することが主目標であった。この場合、ふんは豚舎内のできる限り分離して汚水への混入を極力抑え、生物処理では余裕のある容量の曝気槽で十分な曝気を行うという比較的単純な対応です。また処理状況の良否は処理水の濁りの程度 (透視度) をみれば判断できた。

しかし、硝酸性窒素等が規制項目になってからは、曝気工程に加えて、曝気を行わない脱窒工程の組み込みが不可欠となり、脱窒工程では一定量の有機物 (BOD) の存在が不可欠という複雑な要素が加わった。このため、窒素除去に配慮した設計が行われていても、処理水質を日常的に把握し処理条件の調整を行わないと目標水質の維持はできない。

窒素除去の原理の理解に基づく専門的な状況把握と調整を全て自前で行うのは困難であり、専門業者への管理委託も選択肢となる。

日常的な点検項目の一例を下記に示した。

1) スクリーン

ビニール類、布片、木片、金属片等の異物を除去する。

2) 脱水機

- (1) 音、振動、モーター温度、電流値の確認
- (2) 軸受部グリース給油
- (3) 凝集剤溶解機への粉末凝集剤補充
- (4) 粉末凝集剤落下口の清掃
- (5) 溶解凝集剤用定量ポンプの作動確認
- (6) 凝集フロックの性状確認
- (7) 脱水ケーキの性状確認

3) 曝気槽

- (1) 散気装置より均等に散気されていること
- (2) 散気装置の目詰まりを随時清掃のこと
- (3) 泡の発生状況確認。発泡時は消泡剤を散布のこと
- (4) 曝気槽の水温、pH、酸化還元電位 (ORP)、MLSS、SV、溶存酸素 (DO) の測定
- (5) 生物相の適時観察

4) 沈殿槽

- (1) 沈殿槽越流水の透視度測定
- (2) 汚泥返送ポンプまたはエアリフトポンプの点検

- (3) 返送汚泥量の調整
- (4) 余剰汚泥引抜量の調整
- 5) 消毒槽
 - (1) 消毒剤の補給
 - (2) 残留塩素の測定
 - (3) 流入量調節ゲートの開口度調整
- 6) 送風機
 - (1) 異音、振動、モーター温度、電流値、絶縁抵抗値等の点検
 - (2) 軸受部グリースの給油
 - (3) Vベルトの張り具合および摩耗状況の確認
- 7) 制御盤
 - (1) 電源電圧、各モータ電流値の測定
 - (2) 盤内各機器の変色、熱、臭気、音、湿度の有無点検
 - (3) 絶縁抵抗値の測定
- 8) その他の一般事項
 - (1) 施設内外の清掃を行い常に清潔を保つこと。
 - (2) 金属部分の錆の発生状況を観察し、湿度が多くさびやすい個所を油拭きとし、その他の部分は乾いたウエスで空拭きする。
 - (3) 各配管の継手、バルブ類のもれに注意すること
 - (4) 各機器の取扱い説明書を熟読の上、作業に当たること

§ 6-2 維持管理の重要ポイント

要点 処理施設の各種機器の正常稼働を維持するため、日常的な機器点検と異常時の迅速な補修が不可欠である。また、ブロワ、脱水機等の高額かつ重要な機器については、定期整備を実施してトラブル発生を予防することが重要である。また、耐用年数を勘案した更新計画を作成しておくことも必要である。さらに、機器全般について可能な範囲で予備機を準備しておくことが望ましい。

解説

施設の維持管理を適切に行うためには § 6-1 に記したように水質の把握と日常点検が最低限必要であるが、さらに表1のポイントに留意して長期的な計画を立てて進めると機器類の突然の故障による深刻な事態の発生を防ぐことができる。以下は横浜市公害研究所（1983）に記載されたポイントである。

表 1. 維持管理対応の重要ポイント

項目	内容
施設関係資料の常備	「設計仕様書」、「取扱い説明書」、「施設図面」などの資料を常備しておくとともに、それらを熟読しておき、施設の内容を十分に把握しておくこと。
マニュアル・日誌の作成	適正な運転を行うため「運転マニュアル」を作成すること。また、運転日誌をつけること。
点検表の作成	定期点検表を作成し、計画的な保守点検作業を行うこと。
消耗資材の備蓄・交換	消耗しやすいベルト、パッキン、回転部品、オイルなどは必ず常備し、定期的に変換すること。
異常対応	機器類等の点検の結果、異常が発見された場合はそれを放置せず、修理等を迅速に行うこと。
処理水監視	処理水の監視を怠らないこと。最低1日3回は処理水の状態を確認すること。
管理担当者	管理担当者は2名選任しておくこと。
緊急対応	緊急時の連絡体制や必要な措置を明確にしておくこと。
近隣配慮	処理施設からの臭気、騒音、汚水流出等が発生しないよう常に気をくばること。
消毒槽	塩素剤の補充。残留塩素濃度の測定。
関係官署対応	関係官署への届出書などの書類はファイルして常備し、修理、改善等により変更があれば、遅滞なく届出あるいは許可申請すること。また、水質の自主測定結果はファイルして保管し、求めがあった場合には提示すること。

【参考資料】

横浜市公害研究所（1983）排水処理技術維持管理マニュアルー生物処理編ー。横浜市。

§ 6-3 浄化処理施設の管理委託

要点 汚水処理施設の窒素除去性能を安定に維持するには、頻繁な水質把握とそれに基づく処理施設の微調整が必要となる。これを行うには水質分析と汚水処理技術の専門知識が必要になることから農家だけで十分な対応を行うのは一般的に困難である。

上記を勘案すると、施設の管理を専門会社に委託することも現実的な選択肢になる。委託費用はかかるが、処理施設の適正運転が可能になり消費電力の節約につながった事例などもあり、必ずしもコストアップだけではない面もある。委託管理を契約する場合の仕様書の事例を下記に示す。ただし、施設の状況はそれぞれ異なることから、必要な維持管理作業も実態にあわせる必要があるのは言うまでも無い。

解説

「汚水処理施設維持管理業務仕様書例」

【目的】

この業務は活性汚泥法による汚水処理装置に技術者を派遣し、機械、電気設備等の保守管理、曝気槽、沈殿槽等の処理機能管理、水質管理、清掃および消毒薬の補給等の業務を行い、汚水処理の目的を達成するものとする。

【管理作業基準】

次の作業基準に基づいて1カ月につき2回巡検する。作業内容については別紙に定める。

(§ 6-1 の保守点検項目を参考にし、実態に応じて作成すること)

【記録】

受託者は維持管理業務実施に当たって別に定める様式に記録し委託者に報告するものとする。

【水質分析】

水質分析は分析法を明示しかつ分析時のチャートを添付した上で結果を委託者に報告するものとする。

【補修】

機械および電気設備その他の故障、損耗に関しては契約条項に基づいて委託者と費用等協議の上、運転を中断することが無いように措置をし、遅滞なく状況および措置について委託者に報告するものとする。

【その他の事項】

受託者はこの管理業務仕様書に基づくほか委託者の係員の指示に従い業務の完遂を期さなければならない。また、この仕様書に疑義が生じた場合は委託者、受託者協議の上解決するものとする。

コラム：遠隔管理システムの利用



委託管理に付随して図1のような遠隔監視・制御システムを導入すると、稼働状況の確認と運転条件の調整が遠隔から可能になるので、管理員の訪問頻度が少なくて済み委託経費の節減につながると考えられます。トラブルへの緊急対応も容易になります。センシング技術やIoT技術の進展により、今後はその利用が拡大すると考えられます。

遠隔監視・遠隔制御に加えて、AI技術も組込むことで経験や勘に頼らず、データに基づく客観的な管理が可能になることが期待されます。ただし、システムに必要な各種水質センサーや制御機器の設置コストやメンテナンスコストが負担になる懸念もあります。

汚水処理施設の制御に必要な最低限のセンサーの選択とそれに基づく制御アルゴリズムの確立が今後の課題です。

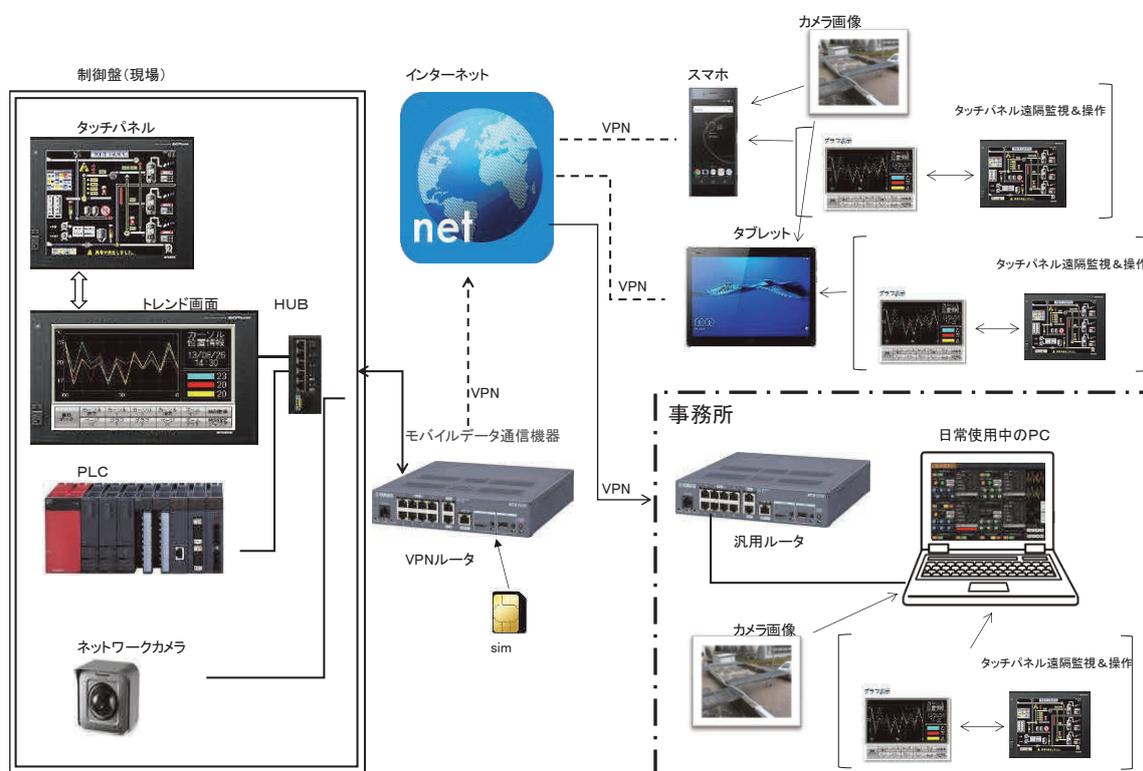


図1. 汚水処理施設の遠隔監視・遠隔操作システムの事例



§ 6-4 汚水 BOD/N 比の調整

要点 汚水処理施設が窒素除去対応型であっても、流入汚水の BOD/N 比が 3 未満の場合には、十分な脱窒が進行せず、硝酸性窒素等の濃度が高まる場合もある。このような際には、飼養管理の調整により流入汚水の BOD/N 比を 3 以上にする工夫が必要になる。

解説

汚水処理における窒素除去率は流入汚水の BOD/N 比により影響され、3~4 が最適とされている（村田 1992）。比が 3 未満では硝化は順調に進行しても、有機物不足により脱窒が不十分となる。BOD/N 比が 3 未満で、処理水の硝酸が高い場合には、処理施設の調整では対応できず汚水の水質調整が必要になる可能性もある。図 1 は、畜産環境技術研究所が調査したある養豚農場での汚水 BOD/N 比と窒素除去率の関係である。比が 3 を下回ると低除去率の頻度が多くなる傾向が示唆されている。

一般に汚水の BOD/N 比はふんの混入量に左右され、混入量が増加するほど高まる。BOD/N 比的確な調整法は現段階では未確立であるが、この点を踏まえると、少なくとも以下のような可能性が考えられる。

- ① 除ふん作業の調整：スクレーパー式除ふん機の稼働回数、稼働時間帯の調整。稼働回数を減らすとふんの混入量が増える。また、豚が活発に排せつする時間帯と除ふんの時間帯のタイムラグを大きくするほど混入量が増える。
- ② 飲水器の出水量の調整：飲水器の出水量が増えると豚の飲水量が増加することが報告されている（日本養豚学会 2014）。飲水量の増加は尿量の増加につながり、結果的にふん尿溝に堆積するふんに降りかかる水分量を高め汚水への溶出量が増えることが推測される。ただし、豚の生理状態の管理にも影響する事項なので調整には慎重な検討が必要である。

これらの調整でふんの溶出が過剰になってしまうと、汚水処理施設への BOD 負荷が設計の想定範囲を超えて、処理不能に陥るリスクもあるので、BOD/N 比の調整は汚水と処理水の水質を把握しながら注意深く徐々に行なうことが重要である。

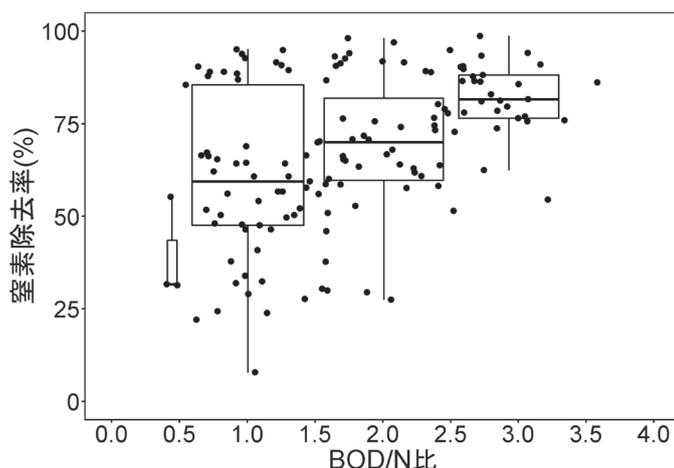


図 1. BOD/N 比と窒素除去率の関係

(畜産環境技術研究所による TY 農場での調査結果)

【参考資料】

村田恒雄（1992）下水の高度処理技術—快適な水環境の創出に向けて—。理工図書。

日本養豚学会（2014）養豚現場 Q&A 日本養豚学会が養豚現場の問題にお答えします。

（株）日本畜産振興会。

§ 6-5 活性汚泥濃度 (MLSS) の調整

要点 活性汚泥濃度 (MLSS) は、言い換えれば浄化に活躍する微生物の量である。微生物量が適正範囲になるように日常的に活性汚泥濃度を調整することが重要である。

調整のためには、SV 測定かポータブル MLSS 計により活性汚泥濃度を把握し、濃度が高い場合は余剰汚泥の引抜き量を多くし、低すぎる場合は引抜きを休止して微生物の自然増殖により汚泥量が増加するのを待つ。

解説

活性汚泥濃度は MLSS 濃度で評価するが、分析専門機関でないと正確な測定はできない。日常管理のためにはポータブル MLSS 計を購入して利用するか (所要の校正操作が必要)、MLSS の代わりに SV (活性汚泥容量率) を測定して SV による管理を行なう。SV は曝気槽の液を 1 L 採取し 1 L のメスシリンダーに投入し、30 分間静置し沈殿した汚泥の量を読み取って 1 L に対するパーセントで示す (図 1)。おおよそ 50~80% 程度が適正 SV の目安であるが、最適値は農場により異なるので定期的に SV 測定を行ないながら処理水の状況を観察し、良好な処理水になる SV 値を把握する。

なお、膜分離活性汚泥法では汚泥濃度が高すぎるため SV は測定できない。このような場合はポータブル MLSS 計を用いるか、分析専門機関に MLSS 測定を依頼する。

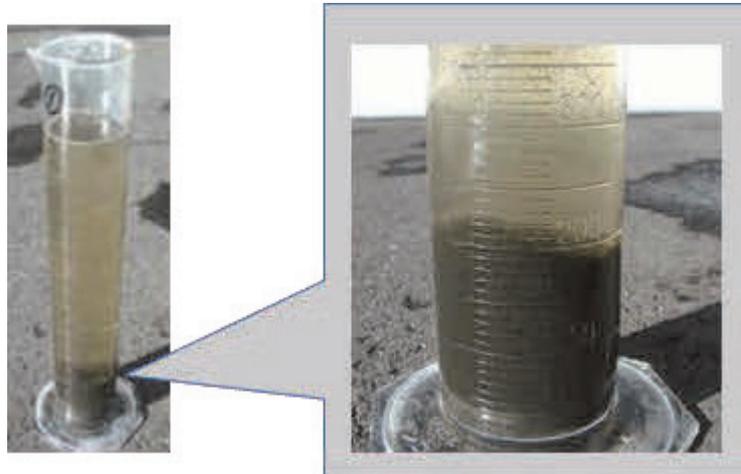


図 1. SV の測定の状態

(写真の例での SV は、 $190\text{ml} \div 1000\text{ml} \times 100 = 19\%$)



コラム：活性汚泥濃度（MLSS）の自動制御技術

活性汚泥濃度（MLSS）は高すぎても低すぎても処理が不調になります。このため、汚泥濃度のこまめな測定と、その測定結果に応じた汚泥引抜量の調整が重要なのですが、これを日常的に行うのは意外に困難です。この状況を改善するため、MLSS の簡易モニタを中心とする自動制御システムが開発され、実証試験が進められています。

モニタは、曝気液を流下させるノズルと、流下ノズルの左右に配置された LED センサ（投光と受光のセット）で構成されています。照射光の幅は落水水流の直径より大きいので光軸の精密調整は不要です。

このモニタの計測信号を利用して余剰汚泥引抜き用水中ポンプを自動制御するシステムを農場に実装しその信頼性試験を実施中です。その結果、図2に示したように目標値 5000mg/L に対して 4000～6000 mg/L の範囲で MLSS が維持される結果が得られています。



図1 実証試験中の MLSS モニタ

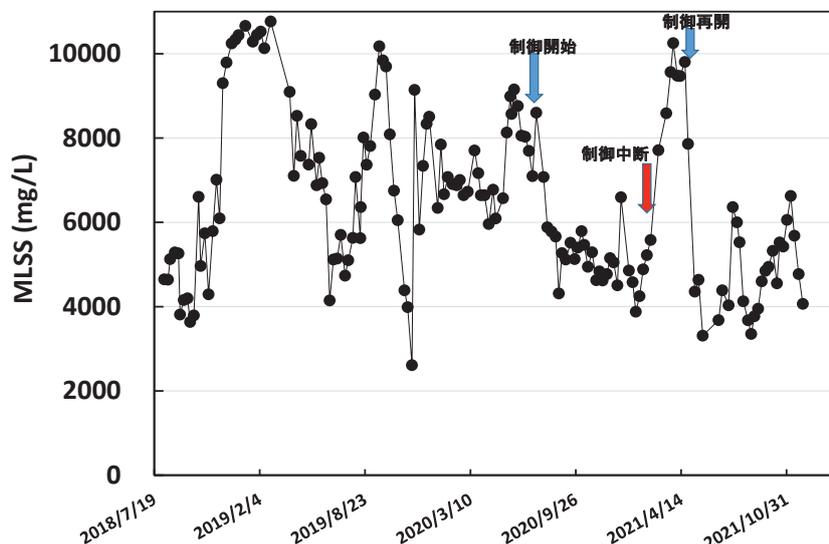


図2. 農家での制御事例活性汚泥濃度
(畜産環境技術研究所による実証試験結果)

【参考資料】

田中康男 (2019) 光学式水質モニタリング装置. 特許出願2019年8月.

田中康男 (2021) 養豚汚水処理施設におけるエリア型ファイバセンサ搭載MLSSモニタを用いた曝気槽活性汚泥浮遊物質濃度の自動制御. 日本畜産環境学会会誌. 20:30-37.



§ 6-6 曝気槽の溶存酸素濃度 (DO) の調整

要点 窒素除去型污水处理施設では、曝気槽（硝化槽）の溶存酸素が低下すると、有機物の分解が不十分になる上に、硝化が阻害され窒素除去も不十分になる。一方、過剰な曝気を行なうと脱窒槽にまで溶存酸素が持ち込まれ、脱窒が阻害される上に、電力の浪費につながる。

曝気槽の適正 DO 濃度は一般的には 0.5 mg/L 程度とされているが（日本下水道協会、2019）、実際の適正值はそれぞれの施設の状況や季節によっても異なるので、一律に決めることはできない。曝気槽の pH や ORP、また処理水質との関係を把握しながら曝気量を微調整することが重要である。

解説

溶存酸素濃度 (DO) は携帯型センサーもしくは据置き型センサーを用いて現場で測定する。サンプリング試料での測定はできないので、曝気槽にセンサーを直接浸漬して測定する。センサーは 2 種類のタイプがあり、このうち隔膜型は比較的安価であるが定期的な校正が不可欠な上に隔膜部分を約 1 年毎に交換する必要がある。一方、蛍光方式は長期間安定した測定が可能であるが、価格は隔膜式より高い。

適正 DO 濃度 0.5 mg/L はあくまで目安であり、これより低下しても直ちに水質が悪化するとは限らず、ゼロに近い状況でも正常な処理が進んでいる事例もある。一方で、かなり高い DO を維持しないと十分な硝化が進まない場合も有る。それぞれの施設の適正 DO は日常管理をとおして把握しておくことが重要である。



コラム：過曝気とは

汚水処理施設の運転において、曝気槽の pH がおよそ 5 前後にまで低下し、硝酸性窒素または亜硝酸性窒素が高濃度に残留することがあります。このような状態を過曝気といい、脱窒が不完全で硝酸性窒素が過剰に残留した状態です。

過曝気の原因としていくつか考えることができます。まずは、曝気が強すぎて脱窒工程にまで溶存酸素が残留するようになり脱窒が阻害された場合、次は硝化段階で BOD が消失し脱窒工程での脱窒反応が進行しなくなった場合です。

対応策は原因により異なりますが、曝気過剰の場合は曝気強度を下げるか脱窒時間を長くする、また BOD 負荷が過少な場合は汚水の BOD/N 比が高くなるように調整するなどが選択肢になります。いずれの対応を行うかは状況をしっかり把握してから決める必要があります。





コラム：酸化還元電位（ORP）による曝気槽の管理

曝気槽管理のための測定項目として溶存酸素（DO）は重要ですが、DO のみでは十分ではありません。DO がほぼゼロであっても問題なく硝化が進んでいる事例や、DO が高めでも硝化が進まない事例もあります。酸化還元電位（ORP）を測定すると、硝化が進む環境かどうかについてより確実な把握ができます。

DO が低くても ORP が高い場合は硝化が順調に進んでいる可能性があります。このような時は、酸素の溶解込みと微生物による消費がちょうどつり合っただけで見かけ上 DO 値が低くなっていると理解できます。

一方、DO が高くても ORP が低い場合は、DO の測定時に一時的に上昇しただけで平均的には DO が不十分で硝化が進みにくい状況であった可能性があります。

以上のような DO と ORP の関係に関する特性を踏まえて、鈴木（2015）は曝気槽の管理には ORP センサーの利用が重要であると指摘しています。

【参考資料】

鈴木睦美（2015）ORP センサーを利用した当該排水処理施設におけるばっ気槽の管理方法.
群馬畜試研報第 22 号：49 -54.



§ 6-7 硝化活性の維持

要点 窒素除去の第一段階である硝化の活性を維持するためには以下の点が重要である。

- ①硝化槽の水温を適温（おおよそ 15～40℃）の範囲で維持する。
- ②寒冷期には活性汚泥濃度を高めに維持する。
- ③硝化槽の曝気不足を避ける。
- ④遊離アンモニアの上昇を防ぐ。

解説

硝化細菌の活性は低温では低下する。このため、冬季でも曝気槽の水温を 15℃程度以上に維持することが重要である。曝気槽を地下式にし、上部には保温蓋を設置する、加温性の高い曝気システムを選定するなどの配慮が重要である。

硝化細菌が活性汚泥中に高密度で存在することも重要である。そのため、硝化細菌の増殖速度が低下する寒冷期には MLSS 濃度を高めにする必要はある。

MLSS の高い条件下においても十分な酸素供給を維持しなければならない。ただし、これは必ずしも溶存酸素濃度 (DO) を高い値にするということではない。酸素供給と酸素消費がつり合っている場合には DO が低い場合もあり得る。酸素供給量の状況を判断するには DO だけでなく酸化還元電位 (ORP) の測定も重要である。

水中でアンモニア性窒素の大部分はイオン態 (NH_4^+) で存在するが、pH と水温の条件によっては一部が非イオン態 (NH_3) (遊離アンモニアと呼ばれる) に変化する。遊離アンモニアは硝化細菌の活性を阻害する作用があることから、一定以上の濃度に達すると硝化が停止し窒素除去が進まなくなる。Anthonisen ら (1976) によると、アンモニアを亜硝酸に酸化する反応は 8～124mg/L の遊離アンモニア性窒素で阻害され、亜硝酸を硝酸に酸化する反応は 0.08～0.8mg/L で阻害される。

なお、遊離アンモニア性窒素濃度は下記の式で示されるように、全アンモニア性窒素濃度 ($\text{NH}_4^+\text{-N}$ と $\text{NH}_3\text{-N}$ の合計)、pH、および水温で決定され、特に pH が 8 を超えると遊離アンモニアの上昇が顕著になる。

$$\text{遊離アンモニア性窒素濃度(mgN/L)} = \frac{\text{全アンモニア性窒素(mgN/L)} \times 10^{\text{pH}}}{e^{(6344/(273+\text{水温}))} + 10^{\text{pH}}}$$

このため、曝気槽の pH が 8 以上になり窒素除去性能が低下した場合には、遊離アンモニア阻害が原因である可能性も考慮する必要がある。

図 1 はある農場での遊離アンモニアとその他窒素化合物濃度の経時変化の事例である。約 4 年間にわたり、冬期に遊離アンモニア濃度が高まりはじめると、まず亜硝酸が上昇し、その後アンモニアが高濃度に残留する傾向が見られた。これは、遊離アンモニアが蓄積をはじめたことで、まず亜硝酸酸化細菌による亜硝酸から硝酸への酸化が阻害され、その後さらに遊離アンモニアが上昇しアンモニア酸化細菌も阻害されたことで亜硝酸の生成も停止し、アンモニアが高濃度に残留したという経過を示唆している。

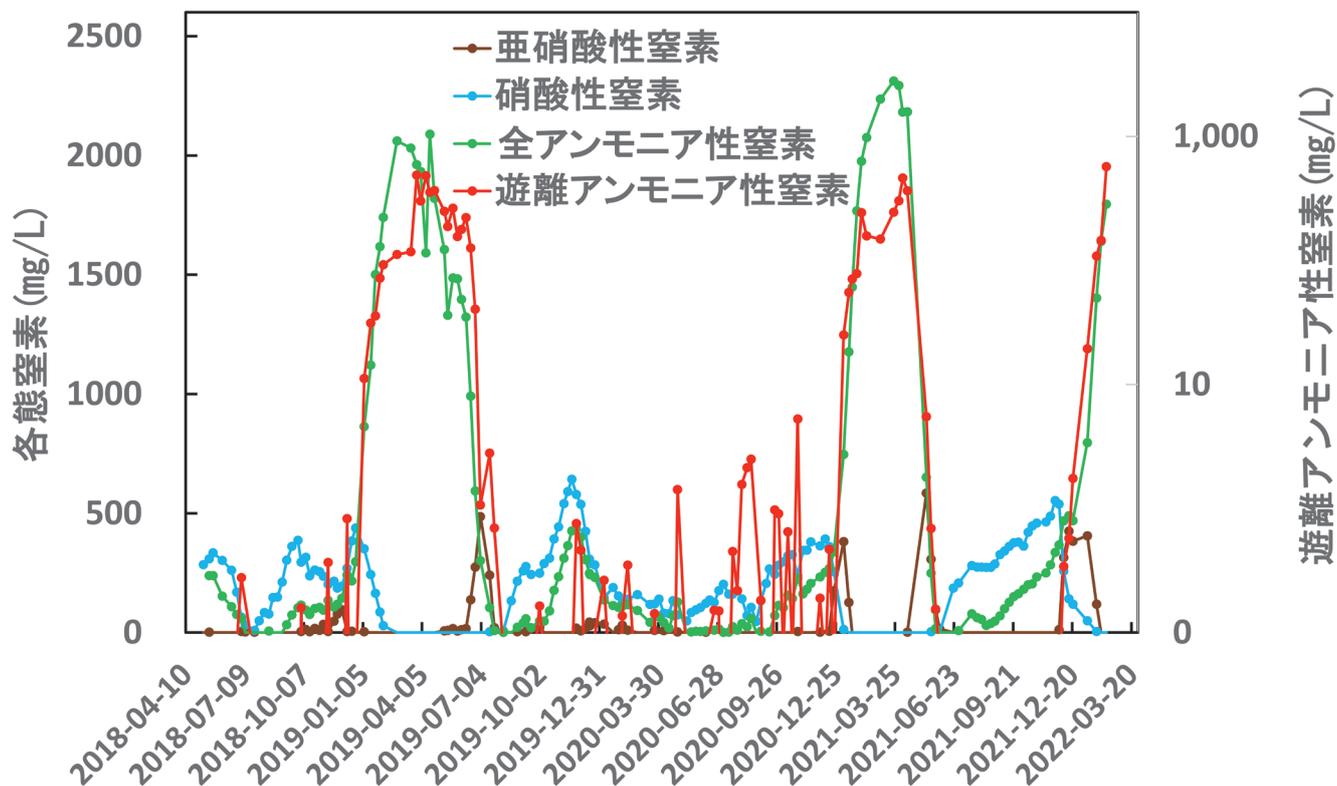


図 1. TY 農場での遊離アンモニア及びその他窒素化合物の経時変化事例

【参考資料】

Anthonisen ら(1976) Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid.
 Journal WPCF 48(5):835-852.

§ 6-8 脱窒活性の維持

要点 窒素除去の第二工程である脱窒の活性を維持するためには以下の点が重要である。

- ①流入汚水の BOD/N 比を 3~4 にする。
- ②溶存酸素が検出されないようにする。
- ③脱窒槽内で活性汚泥が沈降しないように水中攪拌機等で攪拌する。
- ④脱窒に伴い活性汚泥が浮上しスカム化することがあるのでスカム破碎用設備を装備する。

解説

上記 4 点について以下に詳細を記す。

①流入汚水の BOD/N 比を 3~4 にする。

脱窒工程が順調に進むためには、曝気槽流入汚水の BOD/N 比が 3~4 の範囲に入ることが重要である。このための調整方策はまだ確立されていないが、豚舎内での水使用量の調整、徐ふん機の運転時間帯と回数の調整、飲水器の微調整等が選択肢になる。

②溶存酸素が検出されないようにする。

硝化工程の溶存酸素が脱窒工程に持ち込まれて脱窒が阻害されることが無いように、硝化工程の曝気量を適切に制御する。また、循環式硝化脱窒法の場合には循環流量の調整を行う。

③脱窒槽の攪拌

脱窒槽内で活性汚泥が沈降しないように水中攪拌機等で攪拌する。間欠曝気方式で脱窒工程の攪拌に通気攪拌方式を採用する場合には通気量を必要最低限に抑える。

④脱窒槽のスカム発生の防止

脱窒に伴い活性汚泥が浮上しスカム化することがあるので、スカム破碎用設備を装備する。図 1 は水中ポンプでノズルから噴射する活性汚泥混合液で破碎している事例である。



図 1. 脱窒槽のスカム破碎装置事例

§ 6-9 処理水質の把握

要点 処理施設の的確な管理のためには処理水質を知ることが不可欠である。

処理水質を把握するためには少なくとも月に1回程度分析機関に分析を依頼するのが確実である。

これに加えて、自前で日常的におおよその水質を把握することも重要である。BODとSSの把握には透視度が利用できる(図1)。ただし、膜分離活性汚泥法処理水の場合は透視度は利用できない。硝酸性窒素等の把握はpHと電気伝導率(EC)の測定(図2)による簡易推定法が利用できる。



図1. 透視度測定状況



図2. ポケット型pH・EC計の事例

解説

透視度の測定は、まず試料を透視度計に満たし、上部から底部を透視しながら下端の流出口から試料を徐々に流出させ、底部の二重十字が、はじめて明らかに識別できる時(図3)の水面の目盛を読み、これを透視度とする(日本下水道協会、2009)。

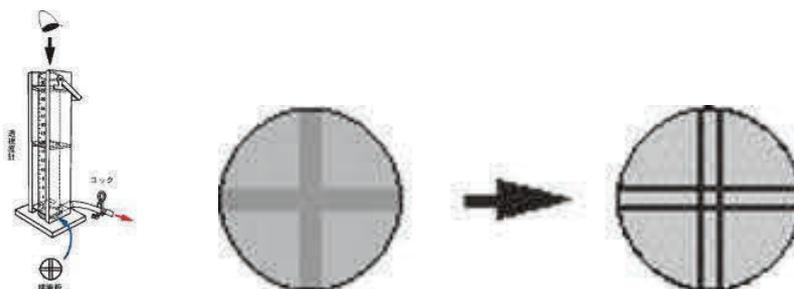


図3. 透視度計の二重十字円盤と計測時の見え方の変化

羽賀(2004)は透視度とBODおよびSS濃度の関係について表1の目安を示している。これによるとBODとSSがともに水質汚濁防止法の基準をクリアーするためには透視度が15程度以上であることが必要と考えられる。

表1. 透視度とBODおよびSSの関係

透視度	BOD (mg/L)	SS (mg/L)
2	—	368
3	312	—
4	281	313
6	228	266
8	185	226
10	150	192
12	122	—
13	—	150
15	89	128
18	65	100
21	48	78
24	35	62
27	25	48
30	19	38

処理水の硝酸性窒素等はpH、電気伝導率(EC)の測定値から下記の重回帰式で推定可能である(田中ら、2021)。ただし実測値との差が大きい場合もある。

$$\text{硝酸性窒素等 (mg/L)} = 471.4 - 83.9 \times \text{pH} + 72.1 \times \text{EC (mS/cm)}$$

$$(R=0.914, \quad p<2.2e-16)$$

重回帰式の代わりに、図4の樹木型グラフ(回帰木と呼ばれる)を利用して、各測定値に応じて上から下に枝をたどっていけば計算無しで硝酸性窒素等の推定範囲が把握できる。

なお、pH計は計測値が徐々にずれるため、週に1回程度取り扱い説明書にしたがって標準液で校正する必要がある。

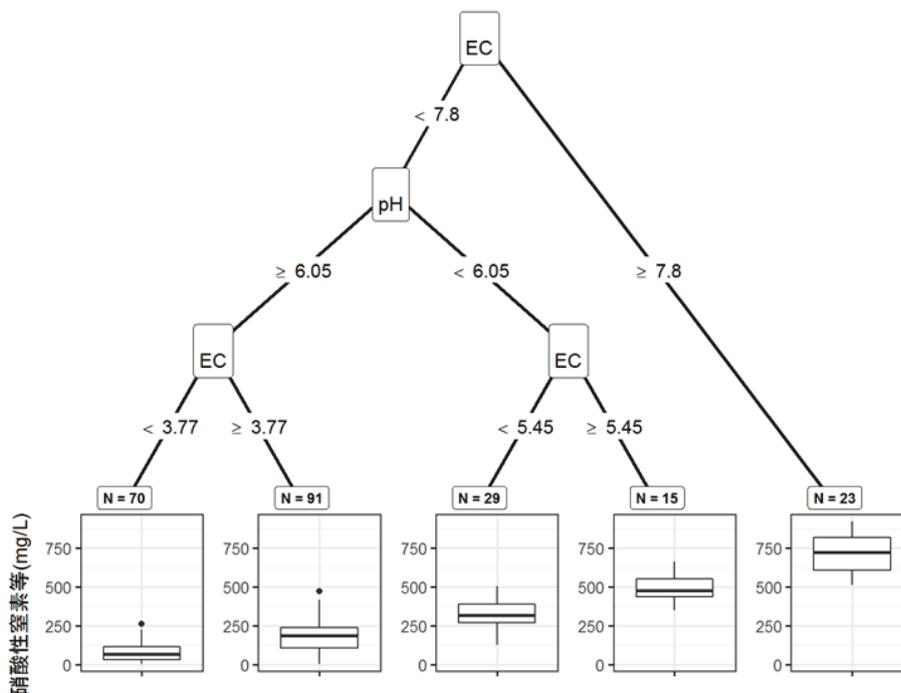


図4. pHとECによる硝酸性窒素等の推定図(回帰木)

【参考資料】

羽賀清典(2004)尿污水处理(浄化处理)の原理と方法. 畜産環境対策大事典第2版, 72-77.

田中康男・竹本佳正・長谷川輝明・薬師堂謙一・長田隆・半田裕紀・鈴木一好・道宗直昭(2021)

養豚農場排水中硝酸性窒素等およびアンモニア性窒素の簡易濃度推定法. 日本養豚学会誌、58:165-177.

コラム：スケール発生トラブル



汚水を移送するパイプ内や水中ポンプに乳白色の結晶状固形物（スケールと呼ばれます）が蓄積し閉塞することがあります。固形物の主成分は、リン酸イオン、マグネシウムイオン、およびアンモニウムイオンが、pH 8 以上で結合して生成したリン酸マグネシウムアンモニウム（略称 MAP）です。一旦 MAP で閉塞すると取り除くことは非常に困難なので、閉塞部分の配管を切り取って交換するしかありません。MAP による閉塞は汚水流路で発生しやすいので、汚水貯槽周りの配管は万一に備えて交換しやすい配管経路にしておくなどの配慮が必要です。また、汚水貯槽の攪拌のために通気を行うと、pH が上昇して MAP が発生しやすくなるので通気以外の攪拌法を選択すべきです。

なお、MAP を意図的に発生させ汚水中のリンを除去する手法も開発されています（鈴木，2010）。



図 1. 汚水から生成したリン酸マグネシウムアンモニウム（MAP）の結晶

【参考資料】

鈴木一好（2010）養豚で発生する汚水に含まれるリンを除去回収し再利用する技術.

Tokugikon, 2010. 1. 29. no256.



コラム：汚水処理からの悪臭発生防止



汚水処理施設からの悪臭発生を防ぐことも悪臭対策の一環として重要です。適正条件で稼働している場合、曝気槽からの悪臭発生は少ないのですが、流入有機物量が過負荷状態になり溶存酸素が不足すると、アンモニア臭やふん臭が強くなります。このような状況では、処理水質も悪化するので一刻も早く改善する必要があります。

曝気槽からの悪臭発生が無い場合でも、汚水貯槽からは臭気が常時発生するので構造面の配慮が必要です。できるだけ密閉性を高め、攪拌は通気方式ではなく水中攪拌機等を用いる必要があります。

曝気槽に異常発泡が生じて活性汚泥液が曝気槽周囲に越流するトラブルが生じると、越流した汚泥が腐敗し臭気の原因になる可能性もあります。曝気槽の監視をこまめに行い、異常発泡の兆候が現れた場合には速やかに消泡剤を散布することが重要です。このため、消泡剤を常備しておくべきです。



第7章

酪農汚水の処理

第7章のポイント

酪農汚水は自家圃場に還元される場合が多く、放流を目的とした汚水処理施設を設置するケースは少ない。しかし、近年では搾乳関連排水（パーラー排水）について浄化処理を行って放流する事例も徐々に増加しつつある。本章では牛舎汚水と搾乳関連排水の処理についてそれぞれ解説する。

§7-1 乳牛排せつ物中の汚濁負荷量

要点 乳牛のふん、尿、および窒素、リンの排せつ量はすでに§2-1に示した。ここでは、BODとSSの排せつ量を示す（中央畜産会、1989）。

表 1 乳牛の成牛1頭あたり汚濁物質排せつ物量

	BOD		SS	
	濃度	負荷量	濃度	負荷量
	(mg/L)	(g/日)	(mg/L)	(g/日)
ふん	2,4000	720	120,000	3,600
尿	4000	80	5,000	100
混合	1,6000	800	74,000	3,700

解説

成牛1頭あたりのBODおよびSS排せつ物量の原単位を表1に示した。なお、この原単位は1989年時点の数値であることに留意する必要がある。飼料性状などの変化に伴い、原単位数値は変化している可能性がある。§7-2の表3の数値とは整合していないが污水处理施設設計用の数値としては表3を用いた方が余裕のある設計となる。

【参考資料】

中央畜産会（1989）家畜尿汚水の処理利用技術と事例。社団法人中央畜産会。

§ 7-2 酪農汚水の負荷量原単位

要点 酪農からの汚水は、搾乳関連排水（パーラー排水など）及びふん尿分離型牛舎から排出される牛舎汚水に大別される。それぞれの負荷量原単位（経産牛 1 頭当り）は表に示すとおりである。処理対象頭数のうち育成牛については経産牛の 1/3 頭、子牛については経産牛の 1/10 頭と換算して算出する。なお、設計においては可能であれば現地データに基づくことが望ましい。

○搾乳関連排水（パーラー排水など）：

機械室、牛乳処理室、搾乳室の作業通路から排出されたふん尿混入の少ない汚水

表 1. 搾乳関連排水（パーラー排水など）負荷量原単位

	汚水量※	BOD	SS	備考
経産牛 1頭当り	11L/頭/日	16.5g/頭/日	11.0g/頭/日	<ul style="list-style-type: none"> ・搾乳室及び待機場からの搾乳関連排水が対象 ・待機場及び搾乳室から排出されるふん尿混じりの洗浄水を入れないように「分流」することが基本 ・廃棄乳は別処理

※ 搾乳牛 100 頭規模、朝夕 2 回搾乳、8 頭複列のパーラー

○牛舎汚水：

ふんが分離された尿主体の汚水（畜産環境整備機構，2004）。

表 2. 牛舎汚水の負荷量原単位（ふん尿分離牛舎の場合）

	尿汚水量	BOD	SS	備考
経産牛 1頭当り	60L/頭/日	350g/頭/日	350g/頭/日	<ul style="list-style-type: none"> ・一般的な畜舎内ふん尿分離率が前提 ・牛舎処理室の排水を含む

経済性の観点から、原則として「ふん尿混合汚水の浄化処理」は避けるべきであるが、やむを得ない場合は、以下の設計諸元値を用いる（畜産環境整備機構，2004）。

表 3. 牛舎汚水の負荷量原単位（ふん尿混合処理の場合）

	ふん量	尿量	汚水量	BOD 量	SS 量
経産牛 1頭当り	45 kg/頭/日	15 kg/頭/日	80L/頭/日	1140g/頭/日	5475 g /頭/日

解説

1. 搾乳関連排水（パーラー排水など）

搾乳ストールや通路などの洗浄水を除いた搾乳作業に使用される水量は、パイプラインおよびバルククーラの規模を8頭複列のパーラーと想定した場合1.2m³/日、さらにプレートクーラーを装備した搾乳施設では2.2m³/日となる。

図 1 は搾乳室及び牛乳処理室における搾乳関連排水の発生状況を、図 2 に搾乳関連排水の SS と BOD 及び窒素とリンの関係を示す。搾乳室及び牛乳処理室における搾乳関連排水（パー

ラー排水など)のうち、搾乳中及び待機中に排出されるふん尿の混入が少ない汚水(図2の汚水①)では、SS; 1000mg/L以下、BOD; 1500mg/L以下である。ふん尿の混入がある汚水(図2の汚水②)ではSS; 1200~1500mg/L、BOD; 1500~3750mg/Lとなる(木村ら, 2003)。すなわち、搾乳中及び待機中に排出されるふん尿の混入を防ぐことで、SS、BOD、窒素及びリンの各濃度は、汚水①のように低く抑えることができる。

搾乳関連排水への廃棄乳の混入は、浄化処理施設に著しい負荷をかけることになることから、避けなければならない。廃棄乳が混入した場合の一例として、搾乳関連排水に対し1%の廃棄乳が混入しただけでも、濃度は大幅に上昇してしまう(表1)。

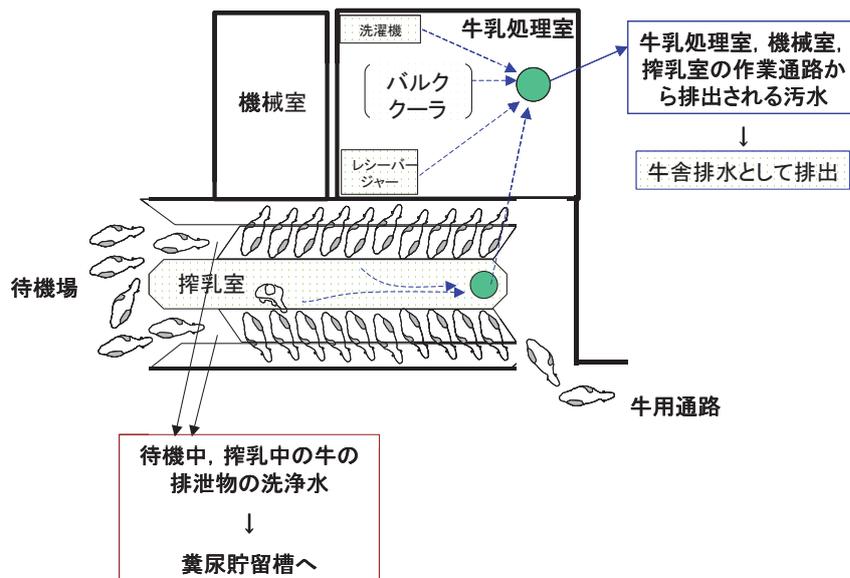


図1. 搾乳室及び牛乳処理室における搾乳関連排水(パーラー排水など)の発生状況

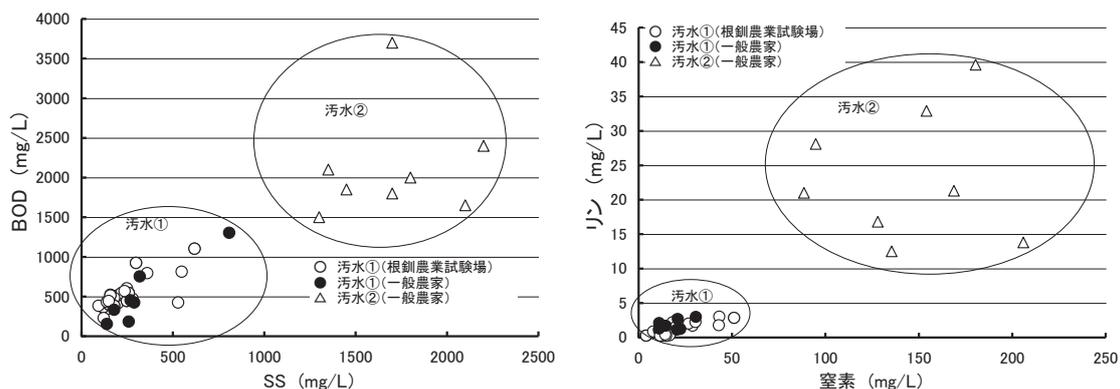


図2. 牛舎汚水および搾乳関連排水のSSとBOD及び窒素とリンの関係

汚水①; ふんを分別処理する

汚水②; ふんを分別処理しない(搾乳中及び待機中に排出されるふん尿が混入)

(北海道立総合研究機構 酪農試験場での調査事例)

表 1. 搾乳関連排水に廃棄乳を添加した場合の性状例

廃棄乳添加率 (BOD)	pH	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	窒素 (mg/L)	リン (mg/L)
無添加	7.3	238	565	18	1
0.5% 添加	7.0	720	1140	140	8
1% 添加	7.2	1160	1750	290	17

2. 牛舎汚水

牛舎汚水の負荷量原単位として提示した数値は、「家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術」にて設定されている数値を用いた。BOD、SS 量は安全性を考慮した設定値であるが、畜舎内のふん尿分離率が通常より悪いと予想される場合は、表に設定した数値より高い数値を用いる必要がある。いずれにしても、施設設計前に設計諸元となる要素を実測した上で、設計諸元値を決定する必要がある。

【参考資料】

- 木村ら (2003) 搾乳施設の汚水を対象とした低コスト浄化施設, 研究成果情報 北海道農業, ISSN : 1340-8607.
- 田原ら (1997) ミルキングパーラーにおける排出汚水処理技術の検討, 岡山県総合畜産センター研究報告, 第 8 号.
- 畜産環境整備機構 (2004) 家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術. 財団法人畜産環境整備機構.



コラム：生乳中の汚濁物質

搾乳関連廃水の汚濁物質は生乳にも由来します。生乳中の BOD および全窒素の濃度は表 1 のとおりです。

表 1. 生乳中の汚濁物質濃度

BOD (mg/L)	全窒素 (mg/L)
103000	2400

表 1 で明らかなように、生乳の BOD 濃度は非常に高いので、酪農汚水の浄化処理においては、生乳混入量が若干増えただけでも処理施設が過負荷に陥り処理水質が悪化します。

一方、BOD/N 比は 43 と非常に高く、一般に窒素除去に必要な条件とされる BOD/N 比 3 を大幅に上回っています。



§ 7-3 搾乳関連排水の処理

要点 パーラー排水などの搾乳関連排水は、水量が比較的少ないこと、汚濁物質の濃度が低濃度であること、搾乳前後の一定時間しか汚水が発生しないことなどの特徴を有する。

処理方式は、活性汚泥法が主に採用されている。搾乳関連排水に機械室、牛乳処理室、搾乳室の作業通路から排出されたふん尿が混入しないようにすれば、比較的簡易な処理施設で対応が可能である。

解説

搾乳関連排水は、パイプラインやバルククーラーの洗浄水、パーラー室や待機場の洗浄水などの排水が合流したものである。発生量が比較的少ないこと、低濃度であること、搾乳前後の一定時間しか汚水が発生しないことなどの特徴を有する。処理方式としては、回分式の活性汚泥法が多く採用されており、曝気槽の形状、曝気法などの異なるさまざまな仕様の施設が提案されている（佐藤，2010；澤田，2007）、

BOD 濃度が高い廃棄乳やふん尿の混入を避けることで、比較的低濃度の排水として簡易な処理が可能となる。廃棄乳を混入させると、BOD が過負荷になり水質が急激に悪化する。後付けで処理施設を設置する場合、廃棄乳やふん尿の混入程度、搾乳ロボットの導入の有無、前搾りの廃棄乳の混入の有無など状況は多様であることから、施工業者とともに実態確認を行い計画を策定することが重要である（栃木県畜産酪農研究センター（2018））。

ふん尿混入量の少ない汚水処理を目的として開発された簡易浄化処理施設の事例を図 1 に示した。搾乳牛 45 頭規模で、各曝気槽ユニットはプラスチック製φ1m、有効容積 1m³で、保温のためビニールハウス内に設置した。設計値は SS：550mg/L、BOD：810mg/L とし、一日当たりの処理量は 1m³とした。曝気槽内の活性汚泥沈殿率（SV）を 30%以内に維持したところ、温暖期の SS および BOD 除去率は、それぞれ 95.2%、96.6%と高い値を示した。窒素除去率は 37.9%と低い、リン除去率は 73.3%であった（表 1）。厳寒期でも大幅な浄化能の低下は見られなかった。

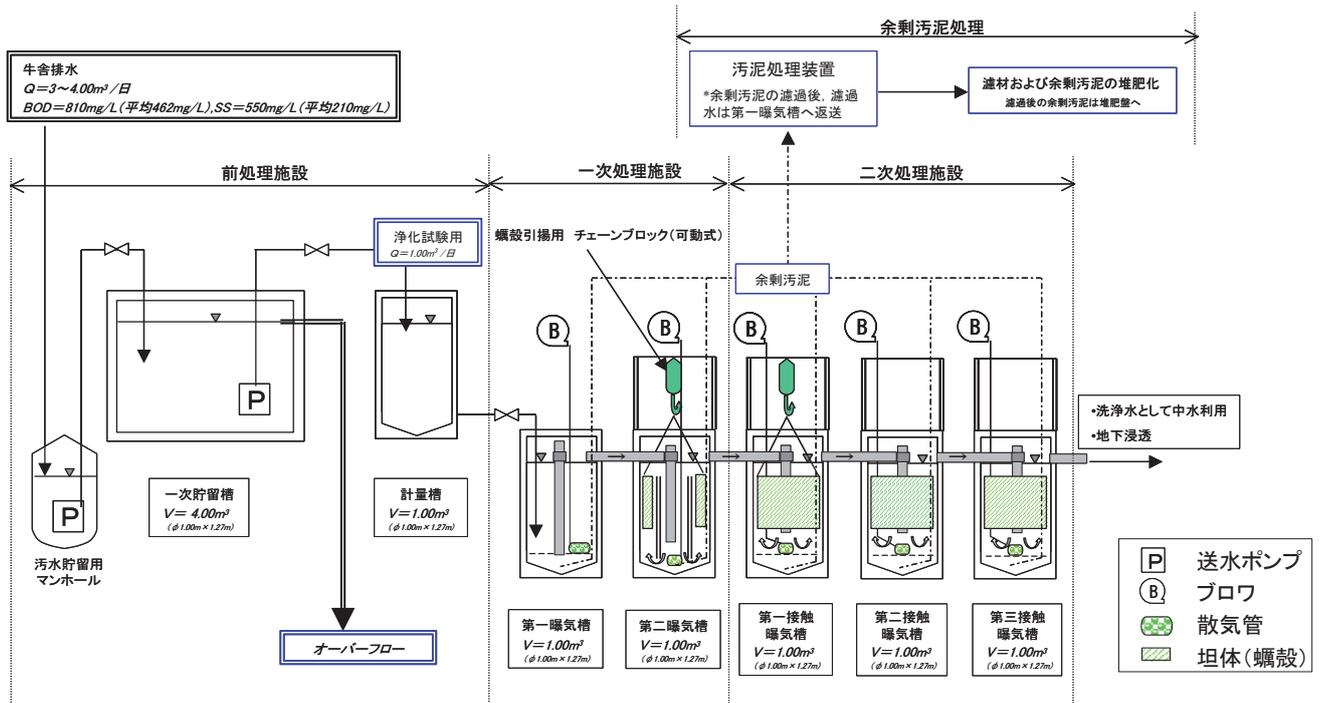


図1. 糞尿混入量の少ない汚水を対象とした簡易浄化処理施設の事例

表1. 原水及び処理水の性状事例

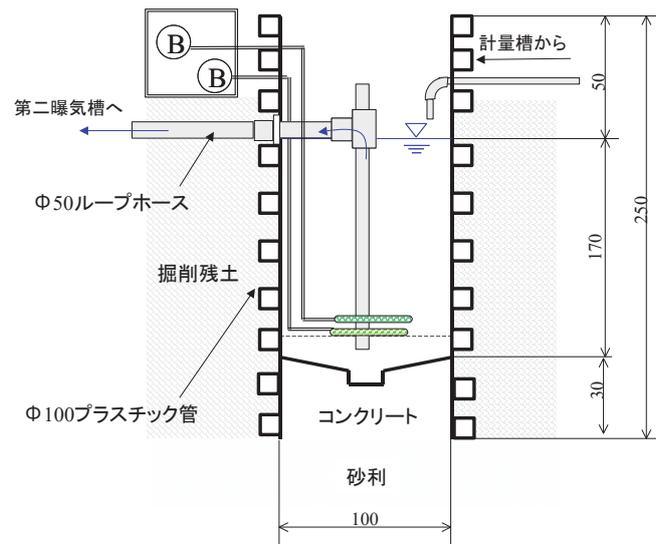
		pH	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	窒素 (mg/L)	リン (mg/L)
原水(牛舎排水)	平均	7.34	237.7	565.3	17.6	0.9
	±SD	7.56	123.1	791.0	12.8	0.8
処理水	平均	8.14	11.5	19.1	10.9	0.2
	±SD	8.21	12.6	38.2	3.4	0.1
除去率	(%)	—	95.2	96.6	37.9	73.3

経産牛 90 頭規模の搾乳関連排水の回分式活性汚泥法処理施設に関する設計計算の事例を以下に示す。

<設計諸元>

- | | |
|--------------------------------|---|
| ①処理対象頭数 | 経産牛：90 頭規模 |
| ②処理対象
汚水量 | 経産牛 1 頭 1 日当たりの汚水排水量を 22L と設定する。
90 頭×11L÷1,000≒1m ³ /日 |
| BOD 濃度 (実測値) | 810mg/L |
| SS 濃度 (実測値) | 550mg/L |
| ③一次処理施設
処理対象 BOD 及び
SS 量 | 実測値より経産牛 1 頭 1 日当たりの排出 BOD 量を 8.91g、SS 量を 6.05g と設定する。 |
| BOD 量 | 8.91g×90 頭÷1,000=0.802kg/日 |
| BOD 濃度 | 0.802kg÷1m ³ ×1000=802ppm |
| SS 量 | 6.05g×90 頭÷1,000=0.99kg/日 |
| SS 濃度 | 0.99kg÷1m ³ ×1000=990ppm |

- ④簡易曝気槽の仕様 市販の直径 1m×長さ 5.0m のプラスチック管を半分に切断し、簡易曝気槽(φ1m×2.5m、有効容積 1m³、底部：コンクリート)として使用する。汚水負荷が高くなる場合は、簡易曝気槽を増設する。



- ⑤必要曝気槽数 (一次処理) BOD と SS を目標値まで除去するため、基幹処理施設である一次処理施設における曝気槽容量の決定は最も重要な因子である。曝気槽容量は BOD 容積負荷 (曝気槽容積 1m³当たりの BOD) で決定される。BOD 容積負荷は、(1)式で試算できる。

$$\text{BOD 容積負荷}(\text{kg}/\text{m}^3) = \text{BOD 投入量}(\text{kg}/\text{日}) / \text{曝気槽容量}(\text{m}^3) \dots (1)$$

$$= 0.802\text{kg}/\text{日} \div 1.0\text{m}^3 = 0.802\text{kg}/\text{m}^3$$

$$\text{必要曝気槽 (槽)} = \text{BOD 容積負荷}(\text{kg}/\text{m}^3) \div \text{1 槽当たりの BOD 容積負荷設定上限値}(0.5\text{kg}/\text{m}^3)$$

$$= 0.802\text{kg}/\text{m}^3 \div 0.5\text{kg}/\text{m}^3 \approx 1.604 \text{ 槽} \approx 2 \text{ 槽}$$

※ 一般に畜舎汚水を対象とした浄化処理施設の BOD 容積負荷は 0.1~0.5kg/m³程度で運転されることが多い。特に、畜産現場においては、専門の管理者を設置できないことから、負荷の変動に強いシステムが望ましいとされ、畜舎汚水の場合、BOD 容積負荷は 0.5kg/m³以下、SS は 3000mg/L~6000mg/L 程度で設定される(和久井 1984：畜産の研究 38.p24-26)。本設計では、この値を採用している。

⑥必要曝気槽数(二次処理)

窒素・リンの除去、牛舎排水の負荷変動への対応、更なる BOD、SS の除去を目的として、蠣殻(蠣殻は洗浄後、滅菌したものをを用いた)を担体とした接触曝気槽を3槽(第三～第五槽)設置した。担体に蠣殻を採用した理由は、入手が容易であること、他の貝殻に比べ表面積が大きいためである。

接触曝気槽への担体の投入量は、第一接触曝気槽では100kg、第二、第三接触曝気槽では60kgとした。また、各槽の担体に十分に酸素を供給させるため、送気量32L/分で24時間運転した。なお、二次処理施設は予備試験用浄化施設の運転結果を基に設置した。

⑦酸素供給量と必要空気量

a) 酸素供給量

第一、第二曝気槽で必要とされる酸素量(酸素供給量)を、除去 BOD 量(設計 BOD と浄化目標 BOD (排水基準との差)を0.26kg/日、曝気槽内の SS 量を1.1kgとして(2)式を用いて計算すると、酸素供給量は0.72kg・O₂/日と試算される。

$$\text{酸素供給量 } O_s (\text{kg} \cdot \text{O}_2/\text{日}) = a L_r + b S \dots \dots (2)$$

- a BOD 酸化係数(畜産では1.0)
- L_r 除去 BOD 量(kg/日)
- b 呼吸作用係数(畜産では0.03)
- S 曝気槽内の総 SS 量(kg)(一次処理施設曝気槽容量 m³×SSkg/m³)

$$O_s (\text{kg} \cdot \text{O}_2/\text{日}) = 1.0 \times 0.69 + 0.03 \times 1.1 = 0.72 (\text{kg} \cdot \text{O}_2/\text{日})$$

b) 必要空気量

必要酸素量から必要空気量は、(3)式を用い、酸素供給量を0.72kg・O₂/日として計算すると、必要酸素量は、43.04m³/日と試算される。このことから、ブロワを3台(43L/分×1台、32L/分×2台)とし、送気量を43.2m³/日とした。

$$\text{必要空気量 } A_n (\text{m}^3/\text{日}) = \text{酸素量} (\text{kg} \cdot \text{O}_2/\text{日}) / 0.28 (\text{kg}/\text{m}^3) / 0.06 (\text{酸素溶解率}) \dots (3)$$

*20℃の空気1m³中に含まれる酸素量を0.28kgとして計算

$$\text{必要空気量 } A_n = 0.72 / 0.28 / 0.06 = 43.04 \text{m}^3/\text{日}$$

本施設では散気管を用いていることから、運転中、散気管には汚泥が付着し、酸素溶解率を低下させる。このため、月1回、散気管を引き上げ、洗浄し汚泥を除去した。

⑧総括酸素移動容量係数および溶存酸素濃度

a) 総括酸素移動係数

曝気槽への溶存酸素供給量(kg・O₂/時)は(4)式で計算される。溶存酸素供給量0.27(kg・O₂/日)、曝気槽容積が第一曝気槽と第二曝気槽の合計が2.00m³であることから、飽和溶存酸素濃度を9g/m³として計算すると、総括酸素移動容量係数は24.9L/時と試算される。

$$O_s \text{ 溶存酸素供給量} (\text{kg} \cdot \text{O}_2/\text{日}) = K_L a \times C_s \times V \dots (4)$$

- K_La 総括酸素移動容量係数(L/時)
- C_s 飽和溶存酸素濃度(g/m³)
- V 曝気槽容量

b) 溶存酸素濃度

単位時間(t)あたりの溶存酸素濃度(c)の変化は(5)式で示される。ただし、定常状態の場合、dc/dt=0となることから、(5)式は(6)式、さらに(7)式に変形できる。

$$dc/dt = KLa (Cs - CL) - r r \dots (5)$$

CL 曝気槽の溶存酸素濃度 (mg/L)

r r 曝気槽内の活性汚泥の酸素利用速度

$$KLa (Cs - CL) = r r \dots (6)$$

$$CL = Cs - (r r / KLa) \dots (7)$$

曝気槽の溶存酸素濃度は、総括酸素移動容量係数 24.9L/時、飽和溶存酸素濃度 9g/m³、曝気槽内の活性汚泥の酸素利用速度の実測値 34g-O₂/m³・時として計算すると 7.60mg/L と試算されることから、本施設で活性汚泥処理を行うための十分な溶存酸素が供給できる判断される。

⑨ 日常管理

曝気槽の日常管理；曝気槽内の状態を活性汚泥沈殿率 (SV30) を指標として、SV30 が 30%以内になるように制御した。SV30 の測定方法はイムホフコーン静置法 (イムホフコーンに曝気槽内液を入れ、30 分静置後の汚泥沈殿量を測定する) を用いる。

< 浄化施設付帯機器仕様と送気量および送気時間 >

施設名および施設容量		機器名		仕様	送気量 ⁸⁾	送気時間	
前処理	汚水貯留用マンホール	0.4	m ³	水中汚水ポンプ	3 相、0.25kw	—	—
	一次貯留槽 ²⁾	4	m ³	水中汚水ポンプ	3 相、0.25kw	—	—
	計量槽	1	m ³	自然流下	—	—	—
一次処理 ¹⁾	第一曝気槽 ⁶⁾	1	m ³	ブロワ×2台	単相、39w、29w	75L/分	24 時間
	第二曝気槽 ^{3) 7)}	1	m ³	ブロワ	単相、29w	32L/分	22 時間
二次処理	第一接触曝気槽 ⁴⁾	1	m ³	ブロワ	単相、29w	32L/分	24 時間
	第二接触曝気槽 ⁵⁾	1	m ³	ブロワ	単相、29w	32L/分	24 時間
	第三接触曝気槽 ⁵⁾	1	m ³	ブロワ	単相、29w	32L/分	24 時間

1) 設計値 (BOD : 810mg/L (平均 462mg/L)、SS : 550mg/L (平均 210mg/L))、2) 日排出量の 60~70%を別途試験に使用、

3) 担体 : 蠣殻 (15kg)、4) 担体 : 蠣殻 (100kg)、5) 担体 : 蠣殻 (60kg)、6) 43L/分+32L/分、

7) 牛舎排水投入 1 時間前を基準に 11 時間運転、1 時間静置、8) ブロワ送気量はカタログ値

【参考資料】

澤田寿和 (2007), パーラー排水の低コスト処理施設が完成, 畜産環境情報 37, p31-38.

佐藤克昭 (2010), ミルキングパーラー排水の原単位の設定と低コスト浄化処理施設, 畜産環境情報 45, p25-29.

栃木県畜産酪農研究センター (2018), パーラー排水処理施設管理のポイント

木村義彰ら (2002), 搾乳施設の汚水を対象とした低コスト浄化施設, 研究成果情報,

<https://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/3010003500>



コラム：搾乳関連排水の低コスト処理

猫本(2019)は、中小規模の酪農経営では、排水処理のために高度な処理施設を導入することは現実的でなく、低コストな排水処理法を選択することが必要と指摘しています。そのため、搾乳時の前すすぎ排水、廃棄乳、およびプラットフォーム洗浄排水が搾乳関連排水に混入することを防ぎ、沈殿槽などの簡易な処理での放流が可能ないようにすることが重要としています。なお、前すすぎ排水とは、搾乳終了後に最初に行う循環洗浄で生じる白濁した排水であり、プラットフォーム洗浄排水とはミルクパラーの床洗浄水で、搾乳中に排せつしたふん尿が含まれ汚濁物質の濃度が高いという特徴があります。

濃度の高い排水の混入を防ぐようにこまめな管理を行って低コストな処理を行うか、高価でも手間がかからない浄化施設を選ぶか、経営規模に合わせて適切な選択をすることが必要と指摘されています。

【参考資料】

猫本健司（2019）搾乳関連排水の低コスト処理技術の開発．令和元年度家畜ふん尿処理利用研究会「畜舎汚水処理関連技術開発の研究動向」農研機構畜産研究部門令 1-4 資料：69-74.



§ 7-4 牛舎汚水の処理

要点 牛舎汚水は、ふん尿の一部が混入するため、パーラー排水に比べ BOD や SS 濃度が高く本格的な活性汚泥処理が必要となる。

牛舎汚水の処理工程は、前処理工程、本処理工程及び後処理工程により構成される。

解説

一般的な、牛舎汚水の処理工程は、前処理工程、本処理工程及び後処理工程により構成される（図 1）。

施設計画全体に係る留意点として、ふん尿混合排水はふん中の未消化繊維分が混入し、配管やポンプを閉塞させ易い特徴を持つことから、配管径、配管設置法、ポンプ仕様などには十分注意する必要がある。

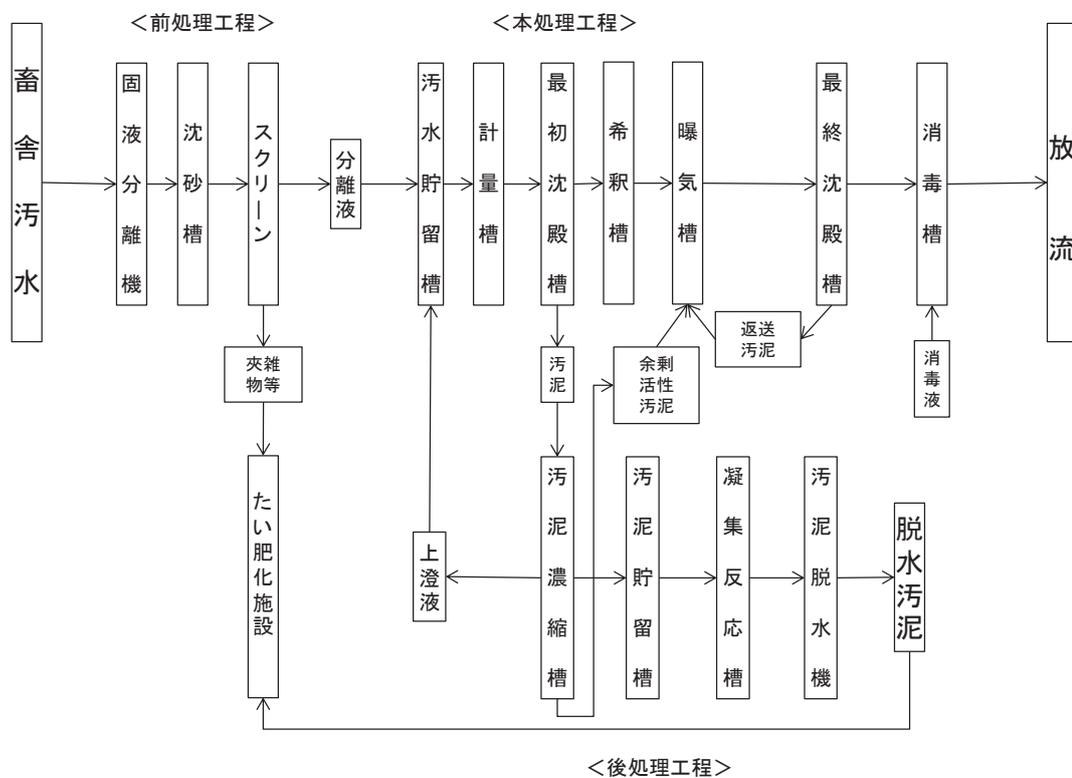


図 1. 活性汚泥法による牛舎汚水の処理施設フロー（連続式）

以下、各工程ごとに概要を述べる。

1. 前処理工程

前処理工程は本処理工程（生物処理）及び後処理工程（汚泥処理）を容易にするため、土砂、砂、未消化繊維等の夾雑物を除去する工程である。

2. 本処理工程

本処理工程は、微細な懸濁物質や牛舎汚水中に溶解している汚濁成分を活性汚泥中の微生物を利用して除去する工程である。連続式と回分式の2方式がある。連続式の場合、高 BOD 負荷運転、散気管等の送気方式の選択肢が増えることから曝気槽を小型化することができるが、維持管理費が増加することを考慮する必要がある。

回分式の場合は曝気槽の前後にある沈殿槽を省略することができる。しかし、回分式は曝気槽容量が大きくなる。

3. 後処理工程

余剰活性汚泥の脱水処理を行う工程である。汚泥脱水機は処理施設の基幹機器の一つであるとともに高額な機器でもある。したがって、選定については、先行事例の視察やメーカー以外の専門家への相談など慎重に決定することが重要である。

4. その他の施設計画全体に係る留意点

以下に、施設計画全体に係る留意点を列記する。

- ・ 処理対象頭数のうち育成牛については経産牛の 1/3 頭、子牛については経産牛の 1/10 頭と換算して算出する。
- ・ 地下配管や不必要な曲がり避け、最短距離配管を心掛ける。
- ・ 連続運転するポンプやブロワは予備を用意する。
- ・ 汚水槽などの攪拌ブロワとエアリフトポンプ用のブロワは併用しない。
- ・ 汚水ポンプの脱着が容易に行えるように、ポンプ側の配管はフランジで接続するとともにポンプには引き上げ用のナイロンロープをつけておく。また、大型ポンプの場合は引き上げ装置を付帯させること。

経産牛 150 頭、育成牛 20 頭規模のふん尿分離型牛舎の回分式活性汚泥法処理施設に関する設計計算の事例を以下に示す。(畜産環境整備機構 (2004) より転載)

<設計諸元>

①処理対象頭数	経産牛：150 頭、育成牛 20 頭 (ふん尿分離型牛舎)
②処理対象経産牛換算頭数	育成牛の経産牛換算係数を 1/3 とする。 150 頭+20 頭×1/3=156.7 頭<157 頭
③処理対象汚水量	経産牛 1 頭 1 日当たりの汚水排水量を 60L と設定する。 157 頭×60L÷1,000=9.42m ³ /日
④処理対象 BOD BOD 量 BOD 濃度	経産牛 1 頭 1 日当たりの排出 BOD 量を 350g と設定する。 350g×157 頭÷1,000=54.95kg/日 54.95kg÷9.42m ³ ×1000=5834mg/L
⑤処理対象 SS SS 量 SS 濃度	経産牛 1 頭 1 日当たりの排出 SS 量を 350 g と設定する。 350g×157 頭÷1000=54.95kg/日 54.95kg÷9.42m ³ ×1000=5834 mg/L
⑥目標放流水水質	水質汚濁防止法および県条例に定める水質の放流基準値をクリアする濃度で放流する。

<設計計算>

①スクリーン	バースクリーン (有効間隔 20mm、傾斜角 60 度)
②沈砂槽	時間最大汚水量を日汚水量の 20%として、汚水の滞留時間を 5 分間と設定する。 9.42m ³ ×0.2=1.9m ³ /時 1.9m ³ ÷60 分×5 分=0.16m ³ <0.2m ³
時間最大汚水量	9.42m ³ ×0.2=1.9m ³ /時
沈砂槽容積	1.9m ³ ÷60 分×5 分=0.16m ³ <0.2m ³
③汚水槽	振動篩の処理能力を 6m ³ /時とし、時間最大汚水量継続時間を 1 時間とする。 ポンピットとして 1 m ³ の容積とする。 6m ³ ÷60 分=0.1m ³ /分 閉塞やトラブル時の対応を考慮して口径 65mm、1.5kw の水中汚物用ポンプを 2 基設置する。
容量	ポンピットとして 1 m ³ の容積とする。
汚水移送ポンプ	6m ³ ÷60 分=0.1m ³ /分 閉塞やトラブル時の対応を考慮して口径 65mm、1.5kw の水中汚物用ポンプを 2 基設置する。
④振動篩	処理能力 6m ³ /時間、BOD 除去率 15%、SS 除去率 30%、篩別固形物の水分を 80%とする。 1.9m ³ ÷6m ³ =0.32 基<1 基 54.95kg×0.3×(100)/(100-80)=83kg/日 9.42m ³ -0.083m ³ =9.34m ³ /日 54.95kg×(1-0.15)=46.71kg/日 46.71kg÷9.34m ³ ×1000=5002 mg/L 54.95×(1-0.3)=38.47kg/日 38.47kg÷9.34m ³ ×1000=4119 mg/L
必要基数	1.9m ³ ÷6m ³ =0.32 基<1 基
篩別固形物量	54.95kg×0.3×(100)/(100-80)=83kg/日
分離液量	9.42m ³ -0.083m ³ =9.34m ³ /日
分離液 BOD 量	54.95kg×(1-0.15)=46.71kg/日
分離液 BOD 濃度	46.71kg÷9.34m ³ ×1000=5002 mg/L
分離液 SS 量	54.95×(1-0.3)=38.47kg/日
分離液 SS 濃度	38.47kg÷9.34m ³ ×1000=4119 mg/L
⑤汚水貯留槽	1 日分の汚水を貯留できる容積とする。 9.34m ³ <10m ³
容積	9.34m ³ <10m ³
汚水移送ポンプ	曝気槽への移送時間を 1 時間とする。 9.34m ³ ÷60 分=0.16m ³ /分以上の能力を持つポンプを選定
⑥必要希釈水量	曝気槽投入汚水の BOD 濃度を 1200 mg/L に低下させるための水量。 46.71kg÷1.2kg/m ³ =38.93m ³ 38.93m ³ -9.34m ³ =29.59m ³ /日 46.71kg÷38.93m ³ ×1000=1200 mg/L 38.47kg÷38.93m ³ ×1000=989 mg/L
曝気槽投入汚水量	46.71kg÷1.2kg/m ³ =38.93m ³
必要希釈水量	38.93m ³ -9.34m ³ =29.59m ³ /日
投入汚水 BOD 濃度	46.71kg÷38.93m ³ ×1000=1200 mg/L
投入汚水 SS 濃度	38.47kg÷38.93m ³ ×1000=989 mg/L

⑦希釈水槽	汚水の少ない日の自動運転を考慮して汚水量の 90%と希釈水量を貯留できる容積とする。
容積	$9.34\text{m}^3 \times 0.9 + 29.59\text{m}^3 = 38\text{m}^3$
希釈水ポンプ	曝気槽への移送時間を 1 時間とする。 $29.59\text{m}^3 \div 60 \text{分} = 0.5\text{m}^3/\text{分}$ 以上の能力を持つポンプを選定
⑧曝気槽	曝気槽の BOD 容積負荷量を $0.35\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$ とし、MLSS 濃度を $4500\text{mg}/\text{L}$ 、BOD 除去率を 94%、SS 除去率を 90%と設定する。
容積	$46.71\text{kg} \div 0.35\text{kg} = 134\text{m}^3$
BOD-MLSS 負荷量	$46.71\text{kg} \div (134\text{m}^3 \times 4.5\text{kg}/\text{m}^3) = 0.078\text{kg}/\text{kg} \cdot \text{日}$
除去 BOD 量	$46.71\text{kg} \times 0.84 = 43.9\text{m}^3/\text{日}$
処理水 BOD 濃度	$46.71\text{kg} (1 - 0.94) \div 38.93\text{m}^3 \times 1000 = 72 \text{mg}/\text{L}$
除去 SS 量	$38.47\text{kg} \times 0.9 = 34.63\text{kg}/\text{日}$
処理水 SS 濃度	$38.47\text{kg} (1 - 0.9) \div 38.93\text{m}^3 \times 1000 = 99 \text{mg}/\text{L}$
処理水ポンプ	処理水の放流時間を 1 時間とする。 $38.47\text{kg} \div 60 \text{分} = 0.65\text{m}^3/\text{分}$ 以上の能力を持つポンプを選定。
⑨必要酸素量	BOD 酸化係数を 1 とし、微生物の呼吸作用係数を 0.33 と設定する。
	$1 \times 43.9\text{kg} + 0.03 \times (134\text{m}^3 \times 4.5\text{kg}/\text{m}^3) = 62\text{kg}/\text{日}$
⑩必要空気量	酸素溶解率を 8%とする。 $62\text{kg} \div 0.08 \div 0.28\text{kg}/\text{m}^3 \div 21 \text{時間} \div 60 \text{分} = 2.2\text{m}^3/\text{分}$ 以上の能力を持つ表面機械曝気装置を選定。
⑪余剰汚泥量	BOD からの余剰汚泥生成率を 0.5 に、活性汚泥の減少率を 0.07 に MLSS の 80%が MLVSS と設定する。 $43.9\text{kg} \times 0.5 + 34.63\text{kg} - 0.07 \times (134\text{m}^3 \times 4.5\text{kg}/\text{m}^3 \times 0.8) = 22.82\text{kg}/\text{日}$ (乾物量)
⑫引き抜き汚泥量	2 週間に 1 回、固形分 1%濃度の活性汚泥を引き抜く。 $22.82\text{kg} \times 14 \text{日} \times (100) / (100 - 99) \div 10000 = 31.95/14 \text{日}$
⑬汚泥濾床	引き抜き後の静置により水分 97%に濃縮された汚泥を $200\text{L}/\text{m}^3$ の条件で 14 日間の重力脱水と乾燥により水分 60%の乾燥汚泥にする。
濾床面積	$31.95\text{m}^3 \times (100 - 99) / (100 - 97) \div 0.2\text{m}^3 = 54\text{m}^3$
濾床壁高	$31.95\text{m}^3 \div 54\text{m}^3 = < \text{施工壁高さ } 0.7\text{m}$
乾燥汚泥量	$31.95\text{m}^3 \times (100 - 99) / (100 - 60) = 0.8\text{m}^3/14 \text{日}$

【参考資料】

畜産環境整備機構 (2004) 家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術. 財団法人畜産環境整備機構.

中央畜産会 (1989) 家畜尿汚水の処理利用技術と事例. 財団法人中央畜産会.

第8章

酪農用メタン発酵技術

第8章のポイント

大規模な酪農経営単独で、または地域の複数の酪農家が協力してメタン発酵施設を設置する例も北海道を中心として存在する。メタン発酵は、放流を目的とせず、最終的には液肥が生産されることから、液肥の利用計画までも一体化してはじめて技術として成立する。よって、汚水処理技術と言うよりは液肥生産技術の一つとして位置づけることが妥当である。

液肥生産の副産物として、メタンを高濃度に含むバイオガスが生産されるという長所があるが、バイオガス発電で得られた電力の売電でメリットが得られるかどうかはケースバイケースである。導入の可否については慎重な検討が求められる。

本章ではメタン発酵技術の基礎から設計法までを解説し、導入を検討する際の基礎資料となることを意図した。

§ 8-1 メタン発酵（嫌気性処理）技術の基本

要点 メタン発酵（嫌気性処理）は、バイオガスプラントでふん尿の有機物を嫌氣的に微生物分解させてバイオガス（メタンガス濃度約 60%）を発生させる方法である。回収したメタンガスはボイラーでの温水製造や発電に利用できる。

メタン発酵後の消化液はアンモニアを高濃度に含む一方で悪臭は低減することから液肥利用に適する。また、ふん尿混合スラリーといった高濃度汚水を直接処理でき、生ごみなどを加えることでバイオガスの発生量を高めることも可能である。

一方で、液肥が圃場還元ができない場合に浄化処理を行おうとすると処理経費が高額となってしまうので放流は現実的ではない。

解説

メタン発酵（嫌気性発酵）は、「古くて新しい技術」と言われる。我が国におけるメタン発酵施設（バイオガスプラント）が普及した背景には、産学官が一体となった、研究開発や普及の土台となる政策によるところが大きい。

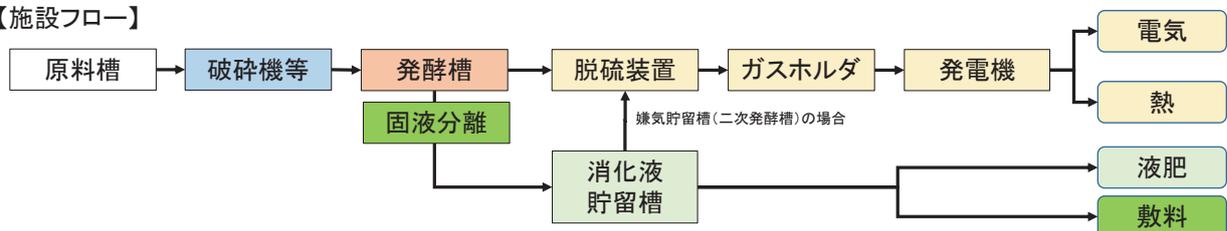
特に、平成 24 年から開始された「再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT 制度）」により、バイオガス発電により得られた電気を一般電気事業者等に対して、固定価格で売電することで、バイオガスプラント設置者が売電収入を得ることができることが、追い風となりバイオガスプラントの導入に弾みがついた。

FIT 制度では、バイオガスプラントに設置された設備のうち、発酵槽、ガスホルダー、発電機などがエネルギー生産施設として FIT 認定されている。また、FIT 認定された設備の稼働に必要な電気は、設備で発電した電気を使用（自家消費）することになっているので、自家消費以外の発電電力が一般電気事業者などに固定価格で販売されることになる。

1. メタン発酵施設（バイオガスプラント）の基本

図 1 に一般的なメタン発酵の施設及び処理フローを示す。メタン発酵は、投入物の量や質の安定供給、発酵施設の維持管理、消化液の利用、バイオガスの有効利用といった各種の高度な管理技術が要求される。管理不全になると、処理が滞って畜産経営自体に支障をきたすので、導入の際には、十分な検討が必要となる。

【施設フロー】



【処理フロー】

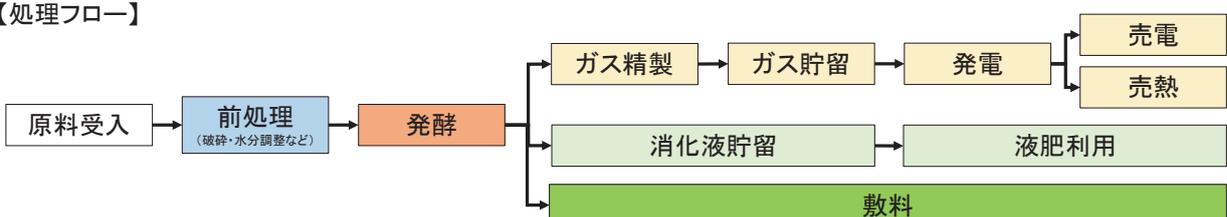


図 1. 一般的なバイオガスプラント（湿式）の処理フロー

2. バイオガス

メタン発酵で得られるガスの組成は、メタンガスが約 55%から 60%程度で、他に二酸化炭素や硫化水素を含んでおり、一般にバイオガスと呼ばれる。利用に当たっては、金属の腐食原因となる硫化水素を除去する必要がある。これには化学的方法および生物学的方法がある。

バイオガスを利用するボイラーや発電機は、発酵槽のトラブル時のために軽油や CNG などでも稼働できるものを導入することが望ましい。

3. 消化液

バイオガスプラントでメタン発酵処理された液状物を一般的に消化液と呼ぶ。消化液中には、家畜ふん尿に含まれている窒素やリンが、ほぼそのままの量で残存する。有機物が分解されることにより、流動性が向上し、即効性の高い良質液肥になる。悪臭は、発酵により減少するが、散布時は、近隣に民家がない農地に散布するか、土中に注入するインジェクタを使って散布するなどの対処をすることが望ましい。また、近年では、消化液を固液分離し、その固形分を好気発酵させた後、「再生敷料（戻し堆肥）：図 2」と呼ばれる敷料として畜舎で使用する事例が増加している（固液分離後の液分はスラリータンクに貯留し圃場還元する）。



図 2. 再生敷料の生産と敷料利用

§ 8-2 メタン発酵消化液の液肥利用

要点 メタン発酵後の消化液は窒素の大部分がアンモニアであるため、作物に対する肥料的効果が強く液肥利用に適する。

消化液は牧草等作物の生育に合わせ施用するが、その施用適期が1～2週間程度とすると、それまで貯留していた消化液の全てをその期間内に撒き切れる貯留容量にする必要がある。

解説

<消化液の液肥利用条件>

消化液はメタン発酵槽から排出された時点では液温も高いこともあって多少アンモニア臭があるが、貯留槽に静置すると殆ど悪臭は消失する。消化液の窒素濃度は約3,000 mg/Lであり、作物別に施肥設計を行い施用する必要がある。例えば、水稻の場合10 a 当たり10kgの窒素施用量であれば約3.3m³の消化液を水田の水口から用水と共に流し込むことになる。また、牧草では窒素量を20kg/10 a にすれば約6.7m³の施用量となる。

消化液の液肥利用に当たっては作物に対して「適期に適正量」を施用することが作物の品質や収量の点で最も重要なことである。ところが、消化液は毎日一定量が排出される一方で、作物に必要な液肥は元肥と追肥の時点で必要であることから、当然ながら所要容量の貯留槽を設置して必要な時期に必要な量を施用する必要がある。そのため、必要な貯留槽容積は約半年分といわれているが、消化液の発生と作物の栽培条件のバランスによって異なるので現場に合わせた貯留容量の設定が必要になる。

圃場近くに中継槽を設置することや、地域のコントラクター活用による適正な液肥利用計画を策定しておく必要がある。

<消化液の浄化処理>

消化液のBOD/N比は、1～2程度と低い上にアンモニアによる硝化阻害も生ずることから活性汚泥法による浄化処理で十分な窒素除去性能を得ることができない。しかも、処理水には強い色度が残留する。よって、浄化処理による放流は現実的ではない。

§ 8-3 メタン発酵施設設計の基本

要点 バイオガスプラント（メタン発酵施設）の種類は湿式と乾式の2タイプである。また、運営形態としては、個別型と共同利用型がある。

畜産用のメタン発酵施設は、良質・安全な消化液の生産および高効率かつ所定の稼働率を確保できる発電施設等のエネルギー変換施設として計画する。

槽内構造、運転条件等はメーカーにより様々な選択肢があることから、運転の安定性、経済性、信頼性等を考慮し、処理対象に適した方式を選定する必要がある。

解説

バイオガスプラントは、他の処理法に比べ建設費が高額で処理経費が高いというイメージが強く、2012年以前は導入数が少なかった。しかし、臭気・気候変動対策や敷料生産、FIT制度等の政策効果から、バイオガス発電を行っているバイオガスプラントは、FIT制度開始以来、年ごとに15～30基のペースで増加し全国で約260基（2020年度）が稼働している（一般社団法人日本有機資源協会, 2021）。特に、バイオガスプラントの導入が進んでいる北海道では、約80基のバイオガスプラントが稼働している（Kimuraら, 2019）。

運営形態別に、個人・法人で導入する「個別型」と数戸の酪農家が集まり共同で運営する「共同利用型」に大別される。また、発酵形式では、原料スラリーの固形分濃度が7～8%程度のものを処理する湿式バイオガスプラント（湿式タイプ*1）、それ以上の濃度のものを処理する乾式バイオガスプラント（乾式タイプ*2）の2種類に大別される。両者の特徴は以下のとおりである。

*1 湿式バイオガスプラント

下水汚泥、し尿、家畜排せつ物、生ごみ等を処理対象とする従来のタイプは、槽内の固形物濃度は攪拌の可能な濃度に保持する。消化液はそのまま、または脱水分離後に液肥として農業利用される。脱水残渣はコンポスト化後に敷料として利用される場合もある。付帯するバイオガス発電設備の容量は、平均すると1設備約400kW程度であり、ほとんどが2,000kW以内である。

*2 乾式バイオガスプラント

近年、ヨーロッパにおいて、20-40%の高濃度の有機物を投入して、消化液の発生を無くす高濃度メタン発酵法が開発され、わが国に技術導入されている。このシステムの主な処理対象は、一般的な都市域からの生ごみ、紙ごみ、剪定枝などが対象であり、バイオガスを回収後、発酵残渣は、後工程で堆肥として農業利用、または燃料として有効利用されている。しかし、現在、農業分野における乾式バイオガスプラントは、完全な乾式ではなく、前処理工程において長ワラなどの夾雑物を破碎処理した固形分濃度が約15～20%の家畜ふん尿を対象とした「セミ乾式」と呼ばれるタイプの運用が始まったばかりである。

メタン発酵施設導入のきっかけとなるポイントを以下に述べる。

◇ 良質な液肥生産

スラリー中の有機態窒素をアンモニア等の無機態窒素に分解し、作物に有効な肥料成分にすることを目的としている。曝気処理に必要な電気料が農業経営的に負担となっていたことや液肥化にあたり、長ワラなどの使用が少ないフリーストール飼養の酪農家が注目している。

◇ 売電

FIT制度によって電気事業者に買い取られた電気による売電収入が得られることで注目されている。

◇ 環境対策・臭気対策

農地還元の際に悪臭を発生させないように臭気物質を分解する。臭気対策として、特に都市近郊のフリーストール飼養の酪農家を中心に普及している。曝気処理など他の液肥化法に対して、嫌気発酵処理中および消化液散布時の臭気は大幅に低減することで注目されている。

◇ 敷料使用量の軽減対策

固液分離処理後の消化液固形分を二次発酵させたたい肥（コンポスト）を牛床の敷料として使用する。一般に再生敷料と称されている。消化液の新たな利用方法として注目されている。

1. バイオガスプラント（メタン発酵施設）設計の技術的な考え方

バイオガスプラント建設にあたっては、計画、地元合意、許認可、建設工事など、完成までに要する時間が長い。全体計画立案にあたっては、原料の性状や物性、また、堆肥や液肥としての利用実態等を十分に把握した上で行うべきである。特に、メタン発酵槽の設計は設計・施工だけでなく定常運転・メンテナンス等も念頭に置く必要がある。

2. 計画から発注・施工までの全体計画に係る留意事項

計画においては、周辺環境等への配慮だけでなく、施工時および稼働時の安全かつ衛生的な作業環境確保に配慮しなければならない。また、良質・安全な消化液の生産および高効率の稼働率を確保できる発電施設になるよう計画する。

メーカによりそれぞれ独自の全体システムを構築しているため、複数メーカーの要素設備を組み合わせることは現実的でない。槽内構造、運転条件等はメーカーにより多くの選択肢があることから、運転の安定性、経済性、信頼性等を考慮し、処理対象物に適した方式を選定する必要がある。

発注時の留意事項として、発注者は契約時に性能保証事項を定めることが重要となる。具体的には、定格処理能力を満たすこと、機器の振動・騒音に係る対策や排ガス・悪臭対策等の環境対策も含め、各種法規制を満たすことが必須となる。また、完成検査の実施が必須である。

3. メタン発酵施設の設計値および設計・運転・メンテナンスに係る実施計画上の留意事項

性能確認で最も重要なことは、発注側がメタン発酵施設の概要を理解していることである。特にメタン発酵施設の引き渡し後の性能試験運転は、発注者のトレーニングも兼ねて発注者自身が実施することが望ましい。以下に、設計および運転上の留意事項の詳細を述べる。

① レセプションピット（受入槽）

原料の種類に応じた設備の選定が必要である。特に、共同利用型施設では、収集運搬車両で家畜ふん尿を搬入するが、受入槽は収集運搬車両の仕様および1日の搬入台数や必要貯留日数に適応できるように設計し、さらに感染症対策のために車両消毒槽を設ける必要がある。寒冷地においては冬季の凍結対策も必要となる。

投入蓋は臭気対策として有効であり、脱臭のための吸気配管、槽内臭気の捕集装置、腐食性ガス対策を付帯する施設もある。また、原料の性状に応じて受入槽には攪拌機などを設置する。レセプションピットは屋内設備が多いが、建屋構造物の腐食対策等に留意する必要がある。個別型では低コスト化を目的として木造建屋にする例も見られる。また、積雪が多い場合は、コージェネ発電設備からの熱を活用するなどして、必要に応じて搬入道路のロードヒーティング設備を設置することも考慮することが望ましい。

② メタン発酵槽およびバイオガス利用施設・機器

メタン発酵槽は、嫌気性を確保するため、鉄筋コンクリートまたは鋼製とし、保温のため断熱材で覆う。原料の投入および消化液の引き抜き装置（ポンプや自然流下）、発酵槽内を攪拌する装置（攪拌機）、発酵槽の加温装置（ガスボイラー）、バイオガスの脱硫装置（生物脱硫・脱硫剤による化学的脱硫）などを設置する。また、定期的な分析により内部の状況を把

握できるようにサンプリングノズルおよび計器類等を設置する。

メタン発酵には、湿式法・乾式法問わず中温発酵と高温発酵があり、メタン発酵槽内を所定温度に保つための加温装置が必要である。加温方法としては、温水循環による槽内加温が一般的であるが、熱交換器による槽外加温やヒートパイプによる間接加温などもある。メタン発酵槽内液の均質化・温度分布の均一化によるメタン発酵の促進、スカム発生の抑制・防止を目的として攪拌を行う。攪拌方式は機械攪拌が一般的であるが、ガス攪拌やポンプ攪拌方式などもある。

メタン発酵では硫化水素を含む可燃性のバイオガスが発生することから取扱いには十分注意する必要がある。バイオガス中のメタン濃度はおおむね 50～60%程度である。メタンガスの空気中での爆発限界は 4.3～14%、発火点は 537℃である。バイオガス利用設備を屋内に設置する場合は、ガス検知装置を設置して監視するとともに、十分な換気ができるように設計する必要がある。また、バイオガスの主成分であるメタンガスは、二酸化炭素以上に温暖化に影響を与える気体である。余剰なバイオガスは大気放散させずにガスフレア（余剰ガス燃焼装置）等で燃焼させて適切に処理する必要がある。ガスホルダの容量は、1 日当たりまたは週当たりのバイオガス発生量の変動予測とバイオガス利用設備の運転状況を勘案して設計する。バイオガス利用施設としてガスエンジン、燃料電池、ボイラー、精製装置(Pretreatment techniques for biofuels and biorefineries (2013))がある。FIT 設備申請の際には詳細な仕様等が必要となることから発電設備マスタープラン策定段階で整理しておくことが重要である。

③ メンテナンス

メタン発酵施設の維持管理に当たっては、TBM（Time Based Maintenance：ある一定周期で整備実施）の考え方を基本とする。近年は、日常的な管理は農家が行い、定期点検・補修はメーカーによるメンテナンス契約で対応するのが一般的である。メンテナンスについては定期的な補修・定期点検と対応年数や故障などによる機器更新が必要となる。

表 1. 施設規模別のバイオガスプラント設計概要値

プラント形態	個別型			集中型（共同利用型）
施設規模	中規模	中規模	大規模	共同利用
頭数規模（搾乳牛換算）	100 頭	100 頭	250 頭	1200 頭
処理方式（湿式／乾式）	湿式	乾式（セミ乾式）		湿式
①処理能力				
処理能力	7.1t/日	6.7 t/日	17.8 t/日	85.2 t/日
想定雑排水	1.5 t/日	—	3.8 t/日	18.0 t/日
想定敷料	1.4 t/日	0.2 t/日	3.5 t/日	16.8 t/日
②施設概要				
＜レセプションピット・受入槽・前処理＞				
材質	RC	鋼製		RC
ポンプ	5.5～13.5kW	5.5kW		5.5～13.5kW：複数台
攪拌機		7.5～15.0kW：複数台		
前処理工程	—	破砕機		—
計測器		水位計、温度計		
＜発酵槽＞				
材質	RC 造	鋼製		RC 造
断熱材	発泡ウレタン等、75mm～200mm			
攪拌機	3.7～15.0kW：複数台			7.5～15.0kW：複数台
ポンプ		5.5～13.5kW		
計測器	水位計、温度計、流量計、ガス分析計			
発酵温度；中温	○	○	○	○
；高温	○	○		
滞留日数（RT）		18 日前後		
※湿式；	40 日前後	（投入原料の固液分離後の液分のみ対象）		40 日前後
水学的平均滞留日数(HRT)				
バイオガス発生量	280 m ³ /日	222 m ³ /日	700 m ³ /日	3360 m ³ /日
メタン濃度			50%～60%	
＜ガス貯留施設＞				
ガスバッグ容量	1 時間当たり（以上）のバイオガス生成量が保持可能な容量			
ガスバッグ材質	経産省メンブレンガスホルダーに係るガイドラインに準ずる			
＜脱硫・除湿＞				
脱硫方式	生物／乾式	生物＋乾式	生物／乾式	生物／乾式
除湿方法	地中冷却、チラー冷却			
＜消化液貯留槽＞				
材質・容量	RC・ゴムシート（180 日分）			
＜消化液衛生＞				
処理温度・処理時間	処理温度；概ね 55～75℃、処理時間；7.5～1.0hr			
＜再生敷料＞				
固液分離機	スクリーブプレス等			
（固液分離率）	50～60%	20%	50～60%	50～60%
ポンプ	3.1～7.5kW	なし	3.1～7.5kW	3.1～7.5kW
＜発電・発熱施設＞				
発電機	25kW	25kW	64kW	150kW×2 台
ガスブロー	15 m ³ /hr	2 m ³ /hr	30m ³ /hr	100 m ³ /hr×2 台
計装	酸素、メタン、硫化水素計（警報機）、温度計、電力量			
留意点				
乾式（セミ乾式）	前処理工程（夾雑物（長ワラなど）の破砕処理）の設置			
安全対策	ガス検知器・柵設置、強制換気・警報発報システム、火災対策（消火器設置等）、ガス事業法・産廃処理法に対応			
原料の凍結対策（厳寒地）	原料の加温			
悪臭対策	脱臭設備および装置密閉			
不純物の除去	堆砂処理、脱硫、固液分離			
腐食対策				
・発酵槽及び原料槽	防食対策、FRP、エポキシ樹脂塗装			
・機械室	防食対策、換気、断熱材吹付			
・計測室など	防食対策、換気、断熱材吹付			
堆砂対策	原料槽に沈砂槽考慮			
スカム対策	攪拌機使用			
自動運転について	完全自動化もしくは、処理対象物投入後は自動			

表 2. 施設規模別の運転管理目標およびメンテナンスに関する概要

プラント形態	個別型			集中型（共同利用型）
施設規模	中規模	中規模	大規模	共同利用
頭数規模（搾乳牛換算）	100 頭	100 頭	250 頭	1200 頭
処理方式（湿式／乾式）	湿式	乾式（セミ乾式）		湿式
① 運転管理目標				
＜バイオガス＞				
メタン濃度			50%以上	
硫化水素濃度			20ppm 以下	
シロキサン			5ppm 以下	
＜発酵槽内環境＞				
投入原料の固形分濃度（TS）	<11%	15%	<11%	<11%
有機物分解率（VSR）			30～35%以上	
TS/VS	定期的に分析			
pH	7.5～8.5	—	7.5～8.5	7.5～8.5
＜ガスボイラ・灯油ボイラ・ガス発電機中の排気ガス＞				
NO _x				
O ₂	大気汚染防止法に準ずる			
ばいじん				
② メンテナンス；耐用年数、補修間隔、定期点検、機器更新				
耐用年数 ^{注)}				
攪拌機			7 年	
ポンプ			7 年	
補修間隔				
攪拌機	3～5 年	—	3～5 年	3～5 年
攪拌機羽	2 年程度で交換	—	2 年程度で交換	2 年程度で交換
ポンプ	5 年程度	—	5 年程度	5 年程度
定期点検	1～2 回/年			
脱硫剤交換間隔	酸化鉄；概ね 1.5 回/年交換、活性炭；2～3 ヶ月毎に交換			
＜事象内容および対応策の代表例＞				
○ 発酵不良				
投入過多・温度低下等による発酵不良や投入原料への抗生物質の混入などが原因である。この場合は、発酵槽の運転を停止し、サンプリングと分析を行う。				
○ パイプの閉塞				
異物の混入や固結・凍結したスカム・浮遊物の発酵槽流入、流出パイプの閉塞が主な原因である。閉塞した場合は、装置を一時停止し、配管の分解・清掃、機器の清掃等が必要となる。				
○ 発酵槽攪拌機器・搬送ポンプ等のシステム機器に関する破損・異常				
機器の劣化や過負荷などが主な原因である。異常が発生もしくは感知した場合、ただちに機器を停止し、メーカーまたは保守会社等に連絡する。				
○ 発電機・精製装置の故障				
エンジンの油圧、温度、出力、発電機の電圧、電流、周波数等に異常が感知され、警報が発生した場合は、機器の運転を停止し、メーカーまたは保守会社等に連絡する。				
注) 機器更新は各機器の対応年数による				

表 3. 発電機・精製装置・再生敷料および関係法規

プラント形態	個別型			集中型（共同利用型）
施設規模	中規模	中規模	大規模	共同利用
頭数規模（搾乳牛換算）	100 頭	100 頭	250 頭	1200 頭
処理方式（湿式／乾式）	湿式	乾式（セミ乾式）		湿式
① 発電機				
発電機の能力	25 kW	25 kW	64 kW	300 kW
発電量	CHP 種類（発電効率）により変動			
② 精製装置				
精製処理後のメタン濃度	95%以上			
③ 再生敷料				
想定生産量	1.0 t/日	0.97 t/日	2.5 t/日	12.0 t/日
再生敷料の水分率	60%	58%	60%	60%
④ 関係法規				
公害防止について				
騒音（規制基準）				
振動（規制基準）	設置状況による対応			
悪臭（悪臭防止法）				
排ガス基準	大気汚染防止法による対応			
原料・発酵槽	汚泥処理、腐食対策			

【参考資料】

一般社団法人日本有機資源協会（2021），第 7 1 回調達価格等算定委員会資料，資料 8.
 Kimura ら（2019），Simulation of livestock biomass resource recycling and energy utilization model based on dry type methane fermentation system, Earth and Environmental Science 460, doi:10.1088/1755-1315/460/1/012020.
 Pretreatment techniques for biofuels and biorefineries (2013), 第 13 章, p289-305, Springer.

第 9 章

污 水 处 理 新 技 術 事 例

第9章のポイント

畜産分野の汚水処理関連技術については、現在も新技術の研究・開発が継続されている。本書ではこれら新技術の中から以下の3条件に合致するものを選定し、紹介した。

- ①技術内容が公表されていること
- ②複数の実施例があること
- ③導入を請け負う会社があること

なお、紙幅の関係でごく一部の技術の紹介に絞らざるおえなかったが、今後の普及が期待される新技術は他にも数多くある。

§ 9-1 BOD 制御による省エネ型のスマート排水処理

要点 本法は、BOD を迅速に測定できる BOD 監視システムを利用して、間欠曝気における 1 日あたりの曝気時間の長さを BOD 値に応じて自動で最適化する新技術である (Yamashita ら ; 農研機構, 2022)。BOD (処理水槽) と pH (曝気槽) を 1 日に 1 回測定して、排水処理施設の送風機 (ブロー) を On/Off 制御する (図 1)。例えば、測定 BOD 値が目標値よりも高い場合、曝気時間を増やす。BOD と pH が低い場合、曝気過剰なので曝気時間を短縮する。これを繰り返すことで、過度な曝気が抑えられ省エネ化が図られる。間欠曝気最適化により窒素除去性能も向上する。

5 箇所の養豚污水处理施設で実証試験を行った結果、全ての施設で省エネ効果が示された。曝気時間は平均 32%削減され、電気代は肥育豚 1000 頭あたり 1.3 万円/月節約できた。導入費用を 250 万円と仮定すると、肥育頭 5,000 規模の農場の場合、3 年半程度で回収できる。節電による間接的な温室効果ガスの削減量は、5.2 t-CO₂/年/1000 頭になる。

処理水質は曝気制御の実施前後で変化はなく、BOD は 30 mg/L 以下、窒素は一般排水基準 100 mg/L 以下であり、良好な水質が得られた。一部の施設では窒素除去促進効果が観察された。

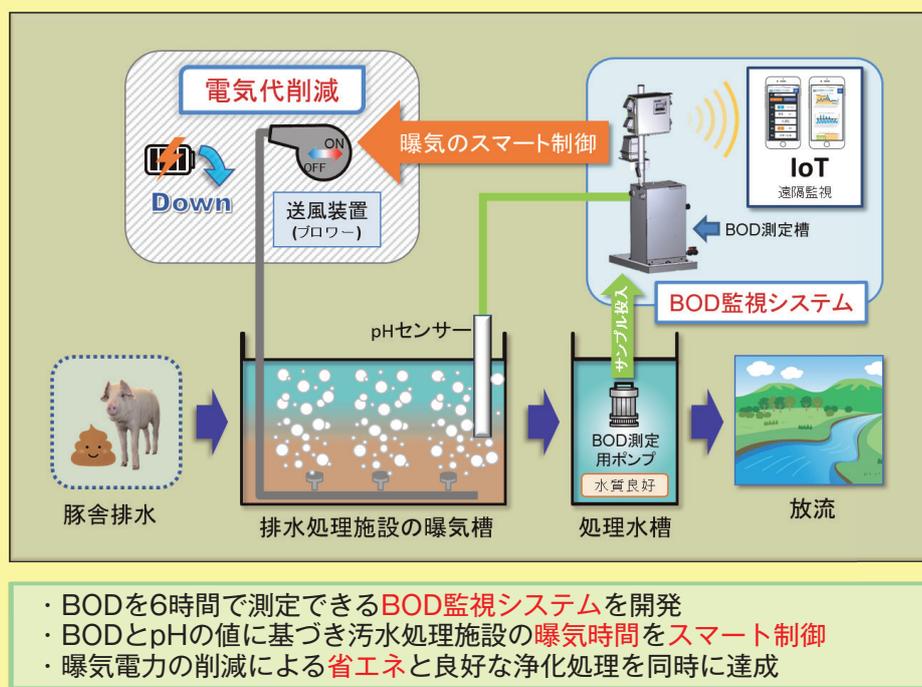


図 1. BOD 制御による省エネ型スマート排水処理の概要図

解説

1. 背景・ねらい

養豚場の污水处理施設では、浄化槽に大量の空気を送り込むこと（曝気）で汚水を浄化している。曝気には多くの電力が必要で、ランニングコストの約半分を占める。豚舎から出る汚水の BOD 値は日々変動するため、排水処理施設では高濃度の BOD 汚水が投入されても処理できるように、長い曝気時間（制御無し）で運転されている。このため、低 BOD 汚水の場合は曝気が過剰となり、電力が無駄に消費されている。そこで BOD 値に応じた曝気量制御が望まれるが、従来法による BOD 測定は 5 日間の測定時間が必要なために実施が困難であった。農研機構は発電細菌を利用して BOD を 6 時間で測定できる「BOD 監視システム」を開発した (農研機構, 2018 ; Yamashita ら, 2016)。この BOD 監視システムにより曝気量制御が可能になった。近年、畜産農業に対する窒素（硝酸性窒素等）の暫定排水基準が強化されている。汚水から窒

素を除去する際にも BOD の最適化が必要なため、本システム導入による浄化機能の促進も期待できる。

2. BOD 監視システムの適用条件と注意事項

本システムを導入するには、排水処理施設が適切に設計・運転管理されている必要がある (BOD 容積負荷が $0.3\text{kg}/\text{m}^3/\text{day}$ 以下、十分な曝気風量と汚泥量の調整、処理水槽でのバルキングが長期間発生していないなど)。設置から測定開始まで 1 ヶ月の馴養期間が必要である。BOD の測定範囲は約 $40\sim 250\text{ mg/L}$ である。窒素の一般排水基準をクリアするためには、排水の BOD と窒素の比が 3 以上必要である。電極は定期的な交換が必要である。本システムの性能維持には IoT 等を使い装置や発電細菌の状態を日常的に保守管理する必要がある。なお、本システムによる BOD 測定は公定法に代わるものではない。水質汚濁防止法に定められている年 1 回以上の測定義務では公定法による測定が必要である。

【参考資料】

Yamashita T. et al. (2022) Biochem. Eng. J. 177:108266

農研機構 (2022) 養豚場の排水処理を省エネにするスマート曝気制御技術. 農研機構普及成果情報.

農研機構 (2018) 排水処理に役立つ BOD (生物化学的酸素要求量) 監視システム. 農研機構普及成果情報.

Yamashita T. et al. (2016) Sci. Rep. 6:38552

§9-2 炭素繊維による窒素除去促進法

要点 炭素繊維担体に浄化微生物を付着させて汚水を浄化する。炭素繊維担体を曝気槽に投入することにより、炭素繊維の表面に形成される生物膜の表層では好氣的な硝化反応が起き、生物膜の深層では嫌氣的な脱窒反応が起こる。アンモニウムイオンから硝酸を経て窒素ガスへの転換がスムーズに行われることで、硝酸イオンや亜硝酸イオンが蓄積することなく処理が行われる。このため、過度の一酸化二窒素の放出が回避されると考えられる。

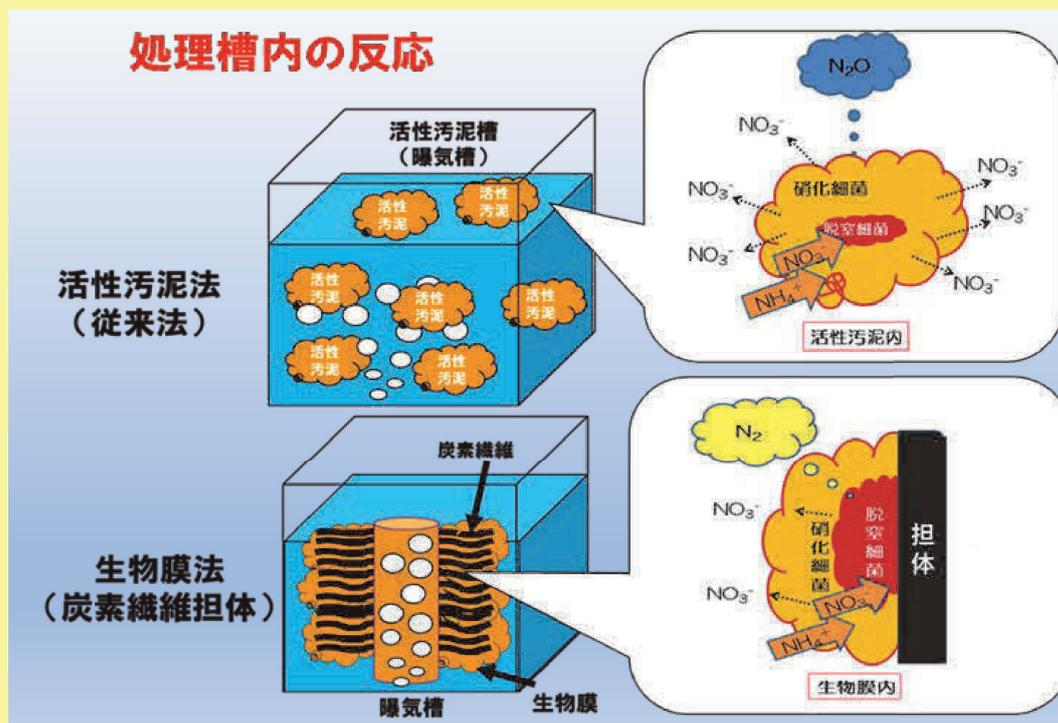


図1 炭素繊維担体を導入したリアクターと従来法との違い



試作した炭素繊維装置



浄化処理槽内設置状況

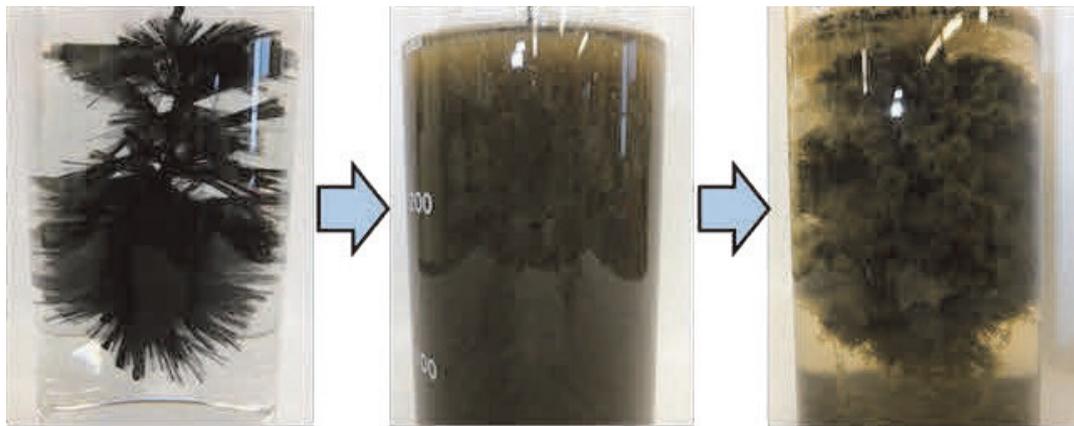
図2 岡山県で実証を行った炭素繊維リアクター

解説

浄化微生物をプラスチック製の担体（濾材）などに膜状に付着させ、その膜状の微生物によって汚水を浄化する方法を生物膜法と呼ぶ（畜産環境整備機構，1998）。濾材としてはチューブ状、ひも状、網状、網状骨格体状、平板状、ボール状等々々なものがある（日本下水道協会，2019）。生物膜法の特徴として、生物膜表面で窒素を硝化し、生物膜内部で脱窒が起こるため窒素の除去効果が高いとされている。炭素繊維利用による脱窒法は、水中で炭素繊維が大きく広がって繊維表面に微生物が大量に付着する特徴がある。

炭素繊維は耐摩耗性に優れており、直径は約 $7\mu\text{m}$ と細い。他の繊維に比べ微生物の付着性がよく生物膜が厚くなるので嫌気部分が多くなりより効率的に脱窒される。この結果、排

水中の窒素が削減される(Yamashita ら, 2014)。なお、本方法は温室効果ガスのうち、温室効果が CO₂ の 298 倍(IPCC, 2007)とされる N₂O の削減に効果のあることも認められている(Yamashita ら, 2014, 2019)。



水道水

活性汚泥投入直後

投入から 20 分後

図3 炭素繊維担体に活性汚泥微生物が付着する様子

【参考資料】

畜産環境整備機構 (1998) 家畜ふん尿処理. 利用の手引き.

日本下水道協会 (2019) 下水道施設計画・設計指針と解説-2019年版-.

IPCC Forth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4)

:第4次評価報告書 (2007年) 第3作業部会 (WG3) 第1章

Yamashita T. et al. (2015) Animal Science Journal, 86.3: 358-368.

Yamashita T. et al. (2019) Energies, 2019, 12.6: 1013.

§ 9-3 硫黄脱窒法

要点 硫黄含有固形資材を用いる脱窒技術で、独立栄養細菌の一種である硫黄酸化脱窒細菌が溶存酸素の少ない条件下で硫黄を酸化しながら亜硝酸や硝酸を窒素ガスに還元する働きを利用する（図 1）。

硫黄脱窒法を用いる利点は、有機物を添加しないことから水質悪化の問題がないこと、あらかじめ処理槽に多量の硫黄含有資材を充填するので窒素の変動が生じても特段の調整操作が不要で管理が容易なこと、流入硝酸量に応じた分だけ硫黄が利用されるため資材の無駄な消耗が無いことなどである。

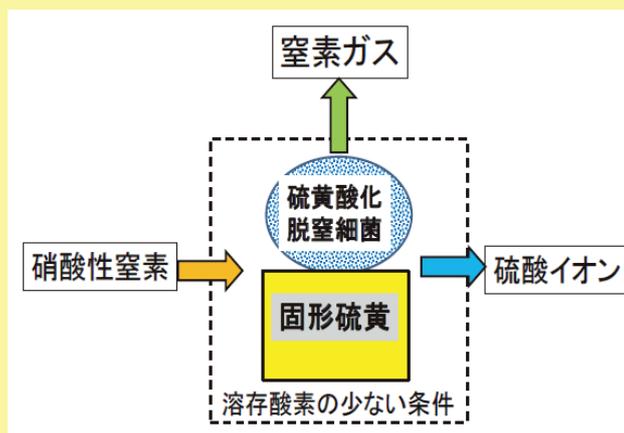


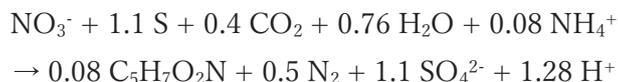
図 1 硫黄脱窒法の原理

解説

1. 原理

通常の生物学的脱窒法では、有機物を利用して亜硝酸や硝酸を窒素ガスに還元して除去する。しかし、窒素が過剰になりやすい家畜污水处理では有機物が不足し、十分な脱窒効果が得られない場合がある。

このような場合に、有機物の代わりに硫黄を用いる脱窒技術（硫黄脱窒法）がある。独立栄養細菌の一種である硫黄酸化脱窒細菌が、溶存酸素の少ない条件下で硫黄を酸化しながら亜硝酸および硝酸を窒素ガスに還元する働きを利用したもので、以下の反応式に従い窒素が低減される。



硫黄酸化脱窒細菌を用いる利点として、有機物を添加しないことから水質悪化の問題がないこと、あらかじめ処理槽に多量の硫黄含有資材を充填するので窒素の変動が生じても特段の調整操作が不要で管理が容易なことがあげられる。また、流入硝酸量に応じた分だけ硫黄が消耗するため、資材の無駄がない。ただし、硫黄の酸化に伴い硫酸イオンが生成されるため、処理水の pH が排水基準の下限値である 5.8 を下回る場合は中和が必要になる。このため、あらかじめ中和剤として微溶性のアルカリ剤が資材に添加されている。なお、硫黄脱窒法の利用においては、既存の污水处理施設でアンモニアの硝化が進行していることが前提条件となる。

硫黄脱窒法は生物学的な反応のため、水温低下により速度が低下する。一般に硫黄酸化脱窒細菌は 10～40℃で活性を発現し、10℃以下では活性が顕著に低下することが報告されている（新日鐵化学㈱技術開発本部編、2004）。従って、冬期の温度低下をできるだけ防ぐことが通年利用の観点から重要である。

2. 使用資材

粉末硫黄に粉末炭酸マグネシウムと少量の界面活性剤を配合した資材を使用する（図2）。



図2 硫黄脱窒用資材

3. 適正処理条件

上向流方式リアクター（1m³規模）による実証試験によると、窒素負荷量 0.4kg/ton-資材/日以下の場合、平均 70%の窒素除去率が得られている（長谷川ら、2020）。

さらに 2m³規模の上向流方式リアクター（図3）による実証試験も、国立研究開発法人農研機構畜産研究部門、千葉県畜産総合研究センターおよび一般財団法人畜産環境整備機構の共同で進められた。

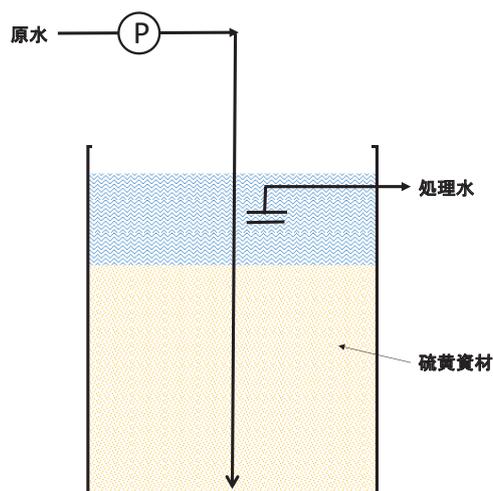


図3 上向流方式リアクターの構造と実証試験装置

4. 留意事項

・水温保持

低温時では脱窒性能が低下するため、処理槽の表面および配管類は保温材で覆い、上面は保温性のある蓋を取り付けることが望ましい。処理槽を地下方式または半地下方式にして保温を図ることも有効である。

・処理停止時の硫黄臭抑制

硫黄含有資材を充填した処理槽は通水条件下では特段の臭気を発生しないが、通水停止状態で放置すると、それまでに生成した硫酸イオンと残留有機物が硫酸還元反応を起こして硫黄臭が発生することがある。従って、長時間停止させる場合は、停止前に清水を通水して硫酸イオンと有機物を流出させることが必要である。

・放流水中硫酸イオンの環境影響

水質汚濁防止法では硫酸イオン濃度に関する規制は無い。しかし、放流先が農業用水の場合は硫酸イオ

ン濃度に関するガイドラインの有無を確認する必要がある。また、放流水域が有機物の多い沼など停滞水域の場合は、底泥と硫酸イオンが反応して硫黄臭が発生する可能性があるので注意が必要である。常時流水のある河川などのほうが放流に適する。

・資材の取り扱い

純粋な硫黄は消防法の可燃物に該当し規制対象であるが、脱窒に使用する硫黄含有資材は不燃性であり規制対象外である。

【参考資料】

新日鐵化学(株)技術開発本部編（2004）硫黄カルシウム剤による脱窒法. 化学工業日報社.

長谷川輝明、田中康男、笠原和久、長田隆（2020）炭酸マグネシウム配合粉末硫黄資材と上向流型リアクターによる養豚排水の硫黄脱窒試験. 日本畜産環境学会誌 19(1)、9-16.

§ 9-4 バランス改善飼料による窒素排せつ量低減

要点 バランス改善飼料は、余分なアミノ酸給与を減らし、尿として排出される窒素を低減する配合飼料である。生育に必須なアミノ酸（リジン、トレオニン、メチオニン、シスチン等）を結晶アミノ酸の添加によって充足させつつ、飼料中の粗タンパク質含量（CP）を低減しながらも、慣行飼料と同様の生産性を実現することができる（図 1）。導入メリットには排水の水質改善効果にくわえて、臭気対策効果、温室効果ガス削減効果もあり、地球温暖化への貢献も期待できる。バランス改善飼料の価格は、慣行飼料とほぼ変わらないか、やや安価になる。このバランス改善飼料については、平成 25 年 6 月に飼料の公定規格が一部改正され、環境負荷低減型配合飼料（子豚育成用及び肉豚肥育用）の公定規格が新設されている。

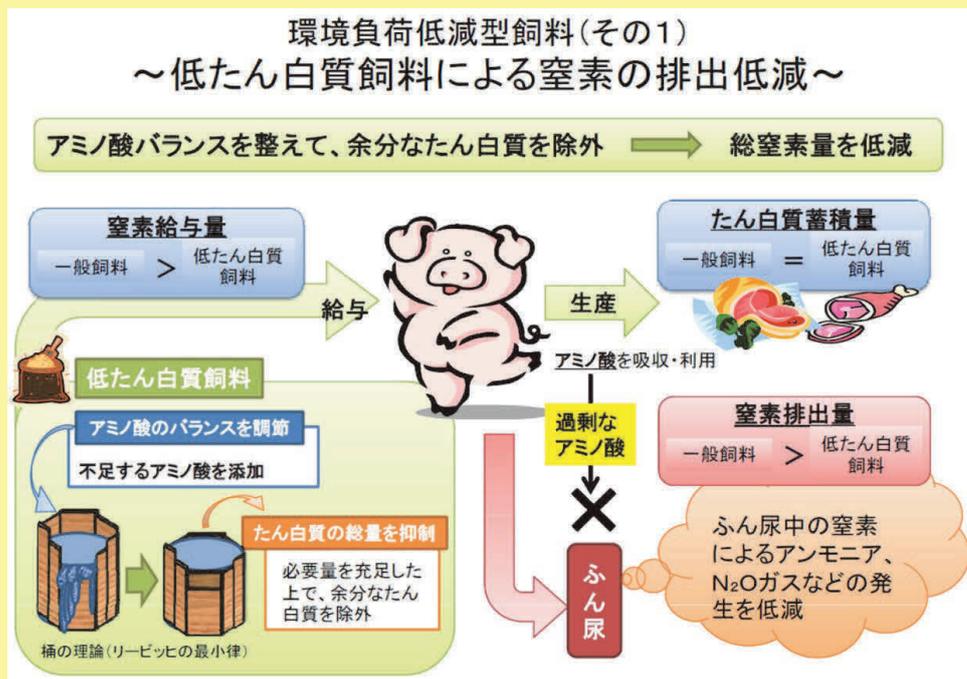


図 1 酸バランス改善飼料

（農林水産省 HP 説明資料より転載）

解説

窒素（尿素、尿酸など）を減らすためのアミノ酸バランスを整えた飼料（バランス改善飼料）に関する研究は多数報告されている。斉藤の総説（2001）に依れば、窒素排せつ量については、飼料中のタンパク質（CP）含量を下げ、これに不足するアミノ酸を添加することにより、飼養成績の低下や体脂肪量の増加をもたらすことなく、ブタで約 30%、ブロイラーで約 10%、産卵鶏で約 20%の N 排泄量の低減が可能と推定している。温暖化対策技術としても J クレジットとして方法論が登録され、活用が進んでいる（AG-001 Ver. 2.2）。方法論の根拠は Osada et. al（2011）、Ogino et al.（2013）などに示されている。

肥育豚（三元豚）に 4 種類の結晶アミノ酸（Lys, Met, Thr, Trp）を添加して調製したバランス改善飼料を給与し、排せつ尿量と尿中窒素量を把握したうえで、肥育後期に排出される尿中の窒素量を比較検討した（須藤ら 2016）。

その結果出荷体重 110 kg（試験終了時）までの日増体量（DG）は、共に 0.94～0.99 kg で有意差は認められず、アミノ酸含量が要求量を満たしていれば肥育豚においてバランス改善飼料は慣行飼料と同等の増体が得られることが確認され（表 1）、枝肉格付けは、上物率も同等の成績であった。

また、豚舎床下の尿溝からそれぞれの尿汚水を全量採取して両飼料の肥育豚の排せつ尿量、尿中排せつ窒素量を計測した結果、バランス改善飼料を給与した肥育豚の尿排せつ量は慣行飼料の給与に比べ約 3 割削減され、尿中排せつ窒素量は 5 割以上低減することが確認された（表 2）。

表 1 バランス改善飼料と慣行飼料の内容（須藤ら 2016）

配合割合 (%)	肥育前期 (体重30-70kg)		肥育後期 (体重70-110kg)	
	慣行飼料	バランス飼料	慣行飼料	バランス飼料
トウモロコシ	73.27	78.71	66.36	74.01
大麦			14.00	14.00
大豆粕	23.31	17.99	16.50	9.00
動物性油脂	1.16	0.66	1.28	0.78
第 2 リン酸カルシウム	0.79	0.86	0.46	0.55
炭酸カルシウム	0.89	0.90	0.89	0.87
塩化ナトリウム	0.21	0.21	0.21	0.21
ビタミン剤	0.20	0.20	0.20	0.20
塩化コリン60	0.05	0.05	0.05	0.05
ミネラル剤	0.05	0.05	0.05	0.05
リジン塩酸塩	0.05	0.21		0.22
DLメチオン	0.02	0.07		0.01
L-トレオニン		0.07		0.04
L-トリプトファン		0.02		0.01
計	100	100	100	100
TDN	78	78	78	78
CP※ (%)	15.60	14.30	14.10	10.70
DE(kcal/kg)	3,453	3,446	3,437	3,438

飼料原料の配合割合と日本標準飼料成分表による計算値

表 2 バランス改善飼料の窒素排出低減効果（須藤ら 2016）

	尿量		窒素量	
	L/頭/日	()	g/頭/日	()
慣行飼料区	5.98	(4.6)	33	(26.0)
バランス飼料区	3.97	(2.3)	14	(12.1)

()内は標準偏差

【参考資料】

杉中求 (2013) 畜産環境情報 49、1-10.

斉藤守 (2001) 日畜会報, 72, 177-199.

方法論 AG-001 Ver. 2.2 : https://japancredit.go.jp/pdf/methodology/AG-001_v2.2.pdf

Osada, T. et.al (2011) Animal feed science and technology, 166, 562-574.

Ogino, A. et.al (2013) Soil science and plant nutrition, 59(1), 107-118.

須藤立ら (2016) 日本畜産学会報, 87(4), 373-380.

第 10 章

養豚汚水処理施設の メーカー設計事例

第10章のポイント

本章では養豚污水处理施設のメーカー設計事例を紹介する。確実な設計能力と実績を有するメーカーに執筆を依頼したが、これ以外にも多様な形式の污水处理施設が多くのメーカーから販売されている。

どのような形式の施設にも一長一短があり、その農家の条件に合致する技術を慎重に選定することが重要である。

§ 10-1 養豚污水处理施設の設計事例：循環式硝化脱窒法（肥育豚 2000 頭規模）
（群立機器株式会社）

1. 設計条件

- 規模
肥育豚 2000 頭飼養規模
- 豚舎構造
ふん尿分離豚舎
- 廃水量
肥育豚 1 頭あたり 15L/日とする。
 $2000 \text{ [頭]} \times 15 \text{ [L/頭/日]} \div 1000 = 30 \text{ [m}^3\text{/日]}$
- BOD 負荷量
肥育豚 1 頭あたり 100 g/日とする。
 $2000 \text{ [頭]} \times 100 \text{ [g/頭/日]} \div 1000 = 200 \text{ [kg/日]}$
- SS 負荷量
肥育豚 1 頭あたり 80 g/日とする。
 $2000 \text{ [頭]} \times 80 \text{ [g/頭/日]} \div 1000 = 160 \text{ [kg/日]}$
- T-N 負荷量
肥育豚 1 頭あたり 30 g/日とする。
 $2000 \text{ [頭]} \times 30 \text{ [g/頭/日]} \div 1000 = 60 \text{ [kg/日]}$
- 設計条件のまとめ
 - ・廃水量：30 [m³/日]
 - ・BOD 負荷量：200 [kg/日]
 - ・SS 負荷量：160 [kg/日]
 - ・T-N 負荷量：60 [kg/日]
 - ・BOD/N 比：3.33
- 処理方式
循環式硝化脱窒活性汚泥方式（沈殿分離）
- 目標処理水質
 - ・BOD：20 [mg/L] 未満
 - ・SS：20 [mg/L] 未満
 - ・硝酸性窒素等：100 [mg/L] 未満

2. 設計計算

① 原水槽 豚舎より排出された原水を受け入れる。

廃水量 [m ³ /日]	BOD 負荷量 [kg/日]	SS 負荷量 [kg/日]	T-N 負荷量 [kg/日]
30.0	200	160	60.0

② 固液分離機 夾雑物と汚水を分離する。

- ・BOD 除去量 除去率 10%とする。
 $200 \text{ [kg/日]} \times 10\% = 20.0 \text{ [kg/日]}$
- ・BOD 残量

- 200 [kg/日] - 20.0 [kg/日] = 180 [kg/日]
- SS 除去量 除去率 20%とする。
160 [kg/日] × 20% = 32.0 [kg/日]
- SS 残量
160 [kg/日] - 32.0 [kg/日] = 128 [kg/日]
- 篩渣発生量 水分率 85%とする。
32.0 [kg/日] × 1/0.15 ≒ 213 [kg/日] → 堆肥化
- 廃水量 (原水 - 篩渣量)
30.0 [m³/日] - 0.21 [m³/日] ≒ 29.8 [m³/日]

廃水量 [m ³ /日]	BOD 負荷量 [kg/日]	SS 負荷量 [kg/日]	T-N 負荷量 [kg/日]
29.8	180	128	60.0

③ 調整槽 固液分離した汚水を貯留し、脱窒槽への投入量と負荷量を調整する。

- BOD 除去量 除去率 10%とする。
180 [kg/日] × 10% = 18.0 [kg/日]
- BOD 残量
180 [kg/日] - 18.0 [kg/日] = 162 [kg/日]
- SS 除去量 除去率 20%とする。
128 [kg/日] × 20% = 25.6 [kg/日]
- SS 残量
128 [kg/日] - 25.6 [kg/日] ≒ 102 [kg/日]
- T-N 除去量 除去率 10%とする。
60.0 [kg/日] × 10% = 6.00 [kg/日]
- T-N 残量
60.0 [kg/日] - 6.00 [kg/日] = 54.0 [kg/日]
- 引抜き汚泥量 水分率 99%とする。
25.6 [kg/日] × 1/0.01 ÷ 1000 = 2.56 [m³/日] → 汚泥槽へ
- 廃水量 固液分離機ろ液 - 引抜き汚泥 + 脱水ろ液
29.8 [m³/日] - 2.56 [m³/日] + 8.82 [m³/日] = 36.1 [m³/日]

廃水量 [m ³ /日]	BOD 負荷量 [kg/日]	SS 負荷量 [kg/日]	T-N 負荷量 [kg/日]
36.1	162	102	54.0

- BOD/N 比 : 3.0

④ 脱窒槽 水中ミキサーで攪拌し、主に生物脱窒を行う。(ORP を測定し、必要に応じて間欠曝気を行う)

- 脱窒槽容積 MLSS を 4kg/m³、BOD-MLSS 負荷を 0.2 とする。
(BOD 容積負荷 0.8 相当)
162 [kg/日] ÷ (4 [kg/m³] × 0.2 [kg-BOD/kg-MLSS/日])
= 203 [m³]
- 脱窒が正常に機能する水温下限値は 15°C とする。

- ⑤ 曝気槽 ブローターと散気装置を使用して曝気し、主に活性汚泥による硝化を行う。
(ORP、pH、DO を測定し、必要に応じて間欠曝気を行うことで内生脱窒の効果も期待できる。)
- ・硝化・脱窒に必要な脱窒槽と曝気槽の合計容積 MLSS を $4\text{kg}/\text{m}^3$ 、
BOD-MLSS 負荷を 0.05 とする。(BOD 容積負荷 0.2 相当)
 $162 [\text{kg}/\text{日}] \div (4 [\text{kg}/\text{m}^3] \times 0.05 [\text{kg-BOD}/\text{kg-MLSS}/\text{日}])$
 $= 810 [\text{m}^3]$
 - ・曝気槽容積 脱窒槽と曝気槽の合計容積 - 脱窒槽容積
 $810 [\text{m}^3] - 203 [\text{m}^3] = 607 [\text{m}^3]$
 - ・必要酸素量 流入 BOD に対する酸化に関する係数を 1.0、内生呼吸に関する係数を 0.07 とする。
 $1.0 \times 162 [\text{kg}/\text{日}] + 0.07 (607 [\text{m}^3] \times 4 [\text{kg}/\text{m}^3]) \doteq 332 [\text{kg}/\text{日}]$
 - ・必要送風量 空気 1 m^3 中に酸素が 0.28kg 含まれるとする。酸素溶解効率を 5% とする。
 $332 [\text{kg}/\text{日}] \div 0.28 [\text{kg}/\text{m}^3] \div 5\% \doteq 23714 [\text{m}^3/\text{日}]$
 $23714 [\text{m}^3/\text{日}] \div 24 [\text{時間}/\text{日}] \div 60 [\text{分}/\text{時間}] \doteq 16.5 [\text{m}^3/\text{分}]$
- ⑥ 沈殿分離槽 活性汚泥と上澄水を沈殿分離する。沈殿汚泥から余剰汚泥を引き抜く。
- ・余剰汚泥生成量 曝気槽流入 BOD 負荷量の 40% とする。水分率 99% とする。
 $162 [\text{kg}/\text{日}] \times 40\% \doteq 64.8 [\text{kg}/\text{日}]$
 $64.8 [\text{kg}/\text{日}] \times 1/0.01 \div 1000 = 6.48 [\text{m}^3/\text{日}] \rightarrow \text{汚泥槽へ}$
 - ・必要水面積 水面積負荷 $3 \text{ m}^3/\text{m}^2$ とする。
 $6.48 [\text{m}^3/\text{日}] \div 3 [\text{m}^3/\text{m}^2/\text{日}] = 2.16 [\text{m}^2]$ 以上
- ⑦ 処理水槽 沈殿分離した上澄水を貯留・監視する。
- ・流入量 沈殿分離槽流入量 - 余剰汚泥量
 $36.1 [\text{m}^3/\text{日}] - 6.48 [\text{m}^3/\text{日}] \doteq 29.6 [\text{m}^3/\text{日}] \rightarrow \text{放流}$
- ⑧ 汚泥槽 調整槽の引抜き汚泥と余剰汚泥を貯留する。
- ・流入量 調整槽引抜き汚泥 + 余剰汚泥
 $2.56 [\text{m}^3/\text{日}] + 6.48 [\text{m}^3/\text{日}] = 9.04 [\text{m}^3/\text{日}]$
 - ・SS 負荷量 調整槽引抜き汚泥 + 余剰汚泥
 $25.6 [\text{kg}/\text{日}] + 64.8 [\text{kg}/\text{日}] = 90.4 [\text{kg}/\text{日}]$
- ⑨ 汚泥脱水機 汚泥槽に貯留した汚泥を減容化し系外に排出する。
- ・脱水機能力
 $13 [\text{kg}/\text{時間}]$ とする。
 - ・運転時間
 $90.4 [\text{kg}/\text{日}] \div 13 [\text{kg}/\text{時間}] \doteq 7 [\text{時間}/\text{日}]$
 - ・脱水ケーキ発生量 水分率 80% とする。
 $90.4 [\text{kg}/\text{日}] \times 1/0.2 = 452 [\text{kg}/\text{日}]$

- ・凝集剤使用量 対SS添加率2%とする。
 $90.4 \text{ [kg/日]} \times 2\% = 1.80 \text{ [kg/日]}$
- ・洗浄水量 33 [L/時間]
 $7 \text{ [時間/日]} \times 33 \text{ [L/時間]} \div 1000 = 0.23 \text{ [m}^3\text{/時間]}$
- ・脱水ろ液量 処理汚泥量－脱水ケーキ発生量＋洗浄水量
 $9.04 \text{ [m}^3\text{/日]} - 0.45 \text{ [m}^3\text{/日]} + 0.23 \text{ [m}^3\text{/日]} = 8.82 \text{ [m}^3\text{/日]} \rightarrow \text{調整槽へ}$

3. フローシート、イメージ図

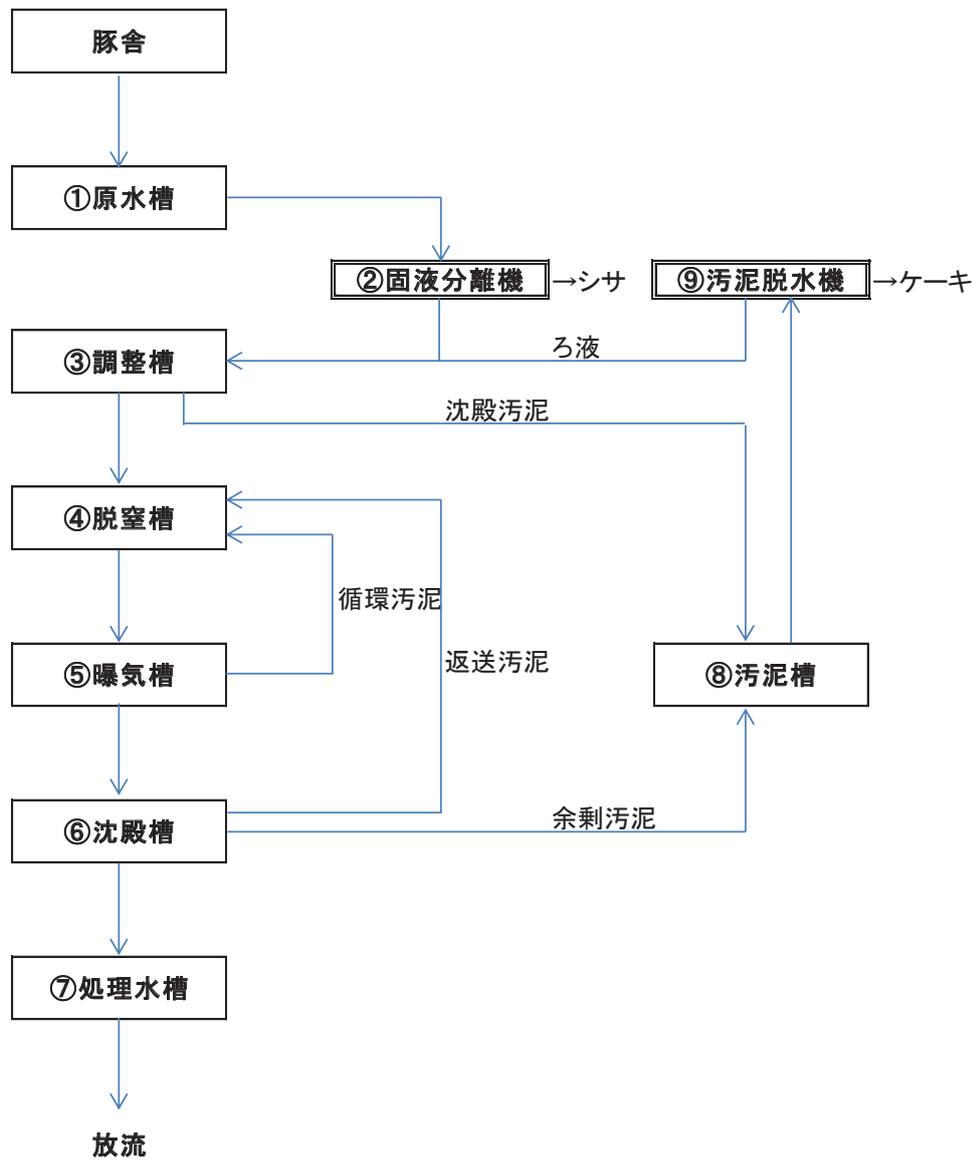


図1. 施設フローシート

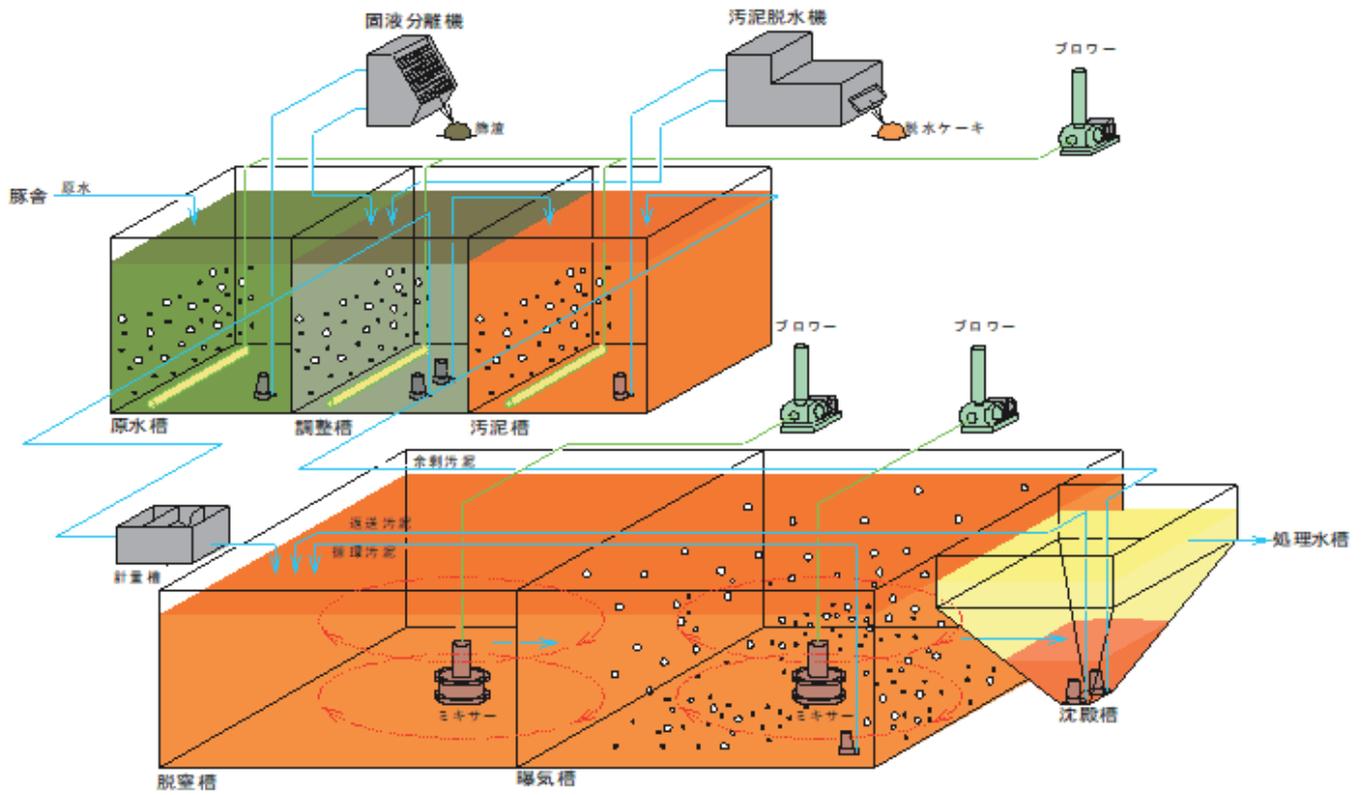


図2. 施設イメージ

§ 10-2 養豚污水处理施設の設計事例：循環式硝化脱窒法（肥育豚 5000 頭規模）
（群立機器株式会社）

1. 設計条件

- 規模
肥育豚 5000 頭飼養規模
- 豚舎構造
ふん尿分離豚舎
- 廃水量
肥育豚 1 頭あたり 15L/日とする。
 $5000 \text{ [頭]} \times 15 \text{ [L/頭/日]} \div 1000 = 75 \text{ [m}^3\text{/日]}$
- BOD 負荷量
肥育豚 1 頭あたり 100 g/日とする。
 $5000 \text{ [頭]} \times 100 \text{ [g/頭/日]} \div 1000 = 500 \text{ [kg/日]}$
- SS 負荷量
肥育豚 1 頭あたり 80 g/日とする。
 $5000 \text{ [頭]} \times 80 \text{ [g/頭/日]} \div 1000 = 400 \text{ [kg/日]}$
- T-N 負荷量
肥育豚 1 頭あたり 30 g/日とする。
 $5000 \text{ [頭]} \times 30 \text{ [g/頭/日]} \div 1000 = 150 \text{ [kg/日]}$
- 設計条件のまとめ
 - ・廃水量：75 [m³/日]
 - ・BOD 負荷量：500 [kg/日]
 - ・SS 負荷量：400 [kg/日]
 - ・T-N 負荷量：150 [kg/日]
 - ・BOD/N 比：3.33
- 処理方式
循環式硝化脱窒活性汚泥方式（沈殿分離）
- 目標処理水質
 - ・BOD：20 [mg/L] 未満
 - ・SS：20 [mg/L] 未満
 - ・硝酸性窒素等：100 [mg/L] 未満

2. 設計計算

① 原水槽 豚舎より排出された原水を受け入れる。

廃水量 [m ³ /日]	BOD 負荷量 [kg/日]	SS 負荷量 [kg/日]	T-N 負荷量 [kg/日]
75.0	500	400	150

② 固液分離機 夾雑物と汚水を分離する。

- ・BOD 除去量 除去率 10%とする。
 $500 \text{ [kg/日]} \times 10\% = 50.0 \text{ [kg/日]}$
- ・BOD 残量
 $500 \text{ [kg/日]} - 50.0 \text{ [kg/日]} = 450 \text{ [kg/日]}$

- SS 除去量 除去率 20%とする。
400 [kg/日] × 20% = 80.0 [kg/日]
- SS 残量
400 [kg/日] - 80.0 [kg/日] = 320 [kg/日]
- 篩渣発生量 水分率 85%とする。
80.0 [kg/日] × 1/0.15 ≒ 533 [kg/日] → 堆肥化
- 廃水量 (原水 - 篩渣量)
75.0 [m³/日] - 0.53 [m³/日] ≒ 74.5 [m³/日]

廃水量 [m ³ /日]	BOD 負荷量 [kg/日]	SS 負荷量 [kg/日]	T-N 負荷量 [kg/日]
74.5	450	320	150

③ 調整槽 固液分離した汚水を貯留し、脱窒槽への投入量と負荷量を調整する。

- BOD 除去量 除去率 10%とする。
450 [kg/日] × 10% = 45.0 [kg/日]
- BOD 残量
450 [kg/日] - 45.0 [kg/日] = 405 [kg/日]
- SS 除去量 除去率 20%とする。
320 [kg/日] × 20% = 64 [kg/日]
- SS 残量
320 [kg/日] - 64 [kg/日] = 256 [kg/日]
- T-N 除去量 除去率 10%とする。
150 [kg/日] × 10% = 15.0 [kg/日]
- T-N 残量
150 [kg/日] - 15.0 [kg/日] = 135 [kg/日]
- 引抜き汚泥量 水分率 99%とする。
64 [kg/日] × 1/0.01 ÷ 1000 = 6.40 [m³/日] → 汚泥槽へ
- 廃水量 固液分離機ろ液 - 引抜き汚泥 + 脱水ろ液
74.5 [m³/日] - 6.40 [m³/日] + 22.0 [m³/日] = 90.1 [m³/日]

廃水量 [m ³ /日]	BOD 負荷量 [kg/日]	SS 負荷量 [kg/日]	T-N 負荷量 [kg/日]
90.1	405	256	135

- BOD/N 比 : 3.0

④ 脱窒槽 水中ミキサーで攪拌し、主に生物脱窒を行う。(ORP を測定し、必要に応じて間欠曝気を行う。)

- 脱窒槽容積 MLSS を 4kg/m³、BOD-MLSS 負荷を 0.2 とする。
(BOD 容積負荷 0.8 相当)
405 [kg/日] ÷ (4 [kg/m³] × 0.2 [kg-BOD/kg-MLSS/日])
= 506 [m³]
- 脱窒が正常に機能する水温下限値は 15°C とする。

⑤ 曝気槽 ブロワーと散気装置を使用して曝気し、主に活性汚泥による硝化を行う。

(ORP、pH、DO を測定し、必要に応じて間欠曝気を行うことで内生脱窒の効果も期待できる。)

- ・硝化・脱窒に必要な脱窒槽と曝気槽の合計容積 MLSS を $4\text{kg}/\text{m}^3$ 、BOD-MLSS 負荷を 0.05 とする。(BOD 容積負荷 0.2 相当)
 $405 [\text{kg}/\text{日}] \div (4 [\text{kg}/\text{m}^3] \times 0.05 [\text{kg-BOD}/\text{kg-MLSS}/\text{日}])$
 $=2025 [\text{m}^3]$

- ・曝気槽容積 脱窒槽と曝気槽の合計容積－脱窒槽容積
 $2025 [\text{m}^3] - 506 [\text{m}^3] = 1519 [\text{m}^3]$

- ・必要酸素量 流入 BOD に対する酸化に関する係数を 1.0、内生呼吸に関する係数を 0.07 とする。

$$1.0 \times 405 [\text{kg}/\text{日}] + 0.07 (1519 [\text{m}^3] \times 4 [\text{kg}/\text{m}^3]) \doteq 830 [\text{kg}/\text{日}]$$

- ・必要送風量 空気 1 m^3 中に酸素が 0.28kg 含まれるとする。酸素溶解効率を 5% とする。

$$830 [\text{kg}/\text{日}] \div 0.28 [\text{kg}/\text{m}^3] \div 5\% \doteq 59286 [\text{m}^3/\text{日}]$$

$$59286 [\text{m}^3/\text{日}] \div 24 [\text{時間}/\text{日}] \div 60 [\text{分}/\text{時間}] \doteq 41.2 [\text{m}^3/\text{分}]$$

⑥ 沈殿分離槽 活性汚泥と上澄水を沈殿分離する。沈殿汚泥から余剰汚泥を引き抜く。

- ・余剰汚泥生成量 曝気槽流入 BOD 負荷量の 40% とする。水分率 99% とする。

$$405 [\text{kg}/\text{日}] \times 40\% \doteq 162 [\text{kg}/\text{日}]$$

$$162 [\text{kg}/\text{日}] \times 1/0.01 \div 1000 = 16.2 [\text{m}^3/\text{日}] \rightarrow \text{汚泥槽へ}$$

- ・必要水面積 水面積負荷 $3 \text{ m}^3/\text{m}^2$ とする。

$$90.1 [\text{m}^3/\text{日}] \div 3 [\text{m}^3/\text{m}^2/\text{日}] = 30.0 [\text{m}^2] \text{ 以上}$$

⑦ 処理水槽 沈殿分離した上澄水を貯留・監視する。

- ・流入量 沈殿分離槽流入量－余剰汚泥量

$$90.1 [\text{m}^3/\text{日}] - 16.2 [\text{m}^3/\text{日}] = 73.9 [\text{m}^3/\text{日}] \rightarrow \text{放流}$$

⑧ 汚泥槽 調整槽の引抜き汚泥と余剰汚泥を貯留する。

- ・流入量 調整槽引抜き汚泥＋余剰汚泥

$$6.40 [\text{m}^3/\text{日}] + 16.2 [\text{m}^3/\text{日}] = 22.6 [\text{m}^3/\text{日}]$$

- ・SS 負荷量 調整槽引抜き汚泥＋余剰汚泥

$$64.0 [\text{kg}/\text{日}] + 162 [\text{kg}/\text{日}] = 226 [\text{kg}/\text{日}]$$

⑨ 汚泥脱水機 汚泥槽に貯留した汚泥を減容化し系外に排出する。

- ・脱水機能力

$$42 [\text{kg}/\text{時間}] \text{ とする。}$$

- ・運転時間

$$226 [\text{kg}/\text{日}] \div 42 [\text{kg}/\text{時間}] \doteq 5.4 [\text{時間}/\text{日}]$$

- ・脱水ケーキ発生量 水分率 80% とする。

$$226 [\text{kg}/\text{日}] \times 1/0.2 = 1130 [\text{kg}/\text{日}]$$

- ・凝集剤使用量 対 SS 添加率 2% とする。

$$226 [\text{kg}/\text{日}] \times 2\% = 4.52 [\text{kg}/\text{日}]$$

- ・洗浄水量 90 [L/時間]
 $5.4 \text{ [時間/日]} \times 90 \text{ [L/時間]} \div 1000 = 0.49 \text{ [m}^3\text{/時間]}$
- ・脱水ろ液量 処理汚泥量 - 脱水ケーキ発生量 + 洗浄水量
 $22.6 \text{ [m}^3\text{/日]} - 1.13 \text{ [m}^3\text{/日]} + 0.49 \text{ [m}^3\text{/日]} \approx 22.0 \text{ [m}^3\text{/日]} \rightarrow \text{調整槽へ}$

3. フローシート、イメージ図

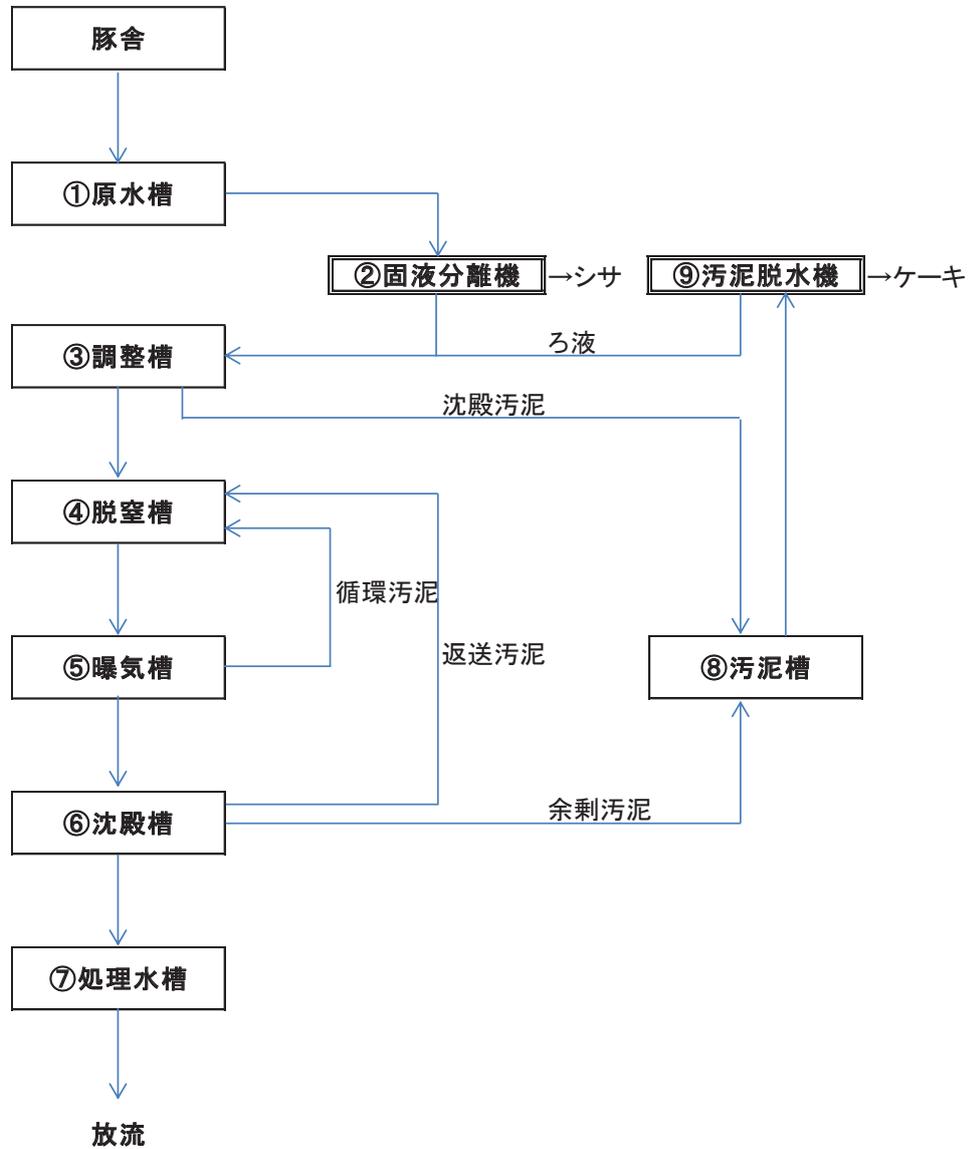


図1. 施設フローシート

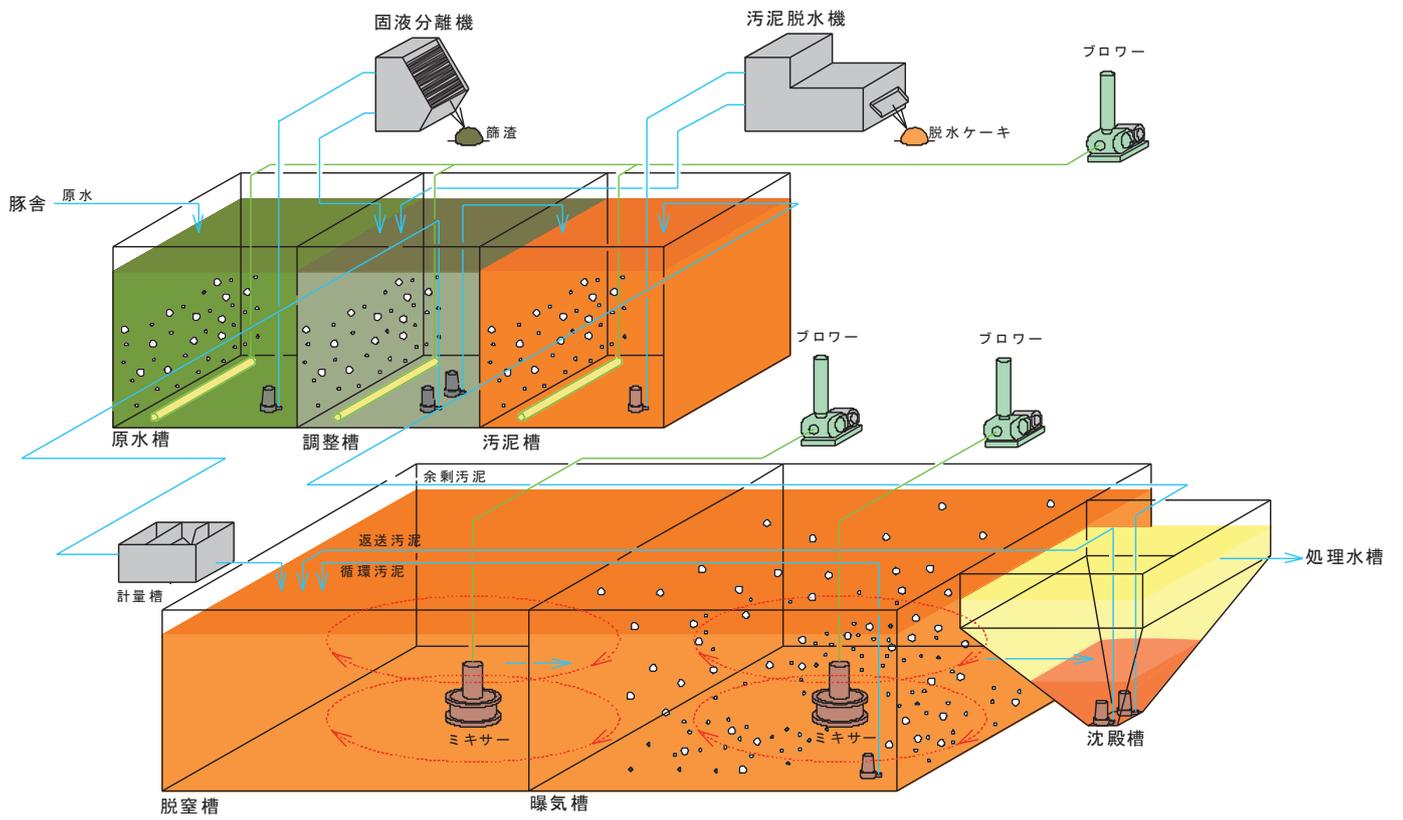


図 2. 施設イメージ図

設 計 諸 元

（余剰汚泥処理を砂ろ床を用いず、脱水機で行う場合）

1. 処理対象頭数 : 繁殖母豚 200 頭の一貫経営
2. 肥育豚換算頭数 : 肥育豚換算係数を繁殖母豚数の×10 とする。
200 頭×10=2,000 頭
3. 畜舎構造・除ふん方法 : スノコ式豚舎、スクレーパーによる除ふん。
（ふん尿分離）
4. 処理対象汚水量 : 肥育豚 1 頭 1 日当たりの排出汚水量を 15L と設定する。
 $2,000 \text{ 頭} \times 15\text{L} \div 1,000 = 30\text{m}^3 / \text{日}$
5. 処理対象 BOD : 肥育豚 1 頭 1 日当たりの排出 BOD 量を 80g と設定する。
BOD 量 $2,000 \text{ 頭} \times 80\text{g} \div 1,000 = 160\text{kg} / \text{日}$
BOD 濃度 $160\text{kg} \div 30\text{m}^3 \times 1,000 \div 1,000 = 5,333\text{mg} / \text{L}$
6. 処理対象 SS : 肥育豚 1 頭 1 日当たりの排出 SS 量を 100g と設定する。
SS 量 $2,000 \text{ 頭} \times 100\text{g} \div 1,000 = 200\text{kg} / \text{日}$
SS 濃度 $200\text{kg} \div 30\text{m}^3 \times 1,000 \div 1,000 = 6,667\text{mg} / \text{L}$
7. 処理対象 T-N : 肥育豚 1 頭 1 日当たりの排出 T-N 量を 25g と設定する。
T-N 量 $2,000 \text{ 頭} \times 25\text{g} \div 1,000 = 50\text{kg} / \text{日}$
T-N 濃度 $50\text{kg} \div 30\text{m}^3 \times 1,000 \div 1,000 = 1,667\text{mg} / \text{L}$
8. 処理目標水質
BOD 濃度 70mg/L 以下（水質汚濁防止法では日平均 120mg/L）
SS 濃度 90mg/L 以下（水質汚濁防止法では日平均 150mg/L）
硝酸性窒素等濃度 100mg/L 以下

設 計 計 算

1. 汚水ピット : 時間最大汚水量を日汚水量の 10% とする。
貯留時間を 60 分とする。
必要容積 $30\text{m}^3 / \text{日} \times 10\% \times 1 \text{ 時間} = 3\text{m}^3 < 3.1 \text{ m}^3$
(1.2m × 1.7m × 1.5mH)
汚水移送ポンプ 閉塞やトラブル時の対応を考慮して口径 65mm、1.5kw の水中汚物用ポンプを 2 基設置する。

2. 固液分離機 : 処理能力 $6\text{m}^3/\text{時間}$ の平型振動篩を設置し、BOD 除去率 15%、SS 除去率 30%、T-N 除去率 10%、篩別固形物の水分を 85%と設定する。

必要基数 $30\text{ m}^3/\text{日} \div (6\text{m}^3/\text{時間} \times 24) \doteq 0.21 \text{ 基} < 1 \text{ 基}$

篩別固形物量 $200\text{kg}/\text{日} \times 0.3 \div (1-0.85) = 400\text{kg}/\text{日}$ (水分率 85%)

分離液量 $30\text{m}^3/\text{日} - 0.40\text{m}^3/\text{日} = 29.60\text{m}^3/\text{日}$

分離液 BOD $160\text{kg}/\text{日} \times (1-0.15) = 136\text{kg}/\text{日}$
 $136\text{kg}/\text{日} \div 29.60\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 4,595\text{mg}/\text{L}$

分離液 SS $200\text{kg}/\text{日} \times (1-0.3) = 140\text{kg}/\text{日}$
 $140\text{kg}/\text{日} \div 29.60\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 4,730\text{mg}/\text{L}$

分離液 T-N $50\text{kg}/\text{日} \times (1-0.10) = 45\text{kg}/\text{日}$
 $45\text{kg}/\text{日} \div 29.60\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 1,520\text{mg}/\text{L}$

3. 投入槽 : 流入汚水量(篩別分離液、脱水機脱離液)の1日分の汚水を貯留できる容積とする。

必要容積 $29.60\text{m}^3/\text{日} + 15.08\text{m}^3/\text{日}$ (10項脱離液量参照)
 $\doteq 44.7\text{ m}^3/\text{日} < 44.9\text{m}^3$ ($7.8\text{m} \times 1.8\text{m} \times 3.2\text{mH}$)

汚水移送ポンプ 曝気槽への移送時間を1時間以内とする。
 $44.68\text{ m}^3/\text{日} \div 60\text{分} = 0.745\text{ m}^3/\text{分}$ 以上の能力をもつ汚物用ポンプを選定する。

混合液 BOD $136\text{kg}/\text{日} \div 44.68\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 3,044\text{mg}/\text{L}$

混合液 SS $140\text{kg}/\text{日} \div 44.68\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 3,133\text{mg}/\text{L}$

混合液 T-N $45\text{kg}/\text{日} \div 44.68\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 1,007\text{mg}/\text{L}$

(なお脱離液還流水中に含まれる BOD、SS、T-N は、計算が複雑となるため考慮しない)

4. 希釈水槽 : 曝気槽投入汚水の BOD 濃度を活性汚泥微生物の分解適濃度である $1,500\text{ mg}/\text{L}$ 以下に調整する。

曝気槽投入汚水量 $136\text{kg}/\text{日} \div 1.5\text{ kg}/\text{m}^3 \doteq 90.67\text{m}^3/\text{日}$

必要希釈水量 $90.67\text{ m}^3 - 44.68\text{ m}^3/\text{日} \doteq 45.99\text{ m}^3/\text{日}$

投入汚水 BOD 濃度 $136\text{kg}/\text{日} \div 90.67\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 1,500\text{ mg}/\text{L}$

投入汚水 SS 濃度 $140\text{kg}/\text{日} \div 90.67\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 1,544\text{ mg}/\text{L}$

投入汚水 T-N 濃度 $45\text{kg}/\text{日} \div 90.67\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 496\text{ mg}/\text{L}$

希釈水槽容量 汚水の少ない日の自動運転を考慮して、日汚水量全量と希釈水を貯留できる容積とする。

また脱水機の洗淨水の貯槽としても利用する。

$44.68\text{ m}^3/\text{日} + 45.99\text{ m}^3/\text{日} + 4.36\text{ m}^3/\text{日}$ (10項脱水機洗淨水量参照) $\doteq 95.03\text{ m}^3/\text{日} < 95.63\text{m}^3$ ($16.1\text{m} \times 1.8\text{m} \times 3.3\text{mH}$)

希釈水移送ポンプ 曝気槽への移送時間を1時間以内とする。

$45.99\text{ m}^3/\text{日} \div 60\text{分} \doteq 0.767\text{ m}^3/\text{分}$ 以上の能力をもつ水中ポンプを選定する。

この段階で BOD/N 比は、3.0 と脱窒素が可能な数値である。

5. 曝気槽 :BOD 容積負荷を $0.3 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ とし、MLSS 濃度を $5,000 \text{ mg/L}$ に、曝気槽における BOD 除去率を 96%、SS 除去率を 96%、T-N 除去率を 90% と設定する。

必要容積 $136 \text{ kg/日} \div 0.3 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日} \doteq 453.3 \text{ m}^3$
BOD-MLSS 負荷量 $136 \text{ kg/日} \div (453.3 \text{ m}^3 \times 5 \text{ kg/m}^3) \doteq 0.06 \text{ kg/kg/日}$
放流量 $90.67 \text{ m}^3/\text{日}$ (曝気槽投入汚水量) - $10.90 \text{ m}^3/\text{日}$ (8 項引抜余剰汚泥量) $\doteq 79.77 \text{ m}^3/\text{日}$
除去 BOD 量 $136 \text{ kg/日} \times 0.96 = 130.56 \text{ kg/日}$
処理水 BOD 濃度 $136 \text{ kg/日} \times (1-0.96) \div 79.77 \text{ m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 68 \text{ mg/L}$
除去 SS 量 $140 \text{ kg/日} \times 0.96 = 134.40 \text{ kg/日}$
処理水 SS 濃度 $140 \text{ kg/日} \times (1-0.96) \div 79.77 \text{ m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 70 \text{ mg/L}$
除去 T-N 量 $45 \text{ kg/日} \times 0.90 = 40.50 \text{ kg/日}$
処理水硝酸性窒素等濃度 $45 \text{ kg/日} \times (1-0.90) \div 79.77 \text{ m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 56 \text{ mg/L}$
処理水ポンプ 処理水の放流時間を 1 時間以内とする。
 $79.77 \text{ m}^3/\text{日} \div 60 \text{ 分} \doteq 1.33 \text{ m}^3/\text{分}$ 以上の能力をもつ汚物用ポンプを選定する。

6. 必要酸素量 BOD 酸素係数を 1.0、呼吸作用係数を 0.03 と設定する。

$1.0 \times 136 \text{ kg/日} + 0.03 \times (453.3 \text{ m}^3 \times 5 \text{ kg/m}^3) \doteq 204 \text{ kg/日}$

7. 必要空気量 水への酸素溶解率を 5% と設定する。

空気、酸素量換算は 0.28 kg/m^3 とする。

曝気槽は、脱窒素を行うためまたフロック解体防止のため間欠曝気を行う。(12 時間曝気、12 時間休止)

$204 \text{ kg/日} \times (24/12 \text{ 時間}) \div 0.28 \text{ kg/m}^3 \div 5\% \div 24 \text{ 時間} \div 60 \text{ 分} \doteq 20.24 \text{ m}^3/\text{分}$ 以上の能力を持つ表面機械曝気装置を選定する。

8. 余剰汚泥発生量 BOD からの余剰汚泥生成率を 0.5 に、活性汚泥の減少率を 0.05 に、MLSS の 80% が MLVSS と設定する。

余剰汚泥濃度を $10,000 \text{ mg/L}$ とする。

$0.5 \times 130.56 \text{ kg/日} + 134.40 \text{ kg/日} - 0.05 \times 453.3 \text{ m}^3 \times 4.0 \text{ kg/m}^3 \doteq 109.02 \text{ kg/日}$

引抜余剰汚泥量 $109.02 \text{ kg} \div 10,000 \text{ mg/L} \times 1,000 \doteq 10.90 \text{ m}^3/\text{日}$

9. 汚泥貯留槽 曝気槽からの余剰汚泥を受け入れる。

1 日分を受け入れる容量とする。

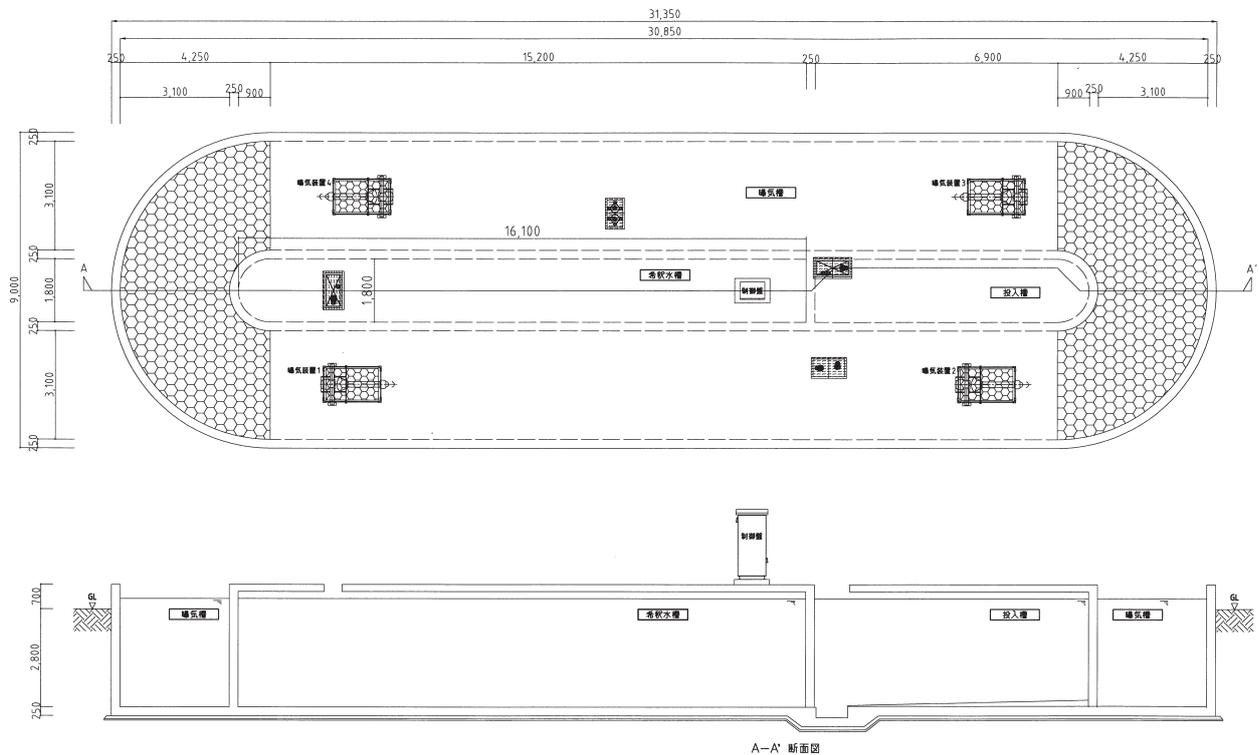
$10.90 \text{ m}^3/\text{日} \times 1 \text{ 日} \doteq 10.90 \text{ m}^3/\text{日} < 11.0 \text{ m}^3 (2.4 \text{ m} \times 1.7 \text{ m} \times 2.7 \text{ mH})$

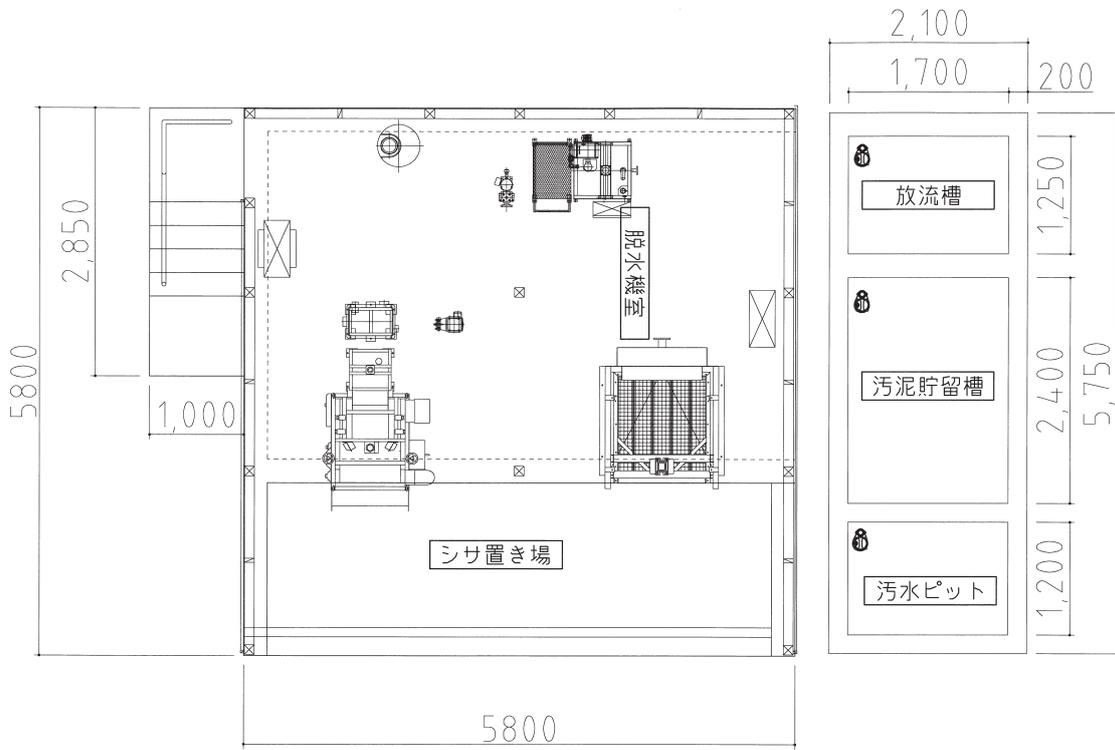
10. 汚泥脱水機 : 汚泥脱水機は 1 日の稼働時間を 8 時間程度となる機械を選定する。

必要処理能力	$109.02\text{kg}/\text{日} \div 8 \text{時間} \doteq 13.6 \text{kg}/\text{時}$ 処理能力 15 kg/時のベルトスクリーン型脱水機を選定する。
脱水ケーキ量	$109.02\text{kg}/\text{日} \div (1-0.85) \div 1,000 \doteq 0.73 \text{m}^3/\text{日}$ (水分率 85%)
脱水機洗浄水量	脱水機稼働時間 8 時間、洗浄ポンプ水量 10L/分、10 秒稼働、1 秒休止運転とする。 $10\text{L}/\text{分} \times 8 \text{時間} \times (10/11) \text{秒} \times 60 \text{分} \div 1000 \doteq 4.36 \text{m}^3/\text{日}$
高分子凝集剤量	余剰汚泥脱水のためカチオン系高分子凝集剤の使用量を対 SS 比 1.0%と設定する。 $109.02\text{kg}/\text{日} \times 0.01 \doteq 1.09 \text{kg}/\text{日}$
高分子凝集剤水量	粉末高分子を 0.2%に高分子自動溶解装置にて調整する。 $1.09 \text{kg}/\text{日} \div 0.002 \div 1000 \doteq 0.55 \text{m}^3/\text{日}$
脱離液量	$10.90 \text{m}^3/\text{日} - 0.73 \text{m}^3/\text{日} + 4.36 \text{m}^3/\text{日} + 0.55 \text{m}^3/\text{日} \doteq 15.08 \text{m}^3/\text{日}$

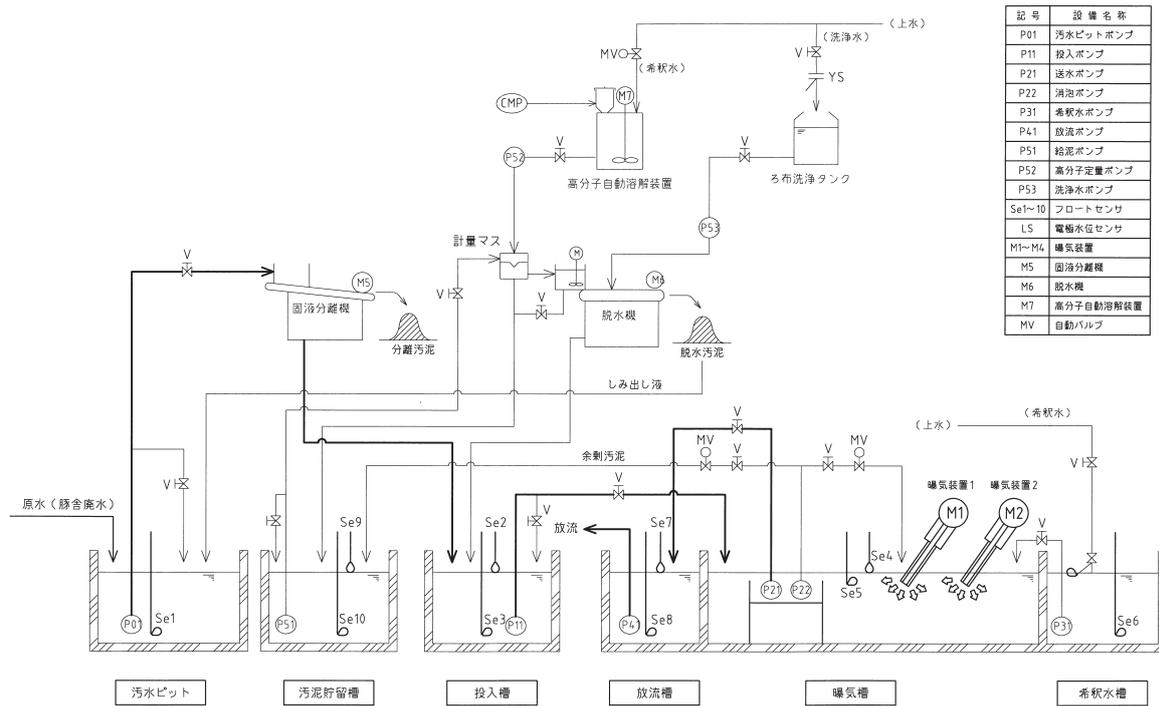
11. 放流槽（消毒槽） : 処理水は次亜塩素酸カルシウムにて滅菌後放流する。
滞留時間は 1 時間とする。
 $79.77 \text{m}^3/\text{日} \times 1/24 \doteq 3.3 \text{m}^3 < 3.4\text{m}^3$ (1.25m × 1.7m × 1.6mH)

12. 施設平面図





13. 施設フローシート



§ 10-4 養豚污水处理施設の設計事例：膜分離方式循環式硝化脱窒法（中空糸膜方式）
（肥育豚 2000 頭規模） **（群立機器株式会社）**

1. 設計条件

- 規模
肥育豚 2000 頭飼養規模
- 豚舎構造
ふん尿分離豚舎
- 廃水量
肥育豚 1 頭あたり 15L/日とする。
 $2000 \text{ [頭]} \times 15 \text{ [L/頭/日]} \div 1000 = 30 \text{ [m}^3\text{/日]}$
- BOD 負荷量
肥育豚 1 頭あたり 100 g/日とする。
 $2000 \text{ [頭]} \times 100 \text{ [g/頭/日]} \div 1000 = 200 \text{ [kg/日]}$
- SS 負荷量
肥育豚 1 頭あたり 80 g/日とする。
 $2000 \text{ [頭]} \times 80 \text{ [g/頭/日]} \div 1000 = 160 \text{ [kg/日]}$
- T-N 負荷量
肥育豚 1 頭あたり 30 g/日とする。
 $2000 \text{ [頭]} \times 30 \text{ [g/頭/日]} \div 1000 = 60 \text{ [kg/日]}$
- 設計条件のまとめ
 - ・ 廃水量：30 [m³/日]
 - ・ BOD 負荷量：200 [kg/日]
 - ・ SS 負荷量：160 [kg/日]
 - ・ T-N 負荷量：60 [kg/日]
 - ・ BOD/N 比：3.33
- 処理方式
膜分離活性汚泥方式（中空糸膜）
循環式硝化脱窒法
- 目標処理水質
 - ・ BOD：20 [mg/L] 未満
 - ・ SS：10 [mg/L] 未満
 - ・ 硝酸性窒素等：100 [mg/L] 未満

2. 設計計算

① 原水槽 豚舎より排出された原水を受け入れる。

廃水量 [m ³ /日]	BOD 負荷量 [kg/日]	SS 負荷量 [kg/日]	T-N 負荷量 [kg/日]
30.0	200	160	60.0

② 固液分離機 夾雑物と汚水を分離する。

- ・ BOD 除去量 除去率 10%とする。
 $200 \text{ [kg/日]} \times 10\% = 20.0 \text{ [kg/日]}$

- BOD 残量
 $200 \text{ [kg/日]} - 20.0 \text{ [kg/日]} = 180 \text{ [kg/日]}$
- SS 除去量 除去率 20%とする。
 $160 \text{ [kg/日]} \times 20\% = 32.0 \text{ [kg/日]}$
- SS 残量
 $160 \text{ [kg/日]} - 32.0 \text{ [kg/日]} = 128 \text{ [kg/日]}$
- 篩渣発生量 水分率 85%とする。
 $32.0 \text{ [kg/日]} \times 1/0.15 \doteq 213 \text{ [kg/日]} \rightarrow \text{堆肥化}$
- 廃水量 (原水 - 篩渣量)
 $30.0 \text{ [m}^3\text{/日]} - 0.21 \text{ [m}^3\text{/日]} \doteq 29.8 \text{ [m}^3\text{/日]}$

廃水量 [m ³ /日]	BOD 負荷量 [kg/日]	SS 負荷量 [kg/日]	T-N 負荷量 [kg/日]
29.8	180	128	60

③ 調整槽 固液分離した汚水を貯留し、脱窒槽への投入量と負荷量を調整する。

- BOD 除去量 除去率 10%とする。
 $180 \text{ [kg/日]} \times 10\% = 18.0 \text{ [kg/日]}$
- BOD 残量
 $180 \text{ [kg/日]} - 18.0 \text{ [kg/日]} = 162 \text{ [kg/日]}$
- SS 除去量 除去率 20%とする。
 $128 \text{ [kg/日]} \times 20\% = 25.6 \text{ [kg/日]}$
- SS 残量
 $128 \text{ [kg/日]} - 25.6 \text{ [kg/日]} \doteq 102 \text{ [kg/日]}$
- T-N 除去量 除去率 10%とする。
 $60 \text{ [kg/日]} \times 10\% = 6.00 \text{ [kg/日]}$
- T-N 残量
 $60.0 \text{ [kg/日]} - 6.00 \text{ [kg/日]} = 54.0 \text{ [kg/日]}$
- 引抜き汚泥量 水分率 99%とする。
 $25.6 \text{ [kg/日]} \times 1/0.01 \div 1000 = 2.56 \text{ [m}^3\text{/日]} \rightarrow \text{汚泥槽へ}$
- 廃水量 固液分離機ろ液 - 引抜き汚泥 + 脱水ろ液
 $29.8 \text{ [m}^3\text{/日]} - 2.56 \text{ [m}^3\text{/日]} + 8.82 \text{ [m}^3\text{/日]} = 36.1 \text{ [m}^3\text{/日]}$

廃水量 [m ³ /日]	BOD 負荷量 [kg/日]	SS 負荷量 [kg/日]	T-N 負荷量 [kg/日]
36.1	162	102	54.0

- BOD/N 比 : 3.0

④ 脱窒槽 水中ミキサーで攪拌し、主に生物脱窒を行う。(ORP を測定し、必要に応じて間欠曝気を行う)

- 脱窒槽容積 MLSS を 6 kg/m^3 、BOD-MLSS 負荷を 0.2 とする。
 (BOD 容積負荷 1.2 相当)
 $162 \text{ [kg/日]} \div (6 \text{ [kg/m}^3] \times 0.2 \text{ [kg-BOD/kg-MLSS/日]})$
 $= 135 \text{ [m}^3\text{]}$
- 脱窒が正常に機能する水温下限値は 15°C とする。

- ⑤ 曝気槽 ブローターと散気装置を使用して曝気し、主に活性汚泥による硝化を行う。
(ORP、pH、DOを測定し、必要に応じて間欠曝気を行うことで内生脱窒の効果も期待できる。)
- ・硝化・脱窒に必要な脱窒槽と曝気槽の合計容積 MLSSを $6\text{kg}/\text{m}^3$ 、
BOD-MLSS負荷を0.05とする。(BOD容積負荷0.3相当)
 $162\text{ [kg/日]} \div (6\text{ [kg}/\text{m}^3] \times 0.05\text{ [kg-BOD/kg-MLSS/日]})$
 $=540\text{ [m}^3]$
 - ・曝気槽容積 脱窒槽と曝気槽の合計容積－脱窒槽容積
 $540\text{ [m}^3] - 135\text{ [m}^3] = 405\text{ [m}^3]$
 - ・必要酸素量 流入BODに対する酸化に関する係数を1.0、内生呼吸に関する係数を0.07とする。
 $1.0 \times 162\text{ [kg/日]} + 0.07 (405\text{ [m}^3] \times 6\text{ [kg}/\text{m}^3]) \doteq 332\text{ [kg/日]}$
 - ・必要送風量 空気 1 m^3 中に酸素が 0.28kg 含まれるとする。酸素溶解効率を5%とする。
 $332\text{ [kg/日]} \div 0.28\text{ [kg}/\text{m}^3] \div 5\% \doteq 23714\text{ [m}^3/\text{日}]$
 $23714\text{ [m}^3/\text{日}] \div 24\text{ [時間/日]} \div 60\text{ [分/時間]} \doteq 16.5\text{ [m}^3/\text{分}]$
- ⑥ 膜槽 分画 $0.4\mu\text{m}$ の中空糸膜(MF)を使用して活性汚泥と処理水を分離する。余剰汚泥の引抜きを行う。
- ・余剰汚泥生成量 曝気槽流入BOD負荷量の40%とする。水分率99%とする。
 $162\text{ [kg/日]} \times 40\% \doteq 64.8\text{ [kg/日]}$
 $64.8\text{ [kg/日]} \times 1/0.01 \div 1000 = 6.48\text{ [m}^3/\text{日}] \rightarrow$ 汚泥槽へ
 - ・膜処理量 流入量－余剰汚泥量
 $36.1\text{ [m}^3/\text{日}] - 6.48\text{ [m}^3/\text{日}] = 29.6\text{ [m}^3/\text{日}]$
 - ・必要膜面積 フラックスを $0.2\text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ とする。
 $29.6\text{ [m}^3/\text{日}] \div 0.2\text{ [m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}] = 148\text{ [m}^2]$
- ⑦ 処理水槽 膜分離した処理水を貯留・監視する。
- ・流入量
 $29.6\text{ [m}^3/\text{日}] \rightarrow$ 放流
- ⑧ 汚泥槽 調整槽の引抜き汚泥と余剰汚泥を貯留する。
- ・流入量 調整槽引抜き汚泥＋余剰汚泥
 $2.56\text{ [m}^3/\text{日}] + 6.48\text{ [m}^3/\text{日}] = 9.04\text{ [m}^3/\text{日}]$
 - ・SS負荷量 調整槽引抜き汚泥＋余剰汚泥
 $25.6\text{ [kg/日]} + 64.8\text{ [kg/日]} = 90.4\text{ [kg/日]}$
- ⑨ 汚泥脱水機 汚泥槽に貯留した汚泥を減容化し系外に排出する。
- ・脱水機能力
 13 [kg/時間] とする。
 - ・運転時間

- 90.4 [kg/日] ÷ 13 [kg/時間] ≒ 7 [時間/日]
- ・脱水ケーキ発生量 水分率 80%とする。
90.4 [kg/日] × 1/0.2 = 452 [kg/日]
 - ・凝集剤使用量 対 SS 添加率 2%とする。
90.4 [kg/日] × 2% = 1.80 [kg/日]
 - ・洗浄水量 33 [L/時間]
7 [時間/日] × 33 [L/時間] ÷ 1000 = 0.23 [m³/時間]
 - ・脱水ろ液量 処理汚泥量 - 脱水ケーキ発生量 + 洗浄水量
9.04 [m³/日] - 0.45 [m³/日] + 0.23 [m³/日] = 8.82 [m³/日] → 調整槽へ

3. フローシート、イメージ図

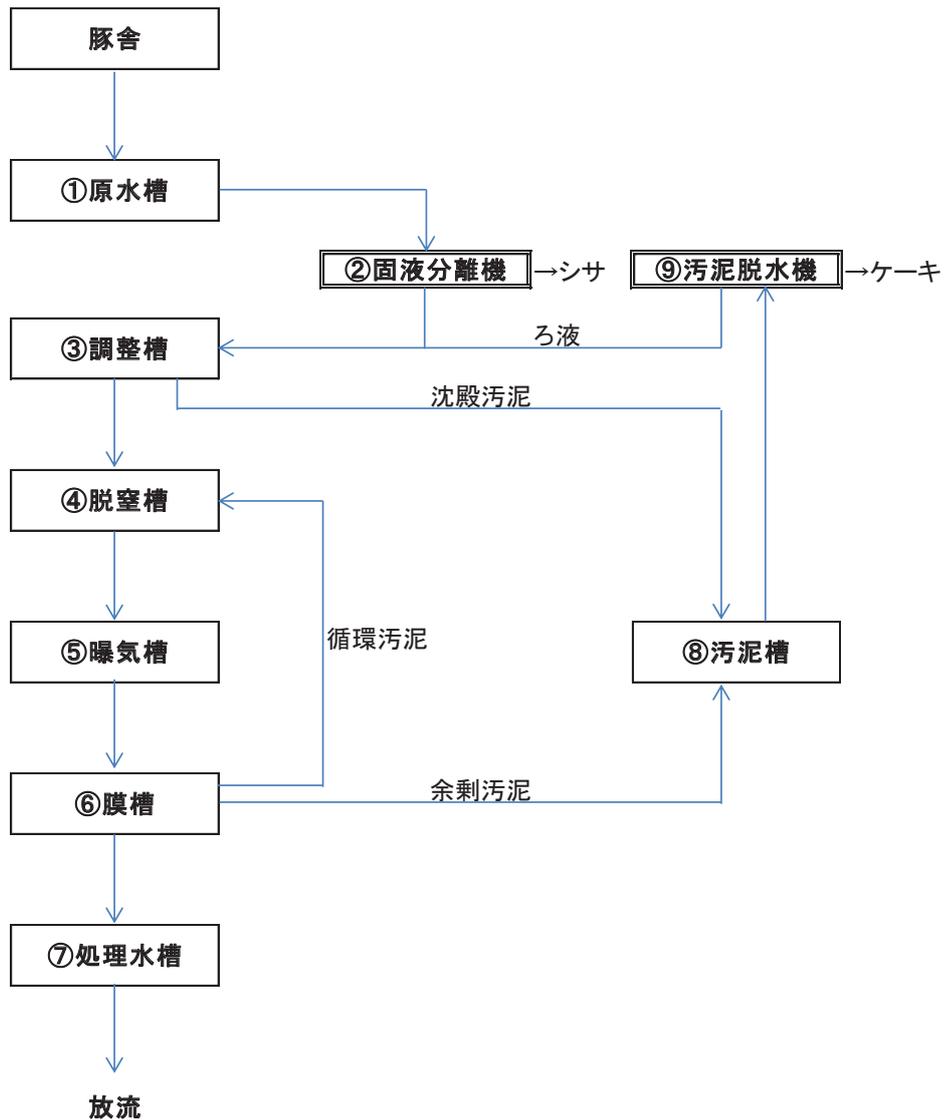


図 1. 施設フローシート

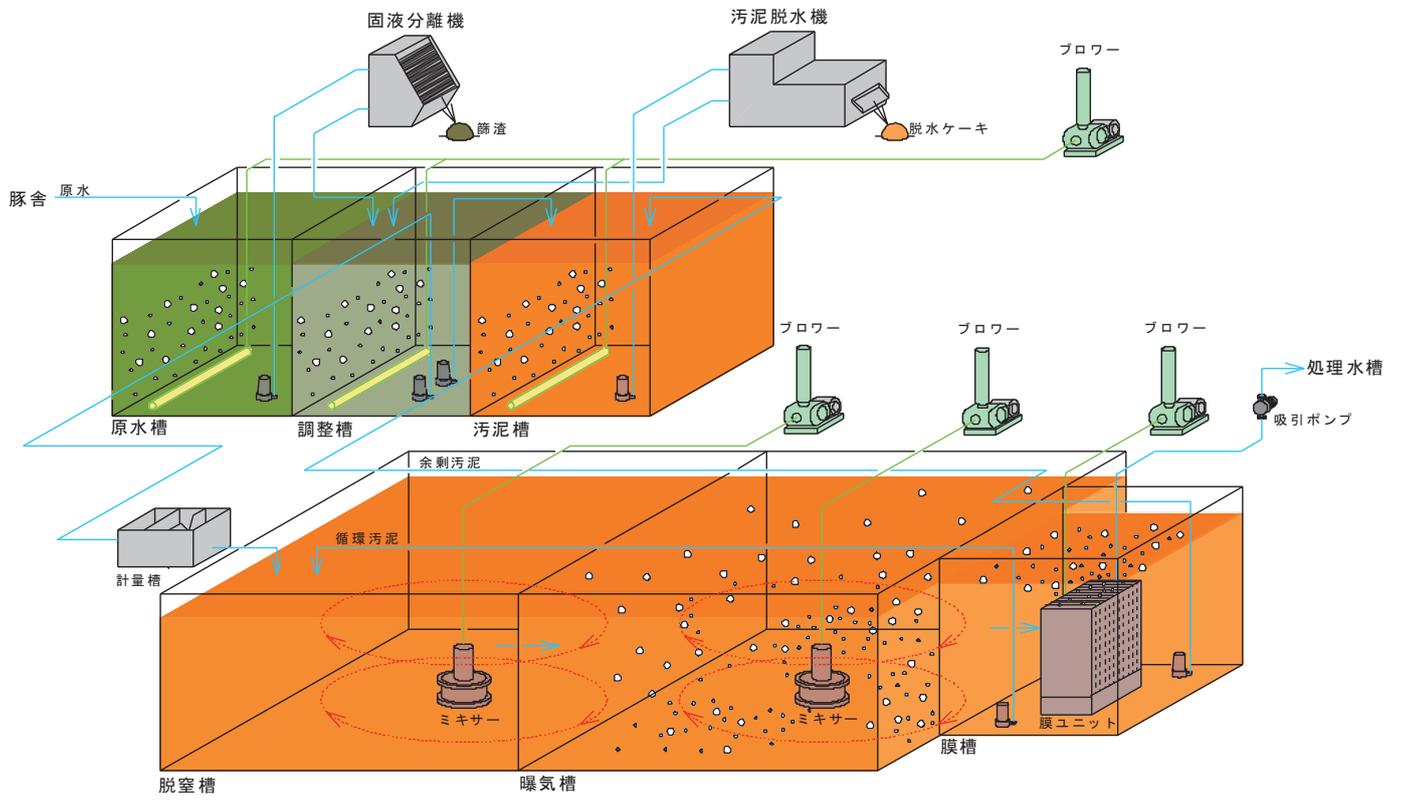


図 2. 施設イメージ図



図 3. 設置された膜モジュール

§ 10-5 養豚污水处理施設の設計事例：膜分離方式循環式硝化脱窒法（中空糸膜方式）
（肥育豚 5000 頭規模） （群立機器株式会社）

1. 設計条件

- 規模
肥育豚 5000 頭飼養規模
- 豚舎構造
ふん尿分離豚舎
- 廃水量
肥育豚 1 頭あたり 15L/日とする。
 $5000 \text{ [頭]} \times 15 \text{ [L/頭/日]} \div 1000 = 75 \text{ [m}^3\text{/日]}$
- BOD 負荷量
肥育豚 1 頭あたり 100 g/日とする。
 $5000 \text{ [頭]} \times 100 \text{ [g/頭/日]} \div 1000 = 500 \text{ [kg/日]}$
- SS 負荷量
肥育豚 1 頭あたり 80 g/日とする。
 $5000 \text{ [頭]} \times 80 \text{ [g/頭/日]} \div 1000 = 400 \text{ [kg/日]}$
- T-N 負荷量
肥育豚 1 頭あたり 30 g/日とする。
 $5000 \text{ [頭]} \times 30 \text{ [g/頭/日]} \div 1000 = 150 \text{ [kg/日]}$
- 設計条件のまとめ
 - ・廃水量：75 [m³/日]
 - ・BOD 負荷量：500 [kg/日]
 - ・SS 負荷量：400 [kg/日]
 - ・T-N 負荷量：150 [kg/日]
 - ・BOD/N 比：3.33
- 処理方式
膜分離活性汚泥方式（中空糸膜）
循環式硝化脱窒法
- 目標処理水質
 - ・BOD：20 [mg/L] 未満
 - ・SS：10 [mg/L] 未満
 - ・硝酸性窒素等：100 [mg/L] 未満

2. 設計計算

① 原水槽 豚舎より排出された原水を受け入れる。

廃水量 [m ³ /日]	BOD 負荷量 [kg/日]	SS 負荷量 [kg/日]	T-N 負荷量 [kg/日]
75.0	500	400	150

② 固液分離機 夾雑物と汚水を分離する。

- ・BOD 除去量 除去率 10%とする。
 $500 \text{ [kg/日]} \times 10\% = 50.0 \text{ [kg/日]}$

- BOD 残量
 $500 \text{ [kg/日]} - 50.0 \text{ [kg/日]} = 450 \text{ [kg/日]}$
- SS 除去量 除去率 20%とする。
 $400 \text{ [kg/日]} \times 20\% = 80.0 \text{ [kg/日]}$
- SS 残量
 $400 \text{ [kg/日]} - 80.0 \text{ [kg/日]} = 320 \text{ [kg/日]}$
- 篩渣発生量 水分率 85%とする。
 $80.0 \text{ [kg/日]} \times 1/0.15 \doteq 533 \text{ [kg/日]} \rightarrow \text{堆肥化}$
- 廃水量 (原水 - 篩渣量)
 $75.0 \text{ [m}^3\text{/日]} - 0.53 \text{ [m}^3\text{/日]} \doteq 74.5 \text{ [m}^3\text{/日]}$

廃水量 [m ³ /日]	BOD 負荷量 [kg/日]	SS 負荷量 [kg/日]	T-N 負荷量 [kg/日]
74.5	450	320	150

③ 調整槽 固液分離した汚水を貯留し、脱窒槽への投入量と負荷量を調整する。

- BOD 除去量 除去率 10%とする。
 $450 \text{ [kg/日]} \times 10\% = 45.0 \text{ [kg/日]}$
- BOD 残量
 $450 \text{ [kg/日]} - 45.0 \text{ [kg/日]} = 405 \text{ [kg/日]}$
- SS 除去量 除去率 20%とする。
 $320 \text{ [kg/日]} \times 20\% = 64.0 \text{ [kg/日]}$
- SS 残量
 $320 \text{ [kg/日]} - 64.0 \text{ [kg/日]} \doteq 256 \text{ [kg/日]}$
- T-N 除去量 除去率 10%とする。
 $150 \text{ [kg/日]} \times 10\% = 15.0 \text{ [kg/日]}$
- T-N 残量
 $150 \text{ [kg/日]} - 15.0 \text{ [kg/日]} = 135 \text{ [kg/日]}$
- 引抜き汚泥量 水分率 99%とする。
 $64.0 \text{ [kg/日]} \times 1/0.01 \div 1000 = 6.40 \text{ [m}^3\text{/日]} \rightarrow \text{汚泥槽へ}$
- 廃水量 固液分離機ろ液 - 引抜き汚泥 + 脱水ろ液
 $74.5 \text{ [m}^3\text{/日]} - 6.40 \text{ [m}^3\text{/日]} + 22.0 \text{ [m}^3\text{/日]} = 90.1 \text{ [m}^3\text{/日]}$

廃水量 [m ³ /日]	BOD 負荷量 [kg/日]	SS 負荷量 [kg/日]	T-N 負荷量 [kg/日]
90.1	405	256	135

- BOD/N 比 : 3.0

④ 脱窒槽 水中ミキサーで攪拌し、主に生物脱窒を行う。(ORP を測定し、必要に応じて間欠曝気を行う)

- 脱窒槽容積 MLSS を 6 kg/m^3 、BOD-MLSS 負荷を 0.2 とする。
 (BOD 容積負荷 1.2 相当)
 $405 \text{ [kg/日]} \div (6 \text{ [kg/m}^3] \times 0.2 \text{ [kg-BOD/kg-MLSS/日]})$
 $\doteq 338 \text{ [m}^3]$
- 脱窒が正常に機能する水温下限値は 15°C とする。

- ⑤ 曝気槽 ブローターと散気装置を使用して曝気し、主に活性汚泥による硝化を行う。
(ORP、pH、DOを測定し、必要に応じて間欠曝気を行うことで内生脱窒の効果も期待できる。)
- ・硝化・脱窒に必要な脱窒槽と曝気槽の合計容積 MLSSを $6\text{kg}/\text{m}^3$ 、
BOD-MLSS負荷を0.05とする。(BOD容積負荷0.3相当)
 $405\text{ [kg/日]} \div (6\text{ [kg}/\text{m}^3] \times 0.05\text{ [kg-BOD/kg-MLSS/日]})$
 $=1350\text{ [m}^3]$
 - ・曝気槽容積 脱窒槽と曝気槽の合計容積－脱窒槽容積
 $1350\text{ [m}^3] - 338\text{ [m}^3] = 1012\text{ [m}^3]$
 - ・必要酸素量 流入BODに対する酸化に関する係数を1.0、内生呼吸に関する係数を0.07とする。
 $1.0 \times 405\text{ [kg/日]} + 0.07 (1012\text{ [m}^3] \times 6\text{ [kg}/\text{m}^3]) \doteq 830\text{ [kg/日]}$
 - ・必要送風量 空気 1 m^3 中に酸素が 0.28kg 含まれるとする。酸素溶解効率を5%とする。
 $830\text{ [kg/日]} \div 0.28\text{ [kg}/\text{m}^3] \div 5\% \doteq 59286\text{ [m}^3/\text{日}]$
 $59286\text{ [m}^3/\text{日}] \div 24\text{ [時間/日]} \div 60\text{ [分/時間]} \doteq 41.2\text{ [m}^3/\text{分}]$
- ⑥ 膜槽 分画 $0.4\mu\text{m}$ の中空糸膜(MF)を使用して活性汚泥と処理水を分離する。余剰汚泥の引抜きを行う。
- ・余剰汚泥生成量 曝気槽流入BOD負荷量の40%とする。水分率99%とする。
 $405\text{ [kg/日]} \times 40\% \doteq 162\text{ [kg/日]}$
 $162\text{ [kg/日]} \times 1/0.01 \div 1000 = 16.2\text{ [m}^3/\text{日}] \rightarrow$ 汚泥槽へ
 - ・膜処理量 流入量－余剰汚泥量
 $90.1\text{ [m}^3/\text{日}] - 16.2\text{ [m}^3/\text{日}] = 73.9\text{ [m}^3/\text{日}]$
 - ・必要膜面積 フラックスを $0.2\text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ とする。
 $73.9\text{ [m}^3/\text{日}] \div 0.2\text{ [m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}] \doteq 370\text{ [m}^2]$
- ⑦ 処理水槽 膜分離した処理水を貯留・監視する。
- ・流入量
 $73.9\text{ [m}^3/\text{日}] \rightarrow$ 放流
- ⑧ 汚泥槽 調整槽の引抜き汚泥と余剰汚泥を貯留する。
- ・流入量 調整槽引抜き汚泥＋余剰汚泥
 $6.40\text{ [m}^3/\text{日}] + 16.2\text{ [m}^3/\text{日}] = 22.6\text{ [m}^3/\text{日}]$
 - ・SS負荷量 調整槽引抜き汚泥＋余剰汚泥
 $64.0\text{ [kg/日]} + 162\text{ [kg/日]} = 226\text{ [kg/日]}$
- ⑨ 汚泥脱水機 汚泥槽に貯留した汚泥を減容化し系外に排出する。
- ・脱水機能力
 42 [kg/時間] とする。
 - ・運転時間

- 226 [kg/日] ÷ 42 [kg/時間] ≒ 5.4 [時間/日]
- ・脱水ケーキ発生量 水分率 80%とする。
226 [kg/日] × 1/0.2 = 1130 [kg/日]
 - ・凝集剤使用量 対 SS 添加率 2%とする。
226 [kg/日] × 2% = 4.52 [kg/日]
 - ・洗浄水量 90 [L/時間]
5.4 [時間/日] × 90 [L/時間] ÷ 1000 ≒ 0.49 [m³/時間]
 - ・脱水ろ液量 処理汚泥量 - 脱水ケーキ発生量 + 洗浄水量
22.6 [m³/日] - 1.13 [m³/日] + 0.49 [m³/日] ≒ 22.0 [m³/日] →調整槽へ

3. フローシート、イメージ図

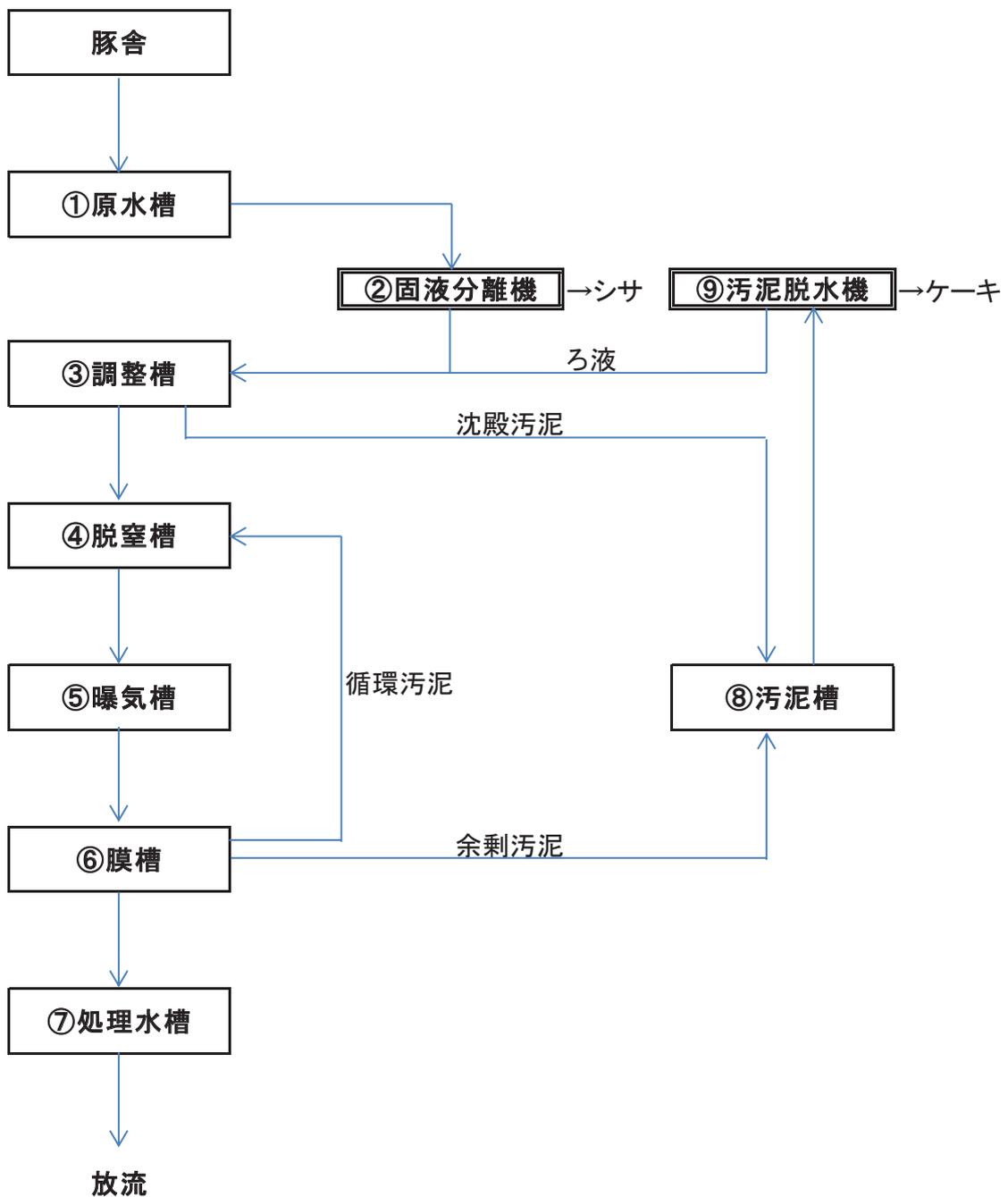


図 1. 施設フローシート

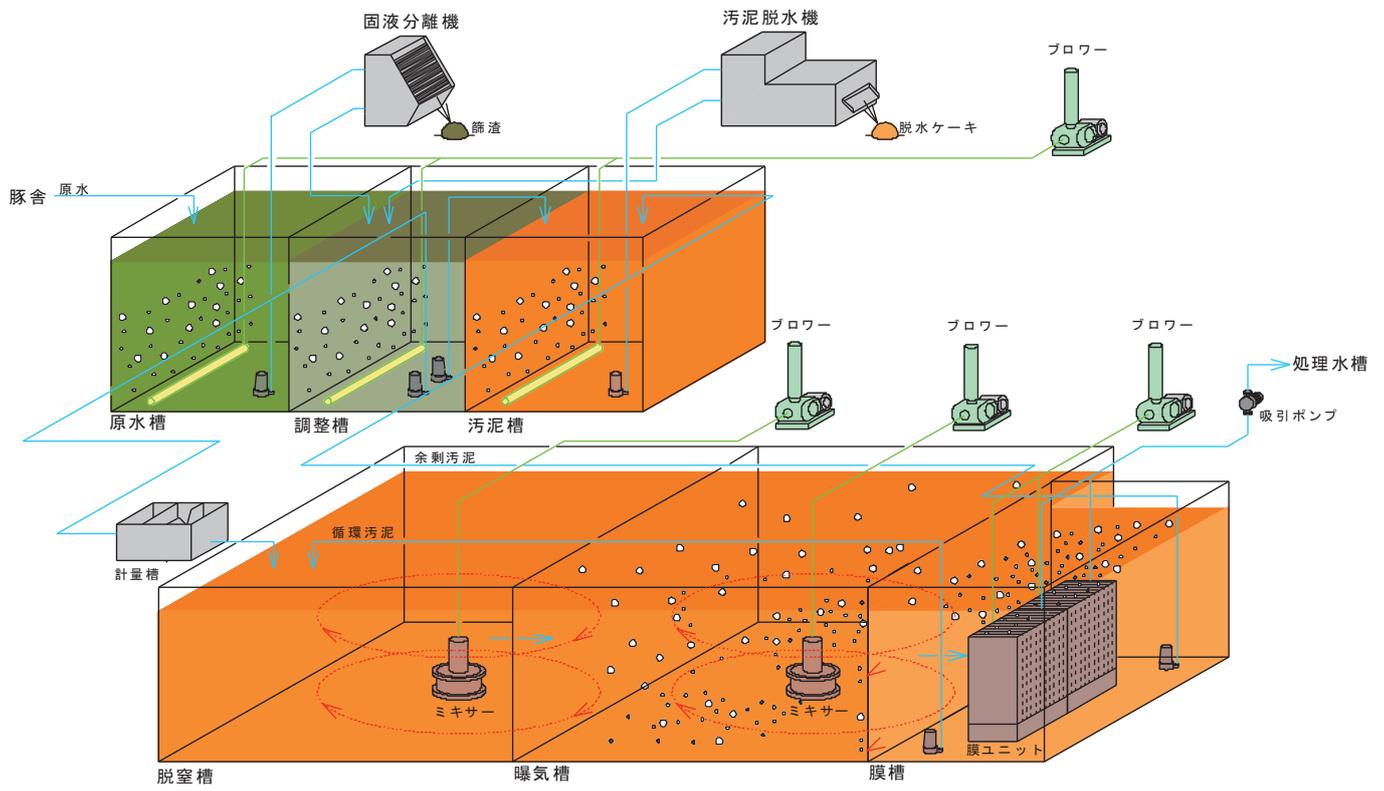


図 2. 施設イメージ図

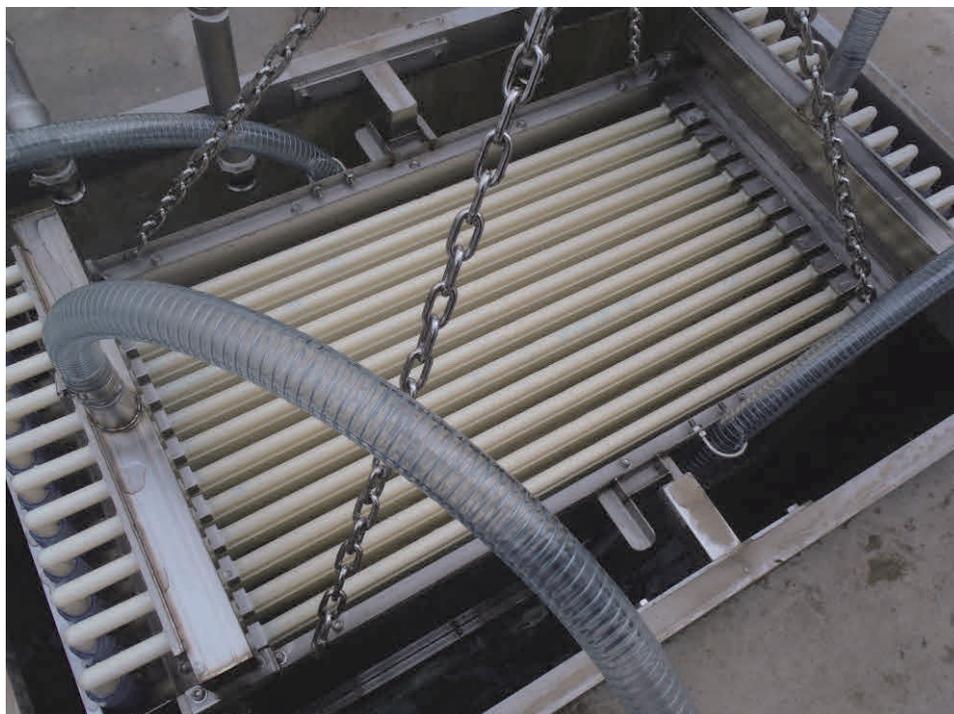


図 3. 設置された膜モジュール

養豚汚水処理施設の設計事例：
膜分離活性汚泥法（平膜方式）（肥育豚 2000 頭規模）
（株式会社戸上電機製作所）

設 計 諸 元

（ふん尿混合式豚舎の場合：前搾りを採用）

1. 処理対象頭数 : 繁殖母豚 200 頭の一貫経営
2. 肥育豚換算頭数 : 肥育豚換算係数を繁殖母豚数の×10 とする。
200 頭×10=2,000 頭
3. 畜舎構造・除ふん方法 : スノコ式豚舎、スクレーパーによる除ふんなし。
(ふん尿混合)
4. 処理対象汚水量 : 肥育豚 1 頭 1 日当たりの排出汚水量を 20L と設定する。
 $2,000 \text{ 頭} \times 20\text{L} \div 1,000 = 40\text{m}^3 / \text{日}$
5. 処理対象 BOD : 肥育豚 1 頭 1 日当たりの排出 BOD 量を 200g と設定する。
BOD 量 $2,000 \text{ 頭} \times 200\text{g} \div 1,000 = 400\text{kg} / \text{日}$
BOD 濃度 $400\text{kg} \div 40\text{m}^3 \times 1,000 \div 1,000 = 10,000\text{mg} / \text{L}$
6. 処理対象 SS : 肥育豚 1 頭 1 日当たりの排出 SS 量を 435g と設定する。
SS 量 $2,000 \text{ 頭} \times 435\text{g} \div 1,000 = 870\text{kg} / \text{日}$
SS 濃度 $870\text{kg} \div 40\text{m}^3 \times 1,000 \div 1,000 = 21,750\text{mg} / \text{L}$
7. 処理対象 T-N : 肥育豚 1 頭 1 日当たりの排出 T-N 量を 40g と設定する。
T-N 量 $2,000 \text{ 頭} \times 40\text{g} \div 1,000 = 80\text{kg} / \text{日}$
T-N 濃度 $80\text{kg} \div 40\text{m}^3 \times 1,000 \div 1,000 = 2,000\text{mg} / \text{L}$
8. 処理目標水質 : BOD 濃度 50mg/L 以下 (水質汚濁防止法では日平均 120mg/L)
SS 濃度 5mg/L 以下 (水質汚濁防止法では日平均 150mg/L)
硝酸性窒素等濃度 100mg/L 以下

設 計 計 算

1. 原 水 槽 : 豚舎より排出される汚水を貯留する。
1 日分の汚水を貯留できる容積とする。
汚水槽必要容積 $40\text{m}^3 / \text{日} \times 1 \text{ 日分} = 40\text{m}^3 < 40.6 \text{ m}^3 (4\text{m} \times 2.6\text{m} \times 3.9\text{mH})$
汚水移送ポンプ 閉塞やトラブル時の対応を考慮して口径 65mm、1.5kw の水中汚物用ポンプを 2 基設置する。
2. 固液分離機 : 処理能力 $6\text{m}^3 / \text{時間}$ の平型振動篩を設置し、BOD 除去率 20%、

SS 除去率 40%、T-N 除去率 10%、篩別固形物の水分を 85%と設定する。

篩別固形物量	$870\text{kg}/\text{日} \times 0.4 \div (1-0.85) \doteq 2,32\text{kg}/\text{日}$ (水分率 85%)
分離液量	$40\text{m}^3/\text{日} - 2.32\text{m}^3/\text{日} \doteq 37.68\text{m}^3/\text{日}$
分離液 BOD	$400\text{kg}/\text{日} \times (1-0.2) = 320\text{kg}/\text{日}$ $320\text{kg}/\text{日} \div 37.68\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 8,439\text{mg}/\text{L}$
分離液 SS	$870\text{kg}/\text{日} \times (1-0.4) = 522\text{kg}/\text{日}$ $522\text{kg}/\text{日} \div 37.68\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 13,854\text{mg}/\text{L}$
分離液 T-N	$80\text{kg}/\text{日} \times (1-0.10) = 72\text{kg}/\text{日}$ $72\text{kg}/\text{日} \div 37.68\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 1,911\text{mg}/\text{L}$

3. 第一調整槽

: 流入汚水量(篩別分離液、余剰汚泥還流水)の1日分の汚水を貯留できる容積とする。濃度の均一化と腐敗防止のために $1\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{時}$ の曝気強度でエアージャクソンを行う。

必要容積	$37.68\text{m}^3/\text{日} + 7.85\text{m}^3/\text{日}$ (6項引抜余剰汚泥量参照) $\doteq 45.53 \text{ m}^3 < 46.44\text{m}^3$ ($4\text{m} \times 2.7\text{m} \times 4.3\text{mH}$)
送風機の選定	$45.53 \text{ m}^3 \times 1\text{m}^3 \div 30 \text{ 分} \doteq 1.52\text{m}^3/\text{分}$ $1.77 \text{ m}^3/\text{分}$ のブロワを選定し、30分毎の間欠運転を行う。
汚水移送ポンプ	閉塞やトラブル時の対応を考慮して口径 65mm、1.5kw の水中汚物用ポンプを2基設置する。
BOD 濃度調整ポンプ	曝気槽投入 BOD が不足することを防止するため、口径 65mm、1.5kw の水中汚物用ポンプを1基設置する。
混合液 BOD	$320\text{kg}/\text{日} \div 45.53\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 7,028\text{mg}/\text{L}$
混合液 SS	$522\text{kg}/\text{日} + 62.82 \text{ kg}/\text{日}$ (6項余剰汚泥発生量参照) $\doteq 584.82\text{kg}/\text{日}$ $584.82\text{kg}/\text{日} \div 45.53\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 12,845\text{mg}/\text{L}$
混合液 T-N	$72\text{kg}/\text{日} \div 45.53\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 1,581\text{mg}/\text{L}$ (なお余剰汚泥還流水中の BOD、T-N を考慮すると複雑となるため、SS のみを加算している。)

4. 汚泥脱水機

: ふん尿混合汚水のため汚水濃度が高く曝気槽への投入はできないので汚泥脱水機にて凝集分離を行い、負荷を低減させる。
BOD 除去率 50%、SS 除去率 80%、T-N 除去率 40%、脱水ケーキの含水率を 85%と設定する。

必要処理能力	汚泥脱水機は1日の稼働時間を最大で6時間となる機械を選定する。 $584.82\text{kg}/\text{日} \div 6 \text{ 時間} \doteq 97.47 \text{ kg}/\text{時}$ 処理能力 $100 \text{ kg}/\text{時}$ のベルトプレス型脱水機を選定する。
脱水機洗浄水量	後段の膜処理の水量負荷を考慮し、リサイクル機能付きの洗浄装置を設置する。脱水機稼働時間 8 時間、洗浄水量 $2\text{L}/\text{分}$ 、10 秒運転、10 秒休止運転とする。 $2\text{L}/\text{分} \times 6 \text{ 時間} \times (10/20) \text{ 秒} \times 60 \text{ 分} \div 1000 = 0.36 \text{ m}^3/\text{日}$

高分子凝集剤量	原水脱水のためカチオン系高分子凝集剤の使用量を対 SS 比 2.0%と設定する。 584.82kg/日 × 0.02 ÷ 11.70 kg/日
高分子凝集剤水量	粉末高分子を 0.2%に高分子自動溶解装置にて調整する。 11.70 kg/日 ÷ 0.002 ÷ 1000 ÷ 5.85 m ³ /日
脱水ケーキ量	584.82kg/日 ÷ (1-0.85) ÷ 1,000 ÷ 3.90 m ³ /日 (水分率 85%)
脱離液量	45.53 m ³ /日 - 3.90 m ³ /日 + 0.36 m ³ /日 + 5.85 m ³ /日 = 47.84 m ³ /日
脱離液 BOD	320kg/日 × (1-0.5) = 160kg/日 160kg/日 ÷ 47.84m ³ /日 × 1,000 ÷ 3,344mg/L
脱離液 SS	584.82kg/日 × (1-0.8) = 116.96kg/日 116.96kg/日 ÷ 47.84m ³ /日 × 1,000 ÷ 2,445mg/L
脱離液 T-N	72kg/日 × (1-0.4) = 43.2kg/日 43.2kg/日 ÷ 47.84m ³ /日 × 1,000 ÷ 903mg/L

5. 第二調整槽

: 曝気槽への投入前汚水とし脱離液を 1 日分貯留できる容積とする。
この段階で BOD/N 比は、3.7 と脱窒素が可能な数値である。濃度の均一化、腐敗防止及びスカム防止のために 1m³/m³・時の曝気強度でエア-攪拌を行う。

なお希釈水の投入はしない。

必要容積	47.84 m ³ /日 < 48.72m ³ (4m × 2.9m × 4.2mH)
送風機の選定	47.84 m ³ × 1m ³ /m ³ ・時 ÷ 30 分 ÷ 1.59m ³ /分 1.77 m ³ /分のブロワを選定し、30 分毎の間欠運転を行う。
汚水移送ポンプ	閉塞やトラブル時の対応を考慮して口径 50mm、0.75kw の水中汚物用ポンプを 2 基設置する。

6. 曝気槽

: 膜分離活性汚泥方式を採用し、BOD 容積負荷を 0.4 kg/m³・日に、MLSS 濃度を 8,000mg/L に、曝気槽における BOD 除去率を 99.5%、SS 除去率を 99.9%、T-N 除去率を 97%と設定する。

必要容積	160kg/日 ÷ 0.4kg/m ³ ・日 = 400m ³ < 417.4 m ³ (曝気槽、膜分離槽合計容積) 曝気槽 355.2m ³ (16m × 6m × 3.7mH) 膜分離槽 62.4 m ³ (7 項膜ユニット参照) 曝気槽と膜分離槽の比率は約 0.85 : 0.15 となる。
BOD-MLSS 負荷量	160kg/日 ÷ (417.4m ³ × 8kg/m ³) ÷ 0.05kg/kg/日
除去 BOD 量	160kg/日 × 0.995 ÷ 159.2kg/日
除去 SS 量	116.96kg/日 × 0.999 ÷ 116.8kg/日
除去 T-N 量	43.2 kg/日 × 0.97 ÷ 41.9kg/日
必要酸素量	BOD 酸素係数を 1.0、呼吸作用係数を 0.03 と設定する。 1.0 × 160kg/日 + 0.03 × (417.4m ³ × 8kg/m ³) ÷ 260.3kg/日 曝気槽必要酸素量 260.3kg/日 × 0.85 ÷ 221.3 kg/日

	膜分離槽必要酸素
	260.3kg/日×0.15≒39.0kg/日
必要空気量	水への酸素溶解率を水深1mあたり1.5%と設定する。 空気、酸素量換算は0.28kg/m ³ とする。 曝気槽は、脱窒素を行うためまたフロック解体防止のため間欠曝気を行う。(12時間曝気、12時間休止) 221.3kg/日×(24/12時間)÷0.28kg/m ³ ÷(3.7m×1.5%) ÷24時間÷60分 ≒19.8m ³ /分<21.68m ³ /分(5.42m ³ /分×4基) 第一曝気槽に5.42m ³ /分を2基、第二曝気槽に5.42m ³ /分を2基設置する。
余剰汚泥発生量	BODからの余剰汚泥生成率を0.5に、活性汚泥の減少率を0.05に、MLSSの80%がMLVSSと設定する。 0.5×159.2kg/日+116.8kg/日-0.05×417.4m ³ ×6.4kg/m ³ ≒62.82kg/日
引抜余剰汚泥量	62.82kg÷8,000mg/L×1,000≒7.85m ³ /日

7. 膜分離槽

: 平膜を使用し、膜フラックスは0.2m³/m²・日以下に設定する。膜ろ過の運転時間は24時間とし、運転サイクルを運転8分停止2分とする。膜1枚あたりの洗浄空気量は13L/分(メーカー推奨値10~15L/分)とする。
膜分離槽は、メンテナンスを考慮し、片肺運転ができるように複数系統とする。

膜分離水量	曝気槽流入汚水量-引抜余剰汚泥量 47.84m ³ /日-7.85m ³ /日≒39.99m ³ /日
必要膜面積	39.99m ³ /日÷0.2m ³ /m ² ・日×(10分÷8分)≒249.94m ²
膜ユニット	膜面積160m ² (200枚)のユニットを2基選定2槽に配置する。 249.94m ² <(160m ² ×2基)=320m ² 4m×2m×3.9mHの膜分離槽2系統に設置し、各々に連成計、定流量ユニットを配置する。
活性汚泥必要空気量	膜分離槽の酸素溶解率を水深1mあたり1.0%と設定する。 空気、酸素量換算は0.28kg/m ³ とする。 膜分離槽の曝気時間は24時間とする。 39.0kg/日×(24/24時間)÷0.28kg/m ³ ÷(3.9m×1.0%) ÷24時間÷60分≒2.48m ³ /分
膜洗浄必要空気量	400枚×13L/分=5,200L/分=5.2m ³ /分 膜洗浄必要空気量が活性汚泥必要空気量を上回るためこちらを採用し、2.63m ³ /分を2基各膜分離槽に配置する。 2.48m ³ /分<5.2m ³ /分<5.26m ³ /分(2.63m ³ /分×2基)
処理水BOD	160kg/日×(1-0.995)≒0.80kg/日 0.80kg/日÷39.99m ³ /日×1,000≒20mg/L<50mg/L
処理水SS	116.96kg/日×(1-0.999)≒0.12kg/日

処理水硝酸性窒素等

$$0.12\text{kg}/\text{日} \div 39.99\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 3\text{mg}/\text{L} < 5\text{mg}/\text{L}$$

$$43.2\text{kg}/\text{日} \times (1 - 0.97) \doteq 1.30\text{kg}/\text{日}$$

$$1.30\text{kg}/\text{日} \div 39.99\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 33\text{mg}/\text{L} < 100\text{mg}/\text{L}$$

8. 放流槽（消毒槽）

：膜処理水は次亜塩素酸カルシウムにて滅菌後放流する。

通常滞留時間は5分程度でよいが、後の高度処理（脱色等）

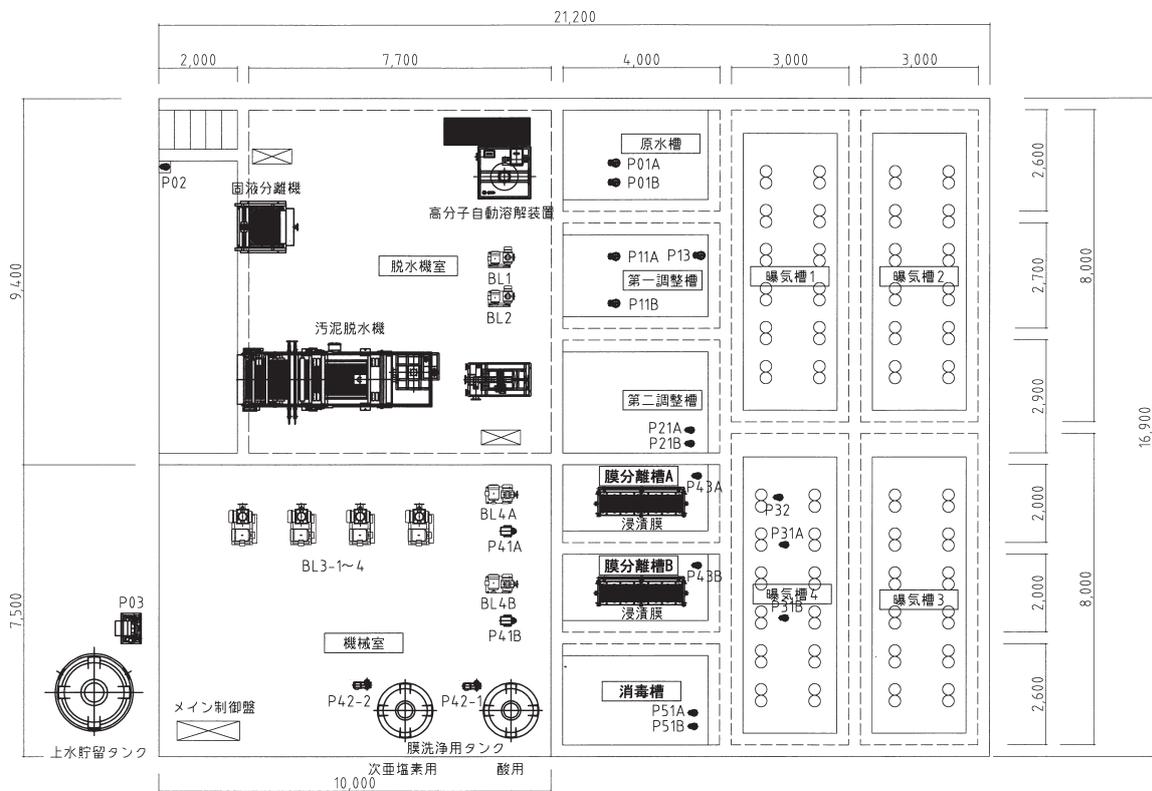
採用のために1日分の処理水を貯留できる容積とする。

$$39.99\text{m}^3/\text{日} \times 1\text{日} = 39.99\text{m}^3 < 40.56\text{m}^3\quad (4\text{m} \times 2.6\text{m} \times 3.9\text{mH})$$

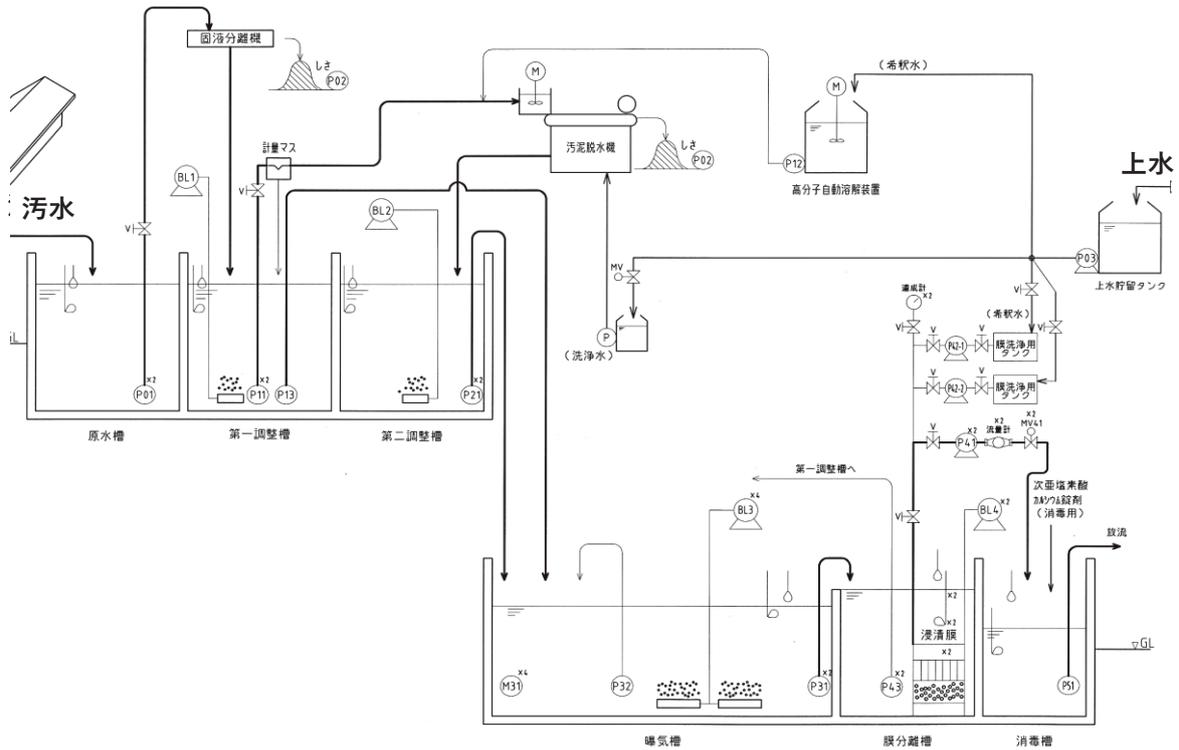
次亜塩素酸カルシウム錠剤は処理水100m³あたり700gの添加量とし、残留塩素濃度は0.2 mg/L以上とする。

$$39.99\text{m}^3/\text{日} \times 700\text{g}/100\text{m}^3 \div 1,000 \doteq 0.28\text{kg}/\text{日}$$

9. 施設平面図

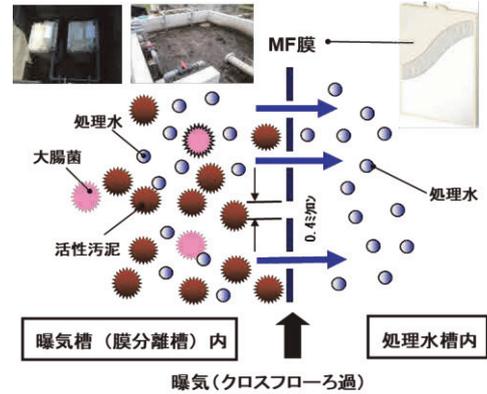


10. 施設フローシート

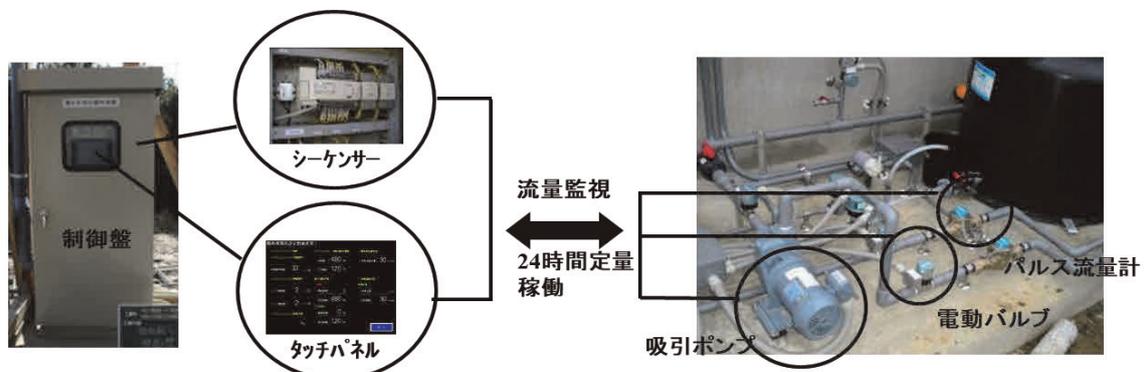


11. 参考資料

記号	設備名称	記号	設備名称
P01	原水ポンプ	BL1	第一調整槽ブロウ
P02	しき液ポンプ	BL2	第二調整槽ブロウ
P03	上水ポンプ	BL3	曝気槽ブロウ
P11	給泥ポンプ	BL4	膜分離槽ブロウ
P12	高分子定量ポンプ	Se1~14	フロートセンサ
P13	BOD負荷調整ポンプ	LS	電極水位センサ
P21	取水ポンプ		固液分離機
P31	膜分離槽移送ポンプ		汚泥脱水機
P32	曝気槽循環ポンプ		高分子自動溶解装置
M31	曝気槽カクハンモータ	MV	給水バルブ
P41	サクシヨンポンプ	MV41	サクシヨンバルブ
P42	膜洗浄ポンプ		
P43	汚泥引抜ポンプ		
P51	放流ポンプ		



膜分離活性汚泥法（平膜方式）の概念図



膜に対するストレスを緩和する運転方法
(定流量ユニット)

養豚汚水処理施設の設計事例：
膜分離活性汚泥法（平膜方式）（肥育豚 5000 頭規模）
（株式会社戸上電機製作所）

設 計 諸 元

（BOD/N 比が不足する場合：メタノール添加の例）

1. 処理対象頭数 : 繁殖母豚 500 頭の一貫経営
2. 肥育豚換算頭数 : 肥育豚換算係数を繁殖母豚数の×10 とする。
500 頭×10=5,000 頭
3. 畜舎構造・除ふん方法 : スノコ式豚舎、スクレーパーによる除ふん
（ふん尿分離）
4. 処理対象汚水量 : 肥育豚 1 頭 1 日当たりの排出汚水量を 15L と設定する。
 $5,000 \text{ 頭} \times 15\text{L} \div 1,000 = 75\text{m}^3 / \text{日}$
5. 処理対象 BOD : 肥育豚 1 頭 1 日当たりの排出 BOD 量を 70g と設定する。
BOD 量 $5,000 \text{ 頭} \times 70\text{g} \div 1,000 = 350\text{kg} / \text{日}$
BOD 濃度 $350\text{kg} \div 75\text{m}^3 \times 1,000 \div 1,000 = 4,667\text{mg} / \text{L}$
6. 処理対象 SS : 肥育豚 1 頭 1 日当たりの排出 SS 量を 80g と設定する。
SS 量 $5,000 \text{ 頭} \times 80\text{g} \div 1,000 = 400\text{kg} / \text{日}$
SS 濃度 $400\text{kg} \div 75\text{m}^3 \times 1,000 \div 1,000 = 5,333\text{mg} / \text{L}$
7. 処理対象 T-N : 肥育豚 1 頭 1 日当たりの排出 T-N 量を 25g と設定する。
T-N 量 $5,000 \text{ 頭} \times 25\text{g} \div 1,000 = 125\text{kg} / \text{日}$
T-N 濃度 $125\text{kg} \div 75\text{m}^3 \times 1,000 \div 1,000 = 1,667\text{mg} / \text{L}$
8. 処理目標水質 : BOD 濃度 30mg/L 以下（水質汚濁防止法では日平均 120mg/L）
SS 濃度 5mg/L 以下（水質汚濁防止法では日平均 150mg/L）
硝酸性窒素等濃度 100mg/L 以下

設 計 計 算

1. 原 水 槽 : 豚舎より排出される汚水を貯留する。
1 日分の汚水を貯留できる容積とする。
汚水槽必要容積 $75\text{m}^3 / \text{日} \times 1 \text{ 日分} = 75\text{m}^3 < 76.05 \text{ m}^3$ (5m×3.9m×3.9mH)
汚水移送ポンプ 閉塞やトラブル時の対応を考慮して口径 65mm、1.5kw の水中汚物用ポンプを 2 基設置する。
2. 固液分離機 : 処理能力 6m³/時間の平型振動篩を設置し、BOD 除去率 15%、

SS 除去率 30%、T-N 除去率 10%、篩別固形物の水分を 85%と設定する。

篩別固形物量	$400\text{kg}/\text{日} \times 0.3 \div (1-0.85) = 800\text{kg}/\text{日}$ (水分率 85%)
分離液量	$75\text{m}^3/\text{日} - 0.8\text{m}^3/\text{日} = 74.2\text{m}^3/\text{日}$
分離液 BOD	$350\text{kg}/\text{日} \times (1-0.15) = 297.5\text{kg}/\text{日}$ $297.5\text{kg}/\text{日} \div 74.2\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 4,009\text{mg}/\text{L}$
分離液 SS	$400\text{kg}/\text{日} \times (1-0.3) = 280\text{kg}/\text{日}$ $280\text{kg}/\text{日} \div 74.2\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 3,774\text{mg}/\text{L}$
分離液 T-N	$125\text{kg}/\text{日} \times (1-0.10) = 112.5\text{kg}/\text{日}$ $112.5\text{kg}/\text{日} \div 74.2\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 1,516\text{mg}/\text{L}$

3. 第一調整槽

: 流入汚水量(篩別分離液、余剰汚泥還流水)の 1 日分の汚水を貯留できる容積とする。濃度の均一化と腐敗防止のために $1\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{時}$ の曝気強度でエアージャクソンを行う。

必要容積 $74.2\text{m}^3/\text{日} + 29.65\text{m}^3/\text{日}$ (10 項脱離液量参照)
 $\doteq 103.85 \text{ m}^3 < 104.0\text{m}^3$ (5m × 5.2m × 4.0mH)

送風機の選定 $103.85 \text{ m}^3 \times 1\text{m}^3 \div 30 \text{ 分} \doteq 3.46\text{m}^3/\text{分}$
3.53 $\text{m}^3/\text{分}$ のブロワを選定し、30 分毎の間欠運転を行う。

汚水移送ポンプ 閉塞やトラブル時の対応を考慮して口径 65mm、1.5kw の水中汚物用ポンプを 2 基設置する。

混合液 BOD $297.5\text{kg}/\text{日} \div 103.85\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 2,865\text{mg}/\text{L}$
混合液 SS $280\text{kg}/\text{日} \div 103.85\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 2,696\text{mg}/\text{L}$
混合液 T-N $112.5\text{kg}/\text{日} \div 103.85\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 1,083\text{mg}/\text{L}$

(なお脱離液還流水中に含まれる BOD、SS、T-N は、計算が複雑となるため考慮しない)

4. 最初沈殿槽

: 水面積負荷を $20\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ 以下とし、BOD 除去率 15%、SS 除去率 25%、T-N 除去率 10%、沈殿汚泥の水分を 99%と設定する。

$103.85 \text{ m}^3/\text{日} \div (2.3\text{m} \times 2.3\text{m}) \doteq 19.6\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$
 $< 20\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$

除去 SS 量 $280\text{kg}/\text{日} \times 0.25 = 70 \text{ kg}/\text{日}$
 $70 \text{ kg}/\text{日} \div (1-0.99) \div 1,000 = 7 \text{ m}^3/\text{日}$

初沈後汚水量 $103.85\text{m}^3/\text{日} - 7\text{m}^3/\text{日} \doteq 96.85\text{m}^3/\text{日}$

分離液 BOD $297.5\text{kg}/\text{日} \times (1-0.15) = 252.88\text{kg}/\text{日}$
 $252.88\text{kg}/\text{日} \div 96.85\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 2,611\text{mg}/\text{L}$

分離液 SS $280\text{kg}/\text{日} \times (1-0.25) = 210\text{kg}/\text{日}$
 $210\text{kg}/\text{日} \div 96.85\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 2,168\text{mg}/\text{L}$

分離液 T-N $112.5\text{kg}/\text{日} \times (1-0.10) = 101.25\text{kg}/\text{日}$
 $101.25\text{kg}/\text{日} \div 96.85\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 1,045\text{mg}/\text{L}$

5. 脱窒素のためのメタノール量

: メタノールの密度を $0.79 \text{ kg}/\text{L}$ とし、1g あたりの BOD 量を $0.77\text{g}/\text{g} \cdot \text{BOD}$ とする。

メタノール 1L あたりの BOD 量は、 $0.79 \text{ kg/L} \times 0.77 \text{ g/g} \cdot \text{BOD} = 0.6083 \text{ kg/L} \cdot \text{BOD}$
 脱窒素に必要な BOD/N 比が 3 であるので、不足する BOD 量は
 $101.25 \text{ kg/日} \times 3 - 252.88 \text{ kg/日} = 50.87 \text{ kg/日}$
 $50.87 \text{ kg/日} \div 0.6083 \text{ kg/L} \cdot \text{BOD} \doteq 83.63 \text{ L/日}$
 メタノールは引火性があるため 50%濃度のものを購入する。
 $83.63 \text{ L/日} \div (50/100) \doteq 0.17 \text{ m}^3/\text{日}$

6. 曝気槽

: 膜分離活性汚泥方式を採用し、BOD 容積負荷を $0.4 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ に、MLSS 濃度を $8,000 \text{ mg/L}$ に、曝気槽における BOD 除去率を 99.5%、SS 除去率を 99.9%、T-N 除去率を 97% と設定する。

曝気槽流入汚水量 $96.85 \text{ m}^3/\text{日} + 0.17 \text{ m}^3/\text{日} = 97.02 \text{ m}^3/\text{日}$
 曝気槽流入 BOD 量 $252.88 \text{ kg/日} + 50.87 \text{ kg/日} = 303.75 \text{ kg/日}$
 曝気槽流入 BOD 濃度 $303.75 \text{ kg/日} \div 97.02 \text{ m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 3,131 \text{ mg/L}$
 曝気槽流入 SS 濃度 $210 \text{ kg/日} \div 97.02 \text{ m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 2,165 \text{ mg/L}$
 曝気槽流入 T-N 濃度 $101.25 \text{ kg/日} \div 97.02 \text{ m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 1,044 \text{ mg/L}$
 必要容積 $303.75 \text{ kg/日} \div 0.4 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日} \doteq 759.38 < 765.55 \text{ m}^3$
 (曝気槽、膜分離槽合計容積)
 曝気槽 673.55 m^3 (4.1m × 11.1m × 3.7mH × 4 槽)
 膜分離槽 92.0 m^3 (7 項膜ユニット参照)
 曝気槽と膜分離槽の比率は約 0.879 : 0.121 となる。

BOD-MLSS 負荷量 $303.75 \text{ kg/日} \div (765.55 \text{ m}^3 \times 8 \text{ kg/m}^3) \doteq 0.05 \text{ kg/kg/日}$
 除去 BOD 量 $303.75 \text{ kg/日} \times 0.995 \doteq 302.23 \text{ kg/日}$
 除去 SS 量 $210 \text{ kg/日} \times 0.999 \doteq 209.79 \text{ kg/日}$
 除去 T-N 量 $101.25 \text{ kg/日} \times 0.97 \doteq 98.21 \text{ kg/日}$
 必要酸素量 BOD 酸素係数を 1.0、呼吸作用係数を 0.03 と設定する。
 $1.0 \times 303.75 \text{ kg/日} + 0.03 \times (765.55 \text{ m}^3 \times 8 \text{ kg/m}^3)$
 $\doteq 487.48 \text{ kg/日}$
 曝気槽必要酸素量
 $487.48 \text{ kg/日} \times 0.879 \doteq 428.49 \text{ kg/日}$
 膜分離槽必要酸素
 $487.48 \text{ kg/日} \times 0.121 \doteq 58.99 \text{ kg/日}$

必要空気量 水への酸素溶解率を水深 1m あたり 1.5% と設定する。
 空気、酸素量換算は 0.28 kg/m^3 とする。
 曝気槽は、脱窒素を行うためまたフロック解体防止のため間欠曝気を行う。(12 時間曝気、12 時間休止)
 $428.49 \text{ kg/日} \times (24/12 \text{ 時間}) \div 0.28 \text{ kg/m}^3 \div (3.7 \text{ m} \times 1.5\%)$
 $\div 24 \text{ 時間} \div 60 \text{ 分}$
 $\doteq 38.30 \text{ m}^3/\text{分} < (10.70 \text{ m}^3/\text{分} \times 4 \text{ 基}) = 42.8 \text{ m}^3/\text{分}$
 第一曝気槽に $10.70 \text{ m}^3/\text{分}$ を 2 基、第二曝気槽に $10.70 \text{ m}^3/\text{分}$ を 2 基設置する。

余剰汚泥発生量 BOD からの余剰汚泥生成率を 0.5 に、活性汚泥の減少率を 0.05

に、MLSS の 80%が MLVSS と設定する。

$$0.5 \times 302.23 \text{kg} / \text{日} + 209.79 \text{kg} / \text{日} - 0.05 \times 765.55 \text{m}^3 \\ \times 6.4 \text{kg} / \text{m}^3 \doteq 115.93 \text{kg} / \text{日}$$

引抜余剰汚泥量 $115.93 \text{kg} \div 8,000 \text{ mg} / \text{L} \times 1,000 \doteq 14.49 \text{m}^3 / \text{日}$

7. 膜分離槽

: 平膜を使用し、膜フラックスは $0.2 \text{m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{日}$ 以下に設定する。膜ろ過の運転時間は 24 時間とし、運転サイクルを運転 8 分停止 2 分とする。膜 1 枚あたりの洗浄空気量は $13 \text{L} / \text{分}$ (メーカー推奨値 $10 \sim 15 \text{L} / \text{分}$) とする。

膜分離槽は、メンテナンスを考慮し、片肺運転ができるように複数系統とする。

膜分離水量 曝気槽流入汚水量 - 引抜余剰汚泥量

$$97.02 \text{m}^3 / \text{日} - 14.49 \text{m}^3 / \text{日} \doteq 82.53 \text{m}^3 / \text{日}$$

必要膜面積 $82.53 \text{m}^3 / \text{日} \div 0.2 \text{m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{日} \times (10 \text{分} \div 8 \text{分}) \doteq 515.81 \text{m}^2$

膜ユニット 膜面積 290m^2 のユニットを 2 基選定し、2 槽に配置する。

$$515.81 \text{m}^2 < (290 \text{m}^2 \times 2 \text{基}) = 580 \text{m}^2$$

$2.3 \text{m} \times 5 \text{m} \times 4.0 \text{mH}$ の膜分離槽 2 系統に設置し、各々に連成計、定流量ユニットを配置する。

活性汚泥必要空気量 膜分離槽の酸素溶解率を水深 1m あたり 1.0% と設定する。

空気、酸素量換算は $0.28 \text{kg} / \text{m}^3$ とする。

膜分離槽の曝気時間は 24 時間とする。

$$58.99 \text{kg} / \text{日} \times (24 / 24 \text{時間}) \div 0.28 \text{kg} / \text{m}^3 \div (4.0 \text{m} \times 1.0\%) \\ \div 24 \text{時間} \div 60 \text{分} \doteq 3.66 \text{m}^3 / \text{分}$$

膜洗浄必要空気量 $400 \text{枚} \times 13 \text{L} / \text{分} = 5,200 \text{L} / \text{分} = 5.2 \text{m}^3 / \text{分}$

膜洗浄必要空気量が活性汚泥必要空気量を上回るためこちらを採用し、 $2.99 \text{m}^3 / \text{分}$ を 2 基各膜分離槽に配置する。

$$3.66 \text{m}^3 / \text{分} < 5.2 \text{m}^3 / \text{分} < 5.98 \text{m}^3 / \text{分} \quad (2.99 \text{m}^3 / \text{分} \times 2 \text{基})$$

処理水 BOD $303.75 \text{kg} / \text{日} \times (1 - 0.995) \doteq 1.52 \text{kg} / \text{日}$

$$1.52 \text{kg} / \text{日} \div 82.53 \text{m}^3 / \text{日} \times 1,000 \doteq 18 \text{mg} / \text{L} < 30 \text{mg} / \text{L}$$

処理水 SS $210.0 \text{kg} / \text{日} \times (1 - 0.999) \doteq 0.21 \text{kg} / \text{日}$

$$0.21 \text{kg} / \text{日} \div 82.53 \text{m}^3 / \text{日} \times 1,000 \doteq 3 \text{mg} / \text{L} < 5 \text{mg} / \text{L}$$

処理水硝酸性窒素等 $101.25 \text{kg} / \text{日} \times (1 - 0.97) \doteq 3.04 \text{kg} / \text{日}$

$$3.04 \text{kg} / \text{日} \div 82.53 \text{m}^3 / \text{日} \times 1,000 \doteq 37 \text{mg} / \text{L} < 100 \text{mg} / \text{L}$$

8. 放流槽 (消毒槽)

: 膜処理水は次亜塩素酸カルシウムにて滅菌後放流する。

通常滞留時間は 5 分程度でよいが、後の高度処理 (脱色等)

採用のために 1 日分の処理水を貯留できる容積とする。

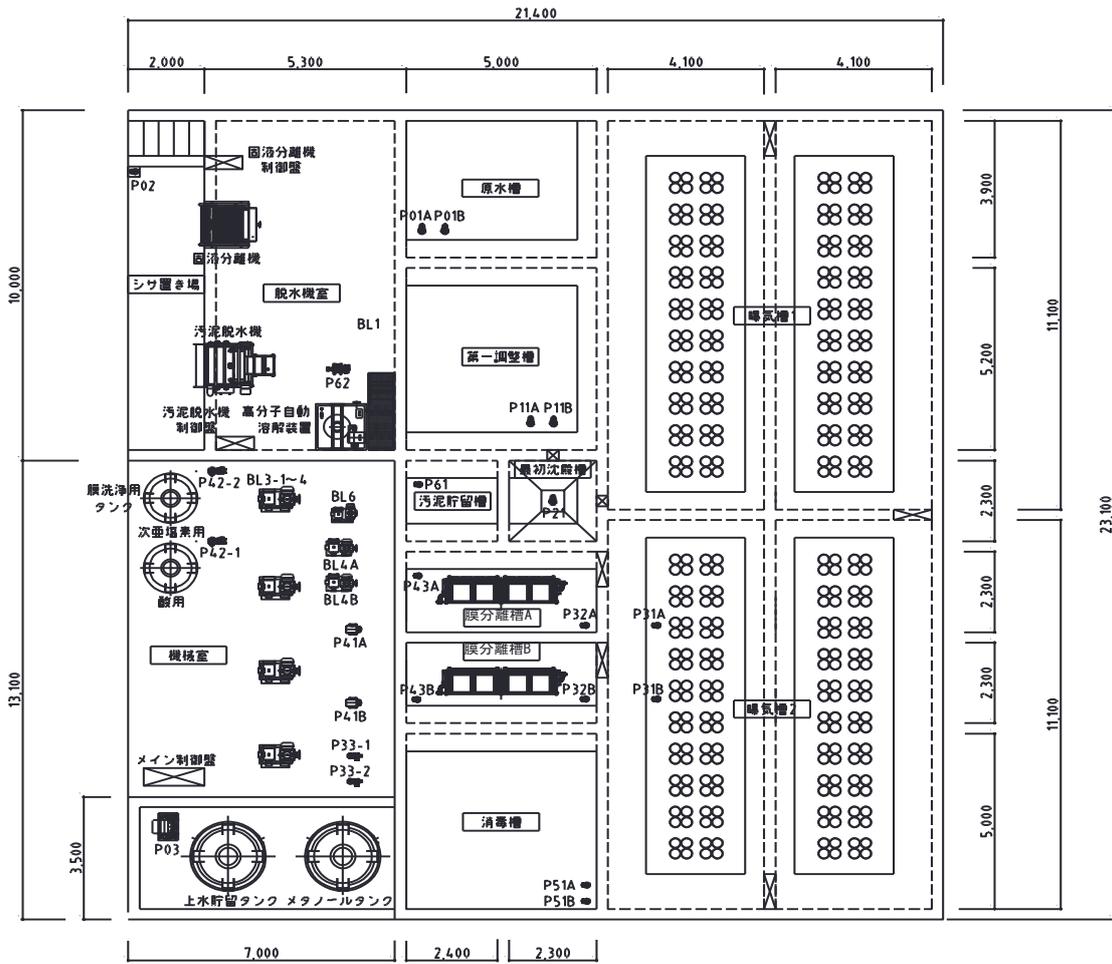
$$82.53 \text{m}^3 / \text{日} \times 1 \text{日} = 82.53 \text{m}^3 < 85 \text{m}^3 \quad (5 \text{m} \times 5 \text{m} \times 3.4 \text{mH})$$

次亜塩素酸カルシウム錠剤は処理水 100m^3 あたり 700g の添加量とし、残留塩素濃度は $0.2 \text{mg} / \text{L}$ 以上とする。

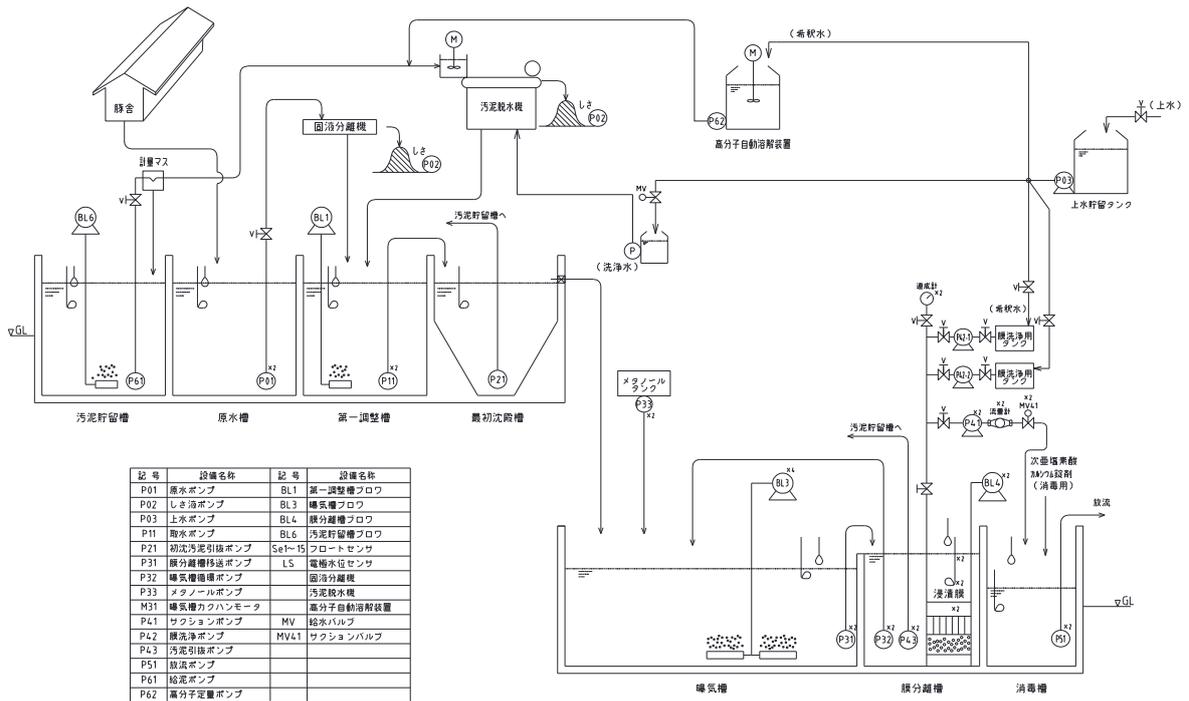
$$82.53 \text{m}^3 / \text{日} \times 700 \text{g} / 100 \text{m}^3 \div 1,000 \doteq 0.58 \text{kg} / \text{日}$$

9. 汚泥貯留槽	: 汚泥量の1日分の汚水を貯留できる容積とする。濃度の均一化と腐敗防止のために $1\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{時}$ の曝気強度でエア－攪拌を行う。
必要容積	最初沈殿汚泥 $7.0\text{m}^3/\text{日}$ ($70\text{kg}/\text{日} : 10,000\text{mg}/\text{L}$) 余剰汚泥 $14.49\text{m}^3/\text{日}$ ($115.93\text{kg}/\text{日} : 8,000\text{mg}/\text{L}$) 合計 $21.49\text{m}^3/\text{日} < 21.8\text{m}^3$ ($2.4\text{m} \times 2.3\text{m} \times 3.95\text{mH}$)
送風機の選定	$21.49\text{m}^3 \times 1\text{m}^3 \div 30\text{分} = 0.72\text{m}^3/\text{分}$ $0.91\text{m}^3/\text{分}$ のブロワを選定し、30分毎の間欠運転を行う。
10. 汚泥脱水機	: 汚泥脱水機は1日の稼働時間を最大でも10時間となる機械を選定する。
必要能力	$(70\text{kg}/\text{日} + 115.93\text{kg}/\text{日}) \div 10\text{時間} = 18.59\text{kg}/\text{時}$ 処理能力 $20\text{kg}/\text{時}$ のベルトスクリーン型脱水機を選定する。
脱水機洗浄水量	脱水機稼働時間10時間、洗浄水量 $20\text{L}/\text{分}$ 、10秒運転、5秒休止運転とする。 $20\text{L}/\text{分} \times 10\text{時間} \times (10/15)\text{秒} \times 60\text{分} \div 1000 = 8.0\text{m}^3/\text{日}$
高分子凝集剤量	原水と余剰汚泥はほぼ同量のためカチオン系高分子凝集剤の使用量は対SS比1.5%と設定する。 $185.93\text{kg}/\text{日} \times 0.015 = 2.79\text{kg}/\text{日}$
高分子凝集剤水量	粉末高分子を0.2%に高分子自動溶解装置にて調整する。 $2.79\text{kg}/\text{日} \div 0.002 \div 1000 = 1.40\text{m}^3/\text{日}$
脱水ケーキ量	$185.93\text{kg}/\text{日} \div (1 - 0.85) \div 1,000 = 1.24\text{m}^3/\text{日}$ (水分率85%)
脱離液量	$21.49\text{m}^3/\text{日} - 1.24\text{m}^3/\text{日} + 8.0\text{m}^3/\text{日} + 1.40\text{m}^3/\text{日}$ $= 29.65\text{m}^3/\text{日}$ (3項第一調整槽還流分)

11. 施設平面図



12. 施設フローシート



13. 参考資料



平膜モジュール



平膜（単位膜）

§ 10-8 養豚汚水処理施設の設計事例：複合ラグーン方式（肥育豚 2,000 頭規模）
（グリーン&ウォーター株式会社）

第一章 基本計画概要

本計画は中小規模養豚場廃水処理施設に関するものである。

1. 計画条件

1) 建設地：日本国内とする。

2) 廃水の種類：フン尿分離豚舎廃水とする。

3) 処理対象頭数：肥育豚 **2,000 頭**

4) 原水条件：当社設定値とする。

水量（雑用水＋フン尿）10（L／頭・日）： 20.0m³／日

BOD（乾重） 80（g／頭・日）： 160.0kg／日（濃度 8,000mg／L）

S S（乾重） 100（g／頭・日）： 200.0kg／日（濃度 10,000mg／L）

T-N（乾重） 30（g／頭・日）： 60.0kg／日（濃度 3,000mg／L）

5) 処理水質：水質汚濁防止法一般排水基準とする。

p H 5.8 ～ 8.6

BOD 160mg／L（日間平均 120mg／L） 目標処理水質 70mg／L

S S 200mg／L（日間平均 150mg／L） 目標処理水質 80mg／L

硝酸性窒素等 100mg／L

※硝酸性窒素等：（アンモニア性窒素×40%）＋亜硝酸性窒素＋硝酸性窒素

6) 終末処理：公共水域に放流とする。

7) その他：畜舎での雨水分離はできているものとする。

原水条件は、上記の通り設定するが、最終的な計画の条件として水量・水質を確定する必要がある。

2. 計画の要点

1) 処理方式：1次処理は、原水槽、固液分離機、流量調整槽とする。

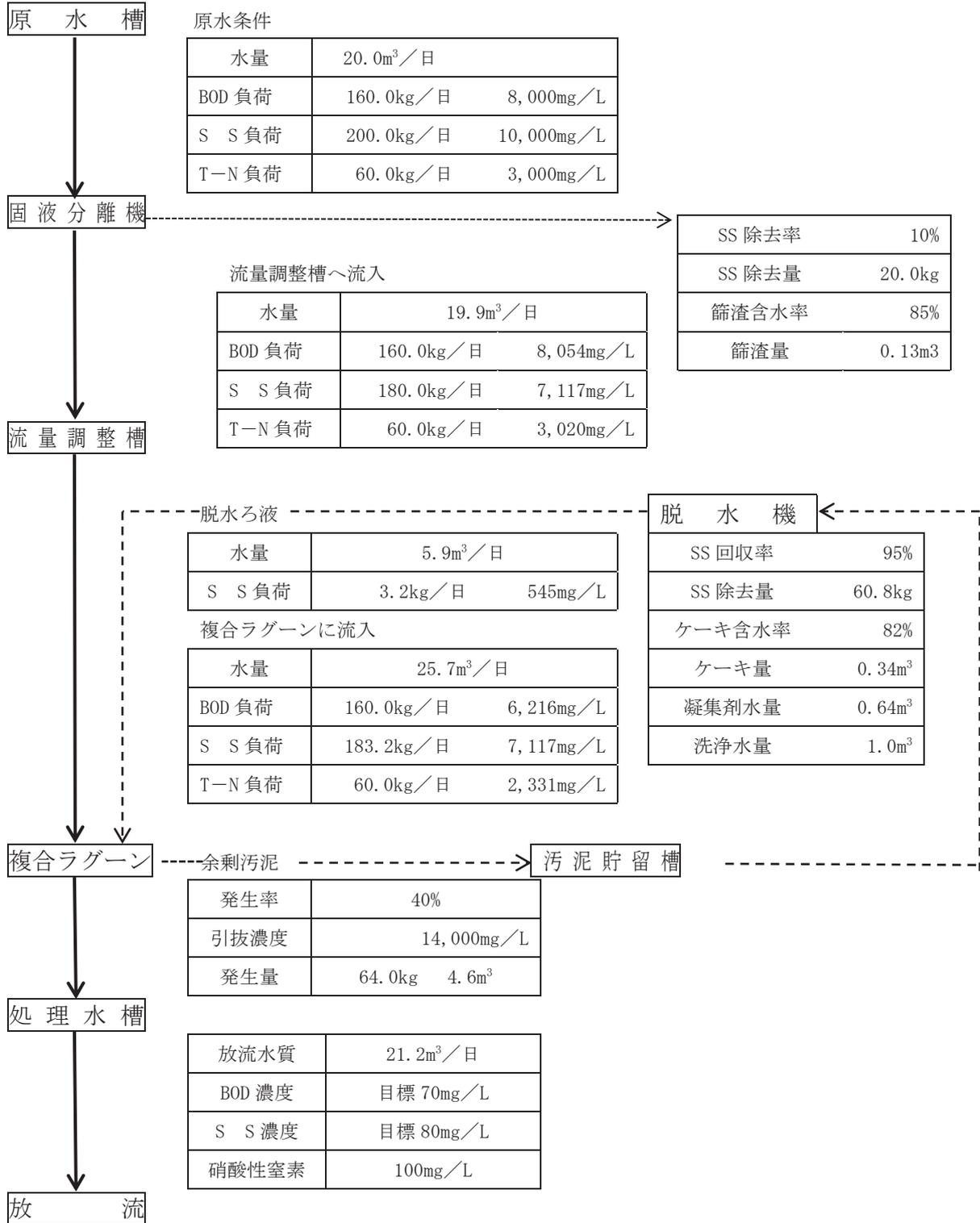
2次処理は、複合ラグーンシステム『低負荷・半回分・活性汚泥法』、処理水槽とする。

2) 希釈水：余剰汚泥脱水時に使用する高分子凝集剤を溶解するための清水以外は、希釈水として清水の投入は無いものとする。

3) 水温：複合ラグーン槽での曝気時において水温は 15℃以上を維持できるものとして、それ以下に下がる可能性のある厳寒地においては水温低下防止のために複合ラグーン槽を覆う構造の施設とする。

- 4) 余剰汚泥処理：余剰汚泥は脱水機で処理するものとする。発生する脱水ケーキは堆肥化する。（堆肥化処理施設は別途）
 - 5) 本計画では、全施設新設とする。
3. 自動制御システム及びモニタリングシステム
- 1) 原水の水質及び水量は、年間を通じて一定していることはなく常に変動する。また、気温、水温により活性汚泥の性状や水に溶け込む酸素量も変化する。
 - 2) 従って、投入動力を過不足なく保ち処理水質を安定させるためには、固定的な単一の運転プログラムでは不可能である。
 - 3) また、活性汚泥等の状況を確認することは常に重要であるが、勘と経験のみに頼ることは危険でありまた困難である。
 - 4) 従い、本計画において
 - ・必要なセンサーを設置し自動記録を行う。
 - ・プログラマブルコントローラー装着の制御方式とし、運転プログラムを随時変更できるシステムとする。
 - ・複合ラグーン槽内の溶存酸素濃度に合わせ、曝気出力を調整する制御システムとする。
 - ・各種機器自動運転記録データ及び常時記録各センサー波形情報を「遠隔監視」するリモートモニタリングシステムを設置し、運転管理のバックアップを行う。以上システムにより、維持管理労力・処理費用を低減させるとともに処理機能の安定を図るものとする。

4. フローシート



第二章 設計概要

1. 一次処理装置

原水中に含まれる固形分を除去する。

1) 原水槽

① 豚舎より流入する原水をポンプアップにより固液分離機に移送する。

② 付帯施設

- ・ 原水ポンプ 2台
- ・ 原水攪拌ポンプ 1台

2) 固液分離機

① 振動篩型固液分離機で原水中の固分を除去し流量調整槽に移送する。

② 除去された篩渣は、別途堆肥化処理を行う。

3) 流量調整槽

① 一次処理がなされた原水を、一時貯留し、二次処理施設（複合ラグーン）に移送する。

② 原水水質平均化のために攪拌を行う。

③ 必要容量：一日廃水量の約一日分とする。(20m³)

④ 付帯施設

- ・ 流量調整槽ポンプ 2台
- ・ 流調攪拌ミキサー 1台

2. 二次処理装置

流入する原水を、曝気—沈殿—上澄水採取、放流を繰り返す、半回分運転で活性汚泥処理を行う。

1) 複合ラグーン

① 一日当たりの流入 BOD 量 160.0kg/日

② BOD 容積負荷

複合ラグーン方式に於ける BOD 容積負荷を、0.2kg/m³/日とする。

③ 必要複合ラグーン槽容量

$$\text{BOD}160.0\text{kg/日} \div 0.2\text{kg/m}^3\text{/日} = 800\text{m}^3$$

④ 複合ラグーン実容量

複合ラグーン槽寸法：直径 20.0m×槽深 1.8~4.8m×底盤径 8.0m

複合ラグーン槽容量：1,011.0m³

複合ラグーン有効容量：854.0m³

複合ラグーン水面積：314.0m²

⑤ 付帯施設

- ・ 垂直エアレーター 2台
- ・ 水平エアレーター 2台

- ・ 汚泥ポンプ 1 台
- ・ 集水ポンプ 2 台
- ・ 消泡ポンプ 1 台
- ・ 消泡用ノズル 10 ケ
- ・ 計測用センサー
 - 溶存酸素濃度(DO) : 1 式
 - 酸化還元電位(ORP) : 1 式
 - 水素イオン濃度(pH) : 1 式
 - 水 温 計(WT) : 1 式
 - 水 位 計(WL) : 1 式

2) 処理水槽

- ① 複合ラグーンから集水される処理水を一時貯留する。
- ② 必要容量：一日放流量の約一日分とする。(20m³)
- ③ 付帯施設
 - ・ 放流ポンプ 2 台

3. 余剰汚泥処理

複合ラグーンで発生する余剰汚泥を脱水処理を行い、脱水ケーキは別途堆肥化処理を行う。

1) 余剰汚泥及び脱水ケーキ発生量

- ① 余剰汚泥発生率：流入 BOD 量の 40%とする。
 $BOD160\text{kg}/\text{日} \times 40\% = 64\text{kg}/\text{日}$ (乾重)
- ② 余剰汚泥引抜量：引抜濃度を 14,000mg/L とする。
 $64\text{kg}/\text{日} \div 14,000\text{mg}/\text{L} = 4.6\text{m}^3/\text{日}$
- ③ 脱水ケーキ量：ケーキ含水率を 82%、脱水機での SS 回収率を 95%とする。
 $64\text{kg}/\text{日} \text{ (乾重)} \times 95\% \div (1 - 82\%) = 338\text{kg}/\text{日}$

2) 脱水機

高分子凝集剤を添加し、脱水処理を行う。

- ① スクリュー型脱水機 1 式
- ② 付 帯 施 設
 - ・ フロック反応槽 1 式
 - ・ 洗浄装置 1 式
 - ・ 高分子薬注ポンプ 1 式
 - ・ 高分子自動溶解装置 1 式

第三章 維持管理

1. 電気使用量

- 1) 同時最大定格出力：48.0kw
- 2) 日 最 大 出 力：350.0kwh/日

※電気使用量は、諸条件により変化します。

2. 薬剤使用量

1) 高分子凝集剤使用量：処理対象汚泥量に対し2%添加とする。

$$64\text{kg}/\text{日（乾重）} \times 2\% = 1.3\text{kg}/\text{日}$$

※凝集剤添加量は、汚泥濃度・性状により異なります。

3. モニタリングシステム

複合ラグーン内の状況のモニタリング、機器動作の記録を行い、処理機能の安定化を図る。

1) モニタリング・記録

- ① センサー記録
 - 溶存酸素濃度(DO)：1式
 - 酸化還元電位(ORP)：1式
 - 水素イオン濃度(pH)：1式
 - 水温計(WT)：1式
 - 水位計(WL)：1式

② ポンプ等機器動作記録

2) 遠隔監視システム

- ① モニタリング及びポンプ等の機器動作記録をインターネット回線によりプラントメーカーに自動的に転送し、運転のバックアップを図る。
- ② 付帯施設
 - ・ 専用データ通信機 1式

§ 10-9 養豚污水处理施設的设计事例：複合ラグーン方式（肥育豚 5,000 頭規模）
（グリーン&ウォーター株式会社）

第一章 基本計画概案

本計画は大規模養豚場廃水処理施設に関するものである。

1. 計画条件

1) 建設地：日本国内とする。

2) 廃水の種類：フン尿分離豚舎廃水とする。

3) 処理対象頭数：肥育豚 5,000 頭

4) 原水条件：当社設定値とする。

水量（雑用水＋フン尿）10（L／頭／日）：50.0m³／日

BOD（乾重）80（g／頭／日）：400.0kg／日（濃度 8,000mg／L）

S S（乾重）100（g／頭／日）：500.0kg／日（濃度 10,000mg／L）

T-N（乾重）30（g／頭／日）：150.0kg／日（濃度 3,000mg／L）

5) 処理水質：水質汚濁防止法一般排水基準とする。

p H 5.8 ～ 8.6

B O D 160mg／L（日間平均 120mg／L） 目標処理水質 70mg／L

S S 200mg／L（日間平均 150mg／L） 目標処理水質 80mg／L

硝酸性窒素等 100mg／L

※硝酸性窒素等：（アンモニア性窒素×40%）＋亜硝酸性窒素＋硝酸性窒素

6) 終末処理：公共水域に放流とする。

7) その他：畜舎での雨水分離はできているものとする。

原水条件は、上記の通り設定するが、最終的な計画の条件として水量・水質を確定する必要がある。

2. 計画の要点

1) 処理方式：1次処理は、原水槽、固液分離機、流量調整槽とする。

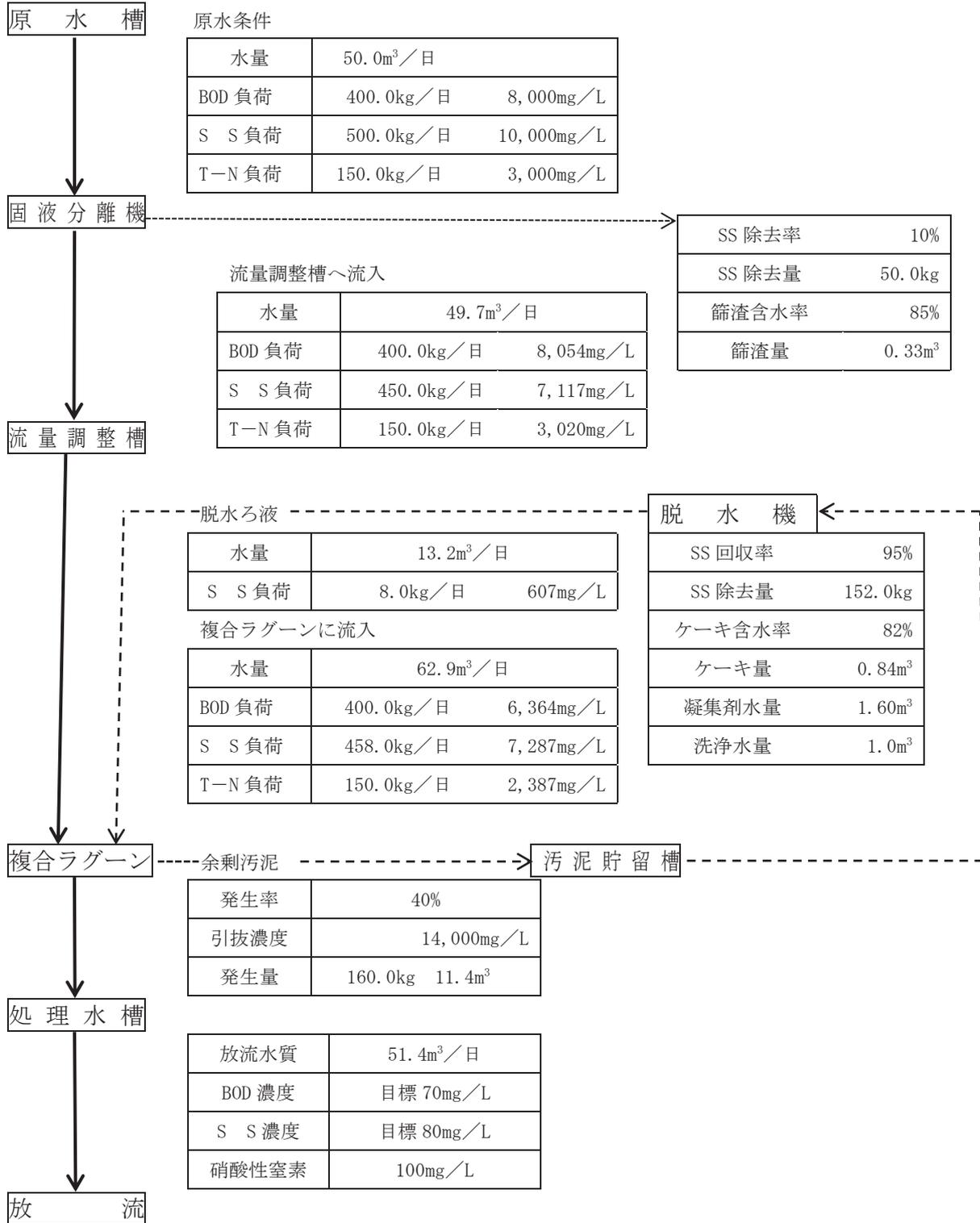
2次処理は、複合ラグーンシステム『低負荷・半回分・活性汚泥法』、処理水槽とする。

2) 希釈水：余剰汚泥脱水時に使用する高分子凝集剤を溶解するための清水以外は、希釈水として清水の投入は無いものとする。

3) 水温：複合ラグーン槽での曝気時において水温は 15℃以上を維持できるものとして、それ以下に下がる可能性のある厳寒地においては水温低下防止のために複合ラグーン槽を覆う構造の施設とする。

- 4) 余剰汚泥処理：余剰汚泥は脱水機で処理するものとする。発生する脱水ケーキは堆肥化する。（堆肥化処理施設は別途）
 - 5) 本計画では、全施設新設とする。
3. 自動制御システム及びモニタリングシステム
- 1) 原水の水質及び水量は、年間を通じて一定していることはなく常に変動する。また、気温、水温により活性汚泥の性状や水に溶け込む酸素量も変化する。
 - 2) 従って、投入動力を過不足なく保ち処理水質を安定させるためには、固定的な単一の運転プログラムでは不可能である。
 - 3) また、活性汚泥等の状況を確認することは常に重要であるが、勘と経験のみに頼ることは危険でありまた困難である。
 - 4) 従い、本計画において
 - ・ 必要なセンサーを設置し自動記録を行う。
 - ・ プログラマブルコントローラー装着の制御方式とし、運転プログラムを随時変更できるシステムとする。
 - ・ 複合ラグーン槽内の溶存酸素濃度に合わせ、曝気出力を調整する制御システムとする。
 - ・ 各種機器自動運転記録データ及び常時記録各センサー波形情報を「遠隔監視」するリモートモニタリングシステムを設置し、運転管理のバックアップを行う。以上システムにより、維持管理労力・処理費用を低減させるとともに処理機能の安定を図るものとする。

4. フローシート



第二章 設計概要

1. 一次処理装置

原水中に含まれる固形分を除去する。

1) 原水槽

① 豚舎より流入する原水をポンプアップにより固液分離機に移送する。

② 付帯施設

- ・ 原水ポンプ 2 台
- ・ 原水攪拌ポンプ 1 台

2) 固液分離機

③ 振動篩型固液分離機で原水中の固分を除去し流量調整槽に移送する。

④ 除去された篩渣は、別途堆肥化処理を行う。

3) 流量調整槽

⑤ 一次処理がなされた原水を、一時貯留し、二次処理施設（複合ラグーン）に移送する。

⑥ 原水水質平均化のために攪拌を行う。

⑦ 必要容量：一日廃水量の約一日分とする。（50m³）

⑧ 付帯施設

- ・ 流量調整槽ポンプ 2 台
- ・ 流調攪拌ミキサー 1 台

2. 二次処理装置

流入する原水を、曝気—沈殿—上澄水採取、放流を繰り返す、半回分運転で活性汚泥処理を行う。

1) 複合ラグーン

① 一日当たりの流入 BOD 量 400.0kg/日

② BOD 容積負荷

複合ラグーン方式に於ける BOD 容積負荷を、0.2kg/m³/日とする。

③ 必要複合ラグーン槽容量

$BOD400.0kg/日 \div 0.2kg/m^3/日 = 2,000m^3$

④ 複合ラグーン実容量

複合ラグーン槽寸法：直径 30.0m×槽深 1.8~5.0m×底盤径 15.0m

複合ラグーン槽容量：2,516.0m³

複合ラグーン有効容量：2,163.0m³

複合ラグーン水面積：706.5m²

⑤ 付帯施設

- ・ 垂直エアレーター 5 台
- ・ 水平エアレーター 6 台

- ・ 汚泥ポンプ 1 台
- ・ 集水ポンプ 2 台
- ・ 消泡ポンプ 1 台
- ・ 消泡用ノズル 15 ケ
- ・ 計測用センサー
 - 溶存酸素濃度(DO) : 1 式
 - 酸化還元電位(ORP) : 1 式
 - 水素イオン濃度(pH) : 1 式
 - 水 温 計(WT) : 1 式
 - 水 位 計(WL) : 1 式

2) 処理水槽

- ⑥ 複合ラグーンから集水される処理水を一時貯留する。
- ⑦ 必要容量：一日放流量の約一日分とする。(50m³)
- ⑧ 付帯施設
 - ・ 放流ポンプ 2 台

3. 余剰汚泥処理

複合ラグーンで発生する余剰汚泥を脱水処理を行い、脱水ケーキは別途堆肥化処理を行う。

1) 余剰汚泥及び脱水ケーキ発生量

- ① 余剰汚泥発生率：流入 BOD 量の 40%とする。
 $BOD400\text{kg}/\text{日} \times 40\% = 160\text{kg}/\text{日}$ (乾重)
- ② 余剰汚泥引抜量：引抜濃度を 14,000mg/L とする。
 $160\text{kg}/\text{日} \div 14,000\text{mg}/\text{L} = 11.4\text{m}^3/\text{日}$
- ③ 脱水ケーキ量：ケーキ含水率を 82%、脱水機での SS 回収率を 95%とする。
 $160\text{kg}/\text{日} (\text{乾重}) \times 95\% \div (1 - 82\%) = 844\text{kg}/\text{日}$

2) 脱水機

高分子凝集剤を添加し、脱水処理を行う。

- ① スクリュー型脱水機 1 式
- ② 付 帯 施 設
 - ・ フロック反応槽 1 式
 - ・ 洗浄装置 1 式
 - ・ 高分子薬注ポンプ 1 式
 - ・ 高分子自動溶解装置 1 式

第三章 維持管理

1. 電気使用量

- 1) 同時最大定格出力：90.0kw
- 2) 日 最 大 出 力：850.0kwh/日

※電気使用量は、諸条件により変化します。

2. 薬剤使用量

1) 高分子凝集剤使用量：処理対象汚泥量に対し2%添加とする。

$$160\text{kg}/\text{日（乾重）} \times 2\% = 3.2\text{kg}/\text{日}$$

※凝集剤添加量は、汚泥濃度・性状により異なります。

3. モニタリングシステム

複合ラグーン内の状況のモニタリング、機器動作の記録を行い、処理機能の安定化を図る。

1) モニタリング・記録

- ① センサー記録
- 溶存酸素濃度(DO)：1式
 - 酸化還元電位(ORP)：1式
 - 水素イオン濃度(pH)：1式
 - 水温計(WT)：1式
 - 水位計(WL)：1式

② ポンプ等機器動作記録

2) 遠隔監視システム

① モニタリング及びポンプ等の機器動作記録をインターネット回線によりプラントメーカーに自動的に転送し、運転のバックアップを図る。

② 付帯施設

- ・ 専用データ通信機 1式

第 11 章

酪農汚水処理施設の メーカー設計事例

第 11 章のポイント

本章では酪農関係汚水処理施設のメーカー設計事例を紹介する。確実な設計能力と実績を有するメーカーに執筆を依頼したが、これ以外にも多様な形式の汚水処理施設が多くのメーカーから販売されている。

どのような形式の施設にも一長一短があり、その農家の条件に合致する技術を慎重に選定することが重要である。

**§ 11-1 酪農汚水処理施設の設計事例：パーラー排水処理施設（膜分離活性汚泥法）
（搾乳牛 200 頭規模）（群立機器株式会社）**

1. 設計条件

- 規模
搾乳牛 200 頭規模
- 畜舎構造
ミルクパーラー（機械洗浄水＋待機場廃水）
- 廃水量
搾乳牛 1 頭あたり 100L/日とする。
 $200 \text{ [頭]} \times 100 \text{ [L/頭/日]} \div 1000 = 20 \text{ [m}^3\text{/日]}$
- BOD 負荷量
搾乳牛 1 頭あたり 100 g/日とする。
 $200 \text{ [頭]} \times 100 \text{ [g/頭/日]} \div 1000 = 20 \text{ [kg/日]}$
- SS 負荷量
搾乳牛 1 頭あたり 100 g/日とする。
 $200 \text{ [頭]} \times 100 \text{ [g/頭/日]} \div 1000 = 20 \text{ [kg/日]}$
- 設計条件のまとめ
 - ・ 廃水量：20 [m³/日]
 - ・ BOD 負荷量：20 [kg/日]
 - ・ SS 負荷量：20 [kg/日]
- 処理方式
膜分離活性汚泥方式（中空糸膜）
- 目標処理水質
 - ・ BOD：20 [mg/L] 未満
 - ・ SS：10 [mg/L] 未満
 - ・ 硝酸性窒素等：100 [mg/L] 未満

2. 設計計算

① 原水槽 ミルキングパーラーより排出された原水を受け入れる。

廃水量 [m ³ /日]	BOD 負荷量 [kg/日]	SS 負荷量 [kg/日]
20.0	20.0	20.0

② 固液分離機 夾雑物と汚水を分離する。

大きな夾雑物の除去を目的とし、BOD・SS の除去は考慮しない。

③ 調整槽 固液分離した汚水を貯留し、曝気槽への投入量と負荷量を調整する。

- ・ 廃水量 固液分離機ろ液＋脱水ろ液
 $20 \text{ [kg/日]} + 0.79 \text{ [m}^3\text{/日]} \approx 20.8 \text{ [m}^3\text{/日]}$

- ④ 曝気槽 ブローと散気装置を使用して曝気を行う。
- ・曝気槽容積 BOD 容積負荷を 0.5 とする。
 $20.0 \text{ [kg/日]} \div 0.5 \text{ [kg/m}^3\text{/日]} = 40.0 \text{ [m}^3\text{]}$
 - ・必要酸素量 流入 BOD に対する酸化に関する係数を 1.0、内生呼吸に関する係数を 0.07 とする。
 $1.0 \times 20.0 \text{ [kg/日]} + 0.07 (40.0 \text{ [m}^3\text{]} \times 6 \text{ [kg/m}^3\text{]}) = 36.8 \text{ [kg/日]}$
 - ・必要送風量 空気 1 m³中に酸素が 0.28kg 含まれるとする。酸素溶解効率を 5% とする。
 $36.8 \text{ [kg/日]} \div 0.28 \text{ [kg/m}^3\text{]} \div 5\% \doteq 2629 \text{ [m}^3\text{/日]}$
 $2629 \text{ [m}^3\text{/日]} \div 24 \text{ [時間/日]} \div 60 \text{ [分/時間]} \doteq 1.83 \text{ [m}^3\text{/分]}$
- ⑤ 膜槽 分画 0.4 μm の中空糸膜 (MF) を使用して活性汚泥と処理水を分離する。余剰汚泥の引抜きを行う。
- ・余剰汚泥生成量 曝気槽流入 BOD 負荷量の 40% とする。水分率 99% とする。
 $20.0 \text{ [kg/日]} \times 40\% = 8.00 \text{ [kg/日]}$
 $8.00 \text{ [kg/日]} \times 1/0.01 \div 1000 = 0.80 \text{ [m}^3\text{/日]} \rightarrow \text{汚泥槽へ}$
 - ・膜処理量 流入量 - 余剰汚泥量
 $20.8 \text{ [m}^3\text{/日]} - 0.80 \text{ [m}^3\text{/日]} = 20.0 \text{ [m}^3\text{/日]}$
 - ・必要膜面積 フラックスを 0.2 m³/m²・日 とする。
 $20.0 \text{ [m}^3\text{/日]} \div 0.2 \text{ [m}^3\text{/m}^2\text{・日]} \doteq 100 \text{ [m}^2\text{]}$
- ⑥ 処理水槽 膜分離した処理水を貯留・監視する。
- ・流入量
 $20.0 \text{ [m}^3\text{/日]} \rightarrow \text{放流}$
- ⑦ 汚泥槽 余剰汚泥を貯留する。
- ・流入量 余剰汚泥
 $0.80 \text{ [m}^3\text{/日]}$
 - ・SS 負荷量 余剰汚泥
 8.00 [kg/日]
- ⑧ 汚泥脱水機 汚泥槽の余剰汚泥を減容化し系外に排出する。
- ・脱水機能力
 $4 \text{ [kg/時間]} \text{ とする。}$
 - ・運転時間
 $8.00 \text{ [kg/日]} \div 4 \text{ [kg/時間]} = 2 \text{ [時間/日]}$
 - ・脱水ケーキ発生量 水分率 80% とする。

- 8.00 [kg/日] $\times 1/0.2 = 40.0$ [kg/日] \rightarrow 堆肥化
- 凝集剤使用量 対 SS 添加率 2% とする。
8.00 [kg/日] $\times 2\% = 0.16$ [kg/日]
- 洗浄水量 16 [L/時間]
2 [時間/日] $\times 16$ [L/時間] $\div 1000 = 0.03$ [m³/時間]
- 脱水ろ液量 処理汚泥量 - 脱水ケーキ発生量 + 洗浄水量
0.80 [m³/日] - 0.04 [m³/日] + 0.03 [m³/日] = 0.79 [m³/日] \rightarrow 調整槽へ

3. フローシート、イメージ図

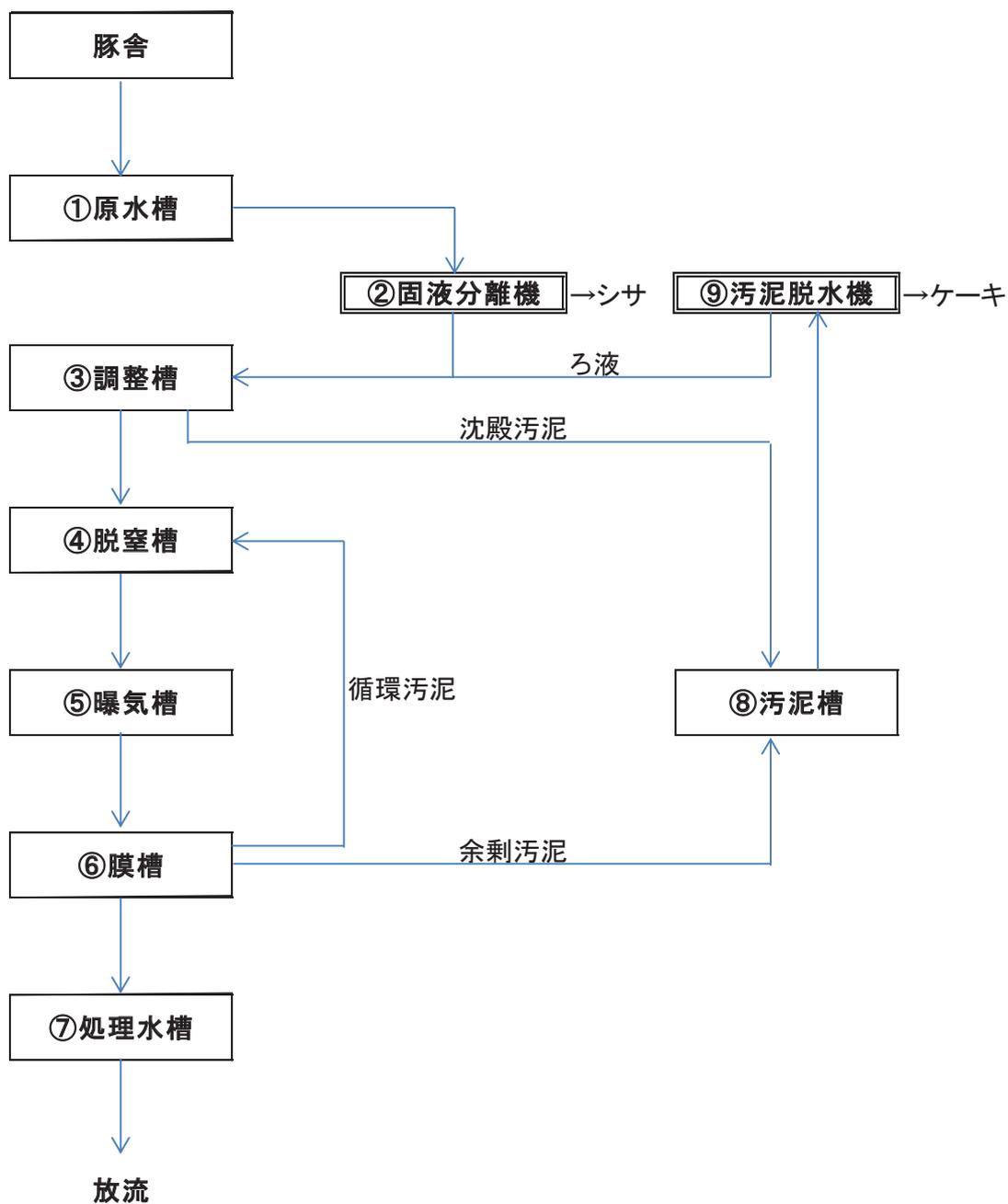


図1. 施設フローシート

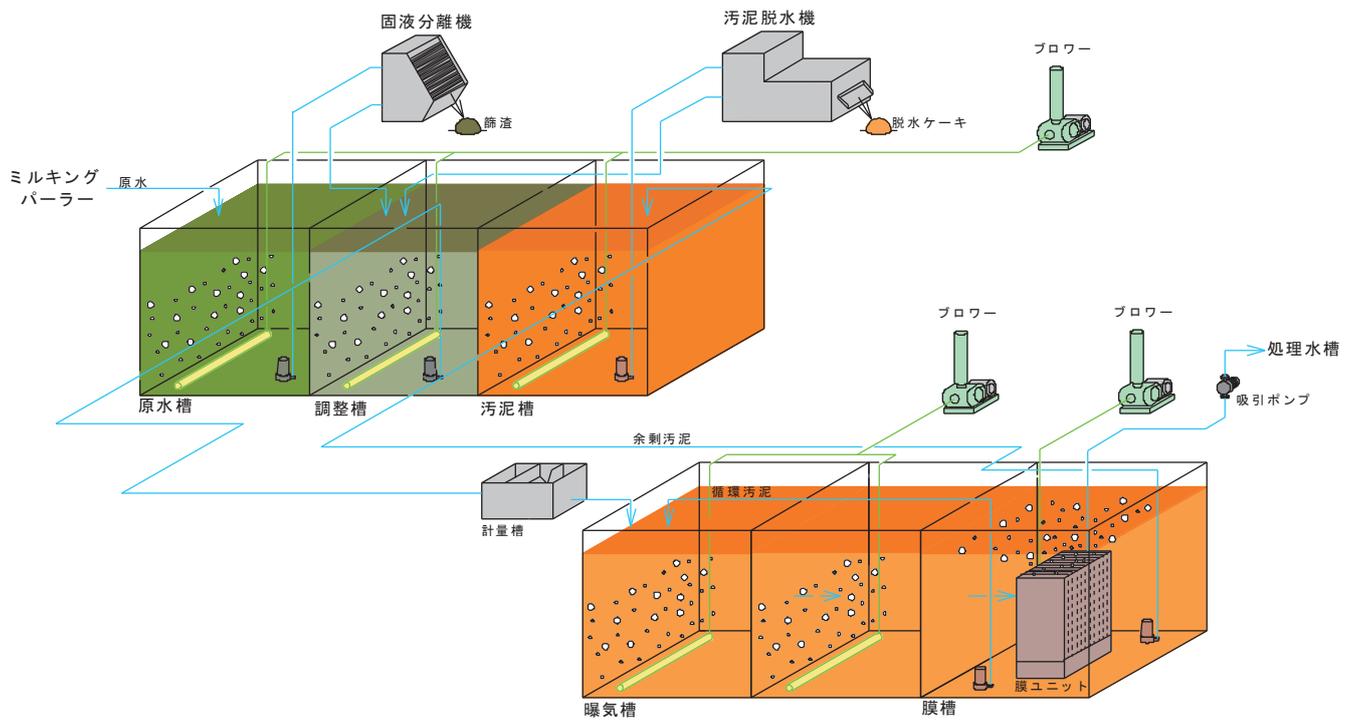


図 2. 施設イメージ図

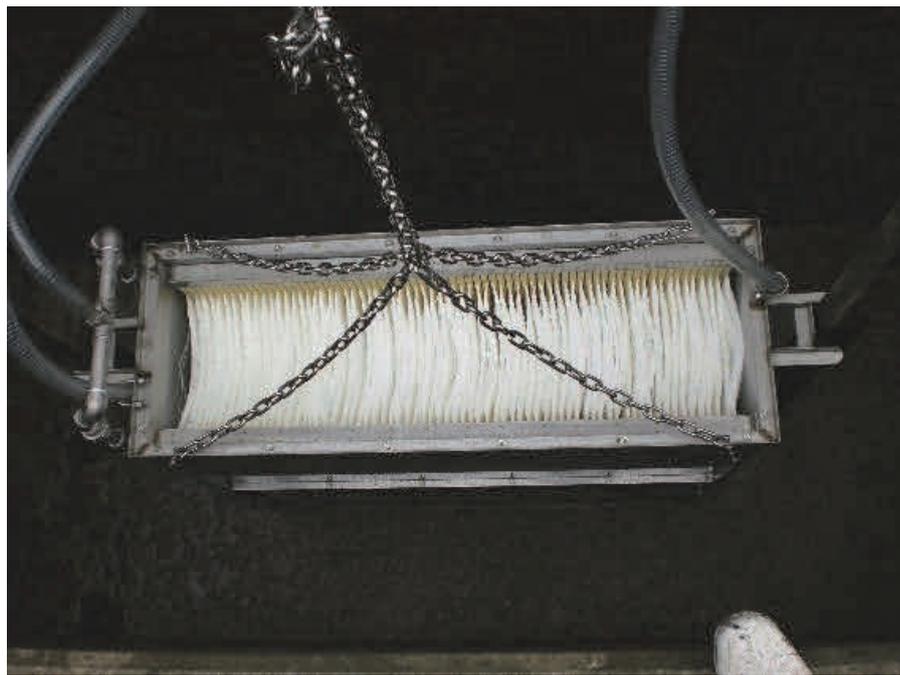


図 3. 設置された中空糸

§ 11-2 酪農汚水処理施設の設計事例：搾乳関連排水処理施設
(膜分離活性汚泥法) (搾乳牛 1000 頭規模)
(株式会社戸上電機製作所)

設 計 諸 元

(パーラー排水など：オゾン脱色装置を含む例)

1. 処理対象頭数 : 搾乳牛頭数 1000 頭
2. 処理対象汚水量 : 搾乳牛 1 頭 1 日当たりの排出汚水量を 60L と設定する。
 $1,000 \text{ 頭} \times 60\text{L} \div 1,000 = 60\text{m}^3 / \text{日}$
3. 処理対象 BOD : 搾乳牛 1 頭 1 日当たりの排出 BOD 量を 150g と設定する。
BOD 量 $1,000 \text{ 頭} \times 150\text{g} \div 1,000 = 150\text{kg} / \text{日}$
BOD 濃度 $150\text{kg} \div 60\text{m}^3 \times 1,000 \div 1,000 \div 1,000 = 2,500\text{mg} / \text{L}$
4. 処理対象 SS : 搾乳牛 1 頭 1 日当たりの排出 SS 量を 200g と設定する。
SS 量 $1,000 \text{ 頭} \times 200\text{g} \div 1,000 = 200\text{kg} / \text{日}$
SS 濃度 $200\text{kg} \div 60\text{m}^3 \times 1,000 \div 1,000 \div 1,000 = 3,333\text{mg} / \text{L}$
5. 処理対象 T-N : 搾乳牛 1 頭 1 日当たりの排出 T-N 量を 30g と設定する。
T-N 量 $1,000 \text{ 頭} \times 30\text{g} \div 1,000 = 30\text{kg} / \text{日}$
T-N 濃度 $30\text{kg} \div 60\text{m}^3 \times 1,000 \div 1,000 \div 1,000 = 500\text{mg} / \text{L}$
6. 処理目標水質 : BOD 濃度 30mg/L 以下 (水質汚濁防止法では日平均 120mg/L)
SS 濃度 5mg/L 以下 (水質汚濁防止法では日平均 150mg/L)
硝酸性窒素等濃度 100mg/L 以下

設 計 計 算

1. 原 水 槽 : 搾乳パーラー施設より排出される汚水を貯留する。
1 日分の汚水を貯留できる容積とする。
濃度の均一化と腐敗防止のために $1\text{m}^3 / \text{m}^3 \cdot \text{時}$ の曝気強度でエア-攪拌を行う。
汚水槽必要容積 $60\text{m}^3 / \text{日} \times 1 \text{ 日分} = 60\text{m}^3 < 61.32 \text{ m}^3$ (6.2m × 4.3m × 2.3mH)
送風機の選定 $61.32 \text{ m}^3 \times 1\text{m}^3 \div 30 \text{ 分} \div 1,000 = 2.04\text{m}^3 / \text{分}$
 $2.17 \text{ m}^3 / \text{分}$ のブロワを選定し、30 分毎の間欠運転を行う。
汚水移送ポンプ 閉塞やトラブル時の対応を考慮して口径 65mm、1.5kw の水中汚物用ポンプを 2 基設置する。
2. 固液分離機 : 処理能力 $6\text{m}^3 / \text{時間}$ の平型振動篩を設置し、BOD 除去率 15%、SS 除去率 30%、T-N 除去率 10%、篩別固形物の水分を 85% と設定する。

篩別固形物量	$200\text{kg}/\text{日} \times 0.3 \div (1-0.85) = 400\text{kg}/\text{日}$ (水分率 85%)
分離液量	$60\text{m}^3/\text{日} - 0.4\text{m}^3/\text{日} = 59.6\text{m}^3/\text{日}$
分離液 BOD	$150\text{kg}/\text{日} \times (1-0.15) = 127.5\text{kg}/\text{日}$ $127.5\text{kg}/\text{日} \div 59.6\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 2,139\text{mg}/\text{L}$
分離液 SS	$200\text{kg}/\text{日} \times (1-0.3) = 140\text{kg}/\text{日}$ $140\text{kg}/\text{日} \div 59.6\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 2,349\text{mg}/\text{L}$
分離液 T-N	$30\text{kg}/\text{日} \times (1-0.10) = 27\text{kg}/\text{日}$ $27\text{kg}/\text{日} \div 59.6\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 453\text{mg}/\text{L}$

3. 第一調整槽

: 流入汚水量(篩別分離液、脱離液還流水)の1日分の汚水を貯留できる容積とする。濃度の均一化と腐敗防止のために $1\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{時}$ の曝気強度でエア一攪拌を行う。

必要容積 $59.6\text{m}^3/\text{日} + 11.40\text{m}^3/\text{日}$ (7項脱離液量参照)
 $\doteq 71.0\text{m}^3 < 71.76\text{m}^3$ (2m×9.2m×3.9mH)

送風機の選定 $71.76\text{m}^3 \times 1\text{m}^3 \div 30\text{分} \doteq 2.39\text{m}^3/\text{分}$
 $2.52\text{m}^3/\text{分}$ のブローを選定し、30分毎の間欠運転を行う。

汚水移送ポンプ 閉塞やトラブル時の対応を考慮して口径 50mm、0.75kw の水中汚物用ポンプを2基設置する。

混合液 BOD $127.5\text{kg}/\text{日} \div 71.0\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 1,796\text{mg}/\text{L}$

混合液 SS $140\text{kg}/\text{日} \div 71.0\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 1,972\text{mg}/\text{L}$

混合液 T-N $27\text{kg}/\text{日} \div 71.0\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \doteq 380\text{mg}/\text{L}$

(なお脱離液還流水中に含まれる BOD、SS、T-N は、計算が複雑となるため考慮しない)

この段階で BOD/N 比は、4.7 と脱窒素が可能な数値である。

4. 曝気槽

: 膜分離活性汚泥方式を採用し、BOD 容積負荷を $0.3\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$ に、MLSS 濃度を $8,000\text{mg}/\text{L}$ に、曝気槽における BOD 除去率を 99.5%、SS 除去率を 99.9%、T-N 除去率を 95% と設定する。

必要容積 $127.5\text{kg}/\text{日} \div 0.3\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日} = 425\text{m}^3 < 427.53\text{m}^3$
(曝気槽、膜分離槽合計容積)

曝気槽 342.25m^3 (7.4m×12.5m×3.7mH)

膜分離槽 85.28m^3 (5項膜ユニット参照)

曝気槽と膜分離槽の比率は約 0.801 : 0.199 となる。

BOD-MLSS 負荷量 $127.5\text{kg}/\text{日} \div (427.53\text{m}^3 \times 8\text{kg}/\text{m}^3) \doteq 0.04\text{kg}/\text{kg}/\text{日}$

除去 BOD 量 $127.5\text{kg}/\text{日} \times 0.995 \doteq 126.86\text{kg}/\text{日}$

除去 SS 量 $140\text{kg}/\text{日} \times 0.999 \doteq 139.86\text{kg}/\text{日}$

除去 T-N 量 $27\text{kg}/\text{日} \times 0.95 \doteq 25.65\text{kg}/\text{日}$

必要酸素量 BOD 酸素係数を 1.0、呼吸作用係数を 0.03 と設定する。

$1.0 \times 127.5\text{kg}/\text{日} + 0.03 \times (427.53\text{m}^3 \times 8\text{kg}/\text{m}^3)$

$\doteq 230.11\text{kg}/\text{日}$

曝気槽必要酸素量

$230.11\text{kg}/\text{日} \times 0.801 \doteq 184.32\text{kg}/\text{日}$

	膜分離槽必要酸素 230.11kg/日×0.199≒45.79kg/日
必要空気量	水への酸素溶解率を水深1mあたり1.5%と設定する。 空気、酸素量換算は0.28kg/m ³ とする。 曝気槽は、脱窒素を行うためまたフロック解体防止のため間欠曝気を行う。(12時間曝気、12時間休止) 184.32kg/日×(24/12時間)÷0.28kg/m ³ ÷(3.7m×1.5%) ÷24時間÷60分 ≒16.47m ³ /分<(8.55m ³ /分×2基) 第一曝気槽に8.55m ³ /分を1基、第二曝気槽に8.55m ³ /分を1基設置する。
余剰汚泥発生量	BODからの余剰汚泥生成率を0.5に、活性汚泥の減少率を0.05に、MLSSの80%がMLVSSと設定する。 0.5×126.86kg/日+139.86kg/日-0.05×427.53m ³ ×6.4kg/m ³ ≒66.48kg/日
引抜余剰汚泥量	66.48kg÷8,000mg/L×1,000≒8.31m ³ /日

5. 膜分離槽

: 平膜を使用し、膜フラックスは0.2m³/m²・日以下に設定する。膜ろ過の運転時間は24時間とし、運転サイクルを運転8分停止2分とする。膜1枚あたりの洗浄空気量は13L/分(メーカー推奨値10~15分)とする。
膜分離槽は、メンテナンスを考慮し、片肺運転ができるように複数系統とする。

膜分離水量	曝気槽流入汚水量-引抜余剰汚泥量 71.00m ³ /日-8.31m ³ /日≒62.69m ³ /日
必要膜面積	62.69m ³ /日÷0.2m ³ /m ² /日×(10分÷8分)≒391.81m ²
膜ユニット	膜面積120m ² のユニットを4基選定し2槽に2基ずつ配置する。 391.88m ² <(120m ² ×4基)=480m ² 2.6m×4.1m×4.0mHの膜分離槽2系統に設置し、各々に連成計、定流量ユニットを配置する。
活性汚泥必要空気量	膜分離槽の酸素溶解率を水深1mあたり1.0%と設定する。 空気、酸素量換算は0.28kg/m ³ とする。 膜分離槽の曝気時間は24時間とする。 45.79kg/日×(24/24時間)÷0.28kg/m ³ ÷(4m×1.0%) ÷24時間÷60分≒2.84m ³ /分
膜洗浄必要空気量	600枚×13L/分=7,800L/分=7.8m ³ /分 膜洗浄必要空気量が活性汚泥必要空気量を上回るためこちらを採用し、4.07m ³ /分を2基各膜分離槽に配置する。 2.84m ³ /分<7.8m ³ /分<8.14m ³ /分(4.07m ³ /分×2基)
処理水BOD	127.5kg/日×(1-0.995)≒0.64kg/日 0.64kg/日÷62.69m ³ /日×1,000≒10mg/L<30mg/L
処理水SS	140kg/日×(1-0.999)≒0.14kg/日

0. 14kg/日 ÷ 62.69m³/日 × 1,000 ≒ 2mg/L < 5 mg/L
 処理水硝酸性窒素等 27kg/日 × (1-0.95) ≒ 1.35kg/日
 1.35kg/日 ÷ 62.69m³/日 × 1,000 ≒ 22mg/L < 100 mg/L

6. 汚泥貯留槽 : 汚泥量の3日分の汚水を貯留できる容積とする。濃度の均一化と腐敗防止のために1m³/m³/時の曝気強度でエア-攪拌を行う。

必要容積 8.31 m³/日 × 3日 = 24.93 m³ < 25.2m³ (2m × 3m × 4.2mH)
 送風機の選定 25.2 m³ × 1m³ ÷ 30分 ≒ 0.84m³/分
 0.91 m³/分のブロワを選定し、30分毎の間欠運転を行う。

7. 汚泥脱水機 : 汚泥脱水機は1日の稼働時間を4時間となる機械を選定する。

必要能力 66.48 kg/日 ÷ 4時間 ≒ 16.62 kg/時
 処理能力 20 kg/時のベルトスクリーン型脱水機を選定する。
 脱水機洗浄水量 脱水機稼働時間4時間、洗浄水量20L/分、10秒運転、5秒休止運転とする。
 20L/分 × 4時間 × (10/15)秒 × 60分 ÷ 1000 ≒ 3.2 m³/日
 高分子凝集剤量 対象が余剰汚泥のためカチオン系高分子凝集剤の使用量は対SS比1.0%と設定する。
 66.48kg/日 × 0.01 ≒ 0.66 kg/日
 高分子凝集剤水量 粉末高分子を0.2%に高分子自動溶解装置にて調整する。
 0.66 kg/日 ÷ 0.002 ÷ 1000 ≒ 0.33 m³/日
 脱水ケーキ量 66.48kg/日 ÷ (1-0.85) ÷ 1,000 ≒ 0.44 m³/日 (水分率85%)
 脱離液量 8.31 m³/日 - 0.44 m³/日 + 3.2 m³/日 + 0.33 m³/日
 ≒ 11.40 m³/日 (3項第一調整槽還流分)

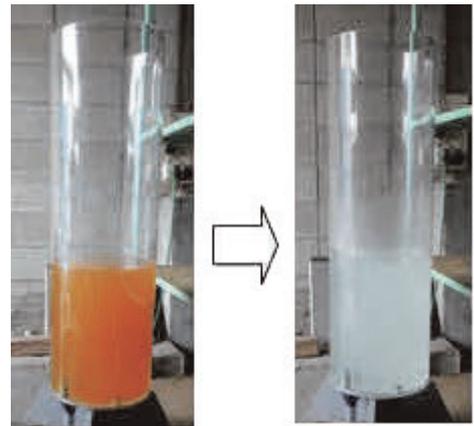
8. オゾン循環槽 (脱色槽) : 膜処理水を貯留しオゾンと処理水をファインバブル化させ脱色を行う。

滞留時間を1日とする。
 62.7m³/日 < 63.65m³ (4.8m × 3.4m × 3.9mH)
 必要オゾン量 試験機 (オゾン発生量8g/時) にて40Lの脱色に12分を要した
 ので必要オゾン量は、
 {8g/時 × (12分/60分) ÷ 40L} × 1000 × 62.69 m³/日
 ≒ 2,507g/日
 必要能力 2,507 g/日 ÷ 24時間 ≒ 104.4 g/時
 オゾン発生量140g/時の脱色装置を選定する。

9. 放流槽 : 滞留時間を1日とする。

62.69m³/日 < 63.49m³ (4.4m × 3.7m × 3.9mH)

12. 参考資料



ファインバブル式オゾン脱色社内試験機



実機導入例



脱色前



脱色中



脱色後

第 12 章

酪農用メタン発酵施設の メーカー設計事例

第 12 章のポイント

本章ではメタン発酵施設のメーカー設計事例を紹介する。確実な設計能力と実績を有するメーカーに執筆を依頼したが、これ以外にも多様な形式のメタン発酵施設が多くのメーカーから販売されている。

どのような形式の施設にも一長一短があり、現場の状況に合致する施設を慎重に選定することが重要である。

§ 12-1 メタン発酵施設の設計事例：個別型・湿式（搾乳牛200頭規模）
（株式会社 コーンズ・エージー）

個別型プラントでは最も導入事例の多い100頭～200頭規模を対象とした湿式・200頭規模の個別型バイオガスプラントの導入事例について紹介する。

○ 場所・導入のきっかけ

北海道清水町のT牧場では、バイオガスプラント導入前は、家畜ふん尿の利活用が行えていなかった。そこで、バイオマスの有効活用を目的として、2014年にメタン発酵処理施設を導入した。良質な液体肥料である消化液の生産、バイオガスの利用による発電・発熱（場内利用）だけでなく、メタン発酵後の消化液を固液分離することにより得られる固形物からの敷料生産を行うことで、エネルギーの自給自足、肥料の生産、購入敷料の補完を目的とした。

○ バイオガスプラントの概要

乳用牛180頭をフリーストール牛舎で飼育しており、毎日、約12tの乳牛ふん尿等が排出されている。プラントは、搾乳牛200頭規模の乳牛ふん尿を対象として、①原料貯留設備、②メタン発酵設備（中温発酵）、③固液分離・敷料化設備、④液肥貯留設備、⑤ガス貯留設備、⑥ガス除湿・脱硫設備、⑦ガス利用設備（発電機、ボイラー）により構成されている。発生したバイオガスは発電機（25kW）及びバイオガス専焼ボイラーに供給され、発生したエネルギーは全てプラントや牧場内で利用している。

メタン発酵消化液を固形分と液分に分離し、それぞれ再生敷料と液肥として牧場内で有効利用している。再生敷料を導入することで、敷料購入費が削減され、また、外部からの乳房炎誘因菌の持ち込みも抑えられる。

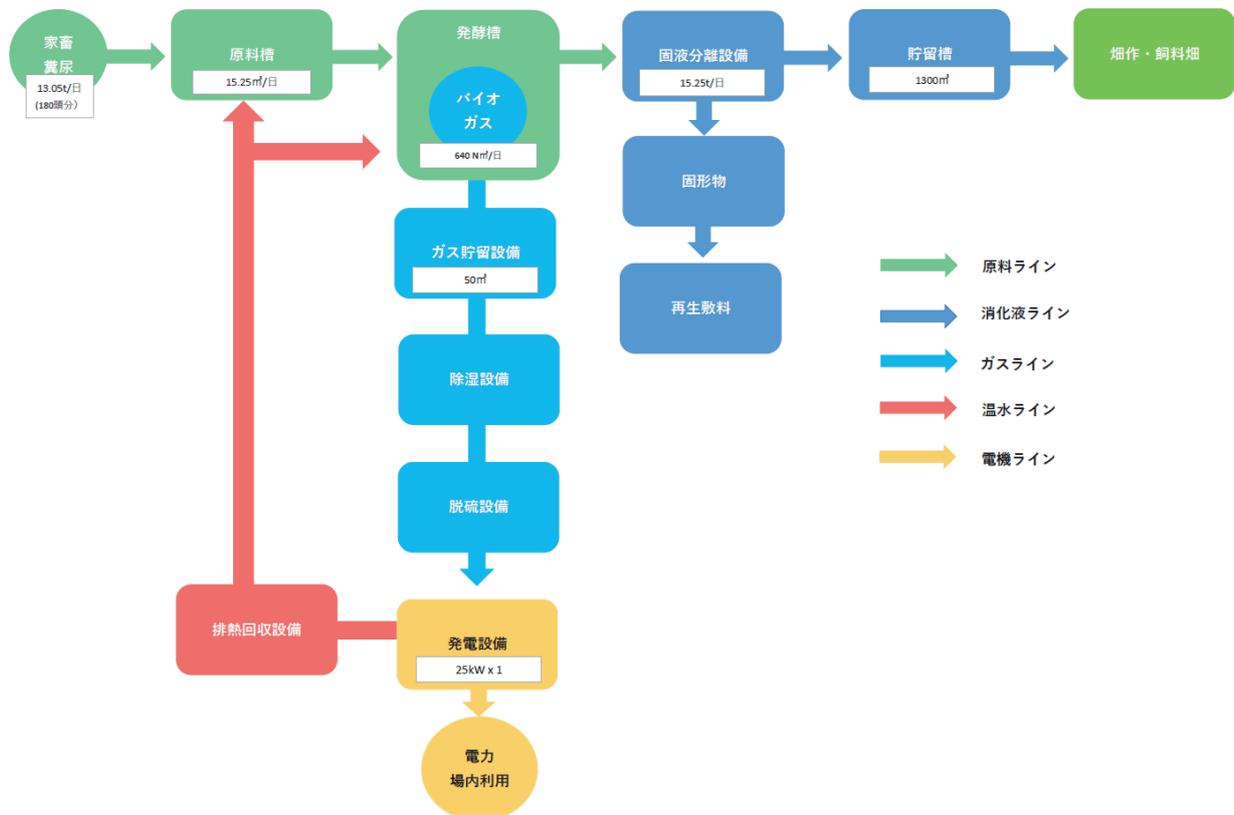


図 1.T 牧場バイオガスプラントフロー



図 2. ガス貯留施設（左）および発酵槽（右）



図 3. ガス精製・ボイラー室および発電機

§ 12-2**メタン発酵施設の設計事例：個別型・湿式（搾乳牛300頭規模）****（株式会社 コーンズ・エージー）**

乳牛ふん尿を対象とした湿式・300頭規模の個別型バイオガスプラントの導入事例について紹介する。

- 1) 運用方法；個別型
- 2) 施設規模；乳牛 300 頭規模
- 3) 処理方法；湿式

○ 場所・導入のきっかけ

K 牧場は、札幌市厚別区と北広島市に隣接する地域で、団地とは直線距離で 500m 程度に位置している。牧場の東側に直線距離で 900m の位置に高校がある事からも、環境配慮が求められる。このため、糞尿の適正管理、臭気対策等の環境対策を図る必要がある。バイオガスプラントでは、良質の液肥として農地に還元可能、また、メタン発酵消化液から再生敷料を製造可能とすることで資源の循環、酪農経営の安定が可能であることが導入のきっかけとなっている。

- ・所在地：北海道江別市
- ・運用開始年：2012 年
- ・規模（搾乳牛）：300 頭規模
- ・バイオガスプラント所有形態：K 牧場
- ・バイオガスプラント運営形態：K 牧場

○ バイオガスプラントの概要

本プラントは搾乳牛 300 頭規模の糞尿を対象としており、①原料貯留設備、②メタン発酵設備、③固液分離・敷料化設備、④液肥貯留設備、⑤ガス貯留設備、⑥ガス除湿・脱硫設備、⑦ガス利用設備（ボイラー）により構成されている。発生したバイオガスは、バイオガス専焼ボイラーに供給され（FIT 法施行後に 75kW 発電機を設置し、売電を行っている）、発生した熱エネルギーは全てプラントや牧場内で利用している。

本プラントでは、メタン発酵消化液を固形分と液分に分離し、それぞれ再生敷料と液肥として牧場内で有効利用している。再生敷料を導入することで、敷料購入費が削減され、また、外部からの乳房炎誘因菌の持ち込みも抑えられる。

導入事例 システムフロー(搾乳牛300頭規模のバイオガスプラント)

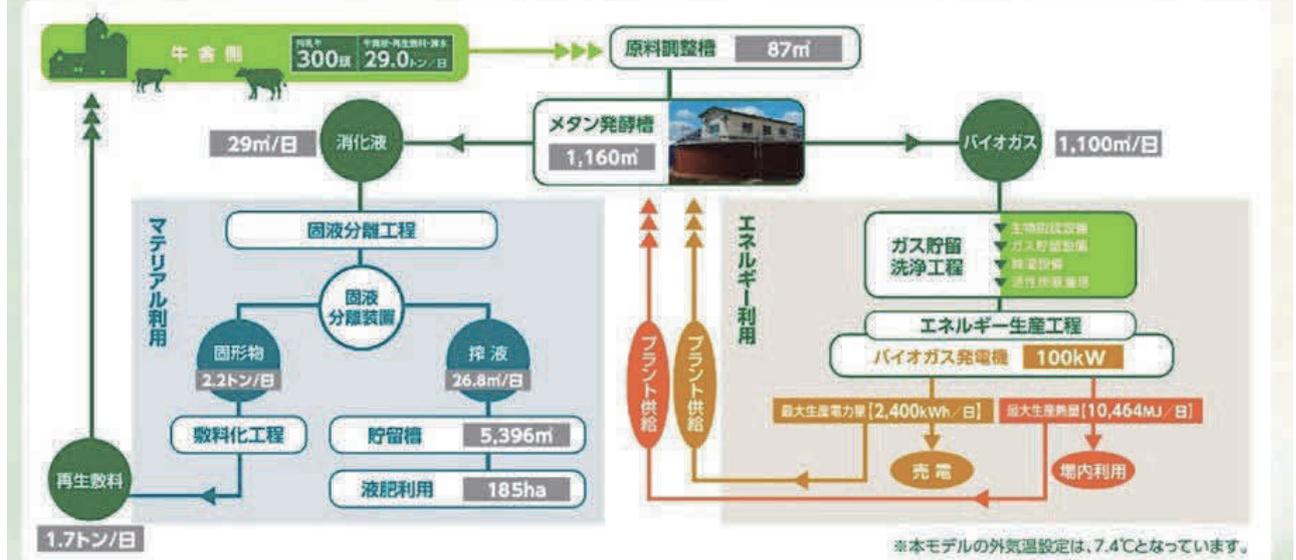


図1. K牧場バイオガスプラントフロー



図2. 原料槽



図3. 発酵槽



図4. 固液分離機 (消化液対象)



図5. 貯留槽

本項では、道北地帯のメガファームに設置された個別型バイオガスプラントの導入事例について紹介する。

- 1) 運用方法；個別型
- 2) 施設規模；乳牛 500 頭規模
- 3) 処理方法；湿式

○ 場所・導入のきっかけ

北海道エア・ウォーター株式会社は、2010年に江別町のK牧場へ国内初となる再生敷料技術を紹介・導入支援した実績があり、メタン発酵消化液の有効利用技術を伴ったバイオガスプラントの提案を受けた。施工当時、厳寒地である道北ではバイオガスプラントの導入例は少なかったが、当牧場ではふん尿を散布した際の臭気の低減や、良質な敷料および液体有機肥料を確保したいといった要望があったため導入に至った。当時猿払村ではFIT制度が利用可能であったため、売電による大きな収入が見込めたことも導入を後押しする大きな要因となった。

- ・所在地：北海道猿払村
- ・運用開始年：2013年
- ・規模（搾乳牛換算）：500頭
- ・バイオガスプラント所有形態：K社
- ・バイオガスプラント運営形態：K社、O社（メンテナンス対応）

○ バイオガスプラントの概要

搾乳牛500頭のふん尿を対象としたバイオガスプラントである。発生したバイオガスは発電機（100kw）及びボイラ（109kw）に供給され、発生したエネルギーはプラントや牧場内で利用し、余剰分は売電している。

大きな特徴として生物脱硫槽の導入が挙げられる。一般的なバイオガスプラントでは生物脱硫は発酵槽上部に生息させた硫黄酸化細菌の働きにより行われており、微生物生息域が発酵槽内に位置するため、メンテナンスが困難であった。本プラントの生物脱硫は発酵槽から独立した槽を外部に設け、槽内の担体に硫黄酸化細菌を接種している。独立した槽を採用することにより、メンテナンスが容易となった。生物脱硫槽の内部は45℃に維持する必要があるが、このための熱源としてバイオガスプラントより発生した余剰熱を用いている。もう一つの特徴は施工当時、全道では例の少なかった固液分離機の導入である。本プラントではメタン発酵後の消化液は固液分離機により、固形分と液分に分離され、それぞれ再生敷料と液肥として牧場内で有効利用される。再生敷料を導入することにより、敷料の購入費が抑えられるほか、原料への藁の混入が少なくなり、プラント内の機器の負担が抑えられている。本技術は現在、北海道の一般的なものとして普及している。

なお、本プラントの発酵槽には斜め式攪拌機を採用しており、攪拌機1台のみで発酵槽内を均一に混合することができる。このことにより、発酵槽内の液面に発生するスカムの液内への引き込みが容易となり、少ない動力による省エネかつ高効率な攪拌が可能となっている。

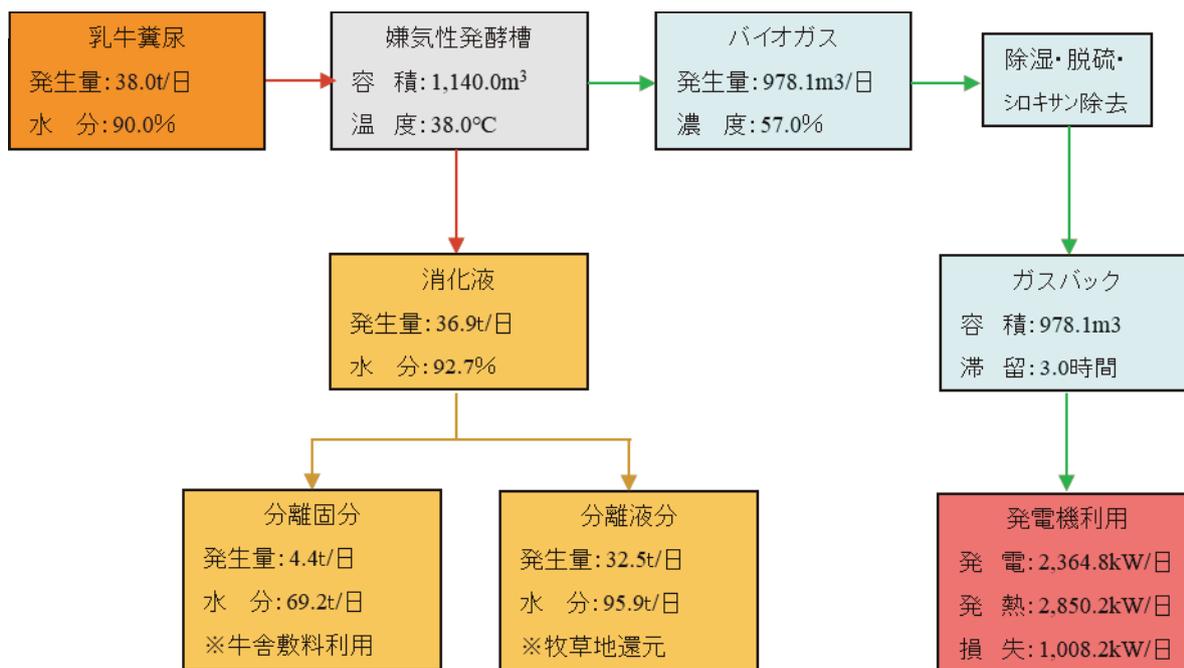


図1. 北の大地バイオガスプラントのフロー

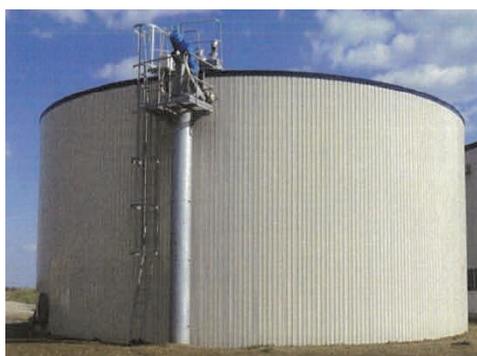


図2. メタン発酵槽



図3. 固液分離機



図4. 発電機



図5. バイオガスボイラ



図 6. 生物脱硫槽



図 7. ガスバック

§ 12-4 **メタン発酵施設の設計事例：個別型・湿式（搾乳牛600頭規模）**
（株式会社 土谷特殊農機具製作所）

本項では、メガファームと呼ばれる、大規模農家に設置された個別型バイオガスプラントの導入事例について紹介する。

- 1) 運用方法；個別型
- 2) 施設規模；乳牛 600 頭規模
- 3) 処理方法；湿式

○ 場所 導入のきっかけ

バイオガスプラント導入のきっかけの多くは、糞尿散布時の臭気対策、雑草の種子対策等、良質な肥料を散布することが目的となっている。SR 社も同様の課題を抱えており、別農家を中心にバイオガスプラントの導入実績を増やしている株式会社土谷特殊農機具製作所から提案を受け、FIT 制度が決め手となり導入に至った。搾乳牛の糞尿（液肥）以外にも乾乳牛、育成牛の糞尿、敷料、残餌等を固分粉碎装置で 16 トン/日投入している。それにより、300kw/h 発電に必要なガス量を確保している。従来は、液肥化と堆肥化の両方を行っていたが、導入後はすべて液肥として畑に散布することが可能となる。

- ・所在地：北海道湧別町
- ・運用開始年：2019 年
- ・規模（搾乳牛換算）：600 頭規模（搾乳牛 470 頭、乾乳牛 70 頭 育成牛 250 頭）
- ・バイオガスプラント所有形態：SR 社
- ・バイオガスプラント運営形態：SR 社、
- ・株式会社土谷特殊農機具製作所（メンテナンス対応）

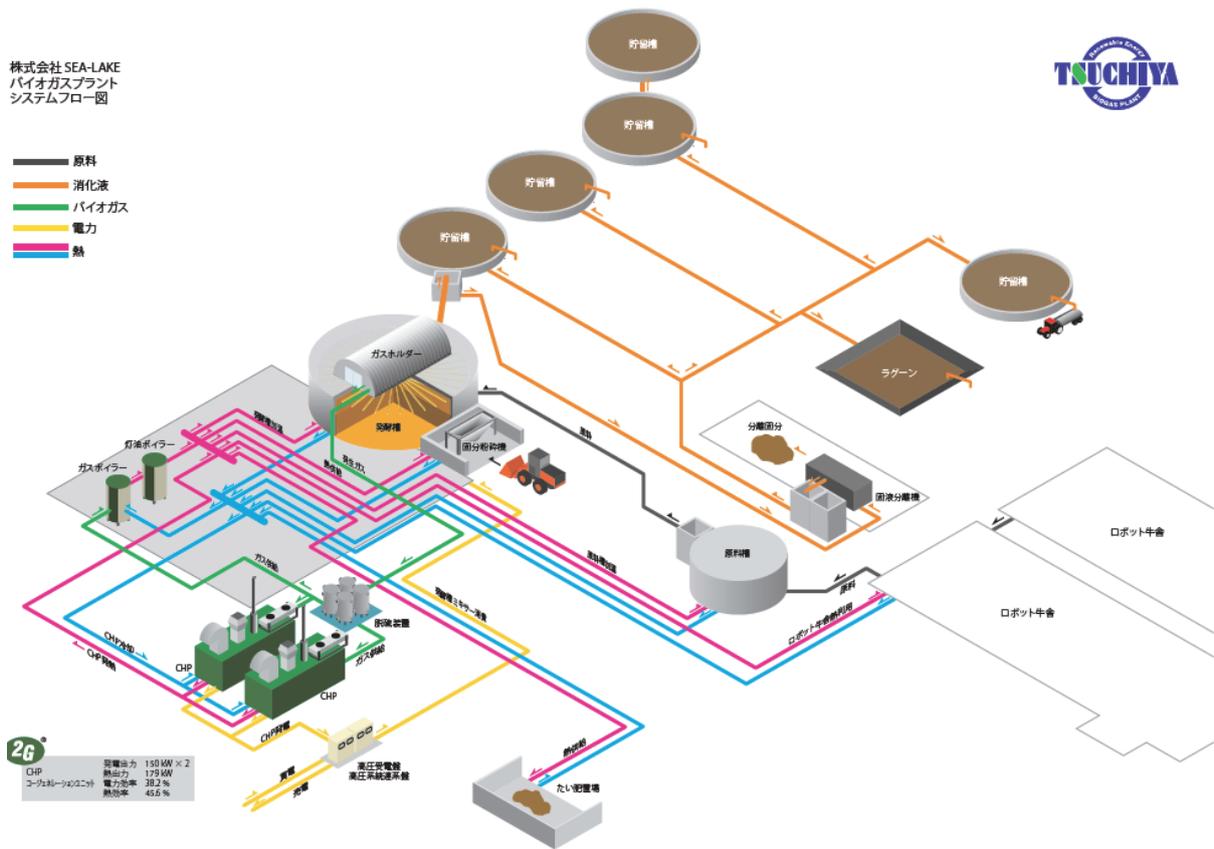
○ バイオガスプラントの概要

搾乳ロボット牛舎から移送された糞尿は、プラントから発生する熱により加温されている原料受入槽に投入される。槽内では原料を均一化するために攪拌・加温を行い、その後発酵槽に移送される。また農場内で生じる残滓などの固分は固分粉碎機に投入され粉碎されると同時に、発酵槽内から戻した消化液とミキシングされ発酵槽に投入される。発酵槽は最適な発酵状態が保たれるよう自動制御され中温発酵処理が行われる。発生したバイオガスは除湿・脱硫処理され CHP ユニットとガスボイラに供給される。CHP ユニット(150kw×2 台)はバイオガスから効率よく電力と熱エネルギーを生成し、電力は売電され熱エネルギーは発酵槽等プラント内の各所の加温に使用される。処理後の消化液は有効な液肥として圃場に散布される。

株式会社 SEA-LAKE
バイオガスプラント
システムフロー図



- 原料
- 消化液
- バイオガス
- 電力
- 熱



26

CHP	原動力	150 MW × 2
コージェネレーション	熱出力	179 MW
	電力効率	32.2%
	熱効率	45.6%

図 1. SR 社バイオガスプラントのフロー



図 2. 固分粉碎机 投入部



図 3. 固分粉碎机 ミキシング部



図 4. 発酵槽内部



図 5. バイオガスボイラ



図 6. CHP ユニット



図 7. ガスホルダ

§ 12-5 **メタン発酵施設の設計事例：共同利用型・湿式（搾乳牛 1500 頭規模）**
（株式会社 土谷特殊農機具製作所）

本項では、乳牛ふん尿を対象とした個別型バイオガスプラントの導入事例について紹介する。

- 1) 運用方法；共同利用型
- 2) 施設規模；乳牛 1500 頭規模
- 3) 処理方法；湿式

○ 場所・導入のきっかけ

新得町農業協同組合は、新得町内の家畜ふん尿を適正に処理するモデル化とそこから得られる再生可能エネルギー（発電 熱利用 液肥）の利用により、環境にやさしいまちづくりを先進的に取り組むために、S 町農業協同組合とバイオガスプラント近隣で温泉施設を営む事業者および糞尿の適性を求めた農事組合法人の三社が出資をおこないプラント建設の計画を行った。

所在地：北海道新得町

運用開始年：2017 年

規模（搾乳牛換算）：1500 頭

バイオガスプラント所有形態：十勝新得バイオガス株式会社（新得町）

バイオガスプラント運営形態：十勝新得バイオガス株式会社（新得町）

株式会社土谷特殊農機具製作所（メンテナンス対応）

○ バイオガスプラントの概要

本プラントは、成牛換算で約 1,500 頭分の糞尿の処理を行うバイオガスプラントであり、近隣の 5 件の酪農家の糞尿を受入れ嫌気性発酵処理を行う集中型バイオガスプラントである。各農場から運搬された糞尿は、プラントから発生する熱により加温されている原料受入槽に投入される。槽内では原料を均一化するために攪拌・加温を行い、その後発酵槽に移送され中温発酵処理が行われる。発生したバイオガスは除湿・脱硫処理され CHP ユニットとガスボイラに供給される。CHP ユニットはバイオガスから効率よく電力と熱エネルギーを生成し、電力は売電され熱エネルギーは発酵槽等プラント内の各所の加温に使用されるとともに、近くの温泉施設へ供給されている。処理後の消化液は固液分離機により固分と液分に分離処理を行い、固分は再生敷料として酪農家で使用され、液分は液肥として酪農家、畑作農家の圃場に散布されており地力維持向上が期待されている。



図 6. CHP ユニット



図 7. 貯留槽

§ 12-6 メタン発酵施設の設計事例：共同利用型・湿式（搾乳牛3000頭規模） （株式会社コーンズ・エージー）

本項では、乳牛ふん尿を対象とした個別型バイオガスプラントの導入事例について紹介する。

- 1) 運用方法；共同利用型
- 2) 施設規模；乳牛 3000 頭規模
- 3) 処理方法；湿式

○ 場所・導入のきっかけ

家畜ふん尿の適正管理、臭気対策、酪農経営に起因する環境対策を図る必要があることから、平成 19 年に鹿追町市街地周辺酪農家を対象とした集中型バイオガスプラント（中鹿追バイオガスプラント）を整備し、廃棄物の適正化処理とバイオマス資源の有効活用を図ってきた。

基幹産業である農業のさらなる生産性向上を推進していくとともに地域循環型社会の実現を図り、エネルギーのさらなる有効活用を推進していくため地域からの要望があった瓜幕地区に本施設を整備する運びとなった。

- ・所在地：北海道鹿追町
- ・運用開始年：2016 年
- ・規模（搾乳牛）：3,000 頭規模
- ・バイオガスプラント所有形態：鹿追町
- ・バイオガスプラント運営形態：鹿追町瓜幕バイオガスプラント利用組合

○ バイオガスプラントの概要

本プラントは搾乳牛 3000 頭規模の糞尿を対象としており、①原料受入工程、②嫌気性発酵工程、③消化液衛生処理工程、④消化液貯留工程、⑤バイオガス除湿工程、⑥バイオガス除湿工程、⑦バイオガス貯留工程、⑧発電熱工程により構成されている。発生したバイオガスは、バイオガス混焼発電機（250kW×4 台設置）に供給され、発生した熱エネルギーは全てプラントで利用し、発電電力は FIT 法に則り売電を行っている。

消化液衛生処理工程では、消化液の殺菌を行っており（55℃×7.5 時間）、衛生処理終了後の消化液からヒートポンプにより熱回収を行っている（衛生処理終了後消化液の移送配管にヒートポンプシステム設置）。

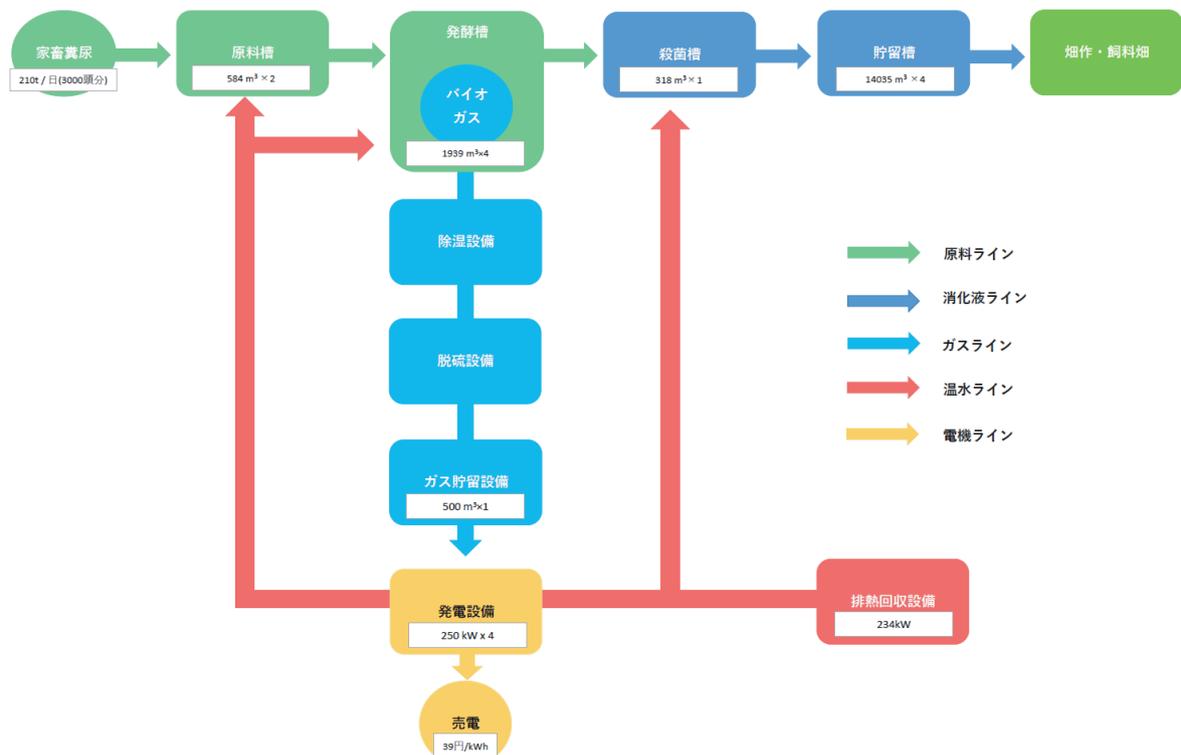


図1. 鹿追町瓜幕バイオガスプラントフロー



図2. 原料投入棟



図3. 原料槽



図4. 発酵槽



図5. 殺菌槽



图 6. 貯留槽



图 7. 発電機

§ 12-7 メタン発酵施設的设计事例：個別型・乾式（搾乳牛100頭規模） （エア・ウォーター北海道株式会社）

本項では、乳牛ふん尿を対象とした個別型バイオガスプラントの導入事例について紹介する。

- 1) 運用方法；個別
- 2) 施設規模；乳牛 100 頭規模
- 3) 処理方法；乾式

○ 場所・導入のきっかけ

北海道の酪農家戸数は約 6,200 戸あり、そのうち 75%に相当する約 4,700 戸が飼養頭数 100 頭未満の「小規模酪農家」である。これまでに、小規模酪農家の多くが乳牛ふん尿のメタン発酵に興味を示していたが、トラブルを発生しやすい麦稈（麦わら）を敷料として多量に用いていること、小規模であるが故にコストメリットが得られない、売電できる環境が整っていないなどの理由から、戸別プラントの開発が見送られてきた。そのため、小規模酪農家向けのエネルギー自給型の乾式バイオガスプラントを開発した。

- ・所在地：北海道清水町
- ・運用開始年：2019 年
- ・規模（搾乳牛換算）：100 頭
- ・バイオガスプラント所有形態：H 社
- ※バイオガスプラント運営形態：H 社、北海道エア・ウォーター株式会社が運営（2019 現在）

○ バイオガスプラントの概要

本プラントは、これまでに導入が進んでこなかった乳牛飼養頭数 100 頭前後の小規模酪農家（つなぎ飼ひ牛舎）に適したバイオガスプラントの実用化を目指すもので、清水町の酪農家を研究フィールドとして開発に取り組んでいるものである。本プラントにおいては、麦稈等の長い繊維が混合した乳牛ふん尿を適切に処理できる前処理設備と鋼製円筒横型発酵槽を導入し、発生したバイオガス（メタン約 58%）の一部から高純度メタンガス（メタン 95% 以上）を製造する。

バイオガスは発電機に供給し、三相 200V の動力用電源を生成し、電気と温水を牛舎に供給する。一方、高純度メタンは燃料電池に供給して单相 100V の電灯電源を生成して住宅および電気自動車に電気・熱を提供する。

また、蓄電池なども設置してエネルギーの最適化や再配分を検討するとともに、副産物であるメタン発酵消化液や発酵固形残渣を酪農家の代替肥料、再生敷料として活用する。

本プラントの最大の特徴は、バイオガスによって酪農家が使用する電気・熱の一部を自給できるシステムであることである。国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）事業（ベンチャー企業等による新エネルギー技術革新支援事業「小規模酪農家向けのエネルギー自給型乾式メタン発酵システムの開発」（2018～2020 年））では、安定的な長期連続運転や製造コストの低減など検証し、実用プラントの完成を目指している。本システムを中山間地域のエネルギー分散型基地として普及させることで、酪農家の営農コストの低減のみならず地産地消エネルギーの推進と CO2 排出量削減へ寄与することを目指している。

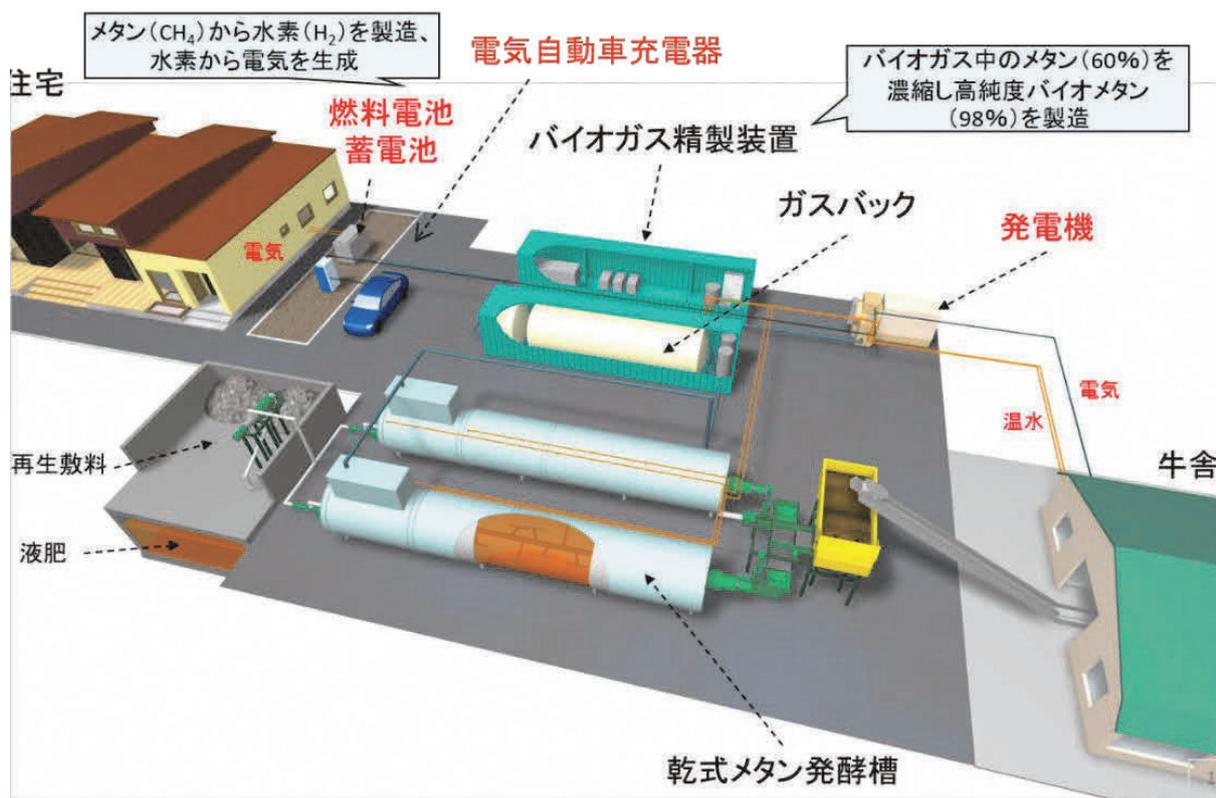


図1. 乾式メタン発酵システムの概要



図2. 発酵槽



図3. 生物脱硫槽



図4 原料受入れ機器



図5 原料破砕機



図 6. バイオガス発電機



図 7. 燃料電池・電気自動車充電器

第 13 章

用 語 解 説

ア行

亜硝酸性窒素（＝亜硝酸態窒素）（ $\text{NO}_2\text{-N}$ 、nitrite nitrogen）

アンモニア性窒素がアンモニア酸化細菌（ニトロソモナス属やニトロスピラ属などに属する細菌等）によって酸化されて亜硝酸態窒素が生成される。

アンモニア性窒素（＝アンモニア態窒素）（ $\text{NH}_4\text{-N}$ 、ammonia nitrogen）

ふん尿中の有機性窒素の酸化分解により最初に生成する無機窒素化合物で、汚水中窒素の主成分。また処理水に残留すると、塩素消毒の効果が低下する。

エアリフトポンプ（air-lift pump）

揚水管のなかに圧縮空気を送り込んで空気とともに水を揚水する原理のポンプ。通常の機械式ポンプが汚水中の夾雑物により損傷しやすい場合や、送液中に活性汚泥フロックが機械式ポンプのインペラ（羽根車）の回転剪断力で微細化するのを避けたい場合などに利用する。

越流負荷（weir loading）

沈殿槽の越流せきの単位長さあたりに流出する水量（ $\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{日}$ ）。沈殿汚泥の舞い上がりを防ぎながら沈殿槽内の上澄水を越流させるために上限値が定められている。

塩素消毒

固形塩素消毒剤を処理水に溶解させ水中の有害微生物を低減させる工程。消毒後の残留塩素濃度を 0.2mg/L 程度にする。処理水 1 m^3 当たり約 7 g の市販消毒剤が必要となる。

汚泥滞留時間（SRT：sludge retention time）

汚水処理施設においては、反応槽内の汚泥濃度を一定範囲内に保つために、余剰となる生成汚泥を処理系外に抜き出して脱水処分する必要がある。この操作により反応槽内の汚泥が理論上置き換わるまでの時間を汚泥滞留時間という。硝化活性を維持するためには、水温が低下するほど長時間の SRT にする必要がある。

汚泥沈殿率（SV：sludge volume）

現場でおおよその活性汚泥濃度を把握するための指標。曝気液を採取し、1 リットルのメスシリンダーに投入し、30 分間で沈殿した汚泥の割合を百分率で表す。

カ行

回分式活性汚泥法（SBR；sequencing batch reactor）

回分式活性汚泥法は、1 つの反応槽で、汚水投入、曝気、静置（沈殿）、上澄水（処理水）排出のサイクルを繰り返しながら処理する方法。汚水投入時や沈殿時に無酸素状態となるた

め脱窒効果が期待できること、沈殿時間を長くとれるため汚泥の分離が良好になること、1つの槽で曝気槽と沈殿槽を兼ねるので装置の構造が単純なことなどの特徴がある。

化学的酸素要求量 (COD : chemical oxygen demand)

汚水中の有機物濃度を知る指標として用いられる。汚水を酸化剤の過マンガン酸カリウムと混ぜて、100℃で30分煮沸したときに、過マンガン酸カリウム中の酸素の減少量を測る。なお、水質汚濁防止法では、海域または湖沼へ放流する場合はBODの代わりにCODが規制項目となる。

活性汚泥浮遊物質 (MLSS)

活性汚泥法処理施設の反応槽混合液1L中に含まれる活性汚泥の乾物重量(mg)。曝気槽内の微生物濃度の指標となる重要な項目である。

活性汚泥法 (activated sludge process)

生物学的汚水浄化処理法の一つで、畜産分野では最もポピュラーな処理方式。浄化効果が高く沈降性の優れた微生物群の凝集塊(フロック)を活用する。活性汚泥フロックには、細菌、原生動物、後生動物など多種類の微生物が含まれており、十分な曝気と適量の有機物負荷により良好な状態に保持される。

過負荷 (overload)

汚水浄化処理において、処理施設の浄化機能の限界を超える水量や、汚濁物質が投入された状態。この状態が継続すると処理水質は悪化する

機械脱水 (mechanical dehydration)

余剰汚泥の脱水や汚水の凝集分離処理に用いる固液分離方式。高分子凝集剤の添加が不可欠。

希釈水

活性汚泥処理後の放流直前に投入される清水のこと。処理施設の主要機器が故障しその修理に時間を要するような場合の緊急避難として汚濁物質濃度を規制値以下に低下させる等の場合に利用する。反応槽流入直前の汚水に投入される清水は本マニュアルでは投入水と呼び、希釈水とは区別する。また、畜舎内で混入するこぼれ水、遊び水、洗浄水等は本マニュアルでは混入水と呼ぶ。

凝集剤 (coagulant)

汚水に添加し、目標物質を不溶化・フロック化し除去する場合に使用する薬剤。主にリンの除去に利用される無機凝集剤と、余剰汚泥の脱水に使用される高分子凝集剤(ポリマーと略称される)とがある。無機凝集剤にはリン酸と結合する鉄塩、またはアルミニウム塩が含まれる。高分子凝集剤はアクリルアミド、アクリル酸等を重合して製造される。2017年11

月から、指定された凝集促進材（凝集剤と同義）を含む汚泥が材料として使われた堆肥も特殊肥料として取り扱えることになった。

凝集分離汚水

汚水浄化処理の工程で、凝集剤による固液分離処理（前搾り）を行った後の汚水。一般用語ではなく、本マニュアルにおける便宜的な用語である。

クリプトスポリジウム (cryptosporidium)

人間や動物（ウシ、ブタ、イヌ、ネコ等）の消化管内で増殖する原虫の属名。感染した動物の糞便に混じって環境中に排出され、種類によっては経口摂取することにより人に感染症被害が生ずる。クリプトスポリジウムは塩素消毒に対して耐性がある。膜分離活性汚泥法では分離膜で除去できる。

原生動物 (protozoa)

真核をもつ単細胞生物で細菌類を捕食している。鞭毛虫類(ミドリムシ、トリコモナスなど)、肉質虫類(アメーバ、タイヨウチュウなど)、繊毛虫類(ラッパムシ、ツリガネムシなど)などが浄化処理ではよく見られる。繊毛虫類が多い場合は良好な活性汚泥と判断される

高分子凝集剤 (polyelectrolyte)

ポリマーとも呼ばれる。汚水処理において、余剰汚泥や汚水中の固形物の脱水処理に用いられる。畜産分野では通常陽イオン（カチオン）性のものが使用される。

混入水

豚舎内で意図せずに汚水に混入する清水のこと。飲水器からのこぼれ水、遊び水、洗浄水、雨水などがある。

サ行

細菌 (bacteria)

浄化処理の主役。有機栄養細菌は汚水中の有機性汚濁物質を分解して増殖する。また、硝化細菌と脱窒細菌により窒素が除去される。活性汚泥中では原生動物や後生動物とともにフロック状で存在する。

最終沈殿槽 (final sedimentation tank)

一連の汚水浄化処理システムの最終工程で、活性汚泥を沈殿分離して清澄な処理水を得るために用いる。

再生敷料

バイオガスプラントで生産された消化液の新たな利用方法として、2012年以降に普及が始まった。消化液を固液分離した後、固形分を堆積・切り返して好気性発酵させオガクズなど

の代替の敷料とする。

色度 (chromaticity)

水の着色度合いを示す指標で、標準物質を使用した比色法で測定する。着色成分は無害ではあるが、COD を高める性質があるため湖沼や海域へ放流している事業場で COD の規制が適用されている場合は色度除去が必要になる場合も有る。また、正常な処理がなされた処理水でも色度が高い場合があり、近隣住民から未処理汚水と誤解される原因になることがある。

硝化 (nitrification)

好気的な環境において硝化菌によってアンモニア (NH_3) が亜硝酸 (NO_2) さらに硝酸 (NO_3) に酸化される反応。汚水処理過程においては脱窒の前段階の反応過程であり、硝化が進まない限り後段の脱窒が進行しない。

消化液

家畜排せつ物を嫌気発酵槽に投入してメタン発酵した後の液状残渣のこと。アンモニアを高濃度に含む液状肥料として牧草地などで利用される。

硝化細菌 (nitrifying bacteria)

アンモニア酸化細菌、亜硝酸酸化細菌の2種類の細菌群で、汚水中アンモニアを硝酸にまで酸化する。炭酸ガスを唯一の炭素源として細胞合成を行う独立栄養性細菌。最適水温はおよそ 35°C で、 15°C 以下では温度低下とともに急激な活性低下を示す。

硝酸性窒素 (=硝酸態窒素) ($\text{NO}_3\text{-N}$, nitrate nitrogen)

亜硝酸性窒素が、亜硝酸酸化細菌によって好気的に酸化されて生成される無機窒素化合物。水質汚濁防止法の規制項目である「アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物及び硝酸化合物」の略称である「硝酸性窒素等」とはまったく異なる意味なので注意が必要である。

硝酸性窒素等

水質汚濁防止法に基づき人体（特に乳幼児）への健康被害を防ぐことを目的に、「アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物及び硝酸化合物」が規制項目の一つになっている。この名称は大変長いため、「硝酸性窒素等」と略される場合が多い。前項の硝酸性窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) とは全く異なるので注意を要する。

振動ふるい (vibration sieve)

汚水処理の最初の工程で夾雑物除去に用いられる機器。ふるいを振動させて閉塞を防ぎながら夾雑物を篩別する。

水素イオン濃度指数 (pH)

溶液の酸性・アルカリ性の程度を示す物理量で、pH (ピーエッチ、またはペーハーと読む) で表す。中性液は pH7、で、酸性液は7よりも小、アルカリ性液は7よりも大きい。

水理学的滞留時間 (HRT: hydraulic retention time)

汚水浄化処理施設において、反応槽における汚水の滞留時間を示す。仮に 100m³ の反応槽を持つ浄化処理施設に 1 日あたり 10m³ の排水が流入する場合は HRT10 日となる。

スカム (scum)

反応槽や沈殿槽で固形物が表層に浮上して層状になったもの。浮上したまま乾燥が進むと硬化して処理の妨げになる。また悪臭発生の原因にもなる場合もある。スカムの発生原因は明確になっていない。予防策として、沈殿槽の場合はスカムスキマーの設置が選択肢になる。反応槽では槽内液をノズルから水面に噴射して破碎する手法も利用されている。

スクリーン (screen)

排水に含まれる夾雑物を篩別除去する装置の総称。傾斜スクリーン、振動ふるい、ドラムスクリーン等がある。

精製装置 (バイオガス精製圧縮充填装置)

バイオガスを都市ガス規格に精製し、ポンペに充填し、農業農村地域における分散型エネルギーとして活用するシステムの基幹装置である。精製方式は、膜分離方式と吸着剤による分離方式に大別されるが、畜産分野では膜分離方式の採用例が多い。都市ガス相当の精製ガスに改質する機能を有する。

生物化学的酸素要求量 (BOD: biochemical oxygen demand)

汚水中の易分解性有機物濃度の指標として用いられる。好気性微生物が水温 20℃で 5 日間に有機物を分解する際の酸素消費量を示す。汚水処理施設の設計や処理水質の評価に用いる重要な水質項目である。

精密ろ過膜 (microfiltration membrane)

膜分離活性汚泥法で一般的に用いられる膜で、ろ過孔径はおよそ 0.1~0.4 μm 程度のものが多い。膜の形状として、平膜型や中空糸型がある。

全窒素 (total nitrogen)

無機性窒素と、有機性窒素の総量。無機態窒素は、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝性窒素であり、有機性窒素は、タンパク質、アミノ酸、ポリペプチド、および尿素などに含まれる窒素をいう。

全りん (total phosphorus)

無機態りんと有機態りんの総量。JIS K 0102「工場排水試験方法」では、ペルオキシ二硫酸カリウム分解、硝酸一過塩素酸分解、又は硝酸一硫酸分解によって試料中の有機物などを分解し、この溶液についてりん酸イオンを定量し、全りん濃度を求める。

送風機 (ブロワ、blower)

反応槽の曝気に使用する装置。ルーツブロワが使用される場合が多い。畜産分野ではブロワ以外にも、水中エアレーターやスクリー式エアレーターなども利用される。

タ行

大腸菌 (*Escherichia coli*、*E. coli*と記される場合もある)

家畜腸内の常在細菌でふんとともに汚水中に移行する。0-157株のように毒性を有する菌株が出現する場合もあるので、処理水の消毒は重要である。水質汚濁防止法では、大腸菌単独ではなく大腸菌とその他の属を含む大腸菌群の菌数が規制項目となっている。

大腸菌群 (coliform group)

ふん便汚染または腸管系病原菌の汚染指標として最も一般的に用いられている菌群。大腸菌の他に *Citrobacter*、*Klebsiella*、*Enterobacter*、*Aeromonas* 等が含まれる。水質汚濁防止法の排水基準として日間平均 3000 個/cm³ 未満と定められている。

脱水ケーキ (dewatered cake)

余剰汚泥や汚水の機械脱水によって発生する非流動性の固形分。畜産農業では脱水ケーキは堆肥化施設に投入し、ふんとともに堆肥化する。脱水に使用した凝集剤(指定された凝集促進材)が堆肥に含まれても特殊肥料としての扱いが許容されている。

脱窒 (denitrification)

亜硝酸又は硝酸が無酸素条件下で脱窒細菌によって還元され、窒素ガスに変化し、液中から除去される反応。窒素化合物はガス態窒素として大気中へ放散される。この反応が進むためには酸化状態の窒素分子を還元するための有機物または硫黄などの電子供与体が必要。

中空糸膜 (hollow fiber membrane)

無数の超微細孔をもつストロー状の合成樹脂製の中空繊維。内径は 0.1~0.4 mm 程度である。中空糸膜を組込んだユニット(モジュール)は見かけ容積あたりの膜面積が大きいという特徴がある。

透視度 (transparency)

排水の濁りの程度を示す指標。測定は、白色円板に黒線で二重十字を刻んだ標識板を底部に入れた下口付きシリンダー(透視度計)を用いて行う。透視度計に試料を入れ、上部から透視し、底部においた標識板の二重十字が初めて明らかに識別できるときの水層の深さを測り、10mm を1度として表す。

投入水

本マニュアルでは汚水処理施設において、汚水が曝気槽に流入する直前で添加される清水(井戸水等)のことを投入水と呼ぶ。この添加は活性汚泥処理を順調に進める観点から行な

うもので、処理施設の種類によっては投入水の使用を前提として設計がなされているものもある。

特殊肥料

特殊肥料とは、「肥料の品質の確保等に関する法律」に規定された普通肥料以外の肥料であり、(1) 魚かす等の農家の経験等によって識別のできる簡単な肥料、(2) 堆肥等の肥料の価値又は施肥基準を含有主成分量に依存しない肥料など、現在は46の肥料が指定されている。指定されている特殊肥料については独立行政法人農林水産消費安全技術センター(FAMIC)の下記ホームページで確認できる。

<http://www.famic.go.jp/ffis/fert/kokuji/25k0177.html>

特定施設

水質汚濁物質を排出する可能性が高い施設として水質汚濁防止法の中で定められている。畜産農業では、一定面積以上の豚房、牛房、馬房が特定施設にあたる。特定施設の設置された事業場(特定事業場)から排水を公共水域に流す際には排水基準を順守する必要がある。

特定事業場

水質汚濁防止法に定められた特定施設を設置した事業場を特定事業場と呼ぶ。特定事業場は水質汚濁防止法の適用対象となる。

ナ行

生污水

豚舎から排出されてからいずれの処理操作(前搾りを含む)も経ていない污水。一般用語ではなく、本マニュアルでの便宜的用語である。

ハ行

排せつ原単位(=家畜排せつ物原単位)

家畜1頭1日当たりの排せつ物量、または排せつ物中汚濁物質量。なお、排せつ物中の尿全量とふんの一部が混合して污水となる。

バイオガスプラント(=メタン発酵施設)

家畜排せつ物スラリー等からメタン発酵によりメタンを主成分とするバイオガスと液肥として利用可能な消化液を生産する施設。バイオガスは、発電機、ボイラー、コージェネレーション(熱併給発電)等の燃料に使用できる。

曝気(=通気、aeration)

污水の浄化処理過程で汚濁物質の好気性生物分解に必要な酸素の供給を目的として空気を吹き込むこと。効率の良い酸素供給のためには気泡径を小さくすることが重要でありそのた

めの工夫がなされた様々な曝気および散気装置が開発されている。また、曝気は汚水と活性汚泥微生物を接触させるための攪拌も目的とする。

バルキング (bulking)

活性汚泥の膨化現象のこと。バルキング状態の活性汚泥は沈殿槽で分離し難く、処理水とともに流出し水質悪化の原因となる。

平膜

分離膜の一種で、平面状に成形された膜。中空糸膜に比べて膜面積当たりの膜モジュールの設置容積が大きくなるが、膜に夾雑物が付着しにくいという特徴がある。

負荷量原単位

家畜1頭1日あたりから汚水処理施設へ流入する汚濁物質の量。

浮遊物質 (SS, suspended solids)

水中に懸濁している物質の指標。あらかじめ2mmのふるいを通した試料を孔径1 μ mのガラス繊維ろ紙でろ過し、ろ紙上に残った物質の重量(乾物)をmg/Lで表す。

ふん尿分離率

畜舎内で排せつされたふんのうち除ふん機等で固形物として舎外に排出される割合。仮にふん尿分離率70%とすると、残りの30%のふんが汚水に混入することになる。ふん尿分離率が高いほど汚水処理施設のBOD負荷は小さくなるが、BOD/N比の低下による窒素除去率の低下に留意する必要もある。

フロック (floc)

活性汚泥中では、細菌、原生動物、後生動物などの微生物が沈降性のよい微細な凝集塊を形成している。この塊をフロックという。沈降性の良好なフロックを維持することが活性汚泥法の重要なポイントである。

返送汚泥 (return sludge)

最終沈殿槽を伴う活性汚泥処理施設では、反応槽の活性汚泥濃度を維持するため、沈殿槽で沈殿した活性汚泥を反応槽に戻す必要がある。このため、沈殿槽底部に水中ポンプまたはエアリフトポンプを設置し活性汚泥を反応槽に移送する。移送される汚泥を返送汚泥という。

マ行

前搾り (=前分離)

汚水浄化処理の前処理として行う固液分離工程。汚水と余剰汚泥を合流させた後に高分子凝集剤を添加し脱水機で分離を行う。

膜分離活性汚泥法 (membrane bioreactor)

活性汚泥法における活性汚泥の分離に従来は重力沈殿法が用いられてきた。しかし、近年では沈殿の代わりに膜分離を用いる方式が増えつつある。この方式を膜分離活性汚泥法という。膜のユニット（膜モジュール）を曝気槽内に直接浸漬するものと、曝気槽外に外付けするものがある。反応槽の活性汚泥濃度を高めても清澄な処理水が得られる一方で、膜の閉塞防止の維持管理が必要となる。

無機凝集剤 (inorganic coagulant)

汚水処理において、リン酸や色度除去のために凝集反応を起こさせる無機性薬剤。代表的なものはポリ塩化アルミニウム(PAC)と硫酸アルミニウム(硫酸バンド)等である。

メタン発酵

嫌気状態でメタン菌の作用により有機物が分解され、主にメタン（約 60%）と二酸化炭素（約 40%）から成るバイオガスが発生する反応のこと。発酵の適温は 30～40℃の中温発酵と 50～55℃の高温発酵がある。

ヤ行

溶存酸素 (DO, dissolved oxygen)

水中に溶解している分子状の酸素。汚水浄化処理では曝気により供給された酸素を利用して好気性微生物が汚濁物質を分解する。このため、十分な酸素の供給が必須となる。溶存酸素濃度はポータブルの計測器で容易に測定可能である。

余剰汚泥 (excess sludge)

活性汚泥法では汚濁物質の除去に伴い槽内の微生物が増殖する。このため、適宜増殖分（余剰汚泥）を引き抜いて曝気槽内の微生物濃度を適切に保つ必要がある。余剰汚泥は高分子凝集剤を添加した後に脱水機で非流動性の脱水ケーキにして堆肥化施設に投入するのが一般的である。

ラ行

標準活性汚泥法 (continuous flow activated sludge process)

汚水の投入と処理水の排出を連続的に行う活性汚泥法のこと。回分式活性汚泥法に対して連続運転方式の活性汚泥法となる。

りん酸イオン (PO_4^{3-} : phosphate ion)

りん酸イオンは畜舎汚水中に多く存在する。汚水の pH が 8 以上に上昇すると、アンモニアイオンおよびマグネシウムイオンと結合して自然に結晶化し配管などを閉塞させる場合がある。また、カルシウム、アルミ、鉄などの金属イオンを添加すると不溶性の凝集物を形成する。りん除去はこれらの反応を利用して行う。

流量調整槽 (flow rate adjusting tank)

汚水浄化処理において、反応槽への流入汚水量を一定化するために設置される汚水貯槽。

アルファベット

BOD (biochemical oxygen demand)

[生物化学的酸素要求量] 参照

BOD 汚泥負荷 (BOD-SS loading)

反応槽内の活性汚泥 (乾物換算) 1kg に対して 1 日に投入される BOD 量のこと。単位は「kg-BOD/kg-MLSS/日」。また、F/M 比 (food microorganism ratio) とも表現される。標準的な BOD 汚泥負荷は、0.1~0.2 kg-BOD/kg-MLSS/日程度で、低い負荷量ほど安全な設定になる。

BOD 容積負荷 (BOD volumetric loading)

反応槽 1m³ 1 日あたりに投入される BOD 量のこと。単位は kg-BOD/m³/日。標準的な BOD 容積負荷は 0.2~0.5 kgBOD/m³/日 程度。

EC (electrical conductivity、電気伝導度または電気伝導率)

汚水中塩類濃度の指標。基本単位は S/m (ジーメンスパーマーター)。EC と pH の測定値から処理水中硝酸性窒素等のおおよその濃度を推定する手法も提案されている。

MLSS (mixed liquor suspended solids)

[活性汚泥浮遊物質] を参照

ORP (Oxidation-Reduction Potential : 酸化還元電位)

反応槽に白金などの化学的に安定な金属を浸すと金属と溶液中の物質系との間には電子の授受が生じ、平衡状態においては金属はある単極電位を保持する。この単極電位の基準水素電極電位に対する電位を酸化還元電位 (ORP) という (日本下水道協会 (2012) 下水試験方法)。反応槽の ORP は、BOD 等の電子供与体、溶存酸素濃度、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素、水温、pH などの影響を受ける。

SS (suspended solids)

[浮遊物質] を参照

SRT (solids retention time)

[汚泥滞留時間] を参照

汚水処理マニュアル作成関係者名簿

畜産環境対策技術総合設計基準調査普及事業推進委員会

大野 高志	日本食肉格付協会 (委員長)
鈴木 一好	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構畜産研究部門 (現：畜産環境整備機構本部) (副委員長)
阿部 佳之	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業研究センター
長田 隆	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構本部
福本 泰之	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構畜産研究部門

汚水処理マニュアル作成専門部会委員 (50 音順)

長田 隆	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構本部 (部会長)
川島 一真	三菱UFJ リサーチ&コンサルティング
河原 弘文	佐賀県畜産試験場
木村 義彰	北海道立総合研究機構本部
白石 誠	岡山県農林水産総合センター畜産研究所
長谷川輝明	千葉県農林水産部畜産課

汚水処理マニュアル編集作業委員 (50 音順)

石川 晋也	株式会社コーンズ・エージェ
石田 稔	株式会社戸上電機製作所
土谷 祐二	株式会社土谷特殊農機具製作所
保井 聖一	エア・ウォーター北海道株式会社
横井 星二	グリーン&ウォーター株式会社
和嶋 恵造	全農畜産サービス株式会社
渡辺 是文	群立機器株式会社

作成事務局

田中 康男	一般財団法人畜産環境整備機構	畜産環境技術研究所
小堤 悠平	一般財団法人畜産環境整備機構	畜産環境技術研究所
道宗 直昭	一般財団法人畜産環境整備機構	畜産環境技術研究所
羽賀 清典	一般財団法人畜産環境整備機構	本部
八木 武夫	一般財団法人畜産環境整備機構	本部
山本 弘美	一般財団法人畜産環境整備機構	本部
宮田 透	一般財団法人畜産環境整備機構	本部

[付記] 長田隆部会長は、全体の取りまとめと御担当箇所原稿執筆にご尽力されましたが、マニュアル完成直前に急逝されました。謹んで哀悼の意を表します。

資料の取り扱いについて

本資料より転載・複製する場合は一般社団法人畜産環境整備機構にご連絡ください。

日本中央競馬会 畜産振興事業
畜産環境対策技術総合設計基準調査普及事業
(汚水処理専門部会)

家畜汚水処理施設設計・維持管理マニュアル

令和4年3月31日

発行

一般財団法人 畜産環境整備機構

本部: 〒105-0001 東京都港区虎ノ門5丁目12番地1号 ワイコービル3階

電話 03-3459-6300 FAX 03-3459-6315

畜産環境技術研究所:

〒961-8061 福島県西白河郡西郷村大字小田倉字小田倉原1

電話 0248-25-7777 FAX 0248-25-7540