

I S S N 1 3 4 6 - 7 3 2 8
国総研資料 第 1011 号
平成 30 年 2 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1011

February 2018

B-DASH プロジェクト No.19

UF 膜ろ過と紫外線消毒を用いた高度再生水システム

導入ガイドライン(案)

下水道研究部下水処理研究室

B-DASH Project No.19

Guideline for introducing an advanced wastewater reclamation system using ultrafiltration membrane and ultraviolet disinfection.

Wastewater and Sludge Management Division
Water Quality Control Department

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

国土技術政策総合研究所資料
第 1011 号 2018 年 2 月

Technical Note of NILIM
No.1011 February 2018

B-DASHプロジェクト No.19

下水道研究部 下水処理研究室

B-DASH Project No.19

Guideline for introducing an advanced wastewater reclamation system using ultrafiltration membrane and ultraviolet disinfection.

Wastewater and Sludge Management Division
Water Quality Control Department

概要

本ガイドラインは、下水道事業における下水処理再生水の有効活用の促進を目指し、下水道革新的技術の一つである「UF膜ろ過と紫外線消毒を用いた高度再生水システム」について、下水道事業者が導入検討する際に参考にできる資料として策定したものである。

キーワード：下水処理再生水、農業灌漑利用、限外ろ過膜、紫外線消毒

Synopsis

This Guideline for introducing an advanced wastewater reclamation system using ultrafiltration membrane and ultraviolet disinfection, which is one of sewage high technologies, is designed to promote the effective utilization of reclaimed wastewater, and support Japanese enterprises' overseas water business expansion.

Key Words : reclaimed wastewater, agricultural use, ultrafiltration membrane, ultraviolet disinfection

執筆担当者一覧

国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 室 長 ・・・ 山下 洋正

国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 主任研究官 ・・・ 重村 浩之
(国立研究開発法人 土木研究所)

国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 研究官 ・・・ 山本 明広

※研究当時の所属 (括弧書きは現所属)

はじめに

我が国の下水道は、国民生活に不可欠な社会資本として、78.3%（平成28年度末下水道処理人口普及率）まで普及が進んできており、水洗トイレが普及するとともに川や海の水質の改善につながっている。また下水道は、質・量ともに安定した水・資源・エネルギー等のポテンシャルを有しており、水・資源・エネルギー循環に貢献できる可能性がある社会資本でもある。

現在、我が国も含め世界的な気温上昇、降水量及び降水パターンの変化等の気象状況の変化が注目され、地球温暖化による渇水等による水・資源・食料・エネルギー需給の逼迫等、解決に向けて取り組むべき課題が顕在化してきている。下水道の普及が進み、下水処理水量が膨大になっている中で、下水処理水を再生水として利用し、幅広い分野との連携を深め、下水道の持つ水ポテンシャルを活用していくことは、新しい価値を創造する社会の構築に貢献することにつながる。

これらを踏まえ、下水道事業の現状と将来に向けた課題を客観的かつ的確に捉え、下水道の「使命」を達成する長期的な「ビジョン」を描き、これを達成するための中長期的な目標と施策を明確化した「新下水道ビジョン」（平成26年7月 国土交通省水管理・国土保全局下水道部、公益社団法人日本下水道協会）が策定された。ここでは、下水道の持つポテンシャルの活用が求められているが、その活用割合はわずかである。また、優れた新技術が開発されても実績が少ないため、導入に慎重な下水道事業者も多い状況である。

こうした背景の中、国土交通省下水道部では、優れた革新的技術の実証、普及により下水道事業における資源回収、創エネルギー効果の増大等を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、「下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト※）」を平成23年度から開始し、国土技術政策総合研究所下水道研究部が実証研究の実施機関となっている。

本ガイドライン「UF膜ろ過と紫外線消毒を用いた高度再生水システム導入ガイドライン（案）」で示す技術は、「UF膜ろ過」技術、「紫外線消毒」技術及び管理技術を組み合わせたシステムであり、人や作物への接触・摂取が想定され、病原リスクに対する安全性が懸念される用途に対して下水処理再生水を利用することを前提とした、安全かつ安定的な再生水を供給するための技術である。実証研究により、安全かつ安定的な再生水の供給技術であること、及び従来技術に比べてライフサイクルコスト・温室効果ガス排出量の削減が可能であることなどが実証されている。

本ガイドラインは、国土技術政策総合研究所委託研究（下水処理水の再生処理システムに関する実証研究 受託者：（株）西原環境・（株）東京設計事務所・京都大学・糸満市共同研究体 実施期間：平成27～28年度）において実施した成果を踏まえ、下水道事業者が革新的技術の導入を検討する際に参考にできる資料として策定したものであり、これらの優れた技術が全国そして海外にも普及されることを強く願うものである。

技術選定から実証研究施設の設置、実運転による実証を踏まえたガイドラインの策定までを2年間という短期間でまとめるにあたり、大変なご尽力をいただいた下水道革新的技術実証事業評価委員会の委員各位、およびガイドラインに対する意見聴取にご協力いただいた下水道事業者の各位をはじめ、実証研究に精力的に取り組まれた研究体各位等全ての関係者に深く感謝申し上げる。

※B-DASH プロジェクト：Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project

国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究部

目 次

第1章 総 則

第1節 目 的

§1 目 的	1
--------------	---

第2節 ガイドラインの適用範囲

§2 ガイドラインの適用範囲	3
----------------------	---

第3節 ガイドラインの構成

§3 ガイドラインの構成	4
--------------------	---

第4節 用語の定義

§4 用語の定義	6
----------------	---

第2章 技術の概要と評価

第1節 技術の概要

§5 技術の目的	9
§6 再生水の利用用途	11
§7 技術の概要	12
§8 システム全体の特徴	14
§9 UF 膜ろ過システムの特徴	16
§10 UV 消毒システムの特徴	18

第2節 技術の適用条件

§11 適用条件	20
----------------	----

第3節 実証研究に基づく評価の概要

§12 実証研究の概要	25
§13 評価項目	26
§14 評価結果	27

第3章 導入検討

第1節 導入検討手法

§15 導入検討手順	32
------------------	----

§16 基礎調査.....	34
§17 導入効果の検討.....	36
§18 建設コストの算定	37
§19 電力消費量・薬品使用量および維持管理コストの算定	38
§20 ライフサイクルコスト(LCC)の算定	44
§21 温室効果ガス排出量の算定.....	45
§22 本システムの施設面積.....	46
§23 その他の効果.....	47
§24 導入判断.....	50

第2節 本技術の導入コスト等試算例

§25 試算条件.....	51
§26 導入コスト等の試算例.....	53

第4章 計画・設計

第1節 施設計画

§27 施設計画の手順.....	57
§28 詳細調査.....	58
§29 基本条件の設定	60
§30 処理場全体の処理フローの策定	62
§31 処理場全体の水量および物質収支計算	63
§32 処理場全体プロセスとの整合性検討	66
§33 再生水の利用先に関する検討	68

第2節 本システムの処理フロー

§34 本システムの処理フロー	69
-----------------------	----

第3節 UF 膜ろ過施設の設計

§35 UF 膜ろ過施設の設計基本諸元	70
§36 UF 膜ろ過装置への原水供給施設の設計	71
§37 UF 膜ろ過装置の設計	73
§38 洗浄設備の設計	78
§39 水収支の算定.....	84

第4節 UV 消毒施設の設計

§40 UV 消毒装置の設計水量	86
§41 UV 消毒装置の設計	88

§42 UV 消毒水路の設計	95
§43 再生水槽の設計	98

第5節 施設配置検討

§44 施設配置の検討	99
-------------------	----

第6節 監視制御システム

§45 UF 膜ろ過装置の監視制御システム	102
§46 UV 消毒装置の監視制御システム	104
§47 水質異常の監視システム	106

第5章 維持管理

第1節 運転管理

§48 UF 膜の洗浄	107
§49 安定的処理状況の連続的な確認方法	111
§50 UF 膜の膜破断検知	112
§51 運転管理項目	116
§52 水質管理項目	118
§53 導入効果を高める管理の要点	124

第2節 保守点検

§54 保守点検	126
----------------	-----

第3節 緊急時の対応

§55 緊急時の対応	127
------------------	-----

参考文献

参考文献	130
------------	-----

資料編

1. 実証施設およびパイロットプラント実験結果	134
2. 容量計算およびコスト試算ケーススタディ	176
3. ウィルス感染リスク	193
4. ウィルス分析方法	201
5. UF 膜の薬液(浸漬)洗浄方法	207
6. UF 膜の圧力減衰試験要領	210

7. 高感度濁度計清掃方法	214
8. 紫外線消毒装置の UV 照射量に関する性能評価における P-CFD 適用可能性	219
9. 農業利用リスクコミュニケーション	227
10. 農業利用を前提とした導入効果試算例	248
11. 問い合わせ先	265

第1章 総 則

第1節 目 的

§1 目 的

本ガイドラインは、水資源が逼迫している地域において安全かつ安定的な新たな水資源供給に資するため、下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)の革新的技術の1つである「UF膜ろ過と紫外線消毒を組み合わせた再生水利用技術(以下、本技術とする)」について、実証研究の成果をふまえて、技術の概要、導入検討、計画・設計および維持管理等に関する技術的事項について明らかにし、もって導入の促進に資することを目的とする。

【解説】

下水道革新的技術実証事業(B-DASH プロジェクト)は、新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業における資源回収、省エネルギー・創エネルギー効果やコスト縮減を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、国土交通省が実施しているものである。

B-DASH プロジェクト全体の概要は、図 1-1 に示すとおりである。各実証事業においては、国土技術政策総合研究所からの委託研究として、実証研究を実施している。

平成 23 年度は、[1]水処理における固液分離技術(高度処理を除く)、[2]バイオガス回収技術、[3]バイオガス精製技術、[4]バイオガス発電技術に係る革新的技術を含むシステムについて公募を行い、2 件の実証研究を採択・実施し、ガイドライン案を策定している。

平成 24 年度は、[5]下水汚泥固形燃料化技術、[6]下水熱利用技術(未処理下水の熱利用に限る。)、[7]栄養塩(窒素)除去技術(水処理に係る技術は除く)、[8]栄養塩(りん)除去技術(水処理に係る技術は除く。回収技術を含むことは可。)に係る革新的技術について公募を行い、5 件の実証研究を採択・実施し、ガイドライン案を策定している。

平成 25 年度は、[9]下水汚泥バイオマス発電システム技術(低含水率化技術、エネルギー回収技術、エネルギー変換技術を組み合わせたシステム技術)、[10]管きょマネジメント技術に係る革新的技術について公募を行い、5 件の実証研究を採択・実施し、ガイドライン案を策定している。

平成 26 年度は、[11]下水汚泥から水素を創出する創エネ技術、[12]既存施設を活用した省エネ型水処理技術(標準活性汚泥法代替技術・高度処理代替技術)、[13]ICT による既存施設を活用した戦略的水処理管理技術及び既存施設を活用した ICT による都市浸水対策機能向上技術に係る革新的技術について公募を行い、6 件の実証研究を採択・実施し、ガイドライン案を策定している。

平成 27 年度は、[14]複数の下水処理場からバイオガスを効率的に集約・活用する技術、[15]バイオガスから CO₂ を分離・回収・活用する技術、[16]設備劣化診断技術、[17]都市域における局所的集中豪雨に対する降雨及び浸水予測技術、[18]下水管路に起因する道路陥没の兆候を検知可能な技術、[19]下水処理水の再生利用技術に係る革新的技術について公募を行い、9 件の実証研究を採択・実施している。

平成28年度は、[20]中小規模処理場を対象とした下水汚泥の有効利用技術、[21]ダウンサイ징可能な水処理技術に係る革新的技術について公募を行い、4件の実証研究を採択・実施している。

本技術は、[19]に係る革新的技術であり、実証研究のとりまとめにあたっては、専門的知識を有する有識者及び実務に精通した地方公共団体の下水道事業者より意見を聴取したうえで、学識経験者で構成される「下水道革新的技術実証事業評価委員会」(以下、評価委員会とする(<http://www.nilim.go.jp/lab/ecg/bdash.htm>))の評価を受け、十分な成果が得られたと評価された。本ガイドラインは、下水道事業におけるコスト縮減や温室効果ガス排出量削減を実現するため、評価委員会で評価された本技術の実証研究の成果を踏まえ、本技術の導入の促進に資することを目的として、国土技術政策総合研究所において策定するものである。このため、本ガイドラインでは、地方公共団体等の下水道事業者が本技術の導入を検討する際に参考にできるように、技術の概要と評価、導入検討、計画・設計及び維持管理等に関する技術的事項についてとりまとめている。

なお、本ガイドラインについても、実証研究の成果と同様に、専門的知識を有する有識者及び実務に精通した地方公共団体の下水道事業者より意見を聴取のうえ、評価委員会の評価を受け、了承されたものである。

下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト*)の実証テーマ

*Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project

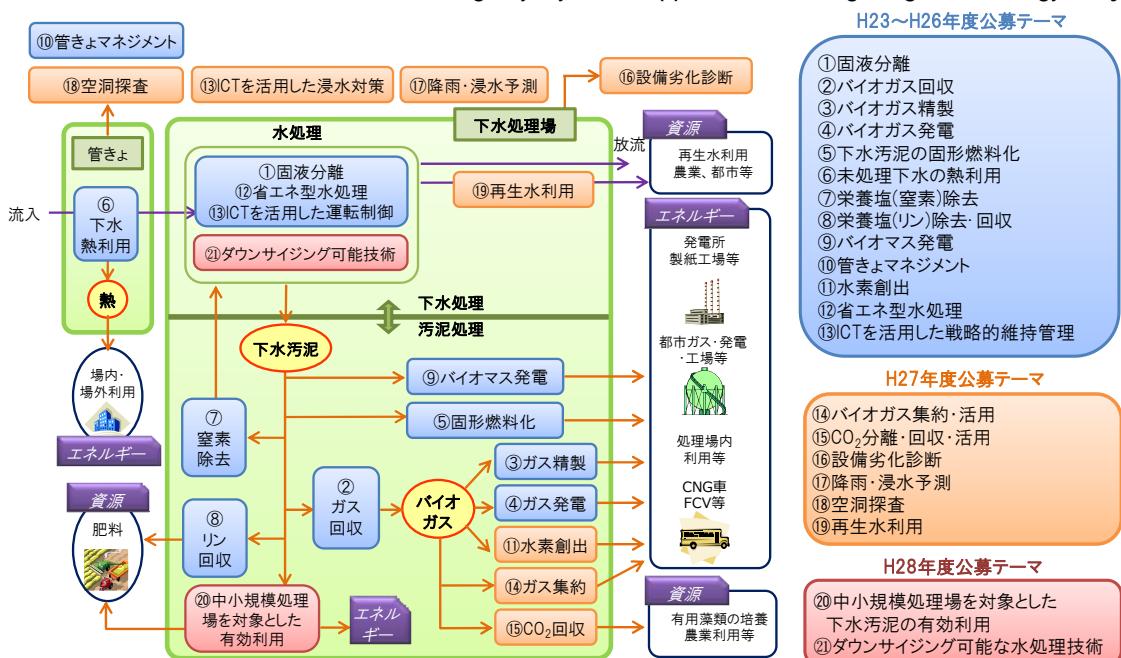


図 1-1 下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)の概要(全体)

第2節 ガイドラインの適用範囲

§ 2 ガイドラインの適用範囲

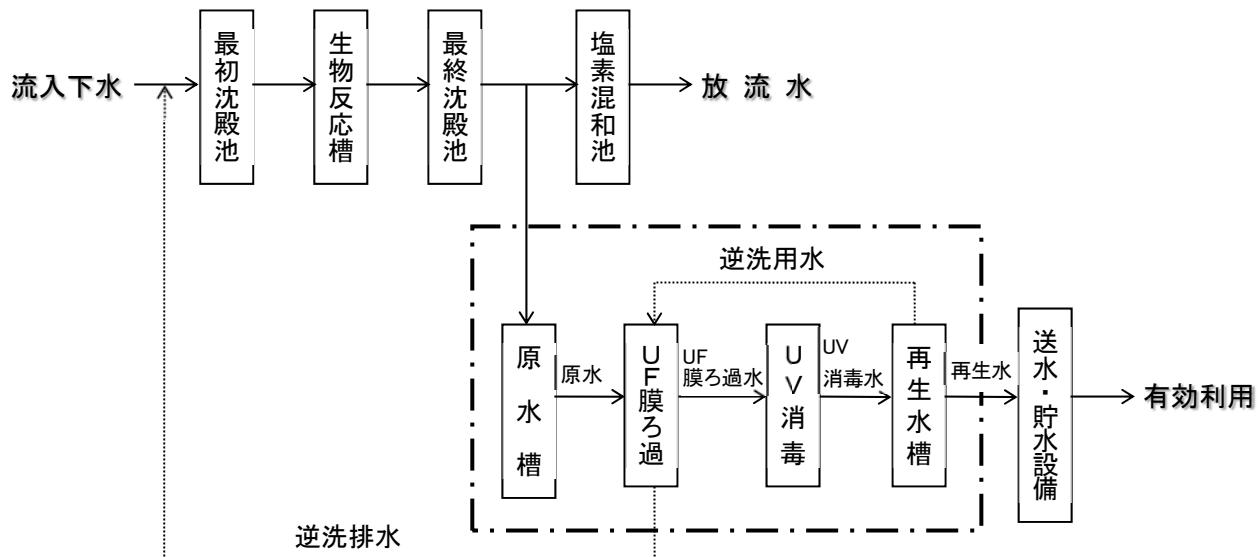
本ガイドラインは、再生水が人や作物への接触・摂取が想定され、病原リスクに対する安全性が重視される用途である農業灌漑用水としての利用を主な用途として想定し、二次処理水(最終沈殿池流出水)を原水とした再生水の処理技術の導入検討、計画・設計および維持管理に適用するものである。

【解説】

本技術は、図 1-2 の処理フローに示すように、既存の下水道施設における二次処理水(最終沈殿池流出水)を原水として、限外ろ過(Ultrafiltration)(以下、「UF」という)および紫外線(以下、「UV」という)消毒処理を行うことにより、再生水が人や作物への接触・摂取が懸念されるような病原リスクに対する安全性が重視される用途に用いることを前提として、信頼性の高いウイルス除去を行った高度な再生水を農業灌漑用水として有効利用することを主な目的とした技術である。

本ガイドラインでは、原水槽から UV 消毒処理までを対象範囲(図 1-2 の処理フローに示す範囲)として、本技術の導入検討、計画・設計および維持管理について適用できるよう取りまとめている。

なお、本ガイドラインは、地方公共団体等の下水道事業者および再生水の利用先の関連事業者等に利用されることを想定して策定している。



[二] 本ガイドラインの適用箇所

図 1-2 本ガイドラインの適用箇所

第3節 ガイドラインの構成

§ 3 ガイドラインの構成

本ガイドラインは、総則、技術の概要と評価、導入検討、計画・設計、維持管理及び資料編から構成される

【解説】

本ガイドラインは、図 1-3 に示す構成から成る。

各章の内容は、以下のとおりとする。

(1) 第1章 総則

第1章では、目的、ガイドラインの適用範囲、ガイドラインの構成、用語の定義について記述する。

(2) 第2章 技術の概要と評価

第2章では、革新的技術の目的、概要、特徴、適用条件、導入シナリオ例について整理する。

また、実証研究で得られた成果に基づく革新的技術の評価結果を示す。

(3) 第3章 導入検討

第3章では、革新的技術の導入を検討する際に必要な手順、手法を整理とともに、導入効果の検討例を示す。

(4) 第4章 計画・設計

第4章では、導入検討の結果として、革新的技術の導入効果が期待できると判断された場合に、導入に向けてより具体的に計画・設計を進めるための方法について整理する。

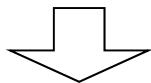
(5) 第5章 維持管理

革新的技術を導入した場合において、管理者等が実施すべき維持管理の具体的方法について整理する。

その他、資料編として、実証研究結果、容量計算およびコスト試算例、問い合わせ先等に関する資料を整理して添付する。

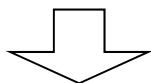
第1章 総則

- ・目的、ガイドラインの適用範囲、ガイドラインの構成、用語の定義



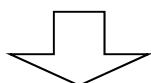
第2章 技術の概要と評価

- ・技術の概要、技術の適用条件、実証研究に基づく評価の概要



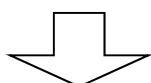
第3章 導入検討

- ・導入検討手法、本技術の導入コスト等試算例



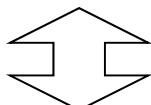
第4章 計画・設計

- ・施設計画、本システムのフロー、UF 膜ろ過施設の設計、UV 消毒施設の設計、施設配置検討、監視制御システム



第5章 維持管理

- ・運転管理、保守点検、緊急時の対応



資料編

実証研究結果、ケーススタディ計算、問い合わせ先等

図 1-3 本ガイドラインの構成

第4節 用語の定義

§ 4 用語の定義

本ガイドラインで取り扱う用語は、以下に示すように定義する。なお、下水道施設の基本的な用語に関しては「下水道施設計画・設計指針と解説 2009 年版(以下、設計指針とする)」(社団法人日本下水道協会)、「下水道維持管理指針 2014 年版(以下、維持管理指針とする)」(社団法人日本下水道協会)、「下水道用語集 2000 年版」(社団法人日本下水道協会)、「(一財)土木研究センター用語解説集¹⁾」に準拠する。

(1) 原水

再生水プラントに流入する水をいう。本技術では、原水は最終沈殿池流出水(塩素混和池の流入前から取水)としている。

(2) UF 膜ろ過

UF 膜(Ultrafiltration Membrane)を用いた限外ろ過のこと、孔径は概ね 10nm(0.01 μ m)程度である。

(3) UF 膜ろ過水

UF 膜によりろ過処理された水をいう。

(4) UV 消毒

紫外線(Ultraviolet)の持つ殺菌作用を利用する消毒法で、253.7nm の波長を主とした紫外線を水に照射することにより、細菌やウイルス等の DNA や RNA に損傷を与え、不活性化し除去することをいう。

(5) UV 消毒水

UV 消毒された後の水をいう。

(6) 再生水

UV 消毒された水のうち、逆洗用の水を除いた利用可能な水をいう。

(7) ろ過水量

再利用する再生水量に、逆洗に必要な水量を加えた水量をいう。

(8) Flux

膜面を透過する水の平均流束であり、ろ過水量を膜面積で除して算定した値である。「水透過流束」ともいう。

(9) 通常逆洗

UF 膜ろ過装置のろ過水側からの水逆洗(再生水または UF 膜ろ過水)と、プロワによる膜表面の空洗を交互に繰り返し、UF 膜の表面に付着した汚れを取り除く運転を指す。

(10) 薬液逆洗

通常逆洗に次亜塩素酸ナトリウム(以下、略して「次亜」ともいう)による洗浄を組み合わせた運転

を指す。膜表面に付着した有機物スケール等を次亜塩素酸ナトリウムにより高度に除去する。

(11)薬液(浸漬)洗浄

対象となるUF膜処理装置(系列)の運転を停止し、薬液に2時間程度、UF膜を浸漬させる洗浄を指す。使用する薬液は塩酸と次亜塩素酸ナトリウムであり、塩酸は無機物のスケール除去、次亜塩素酸ナトリウムは有機物のスケール除去を目的としている。

(12)SBS

Sodium Bisulfite Solution の頭文字を組み合わせたものであり、和名では重亜硫酸ソーダ(NaHSO_3)と表される。本システムでは、薬液洗浄時の次亜塩素酸ナトリウムによる洗浄廃液の中和を利用する。他の用途としては、食品添加物、皮革用タンニンの溶解剤、染色助剤、工業廃水処理剤等がある。

(13)膜間差圧

原水ポンプの揚水(加圧)による膜ろ過前の水圧から、膜ろ過後の水圧までの差分をいう。

(14)圧力減衰試験(PDT試験)

UF膜の破断を直接的に確認・検出する試験の一種で、水を抜いた膜の一次側から所定の空気圧を掛け、所定の時間経過後の空気圧の減少度合いにより、膜の破断の有無を確認する手法のこと。PDT試験(Pressure Decay Test)ともいう。

(15)高感度濁度計

取り扱いメーカー等は限定しないが、実証研究ではレーザー光を光源とした散乱光式の濁度計を用いて実証しており、本ガイドラインでは以下のように規定する。

測定方式：レーザー散乱光方式

測定範囲：0.0000 度～2.0000 度(以上)

分解能：0.0001 度

(16)光回復

紫外線により不活化された微生物等が、可視光の照射を受けることにより再び活性を回復する反応のことをいう。

(17)自動調光

UV消毒装置のランプ出力を、原水性状(主にはUV透過率)に応じて自動的に増減させる機能のことをいう。

(18)CT値

塩素等による消毒において、消毒剤の濃度 $C(\text{mg}/\ell)$ とその接触時間 $T(\text{min})$ の積により消毒効果を表す指標のことで、ConcentrationとTimeの頭文字を取っている。

(19)log除去(「対数除去率(log-removal)」ともいう)

ウイルス、細菌や汚濁物質などについて、処理後に対する処理前の濃度の比率を常用対数表示として表したもの(次式により算定)であり、処理後に残存している割合の対数の絶対値であり、衛生学的リスク評価では一般的な表記法である。

$$\begin{aligned} [\log \text{除去}] &= \log([\text{処理前の濃度}]) - \log([\text{処理後の濃度}]) \\ &= \log([\text{処理前の濃度}]/[\text{処理後の濃度}]) \quad \dots \dots \dots \text{(式 1.1)} \end{aligned}$$

3log 除去とは、処理後の濃度が、処理前の濃度の 10^{-3} になることを示しており、たとえば、ウイルス存在量が、処理前 10000 個/ml、処理後 10 個/ml であった場合、log 除去は

$\log(10000/10) = \log(10^3) = 3$ (これを 3log 除去と表記)
となる。

なお、一般的に除去性能を表す除去率は以下の式により算定される。

$$[\text{除去率}(\%)] = ([\text{処理前の濃度}] - [\text{処理後の濃度}]) / [\text{処理前の濃度}] \times 100 \quad \dots \dots \dots \text{(式 1.2)}$$

log 除去を、除去率に変換する場合には、以下の式により算定できる。

$$[\text{除去率}(\%)] = (1 - 1/10^{[\log \text{除去}]}) \times 100 \quad \dots \dots \dots \text{(式 1.3)}$$

たとえば 3log 除去の場合は、 $(1 - 1/10^3) \times 100 = 99.9\%$ となる。

また、UV 消毒では、微生物の不活化を表現するときにも log 不活化(log inactivation)として表現する。具体的には、以下の式により算定される。

$$\begin{aligned} [\log \text{不活化}] &= \log([\text{UV 照射前の濃度}]) - \log([\text{UV 照射後の濃度}]) \\ &= \log([\text{UV 照射前の濃度}]/[\text{UV 照射後の濃度}]) \quad \dots \dots \dots \text{(式 1.4)} \end{aligned}$$

(20) log 濃度

ウイルス、細菌や汚濁物質などの存在濃度を、常用対数表示として表すことがある(次式により算定)。

たとえば、ウイルス存在濃度が 1000 個/ml であれば、log 濃度は $\log 1000 = \log 10^3 = 3$ と表記される。

(21) 大腸菌ファージ(MS2、G I ファージ)

大腸菌ファージ(Phage)は大腸菌に感染するウイルスの総称である。特に大腸菌の F 繊毛に選択的に感染する F 特異ファージは、ヒト腸管系ウイルスに形状や大きさが類似しているものが多く、モデルウイルスとして水処理での log 除去を評価するために利用される。本研究では、F 特異ファージのうち大量に培養できる MS2 (レビウイルス Leviviridae 科レビウイルス Levivirus 属)を添加できるモデルウイルスとして使っている。また実証規模ではモデルウイルス添加が困難であるため、下水処理水に残留している F 特異ファージを遺伝子型で分類し、比較的高濃度で存在している GI 型(GI ファージ)をモデルウイルスとして評価している。

第2章 技術の概要と評価

第1節 技術の概要

§ 5 技術の目的

本技術の目的は、UF 膜ろ過と UV 消毒を組み合わせた再生水利用技術を用いることで、人が再生水の飛沫を直接的に摂取、又は農作物を経由して間接的に摂取した場合においても、ウイルスによる病原リスクの低減(実質的には、ほぼリスクは無い)を図り、低コスト、省エネルギーで、安全かつ安定した信頼性の高い再生水を供給することにより、下水処理水の有効利用の拡大を図るものである。

【解説】

再生水利用においては、利用先により様々な水質レベルが求められるが、人が再生水に直接触れたり、給水・散水を行う際に飛沫を直接摂取する可能性がある場合や、食用や鑑賞用の農作物の灌漑利用に用いることで収穫物に付着した再生水を人が間接的に摂取する可能性がある場合には、ウイルスによる病原リスクに対しても安全な再生水が求められる。カリフォルニア州の再生水利用の規則である California Code of Regulations (CCR)、Title22 などにおいても、再生水の灌漑利用においては、ウイルスに対して安全な再生水を得るために高度な処理性能が要求されている。しかしながら、Title22 では凝集剤添加と砂ろ過・消毒を標準技術としており、この標準的な技術では再生水を得るために処理コストやエネルギー消費が大きいことや、ウイルス除去状況の監視などの信頼性の高い管理を行うことができないことなどによる安全性への不安から、利用者の理解が進まず、再生水利用の普及が進まない等の課題があった。

このような課題解決のためには、水質変動等による生物・化学反応の異常や、装置不具合が発生していないことをリアルタイムに監視し、異常発生時にも即時に対応できる管理技術が必要になる。そのため、単にウイルス除去性能が高い処理法を採用するだけではなく、信頼性の高い新たな運転制御・管理も併せて適用できる技術を採用する必要がある。

このような管理が可能である処理法として、ウイルスサイズより小さな孔径の「UF 膜ろ過」と、塩素を用いないことによる副生成物の発生等の恐れがない「UV 消毒」の組み合わせ(図 2-1 参照)を採用し、その運転制御・管理技術を明らかにすることにより、省エネルギーかつ経済的で、信頼性の高い安全かつ安定的に再生水を供給することを目的とする。

高レベルにウイルスの処理・管理を行うことにより、再生水の人や作物への接触・摂取が懸念されるような安全性が重視される用途に対しても、再生水利用が促進されることが期待される。また、下水処理水が再生水として有効利用されることにより、従来は公共用水域等へ汚濁負荷として放流されていた窒素やりんを作物の栄養塩として活用できることも期待される効果といえる。

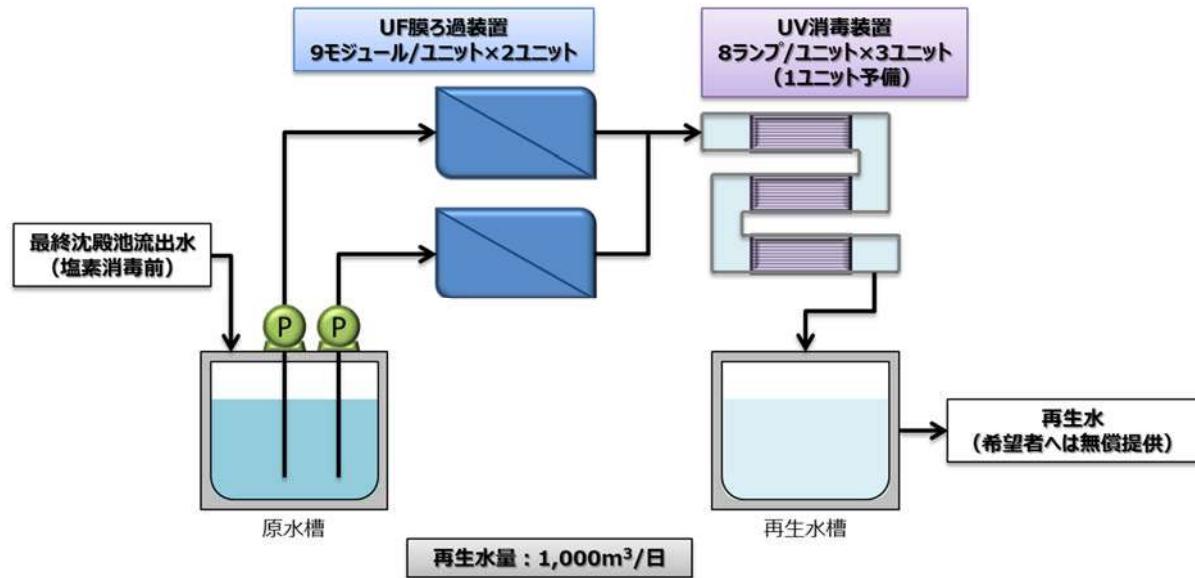


図 2-1 本システムの概要(実証施設)

§ 6 再生水の利用用途

本技術により製造された再生水の利用用途は、以下が想定されるが、本技術で得られる再生水の品質から、農業灌漑用水としての利用が最も適している。その他、利用可能と期待される用途は、水洗、散水、修景・親水、工業用水利用が挙げられるが、本技術では、濁質とウイルスの除去が処理の主目的であり、それ以外の溶解性物質については原水水質に依存するため、各利用用途に応じた適用の検討が別途必要である。

【解説】

本技術では、ウイルス除去の管理を高度に行うことができるため、本技術により製造された再生水は、ウイルスによる病原リスクは極めて低く(実質的には、ほぼリスクは無い)、安全に利用することができる。したがって、本技術による再生水の利用用途は、人が直接触れたりするような都市利用や、灌漑用水に利用することが想定される。人が触れる可能性のあるものについて、水洗・散水・修景等については、「下水処理水の再利用水質基準等マニュアル(国土交通省都市・地域整備局下水道部、国土交通省国土技術政策総合研究所:平成17年4月)²⁾」に示された水質基準について、大腸菌と濁度については問題なく対応可能であるが、色度についてはシステムの除去対象物質ではないため、原水となる下水二次処理水に由来することに注意が必要である。

農業灌漑用水としての利用においては、農業従事者が散水する際に、再生水を直接摂取する可能性が高く、その頻度も多い。また、再生水が付着した収穫物を充分に水洗いせずに食べることや、観賞作物に直接触れることにより、消費者が間接的に再生水を摂取する可能性も高いと考えられ、ウイルスに対する安全性への要求は高い。本技術は、ウイルスによる病原リスクが極めて低い再生水を製造することのできる技術であり、農業灌漑用水として利用するための再生水システムとして適している。

§ 7 技術の概要

本技術は、原水の濁度変動に対しても安定した濁質処理が可能な「UF 膜ろ過」技術、副生成物や残留性がなく安全性の高い「UV 消毒」技術に加えて、これらを管理する技術を組み合わせて、安全かつ安定的な再生水を従来より安価に提供できるものである。

【解説】

本技術は、以下の技術を組み合わせて、従来技術より信頼性の高いウイルス除去による安全な再生水を、安定的で安価に提供できるものである。本技術では、生食野菜等への再生水の給水や、収穫物の販売を実施し、「農業灌漑用水」に利用できることを実証している。

- UF 膜ろ過技術:

ウイルスサイズより小さな公称孔径をもつ UF 膜を用いてウイルス除去を行うことが可能であり、原水の濁度変動に対しても安定して低濁度のろ過水を得ることができる(資料編1参照)ことにより、UV 透過率も安定的に向上させることができるろ過技術

- UV 消毒技術:

副生成物や残留性が少ないため安全性が高く、短時間でウイルスを不活化できることにより建設コストを低減でき、さらに、自動調光技術を組み合わせることにより消費電力も低減できる消毒技術

- 管理技術(組み合わせシステム):

UF 膜ろ過により、安定的に良好な UV 透過率のろ過水を得ることで、後段の UV 消毒の規模を縮減でき、システム全体として効率的なウイルス除去が可能かつ、建設・維持管理コストの削減が図れる。また、リアルタイムの処理状況監視により、異常発生時において処理機能を補完でき、安定的なウイルス処理性能を確保することができる管理技術

本技術の全体フローを図 2-2 に示す。

本技術の中心となる UF 膜ろ過装置と UV 消毒装置の他に、UF 膜を洗浄するための逆洗設備、空気洗浄や圧力減衰試験を行うための圧力空気設備、薬液洗浄等を行うための薬品設備、薬液洗浄後の廃液を処理するための中和設備を有している。

また、安定的な処理を行うための管理として、高感度濁度計、UV 透過率計、圧力計(膜間差圧の測定)などの計装設備を配置するものとしている。

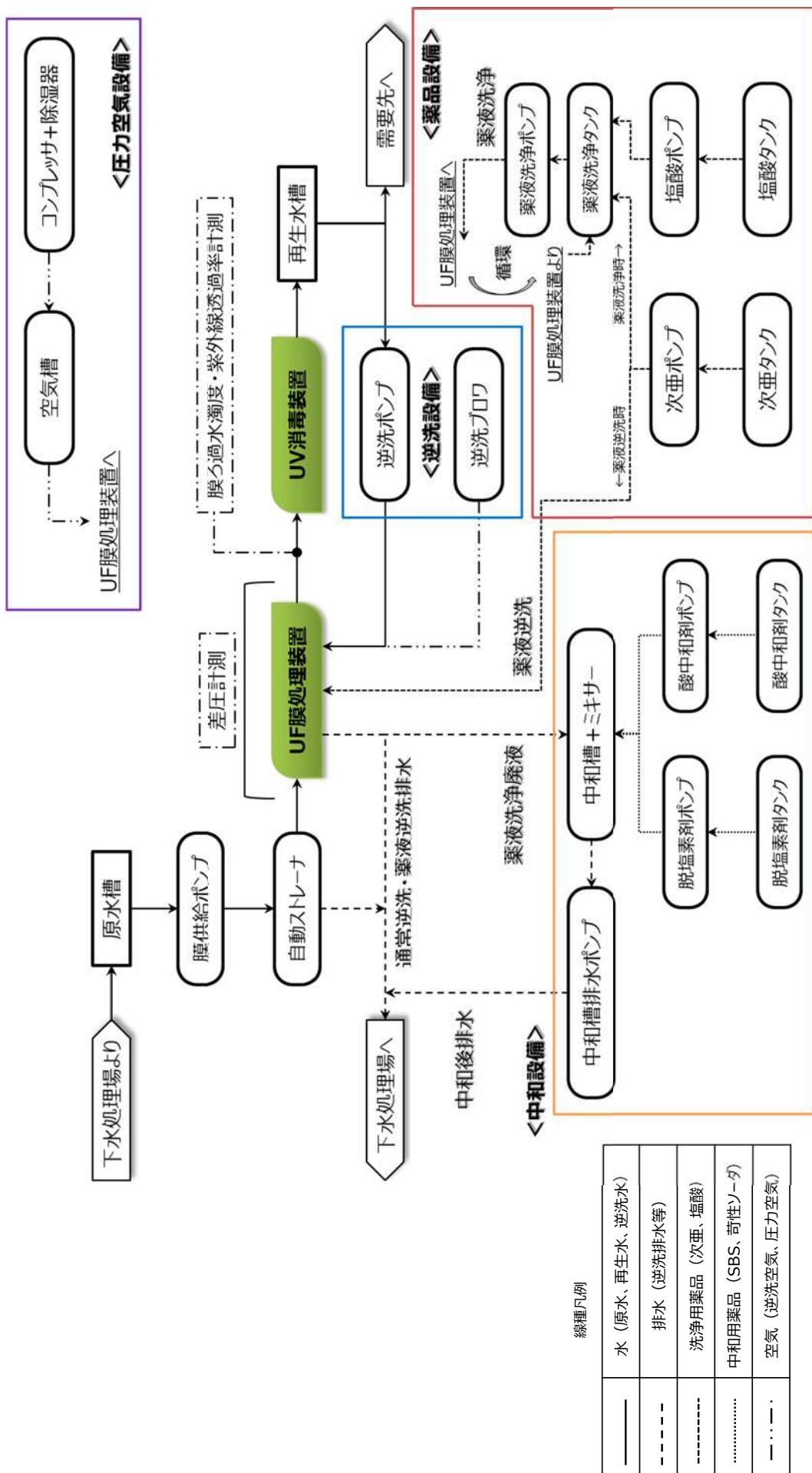


図 2-2 本システムの全体フロー

§ 8 システム全体の特徴

本システム全体の特徴は以下のとおりである。

(1) 従来技術との比較による特徴

本技術は、従来技術と比較して、ライフサイクルコスト(LCC)、維持管理費、温室効果ガス(GHG)などの項目について削減効果が得られる特徴を有している。

(2) UF 膜ろ過と UV 消毒の組合せによる特徴

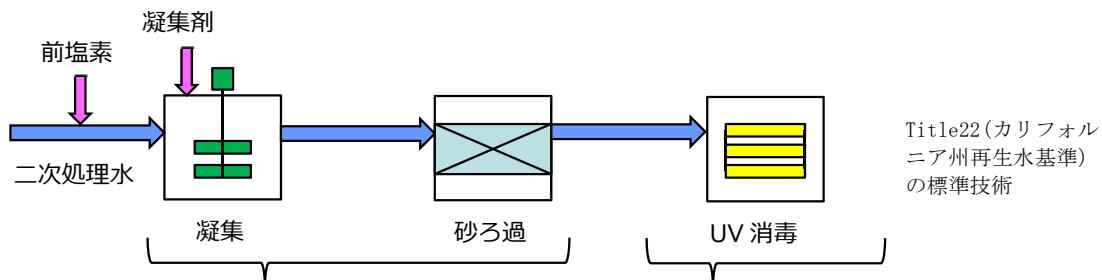
UF 膜ろ過により、UV 透過率も安定したろ過水を得ることにより、後段の UV 消毒も安定した処理ができ、システム全体として効率的なウイルス除去が可能となる。また、処理状況のリアルタイムな処理状況監視により、システムの異常に対する補完を行うことができる。

【解説】

(1) 従来技術との比較による特徴

本技術と、従来技術(Title22(カリフォルニア州再生水基準⁵⁾)の標準技術とされている「凝集剤添加型砂ろ過+消毒」との比較を図 2-3 に示す。

○従来技術=凝集剤添加+砂ろ過+消毒(UV)



○実証技術=UF 膜ろ過+UV 消毒

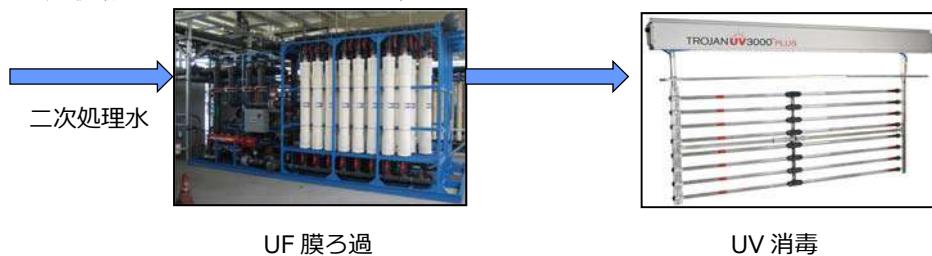


図 2-3 本技術と従来技術の比較

本技術は、従来技術と比較して、以下の利点を有する。電力消費量は、従来技術より高くなるが、薬品使用がほとんどないことから、維持管理費としては従来技術より削減できるとともに、ライフサイクルコスト(LCC)・温室効果ガス(GHG)排出量とも従来技術より削減できる。

- LCCにおいて従来技術より削減
- 維持管理費において従来技術より削減
- GHG 排出量において従来技術より削減

また、従来技術より、高レベルにウイルスの処理・管理ができる特徴を有しており、安全性が重視される農業利用等に対しても再生水利用が促進されることが期待される。これにより、水資源が逼迫している地域において新たな水資源供給に資することができ、水不足により高付加価値な農業生産が制約されていた地域に対する農業生産の拡大が見込みるとともに、従来は公共用水域等へ汚濁負荷として放流されていた窒素やりんを、農作物への栄養塩として活用する効果が期待され、その結果として、公共用水域等の富栄養化の防止に対しても効果が得られるといえる。

(2) UF 膜ろ過と UV 消毒の組合せによる特徴

UF 膜ろ過により、安定的に良好な UV 透過率のろ過水を得ることで、後段の UV 消毒の規模を縮減でき、システム全体として効率的なウイルス除去が可能であり、建設・維持管理コストの削減が図れる。

また、UF 膜ろ過装置と UV 消毒装置を組み合わせるとともに、UV 消毒装置の予備機の活用により、システム全体として以下の効果を得ることが考えられ、安全で安定的なウイルス処理を行うことが期待される。

- ・ 膜ろ過において膜破断等の異常発生時においては、UV消毒装置の予備機を稼働させることにより、UV消毒工程におけるウイルス不活性化を高め、システム全体のウイルス処理性能を確保することができる。
- ・ UV 消毒装置のランプ切れ等の異常発生時においても、UV 消毒装置の予備機を稼働させることで、ウイルス処理性能を確保することも期待される。

さらに、UF 膜の洗浄に使用する次亜設備を利用すれば、異常時の塩素注入による対応(ただし、あくまでも異常時の緊急的な対応として実施)も可能であり、システム全体としてウイルス処理性能を確保することができる。なお、再生水を農業灌漑目的に利用する場合においては、塩素による作物の生育への影響を考えられるが、短期的な利用であれば太陽光下で数日で除去される³⁾ことから、継続的に使用しなければ作物の生育への影響は少ないといえ、異常時の塩素注入の対応を行うことは可能である。

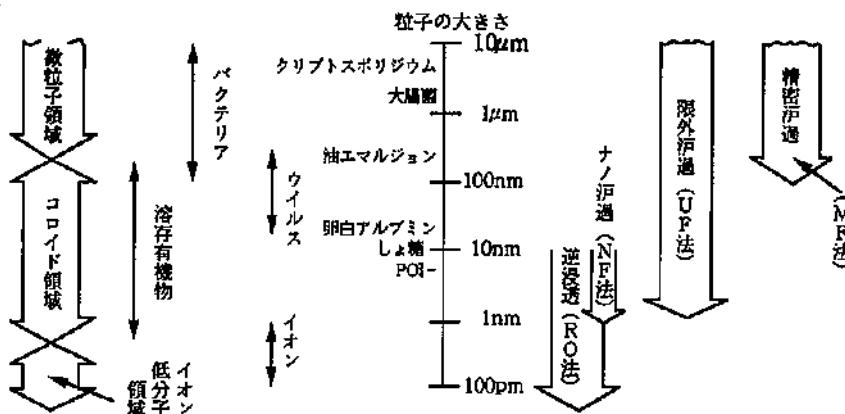
§ 9 UF 膜ろ過システムの特徴

UF 膜ろ過により大部分のウイルス除去を行うとともに、UF 膜ろ過水の UV 透過率を向上させて、後段の UV 消毒のウイルス不活性化を確実に行うための前処理を行うものである。

【解説】

ウイルスサイズ(ウイルスで現在最も小さいとされるピコルナウイルスやバルボウイルスの大きさは約 20nm である)より公称孔径の小さな UF 膜(限外ろ過膜(Ultrafiltration Membrane):孔径は概ね 10nm 程度)を用いることにより、1 log 以上のウイルス除去(90%以上の除去)を行うことができる(資料編1 参照)。UF 膜ろ過を行うことにより、UV 透過率が向上し、後段の UV 消毒装置の規模を小さくできる。

細菌や原虫については MF(精密ろ過)膜では一部が漏洩することがあるが、UF 膜ではほぼ完全に除去できるため、後段の UV 消毒後において光回復する恐れがなく、安全な再生水を得ることができる。



出典：下水道施設計画・設計指針と解説、2009 版⁴⁾

図 2-4 膜の種類と分離孔径

また、UF 膜ろ過を行うことで、原水の濁度が高い場合であっても、安定的に低濁度のろ過水を得ることができ(資料編1 参照)、UF 膜ろ過水の UV 透過率も安定的に向上させることができる。

UF 膜ろ過装置における常時の制御項目は、UF 膜ろ過供給ポンプの定量運転に係るポンプ回転数の調整であり、従来技術のように、原水水質に応じた凝集剤添加量の調整などの細かな運転管理は不要である。また、従来技術では、測定している原水水質以外の条件によっても凝集効果が異なることがあり、信頼性の高い処理の実現にはある程度の熟練等を要するが、UF 膜ろ過技術は単純な物理処理であることから、原水の変動に対しても、信頼性の高い処理を行うことができる。

UF 膜ろ過装置(実証施設)の外観および UF 膜モジュールの概要をそれぞれ図 2-5 および図 2-6 に示す。



図 2-5 UF 膜ろ過装置(実証施設)の外観



膜モジュール モジュール断面

図 2-6 UF 膜モジュールの概要

§ 10 UV 消毒システムの特徴

UV 消毒では、残留性がなく副生成物の発生がない安全性の高い再生水を、短時間の UV 照射で得ることができる。また、UF 膜ろ過水の UV 透過率に応じて UV 強度の自動調光を行うことにより、消費電力を削減できるとともに、確実にウイルスを不活化でき、安全性の高い処理を行うことができる。

【解説】

塩素消毒では、本システムと同等のウイルス $5 \log$ 除去が可能な Title22 の標準技術では CT 値 $450\text{mg/l} \cdot \text{分}$ (例えば残留塩素濃度 5mg/l で 90 分接触) が必要とされている⁵⁾のに対して、UV 消毒では数分の照射時間でウイルスを不活化できることにより消毒槽に係る建設コストを低減できる。また、塩素剤等の薬品使用をほぼ不要とできることから、維持管理費も削減することができる。

さらに、前段の UF 膜処理を行うことにより、低濁度のろ過水を得ることができ、UV 透過率を向上させることができる。これにより、処理性能の面において、濁度変動による不活化低下・変動リスクを避けることができ、安定してウイルスを不活性化することができる。維持管理の面においては、UV 強度を、UF 膜ろ過水の透過率により自動調光制御を行うことにより、常時の消費電力量を削減できるとともに、必要に応じて高い UV 照射量とできることにより、確実にウイルスを不活性化することができ、安全性の高い処理を行うことができる(資料編1参照)。

UV 消毒装置(実証施設)の外観および UV 消毒装置の概要をそれぞれ図 2-7 および図 2-8 に示す。

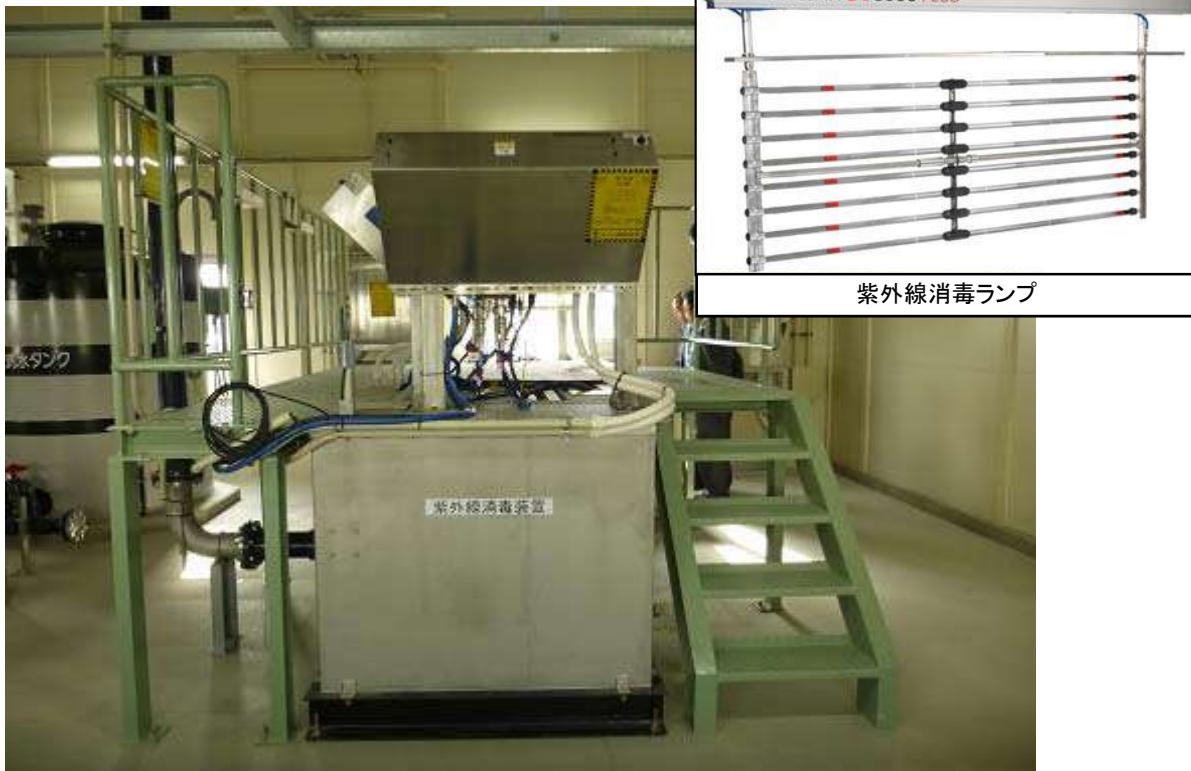


図 2-7 UV 消毒装置(実証施設)の外観



図 2-8 UV 消毒装置の概要

第2節 技術の適用条件

§ 11 適用条件

本技術の適用条件は、以下のとおりとする。

(1) 处理水量

本技術の最小規模は $1,000 \text{ m}^3/\text{日}$ (日最大)を目安とし、ユニット数および系列数は任意に設定できるため、最大規模の制限はない。なお、 $1,000 \text{ m}^3/\text{日}$ (日最大)規模の施設で、運転時間を調整することにより、これより少ない処理水量での運転は可能である。

(2) 原水 SS 水質および濁度

原水の SS 水質および濁度の適用条件は、以下のとおりとする。

- ・ 原水 SS 水質: 10 mg/l 以下 (年間平均)
- ・ 原水濁度: 10 度 以下 (年間平均)

(3) 敷地確保および貯水施設に関する条件

本システムを設置するための必要な敷地を確保できること、再生水の需要量の日間変動に対応するために必要な貯水施設を確保できることを確認することが重要である。

【解説】

(1) 处理水量

1) 最小規模

本技術の最小規模は、UF 膜ろ過装置の最小規模と、UV 消毒装置の最小規模の大きい方により設定される。UF 膜ろ過装置の最小規模は $660 \text{ m}^3/\text{日}$ (日最大)であり、UV 消毒装置の最小規模は $999 \text{ m}^3/\text{日}$ (日最大)となることから、本技術の最小規模は約 $1,000 \text{ m}^3/\text{日}$ (日最大)を目安とする。

なお、大きい規模となる場合は、それぞれの装置で柔軟に対応できる。

また、以降の最小規模の考え方は、実証研究で用いた実証施設の標準仕様に基づいているが、採用するメーカーの装置の標準仕様や、再生水の需要に応じた施設構成等により、更に小さな規模でもシステムを構築することは可能であるため、再生水の需要見込みに基づき設計する(第4章参照)。

① UF 膜ろ過装置の最小規模

UF 膜ろ過装置の最小規模は、以下の仕様から $660 \text{ m}^3/\text{日}$ となる。ただし、本技術において示した監視制御システムによるバックアップ制御(「§ 55 緊急時の対応」参照)等を実施せず、予備モジュールを設置する場合には、さらに小さな規模の適用も可能である。

なお、1 系列は、複数のユニットで構成され、さらに 1 ユニットは複数の膜モジュールで構成されるものとする(図 2-9 に膜モジュール・ユニット・系列の関係を表した図を参考として示す)。

- 1 膜モジュールの最小規模 : $66\text{m}^3/\text{日}\cdot\text{本}$

膜面積 : $72\text{m}^2/\text{本}$

膜 Flux : $1.0\text{m}/\text{日}$

回収率 : 92%（「資料編2」より）

$$\text{膜面積 } 72\text{m}^2/\text{本} \times \text{膜 Flux } 1.0\text{m}/\text{日} \times \text{回収率 } 92\% = 66\text{m}^3/\text{日}\cdot\text{本}$$

- 1 膜ユニットの最小規模 : $330\text{ m}^3/\text{日}\cdot\text{ユニット}$

1 膜ユニットのモジュール本数は、膜破断が発生した場合に、破断個所の特定を容易にすることと、1 モジュールを停止した場合のユニット全体への影響を小さくすることからモジュール 5 本を最小とする。（1/5 のモジュールが停止することで、1 モジュールあたりの処理水量（膜 Flux）は 20% 増加するが、UF 膜ろ過の処理性能への大きな影響はないことを実証施設で確認している。）

1 膜ユニットの最小モジュール本数 : 5 本／ユニット

$$66\text{m}^3/\text{日}\cdot\text{本} \times 5 \text{ 本/ユニット} = 330\text{m}^3/\text{日}\cdot\text{ユニット}$$

本技術では経済性を考慮して予備モジュールを設置しないことを前提としているが、再生水利用による需要効果が高い場合には、予備モジュールを設置して 1 膜ユニットで 2 本（うち、1 本予備）の膜モジュールとすることも可能である。

- 1 系列の最小規模 : $660\text{m}^3/\text{日}\cdot\text{系列}$

1 系列のユニット数は、ユニット共通機器の故障等の影響や、ユニット更新時の影響を考慮して、2 ユニットを最小とする。

1 系列の最小ユニット : 2 ユニット／系列

$$330\text{m}^3/\text{日}\cdot\text{ユニット} \times 2 \text{ ユニット/系列} = 660\text{m}^3/\text{日}\cdot\text{系列}$$

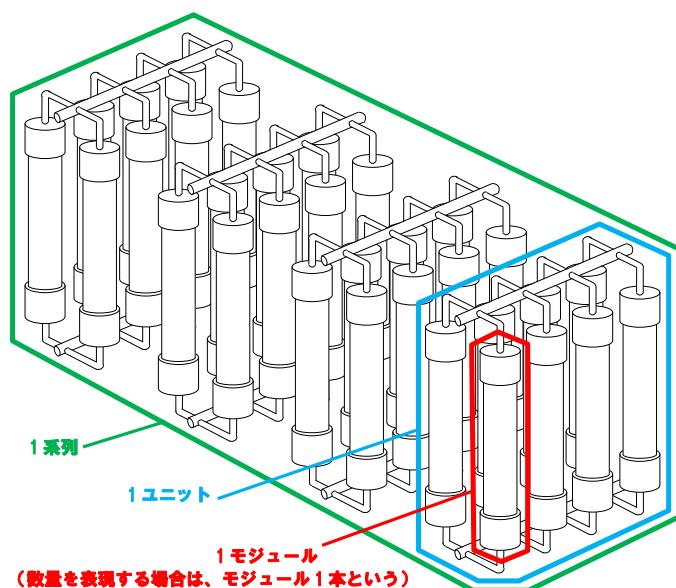


図 2-9 UF 膜ろ過装置の系列およびユニットのイメージ

② UV 消毒装置の最小規模

UV 消毒装置の最小規模は、以下の仕様から $1,000 \text{ m}^3/\text{日}$ となる。ただし、本技術において示した監視制御システムによるバックアップ制御（「§ 55 緊急時の対応」参照）等を実施しない場合には、さらに小さな規模の適用も可能である。

なお、UV 消毒装置の 1 系列は、1 または 2 水路で構成され、1 水路は複数のランプユニット、1 ランプユニットは複数のランプモジュール、1 ランプモジュールは複数のランプで構成されるものとする（図 2-10 に、ランプ・ランプモジュール・ユニット・水路および系列の関係を表した図を参考として示す）。

- ランプ 1 本の最小規模 : $148 \text{ m}^3/\text{日} \cdot \text{本}$

実証研究での下水処理水に比較的多く含まれている大腸菌ファージ GI タイプ（GI ファージ）を用いた検討結果（資料編1参照）において、標準規格品を用いた必要ランプ本数から設定する。

設計 UV 透過率 : 70%（「§ 41 UV 消毒装置の設計」参照）

ランプ出力 : 100%（最大出力時に日最大水量を処理できるものとする）

ランプ1本あたりの処理可能水量（UV 照射量 85 mJ/cm^2 として）: $148 \text{ m}^3/\text{日} \cdot \text{本}$

- 1 モジュールおよび 1 ユニットの最小規模

実証研究に用いた UV 消毒装置では、1 モジュールの最小ランプ本数は 4 本、1 ユニットの最小モジュール数は 2 モジュールとなる。（実稼働が 2 モジュールであり、これに予備の 1 モジュールを加えたものが本技術の標準の最小単位となる。）

また、UV 消毒装置の 1 日あたりの実処理水量は、UF 膜ろ過装置がろ過運転を行った時間のみ UV 消毒を行うため、処理可能な規模は 1 日のうちの運転時間を考慮して設定する。

1 モジュールの最小ランプ本数 : 4 本/モジュール

1 ユニットの最小モジュール数 : 2 モジュール/ユニット

膜ろ過時間 : 20.25 時間

1 モジュールの最小規模 :

$$148 \text{ m}^3/\text{日} \cdot \text{本} \times 4 \text{ 本}/\text{モジュール} = 592 \text{ m}^3/\text{日} \cdot \text{モジュール}$$

1 ユニットの最小規模 :

$$592 \text{ m}^3/\text{日} \cdot \text{本} \times 2 \text{ モジュール}/\text{ユニット} \times 20.25 \text{ 時間} \div 24 \text{ 時間} = 999 \text{ m}^3/\text{日} \cdot \text{ユニット}$$

ただし、本技術において示した監視制御システムによるバックアップ制御（「§ 55 緊急時の対応」参照）等を実施せず、一定期間の運転停止が可能な場合には、さらに、モジュール数を少なくすることも適用も可能である。

- 1 系列の最小規模と実処理水量 : $1,000 \text{ m}^3/\text{日} \cdot \text{系列}$

UV 消毒装置は、ユニットごとに制御を行うことが可能であるから、1 系列は 1 ユニットで構成することが最小規模となる。

1 系列の最小ユニット : 1 ユニット/系列

$$999 \text{ m}^3/\text{日} \cdot \text{ユニット} \times 1 \text{ ユニット}/\text{系列} = 999 \text{ m}^3/\text{日} \cdot \text{系列}$$

→ 1,000m³/日とする。

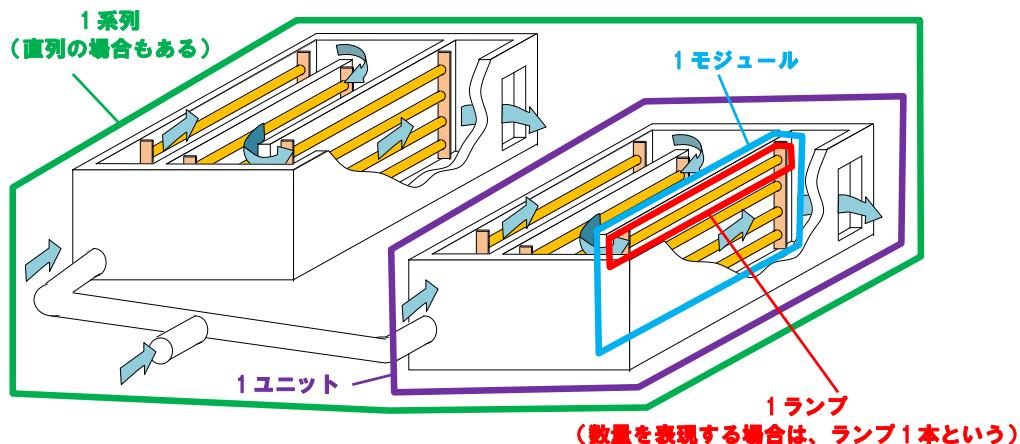


図 2-10 UV 消毒装置の系列およびユニットのイメージ

2)最大規模

本技術は、系列数に制限はないことから、最大規模についても制限はない。

ただし、系列ごとのユニット数やモジュール本数の制限については、以下のとおりである。

① UF 膜ろ過装置の最大規模

UF 膜ろ過装置のユニット数および系列数は、制限がないことから、複数の送水先ごとの需要量に応じた系列数にすることや、用地形状にあった配置に適した系列・ユニット割りにするなど、設計条件に応じて設定を行うものとする。

- 1 膜モジュールの最大規模 : 規格品の規模による
- 1 膜ユニットの最大モジュール本数 : 16 本／ユニット
膜破断発見後に破断モジュール特定のための圧力減衰試験は 1 モジュール単位で実施することとなる。その場合、1 ユニット約 30 分・昼間 8 時間で実施するとして、管理可能な最大モジュール本数は 16 本となる。
- 1 系列の最大ユニット数 : 制限はない

② UV 消毒装置の最大規模

UV 消毒装置の水路数および系列数は、制限がないことから、複数の送水先ごとの需要量に応じた系列数にすることや、用地形状にあった配置に適した系列・水路割りにするなど、設計条件に応じて設定を行うものとする。

- ランプ 1 本の最大規模 : 規格品の規模による
- 1 ランプユニットの最大ランプ本数 : 規格品の規模による

- ・ 1 水路の最大ユニット数 : 制限なし
　　1 水路の最大ユニット数は特に規定しないが、採用するメーカーの仕様や、ランプ交換等の維持管理性を検討して設定する。
- ・ 1 系列の最大水路数 : 制限なし

(2) 原水 SS 水質および濁度

原水の SS 水質および濁度が高いと、膜の目詰まりが早く発生し、UF 膜ろ過での逆洗頻度を高くする必要があり、維持管理コストが増大する。逆洗浄が不足すると、膜の目詰まり(ファウリング)が進行し、運転不能な差圧上昇を招いたり、閉塞に伴う膜の寿命低下を招く恐れがある。

実証実験では、一時的に SS 水質 15mg/l および濁度 15 度程度の流入があった場合においても、UF 膜ろ過水の目標である SS 水質検出限界(1mg/l)以下、濁度 0.2 度以下とできていた。ただし、長期的にこのような高い SS 水質、濁度で安定した処理が可能であるかは評価できていないため、原水の平均的な水質としては余裕を見込み、SS 10mg/l 以下、濁度 10 度以下を確保できれば安定的な処理が可能であるとして、これを適用条件とした。

(3) 敷地確保および貯水施設に関する条件

本システムは、既存の処理場に追加で設置することから、既存処理場用地に余裕があることや、周辺に用地を確保するなど、建設用の敷地を確保できることを確認する必要がある。なお、本システムに必要な敷地面積は、施設配置検討を行うことが望ましいが、「§ 22 本システムの施設面積」の必要用地面積の算定関数から概略で算定することもできる。

本システムでは、利用先が近隣であれば、配水塔等からの自然落差での送水が可能であるが、利用先が遠方にある場合には、別途、中継ポンプ場が必要となり、そのための敷地を確保することを確認することも重要である。

また、本システムは 24 時間運転により日最大の需要量に対応する再生水を送水することを基本的な条件としている(「§ 29 基本条件の設定」参照)ことから、日最大発生日には需要量の日間変動に対応するための貯水施設が必要となる。この貯水施設を本システムとは別途に設置することが可能であるか確認することが重要となる。なお、利用用途が農業利用の場合には、既存の貯水池などに再生水を送水して表流水の貯水と兼用で利用するなど、既存施設を有効に活用することも検討することが望ましい。

第3節 実証研究に基づく評価の概要

§ 12 実証研究の概要

本実証研究は、UF 膜と UV 消毒による再生水処理技術に、新たな管理技術を組み合わせて、安全かつ安定的な再生水供給を行うことを実証するための研究である。

【解説】

本実証研究は、平成 27・28 年度に「UF 膜ろ過処理と UV 消毒を組み合わせた再生水利用技術」として実施した。

本実証技術の概要は、図 2-11 に示すとおりであり、「§ 5 技術の目的」に掲げたとおり、UF 膜と UV 消毒による再生水処理技術に、安全かつ安定的な処理を行うための新たな管理技術を組み合わせて、都市用水(せせらぎ水路用水)および農業灌漑用水に対して実際に再生水を供給する実証事業である。

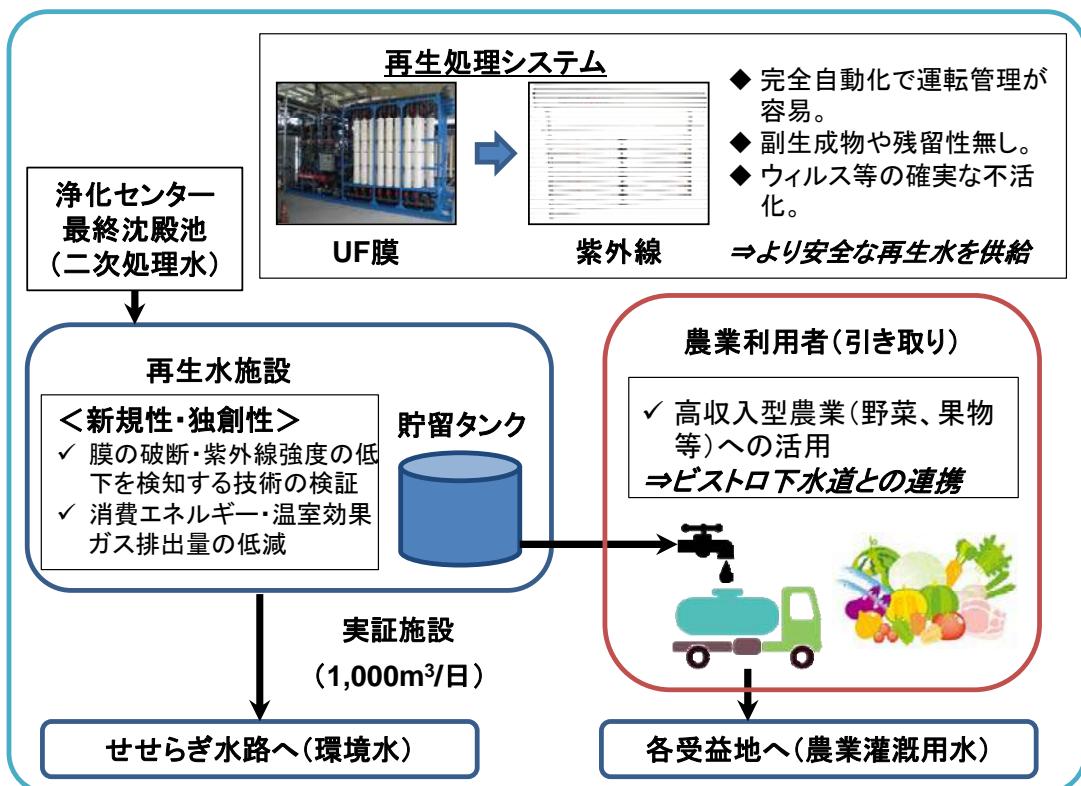


図 2-11 本実証実験の概要

§ 13 評価項目

実証研究において、従来技術との比較の評価項目は下記の項目とした。

- ①建設コスト(年価)
- ②維持管理コスト
- ③ライフサイクルコスト(LCC)
- ④消費電力量
- ⑤温室効果ガス(GHG)排出量

【解説】

実証研究においては、「§ 8 システム全体の特徴」で示した従来技術(凝集剤添加+砂ろ過+消毒(UV))との比較として、 $10,000\text{m}^3/\text{日}$ の処理性能のモデルケースを設定して、以下の項目についての評価を行った。

①建設コスト(年価)

モデル設計を行い建設コストを試算するともに、設定した各施設ごとの耐用年数から年価を算定した。

②維持管理コスト

モデル設計を行った施設において、電力費・薬品費・消耗品費・補修費・汚泥処理費の各項目の維持管理費を算定した。

③ライフサイクルコスト

建設コスト(年価)と維持管理費の合計として、ライフサイクルコストを算定した。

④消費電力量

モデル設計を行った施設において、各設備の使用電力量を積み上げてシステム全体の消費電力量を算定した。

⑤GHG 排出量

モデル設計を行った施設において、電力由来・薬品由来・汚泥処理由来・建設および解体撤去由來の各項目における GHG 排出量を算定した。

§ 14 評価結果

10,000m³/日規模のモデル設計において、従来技術と本技術との比較・評価の結果、消費電力量については従来技術より大きくなるが、ライフサイクルコスト・維持管理費およびGHG排出量では本技術は従来技術より有利な処理法であることが示されている(資料編2参照)。

【解説】

(1) 試算条件

従来技術との比較・評価は、表2-1、表2-2および図2-12に示す試算条件をもとに行うものとした。

表2-1 試算条件

項目	算出方法	備考
施設規模	再生水量として10,000m ³ /日	24時間運転
土木	必要な構造寸法に30千円/m ³ を掛けて算出	地下機械室、UV消毒槽、再生水槽
建築	必要な床面積に250千円/m ² を掛けて算出	UF膜ろ過設備棟
機械電気	必要な機器費を設定し、据付工事費は機器費の30%(機械)または70%(電気)として算出	

表2-2 年価換算係数

項目	標準耐用年数nの設定	利子率iの設定	備考
土木建築	50年	2.3%	従来技術と共通
機械電気	15年	2.3%	従来技術と共通

$$\text{建設費年価} = \text{建設費} \times \frac{i \times (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

◆ コスト等の算出範囲は上記の色付き部分とする

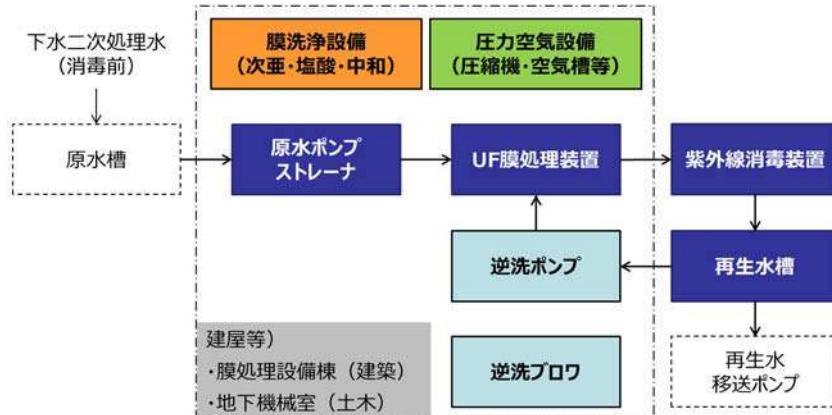


図2-12 コスト算出範囲

(2)本技術のコスト試算結果

前述の試算条件に基づいて、導入効果の試算を行った結果を以下の表2-3～表2-5に示す。

なお、本技術の試算にあたっては、UV消毒装置の自動調光制御(「§46 UV消毒装置の監視制御システム」を参照)を行うことにより、UVランプの定格運転(UV自動調光なし)よりも、消費電力を低減できる効果も考慮して、UV自動調光あり・なしの2ケースを設定した。

試算結果より、建設に係るコストは再生水1m³あたり約21円、維持管理に係るコストは再生水1m³あたり約12円(UV自動調光あり・なし共に)となった。

表2-3 建設コストの試算結果

項目	算出結果		備考
	金額(百万円)	年価(百万円/年)	
土木建築	236.95	8.02	耐用年数50年
機械電気	867.43	69.03	耐用年数15年
合計	1,104.38	77.05	

表2-4 消費電力量および維持管理コストの試算結果

項目	算出結果		備考
	UV自動調光なし	UV自動調光あり	
消費電力量	680,689kWh/年	654,080kWh/年	
維持管理費	電力費	10.21百万円/年	9.81百万円/年
	薬品費	0.94百万円/年	0.94百万円/年 次亜50円/kgとして
	消耗品費	23.86百万円/年	23.86百万円/年
	補修費	4.43百万円/年	4.43百万円/年
	汚泥処理費	3.86百万円/年	3.86百万円/年
	合計	43.30 百万円/年	42.90 百万円/年

表2-5 GHG排出量の試算結果

項目	算出結果(kg-CO ₂ /年)		備考
	UV自動調光なし	UV自動調光あり	
電力由来	399,564	383,945	CO ₂ 排出係数 0.587kg-CO ₂ /kWh
薬品由来	6,623	6,623	原単位 次亜塩素酸Na 0.320kg-CO ₂ /kg 等
汚泥処理由来	7,311	7,311	
建設および解体撤去由来	102,086	98,230	建設:維持管理:解体撤去 =19.3:80.2:0.5
合計	515,584	496,109	

(3) 従来技術との比較

本技術のコスト試算結果について、従来技術と比較した結果を以下の表 2-6～表 2-9 および図 2-13～図 2-16 に示す。

そして、従来技術との比較をまとめて表 2-10 に示す。本技術は従来技術に比べて「土木建築費」や「薬品使用量(凝集剤)」の低減が期待される。また、凝集剤を使用しないため、「薬品に係る GHG 排出量」を削減でき、発生汚泥量(固体物量)も低減されることから、結果として「汚泥処理費」および「汚泥処理に係る GHG 排出量」も削減できることが期待される。

一方、本技術では、UF 膜に原水を送るにあたり、比較的大きな電力を必要とするため、電力消費量は従来技術に比べて大きくなる。

表 2-6 ライフサイクルコストの削減効果

		金額 (百万円/年)	削減率 (%)	備考
従来技術		138.41	—	PAC 50 円/kg として
本技術	UV 自動調光なし	120.35	13.0	次亜 50 円/kg として
	UV 自動調光あり	119.95	13.3	

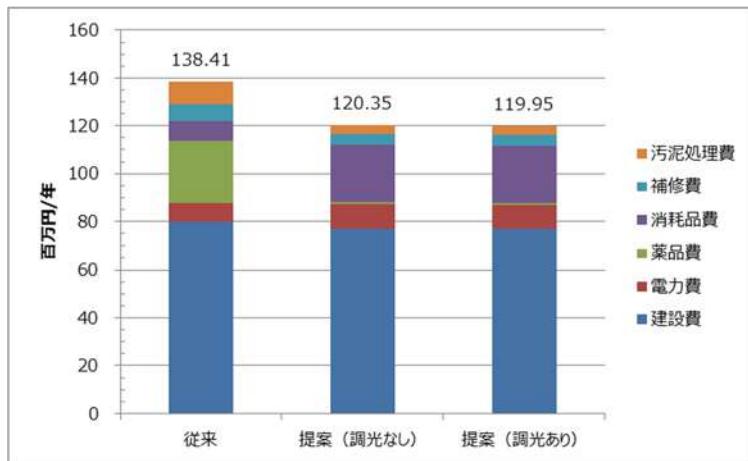


図 2-13 ライフサイクルコストの削減効果

表 2-7 維持管理費の削減効果

		金額 (百万円/年)	削減率 (%)	備考
従来技術		58.75	—	PAC 50 円/kg として
本技術	UV 自動調光なし	43.30	26.3	次亜 50 円/kg として
	UV 自動調光あり	42.90	27.0	

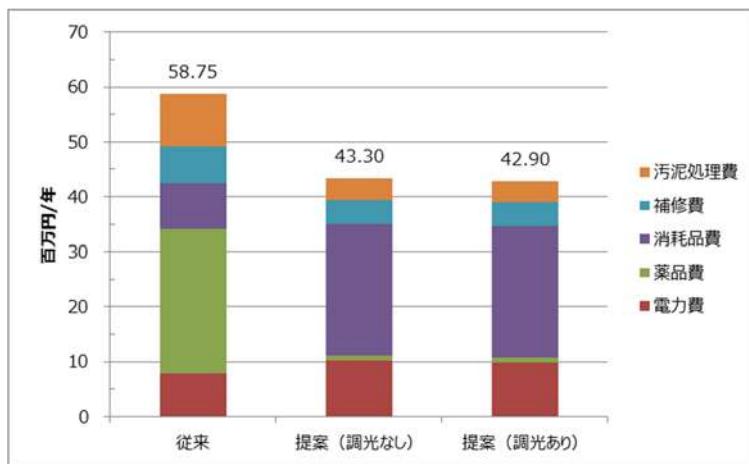


図 2-14 維持管理費の削減効果

表 2-8 電力消費量の削減効果

		電力量 (kWh/年)	削減率 (%)	備考
従来技術		526,138	—	
本技術	UV 自動調光なし	680,689	-29.4	
	UV 自動調光あり	654,080	-24.3	

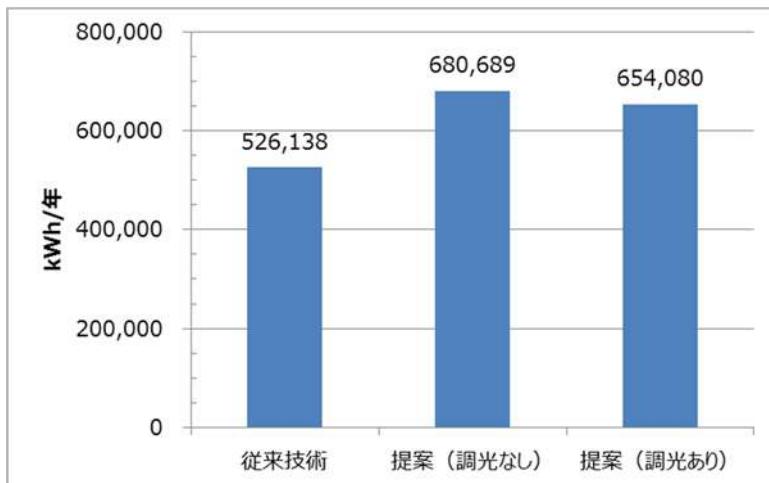


図 2-15 電力消費量の削減効果

表 2-9 GHG 排出量の削減効果

		排出量 (kg-CO ₂ /年)	削減率 (%)	備考
従来技術		649,416	—	
本技術	UV 自動調光なし	515,584	20.6	
	UV 自動調光あり	496,109	23.6	

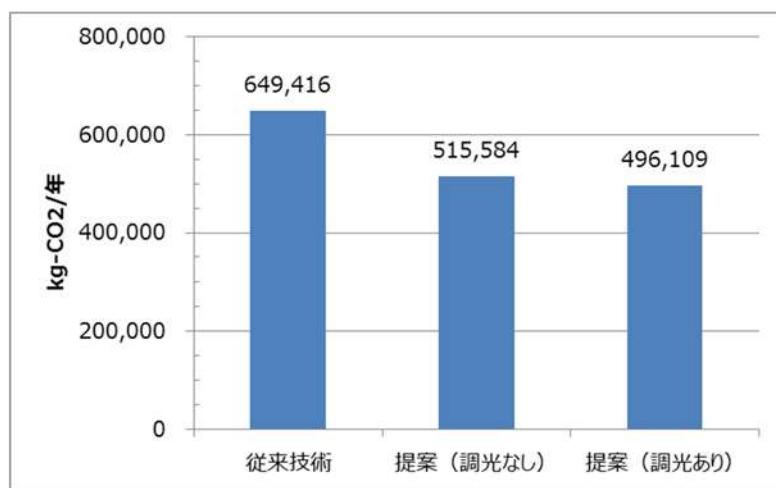


図 2-16 GHG 排出量の削減効果

表 2-10 従来技術との比較のまとめ

項目	従来技術	本技術		備 考
		UV 自動調光なし	UV 自動調光あり	
ライフサイクルコスト	138.41 百万円/年	120.35 百万円/年	119.95 百万円/年	次亜塩素 50 円/kg として
維持管理費	58.75 百万円/年	43.30 百万円/年	42.90 百万円/年	
電力消費量	526,138kWh/年	680,689kWh/年	654,080kWh/年	
GHG 排出量	649,416 kg-CO ₂ /年	515,584 kg-CO ₂ /年	496,109 kg-CO ₂ /年	

第3章 導入検討

第1節 導入検討手法

§ 15 導入検討手順

本技術の導入の検討に当たっては、下水道施設および再生水の利用対象地域について、現況および課題等を把握し、導入効果の評価を行い、適切な導入範囲および事業形態等について判断する。

【解説】

人が接触しても安全な信頼性の高い再生水利用技術を用いて、水需要の逼迫している地域において、新たな水資源を供給し、農業利用等による地域経済の発展に貢献することや、下水処理水の有効利用拡大による公共用水域等の環境への負荷低減などの観点から、導入の目的を明確にし、図3-1に示す検討フローおよび図3-2に示す導入検討詳細フローにしたがって、必要な情報を収集し、導入効果の概略試算を行い、導入範囲および事業形態等を含めた導入判断を行う。

試算結果が導入効果不十分であった場合には、導入シナリオを見直して複数回検討をすることが望ましい。

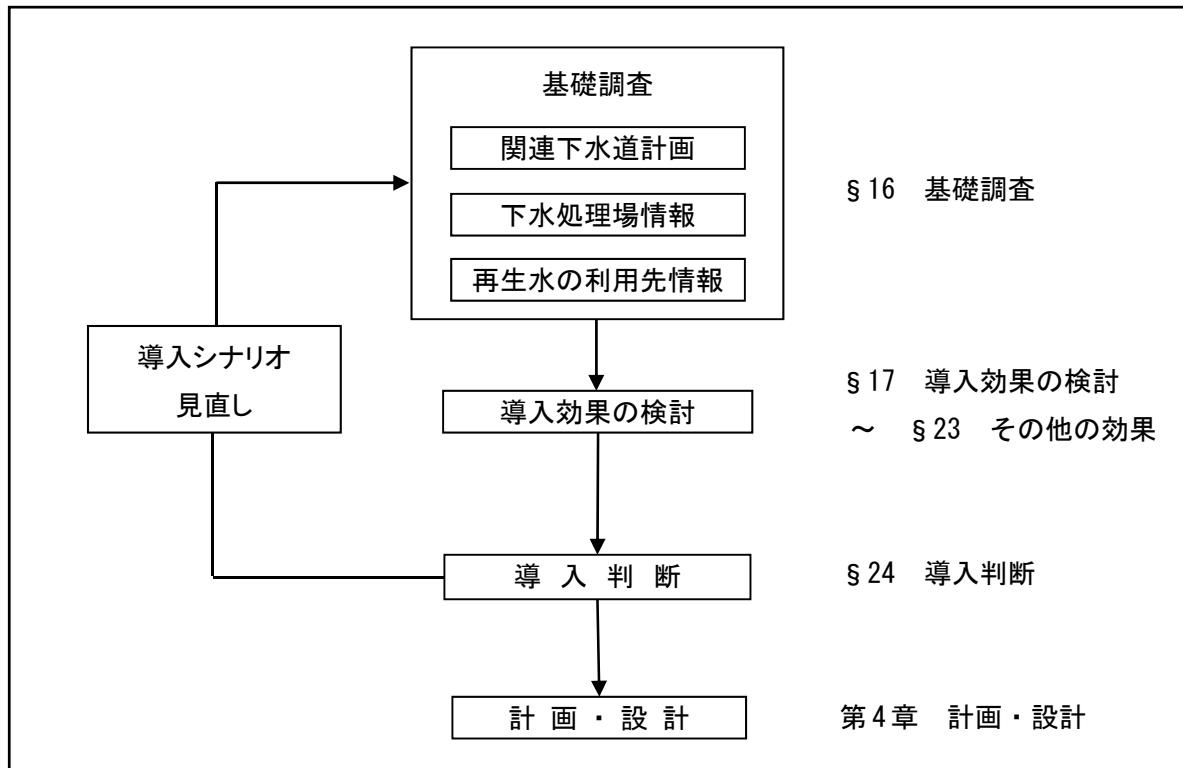


図3-1 導入検討フロー

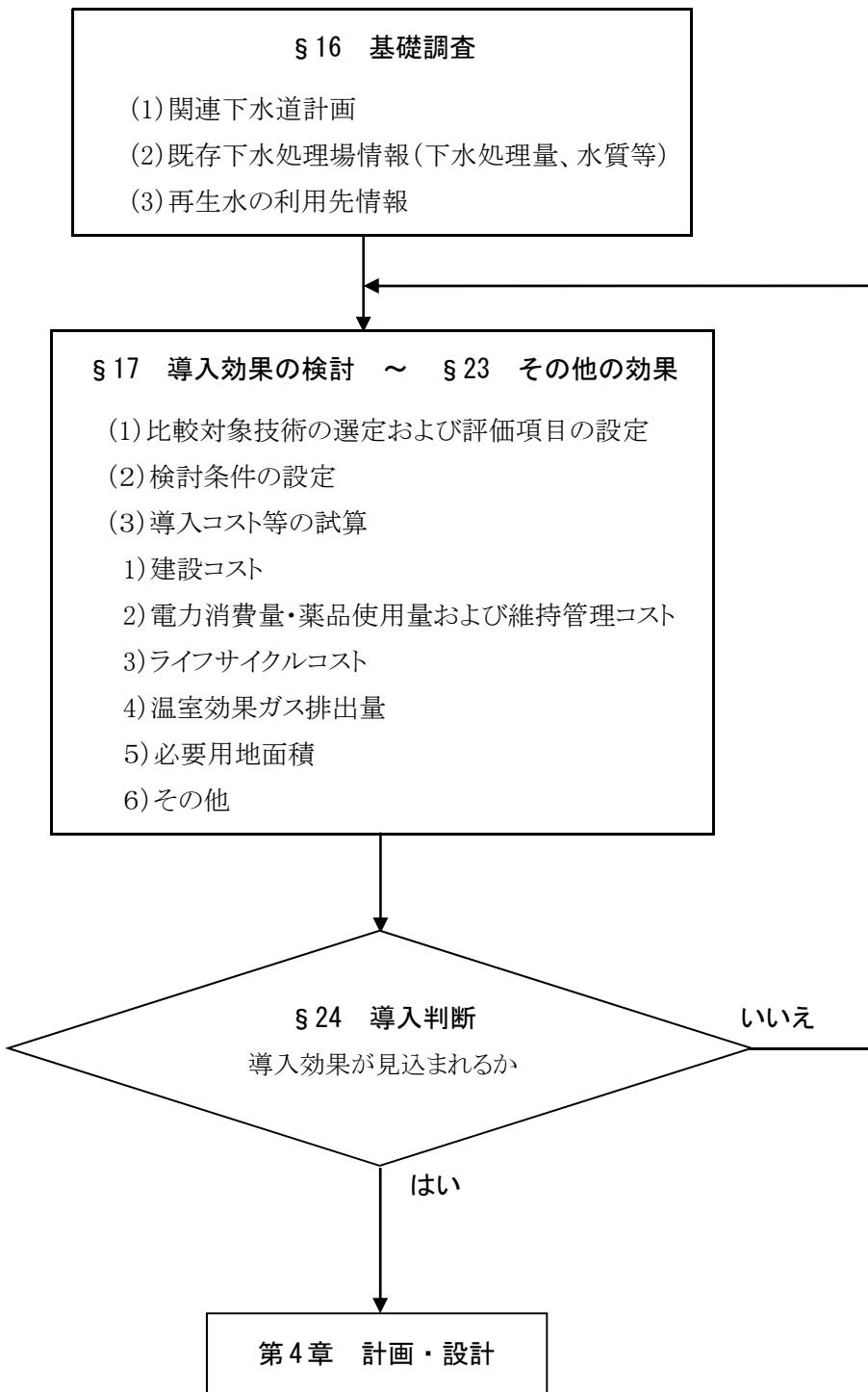


図 3-2 導入検討詳細フロー

§ 16 基礎調査

基礎調査では、下水道計画・施設、および再生水の利用先についての状況等を把握する。

【解説】

本技術導入の詳細な計画策定に先立ち、関連下水道計画の把握、ならびに下水道施設や地域の再生水利用の可能性に関する情報を把握する。

(1) 関連下水道計画

1) 下水道構想

下水道都道府県構想やマスターplanにおいて下水道の統廃合等の将来構想を把握する。

2) 下水道全体計画および事業計画

将来的な流入下水量・水質の予測や、予測を踏まえた施設計画の内容を把握する。

3) 下水道施設の更新計画または長寿命化計画

下水道施設の更新計画または長寿命化計画、ストックマネジメント計画およびこれらの計画策定時に行った劣化調査の結果について把握する。

4) 施設配置レイアウトに関する計画

下水処理施設の増強・増設に関する計画から、将来的な施設レイアウト構想や空地の見込みについて把握する。

5) 再生水事業計画

既存の再生水事業(せせらぎ用水事業など)を把握する。

(2) 既存下水処理場情報

1) 下水処理量

過去数年間の日毎、月毎、年毎の下水処理量を調査し、各年の日最大、日平均、日最少、月最大、月平均、月最少の数値を把握する。

2) 下水処理水質

過去数年間の下水処理水質を調査し、「§ 11 適用条件」に示した水質項目について、各年の日最大、日平均の数値および年間変動の状況を把握する。

3) 既設の再生水処理施設

再生水利用を行っている場合は、下水処理場の再生水処理施設について、過去に耐震・劣化調査等を行ったものがあれば、その結果を整理する。

4) 運転管理の状況

下水処理施設の運転管理に係わる体制・人員・委託先・委託内容について整理する。

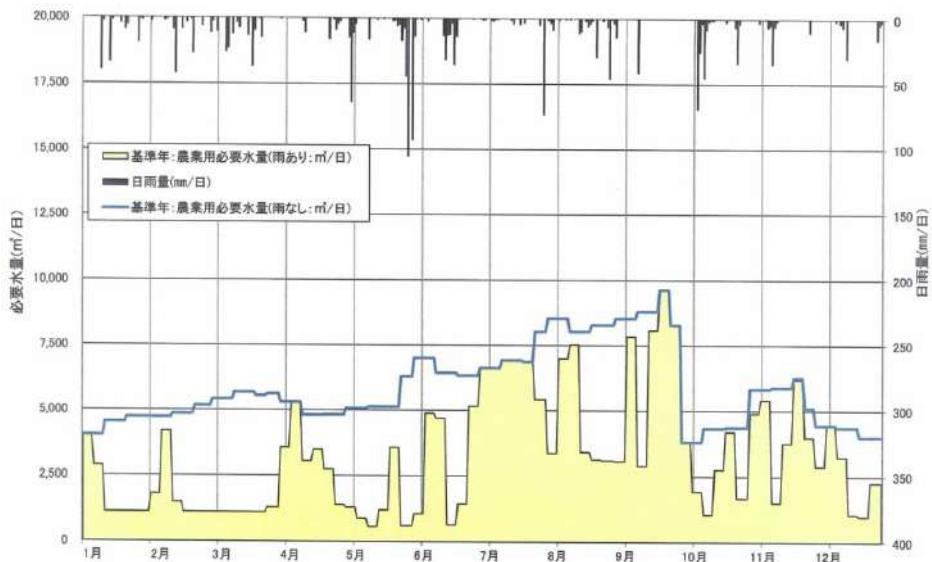
(3) 再生水の利用先情報

1) 再生水の需要量

再生水の利用先と、その水需要量について把握する。

農業利用に用いる場合は、将来的な灌漑面積から、面積当たり灌漑水量を用いて推定を行うともできる。ただし、栽培する農作物によっては、灌漑期が異なるため、灌漑計画を把握して年間の灌漑水量の変動を推定しておくことが望ましい。

なお、農業利用の水需要量を推定する際には、過去数年間の降水量を把握し、渇水年を基準年として、灌漑水量から降水量を差し引いたものを再生水需要量とするなど、的確な需要予測を行うことが必要である。その予測例を図3-3に示す。



出典:糸満市北部地区・再生水利用による畠地かんがい計画

図3-3 再生水の需要量予測例

2)再生水の必要水質

再生水の利用先において、必要とする水質について把握する。

なお、農業利用においては、資料編9において示す利用開始時の情報開示の水質項目について、栽培する農作物に応じた適用可能な水質を把握しておくことが重要である。

3)既存の水単価

再生水の利用先において、必要な水需要量を購入した水で賄っている場合には、その水単価を把握する。

なお、農業利用においても、遠方からの送水がある場合やダム貯水を利用する場合など、施設の管理費を負担する場合があるため、その負担に係る水単価を把握しておく必要がある。

4)利用者情報の把握

再生水の利用先での利用者情報(ニーズ等)について、既存の関連下水道計画より把握し、本技術の適用性について確認する。

§ 17 導入効果の検討

導入効果は、コスト(建設・維持管理・ライフサイクル)、エネルギー消費量、温室効果ガス排出量の縮減効果等について比較対象技術と比較して検討する。また、本技術を導入検討する地域や利用用途に応じた評価項目を含めることができる。

【解説】

(1) 比較対象技術の選定および評価項目の設定

利用用途に応じて、必要とされる水量・水質を満足できる処理技術を、比較対象技術として選定する。なお、実証研究において比較対象とした技術の概要は、「§ 8 システム全体の特徴」に示すところである。評価項目として一般的なものは、「§ 18 建設コストの算定」～「§ 22 本システムの必要面積」に示す。これらの項目について、実証研究において比較対象技術との比較を行った例を「§ 14 評価結果」に示しているため参照されたい。

さらに、上記の一般的な評価項目以外にも、本技術を導入検討する地域や利用用途に応じた評価項目を含めることができる。農業利用する場合は、安定した灌水による農作物の生産性向上や高付加価値作物への転作等による「農業利用による地域経済の発展」や再生水に含まれる窒素等を作物の栄養塩として活用することによる「公共用水域の環境への負荷低減」等がその他の評価項目の例として考えられる。実証研究において検討したその他の評価項目の例を「§ 23 その他の効果」に示しているため参照されたい。

(2) 検討条件の設定

上記の一般的な評価項目の検討に必要な検討条件は以下のとおりである。なお、ユーティリティ単価の標準的な値については、「§ 18 建設コストの算定」に示しているため参照されたい。

- 1) 計画処理水量(日最大および日平均)
- 2) ユーティリティ(電力・薬品)使用量単価
- 3) 用地費単価

また、検討方法については、本技術導入による縮減効果は、本技術を導入した場合に想定される試算結果と比較対象とする技術等を導入した場合に想定される試算結果を比較して検討する。

(3) 導入コスト等の試算

本技術の導入による建設コスト・維持管理コスト・ライフサイクルコスト、エネルギー消費量、温室効果ガス排出量の試算にあたっては、「§ 18 建設コストの算定」～「§ 22 本システムの施設面積」の算定関数を用いて算出する。

§ 18 建設コストの算定

建設コストは、モデル設計を用いて作成した費用関数から算定する。

【解説】

建設コストの算出にあたっては、本ガイドラインにおいて示した施設設計の基準等をもとに、 $2,000\text{m}^3/\text{日}$ 、 $10,000\text{m}^3/\text{日}$ 、 $25,000\text{m}^3/\text{日}$ の3規模のモデル設計を行い、それらのコストの積み上げから規模別建設コストを算定し、費用関数を作成した(表3-1および図3-4参照)。

表3-1 建設コストの費用関数

対象	単位	費用関数	備考
機械	百万円	$Y_1 = 1.209 Q_{Dmax}^{0.708}$	Q_{Dmax} : 日最大再生水量 ($\text{m}^3/\text{日}$) 最小水量は $1,000\text{m}^3/\text{日}$ とする (「§11 適用条件」参照)
電気	百万円	$Y_2 = 3.276 Q_{Dmax}^{0.392}$	
土建	百万円	$Y_3 = 5.236 Q_{Dmax}^{0.426}$	

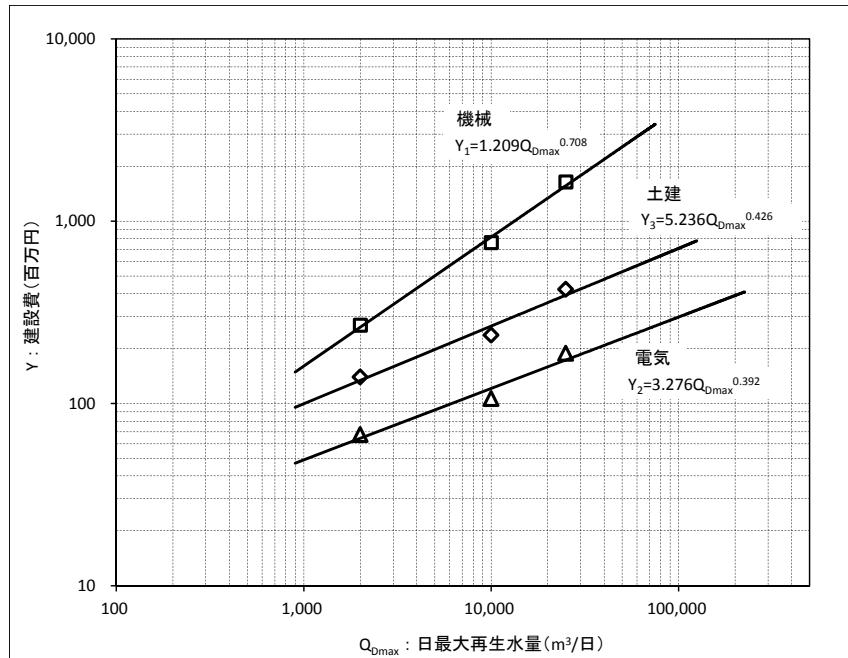


図3-4 建設コストの費用関数

§ 19 電力消費量・薬品使用量および維持管理コストの算定

電力消費量・薬品使用量等のユーティリティ使用量および維持管理コストは、モデル設計を用いて作成した費用関数から算定する。

【解説】

維持管理コストの算出にあたっては、本ガイドラインにおいて示した施設設計の基準等をもとに、 $2,000\text{m}^3/\text{日}$ 、 $10,000\text{m}^3/\text{日}$ 、 $25,000\text{m}^3/\text{日}$ の3規模のモデル設計およびコスト算定を行い、費用関数を作成した。電力および薬品(ユーティリティ)の使用量について表3-2ならびに図3-5および図3-6に、UF膜モジュールおよびUVランプの交換費について表3-3および図3-7に、補修費について表3-4および図3-8に、発生汚泥量について表3-5および図3-9に、そして汚泥処理費について表3-6および図3-10に示す。

なお、算定式の根拠となる単価、その他条件については、可能な限り導入を検討している下水処理場の実態に合わせて行うことが望ましい。

表3-2 ユーティリティ使用量の算定関数

項目	単位	ユーティリティ 算定関数	参考単価	備考
電力	kWh/年	$U_1 = 0.180 Q_{Ave} \times 365$	$P_1 = 15 \text{ 円/kWh}$	Q_{Ave} : 日平均再生水量 ($\text{m}^3/\text{日}$) 単価は、導入を検討している下水処理場の実態に合わせて設定を行うことが望ましい
薬品	次亜塩素酸ナトリウム	$U_{21} = 4.923 Q_{Ave} \times 10^{-3} \times 365$	$P_{21} = 50 \text{ 円/kg}$	
	塩酸	$U_{22} = 0.036 Q_{Ave} \times 10^{-3} \times 365$	$P_{22} = 55 \text{ 円/kg}$	
	SBS(重亜硫酸ソーダ)	$U_{23} = 0.080 Q_{Ave} \times 10^{-3} \times 365$	$P_{23} = 60 \text{ 円/kg}$	
	苛性ソーダ	$U_{24} = 0.066 Q_{Ave} \times 10^{-3} \times 365$	$P_{24} = 45 \text{ 円/kg}$	

※ ユーティリティに係る維持管理コスト M_1 および $M_{21 \sim 24}$ は、 $M = U \times P$ により算定する。

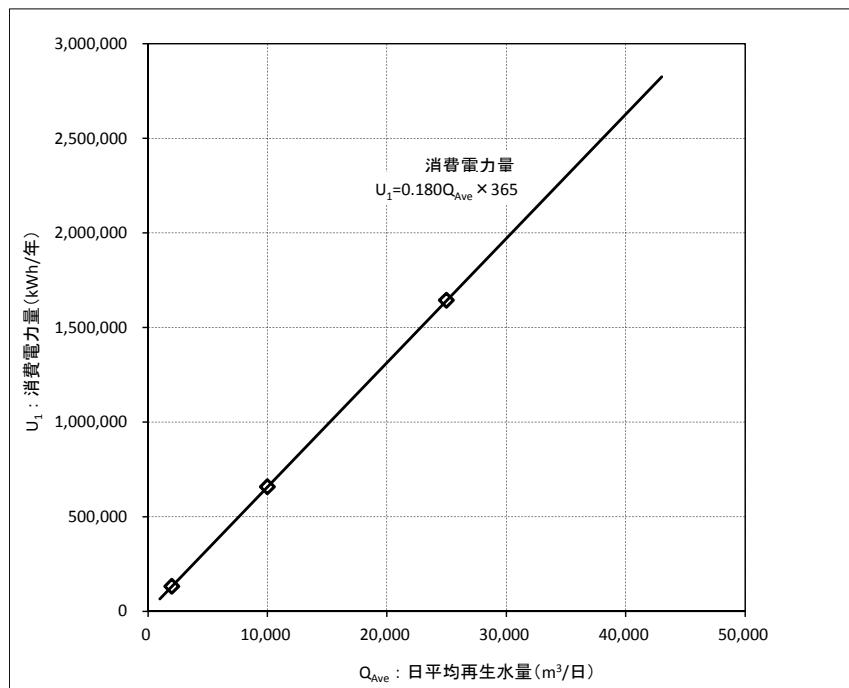


図 3-5 ユーティリティ(消費電力)使用量の算定関数

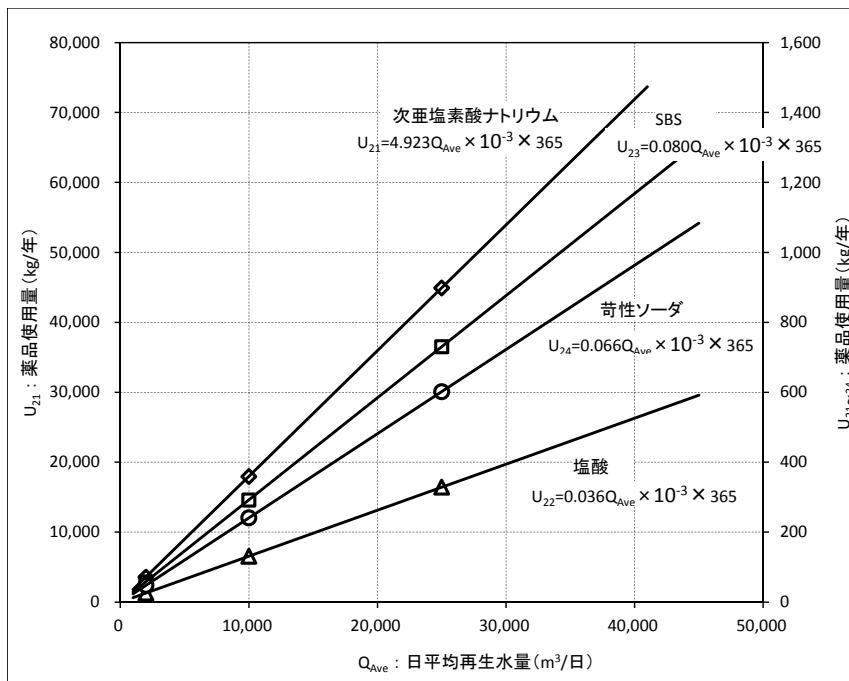


図 3-6 ユーティリティ(薬品)使用量の算定関数

表 3-3 UF 膜モジュール及び UV ランプ交換費の費用関数

対象	単位	費用関数	備考	
UF 膜モジュール	千円/年	$M_{31} = 2.06 Q_{Ave}$	耐用年数 7 年として算定	Q_{Ave} : 日平均再生水量 (m^3 /日)
UV ランプ	千円/年	$M_{32} = 0.32 Q_{Ave}$	耐用運転時間 12,000 時間として算定	

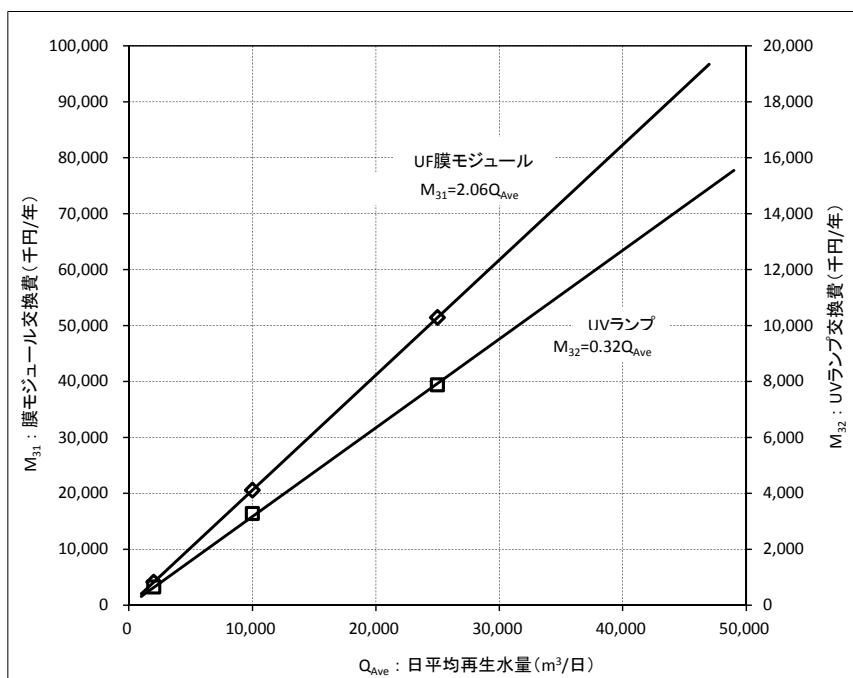


図 3-7 UF 膜モジュール及び UV ランプ交換費の費用関数

表 3-4 補修費の費用関数

対象	単位	費用関数	備考
補修費 (UF膜モジュールおよび UVランプ交換は除く)	千円/年	$M_{33} = 144.77 Q_{Dmax}^{0.384}$	機械・電気建設コスト (UF 膜ろ過装置と UV 消毒装置を除く) の 3.0%として設定 Q_{Dmax} : 日最大再生水量 (m ³ /日) 最小水量は 1,000m ³ /日とする (「§ 11 適用条件」参照)

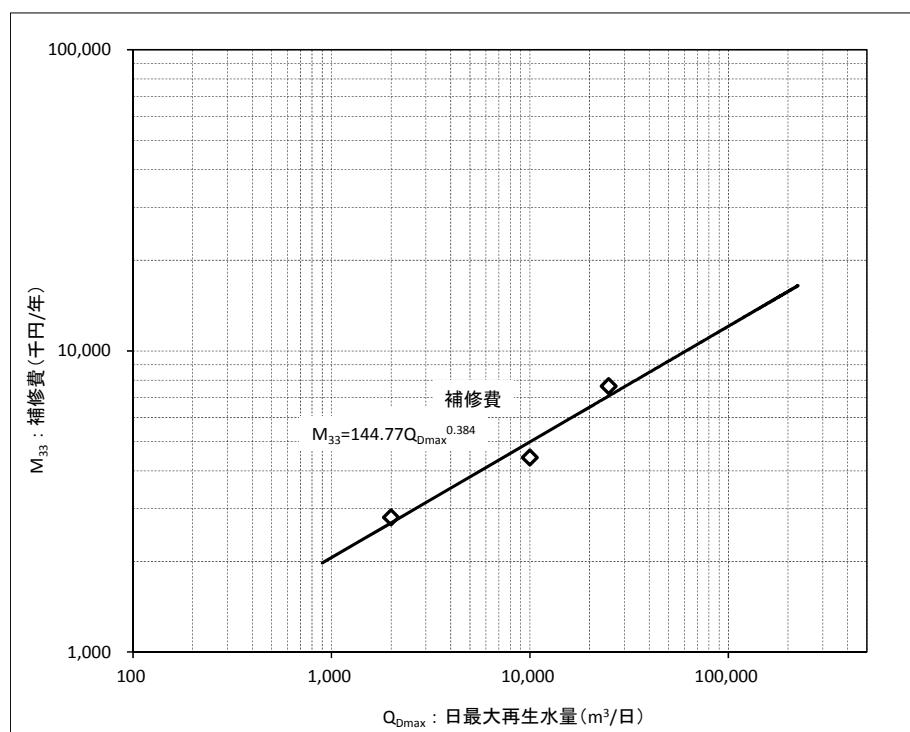


図 3-8 補修費の費用関数

表 3-5 発生汚泥量の算定関数

項目	単位	発生汚泥量 算定関数	備考	
発生汚泥 固形物量	t-ds/年	$Q_{dsY} = (3.0 / 0.922 \times 10^{-6}) Q_{Ave} \times 365$	原水 SS 水質 3.0mg/l、全てろ過除去できると仮定 再生水量/ろ過水量の比率を 0.922 として算定	Q_{Ave} : 日平均再生水量 (m ³ /日)
発生汚泥量	m ³ /年	$Q_{wetY} = Q_{dsY} / 0.01$	汚泥濃度 1.0%として算定	
脱水ケーキ量	t/年	$Q_{cakeY} = Q_{dsY} / (1 - 0.80)$	ケーキ含水率 80%として算定	

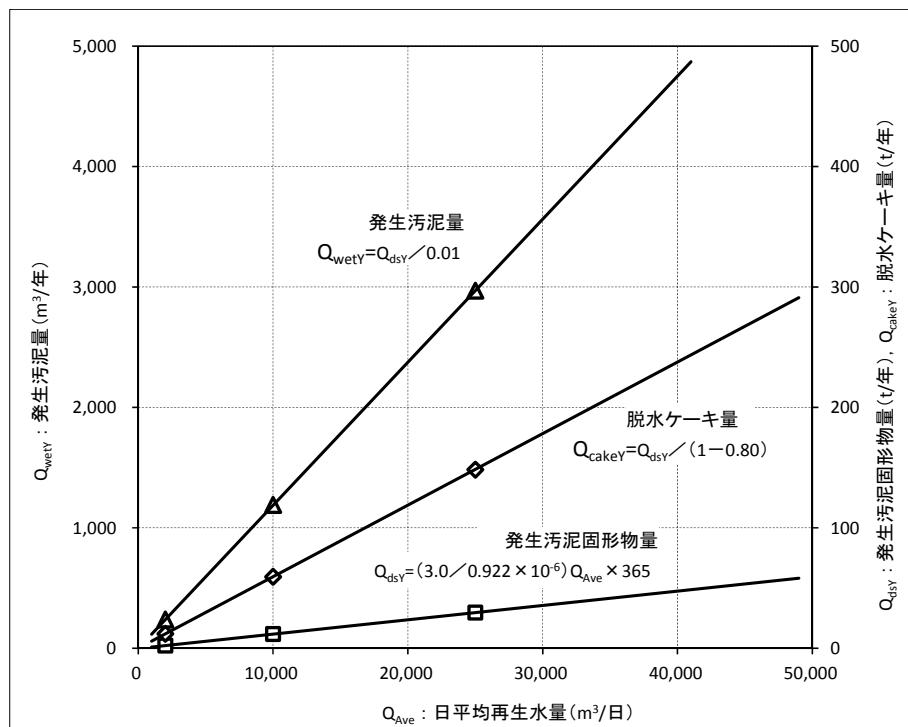


図 3-9 発生汚泥量の算定関数

表 3-6 汚泥処理費(本システム導入による増加分のみ)の費用関数

項目	単位	費用関数	備考
汚泥濃縮	千円/年	$M_{41} = 0.030 (Q_{wetY}/365)^{0.628} \times 10^3 \times (107.2/100)$	
汚泥脱水	千円/年	$M_{42} = 0.039 Q_{wetY}^{0.596} \times 10^3 \times (107.2/100)$	
汚泥処分	千円/年	$M_{43} = Q_{cakeY} \times P_{43}$	P_{43} : 処分単価 (千円/t)

※ 汚泥濃縮および汚泥脱水に係る維持管理費(M_{41} および M_{42})は、「バイオソリッド利活用基本計画(下水汚泥処理総合計画)策定マニュアル(平成 16 年 3 月)」(国土交通省都市・地域整備局下水道部、社団法人日本下水道協会)の費用関数を用いた。

なお、平成 25 年度デフレーター値(107.2)に換算を行っている。

※ 処分単価 P_{43} は、地域の実情に応じた単価を用いるものとする。

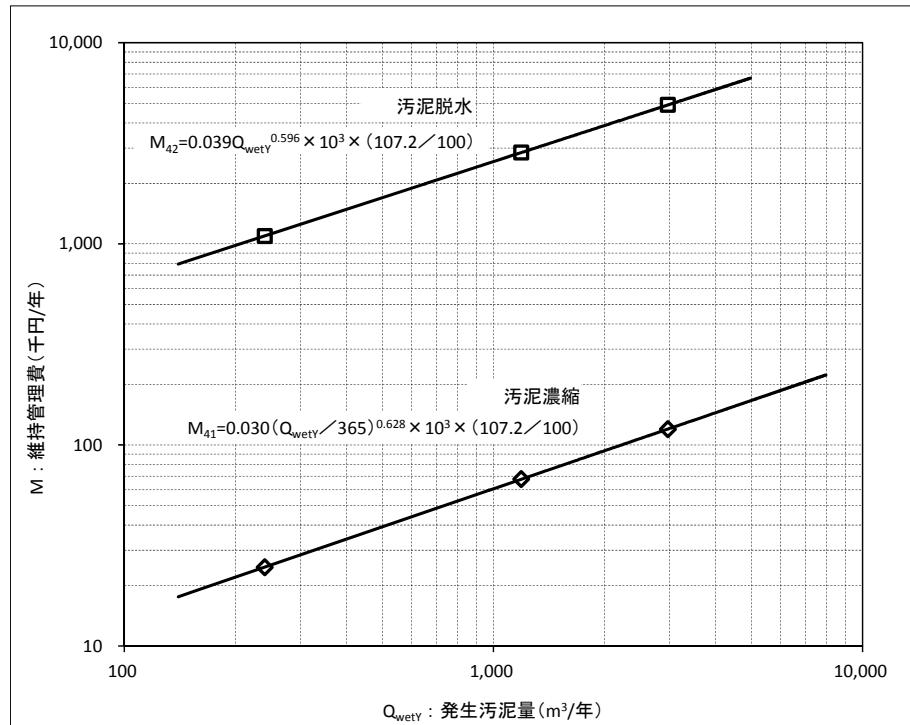


図 3-10 汚泥処理の増加分に係る維持管理コストの費用関数

§ 20 ライフサイクルコスト(LCC)の算定

ライフサイクルコストは、建設コストを年価換算し、維持管理コストを加えることにより算定する。

【解説】

建設コストについては、建設年価換算を行う。建設コストの年あたりの費用は、「バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル(平成16年3月国土交通省都市・地域整備局(社)日本下水道協会)」⁶⁾の計算例に基づき以下の係数を乗じて算出する。

$$\text{建設費年価 } C = Y \times i \times (1+i)^n / \{(1+i)^n - 1\} \quad \dots \quad (\text{式 3-1})$$

Y:建設費

i:利子率 2.3%

n:耐用年数

試算に使用する耐用年数については表3-7に示すものを標準とする。機械・電気設備は、いずれも15年とし、土木・建築施設の耐用年数は、50年とした。ただし、可能な限り導入を検討している下水処理場の実態に合わせて設定を行うことが望ましい。

表 3-7 耐用年数の設定

対象	耐用年数	備考
機械	$n_1 = 15$ 年	
電気	$n_2 = 15$ 年	
土建	$n_3 = 50$ 年	導入を検討している下水処理場の実態に合わせて設定を行うことが望ましい。

§ 21 温室効果ガス排出量の算定

温室効果ガス排出量は、モデル設計を用いて作成した排出量関数から算定する。

【解説】

維持管理コスト算定に用いた各ユーティリティ(電力・薬品)に由来する温室効果ガス排出係数の一例を表 3-8 に示す。温室効果ガス排出量の算定にあたっては、各ユーティリティを算定関数により算定し、これに表 3-8 の各排出係数を乗じて算定を行うことができる。

表 3-8 温室効果ガス(GHG)排出係数

対象		排出係数		備考
		数値	単位	
管理に係るもの	電力消費	$G_{11}=0.587$	kg-CO ₂ /kWh	※1
	薬品使用	$G_{21}=0.320$	kg-CO ₂ /t	※2
		$G_{22}=0.620$	kg-CO ₂ /t	※3
		$G_{23}=1.940$	kg-CO ₂ /t	※4
	汚泥処理	$G_{24}=0.938$	kg-CO ₂ /t	※4
		$G_{31}=0.474$	kg-CO ₂ /kg-ds	発生汚泥量あたり※5
	建設に係るもの	$G_{32}=28.35$	kg-CO ₂ /t-wet	脱水ケーキ量あたり※6
解体に係るもの		管理に係るもの 24%		※6
		管理に係るもの 0.06%		※6

※1 地球温暖化対策課ウェブサイト「電気事業者別のCO₂排出係数」、環境省地球環境局、平成27年度実績(http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/h29_coefficient.pdf)⁷⁾

※2 下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き、下水道における地球温暖化防止推進計画策定委員会、平成21年3月⁸⁾

※3 化学関連産業分野におけるCO₂対策技術評価法の調査、NEDO、1992.3⁹⁾

※4 LCA 実務入門、社団法人産業環境管理協会、1998¹⁰⁾

※5 「21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価」に関する調査研究報告書、土木研究所資料第4313号、平成28年1月¹¹⁾

※6 下水道におけるLCA適用の考え方、国土技術政策総合研究所資料第579号、平成22年2月¹²⁾

§ 22 本システムの施設面積

本システムの施設面積は、モデル設計を用いて作成した面積の算定関数から算定することができる。

【解説】

本技術の必要な施設面積は、本ガイドラインにおいて示した施設設計の基準等をもとに、 $2,000\text{m}^3/\text{日}$ 、 $10,000\text{m}^3/\text{日}$ 、 $25,000\text{m}^3/\text{日}$ の3規模のモデル設計を行い、規模別の必要面積を算定し、面積算定用の関数を作成した(表3-9および図3-11参照)。なお、用地形状が特殊な場合や、確保できる面積が小さい場合には、別途、施設配置検討を行うことが望ましい。

既存処理場の敷地に、表3-9により算定した必要施設面積が確保可能であるか、また、既存処理場内に確保できない場合は、他の用地を確保可能か判断を行う。

表3-9 必要用地面積の算定関数

算定関数 (ha)	備考
$A = 22.07 \times Q_{Dmax}^{0.39}$	Q_{Dmax} : 日最大再生水量 ($\text{m}^3/\text{日}$) 最小水量は $1,000\text{m}^3/\text{日}$ とする (「§11 適用条件」参照)

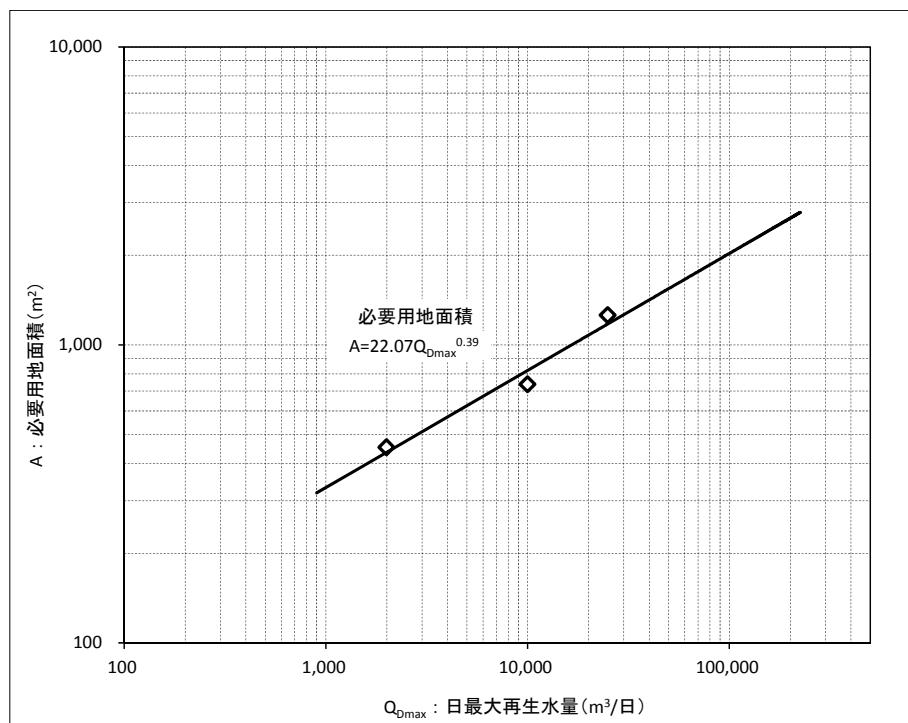


図3-11 必要用地面積の算定関数

§ 23 その他の効果

再生水を農業灌漑利用する場合は、原水中に含まれる窒素が農地に還元されることによる施肥量の削減や、残留塩素による農作物の生育阻害リスクの回避がその他の効果として期待されることから、栽培試験によりその効果を検討することが望ましい。

【解説】

(1) 窒素施肥量の削減効果について

窒素については、本技術ではほとんど除去が行われない(資料編1参照)。そのため、本技術による再生水を農業灌漑用水として供給する場合には、農作物に対して再生水中の窒素を栄養塩として利用できる。一般的な野菜の窒素施肥量は 50～300kg/ha・年とされており¹³⁾、年間灌漑水量を 10,000m³/ha・年 (FAO 灌漑用水ガイドライン¹⁴⁾における水質指標の算定根拠水量)とし、灌漑用水中の窒素が農作物にすべて吸収されることはないと考えられるが、仮に灌漑用水中の窒素がすべて利用されるとすると、灌漑用水の T-N 水質が 5～30mg/lで窒素施肥は不要となる。灌漑用水中の窒素の吸収効率は、農作物の種類や土壌など種々の条件により異なると思われ、条件によっては、農作物の栽培における窒素の施肥量はある程度は削減できることが期待される¹⁵⁾。

なお、定量的な施肥量の削減効果の把握にあたっては、栽培試験により判断を行うことが望ましい。

一方、再生水中の窒素が高濃度であることによる農作物の生育阻害などの悪影響についての判断においては、ISO16075 下水処理水の灌漑利用ガイドライン¹⁶⁾では、灌漑用水の T-N 水質指標は平均 25 mg/l以下(資料編9参照)とされていることから、これを判断基準として用いることができる。なお、本技術の導入判断においては、既設処理場の二次処理放流水の T-N 水質を、ほぼ再生水の T-N 水質と推定して判定を行うことができる。これは、本技術では、T-N はほとんど除去されない(「§ 29 基本条件の設定」参照)こと、既設処理場の消毒処理においても T-N はほとんど除去されないことによるものである。なお、最終沈殿池流出水において T-N 水質を測定している場合は、これを再生水の T-N 水質と推定して判定を行うものとする。

既設処理場の T-N 水質の実績値が、連続的に 25 mg/lを超えることがなく、平均 25 mg/l以下を下回る場合には導入可能と判断される。また、T-N 水質の実績値が高く、再生水利用に懸念がある場合においては、農作物の種類や土壌など条件により、灌漑用水中の窒素の吸収割合が異なり、条件によっては再生水利用が可能であることも考えられるため、既設処理場における最終沈殿池流出水を用いた栽培試験により導入判断を行うことが望ましい。

【実証試験による実例】

実証試験においては、従来栽培で利用している水路水よりも、再生水を利用した方が生育が早い傾向が見られる作物もあった。このことから、再生水を利用することにより窒素の施肥量を削減しても、従来栽培方法と同様な収穫量が得られる可能性が示されている。

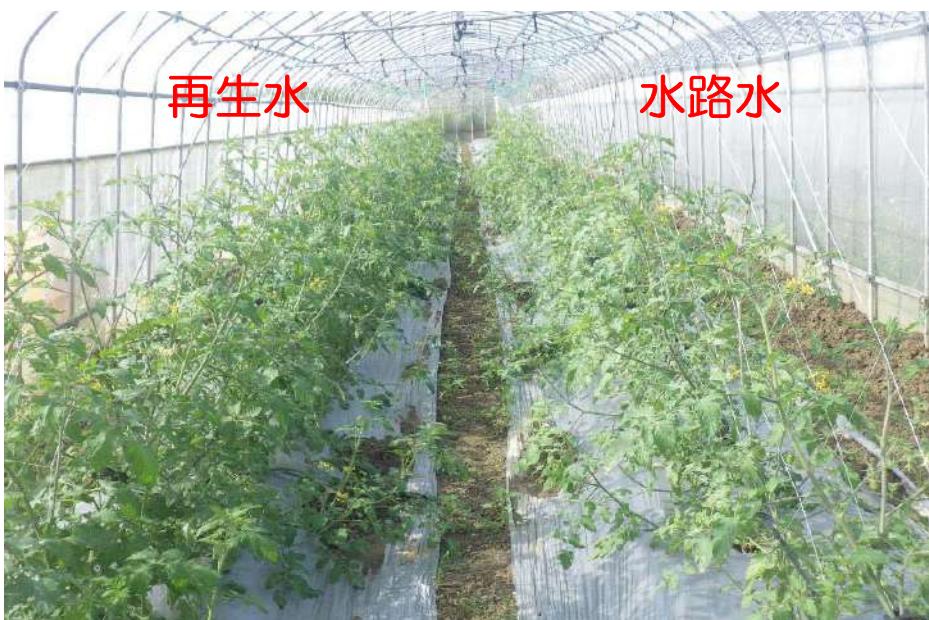


図 3-12 実証栽培試験における農作物生育状況(ミニトマト)

(2) 残留塩素による農作物の生育阻害リスクの回避効果について

塩素消毒を行った再生水を農業灌漑利用した場合、塩素消毒による残留塩素が農作物への根枯れなどによる生育阻害を引き起こす¹⁷⁾ことが懸念されるが、本技術では継続的な塩素消毒を行わないことから、農作物への生育に対しても影響がなく、通常の塩素消毒を行う下水処理水を利用することと比較して効果があると期待される。

なお、既存の農作物の栽培において、下水処理施設の直近下流の水源を利用している場合や、水道水を利用している場合には、残留塩素による農作物の影響を受けている可能性があるため、本技術による再生水を農業灌漑利用することが有利であると判断される。本指標は定性的な判断となる。定量的な判断を行う必要がある場合には、既設処理場における最終沈殿池流出水等を用いた栽培試験と、水道水や消毒処理を行った処理水を含んだ灌漑用水を用いた栽培試験の収穫量の比較を行うことが望ましい。

【実証試験による実例】

一例として、実証試験と並行して行っていたパイロットプラント施設における栽培試験の結果を示す。栽培試験では玉レタスを用いて、再生水・湧水・水道水で比較を行っており、残留塩素を含む水道水より再生水の方が収穫重量が増える結果であった。この事例では、渴水時に水道水を利用する場合には、再生水を利用する方が有利と判断される。また、良好な水質の湧水と比較しても収穫重量に大きな差はなく、再生水の優位性があることを示している。

表 3-10 パイロットプラントによる玉レタスの栽培試験結果(一例)

項目	再生水区			湧水区			水道水区		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
品質	○	○	○	○	△	○	○	○	○
概略寸法(cm)	31×28	36×32	29×22	36×34	25×23	38×35	32×21	34×37	35×32
重量(g)	521.4	369.0	384.3	475.8	355.1	471.2	304.3	412.0	365.7
重量合計値(g)	1274.7			1302.1			1082.0		
重量平均値(g)	424.9			434.0			360.7		

※品質(目視)内容 ○:正常 △:外葉腐敗

出典:沖縄型水循環システム導入に向けた再生水利用検討委員会資料
(沖縄県農林水産部南部農林土木事務所)

(3)その他

りんについては、不溶解性りん(下水試験法より:ここでは、UF 膜で除去できたりんを言う)をほぼすべて除去できることから、実証研究においても除去効果が見られており、再生水の T-P 水質は 0.1mg/l 以下となる(資料編1参照)。ISO16075 下水処理水の灌漑利用ガイドライン¹⁶⁾では、T-P の水質基準は平均 5 mg/l(資料編9参照)であり、灌漑用水として再生水を利用することにより、りんの過剰摂取による農作物の生育阻害などの悪影響について実質的な問題は無い。

また、一般的な野菜のりん施肥量は 50~200kg/ha・年とされており¹³⁾、年間灌漑水量を 10,000m³/ha・年(FAO 灌漑用水ガイドライン¹⁸⁾における水質指標の算定根拠水量)とし、灌漑用水中のりんがすべて利用されるとすると、灌漑用水の T-P 水質が 5~20mg/l でりん施肥は不要となる。しかしながら、再生水中の T-P 濃度は 0.1mg/l 以下程度であり、実質的なりんの施肥量の削減や栽培作物の增量などの定量的評価までは至らないと考えられる。

のことから、りんに関しては、農業灌漑利用についての導入判断指標としては不要といえる。

§ 24 導入判断

導入判断は、コスト縮減効果等、比較対象とする技術との比較による優位性と導入の意義・目的を確認しながら総合的に判断する。

【解説】

「§ 17 導入効果の検討」において選定した比較対象技術に対して、同セクションで設定した評価項目について、本技術との比較を行う。実証研究において行った一般的な評価項目については、従来技術との比較事例を「§ 14 評価結果」に示す。

なお、導入判断においては、一般的な評価項目の他に、農業利用による地域経済の発展や環境への負荷低減効果および「§ 23 その他の効果」に示すような、地域や利用用途に応じた評価項目を含めることも考えられ、本技術を導入する意義・目的を確認しながら総合的に導入判断する。

第2節 本技術の導入コスト等試算例

§ 25 試算条件

導入コスト等の試算条件を示す。

【解説】

導入コスト等の試算条件は、以下のとおりである。

(1)コスト試算条件

① 既設処理場流入水量

日平均流入水量は、日最大処理水量の0.7倍と仮定する。

$$QT_{Dmax} \text{ (日最大既設処理水量)} = 10,000m^3/\text{日}$$

$$QT_{Ave} \text{ (日平均既設処理水量)} = QT_{Dmax} \times 0.7 = 10,000 \times 0.7 = 7,000m^3/\text{日}$$

② 再生水処理施設規模(日最大再生水量)

既設処理場の流入水全量の再生水処理を行うものとする。

$$Q_{Dmax} \text{ (日最大再生水量)} = QT_{Dmax} = 10,000m^3/\text{日}$$

③ 日平均再生水量

既設処理場の流入全量の再生水処理を行うものとして、既設処理場の日平均流入水量
7,000m³/日の全量とする。

$$Q_{Ave} \text{ (日平均再生水量)} = QT_{Ave} = 7,000m^3/\text{日}$$

④ 利子率

年価算定に用いる利子率は以下のように仮定する。

$$i \text{ (利子率)} : 0.023 \text{ (2.3\%)}$$

⑤ 耐用年数

建設費の年価算定に用いる耐用年数は以下のように仮定する。

$$n_1 \text{ (耐用年数(機械))} : 15 \text{ 年}$$

$$n_2 \text{ (耐用年数(電気))} : 15 \text{ 年}$$

$$n_3 \text{ (耐用年数(土建))} : 50 \text{ 年}$$

⑥ ユーティリティ単価

維持管理費に用いる耐用年数は以下のように仮定する。

$$P_1 \text{ (電力)} : 15 \text{ 円/kWh}$$

P₂₁ (次亜塩素) : 50 円/kg

P₂₂ (塩酸) : 55 円/kg

P₂₃ (SBS) : 60 円/kg

P₂₄ (苛性ソーダ) : 45 円/kg

⑦ 用地単価

用地費に用いる用地単価は以下のように仮定する。

P_A(用地単価) : 120 千円/m²

※平成 27 年度「全国公示地価」の平均的な値とした。

§ 26 導入コスト等の試算例

導入効果の検討結果を示す。

【解説】

導入効果の検討結果は、以下のとおりである。

(1)建設コスト

① 再生水量条件

既設処理場の処理水の全量を処理するものとして、既設処理場の計画処理水量を再生水量と仮定する。

$$Q_{Dmax}(\text{日最大再生水量}) = 10,000 \text{m}^3/\text{日}$$

$$Q_{Ave}(\text{日平均再生水量}) = 7,000 \text{m}^3/\text{日}$$

② 建設費

$$Y_1(\text{機械}) = 1.209 Q_{Dmax}^{0.708} = 1.209 \times 10,000^{0.708} = 821 \text{ 百万円}$$

$$Y_2(\text{電気}) = 3.276 Q_{Dmax}^{0.392} = 3.276 \times 10,000^{0.392} = 121 \text{ 百万円}$$

$$Y_3(\text{土建}) = 5.236 Q_{Dmax}^{0.426} = 5.236 \times 10,000^{0.426} = 265 \text{ 百万円}$$

$$Y_T(\text{合計}) : 1,207 \text{ 百万円}$$

③ 必要用地面積

$$A(\text{用地面積}) = 22.07 Q_{Dmax}^{0.39} = 22.07 \times 10,000^{0.39} = 801 \text{m}^2$$

④ 用地費

$$P_A(\text{用地単価}) = 120 \text{ 千円/m}^2$$

$$Y_A(\text{用地費}) = A \times P_A = 801 \text{ m}^2 \times 120 \text{ 千円/m}^2 \times 10^{-3} = 96 \text{ 百万円}$$

⑤ 建設コスト(合計)

$$Y(\text{事業費}) = Y_T + Y_A = 1,303 \text{ 百万円}$$

(2)維持管理コスト

① ユーティリティ年間使用量

$$U_1(\text{電力}) = 0.180 Q_{Ave} = 0.180 \times 7,000 \times 365 = 459,900 \text{kWh/年}$$

$$U_{21}(\text{次亜塩素}) = 4.923 Q_{Ave} = 4.923 \times 7,000 \times 10^{-3} \times 365 = 12,578 \text{kg/年}$$

$$U_{22}(\text{塩酸}) = 0.036 Q_{Ave} = 0.036 \times 7,000 \times 10^{-3} \times 365 = 92 \text{kg/年}$$

$$U_{23}(\text{SBS}) = 0.080 Q_{Ave} = 0.080 \times 7,000 \times 10^{-3} \times 365 = 204 \text{kg/年}$$

$$U_{24}(\text{苛性ソーダ}) = 0.066 Q_{Ave} = 0.180 \times 7,000 \times 10^{-3} \times 365 = 169 \text{kg/年}$$

② ユーティリティ費

電力費：

$$M_1(\text{電力費}) = U_1 \times P_1 = 459,900 \text{kWh/年} \times 15 \text{円/kWh} \times 10^{-3} = 6,899 \text{千円/年}$$

薬品費：

$$M_{21}(\text{次亜塩素}) = U_{21} \times P_{21} = 12,578 \text{kg/年} \times 50 \text{円/kg} \times 10^{-3} = 629 \text{千円/年}$$

$$M_{22}(\text{塩酸}) = U_{22} \times P_{22} = 92 \text{kg/年} \times 55 \text{円/kg} \times 10^{-3} = 5 \text{千円/年}$$

$$M_{23}(\text{SBS}) = U_{23} \times P_{23} = 204 \text{kg/年} \times 60 \text{円/kg} \times 10^{-3} = 12 \text{千円/年}$$

$$M_{24}(\text{苛性ソーダ}) = U_{24} \times P_{24} = 169 \text{kg/年} \times 45 \text{円/kg} \times 10^{-3} = 8 \text{千円/年}$$

$$M_2(\text{薬品費・合計}) : 654 \text{千円/年}$$

③ 交換・補修費

$$M_{31}(\text{UF膜モジュール交換}) = 2.06 Q_{\text{Ave}} = 2.06 \times 7,000 = 14,420 \text{千円/年}$$

$$M_{32}(\text{UVランプ交換}) = 0.32 Q_{\text{Ave}} = 0.32 \times 7,000 = 2,240 \text{千円/年}$$

$$M_{33}(\text{その他補修費}) = 144.77 Q_{\text{Dmax}}^{0.384} = 144.77 \times 10,000^{0.384} = 4,974 \text{千円/年}$$

$$M_3(\text{交換補修費・合計}) : 21,634 \text{千円/年}$$

④ 発生汚泥量(本システムの導入による増加分)

$$\begin{aligned} Q_{\text{dsY}}(\text{発生汚泥固形物量}) &= (3.0 / 0.922 \times 10^{-6}) Q_{\text{Ave}} \times 365 \\ &= (3.0 / 0.922 \times 10^{-6}) \times 7,000 \times 365 = 8.31 \text{t-ds/年} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{wetY}}(\text{発生汚泥量}) = Q_{\text{dsY}} / 0.01 = 8.31 / 0.01 = 831 \text{m}^3/\text{年}$$

$$Q_{\text{cakeY}}(\text{脱水ケーキ量}) = Q_{\text{dsY}} / (1 - 0.80) = 8.31 / (1 - 0.80) = 42 \text{t/年}$$

⑤ 汚泥処理・処分費(本システムの導入による増加分)

$$\begin{aligned} M_{41}(\text{濃縮処理費}) &= 0.030 (Q_{\text{wetY}} / 365)^{0.628} \times 10^3 \times (107.2 / 100) \\ &= 0.030 (831 / 365)^{0.628} \times 10^3 \times (107.2 / 100) = 54 \text{千円/年} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{42}(\text{脱水処理費}) &= 0.039 Q_{\text{wetY}}^{0.596} \times 10^3 \times (107.2 / 100) \\ &= 0.039 \times 831^{0.596} \times 10^3 \times (107.2 / 100) = 2,298 \text{千円/年} \end{aligned}$$

$$M_{43}(\text{汚泥処分費}) = Q_{\text{cakeY}} \times P_{43} = 42 \text{t/年} \times 16,000 \text{円/t} \times 10^{-3} = 672 \text{千円/年}$$

$$M_4(\text{汚泥処理処分費・合計}) : 3,024 \text{千円/年}$$

⑥ 維持管理コスト(合計)

$$\begin{aligned} C_M = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 &= 6,899 + 654 + 21,634 + 3,024 = 32,211 \text{千円/年} \\ &\approx 32 \text{百万円/年} \end{aligned}$$

(3) ライフサイクルコスト

① 建設費年価

$$C_{Y1}(\text{機械}) = Y_1 \times \frac{i(1+i)^{n_1}}{(1+i)^{n_1}-1} = 821 \times \frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} = 65 \text{ 百万円/年}$$

$$C_{Y2}(\text{電気}) = Y_2 \times \frac{i(1+i)^{n_2}}{(1+i)^{n_2}-1} = 121 \times \frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} = 10 \text{ 百万円/年}$$

$$C_{Y3}(\text{土建}) = Y_3 \times \frac{i(1+i)^{n_3}}{(1+i)^{n_3}-1} = 265 \times \frac{0.023(1+0.023)^{50}}{(1+0.023)^{50}-1} = 9 \text{ 百万円/年}$$

$$C_Y(\text{建設費年価・合計}) : 84 \text{ 百万円/年}$$

② ライフサイクルコスト

$$C = C_Y + C_M = 84 + 32 = 116 \text{ 百万円/年}$$

(4) 温室効果ガス(GHG)排出量

① 電力消費量に係る GHG

$$G_{11} = 0.587 \times U_1 = 0.587 \times 459,900 \text{ kWh/年} = 269,961 \text{ kg-CO}_2/\text{年}$$

② 次亜塩素酸ナトリウム使用量に係る GHG

$$G_{21} = 0.320 \times U_{21} = 0.320 \times 12,578 \text{ kg/年} \times 10^{-3} = 4.0 \text{ kg-CO}_2/\text{年}$$

③ 塩酸使用量に係る GHG

$$G_{22} = 0.620 \times U_{22} = 0.620 \times 92 \text{ kg/年} \times 10^{-3} = 0.1 \text{ kg-CO}_2/\text{年}$$

④ SBS(重亜硫酸ソーダ)使用量に係る GHG

$$G_{23} = 1.940 \times U_{23} = 1.940 \times 204 \text{ kg/年} \times 10^{-3} = 0.4 \text{ kg-CO}_2/\text{年}$$

⑤ 苛性ソーダ使用量に係る GHG

$$G_{24} = 0.938 \times U_{24} = 0.938 \times 169 \text{ kg/年} \times 10^{-3} = 0.2 \text{ kg-CO}_2/\text{年}$$

⑥ 汚泥処理(濃縮・脱水)に係る GHG

$$G_{31} = 0.474 \times Q_{dsY} \times 10^3 = 0.474 \times 8.31 \text{ t-ds/年} \times 10^3 = 3,939 \text{ kg-CO}_2/\text{年}$$

⑦ 汚泥処分に係る GHG

$$G_{32} = 28.35 \times Q_{cakeY} = 28.35 \times 42 \text{ t/年} = 1,191 \text{ kg-CO}_2/\text{年}$$

⑧ 建設に係る GHG

$$G_{41} = (G_{11} + G_{21} + G_{22} + G_{23} + G_{24} + G_{31} + G_{32}) \times 0.24 = 66,023 \text{ kg-CO}_2/\text{年}$$

⑨ 解体に係る GHG

$$G_{42} = (G_{11} + G_{21} + G_{22} + G_{23} + G_{24} + G_{31} + G_{32}) \times 0.0006 = 165 \text{ kg-CO}_2/\text{年}$$

⑩ 温室効果ガス(GHG)排出量(合計)

$$G = G_{11} + G_{21} + G_{22} + G_{23} + G_{24} + G_{31} + G_{32} + G_{41} + G_{42} = 341,284 \text{ kg-CO}_2/\text{年}$$

(5) 用地面積

$$A(\text{用地面積}) = 22.07 Q_{D\max}^{0.39} = 22.07 \times 10,000^{0.39} = 801 \text{ m}^2$$

第4章 計画・設計

第1節 施設計画

§ 27 施設計画の手順

本技術の施設計画の策定手順を示す。

【解説】

施設計画の策定手順フローを図 4-1 に示す。「第3章 導入検討」において、導入効果が見込まれると判定されたものについて、図 4-1 の手順で施設計画を策定する。

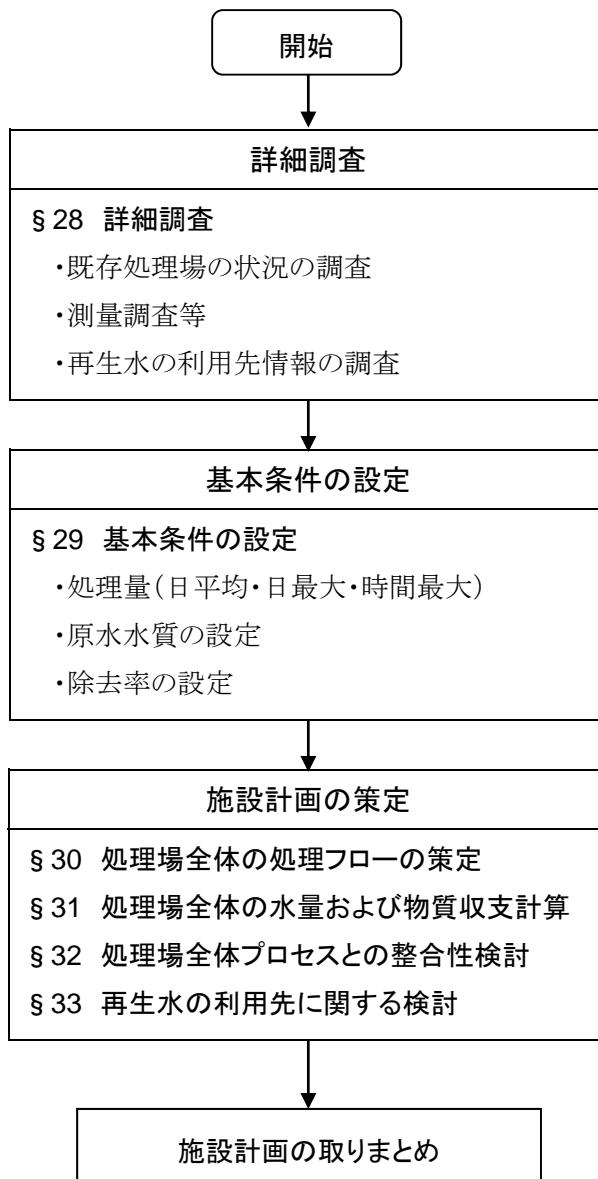


図 4-1 施設計画の策定手順フロー

§ 28 詳細調査

詳細調査では、再生水処理施設の具体的な計画・設計を行うにあたって、「§ 16 基礎調査」から追加で必要な資料等について調査・収集および整理を行う。

【解説】

詳細調査の段階では、再生水処理施設の具体的な計画・設計を行うために、「§ 16 基礎調査」で行ったものに加え、以下の資料等についても収集・整理を行って、以降の施設計画へ反映する。

(1)既存処理場の状況の調査

1)受変電施設の状況

再生水施設の受変電が既存施設を流用できるか判断を行うため、既存処理場の受変電施設の電源容量や余裕の状況・電力会社との契約状況などを把握する。

2)上水道の状況

再生水施設において、手洗い場等を設置する場合には、上水道の引き回しが必要となるため、既存処理場の上水道の状況を把握する。

3)下水排水管の状況

再生水施設の逆洗排水等の排出先の検討を行うため、既存処理場の排水系統および排水管の埋設位置等について把握する。

4)その他地下埋設物

再生水の原水導水管や逆洗排水管の布設において、地下埋設物を考慮する必要があることから、既存処理場内および周辺の地下埋設物について把握する。

5)原水取水位置

既存の処理場からの原水取水地点付近について、躯体構造・止水方法(ゲート・弁・角落しの位置等)などを把握する。

(2)測量調査等

1)測量調査

再生水施設および原水導水管等の配管の予定位置について測量調査を行う。なお、既存の下水処理場内において、過去に測量調査が行われている場合は、これを流用することもできる。

2)地質調査

再生水施設の予定位置について地質調査を行う。なお、既存の下水処理場内において、過去に地質調査が行われている場合は、これを流用することもできる。

(3)再生水の利用先情報の調査

1)再生水の送水計画

再生水の送水管の布設位置・送水ポンプの設置位置・規模や、車両運搬の場合の進入経路・車両規模など、再生水の送水計画について把握する。

2) 再生水の利用者とのコミュニケーション

再生水の利用者が、必要とする処理場情報の項目・頻度や、希望する情報伝達方法等のコミュニケーション方法について把握する。なお、農業利用の場合のコミュニケーション手法については「資料編9 農業利用リスクコミュニケーション」に詳述する。

§ 29 基本条件の設定

本システムの基本条件は以下のとおりとする。

(1) 日最大再生水量

日最大再生水量は、年間の日最大需要量に相当する水量とする。

(2) 設計運転時間

設計運転時間は、24 時間連続運転を原則とする。

(3) 時間最大再生水量

時間最大再生水量は、日最大再生水量を 24 時間で割り戻した値とすることを原則とする。

(4) 原水水質

原水水質は、最終沈殿池出口の設計水質の 95% 値を参考として設定する。

(5) 除去率

本システムの除去率は以下を標準とする。

項目	除去率
BOD	90%以上
SS	98~99.5%
T-N	0~10%
T-P	50~80%
ウイルス	99.9994%以上(5.2 log 除去 以上)

【解説】

(1) 日最大再生水量

再生水施設の日最大再生水量は、過去の水使用量の実績等から、再生水の日別の需要量予測を行い、年間の日最大発生日の需要量に相当する水量とする。

(2) 設計運転時間

本システムは自動運転が可能であることから、日最大の需要量(再生水量)に対して、24 時間運転により対応できる施設とすることを原則とする。

(3) 時間最大再生水量

本システムは日最大の需要量に対して 24 時間運転により対応することから、時間最大処理水量は、日最大再生水量を 24 時間で割り戻した値とすることを原則とする。

(4) 原水水質

原水の水質は、下水道全体計画および事業計画における最終沈殿池出口の設計水質が設定されている場合は、これらの計画と整合を図ることを原則とする。なお、過去の実績が、これらの計画

と乖離がある場合には、実績の最大値もしくは 95% 値を参考として原水水質を設定することもできる。

(5) 除去率

本システムの除去率(ウイルスはlog除去でも表示)は、以下の範囲を標準とする。データの詳細は資料編1を参照のこと。

表 4-1 除去率の標準値

項目	システム全体	UF 膜ろ過	UV 消毒
		—	—
BOD	90%以上	同左	—
SS	98~99.5%	同左	—
T-N	0~10%	同左	—
T-P	50~80%	同左	—
ウイルス	99.9994%以上 (5.2 log 除去 以上)	90%以上 (1 log 除去 以上)	99.9937%以上 (4.2 log 除去 以上)

※実証研究において、BOD および SS は、UF 膜ろ過水の時点で検出下限値以下であった。

§ 30 処理場全体の処理フローの策定

本システムから発生する逆洗排水の返送先を考慮して、既存処理場に本システムを組み込んだ場合の処理フローを策定する。

【解説】

本システムから発生する逆洗排水の返送先を、ポンプ施設前の流入渠として、既設処理場に本システムに組み込んだ場合の標準的な処理場全体の処理フローを図 4-2 に示す。

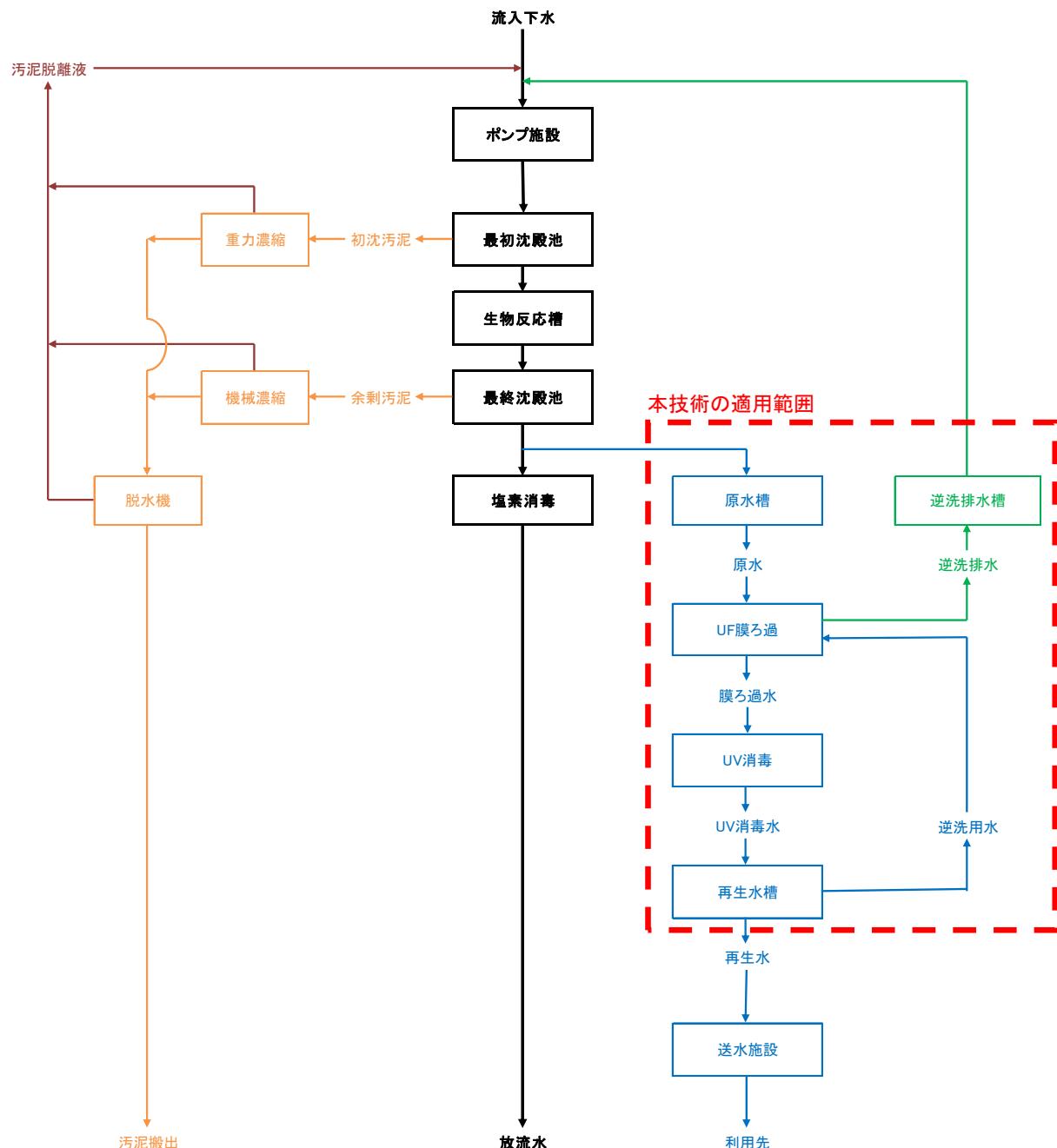


図 4-2 処理場全体の処理フロー

§ 31 処理場全体の水量および物質収支計算

処理場全体の処理フローに基づき、水量および物質収支計算を行う。

【解説】

本システムを適用した場合の処理場への影響等を検討するため、処理場全体の処理フローに基づき、水量と固形物の物質収支計算を行う。

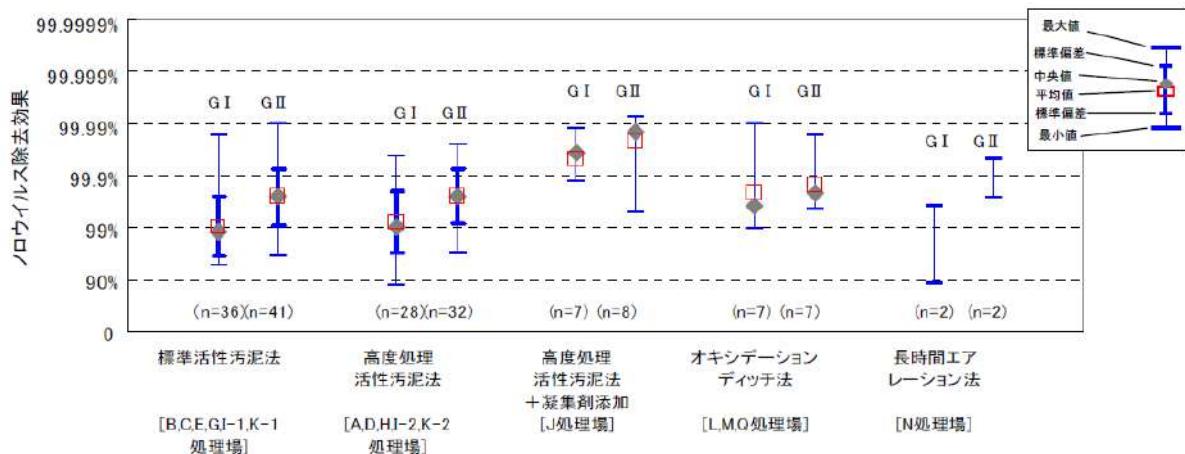
試算例を図 4-4(1)および図 4-4(2)に示すが、本試算においては、既設処理場の処理能力が $10,000\text{m}^3/\text{日}$ であることを前提として、以下の2つのシナリオを条件とした。

シナリオ1:既設処理場流入水量の全量($10,000\text{m}^3/\text{日}$)処理

シナリオ2:既設処理場流入水量の一部($1,000\text{m}^3/\text{日}$)処理

本試算例においては、本技術に関連する部分のみを抜粋して示しているが、実際の物質収支計算の検討においては、汚泥処理系(汚泥返流水含む)も含めた収支計算を行う。

なお、ウイルスの既設水処理施設における除去率(消毒処理を除く)は図 4-3 を参考として、除去率 99% (2 log 除去)として設定する。これは、ウイルスの多くは活性汚泥に取り込まれて最終沈殿池から余剰汚泥として系外に取り出されることによるものと考えられる。



※データ数 $n \leq 3$ のとき、データの直接プロット。

データ数 n が $10 > n \geq 4$ のとき、平均、最大、最小、及び中央値を表示。

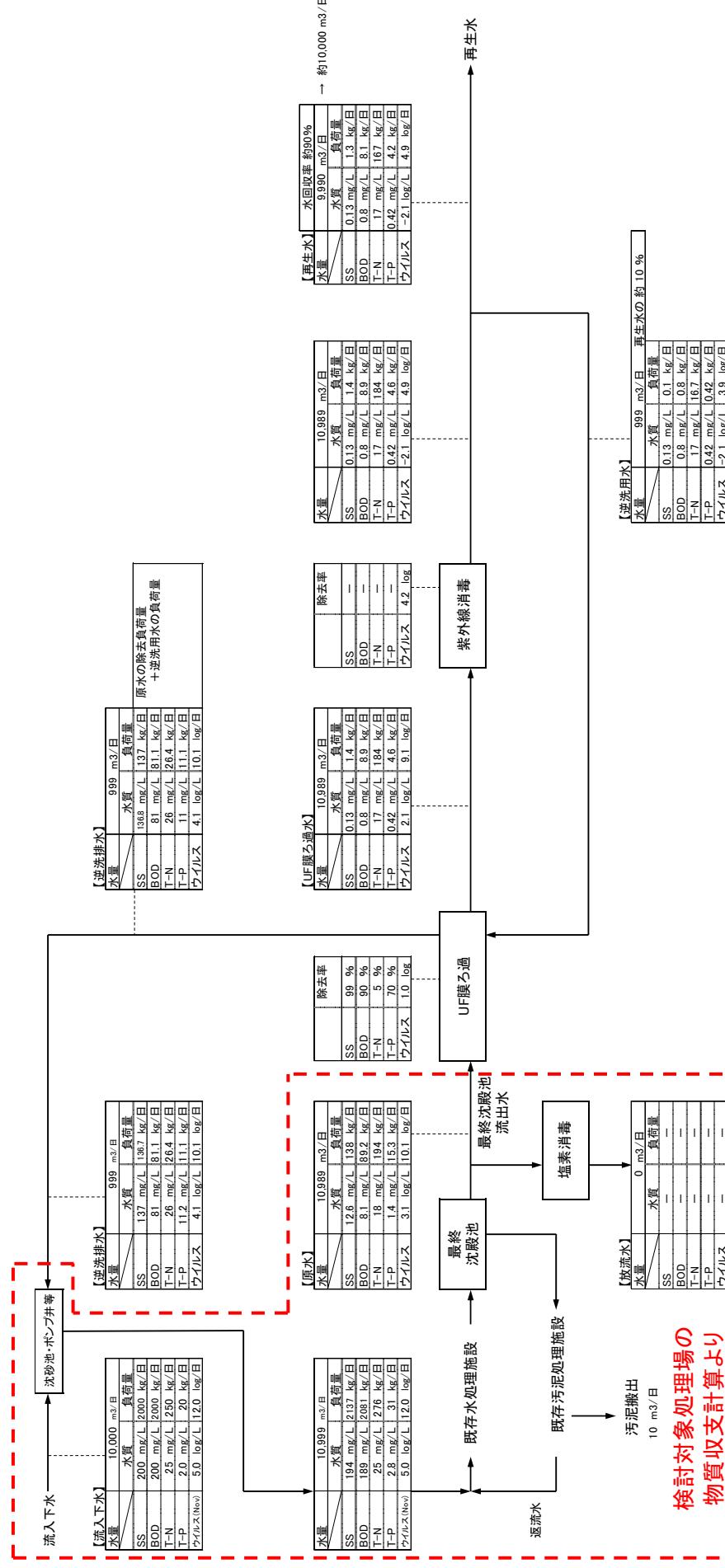
データ数 $n \geq 10$ のとき、平均、最大、最小、中央値、及び標準偏差の範囲を表示。

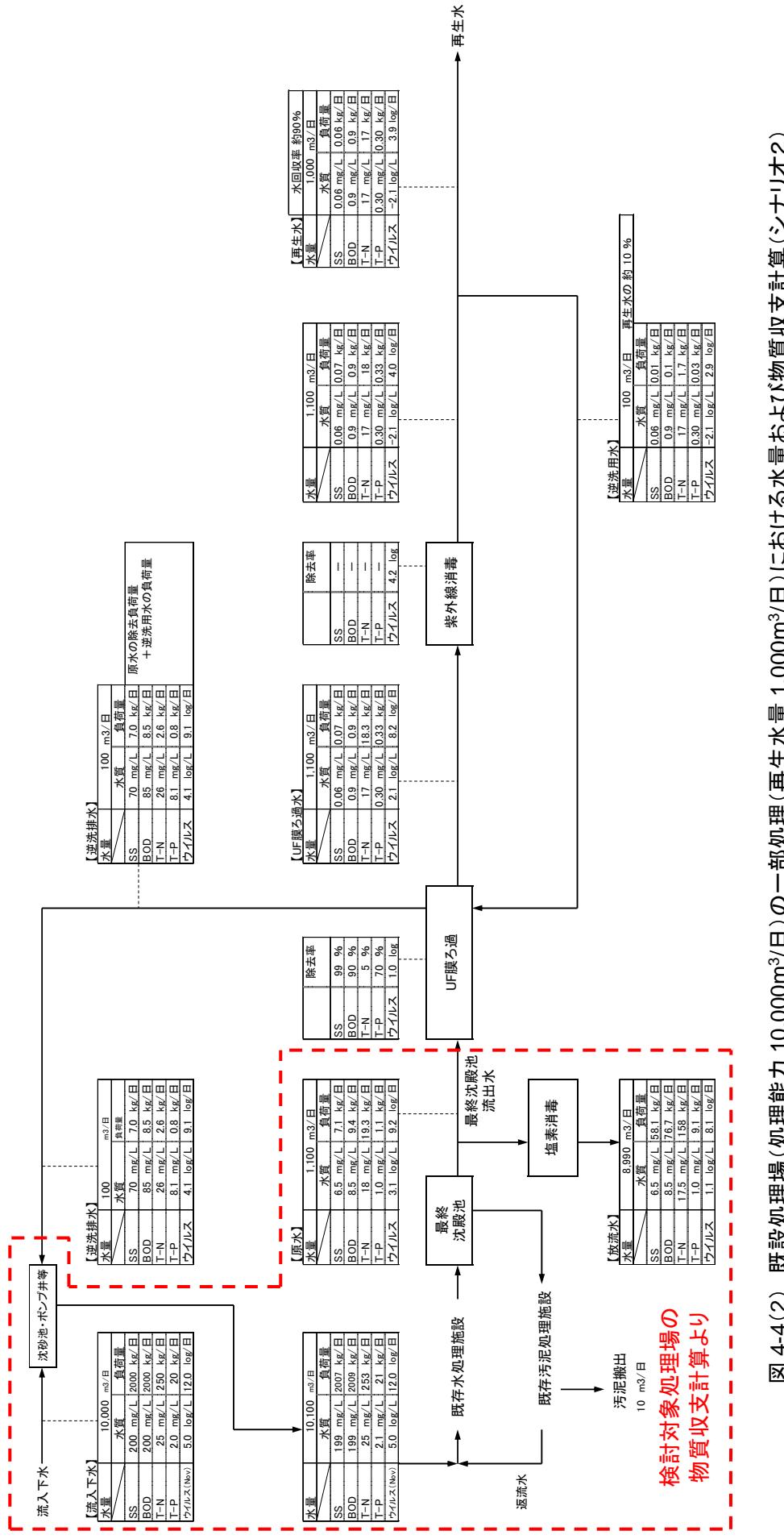
出典:下水道におけるウイルス対策に関する調査委員会報告書(平成 22 年 3 月)

(下水道におけるウイルス対策に関する調査委員会)

19)

図 4-3 生物処理方式ごとのノロウイルスの除去性能

図 4-4(1) 既設処理場(処理能力 10,000m³/日)の全量処理における水量および物質収支計算(シナリオ1)

図 4-4(2) 既設処理場(処理能力 10,000m³/日)の一部処理(再生水量 1,000m³/日)における水量および物質収支計算(シナリオ2)

§ 32 処理場全体プロセスとの整合性検討

物質収支の計算結果から、水量およびT-P水質について、水処理施設への逆洗排水による影響の検討を行う。

【解説】

§ 31 に示した物質収支の計算例から、水処理施設への逆洗排水中の負荷の影響により、既存処理場施設の流入水質が増加する項目はT-Pのみであり、T-Pについては、水処理施設への逆洗排水による影響の検討を行う。また、逆洗排水により処理水量・発生汚泥量が増加となるため、既設水処理・汚泥処理施設の能力が満足できるか検討を行う必要がある。

(1) 水処理・汚泥処理能力の確認

「§ 31 処理場全体の水量および物質収支計算」から、逆洗排水により増加した既設処理場の流入水量の把握を行い、既設処理場の処理能力との比較を行う。

なお、能力比較の一例を表4-2～表4-3に示すが、能力不足となる場合には、処理場の増設計画の見直しや、容量計算の見直しにより処理設備を見直すなどの対策により、処理能力不足を解消できるか検討することが必要である。

表4-2 逆洗排水による影響:水量(シナリオ1)

項目	シナリオ1 10,000m ³ /日を全量処理		判定	既設処理場 処理能力
水量	計画流入水量	10,000m ³ /日	<	12,000m ³ /日
	逆洗排水量	999m ³ /日		
	合計	10,999m ³ /日		

表4-3 逆洗排水による影響:水量(シナリオ2)

項目	シナリオ2 10,000m ³ /日のうち1,000m ³ /日を処理		判定	既設処理場 処理能力
水量	計画流入水量	10,000m ³ /日	<	12,000m ³ /日
	逆洗排水量	100m ³ /日		
	合計	10,100m ³ /日		

(2) T-P水質の確認

T-Pの計画放流水質が定められている場合は、既存処理場施設におけるT-Pの処理能力において計画放流水質を満足できるか確認を行う。

なお、比較の一例を表4-4～表4-5に示すが、T-P処理能力が不足となる場合には、凝集剤の添加量の増加などの対策により、処理能力不足を解消できるか検討を行うことが必要である。

表 4-4 逆洗排水による影響:T-P(シナリオ1)

項目	シナリオ1 10,000m ³ /日を全量処理			判定	既設処理場 処理能力
T-P	流入水質 (物質収支 計算より)	計画流入水質	2.0 mg/l	<	85%以上
		逆洗排水水質	11.2 mg/l		
		合計	2.8 mg/l		
	計画目標放流水質		0.5 mg/l		
	必要除去率		82.1%		

表 4-5 逆洗排水による影響:T-P(シナリオ2)

項目	シナリオ2 10,000m ³ /日のうち 1,000m ³ /日を処理			判定	既設処理場 処理能力
T-P	流入水質 (物質収支 計算より)	計画流入水質	2.0 mg/l	<	85%以上
		逆洗排水水質	8.1 mg/l		
		合計	2.1 mg/l		
	計画目標放流水質		0.5 mg/l		
	必要除去率		76.0%		

§ 33 再生水の利用先に関する検討

再生水の利用先においては、充分に協議・コミュニケーションを図るものとする。

【解説】

再生水の利用先においては、安定した供給の実施による再生水利用の促進、事業開始後のトラブルの回避等を念頭に、以下の事項について充分に協議・コミュニケーションを図るものとする。農業灌漑利用に関するコミュニケーションに関しては資料編9に一例を記載している。また、他の利用用途について検討する場合においても、これを参考として、以下の項目について充分に協議・コミュニケーションを図ることが重要である。

- (1) 需要水量(年間変動・日間変動)等
- (2) 送水施設の規模・位置等
- (3) 貯水施設の規模・位置等
- (4) 必要とする水質
- (5) 再生水施設の運転状況・水質の公開項目および方法

第2節 本システムの処理フロー

§ 34 本システムの処理フロー

本システムの基本処理フローを示す。

【解説】

本システムの基本処理フローは、図 4-5 のとおりである。

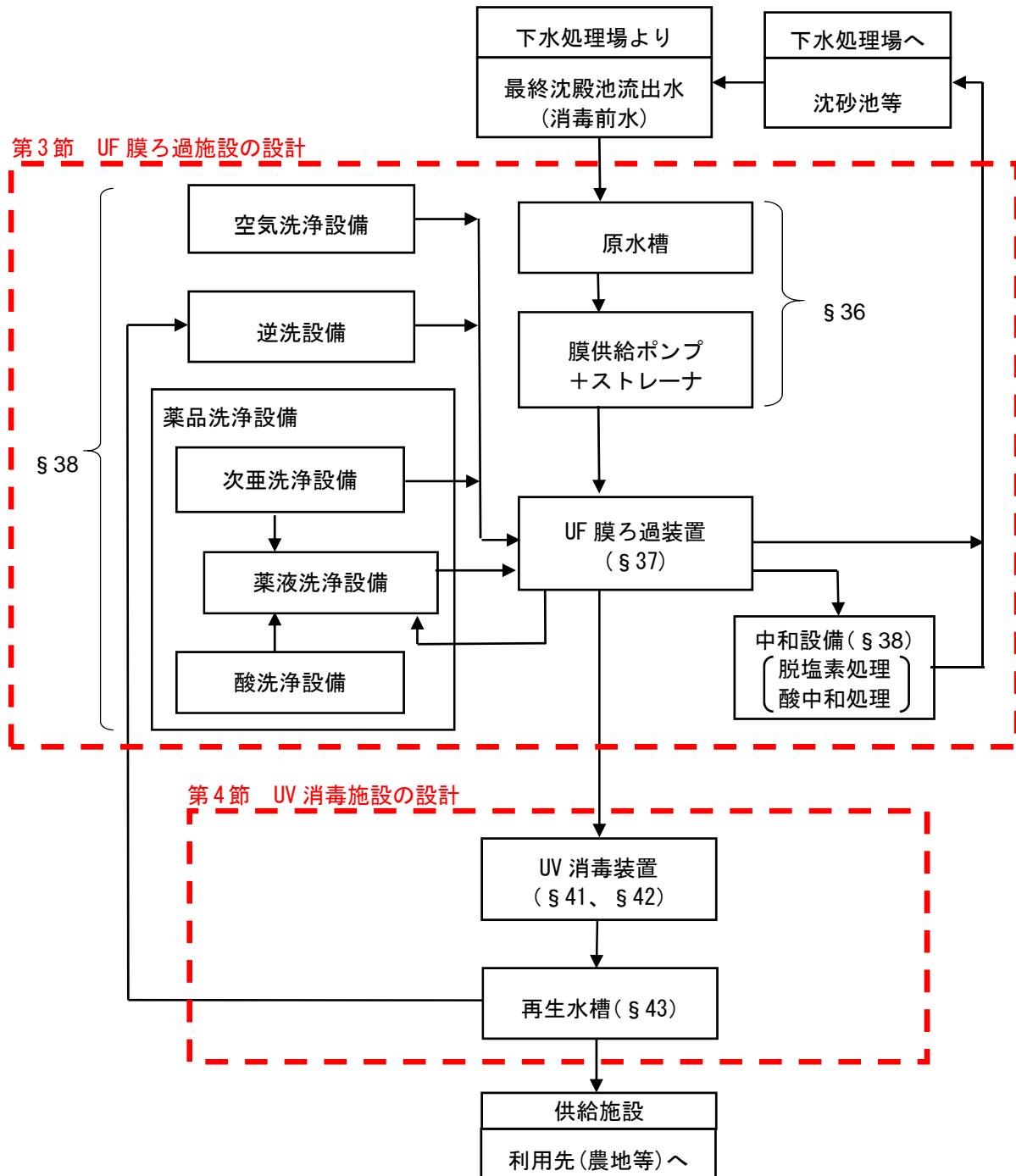


図 4-5 本システムの基本処理フロー

第3節 UF 膜ろ過施設の設計

§ 35 UF 膜ろ過施設の設計基本諸元

UF 膜ろ過の設計は、日最大の再生水量および UF 膜ろ過施設の運転サイクルを基本的な諸元とする。

【解説】

UF 膜ろ過においては、需要水量(再生水量)に加えて、逆洗用水も含めてろ過を行って貯留しておく必要がある。そのため、UF 膜ろ過施設の設計にあたっては、逆洗用水量も算定する必要があるが、この逆洗用水量は、UF 膜ろ過施設の運転時間および運転サイクルにより決定される。

このことから、UF 膜ろ過施設の設計に必要な基本諸元は表 4-6 のとおりとなる。

なお、需要水量(再生水量)は「§ 33 再生水の利用先に関する検討」を参考に、運転サイクルの設定は「§ 48 UF 膜の洗浄」を参考として設定を行うものとする。

表 4-6 UF 膜ろ過施設における設計基本諸元の設定の考え方

設計基本諸元	諸元設定の考え方
日最大再生水量	再生水の需要量より設定する(「§ 33 再生水の利用先に関する検討」参照)
設計運転時間	原則として 24 時間連続運転とする(「§ 29 基本条件の設定」参照)
運転サイクル	「§ 48 UF 膜の洗浄」を参考として設定する

§ 36 UF 膜ろ過装置への原水供給施設の設計

UF 膜ろ過装置への原水供給施設の設計は以下のとおりとする。

(1) 膜供給圧力

UF 膜モジュールへの膜供給圧力の設計最大値は、200kPa を標準とする。

(2) 原水槽

原水槽は、UF 膜供給ポンプのポンプ井を兼ねるものとし、有効容量は、UF 膜供給ポンプの設計供給量の 30 分間流量に相当する容量を確保することを標準とする。

(3) UF 膜供給ポンプ

ポンプ台数は、1 系列ごとに 1 台以上設置することを標準とする。

(4) 自動ストレーナ

自動ストレーナは、原水中に含まれる夾雑物(木の葉等)が UF 膜ろ過装置へ侵入し、膜の目詰まり等の問題が発生することを防止するために設けるものとする。

【解説】

UF 膜ろ過装置への原水供給施設は、「§ 37 UF 膜ろ過装置の設計」～「§ 39 水収支の算定」の検討を行い原水供給水量を算定した後、これを諸元値として設計を行うものとする。

(1) 膜供給圧力

UF 膜の耐圧仕様は 300kPa(「§ 37 UF 膜ろ過装置の設計」参照)としていることから、UF 膜ろ過運転において、UF 膜の耐圧能力に達して膜破断が発生することがないよう、余裕を考慮して膜供給圧力の設計最大値は 200kPa を標準とする。

なお、UF 膜供給ポンプの吐出量において、吐出倍率が 1.5 以上となる場合には、これを考慮して、さらに余裕をみて膜供給圧力の設計最大値を下げることを検討する。

(2) 原水槽

原水槽は、UF 膜供給ポンプのポンプ井を兼ねるものとする。

そのため、UF 膜供給ポンプの急激な稼働により、原水槽の水位が低下してキャビテーションを発生しないように、安全を考慮して、UF 膜供給ポンプの供給量の 30 分間流量に相当する容量を確保することを標準とする。

原水槽数は、系列ごとに運転を停止できるように、系列ごとに 1 槽以上を設置するものとする。

なお、1 槽を仕切り壁や各落しによって、区切って用いるものとする。

(3) UF 膜供給ポンプ

UF 膜供給ポンプによる膜供給水量は、以下の式により算定する。膜の実総面積、実膜ろ過 Flux およびろ過運転時間の算定方法は「§ 37 UF 膜ろ過装置の設計」による。

$$[\text{膜供給水量}(\text{m}^3/\text{分})] = \frac{[\text{膜の実総面積}(\text{m}^2)] \times [\text{実膜ろ過Flux}(\text{m}/\text{日})]}{[\text{ろ過運転時間}(\text{時間}/\text{日})] \times 60} \quad \dots \dots \dots \text{(式 4.1)}$$

吐出量は、系列単位で故障発生に対応できるものとし、以下の式で算定される吐出倍率を膜供給水量に乘じたものとする。なお、系列数が 1 の場合や、吐出倍率が 1.5 を超える場合には予備ポンプの設置を検討し、予備ポンプを設置する場合は吐出倍率を 1.1 とする。

$$[\text{吐出倍率}] = \frac{[\text{系列数}]}{[\text{系列数}] - 1} \quad \dots \dots \dots \text{(式 4.2)}$$

したがって、吐出量は、以下の式により算定する。

$$[\text{設計吐出量}(\text{m}^3/\text{分})] = [\text{膜供給水量}(\text{m}^3/\text{分})] \times [\text{吐出倍率}] / [\text{系列数}] \quad \dots \dots \dots \text{(式 4.3)}$$

UF 膜供給ポンプの全揚程は、実揚程に配管等損失および膜供給圧力を加えたものとする。

したがって、原水槽の L.W.L から UF 膜モジュール入口までの水頭に、配管等の損失、および膜供給圧力 200kPa(20m)を加えたものが全揚程となる(図 4-6 参照)。

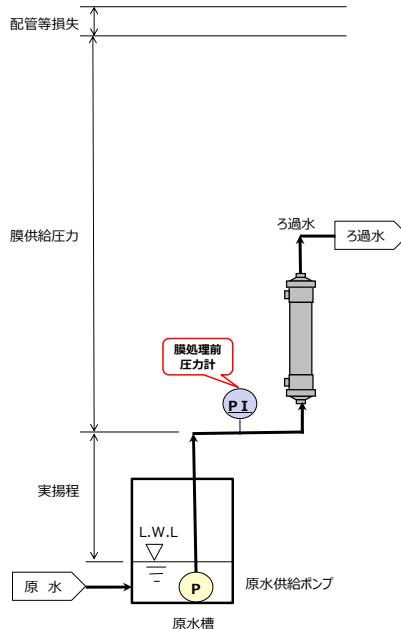


図 4-6 UF 膜供給ポンプの全揚程

UF 膜供給ポンプの台数は、系列ごとに運転を停止できるように、系列ごとにポンプ 1 台以上を設置するものとする。

(4) 自動ストレーナ

自動ストレーナは、UF 膜ろ過装置が早期に閉塞することを防止する目的から、原則として UF 膜ろ過装置の前段に設置するものとする。自動ストレーナは最大処理能力は、UF 膜供給ポンプの設計吐出量を処理できるものとする。

また、タイマーや差圧により、自動で定期的な洗浄を行う自動洗浄機能付きストレーナを標準とする。

§ 37 UF 膜ろ過装置の設計

UF 膜ろ過装置の設計基準は以下のとおりとする。

(1) 設計運転時間

UF 膜ろ過装置の設計運転時間は、§ 29 基本条件の設定で示したとおり、日最大再生水量の発生日において 24 時間運転(1440 分/日)を標準とする。

(2) UF 膜の仕様

UF 膜の仕様は以下の条件を標準とする。

項目	仕様	備考
UF 膜材質	PVDF	ポリフッ化ビニリデン
分画分子量	150,000	UF 膜
公称孔径	0.01 μ m以下	(孔径分布の 90%以上が 0.01 μ m以下であること)
耐圧性能	300kPa	

(3) 設計膜ろ過 Flux

設計膜ろ過 Flux は、1.0m/日以下を標準とする。

(4) 1 日あたりの運転サイクル数

1 日あたりの運転サイクル数は「§ 48 UF 膜の洗浄」を参考として設定する。

(5) ろ過運転時間および逆洗洗浄時間

ろ過運転時間および逆洗洗浄時間は、ろ過および逆洗等の工程や、1 日あたりの運転サイクル数などの条件から算定する。

(6) ろ過水量および必要膜面積

ろ過水量および必要膜面積は、設計 Flux やろ過運転時間などの条件から算定する。

(7) UF 膜モジュール本数およびユニット数

総膜モジュール本数は、必要膜面積を膜モジュール 1 本の膜面積で除して算定する。

1 ユニットの膜モジュール本数、および 1 系列の膜ユニット数は、以下を参考に設定する。

- ・ 1 膜ユニット: 膜モジュール 5~16 本
- ・ 1 系列: 2 ユニット以上

(8) 実膜ろ過 Flux の確認

設定した UF 膜モジュールの膜面積およびモジュール本数やユニット・系列数から、実膜ろ過 Flux を算定し、設計膜ろ過 Flux を下回っていることを確認する。

(9) UF 膜モジュールへの初期給水

逆洗終了時においては、UF 膜モジュール中の水をすべて排水して空の状態となる。運転再開時においては、UF 膜モジュールを一旦満水とするために、原水の初期給水(水張り)を行うものとし、必要な給水量を確認する。

【解説】**(1) 設計運転時間**

本システムの運転時間は、「§ 29 基本条件の設定」に示したように、日最大再生水量を 24 時間で処理することを原則としていることから、UF 膜ろ過装置についても、設計膜ろ過水量(日最大)を 24 時間運転で対応するものとし、設計運転時間は 24 時間運転(24 時間/日)とする。

(2) UF 膜の仕様

UF 膜の仕様は、ウイルスを一定量除去できることを考慮し、ウイルスサイズ(ウイルスで現在最も小さいとされるピコルナウイルスやバルボウイルスの大きさは約 $0.02 \mu\text{m}$ である)より孔径の小さな UF 膜(限外ろ過膜(Ultra Filtration Membrane):孔径は概ね $0.01\sim0.001 \mu\text{m}$)を採用することを条件とし、以下を標準とする。

なお、膜モジュール 1 本あたりの膜面積は、特に制限はなく規格品の仕様によるものとする。

表 4-7 UF 膜の仕様

項目	仕様	備考
UF 膜材質	PVDF	ポリフッ化ビニリデン
分画分子量	150,000	UF 膜 (孔径分布の 90%以上が $0.01 \mu\text{m}$ 以下であること)
公称孔径	$0.01 \mu\text{m}$ 以下	
耐圧性能	300kPa	

(3) 設計膜ろ過 Flux

膜ろ過 Flux を大きくすると UF 膜モジュールの規模を小さくできるが、UF 膜の目詰まり(ファウリング)の進行が速く、逆洗等の頻度が多くなりランニングコストが高くなる。また、膜破断が発生する可能性も高くなり、膜交換頻度も多くなる可能性がある。

逆に、膜ろ過 Flux を小さくすると、UF 膜モジュールの規模が大きくなり、導入コストが大きくなる。

そのため、膜ろ過 Flux は、適切な値を設定することが重要である。

UF 膜ろ過においては、原水 SS 水質が 10mg/l 、原水濁度が 10 度(「§ 6 再生水の利用用途」参照)の原水水質であっても、適切な洗浄頻度(「§ 48 UF 膜の洗浄」参照)で、長期的に安定した運転を行えることを考慮して、設計膜ろ過 Flux は $1\text{m}/\text{日}$ を標準とする。

ただし、設計流量に対して、膜ろ過 Flux を $1\text{m}/\text{日}$ ちょうどどすることはできないことから、実膜ろ過 Flux が $1\text{m}/\text{日}$ 以下の直近となるような膜モジュール本数等の条件を選定するものとする。

(4) 1 日あたりの運転サイクル数

1 日あたりの運転サイクル数は、以下の式により算定する。なお、[ろ過工程時間][通常逆洗工程時間][薬液逆洗工程時間]は、「§ 48 UF 膜の洗浄」を参考として設定する。

[1日あたりの運転サイクル数(回/日)]

$$= \frac{[\text{設計運転時間(時間/日)}] - [\text{薬液逆洗工程時間(時間/日)}]}{[\text{ろ過工程時間(時間/回)}] + [\text{通常逆洗工程時間(時間/回)}]} \cdots (\text{式 4. 4})$$

(5)ろ過運転時間および逆洗洗浄時間

ろ過運転時間および逆洗洗浄時間は、以下の式により算定する。

$$[\text{ろ過運転時間(時間/日)}] = [\text{ろ過工程時間(時間/回)}] \times [1\text{日あたりの運転サイクル数(回/日)}] \cdots (\text{式 4. 5})$$

$$[\text{通常逆洗洗浄時間(時間/日)}] = [\text{通常逆洗洗浄工程時間(時間/回)}] \times [1\text{日あたりの運転サイクル数(回/日)}] \cdots (\text{式 4. 6})$$

$$[\text{薬液逆洗洗浄時間(時間/日)}] = [\text{薬液逆洗洗浄工程時間(時間/回)}] \times [1\text{日あたりの薬液逆洗回数(回/日)}] \cdots (\text{式 4. 7})$$

なお、逆洗洗浄工程時間は、空気洗浄や排水・給水に係る時間を除いた、水逆洗および水+次亜逆洗の1工程での合計時間であり、「§ 48 UF膜の洗浄」の運転条件を参考に設定することができる。また、逆洗洗浄時間は、これらの1日運転サイクルでの合計時間を表す。

(6)ろ過水量および必要膜面積

ろ過水量および再生水量は、以下の式により算定する。

なお、逆洗 Flux 倍率は「§ 38 洗浄設備の設計」の値を用いることを標準とする。

$$[\text{ろ過水量(m}^3/\text{日)}] = [\text{設計膜ろ過 Flux(m}/\text{日)}] \times \frac{[\text{ろ過時間(時間/日)}]}{[\text{設計運転時間(時間/日)}]} \times A \\ = [\text{膜面積あたりろ過水量(m}^3/\text{日}\cdot\text{m}^2)] \times A \cdots (\text{式 4. 8})$$

$$[\text{逆洗水量(m}^3/\text{日)}] = [\text{設計膜ろ過 Flux(m}/\text{日)}] \times [\text{逆洗 Flux 倍率}] \\ \times \frac{[\text{通常逆洗洗浄時間(時間/日)}] + [\text{薬液逆洗洗浄時間(時間/日)}]}{[\text{設計運転時間(時間/日)}]} \times A \\ = [\text{膜面積あたり逆洗水量(m}^3/\text{日}\cdot\text{m}^2)] \times A \cdots (\text{式 4. 9})$$

$$[\text{再生水量(m}^3/\text{日)}] = [\text{ろ過水量(m}^3/\text{日)}] - [\text{逆洗水量(m}^3/\text{日)}] \\ = ([\text{膜面積あたりろ過水量(m}^3/\text{日}\cdot\text{m}^2)] - [\text{膜面積あたり逆洗水量(m}^3/\text{日}\cdot\text{m}^2)]) \times A \\ \cdots (\text{式 4. 10})$$

ここで、A : 必要膜面積(m^2)である。

これを、必要膜面積Aについてまとめると、以下の式となる。なお、下式の再生水量は「§ 29 基本条件の設定」における設計日最大再生水量を用いる。

$$[\text{必要膜面積(m}^2)] = \frac{[\text{再生水量(m}^3/\text{日)}]}{[\text{膜面積あたりろ過水量(m}^3/\text{日}\cdot\text{m}^2)] - [\text{膜面積あたり逆洗水量(m}^3/\text{日}\cdot\text{m}^2)]} \cdots (\text{式 4. 11})$$

(7)UF膜モジュール本数および膜ユニット数

総膜モジュール本数は、以下の式により算定する。

$$[\text{総膜モジュール本数(本)}] = \frac{[\text{必要膜面積(m}^2\text{)}]}{[\text{膜モジュール1本あたり膜面積(m}^2\text{)}]} \cdots \text{(式 4.12)}$$

総膜モジュール本数、経済性や維持管理性・施設配置を考慮して、適切な UF 膜モジュールの規格品を選定する。

なお、UF 膜ろ過装置の 1 系列あたりの膜ユニット数、およびユニットあたりの膜モジュール数は、「§ 11 適用条件」の解説において示した最小規模および最大規模のとおりであり、以下を標準とする(図 4-7 参照)。

- ・ 1 膜ユニット : 膜モジュール 5~16 本
- ・ 1 系列 : 2 ユニット以上 (最大ユニット数に制限はない)

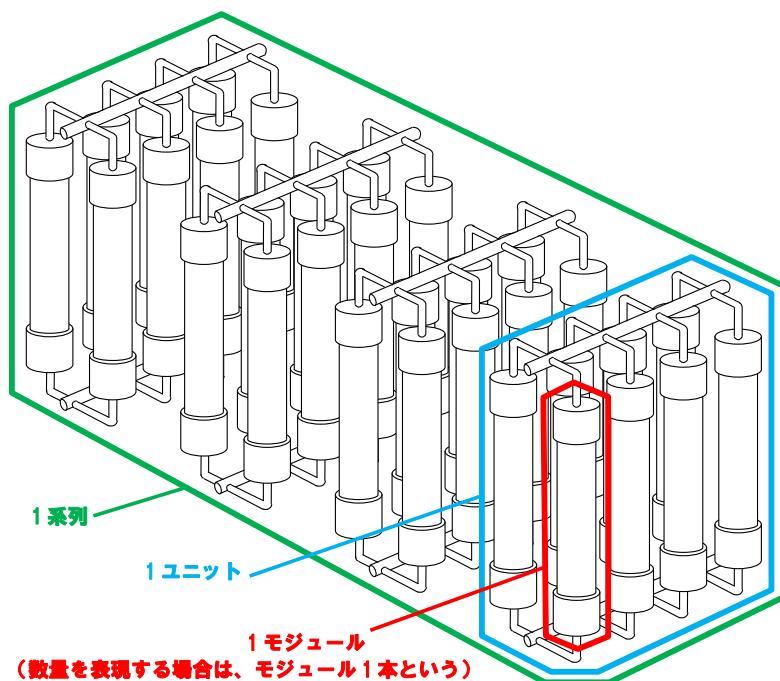


図 4-7 UF 膜ろ過装置の系列およびユニットのイメージ

系列数、ユニット数は、季節等の需要変動に対して、できる限り系列単位またはユニット単位での停止により対応ができるよう、適切な配置を行うものとする。

(8) 実膜ろ過 Flux の確認

設定した UF 膜モジュールの膜面積およびモジュール本数やユニット・系列数から、以下の式により、実膜ろ過 Flux を算定する。さらに、この実膜ろ過 Flux が設計膜ろ過 Flux を下回っていることを確認する。

$$[\text{膜の実総面積(m}^2\text{)}] = [\text{膜モジュール 1 本あたり膜面積(m}^2\text{)}] \times [\text{膜モジュール本数(本/ユニット)}] \times [\text{膜ユニット数(ユニット/系列)}] \times [\text{系列数}] \cdots \text{(式 4.13)}$$

$$[\text{実膜ろ過 Flux(m}/\text{日)}] = [\text{設計膜ろ過 Flux(m}/\text{日)}] \times \frac{[\text{必要膜面積(m}^2\text{)}]}{[\text{膜の実総面積(m}^2\text{)}]} \cdots \text{(式 4.14)}$$

(9) UF 膜モジュールへの初期給水

給水は、UF 膜ろ過の初期動作であるため、給水 Flux は、実膜ろ過 Flux と同等とすることを標準とし、給水量は、以下の式により算定する。なお、逆洗給水時間は「§ 48 UF 膜の洗浄」参考として設定し、1 日あたりの運転サイクル数を用いて算定する。

• 細胞 Flux

$$[\text{給水 Flux (m/day)}] = [\text{実膜ろ過 Flux (m/day)}] \quad \dots \dots \dots \text{(式 4.15)}$$

・通常逆洗に対する給水量

$$[\text{給水量}(\text{m}^3/\text{日})] = [\text{膜の実総面積}(\text{m}^2)] \times [\text{給水 Flux}(\text{m}/\text{日})] \\ \times [\text{原水給水時間(時間/サイクル)}] \times [\text{サイクル数(サイクル/日)}] \div 24 \quad \dots (\text{式 4.16})$$

・薬液逆洗に対する給水量

$$[\text{給水量}(\text{m}^3/\text{日})] = [\text{膜の実総面積}(\text{m}^2)] \times [\text{給水 Flux}(\text{m}/\text{日})] \\ \times [\text{原水給水時間(時間/サイクル)}] \times [\text{サイクル数(1 サイクル/日)}] \div 24 \quad \dots (\text{式 4.17})$$

なお、給水は、UF 膜供給ポンプを用いて行つものとし、別途のポンプは設置しないものとする。

§ 38 洗浄設備の設計

洗浄設備の設計は以下のとおりとする。

(1) 逆洗設備

逆洗(水逆洗)は、1日数回のサイクルで行う通常逆洗のほか、薬液洗浄における1工程(リンス処理)として実施する。

逆洗用水は再生水を用いるものとし、逆洗用水槽は再生水槽で兼ねるものとする。また、逆洗用水は逆洗ポンプにより送水するものとし、送水量は膜ろ過 Flux と逆洗 Flux 倍率から算定する設計逆洗 Flux から設定する。なお、逆洗 Flux 倍率は 1.1 を標準とする。

(2) 空気洗浄設備

空気洗浄は、通常逆洗および薬液逆洗の仕上げ工程として実施する。

空気洗浄における必要送風量は、UF 膜モジュールあたりの設計送風量と膜モジュール数から算定する。なお、設計送風 Flux は、設計膜ろ過 Flux の 2 倍を標準とする。

(3) 薬品洗浄設備

(3)-1 次亜洗浄設備

次亜洗浄は、薬液逆洗および薬液(浸漬)洗浄の中の 1 工程として、次亜塩素酸ナトリウムによる洗浄を行うためものである。次亜洗浄設備は、次亜貯留タンクと次亜移送ポンプからなる。

次亜の必要送水量は、薬液逆洗時の薬品使用量と次亜洗浄時間から算定する。

(3)-2 酸洗浄設備

酸洗浄は、薬液(浸漬)洗浄の中の 1 工程として実施するものである。酸洗浄設備は、酸貯留タンクと酸移送ポンプからなる。

酸の必要送水量は、酸使用量と酸洗浄時間から算定する。

(3)-3 薬液洗浄設備

薬液洗浄設備は、薬液(浸漬)洗浄において、酸および次亜を薬液洗浄タンクに貯留し、薬液洗浄ポンプにより UF 膜ろ過装置との間で薬液を循環させるものである。

薬液洗浄の必要循環流量は、薬液洗浄 Flux と膜の実総面積から算定する。薬液洗浄 Flux は、膜ろ過 Flux と同等とすることを標準とする。

(4) 中和設備

(4)-1 脱塩素設備

脱塩素設備は、薬液(浸漬)洗浄において使用した次亜による塩素分の脱塩素処理を行い、既設水処理施設に返流するためのものであり、脱塩素剤貯留タンクと脱塩素剤送水ポンプからなる。

脱塩素剤の必要送水量は、脱塩素剤使用量と送液時間から算定する。

(4)-2 酸中和設備

酸中和設備は、薬液(浸漬)洗浄において使用した酸を中和して、既設水処理施設に返流するためのものであり、酸中和剤貯留タンクと酸中和剤送水ポンプからなる。

酸中和剤の必要送水量は、酸中和剤使用量と送液時間から算定する。

(5) 中和槽

中和槽は、薬液(浸漬)洗浄において使用した次亜の脱塩素処理および酸中和処理を行うための攪拌槽である。

中和槽の容量は、薬液(浸漬)洗浄の1回分の薬液洗浄排水および脱塩剤または中和剤量を確保できるものとし、中和槽排水の必要送水量は、中和槽排水量と排水時間から算定する

【解説】

(1) 逆洗設備

逆洗は、1日数回のサイクルで行う通常逆洗のほか、薬液洗浄における1工程(リンス処理)として実施する(「§48 UF膜の洗浄」を参照)。

逆洗用水は、UV消毒後の水を用いるものとし、コストを低減させるために、再生水槽と兼ねることを標準とする。(再生水槽の設計は「§43 再生水槽の設計」を参照)。

逆洗ポンプの設計逆洗 Flux は、膜ろ過 Flux に逆洗 Flux 倍率を乗じて算定する。逆洗 Flux は、UF膜ろ過により UF膜表面に付着した懸濁物等をろ過と逆方向から押し出すために、膜ろ過 Flux より若干速いものとする。ただし、過大な逆洗 Flux は、膜破断の原因ともなることから、逆洗 Flux 倍率は 1.1 を標準とする。

逆洗ポンプの必要送水量は、以下の式により算定する通常逆洗水量と薬液逆洗水量の大きい方に対応できる必要があり、これらの方の水量を採用する。

なお、膜の実総面積、実膜ろ過 Flux および通常逆洗洗浄時間の算定方法は「§37 UF膜ろ過装置の設計」による。

$$\begin{aligned} [\text{通常逆洗水量(m}^3/\text{分})] &= [\text{膜の実総面積(m}^2\text{)}] \times [\text{実膜ろ過 Flux(m}/\text{日})] \\ &\quad \times [\text{逆洗 Flux 倍率}] \times [\text{通常逆洗洗浄時間(時間/日)}] \div (24 \times 60) \quad \cdots (\text{式 4.18}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{薬液逆洗水量(m}^3/\text{分})] &= [\text{膜の実総面積(m}^2\text{)}] \times [\text{実膜ろ過 Flux(m}/\text{日})] \\ &\quad \times [\text{逆洗 Flux 倍率}] \times [\text{薬液逆洗洗浄時間(時間/日)}] \div (24 \times 60) \quad \cdots (\text{式 4.19}) \end{aligned}$$

逆洗ポンプの全揚程は、実揚程に配管等損失および膜供給圧力を加えたものとする。

したがって、再生水槽の L.W.L から UF膜モジュール入口までの水頭に、配管等の損失、および膜供給圧力 200kPa(20m)(「§36 UF膜ろ過装置への原水供給」を参照)を加えたものが全揚程となる。

(2) 空気洗浄設備

空気洗浄は、通常逆洗および薬液逆洗の仕上げ工程として実施するものである(「§48 UF膜の洗浄」を参照)。

空気洗浄における必要送風量は、以下の式により算定する。なお、設計送風 Flux は、設計膜ろ過 Flux（「§ 37 UF 膜ろ過装置の設計」参照）の 2 倍を標準とする。

$$[\text{必要送風量}(\text{m}^3/\text{分})] = [\text{設計送風 Flux}(\text{m}/\text{日})] \times [\text{膜の実総面積}(\text{m}^2)] \div 1440 \quad \dots \text{(式 4. 20)}$$

空気洗浄プロワの静圧は、吸込み損失に、配管損失および膜供給圧力を加えたものとする。膜供給圧力は、200kPa(20m)（「§ 36 UF 膜ろ過装置への原水供給」を参照）を標準とする。

$$\begin{aligned} [\text{空気洗浄プロワの静圧}(\text{kPa})] &= [\text{吸込み損失}(\text{kPa})] + [\text{配管損失}(\text{kPa})] \\ &\quad + [\text{膜供給圧力}(\text{kPa})] \quad \dots \text{(式 4. 21)} \end{aligned}$$

(3) 薬品洗浄設備

(3)-1 次亜洗浄設備

次亜洗浄は、薬液逆洗および薬液(浸漬)洗浄の中の 1 工程として、次亜塩素酸ナトリウムによる洗浄を行うためものである（「§ 48 UF 膜の洗浄」を参照）。

次亜塩素酸ナトリウムの必要送水量は、薬液逆洗 1 工程の次亜洗浄時間から、以下の式により算定する。なお、次亜標準使用量、次亜溶液の比重および次亜洗浄時間、薬液洗浄時の送液時間は「§ 48 UF 膜の洗浄」を参考として設定する。

①薬液逆洗の場合

$$\begin{aligned} &[\text{次亜使用量}(\ell/\text{日})] \\ &= \frac{[\text{次亜標準使用量}(\text{g}/\text{再生水}\text{m}^3)] \times [\text{再生水施設規模}(\text{m}^3/\text{日})]}{[\text{次亜溶液の比重}] \times 10^3} \quad \dots \text{(式 4. 22)} \end{aligned}$$

$$[\text{必要送水量}(\text{m}^3/\text{分})] = [\text{次亜使用量}(\ell/\text{日})] / [\text{次亜逆洗時間}(\text{秒}/\text{日})] \times 60 \times 10^{-3} \quad \dots \text{(式 4. 23)}$$

②薬液(浸漬)洗浄の場合

$$\begin{aligned} &[\text{次亜使用量}(\ell/\text{回})] \\ &= \frac{[\text{次亜標準使用量}(\text{g}/\text{再生水}\text{m}^3)] \times [\text{再生水施設規模}(\text{m}^3/\text{日})]}{[\text{次亜溶液の比重}] \times 10^3} \quad \dots \text{(式 4. 24)} \end{aligned}$$

$$[\text{必要送水量}(\text{m}^3/\text{分})] = [\text{次亜使用量}(\ell/\text{回})] / [\text{送液時間}(\text{分})] \times 10^{-3} \quad \dots \text{(式 4. 25)}$$

次亜貯留タンクは、毎日実施する薬液逆洗と、原則 1 年ごとに実施する薬液(浸漬)洗浄を兼用するため、どちらか大きい方の使用量を基に、必要容量を設定する。

次亜使用量は、以下の式により算定する。なお、1 日の洗浄回数は「§ 48 UF 膜の洗浄」を参考に設定する。薬液逆洗の貯留日数については、巡回監視点検の頻度（「§ 54 保守点検」を参照）の日数分を確保することを参考として設定する。

薬液(浸漬)洗浄の場合は、洗浄実施時に人員を配置して、洗浄実施前および実施後に薬液補充を行うことから、貯留能力は 1 回分として算定を行う。

$$\begin{aligned} &[\text{薬液逆洗における次亜貯留タンクの必要容量}(\ell)] \\ &= [\text{次亜使用量}(\ell/\text{日})] \times [\text{貯留日数}(日)] \quad \dots \text{(式 4. 26)} \end{aligned}$$

[薬液(浸漬)洗浄における次亜貯留タンクの必要容量(ℓ)]

$$= [\text{次亜使用量}(\ell/\text{回})] \times [1 \text{ 回分}] \cdots (\text{式 4.27})$$

(3)-2 酸洗浄設備

酸洗浄では、UF 膜に付着した無機物等を酸により分解除去する。そのために、必要な酸の種類を適切に選定する必要があり、「§ 48 UF 膜の洗浄」を参考として選定を行うものとする。

酸の必要送水量は、1 工程での酸使用量および送液時間から、以下の式により算定する。なお、酸標準使用量、酸溶液の比重および送液時間は「§ 48 UF 膜の洗浄」を参考として設定する。

$$[\text{酸使用量}(\ell/\text{回})] = \frac{[\text{酸標準使用量}(g/\text{再生水 } m^3)] \times [\text{再生水施設規模}(m^3/\text{日})]}{[\text{酸溶液の比重}] \times 10^3}$$

…(式 4.28)

$$[\text{必要送水量}(m^3/\text{分})] = [\text{酸使用量}(\ell/\text{回})] / [\text{送液時間}(\text{分})] \times 10^{-3} \cdots (\text{式 4.29})$$

酸貯留タンクの必要容量は、薬液(浸漬)洗浄 1 回に必要な使用量を確保するものとする。

なお、酸の種類は、UF 膜に付着した無機物等を分解させるために必要な酸化力を有した適切なものを選定する必要があり、「§ 48 UF 膜の洗浄」を参考として選定を行うものとする。

(3)-3 薬液洗浄設備

薬液洗浄設備は、薬液(浸漬)洗浄において、酸および次亜を薬液洗浄タンクに貯留し、薬液洗浄ポンプにより UF 膜ろ過装置との間で薬液を順流で循環させるものであり、薬液洗浄のフローは図 4-8 に示すとおりである。

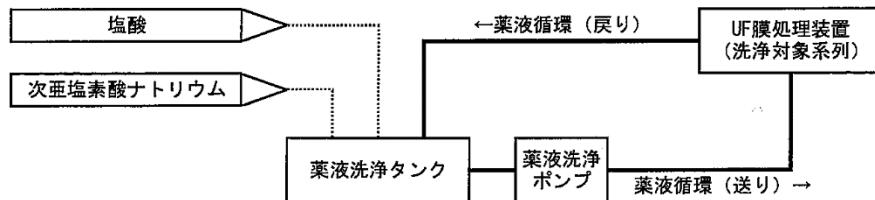


図 4-8 薬液洗浄のフロー

薬液洗浄の必要循環流量は、薬液(浸漬)洗浄時のモジュール 1 本あたりの標準洗浄流量(実証研究に用いたモジュールの場合は 50L/分・本)から設定する。

$$[\text{必要循環流量}(m^3/\text{分} \cdot \text{本})] = [\text{標準薬液洗浄流量}(50L/\text{分} \cdot \text{本})] \cdots (\text{式 4.30})$$

薬液洗浄は、施設の停止を最小限に抑えるためにも、UF 膜ろ過装置の 1 系列ごとに実施するものとし、薬液洗浄ポンプの吐出量は以下の式により算定する。

$$[\text{設計吐出量}(m^3/\text{分})] = [\text{必要循環流量}(m^3/\text{分} \cdot \text{本})] \times [1 \text{ 系列のモジュール本数}(本)] \cdots (\text{式 4.31})$$

薬液洗浄ポンプの全揚程は、実揚程に配管等損失および膜供給圧力を加えたものとする。

したがって、薬液洗浄タンクの L.W.L から UF 膜モジュール入口までの水頭に、配管等の損失、および膜供給圧力 200kPa(20m)(「§ 36 UF 膜ろ過装置への原水供給」を参照)を加えたものが全揚程となる。

薬液洗浄タンクの必要容量は、薬液(浸漬)洗浄において、次亜洗浄および酸洗浄の1回分の調整薬液量のうち、大きい方を確保できるものとする。

なお、薬液標準使用量、薬液濃度および薬液調整濃度は、「§48 UF 膜の洗浄」を参考として設定する。

・次亜の調整薬液量

$$\begin{aligned} [\text{次亜の純重量(kg/回)}] &= [\text{次亜標準使用量(g/再生水 m}^3\text{)}] \times [\text{再生水施設規模(m}^3\text{/日)}] \\ &\quad \times [\text{溶液の次亜濃度(%)}] \times 10^{-6} \cdots (\text{式 4.32}) \end{aligned}$$

$$[\text{次亜の調整薬液量(m}^3\text{/回)}] = \frac{[\text{次亜の純重量(kg/回)}]}{[\text{次亜の調整濃度(mg/l)}]} \times 10^3 \cdots (\text{式 4.33})$$

・酸の調整薬液量

$$\begin{aligned} [\text{酸の純モル数(mol/回)}] &= \frac{[\text{酸標準使用量(g/再生水 m}^3\text{)}] \times [\text{再生水施設規模(m}^3\text{/日)}] \times [\text{溶液の酸濃度(%)}]}{[\text{モル質量(g/mol)}] \times 100} \\ &\cdots (\text{式 4.34}) \end{aligned}$$

$$[\text{酸の調整薬液量(m}^3\text{/回)}] = \frac{[\text{酸の純モル数(mol/回)}]}{[\text{酸の調整濃度(mol/l)}]} \times 10^3 \cdots (\text{式 4.35})$$

(4) 中和設備

(4)-1 脱塩素設備

脱塩素設備は、薬液(浸漬)洗浄において使用した次亜による塩素分の脱塩処理を行い、既設水処理施設に返流するためのものであり、脱塩剤貯留タンクと脱塩素剤送水ポンプからなる。脱塩剤送水ポンプの送水先は、中和槽である。なお、中和槽は、脱塩素処理と酸中和処理の共有槽である。

脱塩素剤の必要送水量は、1工程での脱塩素剤使用量および送液時間から、以下の式により算定する。なお、脱塩素剤標準使用量、脱塩素剤溶液の比重および送液時間は「§48 UF 膜の洗浄」を参考として設定する。

$$[\text{脱塩素剤使用量(l/回)}] = \frac{[\text{脱塩剤標準使用量(g/再生水 m}^3\text{)}] \times [\text{再生水施設規模(m}^3\text{/日)}]}{[\text{脱塩剤溶液の比重}] \times 10^3} \cdots (\text{式 4.36})$$

$$[\text{必要送水量(m}^3\text{/分)}] = [\text{脱塩剤使用量(l)}] / [\text{送液時間(分)}] \times 10^{-3} \cdots (\text{式 4.37})$$

酸中和剤貯留タンクの必要容量は、薬液(浸漬)洗浄1回に必要な酸中和剤量を確保するものとする。

なお、脱塩素剤の種類は、コストや薬液の取り扱いの容易さなどを考慮して、適切に選定する必要があり、「§48 UF 膜の洗浄」を参考として選定を行うものとする。

(4)-2 酸中和設備

酸中和設備は、薬液(浸漬)洗浄において使用した酸を中和して、既設水処理施設に返流するためのものであり、酸中和剤貯留タンクと酸中和剤送水ポンプからなる。酸中和剤送水ポンプの送水先は、中和槽である。なお、中和槽は、脱塩処理と酸中和処理の共有槽である。

酸中和剤の必要送水量は、1工程の酸中和剤使用量および送液時間から、以下の式(式4.38)により算定する。なお、酸中和剤標準使用量、酸中和剤溶液の比重および送液時間は「§48 UF膜の洗浄」を参考として設定する。

[酸中和剤使用量(ℓ/回)]

$$= \frac{[\text{酸中和剤標準使用量}(g/\text{再生水}m^3)] \times [\text{再生水施設規模}(m^3/\text{日})]}{[\text{酸中和剤溶液の比重}] \times 10^3} \quad \dots \text{(式 4.38)}$$

$$[\text{必要送水量}(m^3/\text{分})] = [\text{酸中和剤使用量}(ℓ)] / [\text{送液時間}(分)] \times 10^{-3} \quad \dots \text{(式 4.39)}$$

酸中和剤貯留タンクの必要容量は、薬液(浸漬)洗浄1回に必要な酸中和剤量を確保するものとする。

酸中和剤の種類は、コストや薬液の取り扱いの容易さなどを考慮して、適切に選定する必要があり、「§48 UF膜の洗浄」を参考として選定を行うものとする。

(5) 中和槽

中和槽は、薬液(浸漬)洗浄において使用した次亜の脱塩処理および酸中和処理を行うための攪拌槽であり、中和槽と中和槽排水ポンプからなる。中和槽排水ポンプの送水先は、既設処理場の流入渠もしくは沈砂池である。なお、中和槽は、脱塩処理と酸中和処理の共有槽である。

中和槽の必要容量は、薬液(浸漬)洗浄1回に必要な次亜洗浄排水量および脱塩剤調整薬液量の合計と、酸洗浄排水量および酸中和剤調整薬液量の合計のうち、大きい方を確保できるものとし、以下の式により算定する。なお、余裕率は1.1を標準とする。

・次亜に対する中和槽必要容量

$$[\text{中和槽排水量}(m^3)] = [\text{次亜の調整薬液量}(m^3)] + [\text{脱塩素剤使用量}(m^3)] \quad \dots \text{(式 4.40)}$$

・酸に対する中和槽必要容量

$$[\text{中和槽排水量}(m^3)] = [\text{酸の調整薬液量}(m^3)] + [\text{酸中和剤使用量}(m^3)] \quad \dots \text{(式 4.41)}$$

・中和槽必要容量

$$[\text{中和槽必要容量}(m^3)] = [\text{上記の大きい方}(m^3)] \times [\text{余裕率}] \quad \dots \text{(式 4.42)}$$

なお、タンク容量は、空容量で表記される場合もあるため、必要容量をタンクの有効容量(排水ポンプのH.W.LからL.W.Lまでの容量)として確保できるものとする。

中和槽排水の必要送水量は、中和槽排水量および排水時間から、以下の式により算定する。なお、排水時間は「§48 UF膜の洗浄」を参考として設定する。

$$[\text{必要送水量}(m^3/\text{分})] = [\text{中和槽排水量}(m^3)] / [\text{排水時間}(分)] \quad \dots \text{(式 4.43)}$$

§ 39 水収支の算定

本設計に基づき、水収支の算定を行い、必要に応じて「§ 31 処理場全体の水量および物質収支計算」の収支計算の見直しを行う。

【解説】

UF 膜ろ過装置周りの水フローは図 4-9 に示すとおりであり、本設計に基づき、以下の要領での各水量の算定を行う。

ここで逆洗排水の再生水量に対する割合が、「§ 31 処理場全体の水量および物質収支計算」の設定値と大きく異なる場合は、収支計算の見直しを行うものとする。

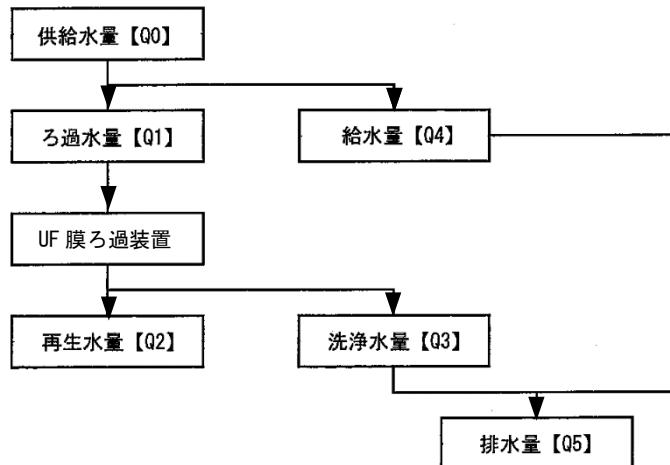


図 4-9 UF 膜ろ過装置周りの水フロー

①供給水量【Q0】

供給水量は、ろ過水量【Q1】と給水量【Q4】の合計として算定される。

②ろ過水量【Q1】

ここで算定するろ過水量は、逆洗を行うために必要な水量を確保するために UF 膜ろ過を行う量も含めた実ろ過水量であり、下記の再生水量【Q2】と洗浄水量【Q3】の合計値として算定する。

③再生水量【Q2】

再生水量は、再生水の利用先で必要とされる需要量であり、「§ 29 基本条件の設定」の日最大再生水量を用いる。

④洗浄水量【Q3】

洗浄水量は、通常逆洗水量と薬液逆洗水量の合計である。逆洗に用いる逆洗用水量と、逆洗後に排水される逆洗排水量は同量となるため、その総称として用いる水量である。

通常逆洗水量、および薬液逆洗水量は「§ 38 洗浄設備の設計」において算定したものを用いる。

⑤給水量【Q4】

給水量は、逆洗実施後における空の状態の UF 膜モジュールに対して、原水を一旦満水の状態にするための量を示す。この給水量に相当する量が、逆洗実施前において UF 膜モジュールに残っている状態となっており、この量は UF 膜ろ過を行わずに(ろ過水量としてカウントされずに)排水されるものとなる。

この給水量は、「§ 38 洗浄設備の設計」において算定した通常逆洗給水量と薬液逆洗給水量を合計したものを用いる。

⑥排水量【Q5】

排水量は、逆洗時の排水として既設処理場側に返送される水量であり、洗浄水量【Q3】と給水量【Q4】の合計として算定される。

⑦水回収率

水回収率および再生水に対する逆洗排水の割合は、以下の式により算定する。

$$[\text{水回収率}] = \frac{[\text{再生水量}[\text{Q2}]]}{[\text{供給水量}[\text{Q0}]]} \quad \dots \quad (\text{式 4. 44})$$

$$[\text{再生水に対する逆洗排水の割合}] = \frac{[\text{排水量}[\text{Q5}]]}{[\text{再生水量}[\text{Q2}]]} \quad \dots \quad (\text{式 4. 45})$$

第4節 UV消毒施設の設計

§ 40 UV消毒装置の設計水量

UV消毒装置の設計水量は、最大膜ろ過水量(UF膜供給ポンプの吐出量)とする。

【解説】

UV消毒装置は、UF膜ろ過装置の後段に位置し、UF膜ろ過装置からのUF膜ろ過水の全量が処理対象水量となる。UF膜ろ過装置は定期的に逆洗運転を行う等、常時、UF膜ろ過運転を行っている訳ではないが、設置したUF膜ろ過施設の全系列がUF膜ろ過運転を行っている時が最も膜ろ過水量が多くなる。

したがって、UV消毒装置は、対象となるUF膜ろ過装置の全系列がろ過運転を行った際の最大膜ろ過水量(=UF膜供給水ポンプの吐出量)を、設計水量とする。

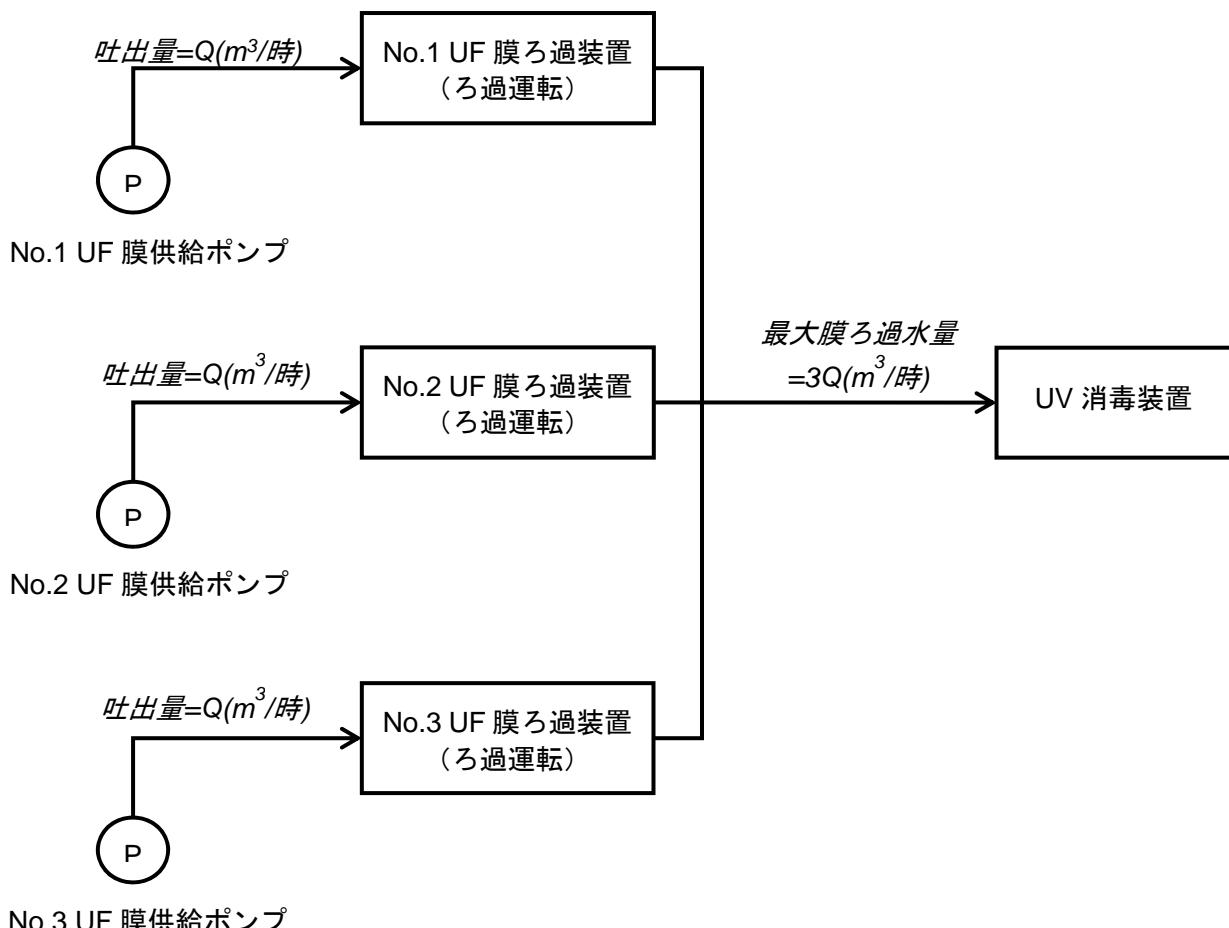


図 4-10 UV消毒装置の設計対象水量(UF膜ろ過装置が3系列の場合の例)

なお、最大膜ろ過水量(＝膜供給水ポンプの吐出量(m^3 /時))は、1日当たりの計画ろ過水量をろ過運転時間(逆洗時間等を除いた1日当たりの正味のろ過運転時間)で除したものであり、単純に24時間で除した値とは異なるため、注意が必要である。ろ過運転時間の算定方法は「§37 UF 膜ろ過装置の設計」による

$$\begin{aligned} [\text{UV消毒装置設計水量}(\text{m}^3/\text{時})] &= [\text{最大ろ過水量}(\text{m}^3/\text{時})] \\ &= \frac{[\text{設計ろ過水量}(\text{m}^3/\text{日})]}{[\text{ろ過運転時間}(\text{時間}/\text{日})]} \quad \dots \dots \dots \text{(式 4.46)} \end{aligned}$$

§ 41 UV消毒装置の設計

UV消毒装置の設計基準は以下のとおりとする。

(1)型式

本システムには、開水路浸漬型、密閉流通型のどちらも適用可能とする。

(2)目標UV照射量

UV消毒装置の目標照射量は、ウイルスを $4.2\log$ 不活化できる照射量として 85mJ/cm^2 以上とする。

(3)設計UV透過率

設計紫外線透過率は70%を標準とする。

(4)目標UV照射量に対するUV消毒装置の設計

UV消毒装置は、目標UV照射量およびUV透過率に基づいて設計を行う。

(5)ユニット数

UV消毒装置は、ランプ切れ等の故障時にも的確に対応するため、予備ユニットを設ける。

(6)UVランプ保護管の洗浄装置

長期に渡る使用においても、ランプ保護管の汚れ等に伴う性能低下を避けるため、UV消毒装置には自動洗浄機構を具備するものとする。

【解説】

(1)型式

UV消毒装置には、自由水面を持つ開水路にランプを浸漬させる方法(開水路浸漬型:図4-11参照)と、配管内にランプを配設し、そこに被処理水を流通させる方法(密閉流通型:図4-12参照)があるが、実証研究において、どちらの方式でも所定の性能が得られることを確認しているため、本システムにはこれら両方式を採用可能とする。なお、紫外線は目の障害を生じさせる恐れがあるため、開水路浸漬型は上部を遮蔽する等、紫外線が漏れないようにする必要がある。

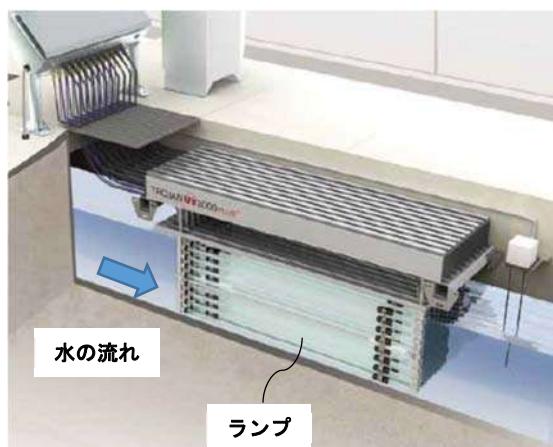


図4-11 開水路浸漬型の例



図 4-12 密閉流通型の例

(2) 目標 UV 照射量

目標ウイルス不活化率(「§ 29 基本条件の設定」参照)を得るための目標UV照射量(UV照射エネルギー量)は、主に米国環境保護庁(U.S. EPA)より発刊されている「紫外線消毒ガイドライン²⁰⁾」(以下、「UV ガイドライン」という)における MS2 ファージの不活化と紫外線照射量の関係(図 4-13 参照)より設定する。図 4-13 は、横軸に UV 照射量(UV Dose)、縦軸にウイルス不活化を log 除去として表したもの(log inactivation)が示されており、ウイルス不活化は MS2 ファージで測定している。パイロット実験ではMS2を添加することで、ウイルス不活化率が検証できるが、実証施設ではMS2 の添加が不可能であるため、本研究では下水処理水に含まれているGIファージの不活化率をUF 膜をバイパスしたUV施設で評価した。また実験室での小型照射施設で、GIファージとMS2ファージのUVの感受性が概ね同等であることを確認しているため、両者の不活化率を同等に扱うものとする。

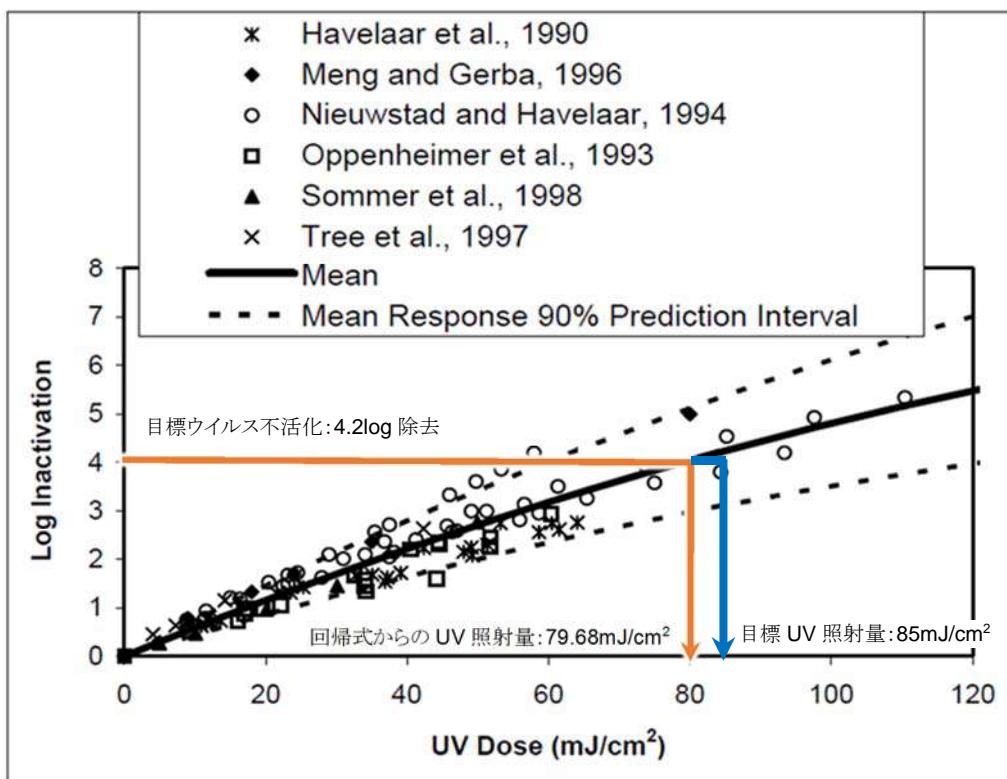
UV ガイドライン(米国環境保護庁)²⁰⁾より引用

図 4-13 MS2 ファージの不活化率と紫外線照射量の関係

図 4-13 中の上界および下界のウイルス不活化(log 除去)の回帰式、およびその平均値の算定式は以下のとおりとなる。

[上界のウイルス不活化]

$$= -1.4 \times 10^{-4} \times [\text{UV 照射量}]^2 + 7.6 \times 10^{-2} \times [\text{UV 照射量}] \quad \cdots (\text{式 4.47})$$

[下界のウイルス不活化]

$$= -9.6 \times 10^{-5} \times [\text{UV 照射量}]^2 + 4.5 \times 10^{-2} \times [\text{UV 照射量}] \quad \cdots (\text{式 4.48})$$

[平均ウイルス不活化]

$$= -0.0001 \times [\text{UV 照射量}]^2 + 0.0607 \times [\text{UV 照射量}] - 0.0017 \quad \cdots (\text{式 4.49})$$

目標とする UV 消毒におけるウイルス不活化は 4.2 log 除去(「§ 29 基本条件の設定」参照)であり、式 4.49 の平均ウイルス不活性化(log 除去)が 4.2 となる UV 照射量を求めるとき 79.68mJ/cm² となる。これに余裕を見込み、目標とする UV 照射量は以下の値を平均的に確保できるものとする(資料編1参照)。

[目標 UV 照射量] = 85 mJ/cm² 以上

(3) 設計 UV 透過率

UF 膜ろ過水の UV 透過率が 70%まで低下した状態においても、目標とするウイルス不活化が得られるように UV 消毒装置の設計を行うものとする。

(4) 目標 UV 照射量に対する UV 消毒装置の設計

UV 消毒装置の設計は、「紫外線消毒装置技術マニュアル²¹⁾」((財)下水道新技術推進機構(現:(公財)日本下水道新技術機構):2006 年 3 月)に示された設計手法に準じ、以下の手順で行う。

① 設計 UV 強度の設定

本システムに適用するUV消毒装置の設計UV強度は、以下により設定する。装置内に複数のランプが配設されている場合は、装置の有効反応部での平均値を使用するものとする。

I : 設計 UV 強度 (mW/cm^2)

I_p : 設計 UV 透過率(70%)における装置仕様に基づく UV 強度(mW/cm²)【メーカー値】

f_1 : 経年劣化によるUV強度の低下係数【メーカー値】

f_2 : 保護管の汚れによる UV 強度の低下係数【メーカー値】

なお、上記で「メーカー値」となっているものについては、採用するメーカーの保障値とする。

② 必要照射時間の設定

本システムに適用するUV消毒装置に必要な目標UV照射量(85mJ/cm²)と設計UV強度(上記①)より、以下に基づいて必要な照射時間を設定する。

$$T = \frac{D}{I} \quad \dots \dots \dots \quad (\text{式 4.51})$$

T : 必要照射時間(秒)

D : 目標 UV 照射量 (85mJ/cm^2)

I : 設計 UV 強度 (mW/cm^2)

③ ランプ 1 本あたりの処理可能水量の設定

設定した照射時間(上記②)と本システムに適用するランプの有効照射容積から、ランプ1本あたりの処理可能水量を設定する。

$$q = \frac{T}{V} \times 3600 \times 10^{-3} \dots \dots \dots \quad (\text{式 4.52})$$

q : ランプ 1 本あたりの処理可能水量 (m³/時)

V : ランプの有効照射容積(ℓ) (図 4-14 参照)

T : 必要照射時間(秒)

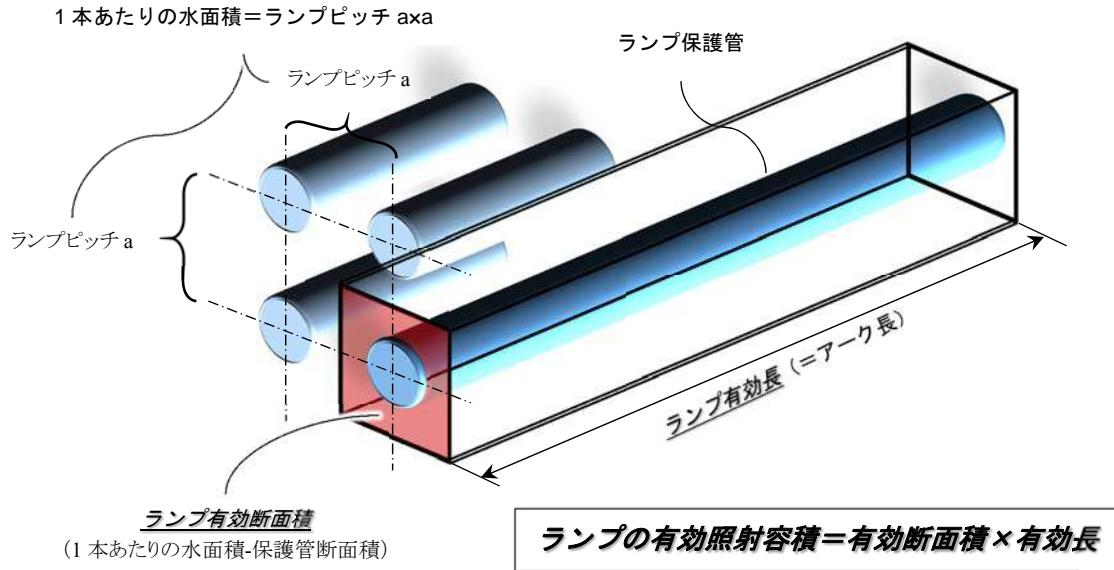


図 4-14 ランプの有効照射容積

④ 必要ランプ本数の設定

ランプ 1 本あたりの処理可能水量(上記③)から、システムとしての必要ランプ本数を設定する。なお、メーカーによりモジュール毎の最小ランプ本数や最大ランプ本数、1 ユニットに配設できる最小モジュール数や最大モジュール数に制約があるため、実際の機種選定に当たっては、算出された必要ランプ本数を満たす機種選定を行う。

$$n = \frac{Q}{q} \quad \dots \dots \dots \text{(式 4.53)}$$

n : 必要ランプ本数(本)

Q : 設計対象水量(=最大ろ過水量) ($\text{m}^3/\text{時}$)

q : ランプ 1 本あたりの処理可能水量 ($\text{m}^3/\text{時}$)

(5) ユニット数

本システムは再生水の利用者だけでなく、その再生水を使って作られた作物を口にする消費者等にも高い安全性と安心感を与えるために設置するものである。一方、利用者に再生水を継続的に使用してもらうためには、安定した供給が確保されているシステムであることが重要となる。そのため、主となる装置の故障等のリスクへは、事前に対策を講じておく必要があり、UV 消毒装置は、ランプ切れ等の故障時にも的確に対応可能なように、予備ユニットを設ける(図 4-15 参照)。

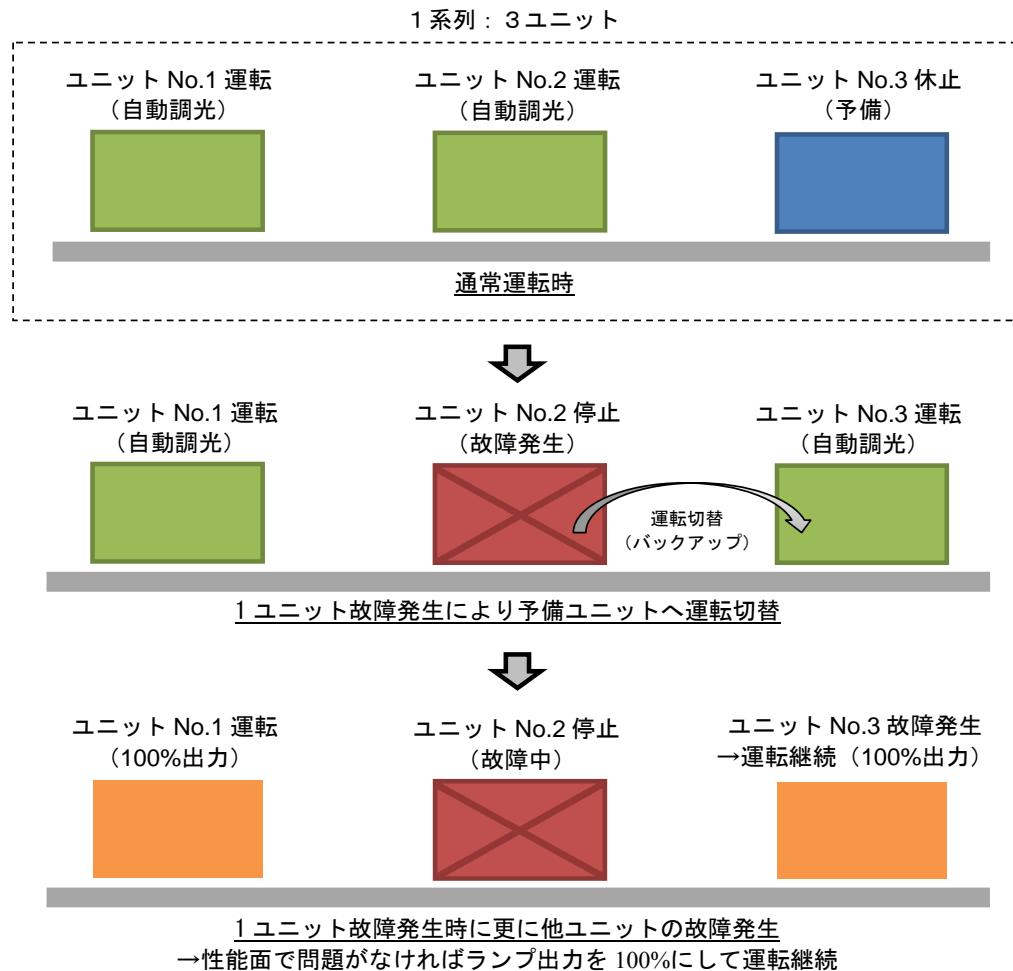


図 4-15 UV 消毒装置の予備ユニットと運用方法の例(1系列3ユニット構成の場合)

(6)UV ランプ保護管の洗浄装置

UV 消毒装置は、ランプ本体の周りに保護管(石英製の円筒等)が設置されるが、運転の継続に伴い保護管の表面(接液面)には原水に含まれる有機物や無機物によるスケールが付着する。これを放置しておくと、光がスケールに遮られることによる性能の低下(UV 強度の低下)を招くため、定期的に保護管の表面を洗浄する必要がある。

洗浄装置は、洗浄効果を高めるために、実証研究でも使用した自動の薬液/機械式ワイパーを標準とする(図 4-16 参照)。形状や作動方法・原理、材質等は規定しないが、保護管の確実な洗浄が行えるものとする。なお、使用する薬液については、含有する成分や濃度が再生水に影響を与えないものとする。例として、実証研究に用いた薬液の性状等を示す。

- ・形式等:酸洗浄剤
- ・成分等:リン酸性水溶液(リン酸濃度 5%以下)
- ・再生水への影響:リン酸濃度として 0.02ppb(mg/m³)程度

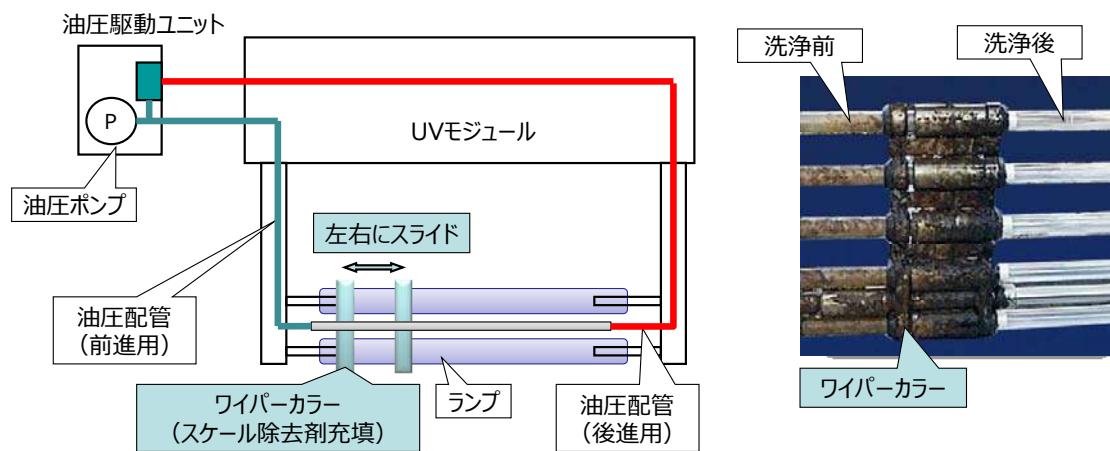


図 4-16 UV 消毒装置の洗浄装置の例

§ 42 UV 消毒水路の設計

UV 消毒水路の設計基準は以下のとおりとする。

(1) UV 消毒水路の寸法諸元

開水路浸漬型の場合の水路の設計に必要な一般的な諸元を解説に示す。密閉流通型の場合は、必要スペースや損失水頭を考慮して配置検討を行う。

(2) 水位制御装置

UV 消毒水路の水位変動を吸収し、最も水面に近いランプ保護管の天端と水面との距離が規定値以内となるように、水位制御装置を設置するものとする。

【解説】

(1) UV 消毒水路の寸法諸元

開水路浸漬型の場合、選定した UV 消毒装置の仕様を踏まえ、装置を設置する消毒水路の設計を行う。装置の形状はメーカーにより異なるため、詳細は選定したメーカーの仕様に合わせる必要があるが、水路の設計に必要な一般的な諸元を以下に示す(図 4-17 参照)。

なお、密閉流通型の場合は、装置の形状や設置方式(ポンプ圧送式等)に合わせ、必要スペースや損失水頭を考慮して配置検討を行う。

$$\begin{aligned} [\text{水路幅}] &= [\text{装置幅}] \\ &+ [\text{調整代}(0.15\text{m 程度:水路側壁とランプのクリアランス調整のため})] \cdots (\text{式 4.54}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{水路長}] &= [\text{上流側余裕}(1.0\text{m 程度:整流のため})] + [\text{装置長}] \\ &+ [\text{下流側余裕}(3.0\text{m 程度:水位制御装置設置のため})] \cdots (\text{式 4.55}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{水路高}] &= [\text{装置浸漬深}] \\ &+ [\text{余裕高}(0.6\text{m 程度:開口蓋とのクリアランス確保等のため})] \cdots (\text{式 4.56}) \end{aligned}$$

なお、装置幅、装置長、および装置浸漬深さは、選定した装置の仕様で決定される。

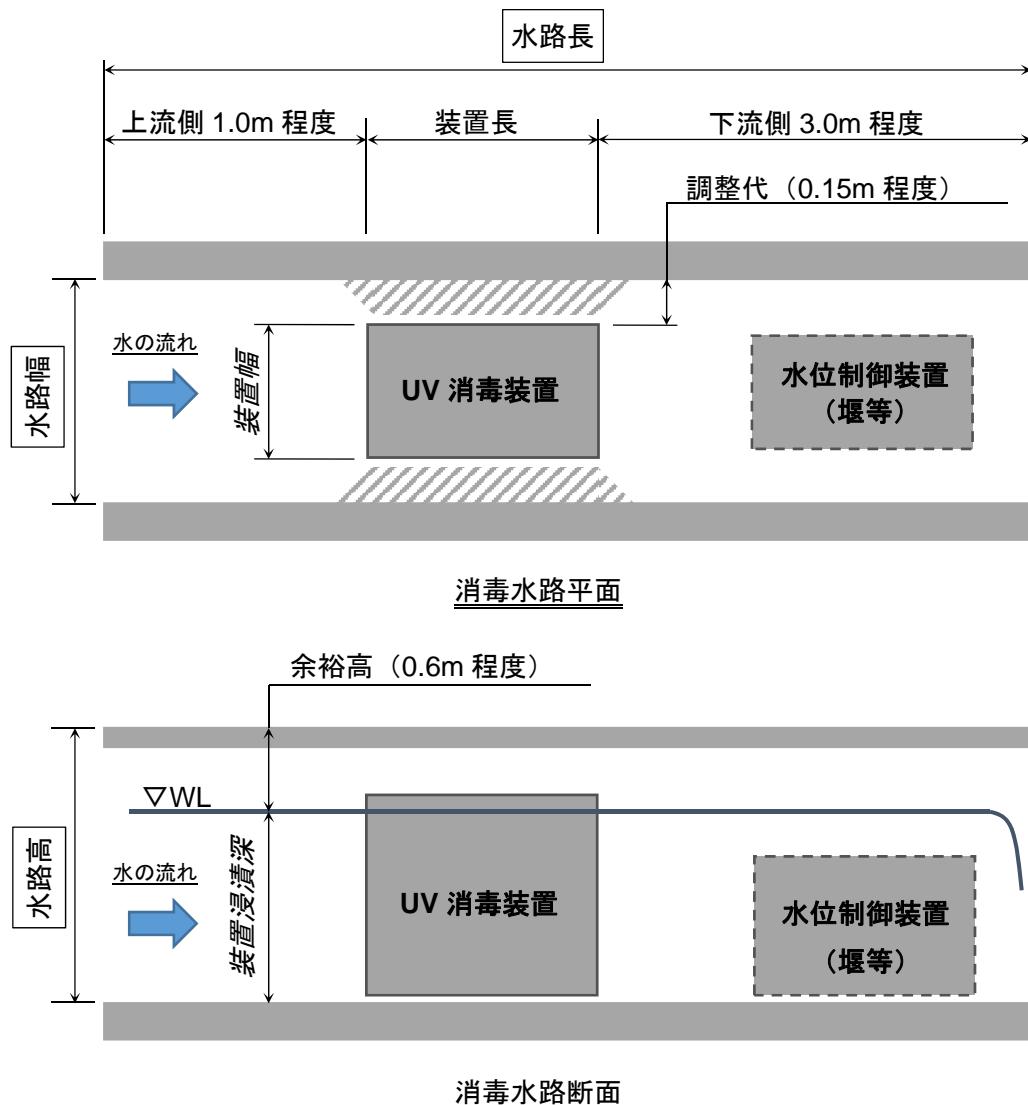


図 4-17 UV消毒水路の一般諸元

(2) 水位制御装置

開水路浸漬型の場合は、自由水面を持った水路内にUV消毒装置が設置されるため、原水の流量変動に応じてUV消毒水路内の水位が変動することになる。この水位変動を吸収し、設計対象水量においても最も水面に近いランプ保護管の天端と水面との距離が規定値以内となるように、水位制御装置を設置する。

水位制御装置には固定堰(図 4-18 参照)と自動水位調整ゲート(フラップゲート式等)があるが、設置スペースの制約等を考慮して選定する。

なお、密閉流通型の場合は、自由水面を持たないため、流量が変動しても水位変動の影響は受けないが、装置のケーシング内は常に水で満たされた状態となるように設置する必要がある。

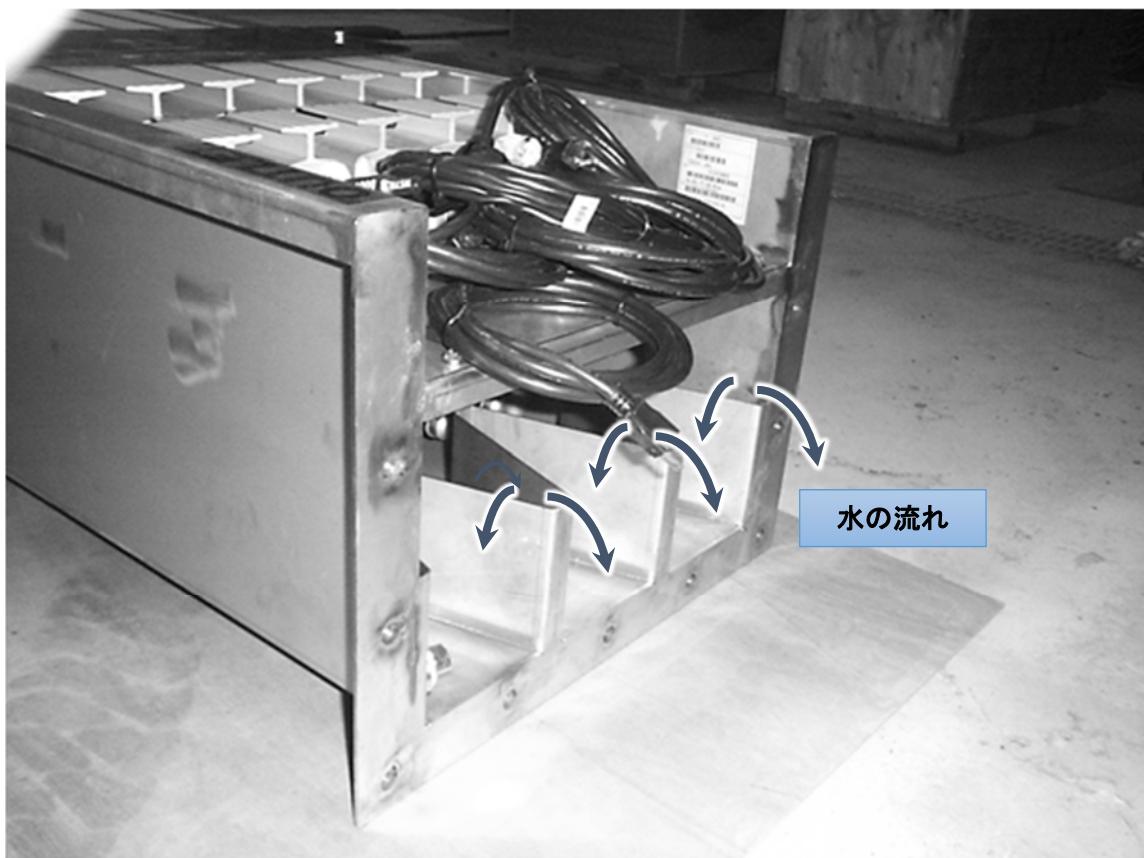


図 4-18 水位制御装置(固定堰)の例

§ 43 再生水槽の設計

再生水槽の設計基準は以下のとおりとする。

(1) 再生水槽数

再生水槽の設置数は、全系列で 1 槽、または運転サイクルや再生水の利用先の異なる系列ごとに 1 槽の設置が可能であり、状況に応じて選定する。

(2) 再生水槽の容量

再生水槽の容量は、必要な逆洗流量および、供給先での使用量の変動等を吸収できる容量を確保できることを標準とする。

【解説】

(1) 再生水槽数

再生水槽の設置数は、運転サイクルを全系列で同じとする場合には、全体に対して 1 槽の設置とすることができます。一方、系列ごとに運転サイクルを異なるものとする場合や、系列ごとに再生水の利用先が異なり、異なった運転管理を行う必要がある場合などは、条件の異なる系列ごとに 1 槽設置する。その場合、必要容量は、1 槽ごとに算定を行うものとする。

(2) 再生水槽の容量

再生水槽は逆洗用水槽を兼ねることから、逆洗用水が不足しないように、1 運転サイクルに必要な逆洗流量を確保できる容量を持つことを標準とする（「§ 38 洗浄設備の設計」参照）。

また、供給先でのバッファ能力（配水タンク等）を考慮し、再生水槽側で使用量の変動を吸収する必要がある場合は、その容量も加味する。

第5節 施設配置検討

§ 44 施設配置の検討

施設配置については、用地の条件等をもとに、経済性や維持管理性等を考慮して検討を行うものとする。

【解説】

配置検討にあたっては、用地の形状や、地盤や隣接地の条件をもとに、経済性や維持管理性、再生水の利用者や近隣住民の意見等を総合的に判断して検討を行うものとする。
検討すべき主な条件について以下に示す。

(1) 用地形状条件

用地形状によっては、配置上のデッドスペースが多くなり、必要な用地面積が大きくなる恐れがある。これにより、用地費が高くなることから、施設の多層階化による用地費の縮減効果と、建設費の増加額などを比較して、経済性の検討を行うことが重要である。

(2) 地盤条件

地盤条件により、基礎が必要となる場合があり、基礎が不必要的場合と比較して、建設費に大きな違いが出ることから、建屋や水槽の配置位置の地盤を確認することが重要である。

(3) 隣接地条件

利用者に、処理施設まで再生水を取りにきてもらう場合には、利用者の車両の出入りが多くなり、近隣住民の苦情などの恐れもある。そのため、利用者車両の出入り口や作業場所については、近隣住民の意見を踏まえて検討を行うことが重要である。

また、多層階の施設とする場合には、隣接地への日照に関する検討を行うことも重要である。

(4) 維持管理条件

更新等の際の機器搬出入の動線の確保や、工事用車両の出入り、駐車・転回スペースの確保など、維持管理に必要な事項についても、検討を行い施設配置を決定することが重要である。

なお、本システムの標準的な配置面積は「§ 22 本システムの施設面積」に示している。

第6節 監視制御システム

本システムにおける標準的な計装機器の設置位置は図 4-19 に示すとおりであり、各計装機器において監視および制御する内容を § 45～§ 47 に示す。

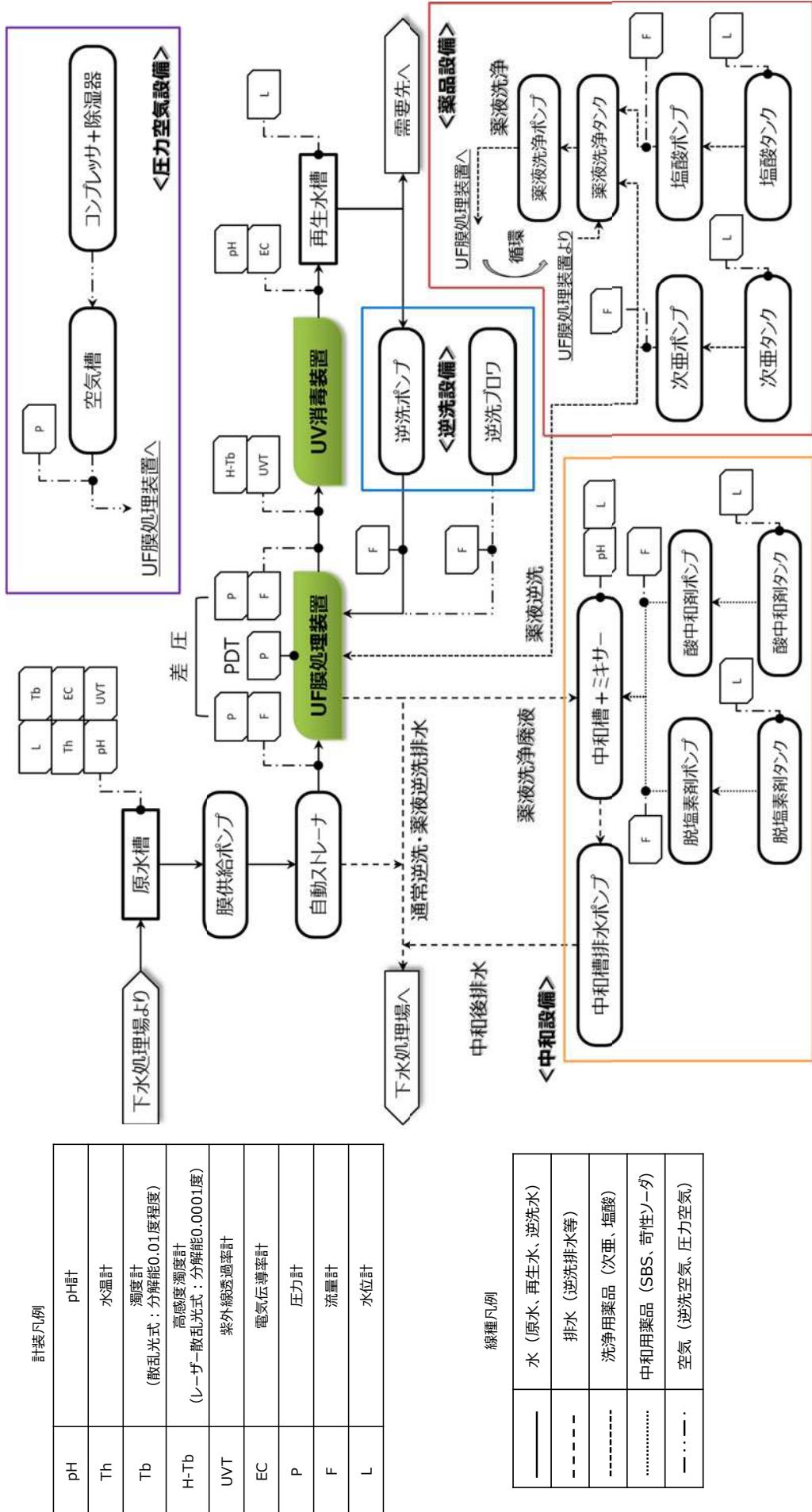


図 4-19 標準的な計装機器の設置位置

§ 45 UF 膜ろ過装置の監視制御システム

UF 膜ろ過装置について、正常な稼働状況を確認するため、以下の監視を行うことができるものとする。

(1)ろ過水量、膜ろ過 Flux の監視および UF 膜供給ポンプの制御

ろ過水量および膜ろ過 Flux を監視し、膜ろ過 Flux が設計値の一定となるよう、UF 膜供給ポンプの運転を制御できるものとする。

(2)膜間差圧の監視

UF 膜の前後において圧力を算定し、前後の差圧(膜間差圧)を監視できるものとする。

(3)圧力減衰試験のための圧力監視

圧力減衰試験の際に、UF 膜モジュール内の圧力を連続的に監視できるものとする。

(4)濁度の監視

UF 膜出口において、高感度濁度計による濁度監視ができるものとする。

【解説】

(1)ろ過水量、膜ろ過 Flux の監視および UF 膜供給ポンプの制御

UF 膜ろ過装置の前後においてろ過水量を測定し、膜モジュールの水漏れ等が発生していないかを監視できるものとする。

また、ろ過水量と、稼働中の UF 膜ユニットの膜面積から、膜ろ過 Flux を換算して監視できるものとし、膜ろ過 Flux が一定となるように UF 膜供給ポンプの運転を制御できるものとする。

(2)膜間差圧の監視

UF 膜ろ過装置の前後において圧力を算定し、前後の差圧(膜間差圧)を測定(図 4-20 参照)し、膜間差圧が設計圧力「§ 36 UF 膜ろ過装置への原水供給」を超えることがないよう監視できるものとする。

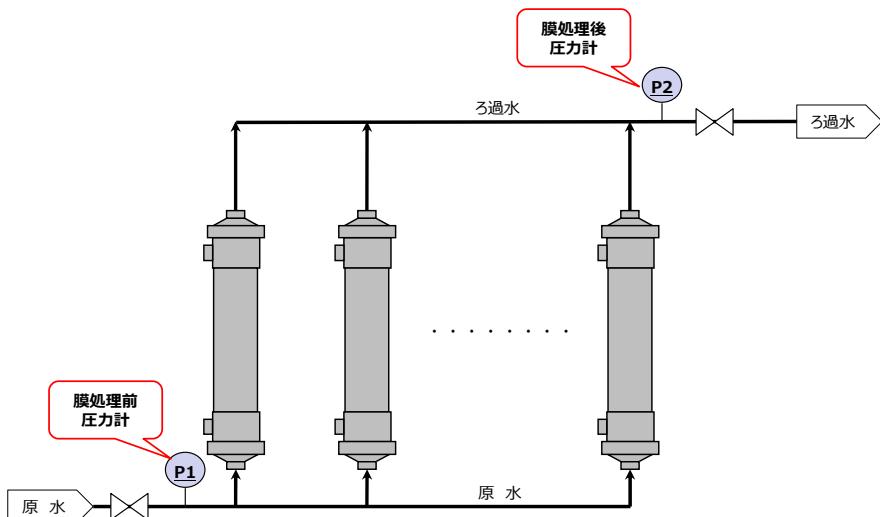


図 4-20 UF 膜ろ過前後の圧力計測位置

(3)圧力減衰試験のための圧力監視

UF膜の破断の有無を確認するための圧力減衰試験の際に、空気槽およびUF膜モジュール内の圧力を連続的に監視できるものとする。

なお、圧力減衰試験の方法については資料編6を参照されたい。

(4)濁度の監視

UF膜ろ過装置出口において、分解能 0.0001 度までの測定が可能な高感度濁度計による濁度監視ができるものとする。

なお、濁度の管理値については、「§ 49 安定的処理状況の連続的な確認方法」に示しているので参考されたい。

§ 46 UV 消毒装置の監視制御システム

UV 消毒装置の監視制御システムは、以下のとおりとする。

(1) UV 透過率の監視

UV 消毒装置の流入部において、UV 透過率の監視ができるものとする。

(2) UV 照射ランプの自動調光制御

UV 透過率、および UF 膜ろ過装置出口の流量(UV 消毒装置への流入量)から、UV 照射ランプの自動調光制御を行うことができるものとする。

【解説】

(1) UV 透過率の監視

UV 透過率は、UV 照射量およびウイルス不活化性能に大きな影響を与える因子のひとつである。図 4-21 に示すように、実証施設では MS2 の添加が不可能であるため、本研究では下水処理水に含まれている GI ファージの不活化率は UF 膜をバイパスした UV 施設で評価した。また実験室での小型照射施設で、GI ファージと MS2 ファージの UV の感受性が概ね同等であることを確認しているため、両者の不活化率を同等に扱っている。図 4-21 では、UV 照射出力を低下させた場合、GI ファージの log 不活化は、低下した。設計値の 60% 程度の出力では、GI ファージが検出限界にまで低下し、log 不活化は、少なくとも 4.2 であることが確認されている。このため、100% の設計出力では、UV 照射での log 不活化は、4.2 を上回って確保できている。

のことから、UV 消毒装置の流入部において、UV 透過率の監視を行い、必要に応じて UV 消毒装置の調整を行うものとする。

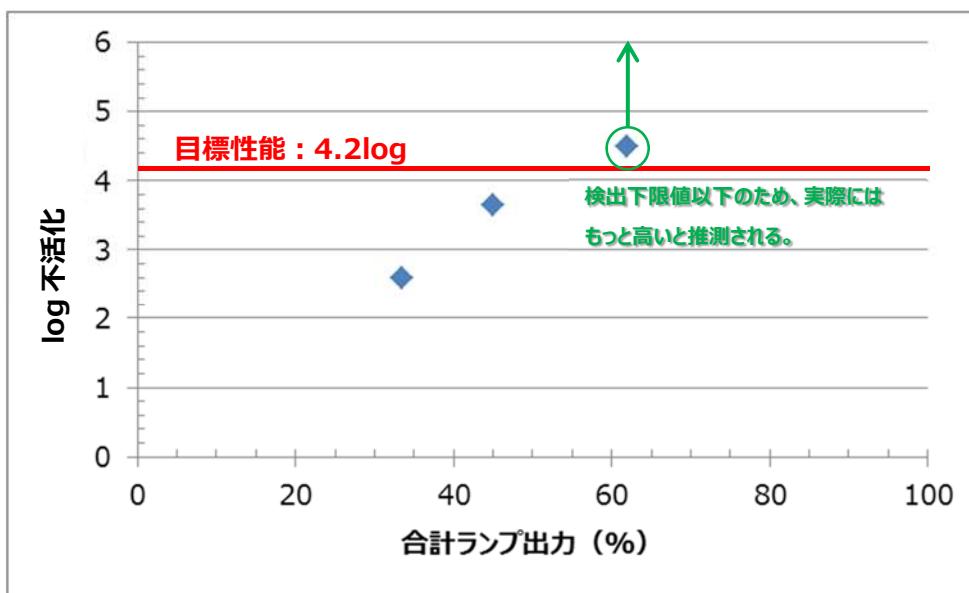


図 4-21 ランプ出力とウイルス除去(不活化)の関係の例

(2) UV 照射ランプの自動調光制御

UV 消毒装置の機種によっては、原水の性状に応じてランプの出力を自動的に増減させる機能(自動調光機能)を持っているものがある。自動調光機能は、流入水(UF 膜ろ過水)の状態に合わせて本システムでの目標紫外線照射量を確保できるようにランプの出力を調整するもので、過大なランプ出力での運転を防ぎ、消費電力の低減等の効果が期待できる(資料編1参照)。

自動調光制御は、UV 透過率、および UF 膜ろ過水量(UV 消毒装置への流入量)から、UV 照射量が、「§ 41 UV 消毒装置の設計」において設定した設計値となるようにランプ出力を自動制御するものである。制御の詳細は採用するメーカーによるが、下式に標準的な出力調整の考え方を一例として示す(図 4-22 参照)。

$$[\text{UV 照射ランプ出力}(\%)] = [\text{UV 照射ランプ設計出力}(\%)] \times \frac{[\text{実測流量}] / [\text{設計流量}]}{[\text{実測UV透過率}] / [\text{設計UV透過率}]} \dots (\text{式 4.57})$$

なお、UV 照射ランプの調光制御は、本システムに必須ではないことから、自動調光制御を行うことによるコスト低減効果を検討し、必要性を判断するものとする。

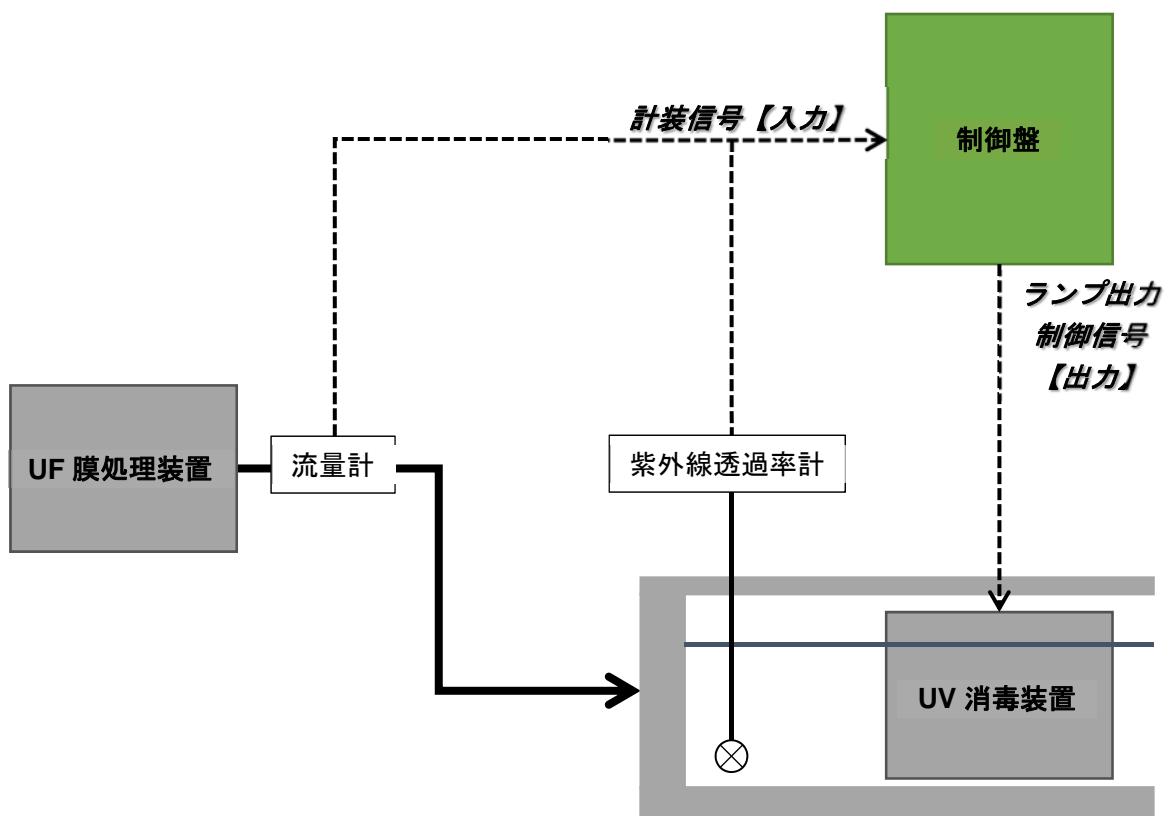


図 4-22 自動調光制御システムの例

§ 47 水質異常の監視システム

流入原水の水質異常を確認するために、以下の監視を行うものとする。

(1) 原水の水温監視

原水槽において、水温の監視ができるものとする。

(2) 原水および再生水の pH 監視

原水槽および再生水槽において、pH の監視ができるものとする。

(3) 原水および再生水の EC 監視

原水槽および再生水槽において、電気伝導度(EC 値)の監視ができるものとする。

【解説】

(1) 原水の水温監視

流入原水に異常な工場排水などの流入があった場合の判断を行うために、原水槽において水温の監視ができるものとする。

(2) 原水および再生水の pH 監視

流入原水に異常な工場排水などの流入があった場合の判断を行うために、原水槽において pH の監視ができるものとする。

また、再生水について、利用先の利用基準が設けられている場合には、再生水槽においても pH の監視ができるものとする。

(3) 原水および再生水の EC 監視

原水槽および再生水槽において電気伝導度(EC 値)の監視ができるものとする。

また、再生水について、利用先の利用基準が設けられている場合には、再生水槽においても電気伝導度(EC 値)の監視ができるものとする。

第5章 維持管理

第1節 運転管理

§ 48 UF 膜の洗浄

(1)ろ過工程時間

ろ過工程時間は 30 分を標準とする。

なお、維持管理費の低減のために、ろ過工程時間は、膜間差圧の長期的な推移を確認しながら、適切な値を設定できるものとする。

(2)UF 膜の洗浄頻度

UF 膜の洗浄方法には通常逆洗・薬液逆洗・浸漬洗浄の 3 つがある。

各洗浄の頻度は、以下を標準とする。

洗浄方法	洗浄頻度(洗浄回数)
通常逆洗	ろ過工程時間毎に 1 回
薬液逆洗	1 日に 1 回
薬液(浸漬)洗浄	最長 1 年に 1 回

(3)UF 膜の洗浄方法

UF 膜の各洗浄方法は以下のとおりとする。

洗浄方法	内容
通常逆洗	逆洗用水および逆洗空気による洗浄
薬液逆洗	次亜塩素、逆洗用水および逆洗空気による洗浄
薬液(浸漬)洗浄	酸、次亜塩素、逆洗用水および逆洗空気による洗浄

【解説】

(1)ろ過工程時間

ろ過工程時間は、通常逆洗の終了から次の通常逆洗の開始までろ過を継続して行う時間を示す。

ろ過工程時間が長いと、UF 膜の目詰まり(ファウリング)が進行し、膜間差圧が大きくなることで、UF 膜供給ポンプに運転コストが高くなることや、UF 膜への供給圧が大きく膜破断の可能性が高くなるなどの問題が発生する恐れがある。

そのため、ろ過工程時間内の膜間差圧の上昇をわずかに抑えることを考慮して、ろ過運転時間は 30 分を標準とする。

なお、ろ過工程時間を長くすることにより、逆洗に係る運転コストを低減できるため、長期的な洗浄前後の膜間差圧の変動を記録し、ろ過工程時間を長くしても、長期的に膜間差圧の増加が見られないことを確認できる場合には、30 分以上であっても適切なろ過運転時間を設定できるものとする。

(2) UF 膜の洗浄頻度

UF 膜の各洗浄の頻度は、以下の表 5-1 および図 5-1 を標準とする。

表 5-1 UF 膜の洗浄頻度

洗浄方法	洗浄頻度 (洗浄回数)	備考
通常逆洗	ろ過工程時間毎に 1 回	長期的な膜間差圧の推移を確認し、設定変更可とする
薬液逆洗	1 日に 1 回	
薬液(浸漬)洗浄	最長 1 年に 1 回	差圧状況を確認して 1 年未満でも実施する

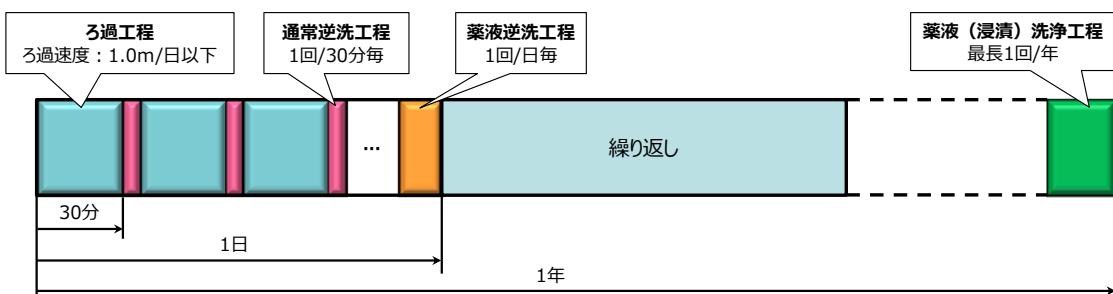


図 5-1 UF 膜の標準洗浄サイクル

薬液(浸漬)洗浄については、洗浄前の膜間差圧が、設計膜供給圧力 200kPa(「§ 36 UF 膜ろ過装置への原水供給」を参照)となった時点を目安に実施するものとし、これを越えない場合においても、前回の酸洗浄から 1 年を経過する時点で実施するものとする。

(3) UF 膜の洗浄方法

UF 膜の洗浄方法は、実証実験で用いた以下の方法を参考として、UF 膜の性状・特性に応じて適正な方法で実施するものとする。

① 通常逆洗

項目	内容	備考
概略工程	原水供給停止 → 水逆洗 → 空気洗浄 → 排水 → 原水供給再開 → 通常運転	全て自動運転とする
洗浄時間	水逆洗 → 空気洗浄 → 排水 → 原水供給 60 秒 60 秒 45 秒 70 秒	弁駆動時間等の操作ロス 45 秒程度
通常逆洗工程時間	280 秒(0.078 時間)	
通常逆洗洗浄工程時間	60 秒(0.017 時間)	水洗浄に係る時間

② 薬液逆洗

項目	内容	備考
概略工程	原水供給停止→排水 →水+次亜逆洗→浸漬→空気洗浄→排水→ →[水逆洗(リンス)→空気洗浄→排水](2回繰り返し) →原水供給再開→通常運転	全て自動運転とする
次亜濃度	有効塩素 300~500mg/l	モジュール内濃度
次亜標準使用量	4,840 g/再生水 m ³ (12%溶液・比重 1.16として)	JWWA A-103-1:2006 より
洗浄時間	排水 → 水+次亜逆洗 → 浸漬 → 45秒 115秒 20分 → 空気洗浄 → 排水 → [水逆洗(リンス) 60秒 45秒 80秒 → 空気洗浄 → 排水](2回繰り返し) → 60秒 45秒 → 原水供給 70秒	弁駆動時間等の操作 ロス 180秒程度
薬液逆洗工程時間	2,085秒(0.579時間)	
薬液逆洗洗浄工程時間	275秒(0.076時間)	水+次亜逆洗および 水逆洗に係る時間

③ 薬液(浸漬)洗浄

項目	内容	備考
概略工程	[通常逆洗→原水供給停止→排水→] →酸(浸漬)洗浄→排水→水逆洗(リンス)→排水→ →次亜(浸漬)洗浄→排水→水逆洗(リンス)→排水→ →原水供給再開 [→通常運転]	全て手動とする 排水は中和処理を 行う
酸濃度	塩酸 0.1mol/l	モジュール内濃度
酸標準使用量	13.0 g/再生水 m ³ (塩酸濃度 35%溶液・比重 1.18)	
酸モル質量	36.46 g/mol(塩酸)	
次亜濃度	有効塩素 3,000mg/l	モジュール内濃度
次亜標準使用量	30.0 g/再生水 m ³ ・回 (次亜濃度 12%溶液・比重 1.16)	JWWA A-103-1:2006 より
洗浄時間	酸(浸漬)洗浄 → 排水 → 水逆洗(リンス) → 排水 → 2時間 45秒 5分 45秒 次亜(浸漬)洗浄 → 排水 → 水逆洗(リンス) → 排水 → 2時間 45秒 5分 45秒 → 原水供給 70秒	

項目	内容	備考
酸中和剤の種類	苛性ソーダ	
酸中和剤の標準使用量	24.0 g/再生水 m ³ (25%溶液・比重 1.28として)	苛性ソーダ工業会 資料より
酸中和剤の送液時間	10 分程度(1回あたり)	
脱塩剤の種類	SBS(重亜硫酸ソーダ)	
脱塩剤の標準使用量	29.0 g/再生水 m ³ (34%溶液・比重 1.30として)	
脱塩剤の送液時間	10 分程度(1回あたり)	
中和後の排水時間	30 分程度(1回あたり)	

※ 薬液(浸漬)洗浄の詳細方法については「資料編5 UF 膜の薬液(浸漬)洗浄方法」を参照

§ 49 安定的処理状況の連続的な確認方法

安定的な処理状況を確認するために、以下の連続的な監視を行う。

(1)高感度濁度計による監視

(2)UV 透過率の監視

【解説】

(1)高感度濁度計による監視

UF 膜は 0.1% の破断が発生した場合には、濁度が通常値の 5 倍以上の値が検知されることが実証実験により確認されている。ただし、UF 膜ろ過水の濁度の通常値は極めて低いため、これを検知できる高感度濁度計による監視が必要となる。

パイロットプラントにおける膜破断検知に関する研究結果(資料編1参照)から、濁度監視の基準は、0.1% の破断時に通常値の 5 倍以上の値が出ることに対して、若干の余裕を見込み、通常値の 3 ~ 4 倍を標準の基準とする。また、UF 膜ろ過は、逆洗による停止と再起動を繰り返すが、再起動後 15 分程度までは、高感度濁度計に指示値が安定しないことから、この時間の測定値を除いて監視を行うものとする(表 5-2 参照)。

表 5-2 濁度監視の基準

方法	基準	監視時間
高感度濁度計による測定 (分解能:0.0001 度)	通常値の 3~4 倍	逆洗後の再起動から 15 分経過以降 (次回逆洗による停止時まで連続監視)

高感度濁度計による濁度監視を行うことで UF 膜の破断によるウイルス漏えいに対する健全度を診断し、安定的な処理状況の確認をすることができる。

(2)UV 透過率の監視

UV ランプの自動調光制御(「§ 46 UV 消毒装置の監視制御システム」参照)を行っている場合には、UV 透過率と、UV ランプ出力を監視することで、自動調光が正常に機能しているか監視することが望ましい。

また、UV 透過率が設計 UV 透過率を下回る場合には、自動調光制御での対応も困難となる。自動調光を行っていない場合でも、設計 UV 透過率を前提として UV 強度を設定していることから、安定的なウイルス除去は困難となる。

UV 透過率は、目標とするウイルス除去性能に直接影響する項目であり、安定的な処理状況を確認するために、UV 透过率が設計値を下回らないことを監視することが重要である。

§ 50 UF 膜の膜破断検知

UF 膜の膜破断を検知するために、連続的または定期的に以下の検知確認を行う。

- (1)高感度濁度計による連続監視
- (2)大腸菌の定期的な測定
- (3)圧力減衰試験の定期的な実施

【解説】

健全なUF膜でのウイルス除去に対して、UF膜の破断が発生した場合を想定する。もし破断した中空糸への流量が、破断前と変わらないと仮定し、破断によってウイルス除去が全く行われないと考えた場合を考える。

処理量を Q 、原水濃度を C_0 、UF モジュールの中空糸破断前の log 除去率を R とした場合、UF モジュールの中空糸のうち破断したもの比率を x とすると、UF モジュール全体でのウイルス収支を取る。

原水のウイルスの単位時間当たりの量は、 $Q \cdot C$ であり、破断した UF システムから流出するウイルスの単位時間当たりの量は

$$Q \cdot (1-x) \cdot C \cdot 10^{-R} + Q \cdot x \cdot C \quad \dots \dots \dots \text{ (式 5.1)}$$

であるので、この UF 膜モジュールの log 除去 R' は以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned} R' &= \log\left(\frac{Q \cdot C}{Q \cdot (1-x) \cdot C \cdot 10^{-R} + Q \cdot x \cdot C}\right) \\ &= \log\left(\frac{1}{(1-x) \cdot 10^{-R} + x}\right) \quad \dots \dots \dots \text{ (式 5.2)} \end{aligned}$$

健全なUF膜モジュールのウイルスの log 除去 R を 1~5 log とした場合に想定される破断後の log 除去 R' を、上式により算定すると表 5-3 のとおりである。本システムの UF 膜ろ過の目標ウイルス除去は 1~2 log であり、0.3%破断で約 0.1 log の影響があり、0.1%の破断では、ほとんど影響のないレベルとなる。

実際に、UFモジュール 1 本で破断実験をパイロットプラントで、0.1%から 1%までの中空糸の破断を行った実験結果(図 5-2 参照)では、大腸菌群や大腸菌の漏出が起り、log 除去が大きく低下する。しかし、大腸菌ファージの log 除去は、新品で log 除去が大きな場合を除いて、変化がほとんど見られなかった。また漏出した大腸菌、大腸菌群も、後段の UV 照射で検出限界以下となった。

表 5-3 膜破断状態のウイルス除去の理論算定値

健全状態のウイルス除去		1.00 log	2.00 log	3.00 log	4.00 log	5.00 log
膜破断状態の ウイルス除去	0.1%破断	1.00 log	1.96 log	2.70 log	2.96 log	3.00 log
	0.3%破断	0.99 log	1.89 log	2.40 log	2.51 log	2.52 log
	0.5%破断	0.98 log	1.82 log	2.22 log	2.29 log	2.30 log
	1.0%破断	0.96 log	1.70 log	1.96 log	2.00 log	2.00 log

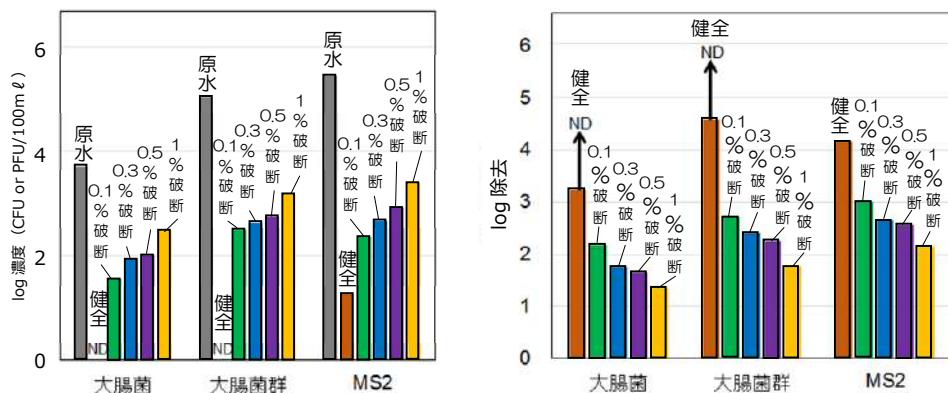


図 5-2(1) 膜破断状態のウイルス除去の実験結果(新品膜)

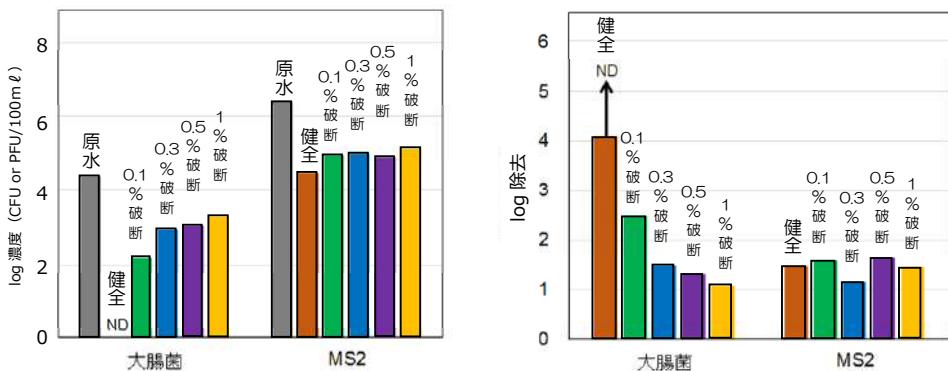


図 5-2(2) 膜破断状態のウイルス除去の実験結果(使用後 3 年経過膜)

また、パイロット実験では、UF 膜ろ過の膜破断は、ろ過水の濁度上昇による UV 照射が低下することによる後段の UV 消毒への影響がみられることが分かっている(図 5-3 参照)が、これも 0.1%の破断であれば、大腸菌や大腸菌群が検出限界以下となるため、UF 膜の破断はほとんど影響のないことが確認されている。また、UF モジュールが複数ある場合には、破断の影響による濃度上昇も小さくなるため、さらにその影響は小さくなる。

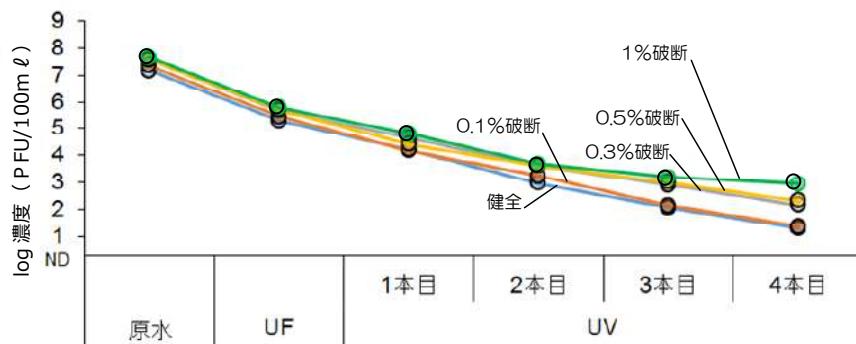


図 5-3 膜破断による UV 消毒へのウイルス除去影響評価の実験結果

したがって、本システムでは、0.1%の膜破断を検知することを目的として、以下の 3 通りの膜破断検討方法を実施する。

(1)高感度濁度計による連続監視

高感度濁度計による濁度の連続監視により、膜破断の状態を検知することが可能である(資料編1参照)。なお、高感度濁度計による連続監視については、「§49 安定的処理状況の連続的な確認方法」を参照されたい。

なお、高感度濁度計による膜破断の可能性が検知された場合は、以下の大腸菌測定を臨時で実施し、膜破断の有無を確認する。

(2)大腸菌の定期的な測定

UF 膜の孔径が 10nm 程度であるのに対して、大腸菌のサイズは $2\mu\text{m}$ 程度であり、サイズが 100 倍以上異なるために、UF 膜が健全な状態であれば、UF 膜ろ過水に大腸菌が検出されることはない(資料編1参照)。しかしながら、0.1% であっても膜破断が発生した場合に大腸菌が検出されることがパイロットプラントでの実験により確認されている。

したがって、定期的に UF 膜ろ過水の大腸菌測定を定期的に実施し、大腸菌の検出がないことにより、UF 膜の健全性を確認するものとする(表 5-4 参照)。なお、大腸菌の測定頻度については、「§52 水質管理項目」によるものとする。

表 5-4 大腸菌の監視基準

方法	基準	測定頻度
大腸菌の測定	検出なし	精密水質試験の頻度による (「§52 水質管理項目」参照) または、高感度濁度計による膜破断 の検知時に確認のための測定を行う

なお、大腸菌測定による膜破断の可能性が検知された場合は、以下の圧力減衰試験を臨時で実施し、膜破断の個所の特定を行う。

(3)圧力減衰試験の定期的な実施

圧力減衰試験は、UF 膜モジュール内を空気で 100kPa まで加圧した後、一定時間経過ごとに圧力を計測し、圧力減衰の推移を確認するものである(資料編6に具体的な試験方法を記載)。

圧力減衰試験では、UF 膜が健全な状態ではほとんど圧力の減衰が見られないのに対して、0.1% の膜破断であっても、明らかに健全状態の UF 膜よりも圧力減衰が早い傾向が見られることが、実証実験により確認されている(資料編1参照)。

したがって、定期的に圧力減衰試験を実施し、圧力の減衰がほとんどないことを確認することにより、UF 膜の健全性を確認するものとする(表 5-5 参照)。なお、圧力減衰試験の頻度については、1 月に 1 回を標準とする。

表 5-5 圧力減衰試験による監視基準

方法	基準	測定頻度
圧力減衰試験 (資料編6参照)	5分後に 20%以上低下	1月に1回を標準 または、大腸菌測定による膜破断 の検知時に確認のための試験を行う

なお、大腸菌測定による膜破断の可能性が検知された場合は、UF 膜の一部閉塞による補修処置や、UF 膜モジュールの交換など必要な対応を検討する(「§ 54 保守点検」参照)。

§ 51 運転管理項目

本技術の運転管理は、遠隔監視を基本とし、詳細な状況確認のために定期的な巡回監視を組み合わせる。

(1) 遠隔監視項目

遠隔監視においては、各水槽の水位、膜差圧、および各設備の運転状況を監視する。

(2) 巡回監視点検項目

巡回監視においては、遠隔監視項目に加えて、各設備の稼働状態の確認、および必要に応じて薬液の補充を実施する。

【解説】

(1) 遠隔監視項目

遠隔監視においては、各水槽の水位、膜差圧、および各設備の運転状況を監視し、アラートが表示された場合には、現地の既設処理場の維持管理担当に連絡を行うとともに、緊急時の対応を実施することを検討する（「§ 55 緊急時の対応」参照）。遠隔監視項目を表 5-6 にまとめて示す。

表 5-6 遠隔監視項目

対象	遠隔監視項目	備考
原水槽	水位	異常水位時のアラート
	濁度	適用条件を超えた場合にアラート
	UV 透過率	
	水温	
	pH	適用条件を超えた場合にアラート
	EC（電気伝導度）	
膜供給水量	流量	
UF 膜	膜間差圧	異常差圧時のアラート
UF 膜ろ過水	濁度	適正管理値を超えた場合にアラート
	流量	
UV ランプ	UV ランプ出力	
再生水槽	再生水槽水位	異常水位時のアラート
	pH	利用先基準値を超えた場合にアラート
	EC	利用先基準値を超えた場合にアラート
逆洗ポンプ	流量	
逆洗プロワ	風量	
次亜洗浄設備	次亜貯留タンク液位	貯留液量不足時にアラート
	次亜送水ポンプ流量	
酸洗浄設備	酸貯留タンク液位	貯留液量不足時にアラート
	酸送水ポンプ流量	
脱塩素設備	脱塩素剤貯留タンク液位	貯留液量不足時にアラート
	脱塩素剤送水ポンプ流量	

対象	遠隔監視項目	備考
酸中和設備	酸中和剤貯留タンク液位	貯留液量不足時にアラート
	酸中和剤送水ポンプ流量	
中和槽	中和槽 pH	pH 異常時にアラート
	中和槽水位	

(2) 巡回監視点検項目

巡回監視においては、現地の監視盤を視認することによる遠隔監視項目の確認、および監視盤の表示が適正であることを点検する。また、各設備に異音や振動の発生など、稼働状態の点検を実施する。特に UV ランプの点灯状態により照射強度が、必要強度に対して不足している場合には、ウイルス除去性能に大きな影響を与えるため、ランプの交換など必要な対応を実施する。

また、薬液タンクの有効容量は、巡回点検間隔での必要薬液量としている場合には、原則として巡回点検時に薬液の補充を実施する。有効容量が巡回点検間隔の 2 倍以上を確保している場合には、巡回点検時において液位を確認し、必要に応じて薬液の補充を実施する。

さらに、UF 膜が逆洗洗浄を行った直後においても、膜間差圧が 200kPa 以上となる場合には、巡回監視時において、薬液(浸漬)洗浄を実施する。

巡回監視点検項目を表 5-7 にまとめて示す。

表 5-7 巡回監視点検項目

巡回監視点検項目	確認頻度	備考
原水槽の土砂堆積	月 1 回	必要に応じて清掃を実施
原水ポンプの動作状況	巡回点検時	異音・振動の確認
UF 膜モジュールの接続状況	巡回点検時	亀裂・損傷・異音・振動の確認
UV ランプの動作状況	巡回点検時	ランプの点灯有無、照射強度の確認
再生水ポンプの動作状況	巡回点検時	異音・振動の確認
逆洗ポンプの動作状況	巡回点検時	異音・振動の確認
空調機器の動作状況	巡回点検時	異音・振動の確認
UV 消毒槽の状況確認	6 月に 1 回	亀裂・損傷・水漏れの確認
薬液タンクの状況確認	6 月に 1 回	亀裂・損傷・液漏れの確認
防液堤の状況確認	6 月に 1 回	亀裂・損傷の確認
地上配管の接続状況確認	6 月に 1 回	亀裂・損傷・水漏れの確認
埋設配管の接続状況確認	適時	亀裂・損傷の確認
建屋の状況確認	1 年に 1 回	亀裂・損傷の確認
現場監視盤の表示状況	巡回点検時	適正範囲の表示の確認
現場盤の運転状況	巡回点検時	異音・振動の確認
薬液の補充	必要に応じて	LWL を判断基準
UF 膜の薬液洗浄	必要に応じて	逆洗直後の膜間差圧 200kPa 以上を判断基準

※巡回監視点検の頻度は、「§ 54 保守点検」を参照

§ 52 水質管理項目

水質管理項目は、法的基準である「水質汚濁防止法」における排水基準、および「下水道法施行令」における放流水質の技術上の基準、並びに「都道府県の条例」による上乗せ排水基準とするほか、利用用途に応じて管理すべき水質項目を選定し、それぞれの基準を順守する。

(1)一般管理項目

本技術はウイルス除去を適正に行い、利用者が再生水に直接触れる場合でも異常がないことを確認するため、ウイルス除去や流入水の異常を検知できる指標について管理を行うものとする。

(2)農業利用用途の管理項目

再生水の利用用途が農業利用の場合においては、農作物への塩害影響を把握するため、塩化物イオンおよび電気伝導度の測定による管理を行うものとする。

(3)その他の利用用途の管理項目

その他の利用用途としては、水洗用水、散水用水、修景用水、親水用水がある。これらの用途においては、一般管理項目に加えて「下水処理水の再利用水質基準等マニュアル²⁾」の管理項目についても管理を行うものとする。

【解説】

水質監視は、連続測定、日常試験、精密試験、通日試験の各試験により実施する。

各試験の測定頻度は、以下のとおりとする。

(1)一般管理項目

一般管理項目についての項目、測定箇所と頻度、および管理値を、それぞれ表 5-8、表 5-9 および表 5-10 に示す。

一般管理項目は、本システムの処理目的であるウイルス除去を適正に行っていることを確認することや、人が直接触れる可能性があることを考慮して、利用者が異常を感じる項目について、異常がないことを確認するために、下記の水質測定を行うものとする。

・pH:

流入水の異常を簡易に確認するための指標として設定する。

・大腸菌:

大腸菌が検出される場合には、ウイルス除去に対しても異常があると考えられることから、定期的に確認を行うため水質管理項目として設定する。

・濁度:

UV 消毒の効果を確保するために、UV が充分に UF 膜ろ過水中を透過することが必要であることから、UF 膜ろ過水の濁度を水質管理項目として設定する。

・外観:

再生水の利用は、人が直接触れる可能性があるものを対象としているため、利用者が異常を感じる外観について水質管理項目として設定する。

・臭気:

再生水の利用は、人が直接触れる可能性があるものを対象としているため、利用者が異常を感じる臭気について水質管理項目として設定する。

表 5-8 水質管理項目(一般管理項目)

水質管理項目	本システム 測定頻度			備考
	連続 測定	日常 試験	精密 試験	
水素イオン濃度(pH)	○			1日最大値および最小値を測定
大腸菌			○	
濁度	○		○	1日 5% 頻度値を測定
外観		○		
臭気		○		

表 5-9 水質測定箇所および頻度(一般管理項目)

水質項目	本システム測定箇所		
	原水	UF 膜ろ過水	再生水
水素イオン濃度(pH)	●	—	—
大腸菌	—	◇	—
濁度	●◇	●◇	—
外観	—	—	◎
臭気	—	—	◎

●:連続監視

◎:日常試験(週1回(巡回点検時))

◇:精密試験(月2回(水質管理値を満足する場合:年2回))

表 5-10 水質管理値(一般管理項目)

水質項目	水質管理値	備考
水素イオン濃度(pH)	下水道法の基準を満たすこと	下水道法基準: 5.8 以上 8.6 以下
大腸菌	検出なし	
濁度	高感度濁度計 : 通常値の 3~4 倍以下 手分析 : 0.2 度以下	
外観	不快でないこと	
臭気	不快でないこと	

※臭気の測定結果は、快・不快の別、または臭気指数によって表記することを標準とする。

(2) 農業利用用途の管理項目

本技術による再生水の農業利用については、畑作灌漑に利用することを前提としており、本ガイドラインにおいては畑作灌漑に関する管理項目の一例を示す。なお、水稻灌漑に本技術による再生水

を利用する際は、水稻に関する「農業(水稻)用水基準」(農林水産省昭和45年3月)²²⁾を参考として、適用を判断することが望ましい。

再生水の畑作利用の場合において、農作物への塩害影響を把握するため、塩化物イオンの測定を実施し、当該利用先の農作物の栽培に適した濃度を超えていないことを確認する。なお、塩化物イオンと電気伝導度の双方を測定することにより、これらの相関性が認められる場合には、塩化物イオンの測定を省略することもできる。なお、電気伝導度は、連続測定を実施し、1日ごとに平均値および最大値を算定することが望ましい。

農業用水についての項目、測定箇所と頻度、および管理値を、それぞれ表5-11、表5-12および表5-13に示す。ここで示すものは、あくまで一例であり、それぞれの再利用方法や利用先の状況、栽培する作物の特性等により、管理項目および管理値は変えることができるものである。

表5-11 水質管理項目(農業用水)

	水質管理項目	本システム測定頻度			備考
		連続測定	日常試験	精密試験	
畑作	水素イオン濃度(pH)	一般管理項目にて測定			1日最大値および最小値を測定
	濁度	一般管理項目にて測定			1日95%頻度値を測定
	電気伝導度(EC)	○			1日平均値および最大値を測定
	塩化物イオン(Cl ⁻)*		○	○	ECと相関がある場合は測定不要
	大腸菌	一般管理項目にて測定			

* 塩化物イオンは、当該処理場において、電気伝導度との相関が取れる場合は、測定を不要とできる。

表5-12 水質測定箇所および頻度(農業用水)

	水質管理項目	本システム測定箇所		
		原水	UF膜ろ過水	再生水
畑作	水素イオン濃度(pH)	一般管理項目にて測定		
	濁度	一般管理項目にて測定		
	電気伝導度(EC)	—	—	●
	塩化物イオン(Cl ⁻)*	—	—	◇
	大腸菌	一般管理項目にて測定		

●:連続管理(週1回、当該週の1日最小・最大・平均を整理(巡回点検時))

◎:日常試験(週1回(巡回点検時))

◇:精密試験(月2回(水質管理値を満足する場合:年2回))

* 塩化物イオンは、当該処理場において、電気伝導度との相関が取れる場合は、測定を不要とできる。

表 5-13 水質管理値(農業用水)

水質項目	農業利用	備考	参考値	
			放流水質基準 (下水道法)	一律排水基準 (水質汚濁防止法)
水素イオン濃度(pH)	栽培する農作物の特性を考慮して設定する。		5.8 以上 8.6 以下	海域以外への排出 5.8 以上 8.6 以下 海域への排出 5.0 以上 9.0 以下
濁度	一般管理項目の基準による	0.2 度以下	—	—
電気伝導度(EC)※	塩化物イオンとの相関性を考慮して設定する。		—	—
塩化物イオン(Cl⁻)※	栽培する農作物により適用する管理値を設定できる ¹⁶⁾ 。 敏感 月平均 250mg/l 以下 最大値 280mg/l 以下 中程度に敏感 月平均 400mg/l 以下 最大値 440mg/l 以下 中程度に耐性あり 月平均 1000mg/l 以下 最大値 1100mg/l 以下 耐性あり 月平均 1400mg/l 以下 最大値 1500mg/l 以下	本基準は推奨値であり、栽培する農作物の種類や栽培場所の特性等により別途に管理値を設定できる。	—	—
大腸菌	一般管理項目の基準による	検出なし	—	—

※ 塩化物イオンは、当該処理場において、電気伝導度との相関が取れる場合は、測定を不要とする。なお、その場合において、電気伝導度の基準値は、塩化物イオンの基準値から相関を用いて電気伝導度に換算したものについても基準値とする。

(3) その他の利用用途の管理項目

その他の利用用途としては、水洗用水、散水用水、修景用水、親水用水がある。

これらの利用用途における水質管理項目、測定箇所および管理値を、それぞれ表 5-14、表 5-15 および表 5-16 に示す。

表 5-14 水質管理項目(その他の用途)

水質管理項目	本システム測定頻度			備考
	連続測定	日常試験	精密試験	
大腸菌	一般管理項目にて測定			
濁度	一般管理項目にて測定			1日最大値を測定
水素イオン濃度(pH)	一般管理項目にて測定			1日最大値および平均値を測定
色度		○※1		
外観	一般管理項目にて測定			
臭気	一般管理項目にて測定			
残留塩素		○※2		

※1 水洗用水・散水用水は、色度の測定を実施しない。

※2 修景用水は、人間が触れることが前提としないため、残留塩素の測定を実施しない。

表 5-15 水質測定箇所および頻度(その他の用途)

水質管理項目	本システム測定箇所			責任分界点※3
	原水	UF 膜ろ過水	再生水	
大腸菌	一般管理項目にて測定			—
濁度	一般管理項目にて測定			—
水素イオン濃度(pH)	一般管理項目にて測定			—
色度	—	—	○※1	—
外観	一般管理項目にて測定			—
臭気	一般管理項目にて測定			—
残留塩素	—	—	—	○※2

●:連続管理

○:日常試験(週1回(巡回点検時))

◇:精密試験(月2回(管理値を満足する場合:年2回))

※1 水洗用水・散水用水は、色度の測定を実施しない。

※2 修景用水は、人間が触れることが前提としないため、残留塩素の測定を実施しない。

※3 責任分界点は、再生水処理施設の管理者と、再生水の利用者との責任分界点を言い、その位置は両者の協議により定めるものとする。

表 5-16 水質管理(その他の用途)⁽²⁾

	基準適用箇所	水洗用水	散水用	修景用水	親水用
大腸菌		不検出 ¹⁾	不検出 ¹⁾	参考参照 ¹⁾	不検出 ¹⁾
濁度		(管理目標値) 2度以下	(管理目標値) 2度以下	(管理目標値) 2度以下	2度以下
pH	再生処理施設出口	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6
外観		不快でないこと ²⁾	不快でないこと ²⁾	不快でないこと ²⁾	不快でないこと ²⁾
色度		— ²⁾	— ²⁾	40度以下 ²⁾	10度以下 ²⁾
臭気		不快でないこと ³⁾	不快でないこと ³⁾	不快でないこと ³⁾	不快でないこと ³⁾
残留塩素	責任分界点	(管理目標値) 遊離残留塩素 0.1mg/L 又は結合残留塩素 0.4mg/L以上 ⁴⁾	(管理目標値 ⁴⁾ 遊離残留塩素 0.1mg/L 又は結合残留塩素 0.4mg/L以上 ⁴⁾	参考参照 ⁴⁾	(管理目標値 ⁴⁾ 遊離残留塩素 0.1mg/L 又は結合残留塩素 0.4mg/L以上 ⁴⁾
施設基準		砂ろ過施設又は同等以上の機能を有する施設 を設けること	砂ろ過施設又は同等以上の機能を有する施設 を設けること	砂ろ過施設又は同等以上の機能を有する施設 を設けること	凝集沈殿+砂ろ過施設又は同等以上の機能 を有する施設を設けること
備考		1) 検水量は100mLとする(特定酵素基質培 地法)	1) 検水量は100mLとする(特定酵素基質培 地法)	1) 検水量は100mLとする(特定酵素基質培 地法)	1) 検水量は100mLとする(特定酵素基質培 地法)
		2) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて 基準値を設定	2) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて上 乗せ基準値を設定	2) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて上 乗せ基準値を設定	2) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて上 乗せ基準値を設定
		3) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて 臭気強度を設定	3) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて臭 気強度を設定	3) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて臭 気強度を設定	3) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて臭 気強度を設定
		4) 供給先で追加塩素注入を行う場合は個 別の協定等に基づくこととしても良い、 良い、	4) 消毒の残留効果が特に必要な場合には 適用しない、 5) 供給先で追加塩素注入を行う場合には個 別の協定等に基づくこととしても良い、 良い、	4) 生態系保全の観点から塩素消毒以外の処理 を行う場合があること及び人間が触れるこ とを前提とした利用であるため規定しない を前提とした利用であるため規定しない	4) 消毒の残留効果が特に必要な場合は個 別の協定等に基づくこととしても良い、 良い、 5) 供給先で追加塩素注入を行う場合には個 別の協定等に基づくこととしても良い、 良い、

§ 53 導入効果を高める管理の要点

(1) UF 膜の運転本数の調整

再生水の需要量に応じて膜ユニット単位での膜モジュール運転本数を調整することにより、UF 膜モジュールの寿命延長を考慮した運転を行うことができる。

(2) UF 膜の逆洗頻度の調整

UF 膜の逆洗頻度を調整することにより、逆洗に係る維持管理コストを低減させることができる。

(3) UV ランプの運転本数の調整

UV 照射量に余裕がある場合には、UV ランプユニット単位でのランプ運転本数を調整することにより、UV ランプ寿命の延長を考慮した運転を行うことができる。

【解説】

(1) UF 膜の運転本数の調整

再生水の需要量が少なく、処理水量が少なくすることができる場合には、膜ユニット単位での運転を停止できる場合がある。これにより、UF 膜モジュールの稼動時間を少なくでき、UF 膜モジュールの寿命を延伸できることが期待され、UF 膜モジュール交換に係る維持管理コストを低減し、導入効果を高めることができる。

ただし、長期間、UF 膜モジュールを使用しない場合は、再稼働時に UF 膜の処理性能が低下する恐れがあることから、停止ユニットは 1 日単位で変更するなど、運転サイクルを考慮することが重要である。

(2) UF 膜の逆洗頻度の調整

UF 膜の逆洗頻度は「§ 48 UF 膜の洗浄」において標準的な値を示している。ただし、UF 膜の逆洗は頻繁に実施するため、維持管理コストへの影響も大きいものとなる。

しかしながら、UF 膜の逆洗間隔を長くすると、UF 膜の目詰まり(ファウリング)の発生が進行し、薬液(浸漬)洗浄の回数が多くなることや、UF 膜への供給圧が高くなることで膜破断等による UF 膜モジュールの寿命も短くなることが考えられる。

UF 膜の逆洗頻度については、長期的な UF 膜の目詰まり(ファウリング)の進行について評価を行い、総合的なコストの低減効果を考慮したうえで、適切な設定とすることが重要である。

(3) UV ランプ運転本数の調整

「§ 41 UV 消毒装置の設計」において示したとおり、処理水量が少ないことで UV 消毒水路の滞留時間(照射時間)が長くなる、もしくは UF 膜ろ過水の UV 透過率が高くなると、同じ UV ランプ出力であっても、UV 照射量に余裕が生じるものとなる。そのため、設計条件より処理水量が少ない、もしくは UV 透過率が高い場合においては、設計 UV 照射量を得るために UV ランプ出力を下げることができる。

滞留時間や UV 透過率に応じた UV ランプ出力の制御は「§ 46 UV 消毒装置の監視制御システム」において UV 自動調光制御として示しており、これにより、通常時の運転では、UV ランプ出力は定格値より低い出力での運転が可能であり、消費電力の低減を図ることができる。

さらに、再生水の供給先の水需要量が少ない時期や、既設処理場での処理状況により原水水質が良好となることで UV 透過率が向上した場合には、UV ランプユニット単位での運転を停止しても、必要な UV 消毒効果が得られる場合がある。これにより、UV ランプの稼動時間が少なくなり、UV ランプの寿命を延伸できることが期待され、ランプ交換に係る維持管理コストを低減し、導入効果を高めることができる。

したがって、再生水の供給先の水需要量や、原水水質の状況を把握し、適切な UV ランプの運転本数を調整し、ランプ寿命を長くさせることが導入効果を高めるために重要である。

第2節 保守点検

§ 54 保守点検

(1) 巡回監視点検の頻度

巡回監視点検の頻度は、1週間に1回を標準とする。

(2) UF 膜モジュールの交換

UF 膜の破断を検知した場合には、UF 膜モジュールの交換を検討する。

(3) UV ランプの交換

巡回監視点検時に UV 強度が不足する場合には、UV ランプの交換を検討する。

(4) 保守オーバーホールの頻度

保守オーバーホールは、各機器の耐用年数等を考慮して設定する。

【解説】

(1) 巡回監視点検の頻度

巡回監視点検は、1週間に1回を標準とする。

ただし、巡回監視点検の人員の確保の状況等によっては、頻度を変えることも検討することが重要である。なお、巡回監視点検頻度を変える場合には、薬液の貯留日数および貯留容量を変える必要があるため、注意が必要である。

(2) UF 膜モジュールの交換

UF 膜の膜破断を検知した場合(「§ 50 UF 膜の膜破断検知」参照)は、ウイルス除去性能に大きな影響を与えるため、UF 膜の一部閉塞による補修処置や、UF 膜モジュールの交換など必要な対応を実施する。

(3) UV ランプの交換

巡回監視において、UV ランプの点灯状態により照射強度が必要強度(「§ 41 UV 消毒装置の設計」参照)に対して不足している場合には、ウイルス除去性能に大きな影響を与えるため、ランプの交換など必要な対応を実施する。

(4) 保守オーバーホールの頻度

保守オーバーホールの頻度は、各機器の耐用年数等をもとに、適正なストックマネジメント検討を行うことにより設定することが重要である。

第3節 緊急時の対応

§ 55 緊急時の対応

運転管理において異常が発生した場合には、バックアップ制御および必要に応じて処理施設の緊急停止を行うものとする。

(1) バックアップ制御

異常を検知した場合には、即時にバックアップ制御への切り替えを行うものとする。

(2) 緊急停止

バックアップ制御を実施した場合においても、異常状態が解消しない場合には、処理施設を緊急停止するものとする。

(3) 塩素注入

処理施設の停止を行った場合には、安全性の確保のため塩素注入を行うものとする。

【解説】

「§ 49 安定的処理状況の連続的な確認方法」および「§ 51 運転管理項目」において異常を検知した場合には、バックアップ制御に切り替えを行うものとする。

また、バックアップ制御を実施した場合においても、異常状態が解消しない場合には、処理施設を緊急停止するものとする。

(1) バックアップ制御

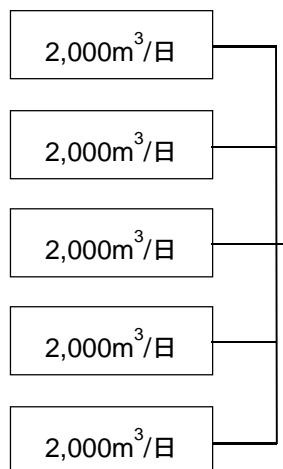
異常発生を考慮した本システムの基本構成と、異常を検知した場合のバックアップ制御は表 5-17 に示す考え方を基本とする。

表 5-17 基本構成とバックアップ制御

対象技術	基本構成	バックアップ制御(図 5-4、図 5-5 参照)
UF 膜ろ過装置	運転フラックスの変更により、ある程度の処理量の変動に耐えられるため、完全予備系列は設けず、1 系列が故障等で運転不可となった場合は、他の系列の処理水量(フラックス)を上げて対応する。	故障発生時には当該の系列を停止させ、他の系列で処理量を確保する。 例) 通常: $2,000\text{m}^3/\text{日} \times 5 \text{ 系列} = 10,000\text{m}^3/\text{日}$ 故障時: $2,500\text{m}^3/\text{日} \times 4 \text{ 系列} = 10,000\text{m}^3/\text{日}$
UV 消毒装置	再生水の安全性を担保するためには、一定の UV 照射量を与える必要があるため、故障発生時の性能確保を目的に完全予備のユニットを 1 つ設ける。 (運転は 2 ユニット、予備が 1 ユニットで計 3 ユニット)	故障発生時には当該のユニットを停止させ、予備ユニットへの切り替えを行う。 例) 通常: 「ユニット 1」+「ユニット 2」運転 （「ユニット 3」は通常時停止中） ユニット 2 の故障時: 「ユニット 1」+「ユニット 3」運転

	※1 系列 1 ユニットの場合は、ユニット内に予備モジュールを設け、この表のユニットの表記は、モジュールと読み替える。	
--	---	--

通常時



故障時

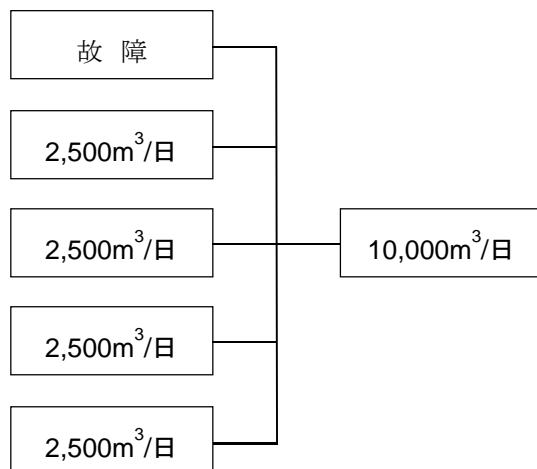
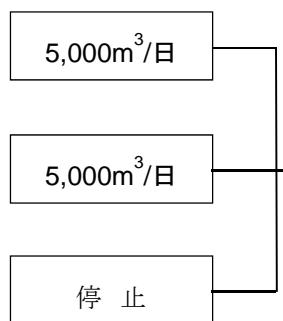
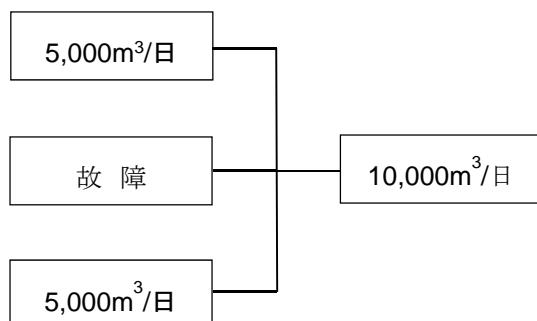


図 5-4 UF 膜ろ過装置のバックアップ制御(系列毎の処理量を変更して対応)

通常時



故障時



2 ユニットで所定の照射量確保

2 ユニットで所定の照射量確保

図 5-5 UV 消毒装置のバックアップ制御(予備ユニットへの切り替えで対応)

(2)緊急停止

異常を検知した施設に予備がない場合や、バックアップ制御に切り替えを行った場合でも、異常状態が解消しない場合には、緊急停止の措置を実施するものとする。

(3)塩素注入

処理施設の停止を行った場合には、生成した再生水の消毒処理が不十分である可能性が高い。そのため、安全性の確保のために、再生水槽において塩素注入を行うものとする。

塩素注入量は、再生水の利用先において 24 時間貯留した場合でも残留塩素が 0.1mg/l程度となるように考慮することが望ましい。

緊急時の塩素注入は、本システムの標準である UF 膜処理装置洗浄用の塩素を利用するか、緊急対応用に新たに調達した塩素を利用する方法がある。UF 膜処理装置洗浄用の塩素を利用する場合、次亜注入ポンプから再生水槽へ塩素を注入できるバイパス配管を設けておくことが望ましい。

参考文献

- 1) 月刊土木技術資料に掲載された土木用語の解説(http://www.pwrc.or.jp/yougo_g/nabc.php)、一般財団法人土木研究センター
- 2) 下水処理水の再利用水質基準等マニュアル、国土交通省都市・地域整備局下水道部、国土交通省国土技術政策総合研究所、平成 17 年 4 月
- 3) 大阪府立大学植物工場研究センター栽培技術者育成支援研修資料、一般社団法人日本施設園芸協会、2015
- 4) 下水道施設計画・設計指針と解説、日本下水道協会、2009 版
- 5) Regulations Related to Recycled Water June 18(TITLE 22 CODE OF REGULATIONS)、California Department of Public Health、2014(Revisions effective on 6/18/14)
- 6) バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル、国土交通省都市・地域整備局、(社)日本下水道協会、平成 16 年 3 月
- 7) 地球温暖化対策課ウェブサイト「電気事業者別の CO₂ 排出係数」代替値、環境省地球環境局、平成 27 年度実績(http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/h29_coefficient.pdf)
- 8) 下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き、下水道における地球温暖化防止推進計画策定委員会、平成 21 年 3 月
- 9) 化学関連産業分野における CO₂ 対策技術評価法の調査、NEDO、1992.3
- 10) LCA 実務入門、社団法人産業環境管理協会、1998
- 11) 21 世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価に関する調査研究報告書、土木研究所資料第 4313 号、平成 28 年 1 月
- 12) 下水道における LCA 適用の考え方、国土技術政策総合研究所資料第 579 号、平成 22 年 2 月
- 13) 再生水利用学、浅野 孝、Harold L. Leverenz 、土橋 隆二郎、George Tchobanoglous、Franklin L. Burton、技報堂出版、2010
- 14) Water quality for agriculture、FAO irrigation and drainage paper 29 Rev.1. Food and Agriculture Organization of the United Nation、Rome、Italy、FAO、1985
- 15) 沖縄県における都市下水道処理水の畑地灌漑利用マニュアル、沖縄県農林水産部南部農林土木事務所、平成 29 年 3 月
- 16) ISO16075 Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects、ISO、2015 年 8 月 15 日
- 17) 水耕栽培における水耕栽培におけるクロラミンにより発生するサラダナの根部褐変、伊達修一・寺林敏・松井浩平・並木隆和・藤目幸擴、園学雑 71(4) PP485 – 489、2002
- 18) Water quality for agriculture、FAO irrigation and drainage paper 29 Rev.1. Food and Agriculture Organization of the United Nation、Rome、Italy、FAO、1985
- 19) 下水道におけるウイルス対策に関する調査委員会報告書、平成 22 年 3 月、下水道におけるウイルス対策に関する調査委員会
- 20) Ultra Violet Disinfection Guidance Manual For the Final Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule、米国環境保護庁(U.S. EPA)、2006

-
- 21) 紫外線消毒装置技術マニュアル、(財)下水道新技術推進機構(現:(公財)日本下水道新技術機構、2006年3月
 - 22) 農業(水稻)用水基準、農林水産技術会議、昭和46年10月4日

資料編

1 . 実証施設およびパイロットプラント実験結果	134
1. 1. 実証施設の実験結果.....	134
1. 2. パイロットプラントの実験結果	151
1. 3. ウィルス分析試験結果	155
1. 4. 膜破断検知方法に関する検証	165
1. 5. UV 消毒のウィルス除去効果の検証.....	170
2 . 容量計算およびコスト試算ケーススタディ	176
2. 1. 容量計算例	177
2. 2. 維持管理費計算例	185
2. 3. GHG 排出量計算例.....	189
2. 4. 建設費・維持管理費および設置面積のまとめ	191
3 . ウィルス感染リスク	193
3. 1. ウィルス感染リスクの評価指標	193
3. 2. ウィルス感染リスク (DALY _{pppy}) の算定方法	194
3. 3. ウィルス濃度の推定.....	196
3. 4. ウィルス感染リスク (DALY _{pppy}) の評価.....	199
参考文献	200
4 . ウィルス分析方法	201
4. 1. PCR (Polymerase Chain Reaction (ポリメラーゼ連鎖反応)) 法	201
4. 2. 培養法 (Cell Culture 法)	203
4. 3. Integrated Cell Culture-PCR 法 (ICC-PCR 法)	204
参考文献	204
5 . UF 膜の薬液(浸漬)洗浄方法.....	207
5. 1. 薬液 (浸漬) 洗浄の実施頻度	207
5. 2. 薬液 (浸漬) 洗浄の実施方法	207
6 . UF 膜の圧力減衰試験要領	210
6. 1. UF 膜モジュールのユニット構成.....	210
6. 2. 圧力減衰試験の手順.....	210
6. 3. 膜破断の判断基準	211
6. 4. 圧力減衰試験の実施頻度	211
6. 5. 異常モジュールの特定方法.....	212
6. 6. 圧力減衰試験の自動化	212

7 . 高感度濁度計清掃方法	214
7. 1. 高感度濁度計の構造	214
7. 2. 高感度濁度計内のスケール発生	214
7. 3. 高感度濁度計内の清掃頻度	215
7. 4. 高感度濁度計の点検および清掃の手順	216
8 . 紫外線消毒装置の UV 照射量に関する性能評価における P-CFD 適用可能性	219
8. 1. P-CFD による紫外線照射量の評価の概要	219
8. 2. P-CFD を利用した性能評価の例	221
8. 3. 実証研究における P-CFD 解析結果	222
8. 4. P-CFD の有用性と今後の標準化に向けた検討事項	225
9 . 農業利用リスクコミュニケーション	227
9. 1. 本システムの導入検討時におけるコミュニケーション	227
9. 2. 農業利用開始時におけるコミュニケーション	232
9. 3. 農業利用運用時におけるコミュニケーション	246
参考文献	247
10 . 農業利用を前提とした導入効果試算例	248
10. 1. 導入効果のシナリオ	248
10. 2. 試算条件	248
10. 3. 導入効果の検討	254
11 . 問い合わせ先	265

1. 実証施設およびパイロットプラント実験結果

1. 1. 実証施設の実験結果

1. 1. 1. 実証施設の運転条件

(1) UF膜処理の運転条件

UF 膜処理での運転条件は以下のとおりとする。

表 1-1 UF 膜処理での運転条件

項目	運転条件	備考
処理水量	1,000m ³ /日	システム全体での処理量
フラックス	1.0m/日	
洗浄	自動逆洗	ろ過水+空気
	自動薬液洗浄	上記+次亜塩素酸 Na

(2) UV 消毒装置の運転条件

UV 処理での運転条件は以下のとおりとした。

表 1-2 UV 処理での運転条件

項目	運転条件値	備考
ランプ出力	60~100%*	自動調光制御
ランプ本数	8 本/ユニット× 2 ユニット	計 16 本
ランプ洗浄頻度	1 回/24 時間	

*UV 装置は原水の質・量(処理水量、紫外線透過率)の変動に対し、ランプ出力を可変制御できるものを探用。

*ランプ出力はウィルス等の水質試験時は試験条件に合わせて調整した。試験時以外は出力固定(100%、80%等)で運転した。

1. 1. 2. 実証施設の採水地点

各採水地点での採水方法を以下に示す。各採水地点はエラー! 参照元が見つかりません。の①～⑤に示す。

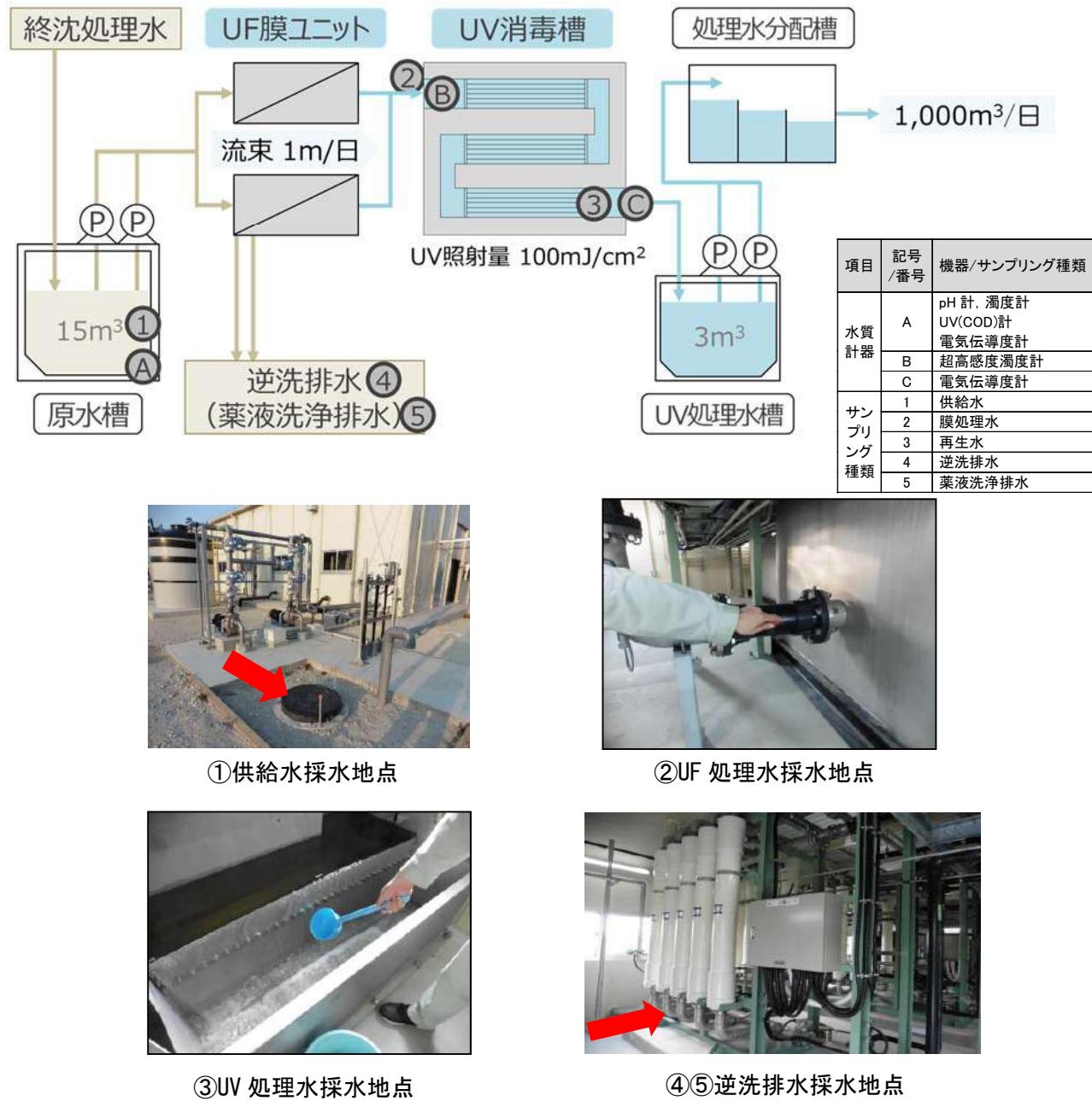


図 1-1 実証施設フロー

1. 1. 3. 日常試験の結果

日常試験における供給水、膜処理水及び再生水(UV処理水)の水質試験分析結果を以下に示す。

表 1-3(1) 原水の水質分析結果(日常試験)

項目	単位	原水										2017		
		2/18	2/23	2/24	2/29	8/25	9/14	10/19	11/22	12/13	1/24	2/21	3/7	
臭気	—					下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭
pH	—	6.8	7.3	7.2	7.4	7.3	7.0	6.9	6.9	7.0	7.1	6.8	6.8	7.0
水温	℃					23.0	22.1	24.2	19.8	23.1	21.3	21.5	21.5	25.4
BOD	mg/L	23.0	10.0	12.0										
CODMn	mg/L	16.0	15.0	14.5	13.0	14.2	13.9	16.0	15.8	19.0	14.8	15.4	15.4	14.7
TOC	mg/L	8.9	7.0	6.6	6.0	5.9	6.1	6.4	7.5	9.6	6.6	6.9	6.9	6.5
溶存TOC	mg/L	8.0	7.0	5.9	5.0									
浮遊性物質(SS)	mg/L	5	4	2	1	2	1	2	6	4	13	2	7	3
濁度	度(カオリソ)	3.0	5.0	4.4	2.0	1.8	1.9	7.4	6.6	16.0	3.1	7.3	7.3	4.7
DO	mg/L					2.0	2.3	2.1	1.9	1.7	1.9	2.6	2.6	2.0
大腸菌群数(DGESO)	個/ml	1,600	460	649	1,200	11,000	15,000	17,000	7,200	1,100	2,600	30,000	33,000	
大腸菌	MPN/100ml			検出	検出	220,000	250,000	260,000	160,000	88,000	140,000	180,000	140,000	
色度	度	32	33	28	17	16	18	15	15	15	16	17	17	15
全窒素	mg/L	14.7	17.9	22.1	19.9	13.8	12.5	14.7	19.4	16.2	17.7	17.1	17.1	16.6
アンモニア性窒素	mg/L	5.5	11.1	13.6	11.1									
亜硝酸性窒素	mg/L	2.2	1.4	1.5	1.9									
硝酸性窒素	mg/L	6.3	2.5	2.9	4.1									
全りん	mg/L	0.360	0.400	0.376	0.230	0.192	0.227	0.425	0.535	1.120	0.159	0.383	0.308	
りん酸イオン態りん	mg/L	0.130	0.080	0.089	0.060									
Na	mg/L					99.6	111	119	98.5	122	103	109	108.0	
K	mg/L					14.5	14.3	15.4	13.6	12.7	12.2	13.6	13.6	13.7
Ca	mg/L					19.3	22.9	21.0	19.9	20.0	17.3	17.9	17.9	20.0
Mg	mg/L					10.3	11.5	11.7	9.3	11.2	8.4	9.1	9.1	9.6
SAR						6.4	6.7	7.3	6.5	7.7	7.2	7.4	7.4	7.0
C1-	mg/L					152	170	171	129	88.1	149	141	141	146
電気伝導度	mS/cm					0.848	0.858	0.869	0.791	0.904	0.793	0.751	0.751	0.824

表 1-3(2) 膜ろ過水の水質分析結果(日常試験)(2015 年度実施)

項目	単位	UF膜ろ過水						UF膜ろ過水		
		2016			2017			1/24	1/21	2/21
臭気	-	2/18	2/23	2/24	2/29	8/25	9/14	10/19	11/22	12/13
pH	-	6.9	6.9	7.0	7.2					
水温	℃									
BOD	mg/L	<1		<1		<1				
CODMn	mg/L	10.0	11.0	10.0	11.0					
TOC	mg/L	6.5	6.0	5.0	5.0					
溶存TOC	mg/L	6.4	5.0	5.0	3.0					
浮遊性物質(SS)	mg/L		<1	<1	<1					
濁度	度(カオリソ)	<0.1		<0.1	<0.1					
DO	mg/L									
大腸菌群数(DFSO)	個/ml	不検出	不検出	不検出	不検出					
大腸菌	MPN/100mL	<1	<1	<1	<1					
色度	度	24	28	28	28					
全窒素	mg/L	14.6	18.1	18.5	17.8					
アンモニア性窒素	mg/L	6.2	10.8	10.1	7.4					
亜硝酸性窒素	mg/L	2.1	2.0	2.2	2.4					
硝酸性窒素	mg/L	5.5	3.8	4.4	5.5					
全りん	mg/L	0.130	0.140	0.110	0.120					
りん酸イオン態りん	mg/L	0.130	0.070	0.050	0.060					
Na	mg/L									
K	mg/L									
Ca	mg/L									
Mg	mg/L									
SAR	SAR									
C1-	mg/L									
電気伝導度	mS/cm									

表 1-3(3) 再生水の水質分析結果(日常試験)

項目	単位	2016						2017					
		2/18	2/23	2/24	2/29	8/25	9/14	10/19	11/22	12/13	1/24	2/21	3/7
臭気	—	—	—	—	—	下水臭							
pH	—	6.9	7.0	7.3	7.4	7.1	7.0	6.9	7.1	7.0	7.2	6.9	7.0
水温	℃	—	—	—	—	22.3	22.1	24.2	20.8	23.2	21.1	22.0	25.4
BOD	mg/L	0.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
COMn	mg/L	10.0	10.0	10.4	10.0	9.9	10.7	10.1	10.2	9.7	10.9	10.9	8.5
TOC	mg/L	5.5	6.0	6.0	5.0	4.9	4.9	5.1	6.0	5.8	6.1	5.3	5.1
溶存TOC	mg/L	5.3	5.0	5.5	4.0	—	—	—	—	—	—	—	—
浮遊性物質(SS)	mg/L	—	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
濁度(カオリシ)	度(カオリシ)	<0.1	—	<0.1	<0.1	0.2	0.2	<0.1	0.2	<0.1	0.1	<0.1	<0.1
DO	mg/L	—	—	—	—	2.5	2.3	2.6	2.5	3.1	3.4	3.5	3.3
大腸菌群数(DESO)	個/ml	<50	<50	<50	<50	不検出							
大腸菌	MPN/100mL	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
色度	度	24	28	32	28	14	12	10	13	13	9	13	12
全窒素	mg/L	14.3	20.5	21.2	18.4	13.0	11.4	13.3	19.4	14.3	16.0	15.8	16.1
アシモニア性窒素	mg/L	5.3	11.3	14.0	10.9	—	—	—	—	—	—	—	—
亜硝酸性窒素	mg/L	2.2	1.5	1.7	1.9	—	—	—	—	—	—	—	—
硝酸性窒素	mg/L	5.8	2.2	2.6	3.9	—	—	—	—	—	—	—	—
全りん	mg/L	0.120	0.140	0.110	0.081	0.096	0.078	0.125	0.054	0.067	0.082	0.104	—
りん酸イオン態りん	mg/L	0.130	0.080	0.149	0.060	—	—	—	—	—	—	—	—
Na	mg/L	—	—	—	—	104	116	123	97.8	112	106	113	107
K	mg/L	—	—	—	—	15.5	13.9	15.3	12.8	12.9	12.6	14.1	13.4
Ca	mg/L	—	—	—	—	19.0	22.7	20.9	19.9	19.7	18.0	17.8	20.4
Mg	mg/L	—	—	—	—	10.3	11.6	11.6	9.2	11.0	9.0	9.1	9.5
SAR	SAR	—	—	—	—	6.8	7.0	7.6	6.4	7.1	7.2	7.7	6.9
C1-	mg/L	—	—	—	—	152	154	168	132	88.2	150	142	146
電気伝導度	mS/cm	—	—	—	—	0.843	0.847	0.877	0.793	0.909	0.811	0.768	0.824

日常試験の主な水質分析結果を下図に示す。

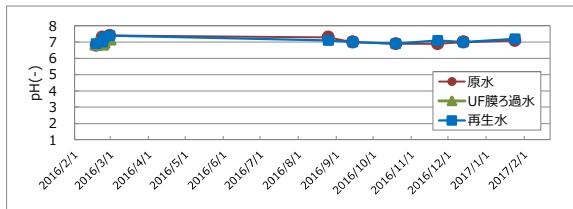


図 1-2(1) pH

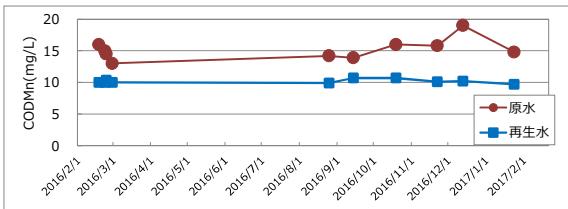
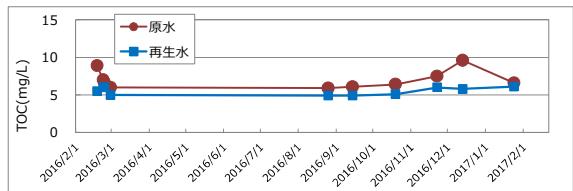
図 1-2(2) COD_{Mn}

図 1-2(3) TOC

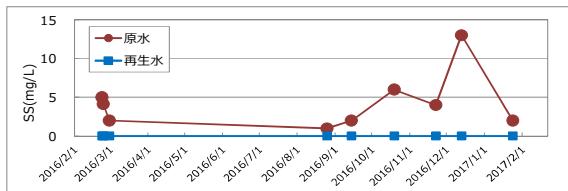


図 1-2(4) 浮遊物質(SS)

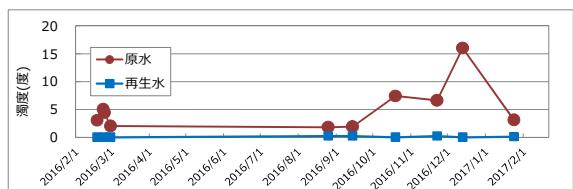


図 1-2(5) 濁度



図 1-2(6) 大腸菌群数

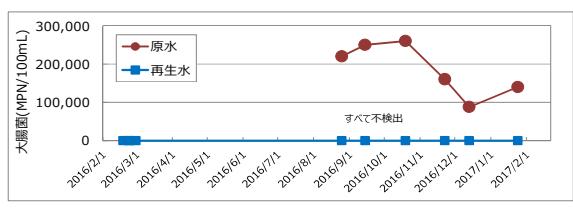


図 1-2(7) 大腸菌

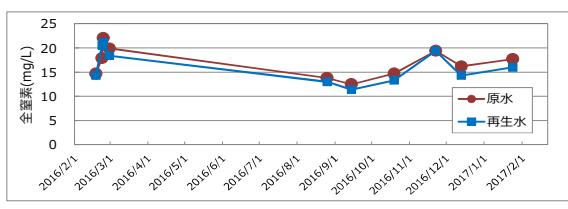


図 1-2(8) 全窒素

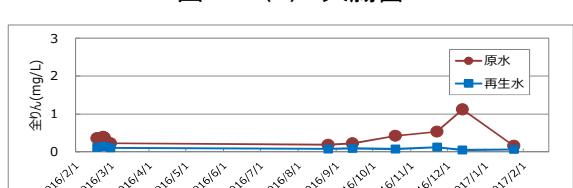


図 1-2(9) 全りん

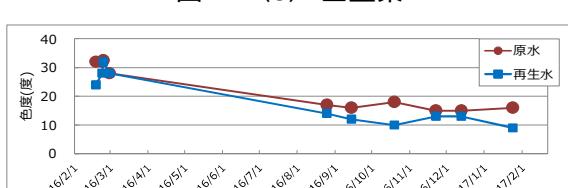


図 1-2(10) 色度

1. 1. 4. 精密試験の結果

2015年度には2016/2/23の1回、2016年度には夏季(2016/9/28)、冬季(2016/12/6)の2回採水し、精密試験を行った。

(1) 2015年度の精密試験の結果

2015年度の精密試験では、採水対象は以下の2つとした。

- 原水(二次処理水)
- 再生水

精密試験における水質試験分析結果を以下に示す。

表 1-4 2015年度の精密試験の水質分析結果

項目	単位	原水	再生水	水質環境基準値	
カドミウム	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.003	以下
全シアン	mg/L	0.1 未満	0.1 未満	不検出	
鉛	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.01	以下
六価クロム	mg/L	0.05 未満	0.05 未満	0.05	以下
砒素	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.01	以下
総水銀	mg/L	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005	以下
アルキル水銀	mg/L	不検出 (<0.0005mgL)	不検出 (<0.0005mgL)	不検出	
PCB	mg/L	0.0005 未満	0.0005 未満	不検出	
ジクロロメタン	mg/L	0.02 未満	0.02 未満	0.02	以下
四塩化炭素	mg/L	0.002 未満	0.002 未満	0.002	以下
1、2-ジクロロエタン	mg/L	0.004 未満	0.004 未満	0.004	以下
1、1-ジクロロエチレン	mg/L	0.02 未満	0.02 未満	0.1	以下
シス-1、2-ジクロロエチレン	mg/L	0.04 未満	0.04 未満	0.04	以下
1、1、1-トリクロロエタン	mg/L	0.3 未満	0.3 未満	1	以下
1、1、2-トリクロロエタン	mg/L	0.006 未満	0.006 未満	0.006	以下
トリクロロエチレン	mg/L	0.03 未満	0.03 未満	0.01	以下
テトラクロロエチレン	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.01	以下
1、3-ジクロロプロペン	mg/L	0.002 未満	0.002 未満	0.002	以下
チウラム	mg/L	0.0006 未満	0.0006 未満	0.006	以下
シマジン	mg/L	0.0003 未満	0.0003 未満	0.003	以下
チオベンカルブ	mg/L	0.002 未満	0.002 未満	0.02	以下
ベンゼン	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.01	以下

項目	単位	原水	再生水	水質環境基準値	
セレン	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.01	以下
硝酸性窒素および亜硝酸性窒素	mg/L	3.9	3.7	10	以下
ふつ素	mg/L	0.17 未満	0.17 未満	0.8	以下
ほう素	mg/L	0.12	0.12	1	以下
1、4-ジオキサン	mg/L	0.05 未満	0.05 未満	0.05	以下
有機りん化合物	mg/L	0.1 未満	0.1 未満		
全硬度	mg/L	99	98		
塩化物イオン	mg/L	190	180		
カルシウム	mg/L	22	20		
ナトリウム	mg/L	160	140		
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	mg/L	8.6	7.9		

(2) 2016年度の精密試験の結果

2016年度の精密試験では、採水対象は以下の5つとした。

- 原水
- UF 膜ろ過水
- 再生水
- 表流水（農業利用における再生水との対照として測定）
- 逆洗排水

精密試験における水質試験分析結果を以下に示す。

表 1-5(1) 2016 年度の精密試験の水質分析結果(原水)

原水			
項目	単位	夏季	冬季
臭気	-	下水臭	下水臭
pH	-	7.0	6.8
CODMn	mg/L	12.4	16.6
浮遊性物質(SS)	mg/L	1.0	9
濁度	度(カオリソ)	2.4	13
D0	mg/L	2.0	2.4
大腸菌群数(DESO)	個/ml	16,000	26000
大腸菌	MPN/100mL	110,000	200000
色度	度	14	10
全窒素	mg/L	10.7	14.8
全燐	mg/L	0.205	0.907
Na	mg/L	104	95.5
K	mg/L	12.9	13.7
Ca	mg/L	20.9	20.4
Mg	mg/L	10.0	11.4
SAR	SAR	6.6	5.9
Cl-	mg/L	152	152
TOC	mg/L	5.8	8.3
電気伝導度	mS/cm	0.749	0.798
ウイルス (ICC-PCR)	-Log	3	/

表 1-5(2) 2016 年度の精密試験の水質分析結果(UF 膜ろ過水)

UF膜ろ過水			
項目	単位	夏季	冬季
臭気	-	下水臭	下水臭
pH	-	7.0	6.7
CODMn	mg/L	8.8	11.1
浮遊性物質(SS)	mg/L	<1	<1
濁度	度(カオリン)	0.1	0.1
DO	mg/L	1.9	2.7
大腸菌群数(DESO)	個/ml	不検出	不検出
大腸菌	MPN/100mL	<1	<1
色度	度	11	13
全窒素	mg/L	10.9	12.4
全燐	mg/L	0.087	0.071
Na	mg/L	100	113
K	mg/L	12.9	12.9
Ca	mg/L	20.8	20.3
Mg	mg/L	10.0	12.2
SAR	SAR	6.4	6.9
Cl-	mg/L	151	151
TOC	mg/L	4.8	5.3
電気伝導度	mS/cm	0.747	0.799
ウイルス (ICC-PCR)	-Log	-0.4	/

表 1-5(3) 2016 年度の精密試験の水質分析結果(再生水)

再生水			
項目	単位	夏季	冬季
臭気	-	下水臭	下水臭
pH	-	7.0	6.9
CODMn	mg/L	8.9	10.3
浮遊性物質(SS)	mg/L	<1	<1
濁度	度(カオリソ)	0.1	0.1
DO	mg/L	3.5	3
大腸菌群数(DESO)	個/mL	不検出	不検出
大腸菌	MPN/100mL	<1	<1
色度	度	11	13
全窒素	mg/L	10.3	12.7
全燐	mg/L	0.081	0.072
Na	mg/L	102	97.6
K	mg/L	13.2	16.1
Ca	mg/L	20.6	20.5
Mg	mg/L	9.99	12
SAR	SAR	6.5	6.0
Cl-	mg/L	153	149
TOC	mg/L	4.7	5.4
電気伝導度	mS/cm	0.751	0.801
ウイルス (ICC-PCR)	-Log	ND	/

表 1-5(4) 2016 年度の精密試験の水質分析結果(表流水)

表流水			
項目	単位	夏季	冬季
臭気	-	下水臭	下水臭
pH	-	7.9	7.9
CODMn	mg/L	10.3	6.9
浮遊性物質(SS)	mg/L	55	4
濁度	度(カオリン)	37.0	1.8
DO	mg/L	8.5	9.3
大腸菌群数(DESO)	個/ml	30,000	2600
大腸菌	MPN/100mL	25,000	11000
色度	度	46	13
全窒素	mg/L	4.22	4.18
全燐	mg/L	0.391	0.241
Na	mg/L	20.0	15.9
K	mg/L	402	7.97
Ca	mg/L	62.7	89.1
Mg	mg/L	19.1	27.3
SAR	SAR	0.8	0.5
Cl-	mg/L	24.5	29.7
TOC	mg/L	4.7	3.9
電気伝導度	mS/cm	0.526	0.738

※ 表流水とは、農作物の栽培試験を行っている農地において、通常時に農業用水として利用している水路を流れる水を採水したものという。

表 1-5(5) 2016 年度の精密試験の水質分析結果(逆洗排水)

逆洗水			
項目	単位	夏季	冬季
pH	pH	6.6	6.5
BOD	mg/L	24.4	46.7
浮遊性物質(SS)	mg/L	23	117
大腸菌群数(DESO)	個/ml	62,000	82,000
全窒素	mg/L	12.3	31.6
全燐	mg/L	0.643	13.7

表 1-6 再生水の精密試験結果(農作物への影響項目)

項目	単位	2017/1/24
チタン	mg/L	<0.1
タンクステン	mg/L	<0.1
レジオネラ属菌	CFU/100mL	<10
炭酸水素イオン	mg/L	73
ベリリウム	mg/L	<0.05
ニッケル	mg/L	<0.05
バナジウム	mg/L	<0.05
アルミニウム	mg/L	<0.05
モリブデン	mg/L	<0.05
コバルト	mg/L	<0.05
スズ	mg/L	<0.1
リチウム	mg/L	<0.05

1. 1. 5. 通日試験の結果

2016年2月23日～24日、9月28日～29日、12月5日～6日において、3時間ごとに計8回採水し、通日試験を行った。採水対象は以下の2つとする。

- 原水
- 再生水

(1) 2015年度の通日試験の結果

2015年度は、2016年2月23日13:00～24日10:00にかけて3時間ごとに計8回採水し、通日試験を行った。

表 1-7(1) 2015年度の通日試験結果(原水)

項目	単位	原水							
		H28/2/23				2/24			
		13:00	16:00	19:00	22:00	1:00	4:00	7:00	10:00
臭気	-	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭
水素イオン濃度 (pH)	-	7.1	7.1	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
水温	℃	21.9	22.5	22.4	22.4	22.5	22.3	22.4	22.6
生物化学的酸素要求量 (BOD)	mg/L	30	33	30	30	32			30
化学的酸素要求量 (CODMn)	mg/L	14	14	15	15	15	15	14	14
全有機炭素 (TOC)	mg/L	6	6	7	7	7	7	7	6
溶解性有機炭素 (DOC)	mg/L	5	5	6	5	7	7	6	6
浮遊物質量 (SS)	mg/L	3	3	4	5	5	5	4	4
濁度	度	3	3	4	4	6	5	5	5
大腸菌群数 (DESO)	個/cm ³	330	330	540	720	710	950	1200	410
大腸菌	MPN/100mL	検出	検出	検出	検出	検出	検出	検出	検出
色度	度	28	28	32	32	36	36	36	32
全窒素 (T-N)	mg/L	17.8	19.9	22.2	23.4	24.6	24.9	22.7	21.1
アンモニア性窒素 (NH4-N)	mg/L	9.8	11.5	13.1	15.4	17.1	16.1	14.3	11.6
亜硝酸性窒素 (NO2-N)	mg/L	1.8	1.8	1.7	1.3	1.1	1.2	1.5	1.9
硝酸性窒素 (NO3-N)	mg/L	3.7	3.9	3.4	2.2	1.5	2.0	2.5	3.9
全りん (T-P)	mg/L	0.31	0.37	0.35	0.41	0.44	0.41	0.37	0.35
りん酸態リン (PO4-P)	mg/L	0.10	0.10	0.08	0.08	0.09	0.08	0.10	0.08

表 1-7(2) 2015 年度の通日試験結果(再生水)

項目	単位	再生水								
		H28/2/23				2/24				
		13:00	16:00	19:00	22:00	1:00	4:00	7:00	10:00	
臭気	-	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	
水素イオン濃度 (pH)	-	7.2	7.1	7.2	7.3	7.4	7.3	7.3	7.3	
水温	℃	21.9	23.4	23.0	22.7	23.1	23.3	23.2	23.4	
生物化学的酸素要求量 (BOD)	mg/L	ND		ND		ND	ND			
化学的酸素要求量 (CODMn)	mg/L	10	10	10	10	11	10	10	12	
全有機炭素 (TOC)	mg/L	6	5	6	6	7	6	6	6	
溶解性有機炭素 (DOC)	mg/L	6	5	5	6	6	6	5	5	
浮遊物質量 (SS)	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
濁度	度	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
大腸菌群数 (DES0)	個/cm ³	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	
大腸菌	MPN/100mL	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	
色度	度	32	32	32	32	32	32	32	32	
全窒素 (T-N)	mg/L	17.7	18.6	22.1	23.1	22.2	22.8	21.2	21.6	
アンモニア性窒素 (NH4-N)	mg/L	10.3	10.9	13.9	16.2	16.5	16.7	14.9	12.4	
亜硝酸性窒素 (NO2-N)	mg/L	1.9	2.0	1.8	1.4	1.2	1.2	1.7	2.0	
硝酸性窒素 (NO3-N)	mg/L	3.2	3.5	3.0	2.0	1.4	1.5	2.4	3.5	
全りん (T-P)	mg/L	0.14	0.12	0.11	0.13	0.15	0.14	0.16	0.14	
りん酸態リン (PO4-P)	mg/L	0.07	0.06	0.05	0.07	0.08	0.07	0.09	0.07	

※ND : 検出下限以下

(2) 2016年度(夏季)の通日試験の結果

2016年度夏季は、2016年9月28日10:00～29日7:00にかけて3時間ごとに計8回採水し、通日試験を行った。

表 1-8(1) 2016年度(夏季)の通日試験結果(原水)

項目	単位	原水							
		H28/9/28					9/29		
		10:00	13:00	16:00	19:00	22:00	1:00	4:00	7:00
臭気	-	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭
水素イオン濃度 (pH)	-	7.0	7.0	6.8	6.8	6.8	6.8	6.7	6.7
水温	℃	21.9	22.5	22.4	22.4	22.5	22.3	22.4	22.6
化学的酸素要求量 (CODMn)	mg/L	12.4	10.4	10.5	12.0	14.0	12.6	12.6	12.8
全有機炭素 (TOC)	mg/L	5.8	5.3	5.4	5.5	5.9	5.9	4.9	5.8
浮遊物質量 (SS)	mg/L	1	1	1	1	1	1	1	1
濁度	度	2.4	2.4	4.4	2.3	2.4	2.5	2.5	3.0
大腸菌群数(DESO)	個/cm ³	16000	18000	12000	22000	58000	52000	36000	20000
大腸菌	MPN/100mL	110000	91000	99000	310000	520000	310000	240000	140000
色度	度	14	13	13	14	23	16	15	15
全窒素 (T-N)	mg/L	10.7	9.52	10.9	13.7	15.1	14.9	14.0	12.3
全りん (T-P)	mg/L	0.205	0.163	0.162	0.163	0.204	0.175	0.178	0.180
塩素イオン (Cl ⁻)	mg/L	152	139	137	143	148	157	154	152
電気伝導度 (EC)	mS/cm	0.749	0.711	0.724	0.758	0.807	0.829	0.819	0.801

表 1-8(2) 2016年度(夏季)の通日試験結果(再生水)

項目	単位	再生水							
		H28/9/28					9/29		
		10:00	13:00	16:00	19:00	22:00	1:00	4:00	7:00
臭気	-	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭
水素イオン濃度 (pH)	-	7.0	6.8	6.8	6.8	6.8	6.9	6.9	6.9
水温	℃	21.9	23.4	23	22.7	23.1	23.3	23.2	23.4
化学的酸素要求量 (CODMn)	mg/L	8.9	8.9	8.3	8.2	9.0	9.9	9.4	9.3
全有機炭素 (TOC)	mg/L	4.7	4.2	4.1	4.2	4.6	4.8	4.8	4.6
浮遊物質量 (SS)	mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0
濁度	度	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.2	0.2	0.2
大腸菌群数(DESO)	個/cm ³	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
大腸菌	MPN/100mL	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
色度	度	11	11	9	10	12	13	13	12
全窒素 (T-N)	mg/L	10.3	9.36	10.5	12.9	14.9	13.9	13.8	12.2
全りん (T-P)	mg/L	0.081	0.064	0.063	0.064	0.066	0.066	0.072	0.073
塩素イオン (Cl ⁻)	mg/L	153	140	138	142	150	157	157	151
電気伝導度 (EC)	mS/cm	0.751	0.727	0.736	0.766	0.822	0.851	0.846	0.821

(3) 2016 年度(冬季)の通日試験の結果

2016 年度冬季は、2016 年 12 月 5 日 16:00～6 日 13:00 にかけて 3 時間ごとに計 8 回採水し、通日試験を行った。

表 1-9(1) 2016 年度(冬季)の通日試験結果(原水)

項目	単位	原水							
		H28/12/5				12/6			
		16:00	19:00	22:00	1:00	4:00	7:00	10:00	13:00
臭気	-	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭
水素イオン濃度 (pH)	-	6.5	6.6	6.6	6.6	6.7	6.7	6.8	6.7
水温	℃	21.1	22	22	21.9	22.1	22.3	22.4	21
化学的酸素要求量 (CODMn)	mg/L	16.7	17.2	17.5	18.5	17.7	18.8	16.6	16.8
全有機炭素 (TOC)	mg/L	9.8	9.5	9.1	10.2	9.0	8.7	8.3	8.4
浮遊物質量 (SS)	mg/L	11	11	12	11	11	10	9.0	9.0
濁度	度	16	16	16	16	16	13	13	13
大腸菌群数 (DESO)	個/cm³	5700	10000	26000	33000	34000	37000	26000	24000
大腸菌	MPN/100mL	120000	150000	370000	520000	460000	340000	200000	250000
色度	度	10	11	11	10	13	13	13	13
全窒素 (T-N)	mg/L	15.4	16.9	17.6	18.4	18.8	17.8	14.8	14.4
全りん (T-P)	mg/L	1.02	1.07	1.12	1.20	1.09	0.990	0.907	0.856
塩素イオン (Cl⁻)	mg/L	134	142	150	159	163	162	152	153
電気伝導度 (EC)	mS/cm	0.731	0.779	0.828	0.874	0.896	0.893	0.798	0.829

表 1-9(2) 2016 年度(冬季)の通日試験結果(再生水)

項目	単位	再生水							
		H28/12/5				12/6			
		16:00	19:00	22:00	1:00	4:00	7:00	10:00	13:00
臭気	-	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭	下水臭
水素イオン濃度 (pH)	-	6.6	6.6	6.7	6.7	6.8	6.8	6.9	6.7
水温	℃	23.3	23.6	23.5	23.2	23.4	23.5	23	23.3
化学的酸素要求量 (CODMn)	mg/L	11.0	10.7	11.1	11.7	11.8	11.2	10.3	10.2
全有機炭素 (TOC)	mg/L	6.0	5.8	5.7	6.1	5.9	5.8	5.4	5.3
浮遊物質量 (SS)	mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0
濁度	度	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
大腸菌群数 (DESO)	個/cm³	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
大腸菌	MPN/100mL	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
色度	度	10	11	12	13	14	14	13	12
全窒素 (T-N)	mg/L	13.8	15.0	16.0	16.9	17.4	15.9	12.7	12.8
全りん (T-P)	mg/L	0.063	0.049	0.052	0.054	0.063	0.060	0.072	0.067
塩素イオン (Cl⁻)	mg/L	134	140	149	159	162	162	149	154
電気伝導度 (EC)	mS/cm	0.734	0.779	0.824	0.866	0.892	0.894	0.801	0.813

1. 2. パイロットプラントの実験結果

1. 2. 1. パイロットプラントの運転条件

糸満市浄化センター内に設置してあるパイロットプラントの運転条件を以下に示す。また、パイロットプラントのシステム概要を図 1-3 に示す。

- 処理水量 : 10 m³/日
- UF 膜ろ過 Flux : 1m/d

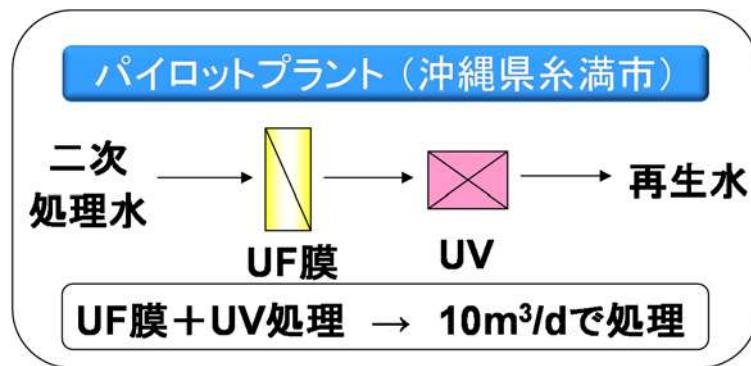


図 1-3 パイロットプラントのシステム概要

1. 2. 2. 一般水質項目の処理性能(日常試験)

表 1-10 に、2016 年 2 月～2017 年 2 月に実施した日常試験の測定結果を示す。なお、測定結果には 2015 年度のものも一部含まれている。

表 1-10(1) 日常試験の測定結果(原水)

原水					
項目	単位	2016/2/17	2016/9/28	2016/12/5	2017/2/21
臭気	-		下水臭	下水臭	下水臭
pH	-	6.8	6.7	6.5	6.9
BOD	mg/L	23			
CODMn	mg/L	14	14.8	22.8	14.6
TOC	mg/L		5.9	9.9	5.7
浮遊性物質 (SS)	mg/L		2	14	1
濁度	度(カオリソ)	4.0	3.6	17.0	1.8
大腸菌群数 (DES0)	個/mL	1,100	28,000	5,100	34,000
大腸菌	MPN/100mL	検出	170,000	220,000	79,000
色度	度	24	15	23	17
全窒素	mg/L	15.4	11.2	16.4	14.3
全燐	mg/L	0.24	0.204	1.310	0.253
C1-	mg/L		148	137	139
電気伝導度	mS/cm		0.744	0.765	0.724

表 1-10(2) 日常試験の測定結果(UF 膜ろ過水)

UF膜ろ過水					
項目	単位	2016/2/17	2016/9/28	2016/12/5	2017/2/21
臭気	-		下水臭	下水臭	下水臭
pH	-	6.9	6.8	6.8	7.0
BOD	mg/L	<1			
CODMn	mg/L	9.0	10.4	14.7	10.5
TOC	mg/L		4.7	9.0	5.4
浮遊性物質(SS)	mg/L		<1	<1	<1
濁度	度(カオリン)	<1	0.2	0.2	0.4
大腸菌群数(DESO)	個/ml	<50	不検出	不検出	100
大腸菌	MPN/100mL	不検出	<1	<1	<1
色度	度	24	14	15	14
全窒素	mg/L	14.8	10.6	15.0	13.4
全燐	mg/L	0.11	0.059	0.056	0.066
Cl-	mg/L		145	139	137
電気伝導度	mS/cm		0.746	0.761	0.721

表 1-10(3) 日常試験の測定結果(再生水)

再生水					
項目	単位	2016/2/17	2016/9/28	2016/12/5	2017/2/21
臭気	-		下水臭	下水臭	下水臭
pH	-	7.0	6.8	6.7	7.0
BOD	mg/L	<1			
CODMn	mg/L	10.0	11.0	12.4	10.6
TOC	mg/L		4.7	6.1	5.3
浮遊性物質(SS)	mg/L		<1	<1	<1
濁度	度(カオリン)	<1	0.2	0.1	0.1
大腸菌群数(DESO)	個/ml	<50	不検出	不検出	不検出
大腸菌	MPN/100mL	不検出	<1	<1	<1
色度	度	24	14	15	14
全窒素	mg/L	14.9	10.6	15.0	13.7
全燐	mg/L	0.10	0.060	0.053	0.063
Cl-	mg/L		147	138	137
電気伝導度	mS/cm		0.736	0.763	0.720

表 1-11 日常試験の測定結果(再生水の除去率)

再生水 除去率				
項目	2016/2/17	2016/9/28	2016/12/5	2017/2/21
臭気		—	—	—
pH	—	—	—	—
BOD	不検出			
CODMn	28. 6%	25. 7%	45. 6%	27. 4%
TOC		20. 3%	38. 4%	7. 0%
浮遊性物質(SS)		不検出	不検出	不検出
濁度	不検出	94. 4%	99. 4%	94. 4%
大腸菌群数(DESO)	不検出	不検出	不検出	不検出
大腸菌	不検出	不検出	不検出	不検出
色度	0. 0%	6. 7%	34. 8%	17. 6%
全窒素	3. 2%	5. 4%	8. 5%	4. 2%
全燐	58. 3%	70. 6%	96. 0%	75. 1%
C1-		0. 7%	-0. 7%	1. 4%
電気伝導度	—	—	—	—

有機物指標の CODMn と TOC を概ね 20~40% の除去率が得られていた。BOD と SS については不検出であった。全窒素は 5% 程度の除去率であり、ほとんど除去は期待できないものであった。また、全リンは、60~95% 程度と高い除去性能が得られていた。

1. 2. 3. 一般水質項目の処理性能(精密試験) (2015 年度のみ実施)

表 1-12 に、2016 年 2 月に実施した精密試験の測定結果を示す。

表 1-12(1) 精密試験の測定結果(水質)

項目	単位	原水	膜ろ過水	再生水
TOC	mg/L	8. 0	6. 0	5. 5
DOC	mg/L	7. 4	5. 7	5. 5
NH4-N	mg/L	6. 4	6. 5	6. 3
NO3-N	mg/L	6. 1	6. 0	6. 1
NO2-N	mg/L	2. 0	1. 9	2. 0
P04-P	mg/L	0. 11	0. 12	0. 12
C1	mg/L	185	186	187
Na	mg/L	121	118	117
K	mg/L	14. 5	14. 2	14. 3
SO4	mg/L	17. 9	17. 9	18. 1

表 1-12(2) 精密試験の測定結果(除去率)

項目	膜ろ過水	再生水
TOC	24.7%	30.7%
DOC	23.1%	26.0%
NH4-N	-0.3%	2.6%
NO3-N	1.5%	-0.8%
NO2-N	5.5%	2.5%
P04-P	-9.1%	-9.1%
C1	-0.7%	-1.4%
Na	2.6%	3.6%
K	1.7%	1.2%
SO4	-0.3%	-1.1%

有機物指標の TOC と DOC は UF により 20~30%程度の除去が見られたが、UV 消毒によっては大きな変化は見られなかった。それ以外の項目については、処理法の原理的な要因のため、濃度低下が見られなかった。

1. 3. ウイルス分析試験結果

1. 3. 1. ウイルス分析方法

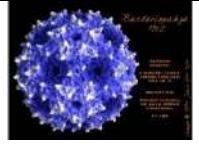
(1) 対象ウイルス

① モデルウイルス(MS2)

原水として用いた二次処理水に、人為的に高濃度に培養したモデルウイルス(大腸菌ファージ MS2 表 1-13 参照)を添加することで、ウイルス除去性能を直接評価することができる。

MS2 は、レビウイルス科レビウイルス属に属しており、大きさが 24~26 nm 程度で正二十面体のカプシドを有している一本鎖 RNA ウィルスである。このような特徴が、ポリオウイルスやノロウイルス等の腸管系ウイルスと類似していることから、腸管系ウイルスのモデルウイルスとして消毒実験や処理実験に多く用いられている。

表 1-13 モデルウイルス大腸菌ファージ MS2

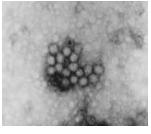
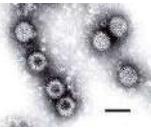
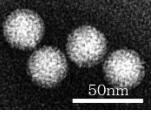
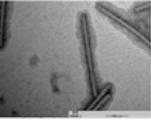
モデルウイルス	特徴
大腸菌ファージ MS2 (MS2)	<ul style="list-style-type: none"> ・一本鎖 RNA ウィルス ・正二十面体 ・直径約 20~30nm 程度  VIRUSWORLD ホームページ

MS2 は $10^8 \sim 10^9$ PFU/mL の原液を二次処理水に添加して 1,000 倍程度に希釈することにより、原水における濃度を $10^5 \sim 10^6$ PFU/mL 程度に調整し、実験を実施した。原水および各処理段階後に採水し、MS2 濃度を測定して除去率を算出する。

② ヒトウイルス等(野生株のウイルス)

実証施設においては処理水を利用することから、人為的なモデルウイルスを添加することができないため、野生株のヒト病原ウイルスおよび植物ウイルスについても分析を行うものとした。表 1-14 に対象としたウイルスを示す。

表 1-14 対象ウイルス

分類	対象ウイルス	特徴
ヒト病原ウイルス	GI-、 GII-ノロウイルス (GI-、 GII-NoV)	<ul style="list-style-type: none"> 一本鎖 RNA ウィルス 正十二面体 直径約 20~30nm 程度  <p>Teunis et al., 2008</p>
	ロタウイルス (RoV)	<ul style="list-style-type: none"> 二本鎖 RNA ウィルス 二層のカプシドに覆われている 直径約 70nm 程度  <p>Wikipedia</p>
	アイチウイルス (AiV)	<ul style="list-style-type: none"> 一本鎖 RNA ウィルス 正二十面体 直径約 20~30nm 程度  <p>愛知県衛生研究所HP</p>
大腸菌ファージ (F-RNA ファージ)	GI-、 GII、 GIII、 GIV	<ul style="list-style-type: none"> 多くの種は正二十面体様のカプシドを頭部としてそこから尾が伸びている 25~200nm 程度  <p>Wikipedia</p>
植物ウイルス	ペッパー・マイルドモットルウイルス (PMMoV)	<ul style="list-style-type: none"> 二本鎖 RNA ウィルス 棒状 長さ約 300nm 程度  <p>東北大学土壤立地学分野HP</p>

(2) ウィルスの測定方法

ウィルスの測定は、原水およびUF膜ろ過水についてPCR法による測定を行う。

また、PCR法による測定ではウィルスの生死が不明のため、UV消毒プロセスでは不活化の評価を行うことができない。そのため、UV消毒後の再生水について、パイロットプラント(モデルウイルスMS2添加)では培養法による測定を行う。また、実際の原水中のウィルス量は極めて少ないとから、検体量が少ない培養法では、ウィルスの検出はほぼ不可能である。そのため、新たに培養法とPCR法を組み合わせウィルス不活化評価が可能なICC-PCR法を導入し、ウィルス測定を行うものとした。

なお、測定方法の詳細については、資料編4を参照されたい。

測定方法

- 原水 : PCR 法
- UF 膜ろ過水 : PCR 法
- 再生水 (パイロットプラント) : 培養法
- 再生水 (実証施設) : ICC-PCR 法

(3) 採水箇所およびモデルウイルスの添加箇所

実証施設においては、日常試験における採水地点と同じ箇所において採水を行う。(「1. 1. 2. 実証施設の採水地点」参照)

パイロットプラントについては、原水槽においてモデルウイルス MS2 を添加し、原水、UF 膜ろ過水、および UV 消毒後において採水を行う。なお、UV 装置は直列で 4 本が設置されており、各 1 本ごとの通過時点でサンプリングを行うことができる。したがって、サンプリングポイントは、下記の 6 箇所となる。

- ① 原水
- ② UF 膜ろ過水（以下、UF という）
- ③ UV 装置 1 本目通過水（以下、UV1 という）
- ④ UV 装置 2 本目通過水（以下、UV2 という）
- ⑤ UV 装置 3 本目通過水（以下、UV3 という）
- ⑥ UV 装置 4 本目通過水（以下、UV4 という）

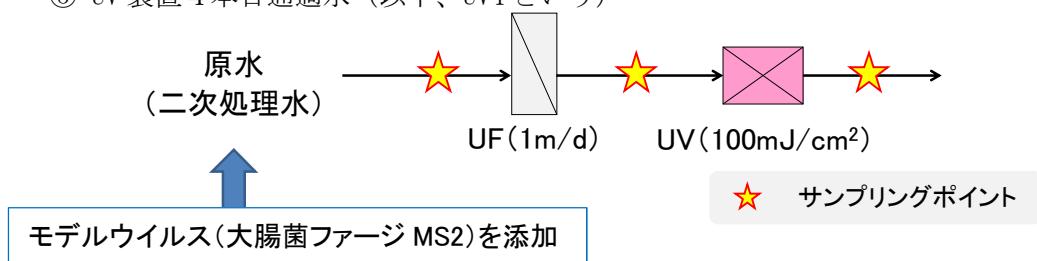


図 1-4 パイロットプラントのウイルス測定の概要

(4) サンプル採水日

パイロットプラントおよび実証施設のサンプル採水日は、以下のとおりである。

表 1-15 パイロットプラントのサンプル採水日

回数	サンプル採水日
1	2015/8/18
2	2015/8/19
3	2015/8/20
4	2015/9/30
5	2015/10/2
6	2015/10/2
7	2015/12/16
8	2015/12/17
9	2016/1/14
10	2016/2/17
11	2016/8/30
12	2016/8/31
13	2016/9/1
14	2016/9/28
15	2016/11/16
16	2016/12/7
17	2017/1/18

表 1-16 実証施設のサンプル採水日

採水日	サンプル採水日・時間		
	採水場所		UF 膜ろ過水
	原水		
1 2016年 8月 30 日	○		○
2 2016年 8月 31 日	○		○
3 2016年 9月 28 日	○ 10:00、13:00、16:00、19:00、22:00		○ 10:00
4 2016年 9月 29 日	○ 1:00、4:00		○ 4:00
5 2016年 11月 16 日	○		○
6 2016年 12月 5 日	○ 16:00、19:00、22:00		○ 22:00
7 2016年 12月 6 日	○ 1:00、4:00、7:00、10:00		—
合計	17 サンプル		6 サンプル

1. 3. 2. ウイルス除去性能の測定結果

(1) UF 膜ろ過によるウイルス除去性能

① モデルウイルス(MS2)の除去性能

パイロットプラントにおけるUF膜ろ過処理でのMS2の除去性能を以下に示す。この結果より、UF膜ろ過によるウイルス除去効果はlog除去で1 log以上を確保できると評価される。

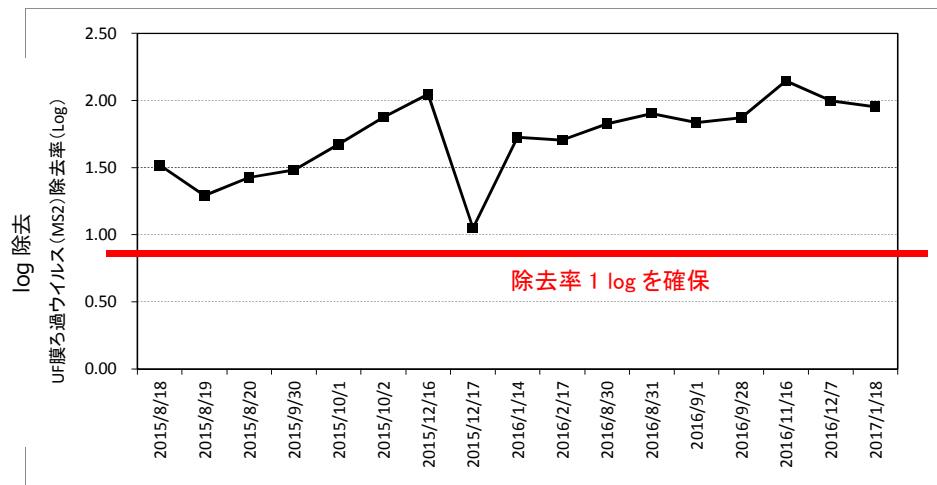


図 1-5 UF 膜ろ過によるモデルウイルス(MS2)log 除去性能(パイロットプラント)

② ヒトウイルス等(野生株のウイルス)のウイルス除去性能

パイロットプラントおよび実証施設において、F-RNA ファージおよび MS2 の除去性能を評価した結果を以下に示す。この結果から、F-RNA ファージにおいても、ウイルス log 除去効果は 1 log 以上を確保できると評価される。

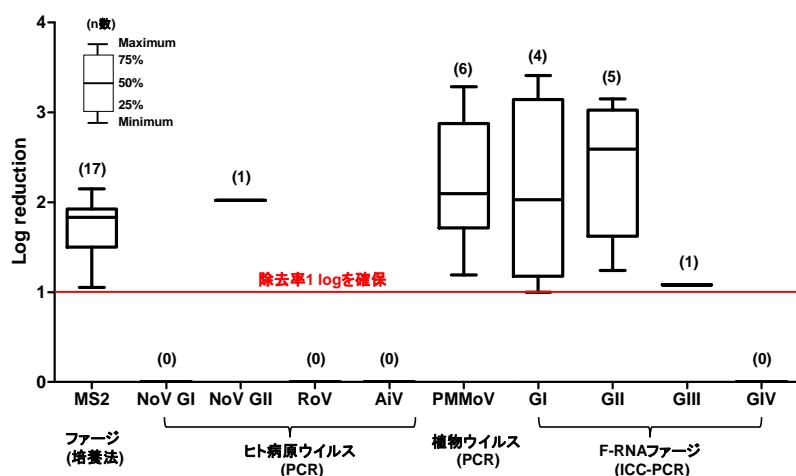


図 1-6 UF 膜ろ過によるウイルス log 除去性能(パイロットプラントおよび実証プラント)

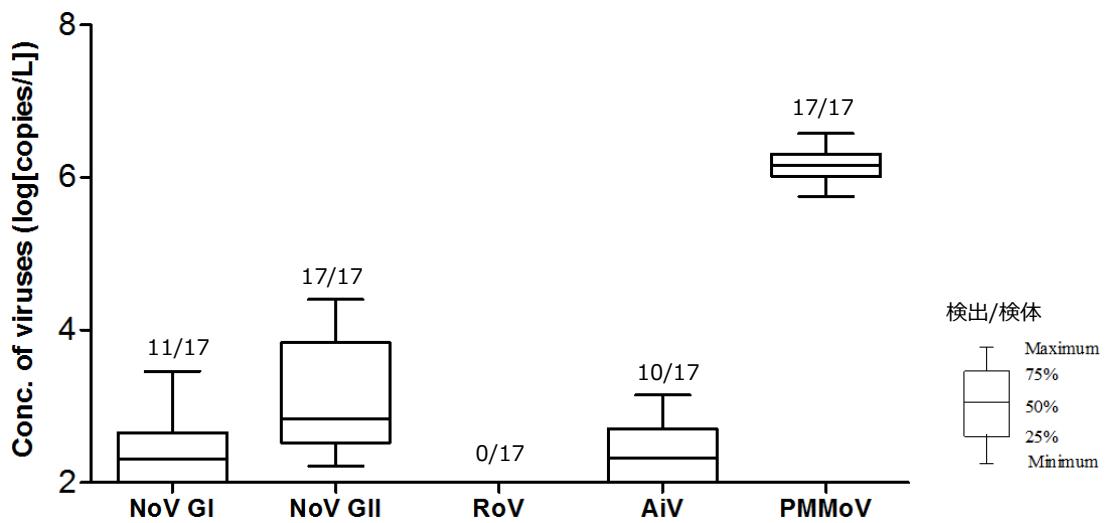


図 1-7(1) 原水中のヒトウイルス等の存在濃度(log 濃度)

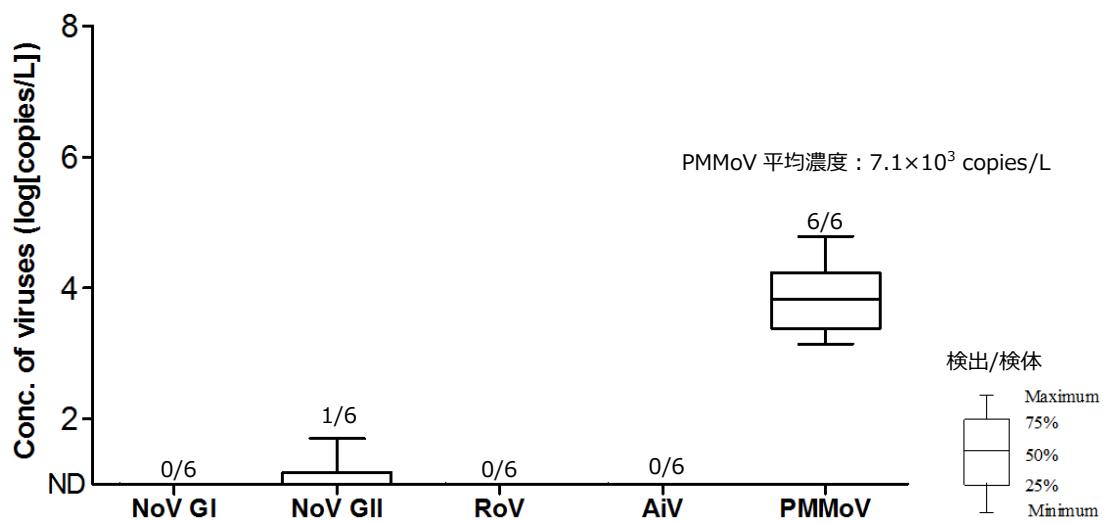


図 1-7(2) UF 膜ろ過水中のヒトウイルス等の存在濃度(log 濃度)

(2) システム全体のウイルス除去性能

① モデルウイルス(MS2)の除去性能

モデルウイルス(MS2)について、原水、UF 膜処理後、UV 消毒後の存在濃度を整理した。結果を図 1-8 および図 1-9 に示す。

除去性能の評価の結果、UV3 本目において目標である 5.2log 除去は平均で達成し、UV4 本目ではすべてにおいて達成する結果が得られた。

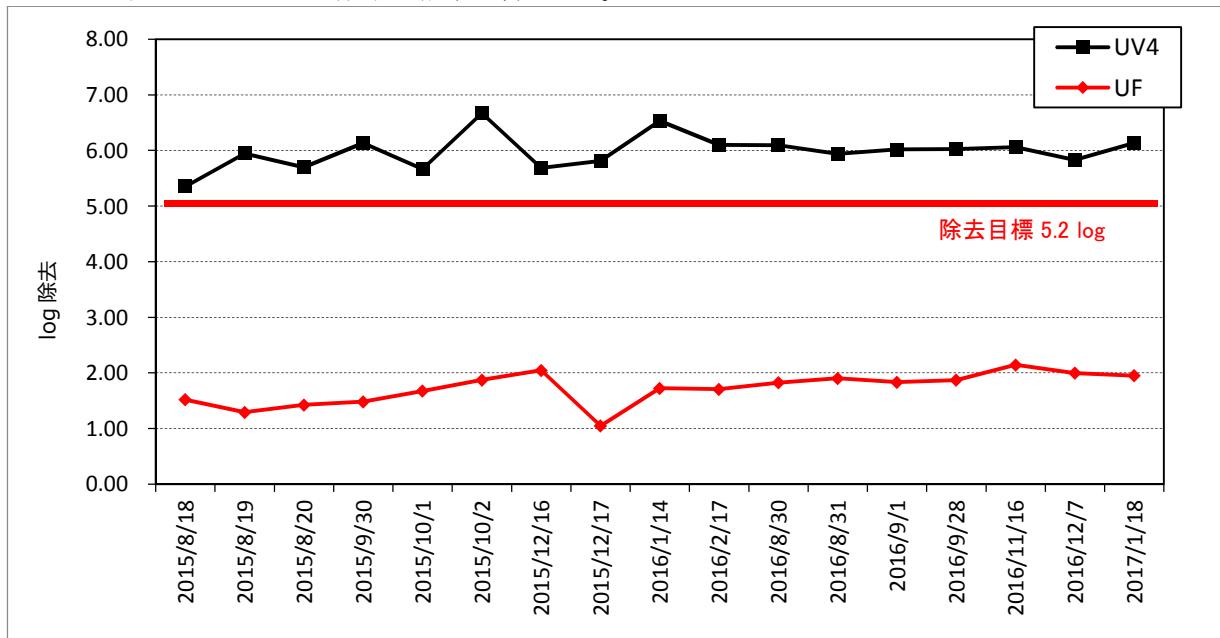


図 1-8 モデルウイルス(MS)の log 除去性能

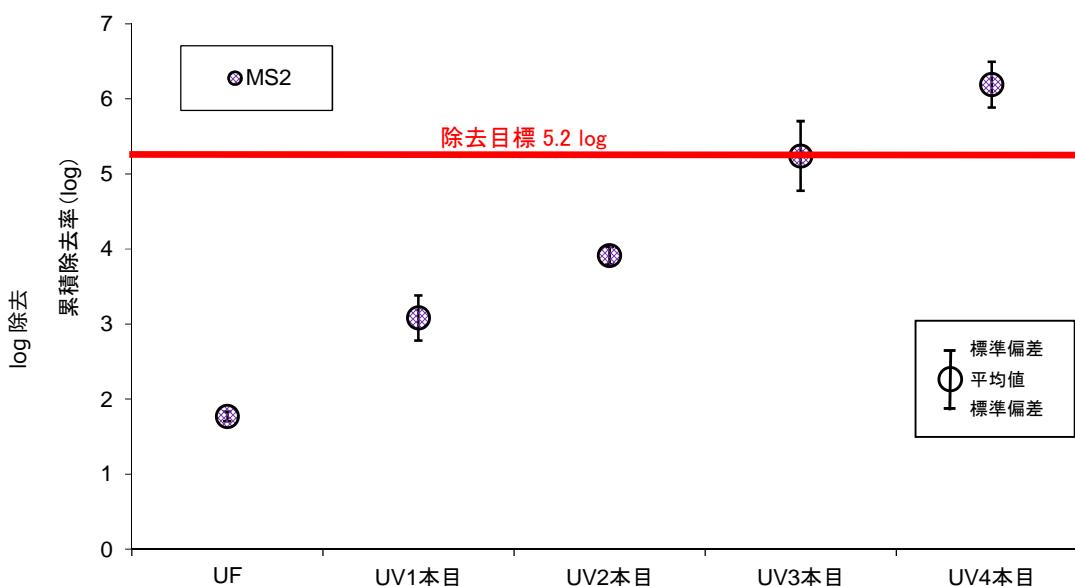


図 1-9 モデルウイルス(MS)の log 除去性能

② パイロットプラントにおける F-RNA ファージの除去性能

ICC-PCR 法を用いた UF+UV 处理の各段階における F-RNA ファージ G I ~GIVタイプの存在濃度の調査結果を図 1-10 に示す。

原水における F-RNA ファージの G I ~GIVタイプの存在濃度は、G II、G I、G III の順に高い値であったが、G IV は検出下限以下であった。また、UV4 の条件で処理後、F-RNA ファージの G I ~GIVタイプの存在濃度は、全て検出下限以下となった。UF+UV4 处理による G I ~GIVタイプの log 除去効果は、G I (4.7 log 以上)、G II (4.9 log 以上)、G III (2.0 log 以上) となった。この結果から、添加実験が不可能な規模の大きい実証施設において、ウイルス除去性能の評価ができるウイルスとして用いられる可能性が示唆された。また、UV 消毒などの消毒処理における log 不活化の評価に適用可能な測定技術であることが確認された。

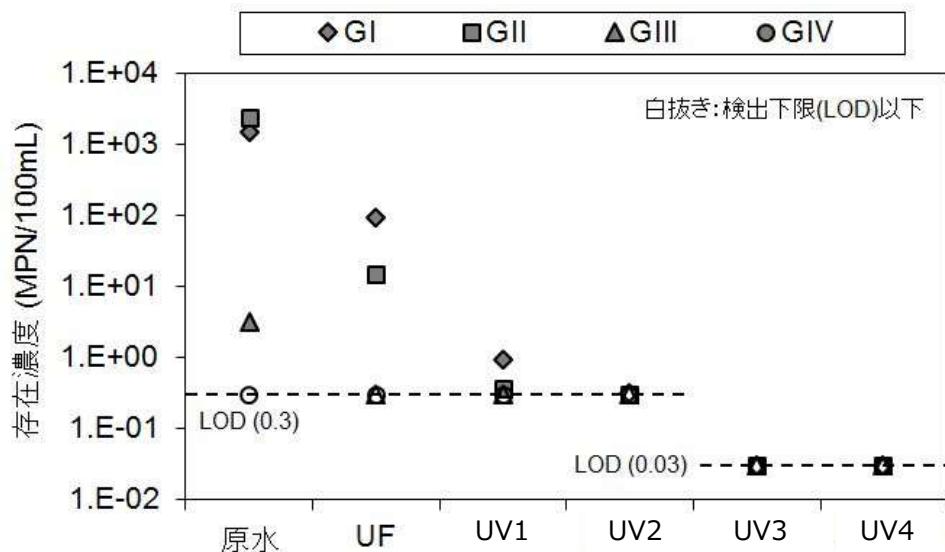


図 1-10 ICC-PCR 法による F-RNA ファージの G I ~GIVタイプの調査結果(2015 年度実施)

ICC-PCR 法を用いた UF+UV 处理の各段階における F-RNA ファージ G I ~GIVタイプの log 除去性能を図 1-11 に示す。UV2 本目までは G I、G II ともウイルス除去性能を評価可能であるが、UV3 本目では G I の log 除去性能のみ評価可能で、UV4 本目ではいずれも log 除去性能を評価不可となり、目標とした 5.2log 除去の達成を確認できなかった。

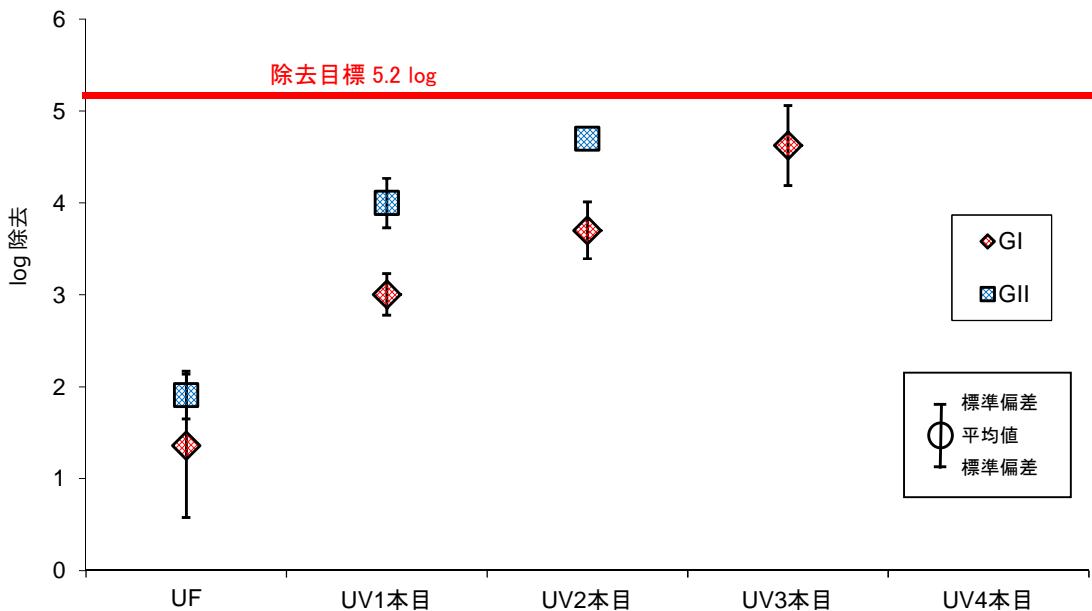


図 1-11 F-RNA ファージの UV による除去性能
(UV3 本目で G II が、UV4 本目で G I 及び G II ともに不検出)

③ パイロットプラントにおける MS2 と F-RNA ファージの除去性能の比較

上記の MS2 および F-RNA ファージの log 除去性能の比較を行う。上図に MS2 の log 不活化の効果のデータを重ね合わせた。

概ね MS2 と F-RNA ファージ G I 、G II タイプが、ほぼ同様の傾向を示していることから、F-RNA ファージ G I 、G II とも、原水中に多量に存在した場合、UV4 本目において目標とした 5.2log 除去を達成できていると推測される。

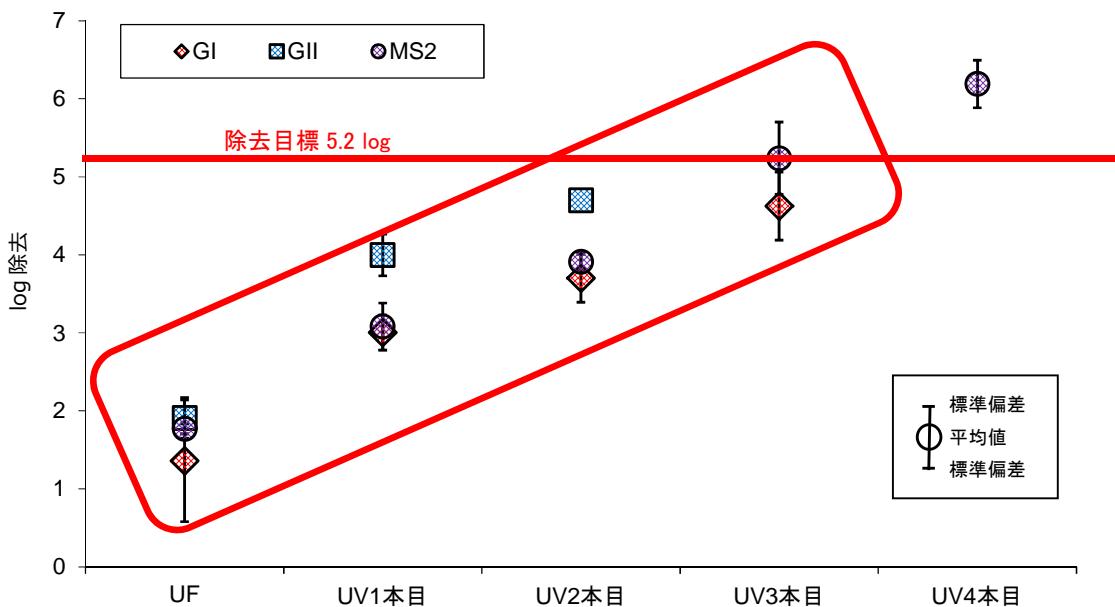


図 1-12 MS2 と F-RNA ファージの UV による log 不活化効果の比較

④ 実証施設を含めたウイルス(F-RNA ファージ)の除去性能

先に示したパイロットプラントでの評価で GIII タイプは、ほとんど検出されていないため、ここでの評価においては GI ~ GII タイプを対象として評価を行う。

実証施設における UF 膜ろ過および UV 消毒による総合的な F-RNA ファージタイプ別の除去性能を図 1-13 に示す。また、同図には、パイロットプラント実験の結果も比較のために合わせて示している。

この結果から、GI タイプについて、1 検体であるが目標とする 5.2 log を達成していることを確認できた。また、パイロットプラント実験における MS2 除去性能でも目標値 5.2 log をクリアできており、本システム全体では充分に目標とする 5.2 log を達成できる性能を有していると判断される。

なお、図 1-13 の赤丸(●)は、再生水中にウイルスの存在が確認できなかった(検出下限以下)データであり、原水中のウイルスが全て除去されたとした場合の除去性能で示しているため、実際の除去能力はここで示す値より高くなると考えられる。



図 1-13 本システム(UF 膜ろ過+UV 消毒)による F-RNA ファージタイプ別の log 除去性能

1. 4. 膜破断検知方法に関する検証

1. 4. 1. 人為的な膜破断状態の設定

パイロットプラントの膜モジュールにおいて人為的に膜破断を起こし、膜破断を検知する利用可能性を試みた。

膜破断は、膜モジュール内の中空糸（全体 1000 本）を 0 本(0%)、1 本(0.1%)、3 本(0.3%)、5 本(0.5%)、10 本(1.0%) 破断した場合の 5 ケースを設定した。また、膜モジュールは、使用から 3 年を経過したものと、新品の 2 つを用いるものとした。

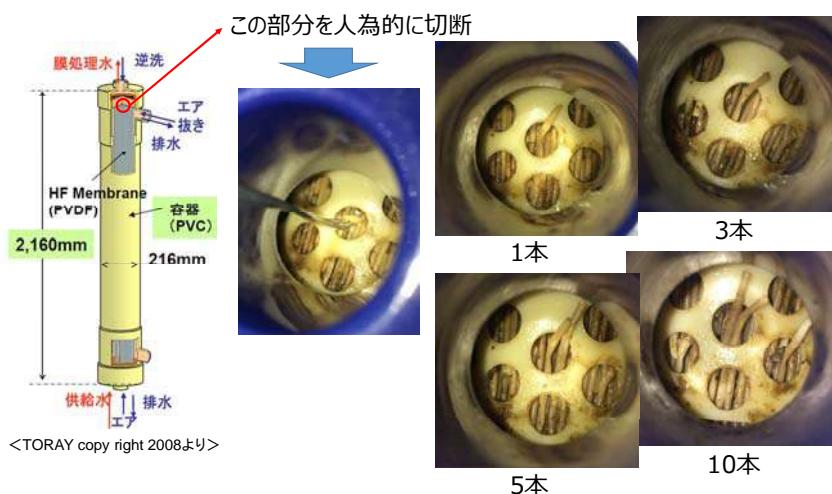


図 1-14 人為的な膜破断の概要

1. 4. 2. 高感度濁度計による膜破断の検知

再生水の利用用途によっては、利用者の再生水誤飲によるウイルス摂取の頻度が高い場合も考えられ、よりリアルタイムに近い膜破断の検知が必要である。

ここではリアルタイムに近い膜破断の検知方法として、高感度濁度計による膜破断の検知について評価を行う。

高感度濁度計の特徴は以下のとおりである。

- 検出限界：濁度 0.0001 度
- オンラインモニタリング（遠方監視）が可能

【実験条件】

- 膜モジュール内の中空糸（全体 1000 本）を 0 本(0%)、1 本(0.1%)、3 本(0.3%)、5 本(0.5%)、10 本(1.0%) 破断した場合の 5 ケースを設定

【測定項目】

- 圧力減衰（圧力減衰試験により膜破断の状況を確認する）
- 濁度（高感度濁度計による測定）

高感度濁度計による検知の評価に先立ち、対象とする膜モジュールを用いて、圧力減衰試験による膜破断の状態を確認した。この結果、膜1本の破断においても圧力の減衰が見られた。

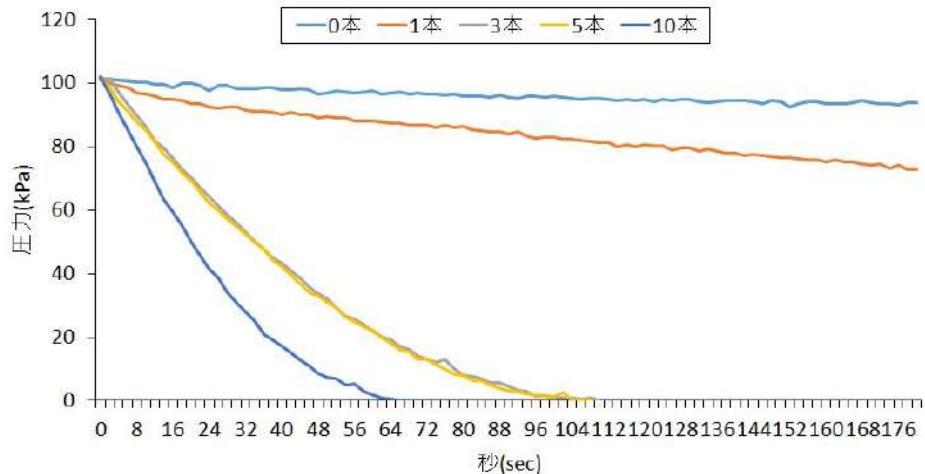


図 1-15 膜破断状態の確認

高感度濁度計の測定は、運転停止状態から膜破断させた膜モジュールをパイロットプラント施設に設置し、UF 膜ろ過への供給ポンプを稼働させた時点から測定開始とし、約 30 分間運転を継続させた。

高感度濁度計による測定結果を図 1-16 に示す。この結果から、停止状態から膜ろ過開始時において濁度のピークが発生する結果が得られた。さらに運転を継続すると小さなピークの発生があり、約 15 分程度の経過時間以降であれば濁度は安定する判断される。

膜 1 本の破断では、正常状態の約 5~20 倍程度の濁度と、明確な差異があり、膜 1 本(0.1%)から膜破断を把握することは可能であると判断される。

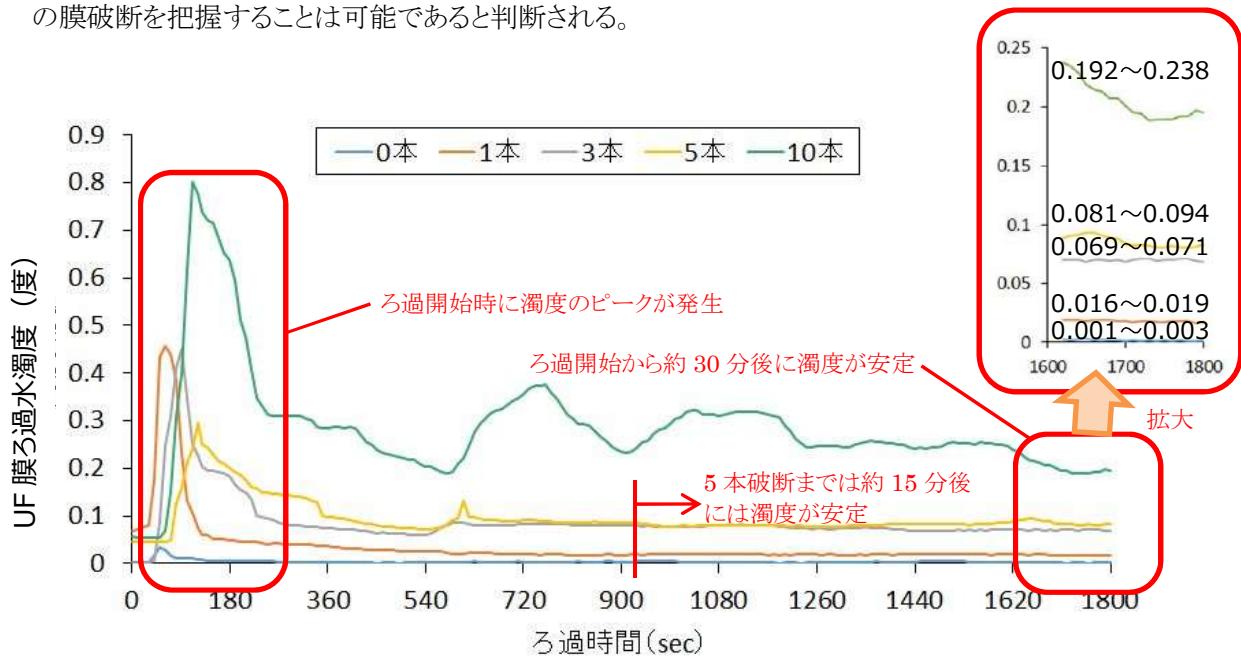


図 1-16 高感度濁度計による膜破断の検知

図 1-16 の結果から、膜 1 本の破断において、正常範囲(0.001~0.003)の最大値の 5 倍以上の値が検知されることから、基準値を表 1-17 のとおりとすることが望ましいと判断される。

表 1-17 濁度監視の概要

方法	基準	頻度
超高感度濁度計による測定 (分解能 : 0.0001 度)	通常値の 3~4 倍	最低 1 日 1 回 (逆洗の不実施サイクル時)

なお、停止状態からの起動時に濁度が上昇する理由として、膜表面の付着物や、停止時に繁殖した菌の剥離が考えられるため、実証プラントにおいて UF 膜ろ過の起動時の大腸菌測定を実施する。

1. 4. 3. 大腸菌測定による膜破断の検知

先に示した圧力減衰試験は、処理の部分的な停止を必要とするため、年 1 回程度の実施が現実的である。そのため、さらに頻度の高い膜破断の検知方法が必要となる。

膜破断の影響評価の結果を図 1-17 に示すが、正常時には大腸菌は検出しないが、膜破断が 1 本でも発生した場合には大腸菌が検出される結果となる。

のことから、定期的に大腸菌を検査することにより、高い頻度での大腸菌の検出が可能といえる。

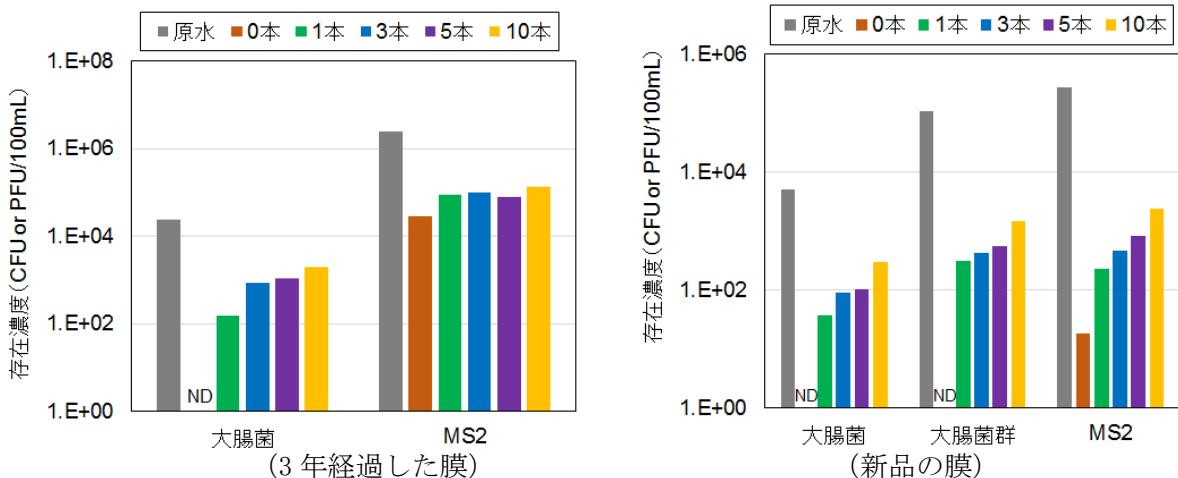


図 1-17 膜破断時の大腸菌等の存在濃度

大腸菌測定による UF 膜破断の管理基準として、以下のとおりとすることが望ましいと判断される。

表 1-18 大腸菌による監視の概要

項目	検知基準	頻度
大腸菌の分析	検出あり	精密試験時 (原則・月 2 回) または、濁度の異常時

1. 4. 4. 圧力減衰試験(PDT(Pressure Decay Test))による膜破断の検知

(1) 圧力減衰テストによる膜破断検知の実験概要

図 1-18 に圧力減衰テストの方法を示す。膜モジュール内を空気で 100kPa まで加圧し、一定時間経過後の圧力減衰を観察することにより膜破断を検知する。

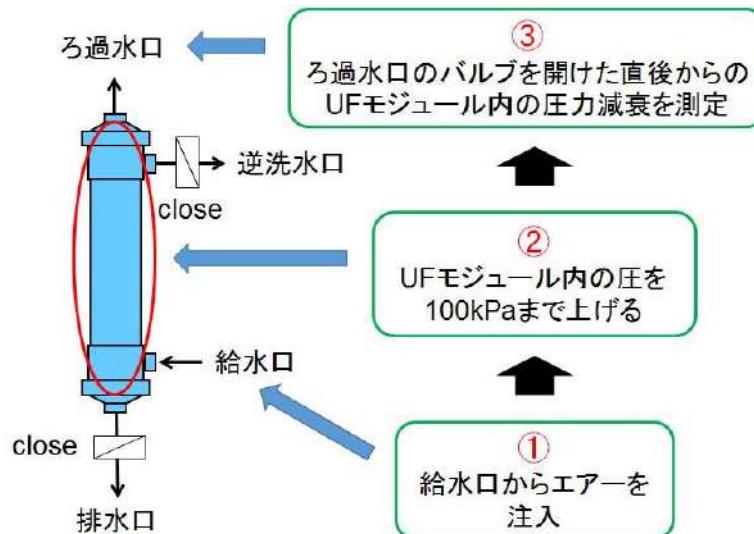


図 1-18 圧力減衰テストの方法

(2) 圧力減衰テストを利用した膜破断検知方法の検討結果

3 年経過した膜(沖縄県糸満市)と新品膜(滋賀県大津市)の両方において膜破断とその規模による圧力減衰を確認した。これらの結果、全ての膜破断(1~10本)で、破断の程度による圧力減衰を確認できた。このことから、圧力減衰テストにより膜破断及びその程度を検知することが可能であることが示唆された。

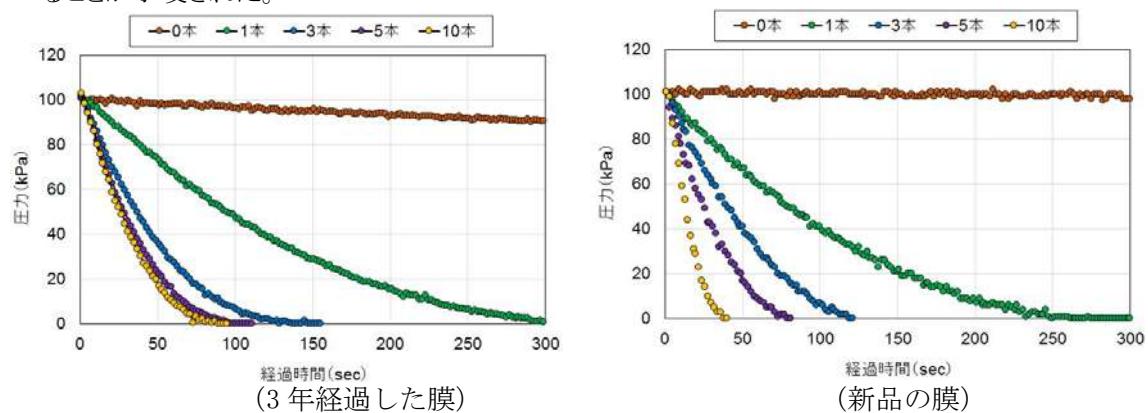


図 1-19 圧力減衰テストの結果 (3 年経過した膜)

表 1-19 圧力減衰テストの結果

膜破断本数	3年経過膜	新品膜
0本	0.03 kPa/sec	0.01 kPa/sec
1本	0.32 kPa/sec	0.38 kPa/sec
3本	0.66 kPa/sec	0.83 kPa/sec
5本	0.94 kPa/sec	1.25 kPa/sec
10本	1.10 kPa/sec	2.53 kPa/sec

パイロットプラントの圧力減衰テストから、表 1-19 の 1 本の膜破断における圧力減衰状況を参考に、UF 膜破断の管理基準(案)として、以下の内容を提案する。

表 1-20 圧力減衰試験による監視の概要

項目	検知基準	頻度
圧力減衰試験	5分後に 20%以上低下	1月に1回 または大腸菌検出時

1. 5. UV 消毒のウイルス除去効果の検証

1. 5. 1. UV 消毒におけるウイルス除去目標

モデルウイルス(MS2)について、原水、UF 膜処理後、UV 消毒後の存在濃度を整理した結果を図 1-20 に示す。

この結果から、UF 膜ろ過におけるウイルス除去は 1 log 以上は確保できるものとして、UV 消毒におけるウイルス除去目標は、システム全体での目標除去効果である 5.2 log を満足させるために、4.2 log 以上と設定する。

- UF 膜ろ過によるウイルス除去効果 : 1 log 以上
- UV 消毒によるウイルス不活化効果 : 4.2 log 以上

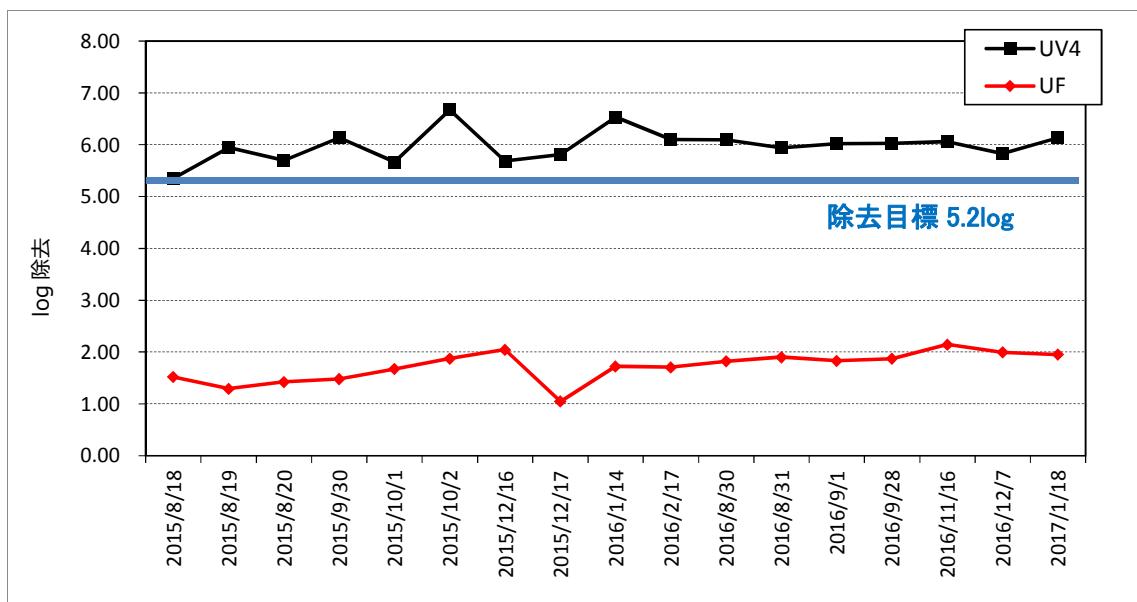


図 1-20 パイロットプラントでのモデルウイルス(MS2)の log 除去性能
(UF 膜ろ過およびシステム全体)

なお、図 1-21 に示すように、UF 膜ろ過と UV 消毒のシステム全体のウイルス除去性能は、パイロットプラントでの UV3 本目において目標除去効果の 5.2log は平均で達成し、UV4 本目ではすべてにおいて達成する結果が得られている。

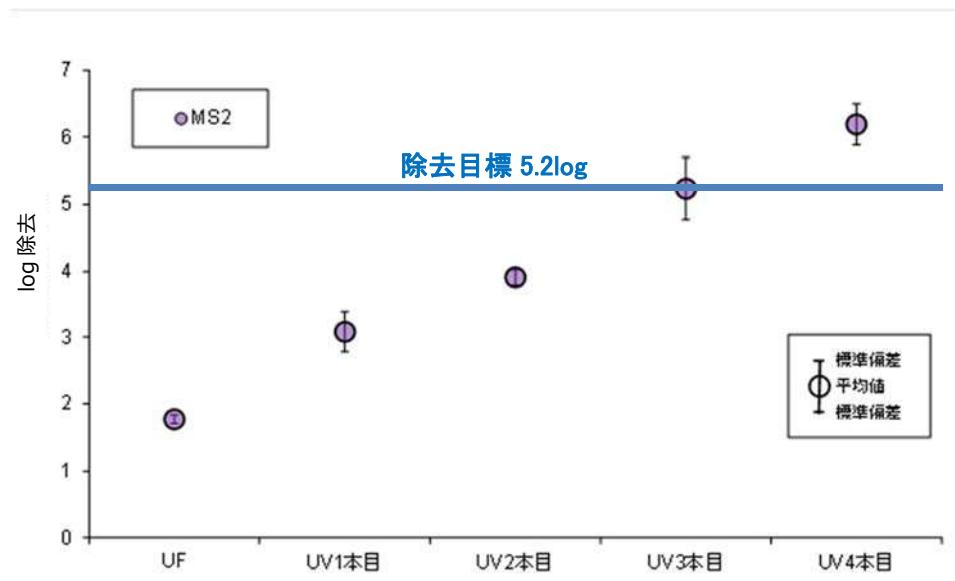


図 1-21 パイロットプラントでのモデルウイルス(MS2)の log 除去性能(UV 通過本数毎)

1. 5. 2. 実証プラントにおけるウイルス除去効果の検証

(1) 実証プラントの運転条件(ランプ出力)

実証プラントでは、処理量を一定とし、UV 装置の運転条件(ランプ出力)を 3 ケース(RUN1～3)に変化させた運転条件を設定して、その時のウイルス除去効果を検証した。

表 1-21 実証プラントの運転条件

	流量	UV 透過率	稼働 ランプ本数	設定 ランプ出力	合計 ランプ出力*
RUN 1	1,083m ³ /日	78.9%	16 本	62%	62.0%
RUN 2	1,083m ³ /日	73.6%	8 本	90%	45.0%
RUN 3	1,083m ³ /日	73.6%	8 本	67%	33.5%

*合計ランプ出力は、実証プラントの UV 装置を 100% 能力で運転した場合に対する比率を示す。

実証プラント UV 装置の 100% 能力: 稼働ランプ本数 16 本 × 設定ランプ出力 100%

⇒ 稼働ランプ本数 8 本 × 設定ランプ出力 90% の場合は、

合計ランプ出力 = ランプ本数 8 本 / 16 本 × ランプ出力 0.9 = 0.45 → 45%

(2) 実証プラントでのウイルス除去性能

2017 年 1 月 25 日に、上記の各 RUN の運転条件において、UV 消毒装置のウイルス除去性能の検証を行った。その結果を以下に示す。

表 1-22 実証プラントでのウイルス log 除去効果 (F-RNA ファージ)

	除去率 (性能目標 : 4.2log 除去)			
	G I	G II	G III	G IV
RUN1	4.49	4.70	2.26	原水中に検出されず
RUN2	3.65	4.70	3.16	原水中に検出されず
RUN3	2.59	4.03	3.16	原水中に検出されず

※ 表中の網掛け部分は、UV 消毒後水(=再生水)においてウイルス(F-RNA ファージ)が定量下限値以下(N.D.)であったため、実際にはこれより大きな除去性能が得られている可能性がある。

以上の結果を踏まえると、実証プラントの UV 消毒装置は、性能目標とするウイルス除去性能 4.2log を達成するために、合計ランプ出力として 62%あれば十分な安全度を確保できていたと考えられる(RUN1 の運転条件および結果より)。

また、ランプ出力とウイルスの不活化の程度には良い相関が見られており、UV 消毒装置の自動調光機能によりランプ出力を制御すれば、所定の性能を確保しつつ、消費エネルギーの最適化が図れることも分かった。

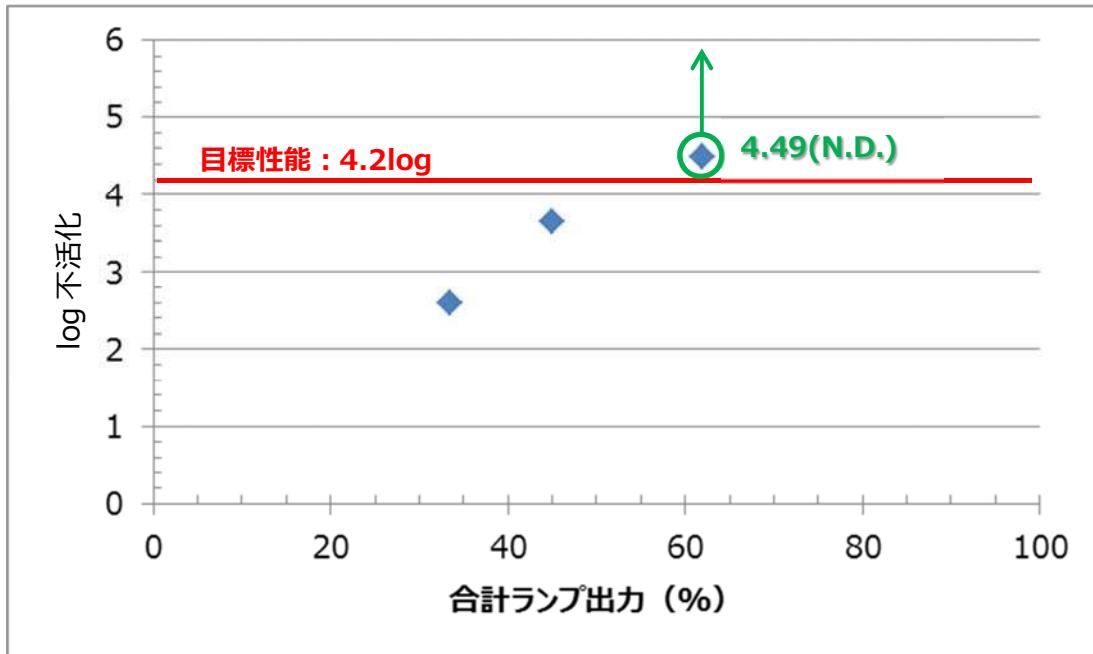


図 1-22 実証プラントでのランプ出力とG I タイプ log 不活化

(3) 実証プラントのUV消毒装置の性能諸元の一般化

UV消毒装置の設計においては、紫外線照射量(mJ/cm^2)が基本的諸元となる。実証研究においては、水中の粒子の挙動を踏まえた照射量分布解析が可能なP-CFDを用いて、ウイルスの不活化程度と装置の紫外線照射量の関係を示すことを試みたが、データが少ないとこと等から、実証研究中での一般化までには至らなかった(資料編8参照)。

そこで、第4章第4節UV消毒装置の設計にも示した標準設計手法を用い、実証プラントで得られたG I ファージの不活化の実測値から、本システムのUV消毒装置に必要となる紫外線照射量を検討した。

○検討条件

- ・装置の紫外線強度: 11.0mW/cm^2
- ・保護管の汚れ係数: 0.95
- ・ランプの経年劣化係数: 0.98
- ・設計紫外線強度: $11.0 \text{mW/cm}^2 \times 0.95 \times 0.98 = 10.2 \text{mW/cm}^2$
- ・ランプの有効容積: 14.3L/本
- ・UV消毒装置実処理水量: 罗過給水量(1,083m³/日) ÷ 実ろ過時間(20.25時間)
 $= 53.49 \text{m}^3/\text{時} \rightarrow 1,284 \text{m}^3/\text{日}$

○検討結果

上記の条件を基に、RUN1～RUN3の運転条件毎に、ランプ1本あたりの処理水量と照射時間を計算し、そこから得られる紫外線照射量を算出した。

また、結果の妥当性を考察するために、実証研究においてもウイルス除去性能評価の指標とした米国EPAのUV消毒マニュアルに示されたMS2の不活化測定結果との照らし合わせを行った。

表 1-23 実証プラントの運転条件とウイルス除去効果(F-RNA ファージ)

RUN	実処理水量	試験条件				ランプ1本あたり諸元			G I log 不活化
		運転本数	設定出力	合計出力比	相当本数	処理水量	照射時間	紫外線照射量	
		m ³ /日	本	%	—	本	m ³ /日	秒	mJ/cm ²
RUN1	1,284	16	62	0.620	9	142	8.7	88.7	4.49
RUN2	1,284	8	90	0.450	7	183	6.7	68.3	3.65
RUN3	1,284	8	67	0.335	5	256	4.8	49.0	2.59

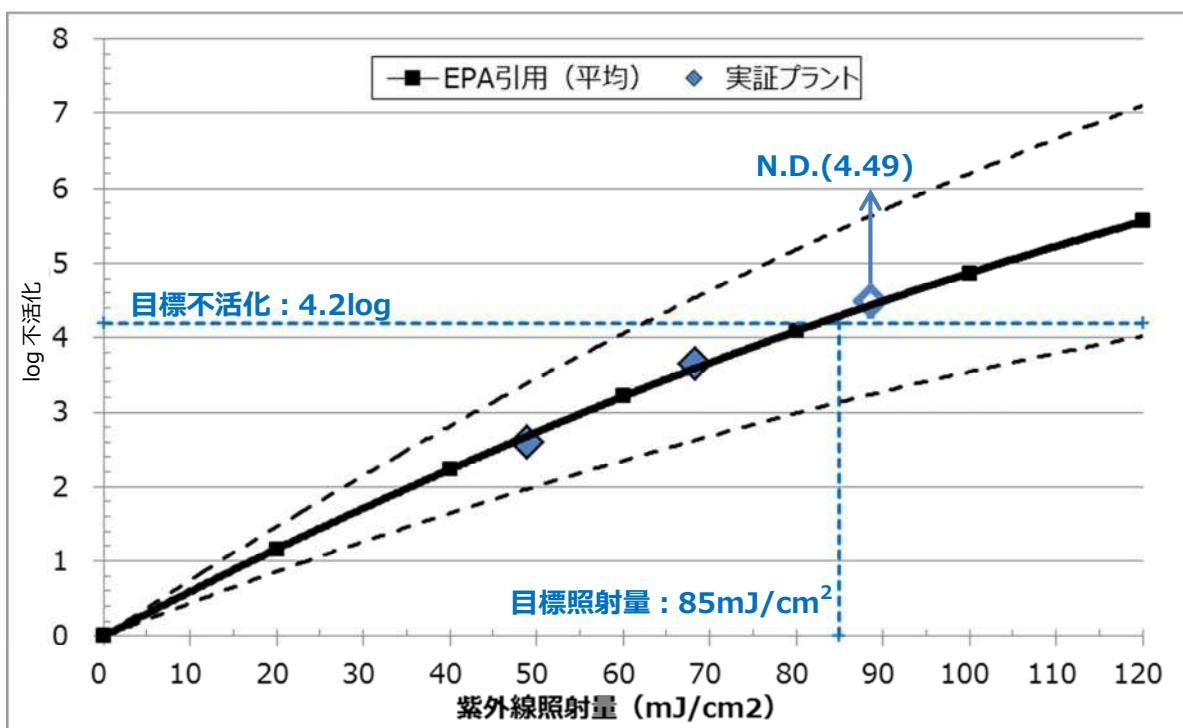


図 1-23 実証プラントでの紫外線照射量とG I タイプの log 不活性化性能

上記の結果からは、実証プラントでのG I ファージの不活性化実測結果と、EPA マニュアルのデータには、良い相関があると言える。また、RUN1 の測定結果(図中の白抜き◇)は N.D.であり、実際にはこれより高い不活性化効果が得られていたと推定できるため、本実証結果は EPA マニュアルのデータよりも概ね安全側であったと考えられる。

以上を踏まえ、システムとしてのウイルス除去性能(5.2log)を確保するために、UV 消毒装置でのウイルス log 除去目標を 4.2log とすると、適用する UV 消毒装置の紫外線照射量は 85mJ/cm² とすれば、問題がないと判断した。

また、本実証結果に基づくと、実証プラントに用いた UV 消毒装置の場合、ランプ 1 本あたりの処理可能水量は以下となる。

目標紫外線照射量は 85mJ/cm² であるので、ランプ 1 本あたりの必要照射時間は、

必要照射時間 (秒)

$$\begin{aligned}
 &= \text{目標紫外線照射量 (mJ/cm}^2 \text{)} \div \text{実証プラント UV 装置の設計紫外線強度 (mW/cm}^2 \text{)} \\
 &= 85 \div 10.2 = 8.34 \text{ 秒以上}
 \end{aligned}$$

実証プラント UV 装置のランプ 1 本あたりの有効容積は 14.3L であるので、照射時間 8.34 秒を確保するための処理可能水量は、

ランプ 1本あたりの処理可能水量 (m³/日/本)

=有効容積 (L/本) ÷ 照射時間 (秒) × 1/1,000 × 86,400

=14.3 ÷ 8.34 × 1/1,000 × 86,400 = 148m³/日/本以下

2. 容量計算およびコスト試算ケーススタディ

容量計算およびコスト試算のケーススタディとして下記の3ケースを算定した。

- ・ケース1: 再生水量 2,000m³/日
- ・ケース2: 再生水量 10,000m³/日
- ・ケース3: 再生水量 25,000m³/日

なお、計算自体はいずれのケースもほぼ同様な内容であるため、本資料では、実証フィールドとした糸満市浄化センターでの一日平均流入水量と同等であるケース2(その処理場の処理水量のほぼ全量を再生水として利用するという想定)のみを代表として示すものとした。

また、全ケースの算定結果の総括については、本項の最後に示した。

2. 1. 容量計算例

2. 1. 1. システム設計条件

(1) システム設計条件

本ケースでの設計条件は、以下の通りとする。

- ・再生水量 10,000 m³/日
- ・運転時間 24 時間/日

(2) システムの基本フロー

本システムの基本フローは以下の通りとする。

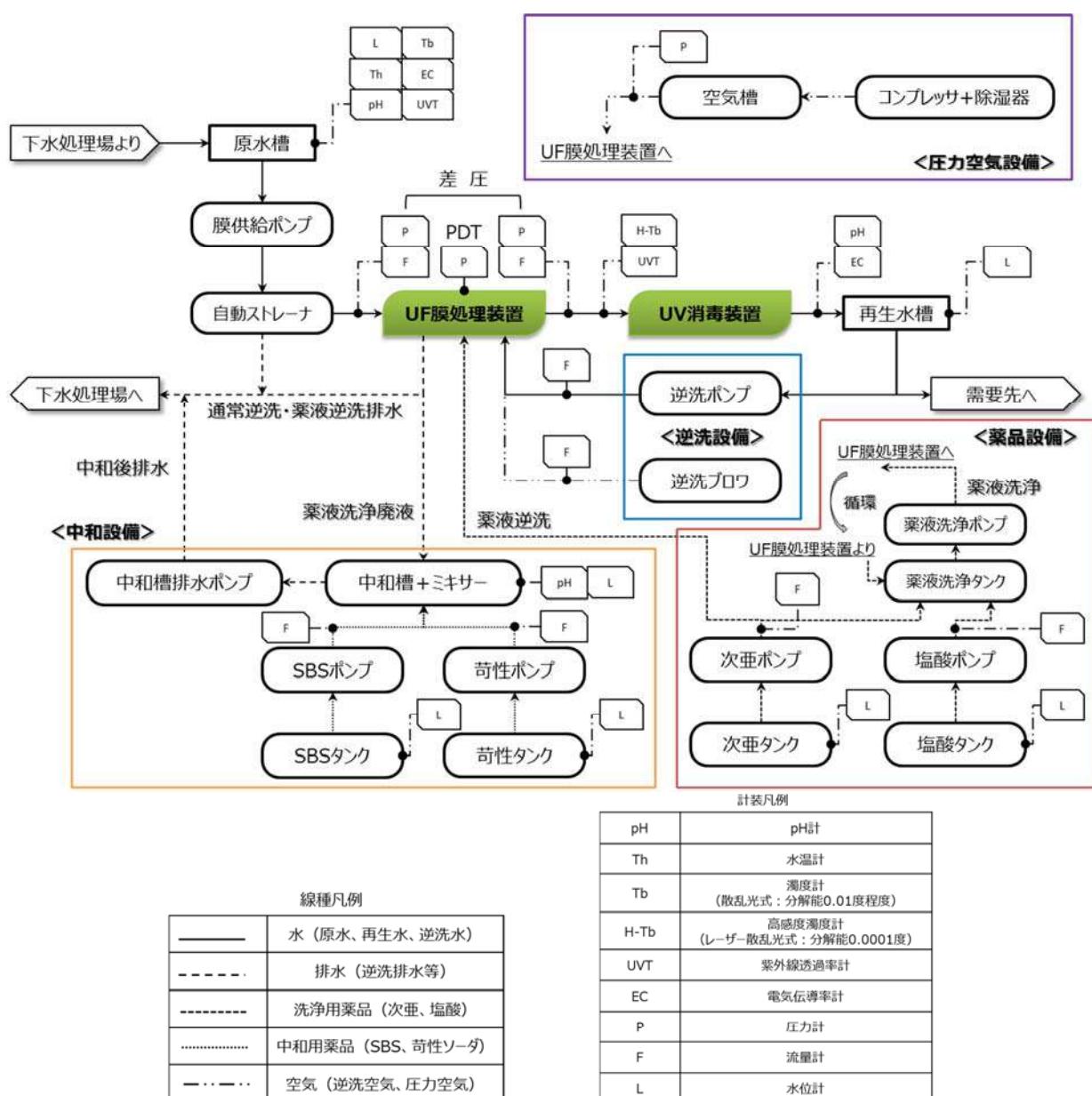


図 2-1 システムの基本フロー

2. 1. 2. UF 膜処理装置

(1)UF 膜処理装置の運転サイクル

UF膜処理装置の運転サイクルと、各工程ごとの設定時間は、以下を標準とする。

薬液逆洗については、1日の運転時間に係らず、1回/日の頻度で実施するものとする。

①基本運転サイクル

ろ過 30分	水洗浄 60秒	空気洗浄 60秒	排水 45秒	給水 70秒	(弁操作等に伴うロス考慮時間) 45秒	以降、繰り返し	薬液逆洗
	30分		4.7分				34.8分
			24時間				

②薬液洗浄詳細

排水 45秒	水+次亜洗浄 115秒	浸漬 20分	空洗 60秒	排水 45秒	水洗 80秒	空洗 60秒	排水 45秒	水洗 80秒	空洗 60秒	排水 45秒	給水 70秒
(弁操作等に伴うロス考慮時間)											
180秒											
											34.8分

③各工程の標準設定時間

表 2-1 UF 膜処理装置の工程ごとの運転時間設定

区分	工程	項目	単位	諸元	備考
通常逆洗	ろ過	継続時間	分/回	30	
	水洗浄	継続時間	秒/回	60	
		繰り返し回数	回/回	1	
	空気洗浄	継続時間	秒/回	60	
		繰り返し回数	回/回	1	
	排水	継続時間	秒/回	45	
		繰り返し回数	回/回	1	
	給水	継続時間	秒/回	70	
		繰り返し回数	回/回	1	
	(操作ロス)	考慮時間	秒/回	45	弁駆動時間等
薬液逆洗	1 工程の総継続時間		分/回	4.7	
	水・次亜洗浄	継続時間	秒/回	115	
		繰り返し回数	回/回	1	
	浸漬	継続時間	分/回	20	
		繰り返し回数	回/回	1	
	空気洗浄	継続時間	秒/回	60	
		繰り返し回数	回/回	3	
	水洗浄	継続時間	秒/回	80	リンス
		繰り返し回数	回/回	2	
	排水	継続時間	秒/回	45	
		繰り返し回数	回/回	4	
	給水	継続時間	秒/回	70	
		繰り返し回数	回/回	1	
	(操作ロス)	考慮時間	秒/回	180	弁駆動時間等
	1 工程の総継続時間		分/回	34.8	

※本設定は実証研究で用いた膜メーカーの標準設定である。他メーカーの膜を使用する場合は、そのメーカーの標準設定値に合わせて変更する。

(2) UF 膜処理装置の必要能力

UF膜処理装置は、逆洗水や洗浄排水等のロスを生じるため、所定の再生水量を得るために、ロス相当分を含んだ原水を処理する必要がある。

そのため、前述の運転時間に従い、必要処理能力を決定する。

(3) 全体の水収支

以上より、本ケースにおける全体の水収支は以下のようになる。

表 2-2 本ケースにおける水収支

項目	水量 m ³ /日	備考
供給水量【Q0】	10,844	Q1+Q4
ろ過水量【Q1】	10,429	
再生水量【Q2】	10,000	
洗浄水量【Q3】	通常逆洗	384
	薬液逆洗	45
	合計	429
給水量【Q4】	通常逆洗	405
	薬液逆洗	10
	合計	415
排水量【Q5】	洗浄分	429
	給水分	415
	合計	844

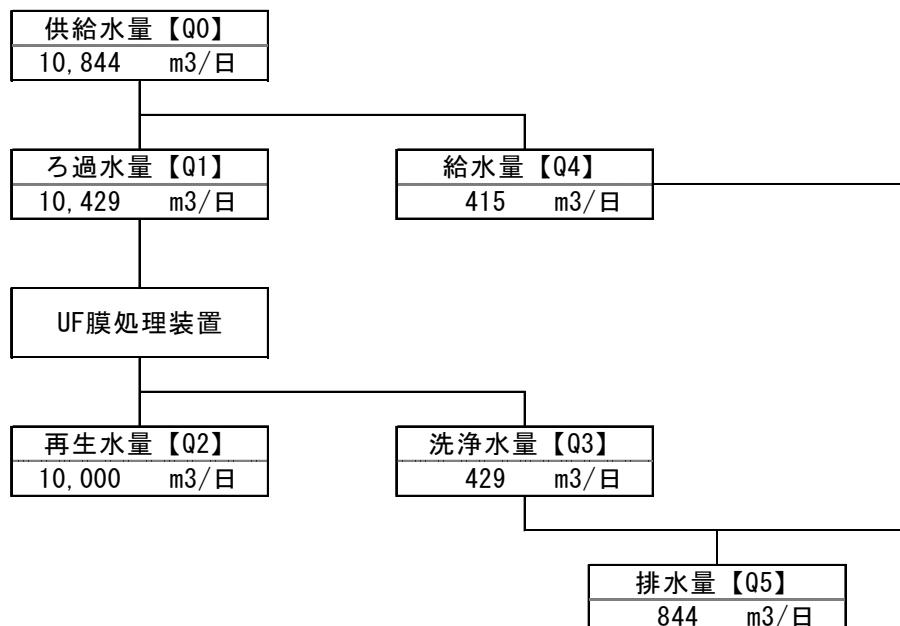


図 2-2 本ケースにおける水収支

2. 1. 3. 紫外線消毒装置

実証研究の結果を踏まえ、本システムに用いる紫外線消毒装置の基本諸元は以下のとおりとする。

表 2-3 紫外線消毒装置の基本諸元

項目	諸元	備考
目標ウィルス不活化率	4.2 log	
必要紫外線照射量	85 mJ/cm ² 以上	
原水条件	紫外線透過率 70 %	
	水温 10 °C	

2. 1. 4. システム構成リスト

システム全体の構成は以下の通りとする。

表 2-4 システムの施設リスト

区分	名称	主要寸法		
土木	機械室	19.5 mW×	32.5 mL×	4.0 mH (2,535.0 m ³)
	UV消毒水路	0.7 mW×	11.5 mL×	1.2 mH (9.7 m ³)
	再生水槽	6.0 mW×	6.0 mL×	2.0 mH (72.0 m ³)
建築	UF膜処理設備棟	19.5 mW×	32.5 mL×	5.0 mH (633.8 m ²)

※土木構造物はRC、UF膜処理設備棟は鉄骨プレハブ（ベタ基礎、杭無し）で想定。

表 2-5 システムの機器リスト

設備区分	機器名称	機器仕様	数量
UF膜ろ過設備	膜供給水ポンプ	横軸渦巻ポンプ (VVVF) $\phi 100 \times 2.14\text{m}^3/\text{分} \times 25\text{m} \times 15\text{kW}$	5 台
	自動ストレーナ	オートストレーナ $2.14\text{m}^3/\text{分} \times 400\mu\text{m} \times 0.2\text{kW}$	5 台
	UF膜ろ過装置	外圧全量ろ過方式、PVDF膜、計画分画分子量150,000 (公称孔径 : $0.01\mu\text{m}$) 膜面積 72m^2 / モジュール $\times 36$ モジュール / 系列 ※合計膜モジュール本数 : 180本 (付属品等) 膜処理装置制御盤 屋内自立型 (1面)	5 系列
	逆洗ポンプ	横軸渦巻ポンプ (VVVF) $\phi 100 \times 1.89\text{m}^3/\text{分} \times 25\text{m} \times 15\text{kW}$	2 台
	逆洗プロワ	ルーツプロワー $\phi 65 \times 3.6\text{m}^3/\text{分} \times 30\text{kPa} \times 3.7\text{kW}$	2 台
	次亜注入ポンプ	ダイヤフラムポンプ $6.54\text{L}/\text{分} \times 0.7\text{MPa} \times 0.4\text{kW}$	2 台
	次亜貯留タンク	PE製タンク 1m^3	1 基
	塩酸供給ポンプ	ダイヤフラムポンプ $6.54\text{L}/\text{分} \times 10\text{m} \times 0.4\text{kW}$	2 台
	塩酸貯留タンク	PE製タンク 0.2m^3	1 基
	SBS供給ポンプ	ダイヤフラムポンプ $6.54\text{L}/\text{分} \times 10\text{m} \times 0.4\text{kW}$	2 台
	SBS貯留タンク	PE製タンク 0.3m^3	1 基
	苛性ソーダ供給ポンプ	ダイヤフラムポンプ $6.54\text{L}/\text{分} \times 10\text{m} \times 0.4\text{kW}$	2 台
	苛性ソーダ貯留タンク	PE製タンク 0.2m^3	1 基
	薬液洗浄ポンプ	耐食マグネットポンプ $1.8\text{m}^3/\text{分} \times 20\text{m} \times 11\text{kW}$	2 台
	薬液洗浄タンク	PE製タンク 3m^3	1 基
	中和槽排水ポンプ	耐食マグネットポンプ $134\text{L}/\text{分} \times 10\text{m} \times 1.5\text{kW}$	2 台
	中和槽	PE製タンク $4\text{m}^3 \times 1.5\text{kW}$	1 基
	コンプレッサー	パッケージ式 $240\text{NL}/\text{分} \times 0.93\text{MPa} \times 2.2\text{kW}$	2 台
	空気槽	縦型円筒式 500L	1 台
UV消毒設備	UV消毒装置	開水路型 (1水路) 、自動調光機能・自動洗浄付装置付 $6\text{本}/\text{モジュール} \times 5\text{モジュール}/\text{ユニット}$ $\times 4\text{ユニット}/\text{系列}$ (1ユニット予備) ※合計ランプ本数 : 120本 (予備ユニット分含) (付属品等) 水位制御装置 (1基)	1 系列
		UV消毒装置制御盤 屋外自立型 (1面)	

表 2-6 システムの電気設備リスト

区分	名称	仕様等	数量
操作設備	膜供給設備現場操作盤	屋内自立型	5 面
	逆洗設備現場操作盤	屋内自立型	1 面
	薬品設備現場操作盤	屋内自立型	1 面
	中和設備現場操作盤	屋内自立型	1 面
計装設備	原水濁度計	赤外光散乱光式、洗浄機能付	1 台
	原水pH計	ガラス電極式	1 台
	原水温度計	熱電対式	1 台
	原水EC計	交流4電極式	1 台
	原水UVT計	吸収スペクトル式	1 台
	膜ろ過水高感度濁度計	レーザー散乱光式	1 台
	膜ろ過水UVT計	吸収スペクトル式	1 台
	再生水pH計	ガラス電極式	1 台
	再生水EC計	交流4電極式	1 台
	膜ろ過装置一次側圧力計	隔膜式	5 台
	膜ろ過装置二次側圧力計	隔膜式	5 台
	膜ろ過装置圧力減衰試験用圧力計	隔膜式	1 台
	流量計	電磁流量計 (膜供給水、膜ろ過水)	6 台
	流量計(目視型)	フロート式流量計、オリフィス式流量計等 (逆洗水、逆洗空気、洗浄用薬品、中和用薬品)	6 台
	タンク類水位計	超音波式、フロート式等	7 台

2. 1. 5. 建設費

本システムの建設に係る費用を以下に示す。

表 2-7 土木建築費

区分	算出方法	建設費 (百万円)	備考
土木	空m ³ に30,000円/m ³ を掛けて算出	78.50	
建築	建m ² に250,000/m ² を掛けて算出	158.45	
合計	—	236.95	

表 2-8 機械設備費

区分	算出方法	建設費 (百万円)	備考
UF膜処理装置	研究体の積み上げによる	320.40	付属品含む
UV消毒装置	研究体の積み上げによる	180.00	付属品含む
付帯機器	研究体の積み上げによる	85.16	
工事費	機器費の30%とする	175.66	
合計	—	761.22	

表 2-9 電気設備費

区分	算出方法	建設費 (百万円)	備考
機器費	研究体の積み上げによる	62.50	操作盤・計装
工事費	機器費の70%とする	43.70	
合計	—	106.20	

2. 2. 維持管理費計算例

2. 2. 1. 電力費

電力費の算出条件は以下とする。

表 2-10 電力費算出条件

区分	項目		単位	設定値	備考
UV以外	電動機負荷率		%	80	
UV装置	原水条件	紫外線透過率	%	78.0	
		水温	°C	30.0	
	自動調光なしランプ出力	%	100.0	ケース 1	
	自動調光ありランプ出力	%	86.5	ケース 2	
共通	電力費単価		円/kWh	15	

2. 2. 2. 薬品費

実証研究結果より、本システムに必要な薬品の量は以下を基本とする。

表 2-11 薬品使用量の設定

区分	薬品名	性状	使用量 (再生水1m ³ あたり)	
薬液逆洗	次亜塩素酸ソーダ	12%溶液	4.84 kg/1,000m ³ →	4.840 g/m ³
薬液洗浄	次亜塩素酸ソーダ	12%溶液	30.0 kg/年→	0.083 g/m ³
	塩酸	35%溶液	13.0 kg/年→	0.036 g/m ³
	SBS	34%溶液	29.0 kg/年→	0.080 g/m ³
	苛性ソーダ	25%溶液	24.0 kg/年→	0.066 g/m ³

※SBSとは次亜を中和するための「重亜硫酸ソーダ」を示す。

2. 2. 3. 消耗品費

本システムにおいて必要になる消耗品は、

- ・UF膜処理装置の膜モジュール：1回/ 7 年
- ・UV消毒装置のランプ：1回/ 12,000 時間

となる。

(1) 膜モジュール交換費

膜モジュールの交換費用は

800 千円/本

とする。

膜モジュールの交換費用

$$= \frac{800 \text{ 千円/本} \times 180 \text{ 本}}{7 \text{ 年}} = 20.57 \text{ 百万円/年}$$

(2) 紫外線ランプの交換費用

紫外線ランプの交換費用は

50 千円/本

とする。

紫外線ランプの交換費用

$$= \frac{50 \text{ 千円/本} \times 90 \text{ 本}}{12,000 \text{ 時間/年} \times 8,760 \text{ 時間/年}} = 3.29 \text{ 百万円/年}$$

(3) 合計消耗品費

以上より、本システムの消耗品費の合計は、

$$\text{消耗品費} = 20.57 \text{ 百万円/年} + 3.29 \text{ 百万円/年} = 23.86 \text{ 百万円/年}$$

とする。

2. 2. 4. 補修費

補修費については、定期的な消耗品交換を実施する膜処理装置、紫外線消毒装置以外の機器について、機器費の3%/年として算出する。

膜処理装置、紫外線消毒装置以外の機器費 85.16 百万円、

電気設備の機器費 62.50 百万円より、

$$\text{補修費} = 147.66 \times 3\%/\text{年} = 4.43 \text{ 百万円/年}$$

2. 2. 5. 汚泥処理費

(1) 算出条件

流入水のSS濃度は、実証研究期間中の平均濃度である 3.0 mg/L とし、他の条件は従来技術の算出条件と合わせて以下とする。

表 2-12 汚泥処理費算出条件

項目	単位	設定値
流入SS濃度	mg/L	3.0
埋立処分単価	円/ton	16,000
脱水汚泥含水率	%	80

(2) 算出結果

算出条件に基づいて汚泥発生量を求め、汚泥濃縮費と汚泥脱水費は「バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル」（平成16年3月）の費用関数を用いて算出した。汚泥処分費は処分単価より算出した。

算出に用いた費用関数を以下に示す。

表 2-13 汚泥処理費の算出に用いた費用関数

項目	費用関数	備 考
汚泥濃縮費	$0.030 \times Qd^{0.628}$	Qd : 発生汚泥量 (m ³ /日) の1%濃度換算値
汚泥脱水費	$0.039 \times Qy^{0.596}$	Qy : 年間発生汚泥量 (m ³ /年) の1%濃度換算値

本システムから発生する汚泥は、逆洗時の排水に含まれる固形物由来となる。また、実証研究の結果から、再生水中のSS分は不検出（検出下限以下）であったことから、流入水中のSS分は全て汚泥となるものとして計算する。

2. 2. 6. 合計維持管理費

以上より、合計の維持管理費は以下となる。

(1) 次亜塩素酸ソーダの単価 50 円/kg の場合

表 2-14 維持管理費(次亜単価 50 円/kg の場合)

項目	単位	金額
電力費	自動調光なし	百万円/年
	自動調光あり	9.81
薬品費	百万円/年	0.94
消耗品費	百万円/年	23.86
補修費	百万円/年	4.43
汚泥処理費	百万円/年	3.86
合計	自動調光なし	43.30
	自動調光あり	42.90

(2) 次亜塩素酸ソーダの単価 40 円/kg の場合

表 2-15 維持管理費(次亜単価 40 円/kg の場合)

項目		単位	金額
電力費	自動調光なし	百万円/年	10.21
	自動調光あり	百万円/年	9.81
薬品費		百万円/年	0.76
消耗品費		百万円/年	23.86
補修費		百万円/年	4.43
汚泥処理費		百万円/年	3.86
合計	自動調光なし	百万円/年	43.12
	自動調光あり	百万円/年	42.72

(3) 次亜塩素酸ソーダの単価 30 円/kg の場合

表 2-16 維持管理費(次亜単価 30 円/kg の場合)

項目		単位	金額
電力費	自動調光なし	百万円/年	10.21
	自動調光あり	百万円/年	9.81
薬品費		百万円/年	0.58
消耗品費		百万円/年	23.86
補修費		百万円/年	4.43
汚泥処理費		百万円/年	3.86
合計	自動調光なし	百万円/年	42.94
	自動調光あり	百万円/年	42.54

2. 3. GHG 排出量計算例

GHGの排出量は、電力消費、薬品使用、汚泥処理において排出するCO₂の量として算出する。

2. 3. 1. 算出条件

GHGの排出量は、算出対象項目の排出量原単位を用いて算出する。排出量原単位は、従来技術と同様の値を使用し、本システム特有のもの（塩酸等）は、研究体にて設定する。電力消費量や薬品使用量等は、維持管理費の算出で用いた数値を利用する。

表 2-17 GHG 排出量原単位

項目	単位	排出量 原単位	備考
電力消費	kg-CO ₂ /kWh	0.587	※1
薬品使用	次亜塩素酸ソーダ	kg-CO ₂ /kg	0.320
	塩酸	kg-CO ₂ /kg	0.620
	SBS	kg-CO ₂ /kg	1.940
	苛性ソーダ	kg-CO ₂ /kg	0.938
汚泥処理	濃縮・脱水に係るもの	kg-CO ₂ /kg-SS	0.474 発生汚泥量あたり※5
	埋立処分に関するもの	kg-CO ₂ /t-製品	28.35 脱水汚泥量あたり※6
建設に係るもの		管理に係るもの24%	※6
解体に係るもの		管理に係るもの0.06%	※6

※1：地球温暖化対策課ウェブサイト「電気事業者別のCO₂排出係数」、環境省地球環境局、平成27年度実績 (http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/h29_coefficient.pdf)

※2：下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き（平成21年3月）

※3：NEDO 化学関連産業分野におけるCO₂対策技術評価法の調査（1992.3）

※4：LCA実務入門（1998）

※5：21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価に関する調査報告書、土木研究所資料第4313号（平成28年1月）

※6：下水道におけるLCA適用の考え方、国土技術政策総合研究所資料第579号（平成22年2月）

建設と解体に係る排出は、従来技術と合わせ、建設・維持管理・解体撤去の比率により算出した

- ・建設に係るもの 19.3
- ・維持管理に係るもの 80.2
- ・解体に係るもの 0.5

2. 3. 2. 算出結果

以上より、本システムのGHG排出量を算出すると、以下となる。

表 2-18 GHG 排出量の算出結果

項 目		単 位	使用量等	備 考
電力消費	自動調光なし	kg-CO2/年	399, 564	
	自動調光あり	kg-CO2/年	383, 945	
薬品使用	次亜塩素酸ソーダ	kg-CO2/年	5, 750	
	塩酸	kg-CO2/年	81	
	SBS	kg-CO2/年	566	
	苛性ソーダ	kg-CO2/年	226	
	小 計	kg-CO2/年	6, 623	
汚泥処理	濃縮・脱水に係るもの	kg-CO2/年	5, 628	
	埋立処分に関するもの	kg-CO2/年	1, 683	
	小 計	kg-CO2/年	7, 311	
建設・解体	建設に 係るもの	自動調光なし	99, 508	
		自動調光あり	95, 749	
	解体に 係るもの	自動調光なし	2, 578	
		自動調光あり	2, 481	
	小 計	自動調光なし	102, 086	
		自動調光あり	98, 230	
合 計	自動調光なし	kg-CO2/年	515, 584	
	自動調光あり	kg-CO2/年	496, 109	

2. 4. 建設費・維持管理費および設置面積のまとめ

容量計算およびコスト試算について、ケース2のケーススタディを示したが、ケース1および3については、算定の結果まとめのみを以下に示す。

2. 4. 1. 建設費

表 2-19 建設費

○建設費（百万円）

項目	対象規模 (m ³ /日 : 再生水量として)			備考
	2,000	10,000	25,000	
土建	139.42	236.95	422.26	
機械	268.85	761.22	1,637.62	
電気	67.40	106.20	187.80	
合計	475.67	1,104.37	2,247.68	

2. 4. 2. ユーティリティ使用量

表 2-20 ユーティリティ使用量

○ユーティリティ使用量

項目	単位	対象規模 (m ³ /日 : 再生水量として)			備考
		2,000	10,000	25,000	
電力	kWh/年	131,400	657,000	1,642,500	0.180 kWh/再生水m ³
薬品	次亜塩素酸ナトリウム	kg/年	3,594	17,969	44,922 4.923 g/再生水m ³
	塩酸	kg/年	26	131	329 0.036 g/再生水m ³
	SBS (重亜硫酸ソーダ)	kg/年	58	292	730 0.080 g/再生水m ³
	苛性ソーダ	kg/年	48	241	602 0.066 g/再生水m ³
発生汚泥量	固形物量	t-ds/年	2.4	11.9	29.7 流入SS 3.0mg/L (100%除去) 再生水量/ろ過水量=0.922として
	汚泥量	m ³ /年	240	1,190	2,970 汚泥濃度1%として
脱水ケーキ量	t-wet/年		12.0	59.5	148.5 含水率80%として

2. 4. 3. 維持管理費

表 2-21 維持管理費

○維持管理費（千円/年）

項目	対象規模 (m ³ /日 : 再生水量として)			備考
	2,000	10,000	25,000	
電力	1,971	9,855	24,638	15円/kWh
薬品	次亜塩素酸ナトリウム	179.7	898.5	2,246.1 50円/kg
	塩酸	1.4	7.2	18.1 55円/kg
	SBS (重亜硫酸ソーダ)	3.5	17.5	43.8 60円/kg
	苛性ソーダ	2.2	10.8	27.1 45円/kg
補修費 (膜、UVの交換費は除く)	2,803	4,430	7,641	機械・電気機器費 (UF膜とUV装置は除く) の3.0%/年として算定
汚泥処理費	濃縮費	24.7	67.6	120.0 費用関数より
	脱水費	1,096.1	2,846.3	4,909.3 費用関数より
	埋立処分費	192.0	952.0	2,376.0 16,000円/t-wet(脱水ケーキ)
	小計	1,313	3,866	7,405
合計 (千円/年)	11,045	42,941	101,332	—
合計 (百万円/年)	11.05	42.95	101.34	—

2. 4. 4. 設置面積

表 2-22 設置面積

○設置面積

項目	単位	対象規模 (m ³ /日 : 再生水量として)			
		2,000	10,000	25,000	
施設概略寸法	UF膜処理設備棟	m	15.0m×25.0m	19.5m×32.5m	25.0m×45.0m
	UV消毒水路	m	0.6m×6.0m	0.6m×11.5m	0.6m×15.0m
	余裕分等	m	5.0m×15.0m	5.0m×19.5m	5.0m×25.0m
必要面積	UF膜処理設備棟	m ²	375.0	633.8	1125.0
	UV消毒水路	m ²	3.6	6.9	9.0
	余裕分等	m ²	75.0	97.5	125.0
	合計	m ²	453.6	738.2	1259.0

3. ウイルス感染リスク

ウイルスリスクとして、CREST の成果である「21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価に関する研究調査報告書(平成28年1月 国立研究開発法人土木研究所)」¹⁾におけるリスク評価の概要を以下に示す。

ここでは、農業灌漑用水として、飲料水を用いた場合と同程度のリスクを確保するために必要なウイルス log 除去性能として 5.0 log を提示している。

3. 1. ウイルス感染リスクの評価指標

3. 1. 1. リスク評価指標

再生水を農業利用することを前提として、ノロウイルス(以下、「Nov」という)に対するリスクを、健康負荷の指標である障害調整生存年数(Disability Adjusted Life Years(以下、「DALY」という))²⁾の損失という概念を用いて評価を行う。

DALY は、特定の疾病やリスク要因による健康負荷の指標であり、DALY の損失とは、特定の疾病による障害か死亡によって失われた時間を、健康で疾病による障害が無いと比較することにより求められる 1 人 1 年あたりの疾病負荷(DALYs per person per year(以下、「DALY_{pppy}」といふ))としての評価される。

なお、Nov は G I ~ G Vまでの 5 つの遺伝子型に分類される³⁾が、本評価では胃腸炎患者から高頻度で検出される NovG I 、 G II を対象とする。双方の遺伝子型とも感染胃腸炎を引き起こすことが知られている遺伝子型であるため、評価においては NovG I 、 G II の総和として取り扱う。

【リスク評価指標】 NovG I 、 G II を対象とした 1 人 1 年あたりの疾病負荷(DALY_{pppy})

3. 1. 2. リスク評価の判断基準

下水再生水の明確な DALY_{pppy} 値の基準はないが、WHO では下水再生水を農業利用する際は、飲料水の基準値 10^{-6} DALY_{pppy} を提唱値としている⁴⁾ことから、判定基準値は 10^{-6} DALY_{pppy} とする。評価にあたり、統計学手法に基づき評価値の DALY_{pppy} 値の分布の 95% が 10^{-6} 以下の場合を「適:利用可能」、DALY_{pppy} 値の分布の 68% が 10^{-6} 以下の場合を「不十分:追加処理、供給方法等のシナリオの見直しが必要」、DALY_{pppy} 値の分布の 68% が 10^{-6} 以上の場合を「不適:利用不可」とする。

【リスク評価の判断基準】 DALY_{pppy} 値分布の 95% が 10^{-6} 以下

3. 1. 3. リスクの対象者

農業利用のリスクの対象は、農業従事者および消費者の 2 者とした。農業従事者は、作業中の間接経口摂取を想定した。消費者は、最も感染リスクが高い可能性がある再生水が付着した生野菜摂取時に Nov に感染することを想定した。

【リスクの対象者】

- ・農業従事者
- ・消費者

3. 2. ウイルス感染リスク(DALY_{pppy})の算定方法3. 2. 1. DALY_{pppy} の算定方法

1人1年あたりの疾病負荷(DALYs per person per year(以下、「DALY_{pppy}」という))は以下の式により算出される。

$$\text{DALY}_{\text{pppy}} = \{1 - (P_{\text{inf}}(D))^n\} \times R_{\text{inf}} \times DB$$

ここで、

DALY_{pppy}:1人1年あたりの疾病負荷(1/人/年)

P_{inf}(D):感染確率

D:摂取病原微生物量(Copies)

n:年間暴露頻度(回/年)

R_{inf}:発症確率(Ratio of illness/infection)⁵⁾ = 0.8

Novの発症確率(R_{inf})は、感染から発症までの確率が非常に高く、既報⁶⁾では、発症確率を80%としている。Novに起因する感染胃腸炎は年齢により異なる可能性が示されているが、本評価では一律に発症確率を80%と設定した。

DB:疾病負荷(年)(Disease burden)⁷⁾ = 9.0×10^{-4}

疾病負荷(DB)とは、対象とする病原微生物に感染したことにより、通院や感染により日常生活が不能になることによる経済コスト、死亡率、疾病率で計算される特定の指標である。DBはNoVに感染したことによる患者数に対して年間を通して、通院なし、通院、入院、死亡者数から、それぞれの重みを考慮し損失生存年数(YLL)および障害生存年数(YDL)の合計値を算出し、将来起こりうる疾病負荷に対しては通常4%の割引率を考慮し、現在負荷への換算を行い算定される。なお、Novに起因する患者数に対して上記の詳細な国内のデータのはほとんどないため、本資産では参考文献²⁾を基にオランダ国内でのデータを活用した。にDBの算出表を示す。よりNovにより疾病負荷(DB)は 9.0×10^{-4} とした。
($447 / 470,000 \approx 9.0 \times 10^{-4}$)

表 3-1 障害生存年数(YDL)および損失生存年数(YLL)の疾病負荷の算定²⁾

	年間発生数 (人/年)	重み	YDL	YLL	合計値 (YDL+YLL)
感染性胃腸炎	470,000				447
通院なし	460,000	0.0007	322	---	(322)
通院	10,000	0.0062	62	---	(62)
入院	1,000	0.0078	8	---	(8)
死亡	5	1	---	55	(55)

3. 2. 2. 感染確率($P_{inf}(D)$)の算定方法

感染確率($P_{inf}(D)$)は、Nov の用量反応モデル(Dose-response モデル)により算定する。用量反応モデルとは、対象とする病原微生物において、特定の集団に感染、発症、後遺症、死亡等の影響を、病原微生物摂取量の関数で表した数学的モデルである。病原微生物の用量反応モデルは疫学データに基づき、beta-Poisson モデルや Exponential モデルなどが用いられているが⁵⁾、Nov は細胞培養や動物感染試験等による感染価を直接定量する方法が確立されておらず⁷⁾、明確な用量反応モデルが提唱されていない。近年では、Teunis et al. (2008)⁸⁾、Masago et al. (2006)⁹⁾により Nov の用量反応モデルが発表されている。Teunis et al. (2008)⁸⁾は、Nov のウイルス粒子の状態、凝集状態と分散状態を考慮したモデルが示しており、用量反応モデルとしては複雑なものとなっている。本評価においては、簡便にリスク評価が可能であり、ID₅₀が安全側に試算されていることから、Masago et al. (2006)⁹⁾が報告している以下のモデルを用いた。

$$P_{inf}(D) = 1 - \exp\left(-\frac{\ln 0.5}{ID_{50}} \times D\right)$$

ここで、

$P_{inf}(D)$: 感染確率

D: 摂取病原微生物量(Copies)

ID₅₀: 50%の確率で発症する際の摂取ウイルス量(Copies) = 10~100 個の一様分布と仮定

ID₅₀は、Teunis et al. (2008)⁸⁾では 18~1,015copies と幅広い値が示されている。一方、Masago et al. (2006)⁹⁾では 10 または 100 個であると報告されており、ID₅₀=10~100 個の範囲は、リスクを高めに見積もった安全側の仮定であるとしている。本評価では、ID₅₀=10~100 個の一様分布として仮定して用いた。

3. 2. 3. 摂取病原微生物量の算定方法

摂取病原微生物量(D)は、以下により算定する。なお、再生水濃度は、本評価では確率分布として取り扱うものとする。

3. ウイルス感染リスク

$$D = C \times V$$

ここで、

D: 摂取病原微生物量(Copies)

C: 再生水ウイルス濃度(copies/L)

V: 暴露量(L/回)

3. 2. 4. 暴露量および年間暴露頻度

農業利用に関するリスク対象者は、農業従事者および消費者とし、暴露形態、暴露量、暴露頻度は以下に示す値を用いることとした。

農業従事者は、作業時に再生水が飛沫することで間接的に経口摂取により暴露されることを想定した。消費者は、再生水が付着した生野菜を摂取することにより暴露されることを想定した。なお、生野菜の1日の摂取量は農林水産省「食糧需給表」より、H22年度の1人1年当り供給量から算出し、1日当り242gとし、毎日(365日/年)摂取するものと仮定した。

表 3-2 農業利用に関する暴露形態、暴露量、暴露頻度

利用用途	リスク対象者	暴露形態	暴露量(V)	暴露頻度(n)
農業利用	農業従事者	作業時の間接経口摂取	0.3mL/回	27.2回/年
	消費者 (生野菜摂取)	再生水が付着した作物摂取	0.242 ~ 2.42mL/回 ※作物摂取量 242g/回(g/日)として、 作物 100g 当り 0.1mL~1mL の再生水 が一様に付着した状態を想定	365回/年 ※毎日摂取

3. 3. ウイルス濃度の推定

3. 3. 1. 再生水原水のウイルス濃度

再生水原水のウイルス濃度は、那覇浄化センターでのモニタリングデータを用いる。図3-1に原水モニタリングデータを示す。

ウイルス濃度は対数正規分布に従うものとして、モニタリング結果から中央値(μ)および分散(σ)を以下のとおりとした。

$$\text{NovG I} : \mu = 9.3 \times 10^4 \text{ (copies/L)} \quad \sigma = 1.93 \times 10^5 \text{ (copies/L)}$$

$$\text{NovG II} : \mu = 6.3 \times 10^4 \text{ (copies/L)} \quad \sigma = 1.40 \times 10^5 \text{ (copies/L)}$$

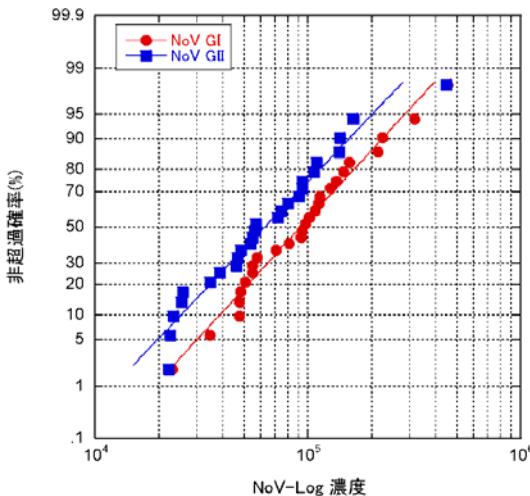


図 3-1 再生水原水の Nov 濃度モニタリング結果

3. 3. 2. 各処理技術の log 除去性能

処理技術ごとのウイルス log 除去性能は、CREST における成果から、下記のように設定した。

【低 pH 凝集+UF 膜処理】

$$\text{対数正規分布} : \mu = 3.9\text{Log} \quad \sigma = 0.9\text{Log}$$

【UF 膜+UV 処理】

$$\text{正規分布} : \mu = 5.0\text{Log} \quad \sigma = 0.3\text{Log}$$

【UF 膜+NF 膜処理】

$$\text{正規分布} : \mu = 6.7\text{Log} \quad \sigma = 0.5\text{Log}$$

【UF 膜+RO 膜処理】

$$\text{正規分布} : \mu = 7.7\text{Log} \quad \sigma = 0.5\text{Log}$$

【オゾン(O3)+凝集沈殿膜+セラミック膜処理】

$$\text{正規分布} : \mu = 6.5\text{Log} \quad \sigma = 0.5\text{Log}$$

3. 3. 3. その他の log 除去性能

その他の log 除去性能として、以下の 2 つを考慮した。

【残留塩素によるウィルス除去】

再生水の利用時には送水管等により貯留貯留施設に送水することを想定した。送水時には送水管内の再増殖・スケール防止のため塩素を投入するものとし、安全側を考慮して投入した塩素の形態が全てクロラミンになると仮定し、供給仮定で残留塩素 0.1mg/L を確保するものと設定した。なお、貯留・送水過程での Nov の自然減衰による濃度減少はないものと仮定し、クロラミンによる濃度減少のみ考慮した。なお、CREST の実験結果により CT 値 = 270mg·min/L で NovG II を 1Log 除去可能であったことから、ウィルス log 除去性能を以下のように仮定した。

貯留時間：

送水距離 = 20km HRT = 5.5 hr

貯留施設 HRT = 3.0 hr

農家貯留槽 HRT = 1.5 hr

合計 10hr (600min)

残留塩素濃度：

0.1mg/L

CT 値：

$0.1\text{mg/L} \times 600\text{min} = 60\text{ mg}\cdot\text{min/L}$

ウィルス log 除去性能：

CT 値 270 mg·min/L で 1Log 除去と仮定

$60\text{ mg}\cdot\text{min/L} \times 1\text{Log}/270\text{ mg}\cdot\text{min/L} = 0.2\text{Log}$

なお、本 log 除去は、農業従事者および消費者の双方に対して考慮する。

【水洗いによるウィルス除去】

消費者を対象とした際は、収穫－流通－加工（水洗い）で作物に付着した Nov が減衰することを考慮し、喫食までに 4Log (99.99%) 濃度が減少すると仮定した。なお、減衰割合はエンテロウイルスに関する文献⁴⁾を参考し決定した。ただし、減衰割合に関しては、腸管系ウイルスであるエンテロウイルスの感染価の減衰を参考値としているため、実際の Nov 感染価の減衰を反映していない点に留意する必要がある。

ウイルス log 除去 = 4Log

3. 3. 4. 再生水の濃度分布推定方法

再生水の濃度分布は、原水の濃度分布および log 除去分布から推定を行う。

再生水中の濃度分布は、原水の濃度分布と log 除去分布の積で示されるため、分布同士の積となる。そのため、単純に数式で計算するのは複雑かつ困難であるため、本評価における濃度分布の推定にはモンテカルロシミュレーションによる計算を行った。モンテカルロシミュレーションとは、不可実

な変数に対し乱数を発生させ、推定した確率分布から値を拾い出しシミュレーションを何度も行うことにより近似解を求める手法である(本評価の試行回数 $n=10000$ 回)。なお、計算には Crystal Ball (Ver.7.2.2)を用いた。

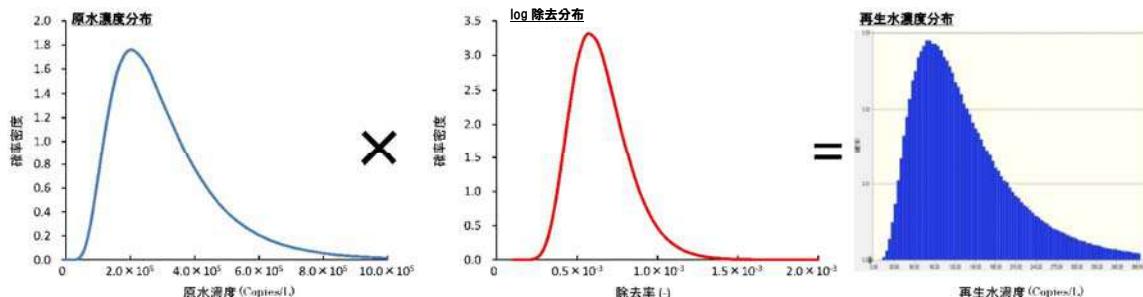


図 3-2 再生水濃度分布の推定イメージ

3. 4. ウイルス感染リスク(DALY_{pppy})の評価

上記の再生水濃度分布を算定するためのモンテカルロシミュレーションの各試行回の結果から、各試行回ごとの再生水濃度から、摂取病原微生物(D)、感染確率($P_{inf}(D)$)および DALY_{pppy} を算定する。この結果から、DALY_{pppy} の確率分布を算定することができる。

各処理法ごと再生水の Nov 感染リスク(DALY_{pppy})評価結果を以下に示す。

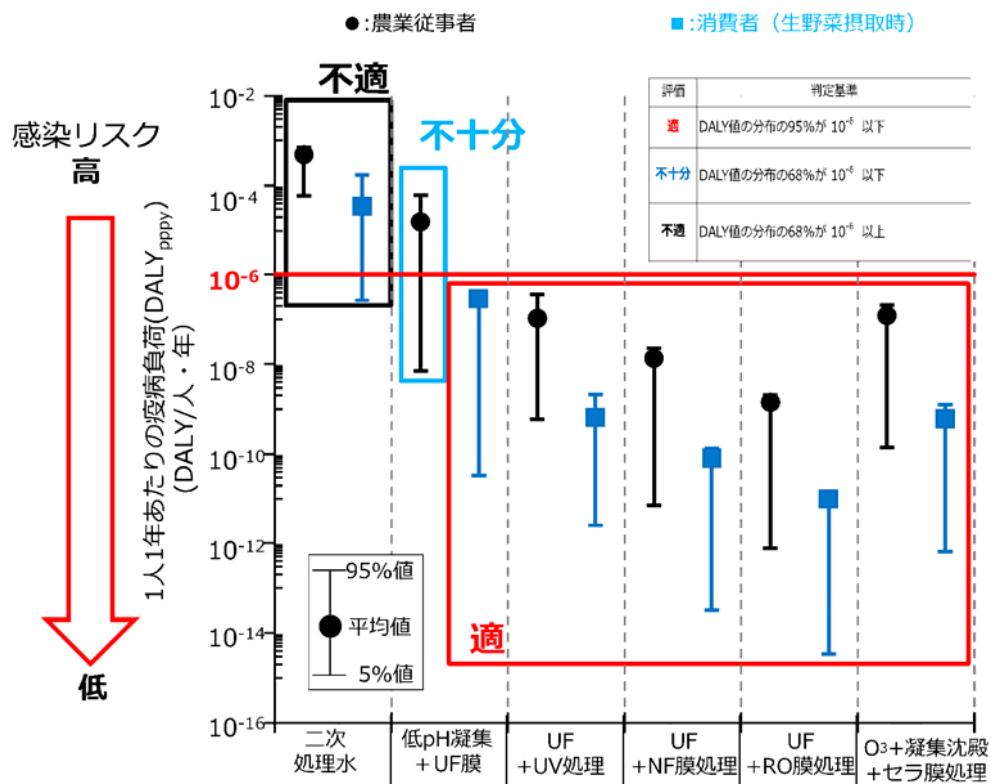


図 3-3 による再生水の Nov 感染リスク(DALY_{pppy})評価結果

Nov 感染リスク(DALY_{pppy})評価の結果から、農業従事者に対するリスクの方が高い値を示しており、5.0Log(分散 0.3Log)の除去が得られる UF+UV 処理において、95%値で DALY_{pppyo} = 10⁻⁶を下回ることができる。

なお、本検討では、スケール防止のための塩素注入による効果として 0.2Log のウイルス除去を見込んでいることから、塩素注入を行わない場合は、5.2Log のウイルス log 除去性能が必要となる。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人土木研究所、平成 28 年 1 月、21 世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価に関する研究調査報告書、【研究項目 6】水の衛生学的評価(土木研究所グループ・プリサイクルチーム)、P.518-607
- 2) Kemmeren J.M.、Mangen M.-J.J.、Y.T.H.P.van Duyhoven and A.H.Havelaar、2006、Priority setting of foodborne pathogens -Disease burden and costs of selected enteric pathogens-、RIVM report 330080001/2006、P.41-50、P.65-71、P.73-78
- 3) Zheng DP.、Ando T.、Fankhauser RL.、Beard RS.、Glass RI. and Monroe SS.、2006、Norovirus classification and proposed strain nomenclature、Virology、346(2)、312-323.
- 4) World Health Organization:WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, Volume II , Wastewater use in agriculture, P59.2006.
- 5) Teunis P.F.M.、van der Heijden O.G.、van der Giessen J.W.B.、Havelaar A.H.、The dose-response relation in humans volunteers for gastro-intestinal pathogens, 1996
- 6) Moe C.L.:Preventing Norovirus Transmission:How Should We Handle Food Handlers?、Clin Infect Dis、(48)、PP.38-40、2009.
- 7) Duizer E.、Schwab J.k.、Neill H.F.、Atmar L.R.、Koopmans P.G.M. and Estes K.M.: Laboratory efforts to cultivate noroviruses、journal of General Virology、85、PP.79-87、2004.
- 8) Teunis P.F.M.、Moe C.L.、Liu P.、Miller S.E.、Lindesmith L.、Baric R.S.、Pendu Le J.and Calderon R.L.:Norwalk Virus:How Infectious is It?、J.Med.Virol.、80、PP.1468-1476、2008
- 9) Masago Y.、Katayama H.、Watanabe T.、Haramoto E.、Hashimoto A.、Omura T.、Hirata T. and Ohgaki S.:Quatirative risk assessment of Noroviruses in drinking water based on qualitative data in Japan、Environ. Sci.Tech.、Vol.40、No.23、pp.7428-7433、2006.

4. ウィルス分析方法

二次処理水や再生水中のウィルスは、極めて低濃度で存在している。低濃度のウィルスを測定するためには、サンプルを濃縮することが必要であり、原水や UF 膜ろ過水のウィルス分析においては、有効な方法である。

しかしながら、濃縮によりウィルスが不活化するために、UV 消毒後のウィルス分析においては、UV 消毒により不活化したものとの区別ができないため、UV 消毒の不活化の効果を把握することができない。そのため、本研究においては Integrated Cell Culture-PCR 法(ICC-PCR 法)と呼ぶウィルス分析方法を採用することを提案した。

以下に、原水および UF ろ過水の分析に適用した濃縮を用いたウィルス分析方法(PCR 法)と、UV 消毒後の再生水の分析に適用した ICC-PCR 法の分析方法を示す。

また、パイロットプラント規模での処理性能の確認においては、モデルウィルス(MS2)を高濃度に添加して評価を行うことができるが、その際には一般的な培養法による分析が可能であり、その概要についても参考として示す。

4. 1. PCR(Polymerase Chain Reaction(ポリメラーゼ連鎖反応))法

二次処理水や再生水中には、ウィルスが低濃度で存在していると考えられるため、サンプルを濃縮することが必要である。本研究では Katayama ら(2002)の陰電荷膜を用いたウィルス濃縮法によりサンプルを濃縮した。近年、この濃縮方法は多くの文献で広く用いられている(Fong et al.、 2005、 2010; Haramoto et al.、 2005、 2013; Gersberg et al.、 2006; Hansman et al.、 2007; Gentry et al.、 2009; Suzuki et al.、 2011; Tian et al.、 2011; Kitajima et al.、 2011、 2013)。1L のサンプルを陰電荷膜法により濃縮し、約 650μL の濃縮液を得た。濃縮液からのウィルス RNA の抽出は QIAamp Viral RNA Mini Kit(QIAGEN 52904)を用いて行った。抽出した RNA は、SuperScriptTM First-Strand Synthesis System for RT-PCR (Invitrogen 11904-018)を用いて RT 反応を行い、cDNA を得た。この合成した cDNA を TaqMan[®]プローブを用いた Real-time PCR により定量した。PCR の反応液は表 4-1 に示す組成で調整し、マスターMixは TaqMan[®]Gene Expression Master Mix (Applied Biosystems、 4369016) を用いて、Thermal Cycler Dice[®] Real Time System (Takara、 TP800)により検出した。PCR は表 4-2 に示したサーマルサイクリング条件により行った。表 4-3～表 4-7 に各種 RNA ウィルス検出ためのプライマー、TaqMan プローブの配列およびアニーリング温度を示した。TaqMan プローブの 5' 末端は FAM (レポーター色素、6-carboxyfluorescein) により修飾した。また、TaqMan プローブの 3' 末端は TAMRA (クエンチャーカラム、6-carboxytetramethylrhodamine) もしくは MGB-NFQ (Minor Groove Binder – Non Fluorescent Quencher) により修飾した。核酸定量に際して、検量線作成用のスタンダード DNA としてターゲット DNA の増幅領域と相同的な配列を持つプラスミド DNA かオリゴ DNA のいずれかを用いた。検量線作成用 DNA は、ターゲットウイルスのサンプル中濃度により、低濃度の場合は、10 倍段階希釈により、 $10^4\text{-}10^0$ copies/reaction、高濃度の場合は、100 倍段階希釈により、 $10^8\text{-}10^0$ copies/reaction のものを作成し、各希釈段階につき 2 連で検出操作に供した。ここで、qPCR (quantitative PCR; qPCR) にお

4. ウイルス分析方法

ける検出限界を 1.0 copies/L とすると、検出下限(以下、ND)は約 100 copies/L(2-log(copies/L))程度となる。

表 4-1 PCR 反応液の組成

Component	Amount
2 × Master mix	12.5 μL
Sense primer	10 pmol each
Antisense primer	10 pmol each
TaqMan probe	2.5 pmol each
Nuclease free water	Adequate
Sample (cDNA)	5.0 μL
Total	25 μL

表 4-2 PCR サーマルサイクリング条件

Stage 1 (1 Cycle)		Stage 2 (50 Cycle)	
Step 1	Step 2	Step 1	Step 2
Incubation 50 °C (2 min)	Enzyme Activation 95 °C (10 min)	Denature	Annealing, Extention 使用するプライマーに応じて変更した

表 4-3 GI-NoV 検出用プライマー、TaqMan プローブ配列

Virus	Function	Sequence (5' → 3')	Length (nt)	Product size (bp)
GI-NoV	Forward primer	CGYTGGATGCGNTTYCATGA	20	85
	Reverse primer	CTTAGACGCCATCATCATTYAC	22	
	TaqMan probe	FAM-AGATYGCATCYCCTGTCCA-TAMRA	20	
PCR : 95°C 15sec → 56°C 60sec Reference : Kageyama et al., 2003				

表 4-4 GII-NoV 検出用プライマー、TaqMan プローブ配列

Virus	Function	Sequence (5' → 3')	Length (nt)	Product size (bp)
GII-NoV	Forward primer	CARGARBCNATGTTYAGRTGGATGAG	26	98
	Reverse primer	TCGACGCCATCTTCATTCA	21	
	TaqMan probe	FAM-TGGGAGGGCGATCGCAATCT-TAMRA	20	
PCR : 95°C 15sec → 56°C 60sec Reference : Kageyama et al., 2003				

表 4-5 RoV 検出用プライマー、TaqMan プローブ配列

Virus	Function	Sequence (5' → 3')	Length (nt)	Product size (bp)
RoV	Forward primer	ACCATCTACACATGACCCTC	20	87
	Reverse primer	GGTCACATAACGCC	16	
	TaqMan probe	FAM-ATGAGCACAAATAGTTAA-AAGCTAACACTGTCAA-TAMRA	33	

PCR : 94°C 20sec → 60°C 60sec
Reference : Pang et al., 2004, 2010

表 4-6 AiV 検出用プライマー、TaqMan プローブ配列

Virus	Function	Sequence (5' → 3')	Length (nt)	Product size (bp)
AiV	Forward primer	GTCTCCACHGACACYAAYTGGAC	23	108-111
	Reverse primer	GTTGTACATRGCAAGCCCAGG	20	
	TaqMan probe	FAM-TTYTCCTTYGTGCGTGC-MGB-NFQ	17	

PCR : 95°C 15sec → 60°C 60sec
Reference : Kitajima et al., 2013

表 4-7 PMMoV 検出用プライマー、TaqMan プローブ配列

Virus	Function	Sequence (5' → 3')	Length (nt)	Product size (bp)
PMMoV	Forward primer	GAGTGGTTGACCTAACGTTGA	24	86
	Reverse primer	TTGTCGGTTGCAATGCAAGT	20	
	TaqMan probe	FAM-CCTACCGAAGCAAATG-MGB-NFQ	16	

PCR : 95°C 15sec → 60°C 60sec
Reference : Zhang et al., 2006

4. 2. 培養法(Cell Culture 法)

シャーレに重層寒天を用いた下培地を行った上に、MS2 を含んだサンプルを投入し、上培地を行つて 37°C の条件下で 18~24 時間の培養を行う。30~300 のプラーク(溶菌斑)が形成した希釈倍率のプレート上のプラーク(溶菌斑)を数えてファージ数(PFU)とする。

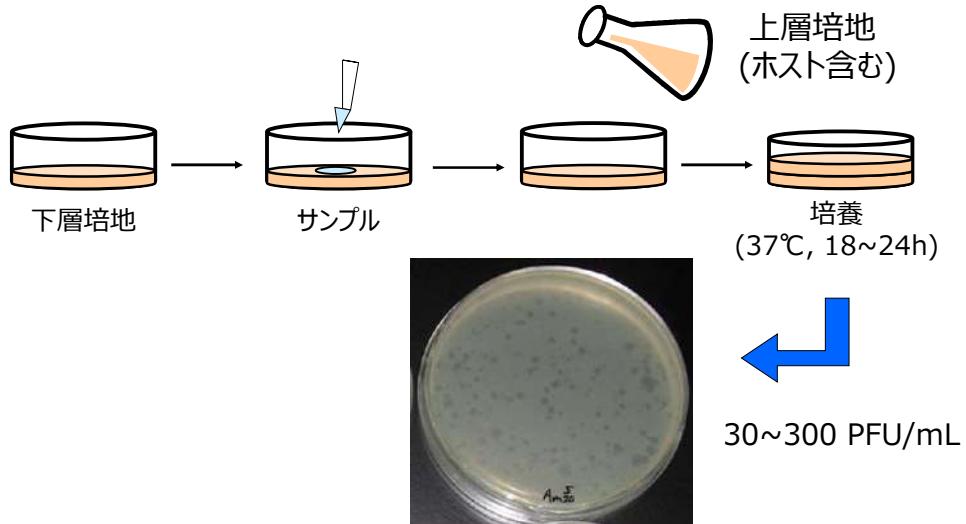


図 4-1 培養法による MS2 ファージの分析

4. 3. Integrated Cell Culture-PCR 法 (ICC-PCR 法)

ICC-PCR 法は、培養法と PCR 法を組み合わせウイルス不活化評価が可能な方法である。図 4-2 に ICC-PCR 法を用いた大腸菌ファージの検出原理を示す。サンプルを F-RNA ファージのホスト (WG49) を含む液体培地と混合培養することで F-RNA ファージを増殖させ、その後 RT-PCR を行うことで、対象とする遺伝子型の感染力の有無を判断できる。この方法では、定性的な結果しか得られないが、同時に MPN 法を適用することにより定量性の有るデータを取得することができる。しかし、この方法は感受性細胞 (ホスト) が検出されてないノロウイルス等の病原ウイルスへの適用はできない。

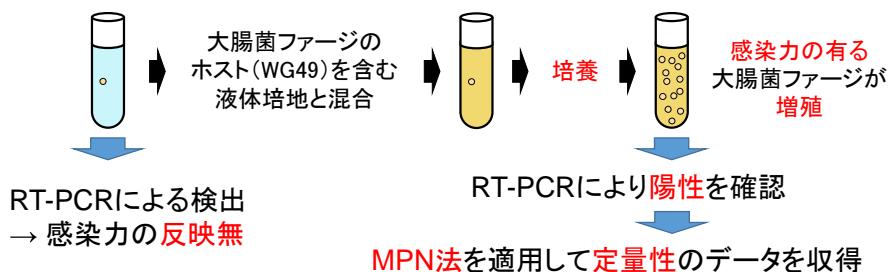


図 4-2 ICC-PCR 法を用いた大腸菌ファージの検出

参考文献

- Fong, T., Griffin, D. W. and Lipp, E. K: Molecular Assays for Targeting Human and Bovine Enteric Viruses in Coastal Waters and Their Application for Library-Independent Source Tracking. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 71, No. 4, pp. 2070-2078, 2005.

- 2) Fong、T.、Phanikumar、M. S.、Xagoraraki、I. and Rose、J. B.: Quantitative Detection of Human Adenoviruses in Wastewater and Combined Sewer Overflows Influencing a Michigan River. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 76, No. 3, pp. 715-723, 2010.
- 3) Gentry、J.、Vinjé、J. and Lipp、E. K.: A rapid and efficient method for quantitation of genogroups I and II norovirus from oysters and application in other complex environmental samples. *Journal of Virological Methods*, Vol. 156, No. 1-2, pp 59-65, 2009.
- 4) Gersberg、R. M.、Rose、M. A.、Robles-Sikisaka、R. and Dhar、A. K.: Quantitative Detection of Hepatitis A Virus and Enteroviruses Near the United States-Mexico Border and Correlation with Levels of Fecal Indicator Bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 72, No. 12, pp. 7438-7444, 2006.
- 5) Hamza、I. A.、Jurzik、L.、Uberla、K. and Wilhelm、M.: Evaluation of pepper mild mottle virus, human picobirnavirus and Torque teno virus as indicators of fecal contamination in river water. *Water Research*, Vol. 45, pp 1358–1368, 2011
- 6) Hansman、G. S.、Sano、D.、Ueki、Y.、Imai、T.、Oka、T.、Katayama、K.、Takeda、N. and Omura、T.: Sapovirus in Water, Japan. *Emerging Infectious Diseases*, Vol. 13, No. 1, pp. 133-135, 2007.
- 7) Haramoto、E.、Katayama、H.、Oguma、K.、Yamashita、H.、Tajima、A.、Nakajima、H. and Ohgaki、S.: Application of Cation-Coated Filter Method to Detection of Noroviruses, Enteroviruses, Adenoviruses, and Torque Teno Viruses in the Tamagawa River in Japan. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 71, No. 5, pp 2403–2411, 2005.
- 8) Haramoto、E.、Kitajima、M.、Kishida、N.、Konno、Y.、Katayama、H.、Asami、M. and Akiba、M.: Occurrence of Pepper Mild Mottle Virus in Drinking Water Sources in Japan. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 79, No. 23, pp 7413-7418, 2013.
- 9) Kageyama、T.、Kojima、S.、Shinohara、M.、Uchida、K.、Fukushi、S.、Hoshino、F. B.、Takeda、N. and Katayama、K.: Broadly Reactive and Highly Sensitive Assay for Norwalk-Like Viruses Based on Real-Time Quantitative Reverse Transcription-PCR. *Journal of Clinical Microbiology*, Vol. 41, No. 4, pp. 1548-1557, 2003.
- 10) Katayama、H.、Haramoto、E.、Oguma、K.、Yamshita、H.、Tajima、A.、Nakajima、H. and Ohgaki、S.: One-year monthly quantitative survey of noroviruses, enteroviruses, and adenoviruses in wastewater collected from six plants in Japan. *Water Research*, Vol. 42, No. 6-7, pp 1441-1448, 2008.
- 11) Kitajima、M.、Haramoto、E.、Phanuwat、C. and Katayama、H.: Prevalence and Genetic Diversity of Aichi Viruses in Wastewater and River Water in Japan. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 77, No. 6, pp 2184–2187, 2011.
- 12) Kitajima、M.、Hata、A.、Yamashita、T.、Haramoto、E.、Minagawa、H. and Katayama、H.: Development of a Reverse Transcription-Quantitative PCR System for Detection and Genotyping of Aichi Viruses in Clinical and Environmental Samples. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 79, No. 13, pp 3952-3958, 2013.
- 13) Pang、X. L.、Lee、B.、Boroumand、N.、Leblanc、B.、Preiksaitis、J. K. and Yu C. C.: Increased Detection of Rotavirus Using a Real Time Reverse Transcription-Polymerase Chain Reaction (RT-PCR) Assay in Stool Specimens From Children With Diarrhea. *Journal of Medical Virology*, Vol. 72, pp 496–501, 2004.
- 14) Pang、X. L.、Cao、M.、Zhang、M. and Lee、B.: Increased sensitivity for various rotavirus genotypes in stool specimens by amending three mismatched nucleotides in the forward primer of a real-time RT-PCR assay. *Journal of Virological Methods*, Vol. 172, pp. 85-87., 2010.
- 15) Suzuki、Y.、Narimatsu、S.、Furukawa、T.、Iwakiri、A.、Miura、M.、Yamamoto、S. and Katayama、H.: Comparison of real-time reverse-transcription loop-mediated isothermal

4. ウイルス分析方法

- amplification and real-time reverse-transcription polymerase chain reaction for detection of noroviruses in municipal wastewater. *Journal of Bioscience and Bioengineering*、Vol. 112、No. 4、pp 369-372、2011.
- 16) Tian、P.、Yang、D.、Pan、L. and Mandrell、R.: Application of a receptor-binding-capture qRT-PCR assay to concentrate human norovirus from sewage and to study the distribution and stability of the virus. *Applied and Environmental Microbiology*、Vol 78、No. 2、pp 429–436、2011.
- 17) Zhang、T.、Breitbart、M.、Lee、W. H.、Rum、J. Q.、Wei、C. L.、Soh、S. W.、Hibberd、M. L.、Liu、E. T.、Rohwer、F. and Ruan、Y: RNA viral community in human feces: prevalence of plant pathogenic viruses. *PLoS Biology*、Vol. 4、No. 1、e3、pp 108-118、2006.

5. UF 膜の薬液(浸漬)洗浄方法

5. 1. 薬液(浸漬)洗浄の実施頻度

薬液(浸漬)洗浄は原則1年に1回実施するものとする。

ただし、膜間差圧の観測を行い、規定の差圧(200 kPa)を超える場合には、1年経過前であっても薬液(浸漬)洗浄を実施する。

薬液(浸漬)洗浄の実施頻度：1年に1回を標準とする。

※ ただし、規定の膜間差圧(200 kPa)を超える場合には、1年経過前であってを実施する。

5. 2. 薬液(浸漬)洗浄の実施方法

洗浄工程の概要是表5-1に示すとおりである。薬液(浸漬)洗浄は、酸(浸漬)洗浄工程の後に次亜(浸漬)洗浄工程を組み合わせたものであり、詳細フローを図5-1(1)(酸洗浄工程)および図5-1(2)(次亜洗浄工程)に示す。

なお、以降に示す薬液量は、実証研究において使用した再生水量1,000m³/日の施設の例であるため、実際の施設においては、容量計算等で算出した薬液量にて洗浄を実施する。

表 5-1 薬液(浸漬)洗浄の概要

項目	内容	備考
概略工程	[通常逆洗→原水供給停止→排水→] →酸(浸漬)洗浄→排水→水逆洗(リノス)→排水→ →次亜(浸漬)洗浄→排水→水逆洗(リノス)→排水→ →原水供給再開 [→通常運転]	全て手動とする 排水は中和処理を行う
酸濃度	塩酸 0.1mol/L	モジュール内濃度
次亜濃度	有効塩素 3,000mg/L	モジュール内濃度
洗浄時間	酸(浸漬)洗浄→排水→水逆洗(リノス)→排水→ 2時間 45秒 5分 45秒 次亜(浸漬)洗浄→排水→水逆洗(リノス)→排水→ 2時間 45秒 5分 45秒 →原水供給 70秒	

酸洗浄工程

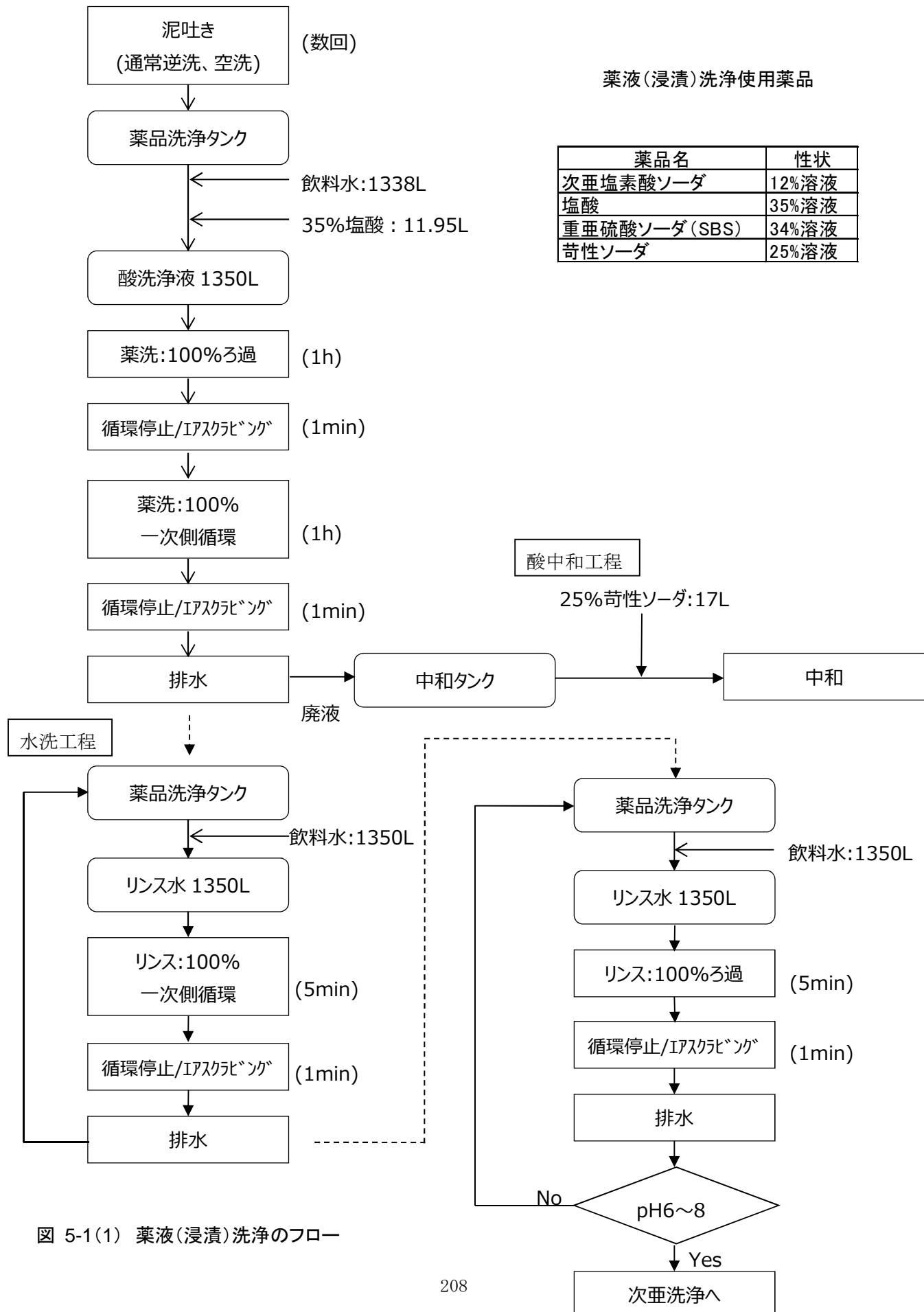


図 5-1(1) 薬液(浸漬)洗浄のフロー

次亜洗浄工程

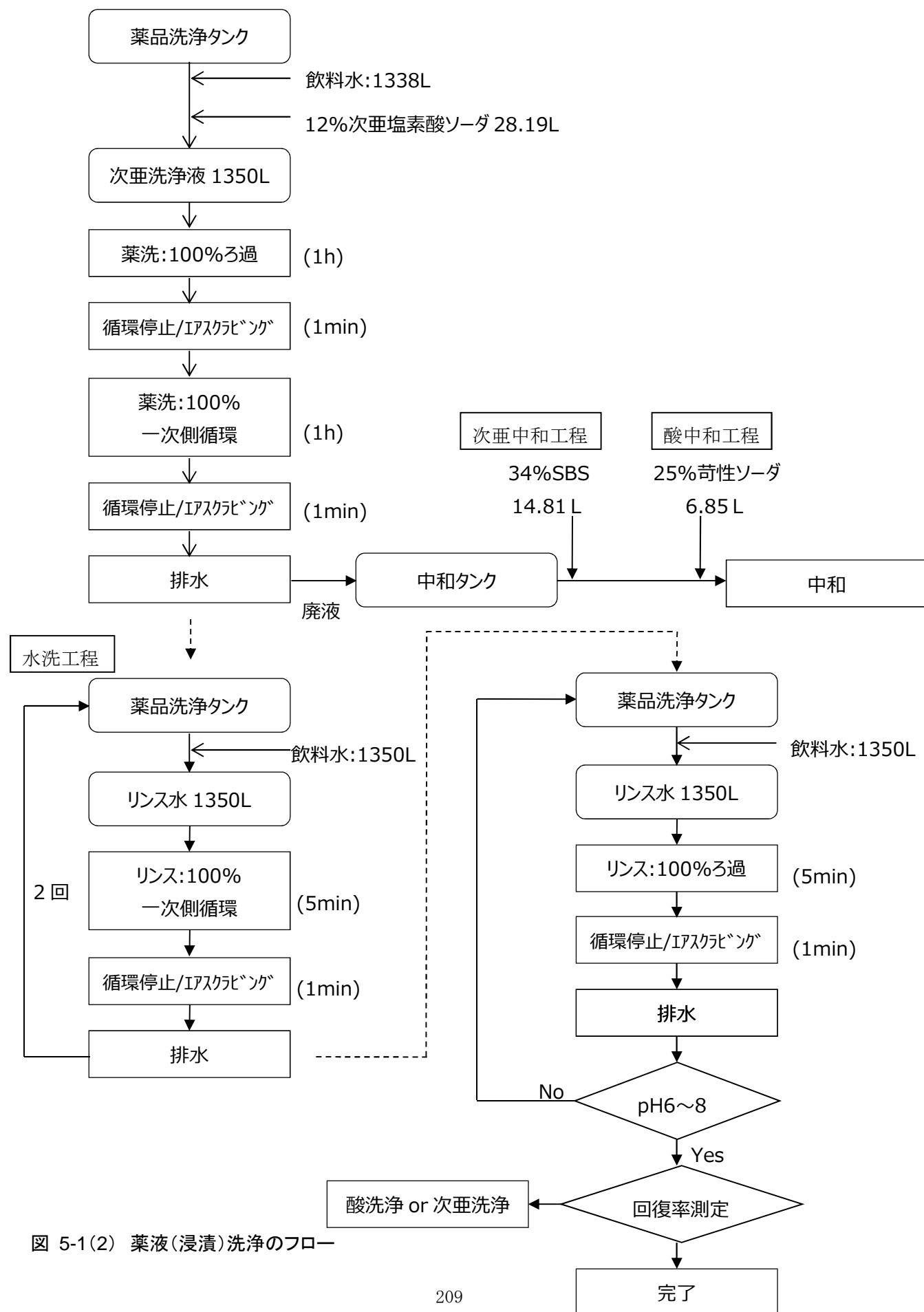


図 5-1(2) 薬液(浸漬)洗浄のフロー

6. UF 膜の圧力減衰試験要領

実証実験において、UF 膜の膜破断の検知として、UF 膜の圧力減衰試験が有効であることが確認されている。ここでは、UF 膜の圧力減衰試験の要領について示す。

6. 1. UF 膜モジュールのユニット構成

UF 膜モジュールは、おおむね下図に示すように構成されており、7つの弁(V-1～7)で各種の水および空気を制御している。

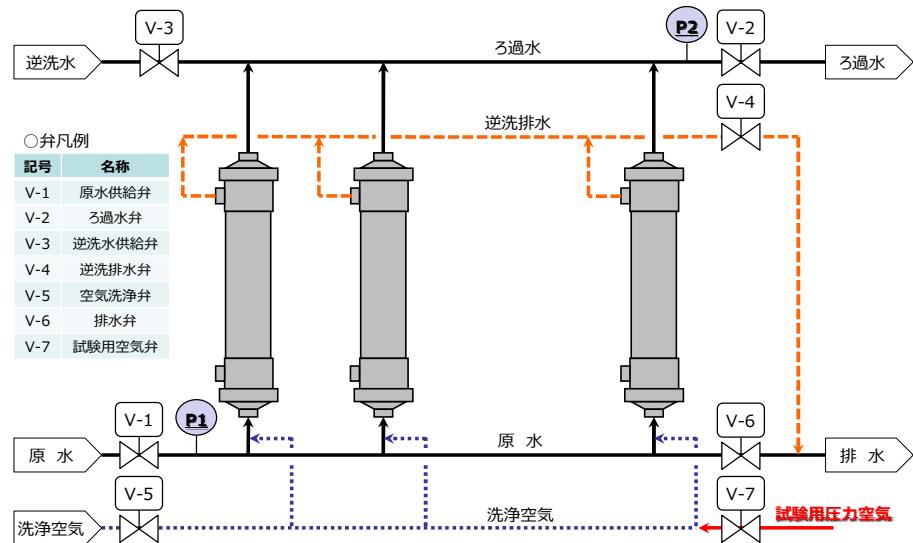


図 6-1 UF 膜モジュールのユニット構成

6. 2. 圧力減衰試験の手順

UF 膜の圧力減衰試験は、ユニット単位で以下の手順により実施する。

- ① 通常の逆洗実施後、運転を停止し、全バルブを「閉」。
- ② V-2、V-4、V-6 を「開」にしてユニット内部の水を抜く。
- ③ V-4、V-6 を「閉」、V-7 を「開」。
- ④ ユニット 1 次側の圧力(P1)が規定圧(100kPa)になるまで空気で圧力を掛け、圧力が安定してから V-7 を「閉」。
- ⑤ 5 分間整置し、5 分後の圧力(P1)を読み取り、圧力の低下値(ΔP)を測定。
- ⑥ 圧力低下値が規定値以上の場合は、異常モジュールの特定を行う。

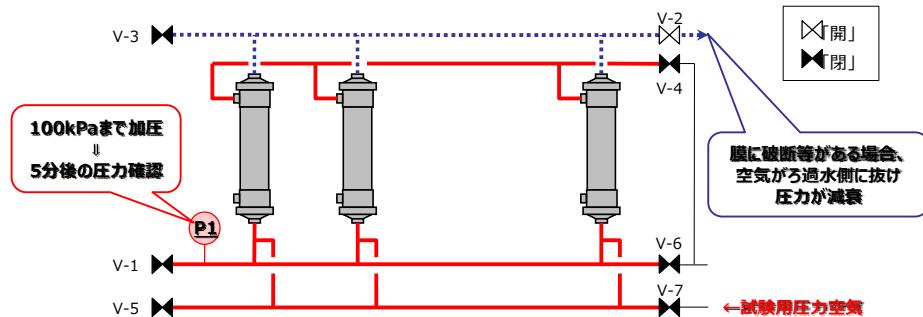


図 6-2 UF 膜の圧力減衰試験の概要

6. 3. 膜破断の判断基準

膜破断の判断基準は、空気圧を掛けて整置を始めてから300秒(5分)経過後に、初期値から20%以上低下していれば異常と判断する。

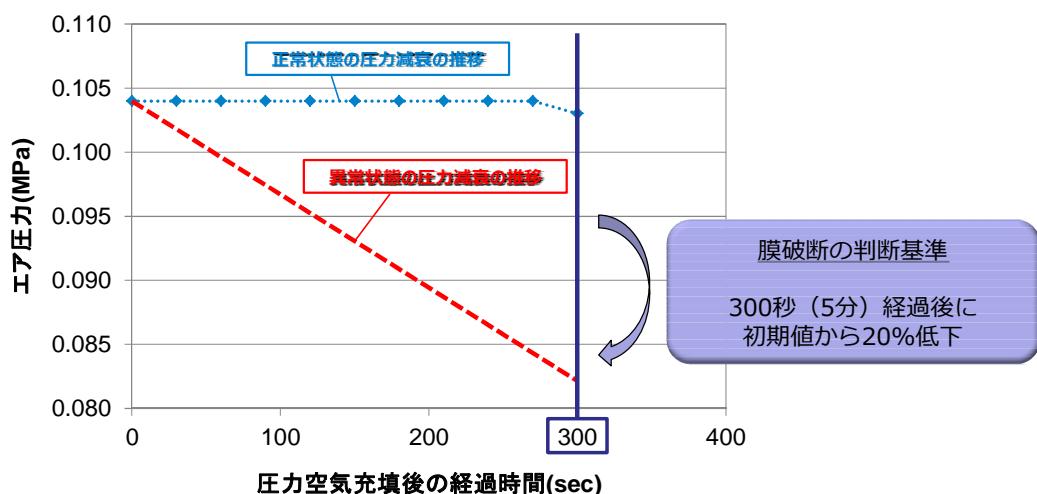


図 6-3 膜破断の判断基準

6. 4. 圧力減衰試験の実施頻度

圧力減衰試験の実施頻度は、実施にかかるコストや手間と、膜破断が発見が遅れることによる影響を考慮して、1ヶ月に1回を標準とする。

圧力減衰試験の実施頻度：1ヶ月に1回を標準とする。

6. 5. 異常モジュールの特定方法

UF 膜の圧力減衰試験により、圧力の低下が見られた場合には、以下の手順により異常モジュールの特定を行う。

- ① V-1 と V-4 を「開」し、ポンプを使って膜の 1 次側に原水を張る。(他の弁は「閉」)
- ② V-1 を「閉」し、膜の 2 次側から 100kPa 以下で空気圧力を掛け、モジュールに聴診器または耳を当ててエアバブル音を聞く。(V-4 は「開」のまま)
- ③ バブル音のするモジュールのろ過水側配管を外し、膜モジュール上部(ろ過水側)のキャップを開ける。
- ④ V-6 を「開」してモジュール内の水を抜き、V-4、V-6 を「閉」にして、V-7 から1次側に 100kPa 以下の空気圧力を掛ける。
- ⑤ モジュールの端面に水を張り、エアが漏れている箇所を特定する。



図 6-4 異常モジュールの特定

6. 6. 圧力減衰試験の自動化

関連する 7 つの弁を全て自動弁にし、自動開閉制御を行うことにより、圧力減衰試験を自動化することが可能である。圧力の減衰は、経過時間とその時の瞬時圧力を自動で記録し、規定時間経過後の圧力から異常の有無を自動で判断させることも可能である。

なお、個別のモジュールの関連する流入・流出および空気弁の3つの弁を、それぞれのモジュール全て自動弁にすることで、圧力減衰試験を自動化することも可能であるが、コストが大きくなることから、実施例は少ない。

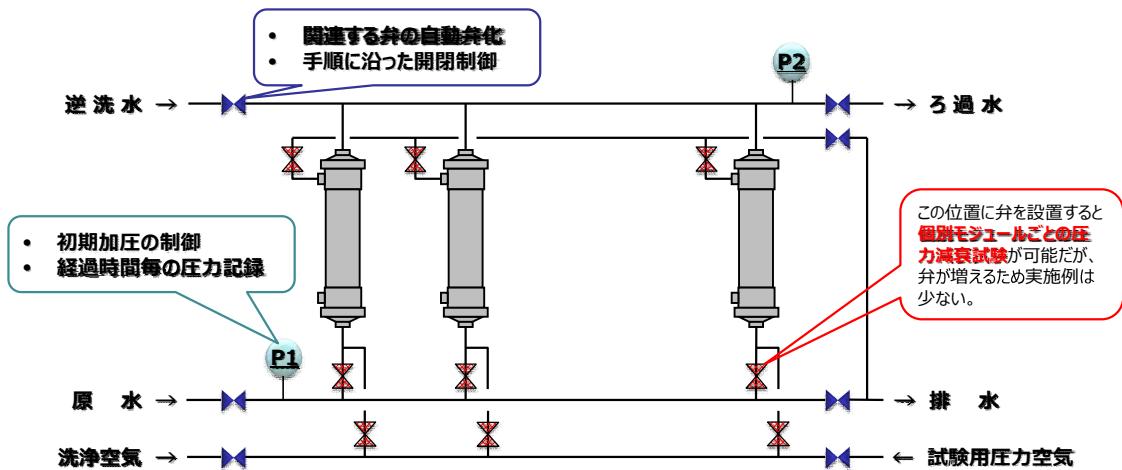


図 6-5 圧力減衰試験の自動化

7. 高感度濁度計清掃方法

UF 膜処理水の高感度濁度計によるモニタリングは膜破断検知の初動的役割を果たし、プロセスの安全性を担保する上で有力な手順である。しかしながら、濁度計に接続する配管チューブおよび装置内部の測定セルは UF 膜ろ過後の処理水であっても、スケールの発生によって汚れが生じ、濁度上昇やベースラインのシフトなどの懸念がある。このため、本システムの高感度濁度計は適切な点検頻度を持って清掃、配管チューブの交換等を実施すべきである。以下に高感度濁度計の構造と清掃手順を示す。

7.1. 高感度濁度計の構造

高感度濁度計は図 7-1 に示すような構造を有し、レーザー光による濁度の検出によって、分解能として 0.0001 度を超える分解能をもち、0.0010～0.0100 度の桁の変化を検出できる精度を有する濁度計である。

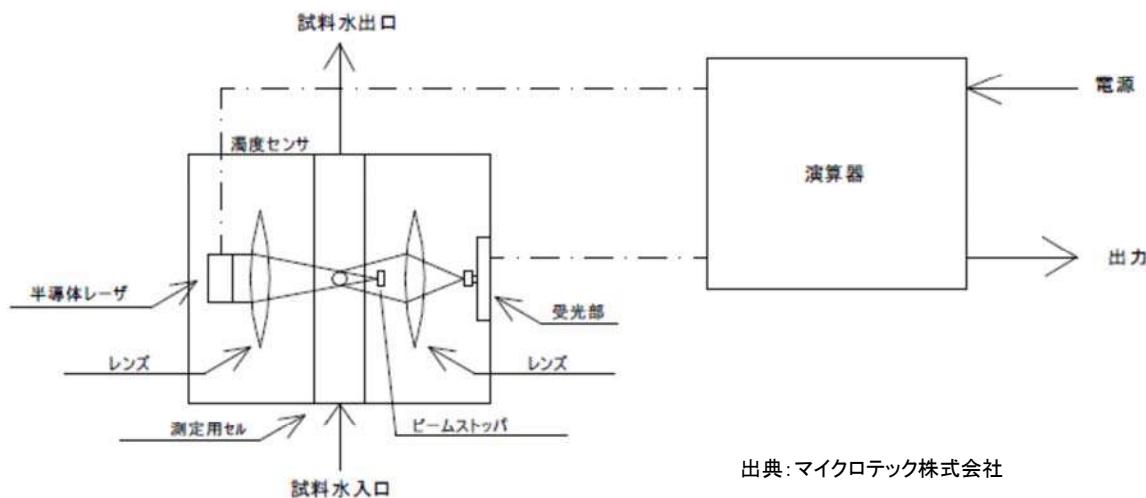


図 7-1 高感度濁度計の構造

7.2. 高感度濁度計内のスケール発生

実証研究における高感度濁度計の長期的観測結果から、清掃を実施しない 8 月から 11 月までの濁度計指示値は、0.02 を超える日もあった。

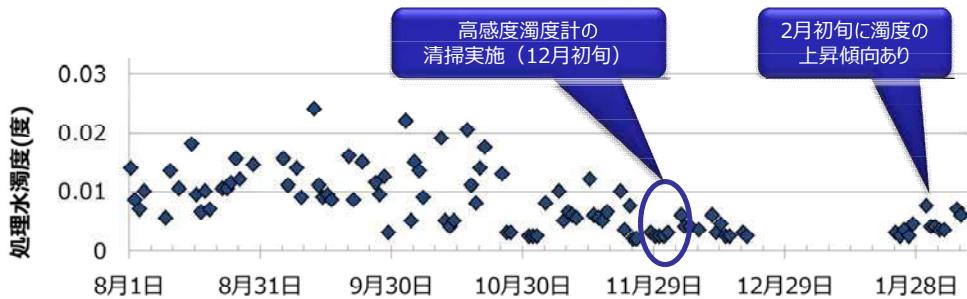


図 7-2 高感度濁度計の長期的な観測結果

この原因調査として、実証研究において高感度濁度計の点検を実施し、配管チューブ内部でのスケール発生による汚れ(図 7-3 参照)を確認した。汚れの原因であるスケールは消毒前であるため生物膜が疑われたが、UF 处理水のサンプリングによって大腸菌は不検出であったため、単純な汚れが原因といえる。この汚れを清掃したことにより、濁度の指示値が安定したことから、高感度濁度計の汚れが濁度指示値の上昇の原因であることが確認された。



図 7-3 高感度濁度計の配管チューブ内のスケール発生状況

7. 3. 高感度濁度計内の清掃頻度

実証研究において、使用後期間が経過すると配管チューブ内に茶色っぽいスケールが発生していくことが確認されたことから、定期的な高感度濁度計の清掃が必要となる。

高感度濁度計の長期的な観測結果(図 7-2 参照)から、清掃実施後は安定した指示値を示すが、清掃実施後 2 ヶ月経過くらいに濁度の上昇傾向が見られる。この上昇傾向が見られる前に清掃を行う必要があることから、清掃頻度は 1 ヶ月に 1 回程度が妥当と考えられる。

なお、スケールの発生は、水質や気温等によって変化する可能性があるため、清掃頻度は、適宜調整を行うことが必要である。

7. 4. 高感度濁度計の点検および清掃の手順

実証研究における点検・清掃の実施例をもとに、高感度濁度計の標準的な点検および清掃の実施手順を以下に示す。なお、各工程に対応する番号を図 7-4 および図 7-5 の中に図示する。

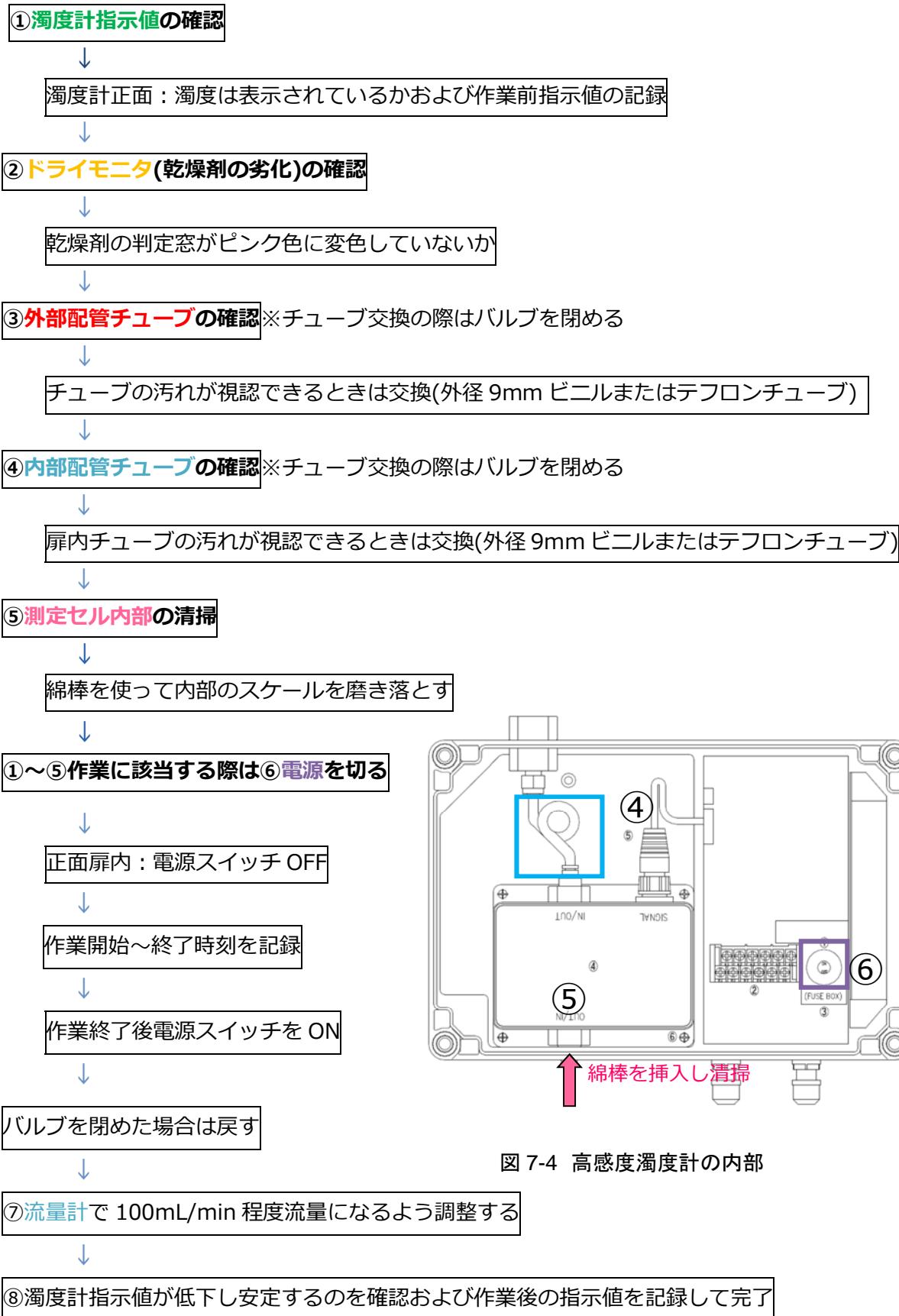


図 7-4 高感度濁度計の内部

7. 高感度濁度計清掃方法

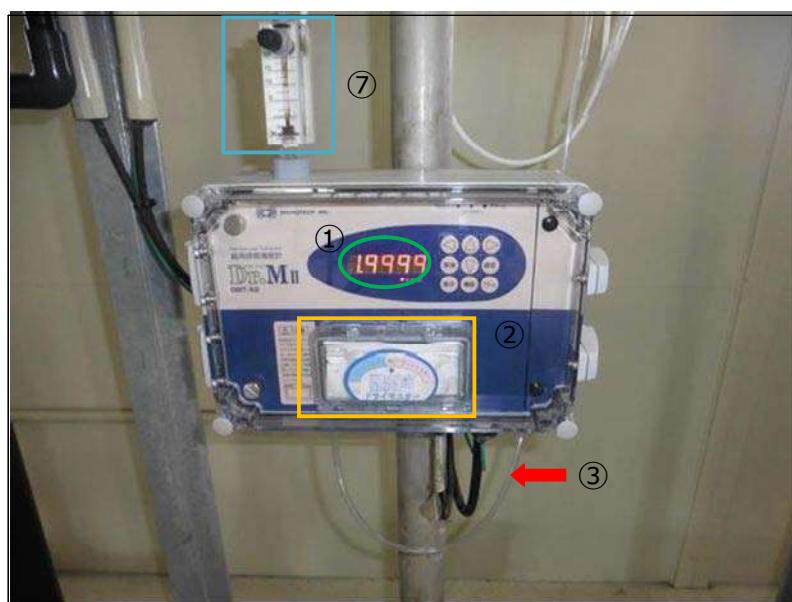


図 7-5 高感度濁度計の外観

8. 紫外線消毒装置の UV 照射量に関する性能評価における P-CFD 適用可能性

P-CFD とはコンピューターによる流体解析(CFD: 数値流体力学: Computational Fluid Dynamics)において、解析対象の装置内を流れる粒子が、その経路の過程で装置内の紫外線ランプからどの程度の紫外線を浴びたかの挙動を算出する手法である。本システムの場合は、ウイルスや大腸菌を粒子として挙動を算出し、UV 消毒装置の設計や性能評価、ランプ切れが発生した際の性能低下リスクの度合いの評価等への応用が期待できることから、これらの適用可能性について検証を試みた。

実証研究においては、施設の規模を加味したデータの採取方法を検討し、

- ・ P-CFD による照射量分布の算定
- ・ ウィルス(MS2 および G I ファージ)不活化の計測

を行って、パイロットプラントと実証プラントのそれぞれに対し、設定した運転条件毎の P-CFD による照射量分布の算定とウィルス不活化データの分析を実施して、P-CFD による検討の有用性や今後の標準化に向けた検証及び課題の整理を行った。

検証の結果、課題として整理した各種データを蓄積していくことで、目標性能に対するランプ配列や水路形状の最適化、故障発生時の水質リスクの見える化等への展開が期待される結果が得られたため、本ガイドラインにおいては、その概要を紹介する。

なお、本システムに用いる UV 消毒装置の設計は、第 4 章第 4 節に記載の設計手法に則って行うものとする。

8. 1. P-CFD による紫外線照射量の評価の概要

P-CFD は上記のような解析が可能な手法である。例えば、図 8-1 のような装置に粒子を流した場合、粒子によって流れの軌跡が異なるため、粒子がランプに近い位置を通過すれば多くの紫外線を浴び、ランプから遠い位置を通過すれば浴びる紫外線も少なくなる。P-CFD は、このような挙動を模擬し、粒子毎に装置内で浴びた紫外線量(=紫外線照射量)の解析を可能にする。

また、粒子毎の紫外線量を統計的に処理することで、その装置が持つ紫外線照射量の分布を定量的に表すことができ、分布を基にした装置の性能評価に利用することが可能である。

なお、図 8-1 は CFD によって UV 消毒装置内の粒子の挙動(流路や速度)を解析したもの、図 8-2 はその装置に配設された UV ランプによる紫外線の強度分布を解析したもので、これらを基に、一つ一つの粒子が装置に入ってから出るまでに浴びた紫外線の量を算定するのが P-CFD による紫外線照射量の評価である。

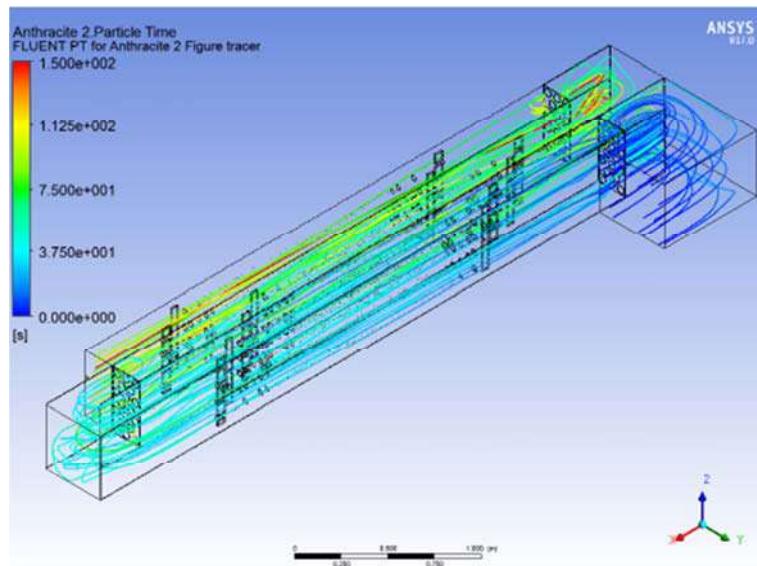


図 8-1 粒子の経路の解析結果例

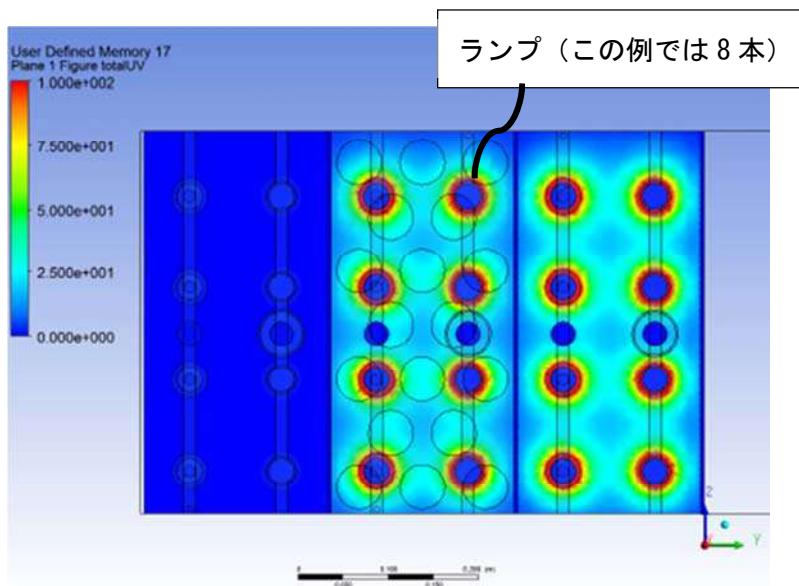


図 8-2 紫外線強度の解析結果例(ランプに近いほど強度が高い)

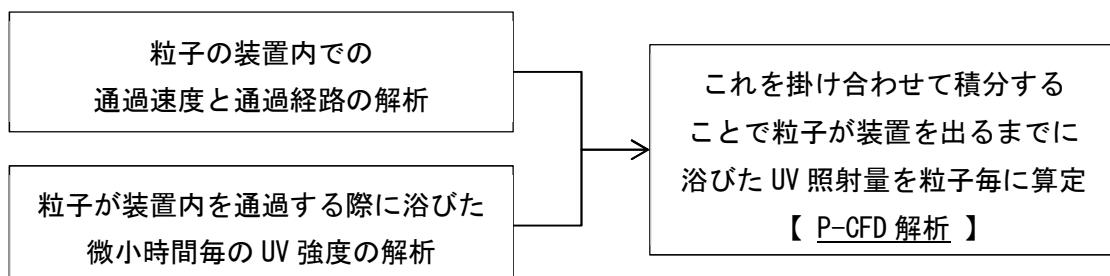
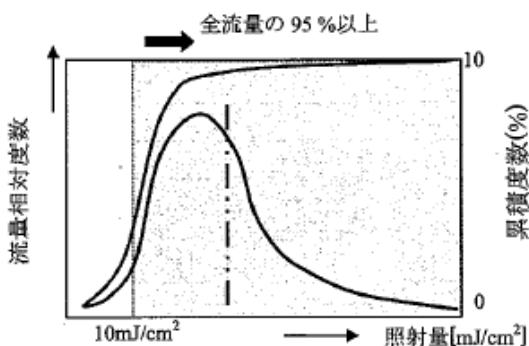


図 8-3 P-CFD 解析の概念

8. 2. P-CFD を利用した性能評価の例

P-CFD 解析を性能評価に利用した例として、国内では、(公財)水道技術研究センターが発行している「紫外線照射装置 JWRC 技術審査基準」(平成 24 年 7 月 1 日)がある。本基準では、クリプトスボリジウム等の耐塩素性病原生物対策として UV 消毒装置を用いる際の適用判断基準に、P-CFD による解析を位置付けている。本基準においては、対象となるUV 消毒装置を通過する水量の 95%以上に対して紫外線照射量が 10mJ/cm^2 以上であることが必要とされている。



「紫外線照射装置 JWRC 技術審査基準」(平成 24 年 7 月 1 日) より引用

図 8-4 JWRC 技術審査基準における照射量分布図の事例

上記は除去(不活化)の対象がクリプトスボリジウムであり、本システムが対象としているウイルスとは異なるため、この基準値をそのまま適用することはできないが、P-CFD では、装置内の粒子の挙動を模擬し、粒子毎に装置内で浴びた紫外線の量(=紫外線照射量)を算出することができるため、装置の条件を変えた場合に、どの程度の紫外線照射能力の違いを生じるかを解析することができる。

例えば、図 8-5 のような分布を持つ UV 消毒装置において、

- ・水路の形状を変えた場合(直線路と迂回路等)
- ・装置内のランプが切れた場合

に、全体の分布がどのように変化するかを P-CFD で検討することで、水路形状の最適化や、どの位置のランプが切れると水質的なリスクが許容できなくなるかを検討し管理手法に活かす等の活用が期待できる。

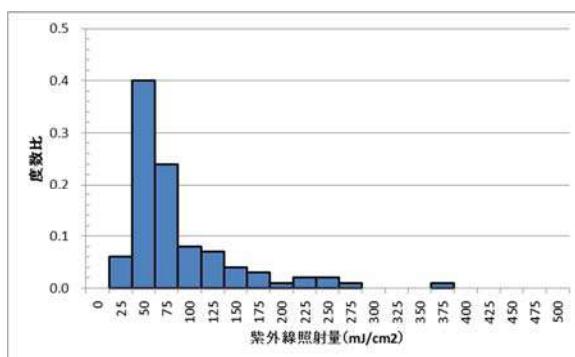


図 8-5 紫外線照射量分布の算出

8.3. 実証研究におけるP-CFD解析結果

実証研究においては、P-CFDの活用を目指した取り組みとして、実証プラント(自然流下の開水路型)とパイロットプラント(ポンプ圧送の密閉流通型)の紫外線照射量分布を算定した。

表 8-1 実証研究におけるP-CFDによる性能評価検討

項目		P-CFD	実証プラント	備考
消毒装置仕様	形式	密閉流通型 (ポンプ圧送式)	開水路型	
	最大ランプ本数	4本	16本	設置した装置の仕様より
	再生水量	9.45m ³ /日	1,080m ³ /日	
照射条件	水温	30°C	同 左	実証試験より
	紫外線強度維持率※1	0.94	0.99	メーカーデータより
	スリーブ減衰率※2	0.8	0.95	JWRC基準より

※1:運転時間の経過に伴う劣化によりランプ出力は低下するが、この程度をP-CFDの計算では強度の維持率として利用する。値は製造メーカー固有のものとなり、実証研究に用いたパイロットプラントの装置では、計算時点での延べ運転時間約1,000時間に対し94%、実証施設の装置では、延べ運転時間約2,000時間に対して99%となる。

※2:自動洗浄あり)0.95、自動洗浄なし)0.8

実証研究では、表8-1に示す条件で、表8-2に示した点灯ランプ本数やランプ出力等で施設を運転し、P-CFDによる照射量分布を試算した(図8-6および図8-7)。

表 8-2 試験条件

項目		流量 (m ³ /日)	透過率 (%)	運転ランプ本数 (本)	ランプ出力	
					(%)	(W)
パイロット プラント	RUN1	9.45	76.0	4	100	32
	RUN2	9.45	76.0	3	100	24
	RUN3	9.45	76.0	2	100	16
	RUN4	9.45	76.0	1	100	8
実証 プラント	RUN1	1,080	78.9	16	62	2,480
	RUN2	1,080	73.6	8	90	1,800
	RUN3	1,080	73.6	8	67	1,340

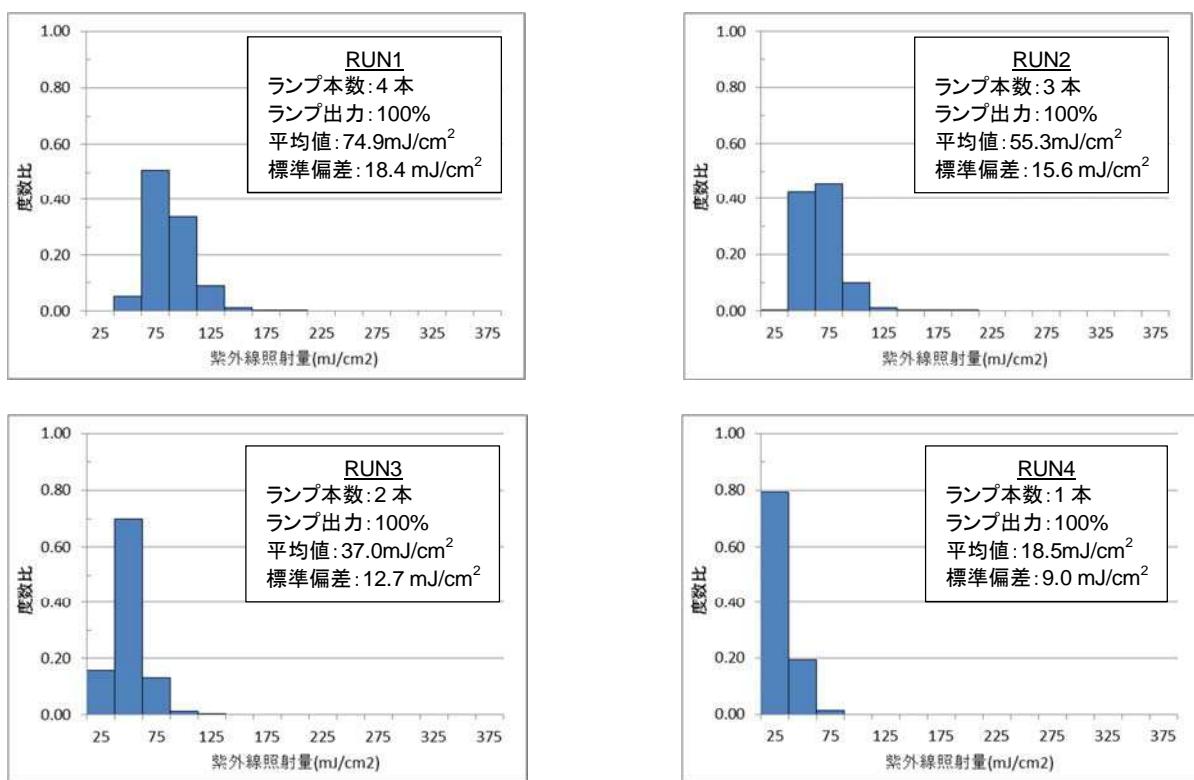


図 8-6 パイロットプラントの紫外線照射量分布の試算結果

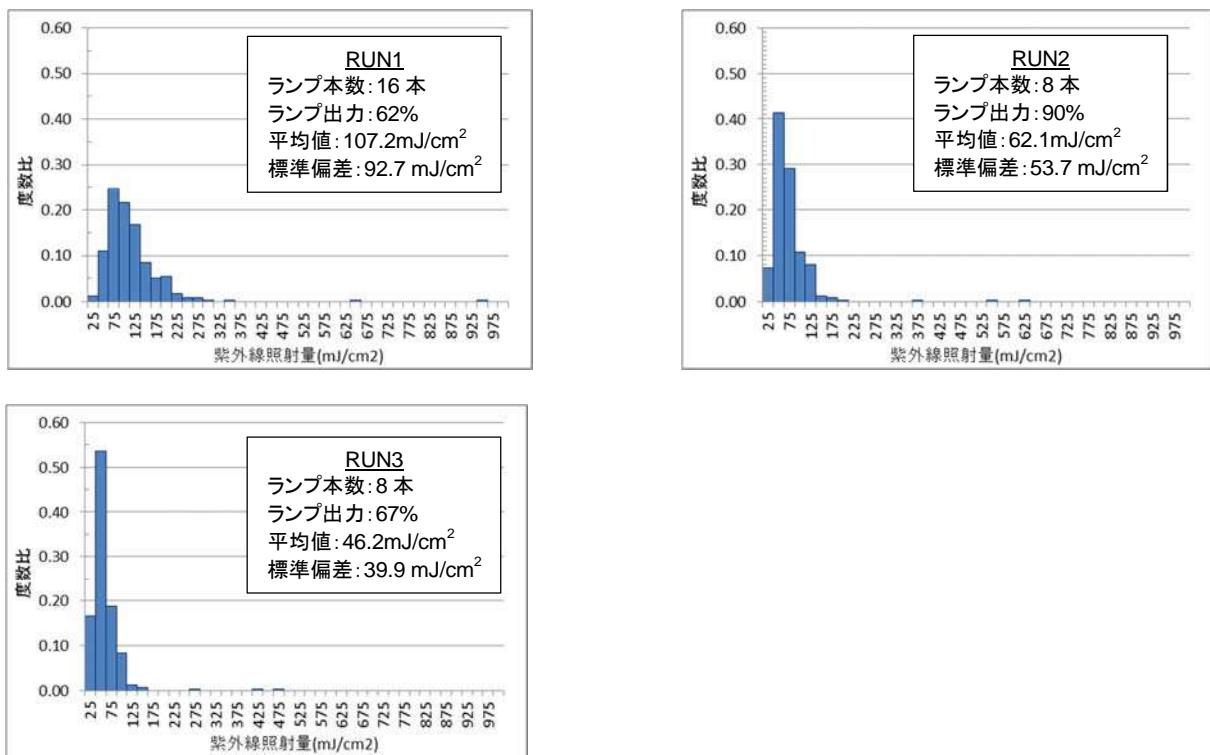


図 8-7 実証プラントの紫外線照射量分布の試算結果

従来はUV消毒装置の性能を、その装置が与えられる紫外線照射量の代表値(設計値)のみで表していたが、P-CFDでは、装置内の紫外線照射量の分布を表すことができる。これを踏まえ、試算した紫外線照射量の分布の特性を整理した(表8-3、図8-8)。

表8-3 試算された紫外線照射量分布の特性

区分	水量 (m ³ /日)	運転ランプ本数 (本)	ランプ出力		紫外線透過率 (%)	照射量分布	
			(%)	(w)		(mJ/cm ²)	(mJ/cm ²)
パイロット プラント	RUN1	9.45	4	100	32	76.0	74.9
	RUN2	9.45	3	100	24	76.0	55.3
	RUN3	9.45	2	100	16	76.0	37.0
	RUN4	9.45	1	100	8	76.0	18.5
実証 プラント	RUN1	1,080	16	62	2,480	78.9	107.2
	RUN2	1,080	8	90	1,800	73.6	62.1
	RUN3	1,080	8	67	1,340	73.6	46.2

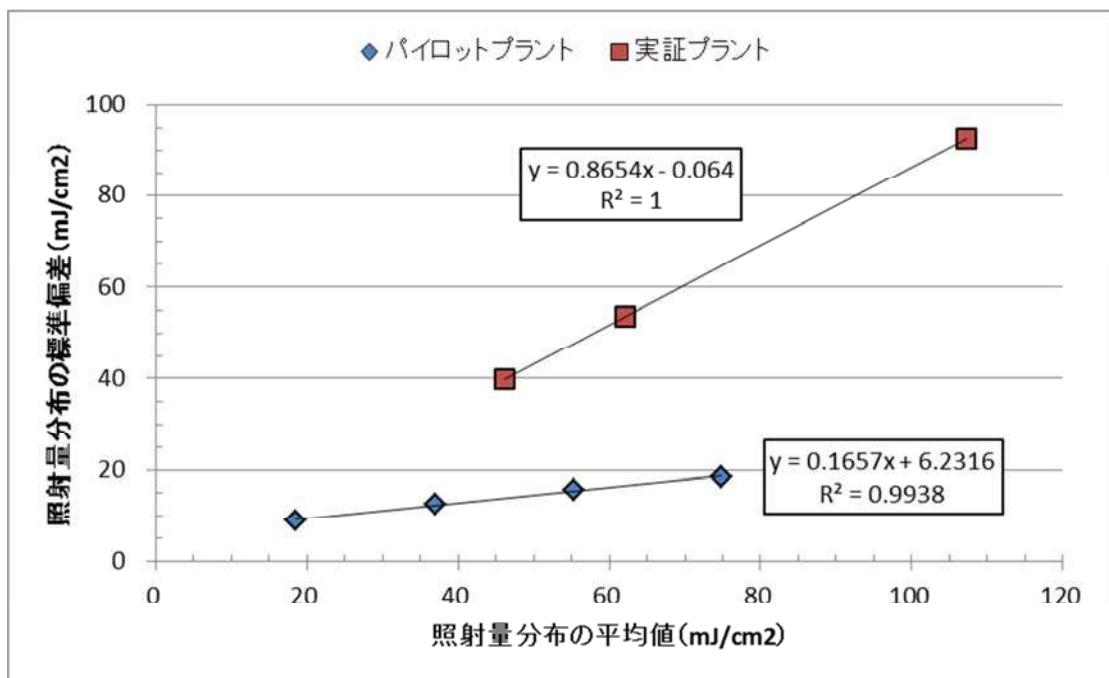


図8-8 試算された照射量分布の平均値と標準偏差の関係

8. 4. P-CFD の有用性と今後の標準化に向けた検討事項

(1) P-CFD を用いた検討を行う有用性や意義について

前述の分布の特性の整理結果からは、P-CFD の有用性について、以下に示す知見が得られた。

- 実証研究に使用したパイロットプラントと実証プラントでは、処理水量が 100 倍以上異なり、ランプの出力や配設方法、装置の形状等も異なる。図 8-8 に示した UV 照射量分布の平均値と標準偏差の関係を見ると、同じ平均値の時の標準偏差(照射量のはらつき)や、その変化の度合い(傾き)は、両者で異なっていることが見て取れる。これは、装置の形状や運転条件等に由来する特性の違いを、P-CFD の手法によって定量化・視覚化できる可能性を示唆していると言える。
- 上記の可能性は、装置の性能評価や設計の最適化に活かすことができると考えられる。また、ランプ切れ等による照射能力の変化について照射量分布を基に定量的に評価できる可能性にも繋がるため、適切な運用計画の立案等への活用も期待できる。

以上のような傾向は P-CFD の手法によって明らかになるため、UV システムの最適設計や最適運転の観点からは、P-CFD の有用性があると考えられる。また異なる UV 装置の効率評価にも利用できると考えられる。

(2) 標準化に向けた検討事項

ウイルス不活化の計測結果およびそこから導かれる換算紫外線照射量 (RED : Reduction Equivalent UV Dose 値) ならびに P-CFD 解析による UV 照射量(分布)を関連付けることで、装置内での実際の UV 照射量分布を基にした UV 消毒装置の定量的な評価(性能面・コスト面)や、設計・管理手法の標準化に繋がると考えられる。

また、P-CFD 解析の標準化のためには、蓄積したデータを基にして、以下に関する整理が行われている必要があると考えられる。

- ・P-CFD による UV 照射量分布計算に使用する標準設定値(例えば渦動粘性係数等)や手順等が明確である。
- ・P-CFD による UV 照射量分布計算結果を基にした照射量の基準値(JWRC 技術審査基準に示されたような閾値(照射量が 10mJ/cm^2 以上となる流量度数(割合)が 95%以上であること)等)と、その基準値に対する対象ウイルスの不活化率が関連付けられている。

【標準化に向けたデータ蓄積方法】

P-CFD による UV 消毒装置性能の検討手法を標準化するための具体的な検討方法を以下に示す。これらの方針によりデータを蓄積することで、P-CFD を用いた UV 消毒装置の定量的な評価(性能面・コスト面)や設計・管理手法の標準化に繋がると考えられる。

○P-CFD の標準化

P-CFD による検討を標準化するためには、まず、P-CFD 解析結果と実際の流れの滞留時間分布をトレーサー試験で確認し、計算モデルの校正を行う必要がある。このとき、装置の形状、ランプの配置及び流量が異なる場合に、パラメータの個別設定が必要となる検証結果が得られることが想定されるが、これを確認・検証するためには、水路形状の異なる 2 種類の装置(例として「密閉流通型」と「開水路型」)を対象とした検証が必要と考えられる。その際、同じ装置であっても数パターンの流量変化を与え、各条件下での検証を行う。

その結果により、パラメータの個別設定が必要と判断される場合には、流れの向きやランプの配置等、更に異なる条件で同様の検証を行い、それらの結果を基に、P-CFD 解析を行う上でのパラメータ設定の方法や、具体的な解析手順を明らかにしていく必要がある。

○対象ウイルスの不活化測定

ウイルスの不活化については、パイロットプラント及び実証プラントの一部条件下での実証研究において、UV 照射量とウイルス(MS2 および G I ファージ)不活化が比例関係にあることが確認出来ているが、システムが除去の対象とする生物の不活化を定量化するためには、処理後の水に検出下限値以上のウイルスが残存している必要がある。そのためには、UV 消毒装置のランプ出力や運転本数を調整し、被処理水に与える UV 照射量を変化させ、検出下限値以上の条件でウイルス量を測定し、UV 照射量との相関関係を解析できるデータの蓄積が必要である。

このようなデータの蓄積により、UV 照射量とウイルス不活化の関係についての信頼性を高める検証を行うことで、P-CFD による性能評価や設計・管理手法の標準化が期待できる。

9. 農業利用リスクコミュニケーション

再生水の農業利用を行うにあたっては、情報の開示等、農業利用者とのコミュニケーションを確立することが重要である。

ここでは、本技術の導入検討時における原水水質の推奨条件や、農業利用開始時の水質管理項目の設定や、運用時の管理状況に関する情報開示について一例を示す。

9. 1. 本システムの導入検討時におけるコミュニケーション

本システムは、ウイルス除去を主な処理対象としているため、その他の水質項目に対しては除去効果はほとんど得られず、原水の水質条件が導入の際に適用条件を満たしている必要がある。

適用にあたっての原水水質条件については、作物の種類によって適性が異なるが、以下の推奨条件を参考として本システムの適用可否を判断するものとする。

① 原水の重金属類等

農業灌漑用水は河川水を使用していることが多いため、河川の水質環境基準を参考とした推奨条件を一例として示す。

② 原水の塩化物イオン濃度

原水の塩化物イオン濃度は、栽培対象となる農作物の耐塩性から判断して適切な濃度となっていることを推奨条件の一例として示す。

③ 原水の pH

原水の pH は、栽培対象となる農作物の種類から判断して適切な pH となっていることを推奨条件の一例として示す。

(1) 原水の重金属類等

本技術は、ウイルスや細菌類の処理を主な目的としており、その他の水質項目では、SS および SS に由来する水質項目が除去できる対象項目となる。重金属類については、実証実験では原水においてほとんどが検出限界以下で、本技術による除去効果を確認できていないが、以下の理由から原理的には処理ができないため、原水水質が推奨条件を満たしていることが必要となる。

- ・ UF 膜の孔径より重金属類等の分子の大きさが小さい。
- ・ UV 照射により重金属類等の化学変化等により性質は変化しない。

農業灌漑用水は河川水を使用していることが多く、重金属類は一般的な河川と同等な水質であれば農作物の栽培に用いても問題がないと判断し、河川の水質環境基準を参考として、原水水質の推奨条件を設定した。

なお、公共用水域の水質基準のうち、ISO16075(下水処理水の灌漑用水利用)に基準があるものについては、ISO の基準値を推奨条件とした。

表 9-1 原水水質の推奨条件(重金属類等)

項目	単位	推奨条件	参考値 (環境基準値 ^{※4})
カドミウム	mg/ℓ	年間平均 0.01 以下 ^{※2} 最大 0.0025 以下	0.003 以下
全シアン	mg/ℓ	年間平均 0.1 以下 ^{※2} 最大 0.2 以下	検出されないこと
鉛	mg/ℓ	環境基準値による	0.01 以下
六価クロム	mg/ℓ	環境基準値による	0.05 以下
砒素	mg/ℓ	年間平均 0.05 以下 ^{※1}	0.01 以下
総水銀	mg/ℓ	年間平均 0.002 以下 ^{※2} 最大 0.005 以下	0.0005 以下
アルキル水銀	mg/ℓ	環境基準値による	検出されないこと
P C B	mg/ℓ	環境基準値による	検出されないこと
ジクロロメタン	mg/ℓ	環境基準値による	0.02 以下
四塩化炭素	mg/ℓ	環境基準値による	0.002 以下
1,2-ジクロロエタン	mg/ℓ	環境基準値による	0.004 以下
1,1-ジクロロエチレン	mg/ℓ	環境基準値による	0.1 以下
シス-1,2-ジクロロエチレン	mg/ℓ	環境基準値による	0.04 以下
1,1,1-トリクロロエタン	mg/ℓ	環境基準値による	1 以下
1,1,2-トリクロロエタン	mg/ℓ	環境基準値による	0.006 以下
トリクロロエチレン	mg/ℓ	環境基準値による	0.01 以下
テトラクロロエチレン	mg/ℓ	環境基準値による	0.01 以下
1,3-ジクロロプロパン	mg/ℓ	環境基準値による	0.002 以下
チウラム	mg/ℓ	環境基準値による	0.006 以下
シマジン	mg/ℓ	環境基準値による	0.003 以下
チオベンカルブ	mg/ℓ	環境基準値による	0.02 以下
ベンゼン	mg/ℓ	環境基準値による	0.01 以下
セレン	mg/ℓ	年間平均 0.02 以下 ^{※2} 最大 0.05 以下	0.01 以下
硝酸性窒素及び亜硝酸性窒	mg/ℓ	年間平均 T-N25 以下 ^{※2} 最大 T-N30 以下	10 以下
ふつ素	mg/ℓ	年間平均 2.0 以下 ^{※2, ※3} 最大 3.0 以下	0.8 以下
ほう素	mg/ℓ	年間平均 2.0 以下 ^{※2, ※3} 最大 2.6 以下	1 以下
1,4-ジオキサン	mg/ℓ	環境基準値による	0.05 以下

※1 昭和 46 年 10 月 4 日、農業(水稻)用水基準、農林水産技術会議⁵⁾※2 ISO16075 Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects、ISO、2015.8.15¹⁾

※3 中程度の耐性を持つ作物を基準とする。

※4 環境基準値はいずれも平均値

(2) 原水の塩化物イオン濃度

灌漑用水の農作物への塩害影響を評価する指標として塩化物イオン濃度があり、FAO(国際連合食糧農業機関)の水質ガイドライン(表9-2参照)では、塩化物イオン濃度は、地表灌漑で140 mg/l、スプリンクラー灌漑で115 mg/l以下であれば問題がないとしている。

また、沖縄県島尻地区における調査結果⁶⁾から、概ね、塩化物イオン濃度200mg/l以下であれば、塩分に敏感な作物(表9-3参照)に対しても大きな影響はないと考えられる。

表9-2 塩化物イオンの推奨値

	適用上の制限の程度		
	なし	若干の制限あり	重大な制限あり
地表灌漑	< 4 meq/l (< 140 mg/l)	4~10 meq/l (140~350 mg/l)	> 10 meq/l
スプリンクラー灌漑	< 3 meq/l <td>> 3 meq/l<br (>="" 115="" l)<="" mg="" td=""/><td>—</td></td>	> 3 meq/l <td>—</td>	—

※Cl : 1 meq/l = 1 mmol/l = 35mg/l

出典:FAO(国際連合食糧農業機関)灌漑用水水質ガイドライン(1985)¹⁴⁾

塩化物イオン濃度については、本技術では、実証実験からほとんど除去できない結果が得られており、原水水質が、栽培対象となる農作物の耐塩性から判断して適切な濃度となっていることが推奨条件となる。

また、塩化物イオン濃度は、EC値(電気伝導度)と相関があることが知られており、事前に当該処理場の処理水における塩化物イオン濃度とEC値の相関式を作成し、EC値の適正範囲を設定するとともに、運転管理においてはEC値を連続測定監視することが望ましい。

表 9-3 農作物の相対的耐塩性

一般名	感受性			
	耐性	中程度耐性	中程度に敏感	敏感
農 作 物				
大麦	✓			
インゲン豆				✓
そら豆			✓	
トウモロコシ			✓	
綿花	✓			
ササゲ			✓	
麻			✓	
ホホバ	✓			
オート麦		✓		
ライ麦		✓		
テンサイ	✓			
サトウキビ			✓	
モロコシ		✓		
大豆		✓		
小麦		✓		
アルファルファ			✓	
ギョウギンバ	✓			
シロツメグサ			✓	
レッドクローバー			✓	
ヒロハノウシノケグサ		✓		
オオスズメノテッポウ			✓	
ハーディンググラス		✓		
ラブグラス			✓	
オーチャードグラス			✓	
セスピニア			✓	
Sphaerophysa			✓	
スードングラス		✓		
カラスノエンドウ			✓	
フェアリークレスティッドホイートグラス	✓			
スタンダートクレスティッドホイートグラス		✓		
トルホイートグラス	✓			
ハマニンニク		✓		
野 菜				
キクイモ		✓		
アスパラガス	✓			
赤カブ		✓		
キャベツ			✓	
ニンジン			✓	
セロリ			✓	
キュウリ			✓	
レタス			✓	
玉ねぎ			✓	
ジャガイモ			✓	
ほうれん草			✓	
ズッキーニ			✓	
サツマイモ			✓	
トマト			✓	
カブ			✓	
果 物 類				
アーモンド				✓
アプリコット				✓
ブラックベリー				✓
ナツメヤシ	✓			
ブドウ			✓	
オレンジ				✓
桃				✓
ブルーン				✓
イチゴ				✓

※1 Westcot and Ayers(1985)より引用。

※2 これらのデータは、作物間の相対的耐性的指針としてのみ役立つ。絶対的耐性は、気候、土壤条件、耕作習慣によって異なる。

出典：水再生利用学（技報堂出版）⁸⁾

(3) 原水の pH

灌漑用水の農作物への影響を評価する指標として pH があり、FAO(国際連合食糧農業機関)の水質ガイドライン(表 9-4 左欄参照)では、pH は 6.5~8.4 を適正範囲としている。

しかしながら、国内の調査結果(表 9-5 参照)では、作物によっては、この範囲外であっても適正範囲となっているものもあることや、FAO の試験結果(表 9-4 右欄参照)の利用可能範囲も適正範囲より大きいものとなっている。これらを踏まえ、pH については、栽培対象となる農作物の種類等も勘案して検討する事が望ましい。

なお、本技術は、再生水の pH にはほとんど影響を与えない。

表 9-4 pH の推奨範囲

	FAO ガイドライン 適正範囲 ^{※1}	FAO の試験結果による 利用可能範囲 ^{※2}
p H	6.5~8.4	6.0~8.5

出典: FAO(国際連合食糧農業機関)灌漑用水水質ガイドライン(1985)⁴⁾

※1 Table 1 GUIDELINES FOR INTERPRETATIONS OF WATER QUALITY FOR IRRIGATION

※2 Table 2 LABORATORY DETERMINATION NEEDED TO EVALUATE COMMON IRRIGATION WATER QUALITY PROBLEMS

表 9-5 作物の最適 pH 範囲(国内調査)

イネ	5.0~6.5	シロクローバ	5.6~7.0
コムギ	5.5~7.5	アカクローバ	6.0~7.5
ダイズ	6.0~7.0	アルファルファ	6.2~7.8
ラッカセイ	5.3~6.6	ブルーブラス	5.5~7.5
エンドウ	6.0~7.5	エンバグ	5.0~7.5
サトウキビ	6.0~8.0		
タバコ	5.5~7.5	ツルコケモモ	4.2~5.0
オオムギ	6.5~7.8	パイナップル	5.0~6.0
		モモ	6.0~7.5
トマト	5.5~7.5	リンゴ	5.0~6.5
キュウリ	5.5~7.0	アズズ	6.0~7.0
ニンジン	5.5~7.0	ブドウ	6.0~7.5
ジャガイモ	4.5~6.5		
レタス	6.0~7.0	シャクナゲ類	4.5~6.0
キャベツ	6.0~7.5	ラン	4.0~5.0
ホウレンソウ	6.0~7.5	カーネーション	6.0~7.5
アスパラガス	6.0~8.0	ゼラニウム	6.0~8.0

出典: 土壌・肥料学の基礎⁹⁾

9. 2. 農業利用開始時におけるコミュニケーション

農業利用開始時においては、それ以前の試験運転時の水質測定結果などを開示し、農業利用者が栽培する作物に適合した再生水質を得ることについてコミュニケーションを図ることが重要である。なお、水質測定を行う地点や、再生水処理事業者と再生水利用者との責任分界点を利用開始時に確認しておくことが重要である。

水質測定および開示項目は、表 9-6 に示すとおりとする。また、開示にあたっては、参考とすべき比較対象水質も併せて示すことを考慮する。比較対象値に対して必ずしもクリアすることは必須ではないが、農業利用目標値および環境基準値を概ねクリアできていれば、大きな問題はないといえる。

情報開示については、ホームページ等による公開のほか、JA 等を通した説明会を通して、水質測定値および各水質項目の農作物への影響等を説明しておくことが望ましい。

表 9-6 農業利用開始時における水質測定結果開示項目

開示水質項目	単位	農業利用参考値				比較対象値
		農業(水槽) 用水基準※1	ISO 16075※2	WHO ガイドライン※3,※4	FAO ガイドライン※5	
水素イオン濃度 (pH)	—	6.0 以上 7.5 以下	—	6.5 以上 8.0 以下 ※3.1	使用範囲 6.0～8.5 ※5.2 ほとんど影響なし 影響あり 6.5～5.5 強い影響あり 5.5～4.5 非常に強い影響あり 4.5 以下 ※5.5	放流水質基準 (下水道法)
						一律排水基準 (水質汚濁防止法)
						環境基準 (環境基本法)
						(河)II A類型 6.5 以上 8.5 以下
	点滴灌漑	mg/L	100 以下	平均値 5 以下 最大値 10 以下 ※2.6	制限なし 50 以下 若干の使用制限あり 50～100 重大な使用制限あり 100 以上 ※3.1	5.8 以下 8.6 以下
						5.8 以下 8.6 以下
						(日間平均 150 以下)
						200 以下 25 以下
						(河)II A類型
浮遊性物質 (TSS)	点滴灌漑	mg/L	—	—	—	—

9. 農業利用リスクコミュニケーション

開示水質項目	単位	農業利用参考値				比較対象値	
		農業(水稻) 用水基準※1	ISO 16075※2	WHO ガイドライン※3,※4	FAO ガイドライン※5	放流水質基準 (下水道法)	一律排水基準 (水質汚濁防止法)
溶解性物質 (TDS)	mg/L	—	—	制限なし 450 以下 若干の使用制限あり 450～2000 重大な使用制限あり 2000 以上 ※3,1	使用範囲 0～2000※5,2	—	—
点滴灌漑	mg/L	—	—	—	制限なし 500 以下 若干の使用制限あり 500～2000 重大な使用制限あり 2000 以上 ※5,1	—	—
溶存酸素量(DO)	mg/L	5 以上	—	—	—	—	—
生物化学的酸素要求量(BOD)	mg/L	—	平均値 5 以下 最大値 10 以下 ※2,6	—	—	10 以下	160 以下 (日間平均 120 以下)
化学的酸素要求量((COD)In)	mg/L	6 以下	—	—	—	—	160 以下 (日間平均 120 以下)
一般細菌	点滴灌漑 個/mL	—	—	制限なし 10,000 以下 若干の使用制限あり 10,000～50,000 重大な使用制限あり 50,000 以下 ※5,4	—	—	—
大腸菌群数	—	—	—	—	3000 個/cm ³ 以下	日間平均 3000 個/cm ³ 以下	(河川) A 類型 1000MPN/100mL 以下
大腸菌	個/100mL	—	—	—	—	—	—
糞便性大腸菌	個/100mL	—	(A ランク処理法) 平均値 10 以下 (または検出なし) 1000 以下※4	—	—	—	—
			最大値 100 以下 ※2,6				

開示水質項目	単位	比較対象値					
		農業利用参考値		放流水質基準 (下水道法)		一律排水基準 (水質汚濁防止法)	
農業(水稻) 用水基準 ^{*1}	ISO 16075 ^{*2}	WHO ガイドライン ^{*3,*4}	FAO ガイドライン ^{*5}	既設処理場 の処理法 による	環境基準 (環境基本法)		
全窒素(T-N)	mg/L	1 以下 月平均 最大値 35 以下 ^{*2,1}	25 以下 若干の使用制限あり 5~30 重大な使用制限あり 30 以上 ^{*3,1}	—	120 以下 (日間平均60)	—	—
アンモニア、アンモニア化合物及び硝酸化合物	mg/L	—	—	—	100 以下	—	—
アンモニア性窒素(NH ₄ -N)	mg/L	— 月平均 最大値 30 以下 ^{*2,1}	— — —	使用範囲 0~5 ^{*5,2} ほとんど影響なし 影響あり 15 以下	—	—	—
硝酸性窒素及び重硝酸性窒素	mg/L	—	—	影響あり 15~30 強い影響あり 30~60 非常に強い影響あり 60 以上 ^{*5,5}	—	—	—
硝酸性窒素(NO ₃ -N)	mg/L	—	—	—	—	—	—
全りん(T-P)	mg/L	— 月平均 最大値 7 以下 ^{*2,1}	— — —	使用範囲 0~10 ^{*5,2} 制限なし 若干の使用制限あり 5~30 重大な使用制限あり 30 以上 ^{*5,1}	—	—	—
りん酸態りん(PO ₄ -P)	mg/L	—	—	既設処理場 の処理法 による	16 以下 (日間平均8 以下)	—	—
有機りん化合物	mg/L	—	—	—	1 以下	0.01 以下	—

開示水質項目	単位	農業利用参考値					放流水質基準 (下水道法)	一律排水基準 (水質汚濁防止法)	環境基準 (環境基本法)
		農業(水稻) 用水基準※1	ISO 16075※2	WHO ガイドライン※3,※4	FAO ガイドライン※5	比較対象値			
カドミウム(Cd)	mg/L	—	月平均0.01以下 最大値0.025以下※2,5	0.01以下 ※3,2	—	—	—	0.03以下	0.003以下
全ジアン(CN)	mg/L	—	月平均0.1以下 最大値0.2以下※2,5	—	—	—	—	1以下	不検出
鉛(Pb)	mg/L	—	—	—	—	—	—	0.1以下	0.01以下
六価クロム	mg/L	—	—	—	—	—	—	0.5以下	0.05以下
砒素(As)	mg/L	0.05以下	—	0.10以下 ※3,2	—	—	—	0.1以下	0.01以下
緑水銀(T-Hg)	mg/L	—	月平均0.002以下 最大値0.005以下※2,5	—	—	—	—	0.005以下	0.0005以下
アルキル水銀(R-Hg)	mg/L	—	—	—	—	—	—	不検出	不検出
ポリ塩化ビフェニル(PCB)	mg/L	—	—	—	—	—	—	0.003以下	0.02以下
ジクロロメタン	mg/L	—	—	—	—	—	—	0.2以下	0.002以下
四塩化炭素(CC _{Cl₄})	mg/L	—	—	—	—	—	—	0.04以下	0.004以下
1,2-ジクロロエタン	mg/L	—	—	—	—	—	—	1以下	0.1以下
1,1-ジクロロエチレン	mg/L	—	—	—	—	—	—	0.4以下	0.04以下
シス-1,2-ジクロロエチレン	mg/L	—	—	—	—	—	—	3以下	1以下
1,1-トリクロロエタン	mg/L	—	—	—	—	—	—	0.006以下	0.0006以下
1,1,2-トリクロロエタン	mg/L	—	—	—	—	—	—	0.1以下	0.01以下
トリクロロエチレン	mg/L	—	—	—	—	—	—	0.1以下	0.01以下
テトラクロロエチレン	mg/L	—	—	—	—	—	—	0.002以下	0.0002以下
1,3-ジクロロプロペン	mg/L	—	—	—	—	—	—	0.06以下	0.006以下
チウラム	mg/L	—	—	—	—	—	—	0.03以下	0.003以下
シマジン	mg/L	—	—	—	—	—	—	0.2以下	0.02以下
チオベンカルブ	mg/L	—	—	—	—	—	—	0.1以下	0.01以下
ベンゼン	mg/L	—	—	—	—	—	—	0.5以下	0.05以下
セレン(Se)	mg/L	—	月平均0.02以下 最大値0.05以下※2,5	0.02以下 ※3,2	—	—	—	0.1以下	0.01以下
1,4-ジオキサン	mg/L	—	—	—	—	—	—	—	—

開示水質項目	単位	農業利用参考値				比較対象値	
		農業(水稻) 用水基準※1	ISO 16075※2	WHO ガイドライン※3,※4	FAO ガイドライン※5	放流水質基準 (下水道法)	一律排水基準 (水質汚濁防止法)
ふつ素(F)	mg/L	—	月平均2.0以下 最大値3.0以下※2.5	1.0以下 ※3.2	※5.3	—	15以下 0.8以下
ほう素(B)	mg/L	—	敏感 月平均0.4以下 最大値0.5以下 中程度に敏感 月平均1.0以下 最大値1.3以下 中程度に耐性あり 月平均2.0以下 最大値2.6以下 耐性あり 月平均4.0以下 最大値5.2以下※2.4	制限なし 0.7以下 若干の使用制限あり 0.7~3.0 重大な使用制限あり 3.0以上 ※3.1	使用範囲 0~2※5.2	—	10以下 1以下
銅(Cu)	mg/L	0.02以下	月平均0.2以下 最大値0.5以下※2.5	0.20以下 ※3.2	※5.3	—	3以下 —
亜鉛(Zn)	mg/L	0.5以下	月平均2以下 最大値5以下※2.5	2.0以下 ※3.2	※5.3	—	2以下 —
アルミニウム(Al)	mg/L	—	月平均5以下 最大値12.5以下※2.5	5.0以下 ※3.2	※5.3	—	—
ベリリウム(Be)	mg/L	—	月平均0.1以下 最大値0.25以下※2.5	0.10以下 ※3.2	※5.3	—	—
コバルト(Co)	mg/L	—	月平均0.05以下 最大値0.125以下※2.5	0.05以下 ※3.2	※5.3	—	—
リチウム(Li)	mg/L	—	月平均2.5以下 最大値6.25以下※2.5	2.5以下 ※3.2	※5.3	—	—
モリブデン(Mo)	mg/L	—	月平均0.01以下 最大値0.025以下※2.5	0.01以下 ※3.2	※5.3	—	—
ニッケル(Ni)	mg/L	—	月平均0.2以下 最大値0.5以下※2.5	0.20以下 ※3.2	※5.3	—	—
パラジウム(Pd)	mg/L	—	月平均0.1以下 最大値0.25以下※2.5	5.0以下 ※3.2	※5.3	—	—
ハーフジウム(V)	mg/L	—	月平均0.1以下 最大値0.25以下※2.5	0.10以下 ※3.2	※5.3	—	—

9. 農業利用リスクコミュニケーション

開示水質項目	単位	農業利用参考値				比較対象値	
		農業(水稻) 用水基準※1	ISO 16075※2	WHO ガイドライン※3,※4	FAO ガイドライン※5	放流水質基準 (下水道法)	一律排水基準 (水質汚濁防止法)
鉄(Fe)	mg/L	—	月平均2以下 最大値5以下 ※2,5	5.0以下 ※3,2	※5,3	—	10以下
	点滴灌漑	mg/L	—	—	制限なし 若干の使用制限あり 0.1～1.5 重大な使用制限あり 1.5以上 ※3,1	—	—
マンガン(Mn)	mg/L	—	月平均0.2以下 最大値0.5以下 ※2,5	0.20以下 ※3,2	※5,3 ほとんど影響なし 影響あり 100以下 100～300 強い影響あり 300～1500 非常に強い影響あり 1500以上 ※5,5	10 mg/L以下	—
クロム(Cr)	mg/L	—	—	制限なし 若干の使用制限あり 0.1～1.5 重大な使用制限あり 1.5以上 ※3,1	※5,4	0.10以下 ※5,3	2 mg/L以下

開示水質項目	単位	比較対象値					
		農業利用参考値		放流水質基準 (下水道法)		一律排水基準 (水質汚濁防止法)	
カルシウム(Ca)	meq/L (mg/L)	—	ISO 16075 ^{※2} ガイドライン ^{※3,※4}	WHO ガイドライン ^{※3,※4}	FAO ガイドライン ^{※5}	使用範囲 0~20meq/L (0~401 mg/L) ^{※5,2}	環境基準 (環境基本法)
ナトリウム(Na)	meq/L (mg/L)	—	敏感 (月平均 150 mg/L 以下) (最大値 200 mg/L 以下) ^{※2,4}	—	使用範囲 0~40meq/L (0~917 mg/L) ^{※5,2}	—	—
地表灌漑	meq/L (mg/L)	—	制限なし 3meq/L 以下 (69mg/L 以下) 若干の使用制限あり 3~9meq/L (69~207mg/L) 重大な使用制限あり 9meq/L 以上 (207mg/L 以上) ^{※3,1}	—	—	—	—
スプリンクラー灌漑	meq/L (mg/L)	—	—	—	制限なし 3meq/L 以下 (69mg/L 以下) 若干の使用制限あり 3meq/L 以上 (69mg/L 以上) ^{※5,1}	—	—
マグネシウム(Mg)	meq/L (mg/L)	—	—	—	使用範囲 0~5meq/L (0~61 mg/L) ^{※5,2}	—	—
カリウム(K)	mg/L	—	—	—	使用範囲 0~2 ^{※5,2}	—	—
全硬度	—	—	—	—	—	—	—
SAR	meq/L	—	—	—	使用範囲 0~15 ^{※5,2} 制限なし 3 以下 若干の使用制限あり 3~9 重大な使用制限あり 9 以上 ^{※5,2}	—	—

9. 農業利用リスクコミュニケーション

開示水質項目	単位	農業利用参考値				比較対象値
		農業(水稻) 用水基準 ^{*1}	ISO 16075 ^{*2}	WHO ガイドライン ^{*3,*4}	FAO ガイドライン ^{*5}	
電気伝導度 (EC)	dS/m	0.3 以下	敏感 (月平均1.4 以下) (最大値1.8 以下) 中程度に敏感 (月平均2.0 以下) (最大値2.6 以下) 中程度に耐性あり (月平均4.0 以下) (最大値5.2 以下) 耐性あり (月平均6.0 以下) (最大値7.8 以下) ^{*2,4}	使用範囲 0~3 ^{*5,2}	—	放流水質基準 (下水道法) 一律排水基準 (水質汚濁防止法)
			非常に弱い耐性 0.5 以下 弱い耐性 1.0 以下 中程度の耐性 2.0 以下 強い耐性 4.0 以下 非常に強い耐性 8.0 以下 ^{*2,2}	制限なし 0.7 以下 若干の使用制限あり 0.7~3.0 重大な使用制限あり 3.0 以上 ^{*3,1} ^{*5,1}	—	環境基準 (環境基本法)

開示水質項目	単位	農業利用参考値				比較対象値	
		農業(水稻) 用水基準※1	ISO 16075※2	WHO ガイドライン※3,※4	FAO ガイドライン※5	放流水基準 (下水道法)	一律排水基準 (水質汚濁防止法)
SAR 0~3 meq/L	dS/m	—	制限なし 若干の使用制限あり 重大な使用制限あり	0.7以上 0.7~0.2 0.2以下 ※2,3 ※3,1	— ※5,1	— —	— —
SAR 3~6 meq/L	dS/m	—	制限なし 若干の使用制限あり 重大な使用制限あり	1.2以上 1.2~0.3 0.3以下 ※2,3 ※3,1	— ※5,1	— —	— —
SAR 6~12 meq/L	dS/m	—	制限なし 若干の使用制限あり 重大な使用制限あり	1.9以上 1.9~0.5 0.5以下 ※2,3 ※3,1	— ※5,1	— —	— —
SAR 12~20 meq/L	dS/m	—	制限なし 若干の使用制限あり 重大な使用制限あり	2.9以上 2.9~1.3 1.3以下 ※2,3 ※3,1	— ※5,1	— —	— —
SAR 20~40 meq/L	dS/m	—	制限なし 若干の使用制限あり 重大な使用制限あり	5.0以上 5.0~2.9 2.9以下 ※2,3 ※3,1	— ※5,1	— —	— —

開示水質項目	単位	農業利用参考値				比較対象値	環境基準 (環境基本法)
		農業(水稻) 用水基準 ^{*1}	ISO 16075 ^{*2}	WHO ガイドライン ^{*3,*4}	FAO ガイドライン ^{*5}		
塩化物イオン (Cl ⁻)	meq/L (mg/L)	敏感 (月平均 250mg/L 以下) (最大値 280mg/L 以下) 中程度に敏感 (月平均 400mg/L 以下) (最大値 440mg/L 以下) 中程度に耐性あり (月平均 1000mg/L 以下) (最大値 1100mg/L 以下) 耐性あり (月平均 1400mg/L 以下) (最大値 1500mg/L 以下) ^{*2,*4}	—	—	—	使用範囲 0~30meq/L (0~1064 mg/L) ^{*5,2}	— —
地表灌漑	meq/L (mg/L)	—	—	—	—	制限なし 4meq/L 以下 (140mg/L 以下) 若干の使用制限あり 4~10meq/L (140~350mg/L) 重大な使用制限あり 10meq/L 以上 (350mg/L 以上)	— — —
スプリンクラー 灌漑	meq/L (mg/L)	—	—	—	—	※3,1	※5,1
残留塩素(Cl ₂)	mg/L	—	—	—	—	—	—

開示水質項目	単位	農業利用参考値				放流水質基準 (下水道法)	一律排水基準 (水質汚濁防止法)	環境基準 (環境基本法)
		農業(水稻) 用水基準 ^{*1}	ISO 16075 ^{*2}	WHO ガイドライン ^{*3,*4}	FAO ガイドライン ^{*5}			
重炭酸 (HCO_3^-) 灌漑	meq/L (mg/L)	—	—	制限なし 若干の使用制限あり 重大な使用制限あり 500 以上 ^{*3,1}	使用範囲 0～10meq/L (0～611 mg/L) ^{*5,2}	—	—	—
炭酸イオン (CO_3^{2-})	meq/L (mg/L)	—	—	—	制限なし 1. 5meq/L 以下 (92mg/L 以下) 若干の使用制限あり 1. 5～8. 5meq/L (92～519mg/L) 重大な使用制限あり 8. 5meq/L (519mg/L 以上) ^{*5,1}	—	—	—
二酸化炭素 (CO_2)	mg/L	—	—	—	使用範囲 0～0.1meq/L (0～3. 0 mg/L) ^{*5,2}	—	—	—

9. 農業利用リスクコミュニケーション

開示水質項目	単位	農業利用参考値				比較対象値
		農業(水稻) 用水基準 ^{*1}	ISO 16075 ^{*2}	WHO ガイドライン ^{*3,*4}	FAO ガイドライン ^{*3,*4}	
硫酸イオン(SO ₄ ²⁻)	meq/L (mg/L)	—	—	—	使用範囲 0~20meq/L (0~961 mg/L) ^{*5,*2} (ほとんど影響なし)	放流水質基準 (下水道法) 一律排水基準 (水質汚濁防止法)
硫化水素(H ₂ S)	mg/L	—	—	—	影響あり (200~600mg/L) 強い影響あり (600~3000mg/L) 非常に強い影響あり (3000mg/L以上) ^{*5,*5}	—
点滴灌漑	mg/L	—	—	—	制限なし 0.5 以下 若干の使用制限あり 0.5~2.0 重大な使用制限あり 2.0 以上 ^{*3,1}	—
ノルマルヘキサン抽出物質 (鉱油類含有量)	mg/L	—	—	—	制限なし 0.5 以下 若干の使用制限あり 0.5~2.0 重大な使用制限あり 2.0 以上 ^{*5,4}	—
ノルマルヘキサン抽出物質 (動植物油脂類含有量)	mg/L	—	—	—	—	5 以下
フェノール類	mg/L	—	—	—	—	—
濁度	ATU	—	月平均 2 以下 最大値 5 以下 ^{*2,5}	—	—	30 以下
色度	度	—	—	—	—	—
臭気	—	—	—	—	—	—

※1 農業(水稻)用水基準、農林水産技術会議、昭和46年10月4日¹⁵⁾

- ※2 ISO16075 Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects, ISO, 2015.8.15¹⁾
 - ...Part1 The basis of areuse project for irrigation AnnexB(informativ) Examples of maximum levels of nutrients and salinity factors in TWW fo irrigatin
 - ※2.1 P25 Table B1 Example of maximum levels of nutrients in TWW used for irrigation
 - ※2.2 P25 Table B2 Example of maximum electrical conductivity of irrigation water、according to plant tolerance、when irrigated by overhead sprinkling
 - ※2.3 P26 Table B4 Combined effect of electrical conductivity(EC_w) of irrigation water and sodium adsorption ratio(SAR) on the likelihood of water infiltration(permeability) problems
 - ※2.4 P27 Table B5 Example of maximum levels of salinity factors in TWW used for irrigation according to crop sensitivity (derived from the Israeli Regulations for irrigation in Israel climatic、soil、and irrigation methods conditions)
 - ※2.5 P27 Table B6 Example of average value and maximum value of other chemical elements in TWW
- ...Part2 Development of the Project
- ※2.6 P10 Table 1 Suggested treated wastewater quality according to chemical、physical and biological parameters
- ※3 WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater 、WHO, 2006²⁾
 - ...VOLUME II wastewater use in agriculture ANNEX1
 - ※3.1 P178 Table A1.1 Water quality for irrigation
 - ※3.2 P179 Table A1.2 Threshold levels of trace elements crop production
- ※4 Health guideline for the use of wastewater in Agriculture and aquaculture 、WHO Scientific Group, 1989³⁾
 - P39 Table.3 Recommended microbiological quality guidelines for wastewater use in agriculture
- ※5 Water quality for agriculture、FAO irrigation and drainage paper 29 Rev.1. Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome、Italy、FAO、1985⁴⁾
 - ※5.1 Table 1 GUIDELINES FOR INTERPRETATIONS OF WATER QUALITY FOR IRRIGATION
 - ※5.2 Table 2 LABORATORY DETERMINATION NEEDED TO EVALUATE COMMON IRRIGATION WATER QUALITY PROBLEMS
 - ※5.3 Table 21 RECOMMENDED MAXIMUM CONCENTRATIONS OF TRACE ELEMENTS IN IRRIGATION WATER
 - ※5.4 Table 24 INFLUENCE OF WATER QUALITY ON THE POTENTIAL FOR CLOGGING PROBLEMS IN LOCALIZED(DRIP) IRRIGATION SYSTEMS
 - ※5.5 Table 27 LIMIT VALUES FOR EVALUATING THE AGGRESSIVITY OF WATER AND SOIL TO CONCRETE

9.3. 農業利用運用時におけるコミュニケーション

農業生産工程管理(GAP:Good Agricultural Practice)においては、使用する水の水源(水道、井戸水、開放水路、ため池等)の確認と、水源の汚染が分かった場合には用途に見合った改善策の実施(特に、野菜の洗浄水など、収穫期近くや収穫後に可食部に直接かかる水に注意)を必要としている¹⁰⁾。灌漑用水として再生水を利用する場合は水源が明確となるため、再生水の汚染状況および対策の実施状況について、農業利用者が監視できるようにすることが、本技術の管理に求められる事項となる。

また、CREST 研究において示されている再生水の農業利用時の発生が予想される危険要因と予防措置¹¹⁾を表 9-7 に示す。また、表 9-7 に示した予防措置に対して、本技術において管理が可能な項目は「下水処理工程」「再生処理工程」となる。また、これらの管理のための具体的な実施対策を表 9-8 に示す。

表 9-7 農業利用における発生が予想される危害要因と予防措置¹¹⁾

工程	発生が予想される危険要因	重要な 危害要因になるか?	予防措置
		根拠	
排水設備	感染症患者の増加	感染者増加に伴い下水濃度増加	保健所等からの感染者情報の入手
下水処理	水処理プロセスの不調(機能不全)	処理効率低下によるリスク増大	定期的な点検の実施
	病原微生物等の流入の増加(Out break 等)	除去率一定だと、放流濃度増加のため感染リスク増大	消毒等の追加処理による緊急対応
再生処理	水処理プロセスの不調(機能不全)	処理効率低下による感染リスク増大	定期的な点検の実施 処理の安定性をモニタリング
耕作地に給水	農業従事者の誤飲・誤摂取	再生水利用の周知が不十分だと感染リスク増大	利用方法の見直し 作業者の安定性をモニタリング
作物を収穫	作物に付着、消費者摂取	コメへの病原微生物付着	飛沫を発生させないような灌水形態 水洗い等の強化による対応

表 9-8 具体的な実施対策

工程	管理項目	具体的実施対策
下水処理 再生処理	定期的な点検の実施	点検結果の公開を実施する。
下水処理	消毒等の追加処理による緊急対策	対策状況の公開を実施する。
再生処理	処理の安定性をモニタリング	連続管理および水質測定モニタリング結果の公開を実施する

① 点検結果の公開

定期的な点検の実施については、遠隔監視項目および巡回監視項目の点検結果を適時、情報公開することが重要である。情報開示については、ホームページ等による公開のほか、給水地

点に掲示版を設置するなど、利用者が情報を得やすくなるよう農業利用者と調整を行うことが望ましい。

② 対策状況の公開

機器の異常が発生、もしくは水質測定結果が異常値を示した場合には、その症状を適時公開することが重要である。また、異常の発生により、処理の一時的な停止、予備機等へ切り替えや、塩素等の追加処理の対策を行った場合に、その対策状況を適時公開することが重要である。

③ 連続管理および水質測定モニタリング結果の公開

計測機器による連続的な観測結果、および水質測定モニタリング結果を、適時、情報公開することが重要である。

なお、情報開示については、ホームページ等による公開のほか、給水地点に掲示板を設置するなど、利用者が情報を得やすくなるよう農業利用者と調整を行うことが望ましい。

参考文献

- 1) ISO16075 Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects、ISO、2015. 8. 15
- 2) WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater 、WHO、2006
- 3) Health guideline for the use of wastewater in Agriculture and aquaculture 、 WHO Scientific Group、1989
- 4) Water quality for agriculture、FAO irrigation and drainage paper 29 Rev. 1. Food and Agriculture Organization of the United Nation、Rome、Italy、FAO、1985
- 5) 農業(水稻)用水基準、農林水産技術会議、昭和46年10月4日
- 6) 沖縄における下水処理水の農業利用の研究、山下 正、農村工学研究所研究報第50号、2011
- 7) 再生水利用学、浅野 孝、Harold L. Leverenz 、土橋 隆二郎、George Tchobanoglou、Franklin L. Burton、技報堂出版、2010
- 8) 再生水利用学、浅野 孝、Harold L. Leverenz 、土橋 隆二郎、George Tchobanoglou、Franklin L. Burton、技報堂出版、2010
- 9) 土壌・肥料学の基礎、FOTH、H.D.(著)、江川 友治(訳)、養賢堂、1981
- 10) 農業生産工程管理(GAP)の共通基盤に関するガイドライン、別添2、P.5、農林水産省生産局、平成22年4月
- 11) 21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価に関する研究調査報告書、【研究項目6】水の衛生学的評価(土木研究所グループサイクルチーム)、P.518-607、国立研究開発法人土木研究所、平成28年1月

10. 農業利用を前提とした導入効果試算例

10. 1. 導入効果のシナリオ

本技術を導入効果の検討におけるシナリオを以下に示す。

シナリオ1:既存処理場の処理水全量を、再生水処理する場合

シナリオ2:既存処理場の一部処理水のみを、再生水処理する場合

(1)シナリオ1

本システムでは、既設処理場の塩素消毒前から取水して再生水処理を行うため、全量の再生水処理を行う場合には、既設処理場の塩素処理に係るコストを削減できる。

また、農業利用を行う場合には、窒素・リンが栄養分として農作物に吸収されることから、既設処理場において高度処理を行わなくとも窒素・リン除去を行っているのと同様な効果を得られるメリットがある。

ただし、24時間稼働を行うため、夜間運転時の維持管理体制の確保などの管理面での問題や、ランニングコストが大きくなるデメリットもある。

(2)シナリオ2

既設処理場の一部処理水のみを再生水処理する場合には、必要最小限の施設の建設で良いため、再生水処理に係る建設コストも最小限とできる。また年間の需要量の変動に応じて日々の処理量を調整できるため、維持管理コストについても、必要最小限に削減できるメリットがある。

なお、既設処理場の一部の処理であるため、既設処理場の消毒にかかるコスト削減や、窒素・リンの削減効果は、ほとんど得られないデメリットもある。

10. 2. 試算条件

10. 2. 1. コスト試算条件

(1) 既設処理場流入水量

日平均流入水量は、日最大処理水量の0.7倍と仮定する。

$$QT_{Dmax} \text{ (日最大既設処理水量)} = 10,000m^3/\text{日}$$

$$QT_{Ave} \text{ (日平均既設処理水量)} = QT_{Dmax} \times 0.7 = 10,000 \times 0.7 = 7,000m^3/\text{日}$$

(2) 再生水の配水先

再生水の配水先は、農業用の調整池・ため池やファームポンドとし、これらの貯水施設において貯留した後、各農業利用先に配水されるものと仮定する。



出典:農林水産省ホームページ
(http://www.maff.go.jp/j/nousin/mizu/agwater_antei/a_kangai/)

図 10-1 農業用調整池の例

(3) 農業利用日平均水需要量(日平均再生水量)

シナリオ1:

農業利用における日平均需要量は、受益面積を 250ha と仮定して、以下のように設定する。

$$A_i \text{ (受益農地面積)} = 250\text{ha}$$

$$Q_{i_{\text{year}}} \text{ (年間水需要量)} = 1,000 \text{ mm/年}$$

$$Q_{i_{\text{Ave}}} \text{ (日平均水需要量)} = A_i \times Q_{i_{\text{year}}} \times 10 / 365 = 250 \times 1,000 \times 10 / 365 = 6,850 \text{ m}^3/\text{日}$$

既設処理場の日平均流入水量は 7,000m³/日であり、需要量は確保できる。

シナリオ1は既設処理場の流入全量の再生水処理を行うため、需要量以上とはなるが、既設処理場の流入水量 7,000m³/日の処理を行うものとする。

$$Q_{\text{Ave}} \text{ (日平均再生水量)} = Q_{T_{\text{Ave}}} = 7,000 \text{ m}^3/\text{日}$$

シナリオ2:

農業利用における日平均需要量は、受益面積を 25 ha と仮定して、以下のように設定する。

$$A_i \text{ (受益農地面積)} = 25\text{ha}$$

$$Q_{i_{\text{Year}}} \text{ (年間水需要量)} = 1,000 \text{ mm/年}$$

$$Q_{i_{\text{Ave}}} \text{ (日平均水需要量)} = A_i \times Q_{i_{\text{year}}} \times 10 / 365 = 25 \times 1,000 \times 10 / 365 = 685 \text{ m}^3/\text{日}$$

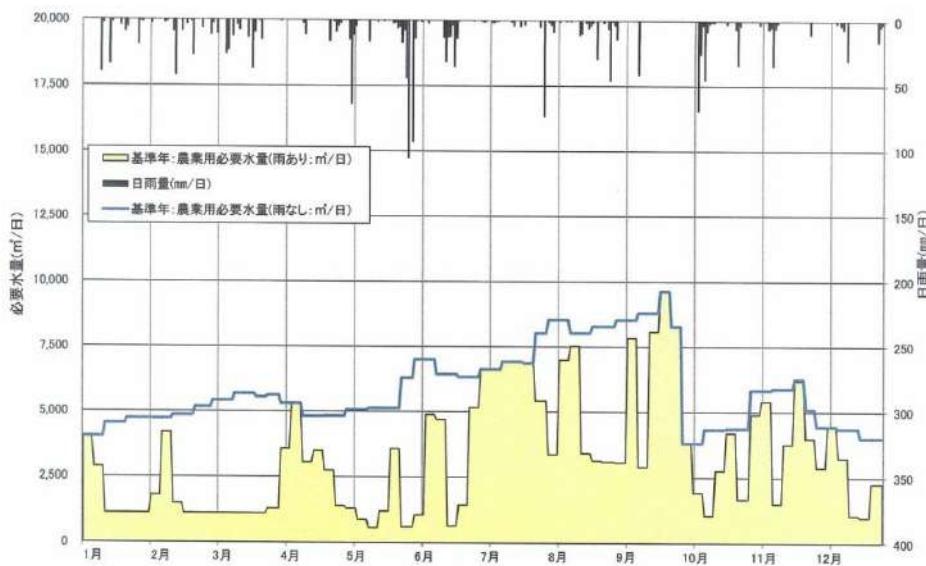
既設処理場の日平均流入水量は 7,000 m³/日であり、需要量は確保できる。

また、シナリオ2は、農業利用での最大需要量が発生しない時期は、その余剰分を近隣のせせらぎ水路へ配水し、周辺景観・環境の向上に資するものと仮定し、年間一定量の再生水処理を行うものとする。そのため、日平均再生水量は、日最大再生水量と同じとする。

$$Q_{\text{Ave}} \text{ (日平均再生水量)} = Q_{D_{\text{max}}} = 1,000 \text{ m}^3/\text{日} \text{ (下記の設定内容を参照)}$$

(4) 農業利用日最大水需要量(日最大再生水量)

日最大水需要量は日平均の 1.5 倍程度(図 10-2 の事例(雨なし)を参考)と仮定する。



出典:糸満市北部地区・再生水利用による畠地かんがい計画

図 10-2 再生水の需要量予測例

シナリオ1:

$$Qi_{Dmax} \text{ (日最大需要量)} = Qi_{Ave} \times 1.5 = 6,850 \times 1.5 \doteq 10,000 \text{m}^3/\text{日}$$

既設処理場の日最大流入水量は $10,000 \text{ m}^3/\text{日}$ であり、処理場の日最大発生日と、需要量の日最大発生日は異なる可能性があるが、農業用の貯水施設により対応が可能と仮定する。

シナリオ1は既設処理場の流入全量の再生水処理を行うため、既設処理場の日最大流入水量 $10,000 \text{m}^3/\text{日}$ の処理を行うものとする。

$$Q_{Dmax} \text{ (日最大再生水量)} = QT_{Dmax} = 10,000 \text{m}^3/\text{日}$$

シナリオ2:

$$Qi_{Dmax} \text{ (日最大需要量)} = Qi_{Ave} \times 1.5 = 685 \times 1.5 \doteq 1,000 \text{m}^3/\text{日}$$

既設処理場の日最大流入水量は $10,000 \text{ m}^3/\text{日}$ であり、需要量は確保できる。

シナリオ2は、需要量のみを再生水処理を行うため、日最大需要量を日最大再生水量とする。

$$Q_{Dmax} \text{ (日最大再生水量)} = Qi_{Dmax} = 1,000 \text{m}^3/\text{日}$$

(5) 再生水処理施設規模

日最大再生水量に対応した施設規模とする。

(6) 送水管

送水管の条件は次のとおりとする。

シナリオ1:

$$L_p \text{ (送水管延長)} = 2.0 \text{km}$$

シナリオ2:

$$L_p(\text{送水管延長}) = 2.0\text{km}$$

(7) 送水ポンプ

送水ポンプの条件は次のとおりとする。

シナリオ1:

ポンプ送水量は、貯水施設での貯留効果があるため、日最大再生水量を 24 時間で平均的に送水するものとした。

シナリオ2:

ポンプ送水量は、貯水効果を考慮せず、日最大再生水量を 8 時間で送水できるものとした。

(8) 利子率

年価算定に用いる利子率は以下のように仮定する。

$$i(\text{利子率}): 0.023 (2.3\%)$$

(9) 耐用年数

建設費の年価算定に用いる耐用年数は以下のように仮定する。

$$n_1(\text{耐用年数(機械)}): 15 \text{ 年}$$

$$n_2(\text{耐用年数(電気)}): 15 \text{ 年}$$

$$n_3(\text{耐用年数(土建)}): 50 \text{ 年}$$

$$n_4(\text{耐用年数(平膜(膜分離活性汚泥法))}): 10 \text{ 年}$$

$$n_5(\text{耐用年数(送水管)}): 50 \text{ 年}$$

(10) ユーティリティ単価

維持管理費に用いる耐用年数は以下のように仮定する。

$$P_1(\text{電力}): 15 \text{ 円/kWh}$$

$$P_{21}(\text{次亜塩素}): 50 \text{ 円/kg}$$

$$P_{22}(\text{塩酸}): 55 \text{ 円/kg}$$

$$P_{23}(\text{SBS}): 60 \text{ 円/kg}$$

$$P_{24}(\text{苛性ソーダ}): 45 \text{ 円/kg}$$

(11) 用地単価

用地費に用いる用地単価は以下のように仮定する。

$$P_A(\text{用地単価}): 120 \text{ 千円/m}^2$$

※平成 27 年度「全国公示地価」の平均的な値とした。

10. 2. 2. 便益試算条件

(1) 農業生産高

作物別の農業生産高は以下に示すとおりであり、再生水を用いることで休耕地を利用できるとともに、安定的な水確保が可能なこととなることで付加価値の高い作物を栽培することができる。このことから、再生水を用いた農業生産高は、付加価値の高く、実証実験においても栽培を行っていた「施設ピーマン」を用いる。

P_i (面積当たり農業生産高) : 21,980 千円/ha・年

作物別の農業生産高

※「農業経営統計調査」(平成 27 年個別経営の営農類型別経営統計(経営収支)－野菜作・果樹作・花き作経営－)より

露地きゅうり作	9,320 千円/ha・年
露地大玉トマト作	6,880 千円/ha・年
露地なす作	7,560 千円/ha・年
露地ピーマン作	8,920 千円/ha・年
露地すいか作	3,410 千円/ha・年
露地キャベツ作	1,890 千円/ha・年
露地ほうれんそう作	1,710 千円/ha・年
露地たまねぎ作	1,140 千円/ha・年
露地レタス作	2,540 千円/ha・年
露地はくさい作	2,170 千円/ha・年
露地白ねぎ作	2,730 千円/ha・年
露地だいこん作	1,440 千円/ha・年
露地にんじん作	1,540 千円/ha・年
露地さといも作	740 千円/ha・年
露地にんにく作	4,120 千円/ha・年
露地アスパラガス作	2,520 千円/ha・年
露地ブロッコリー作	1,650 千円/ha・年
露地かぼちゃ作	1,200 千円/ha・年
露地スイートコーン作	460 千円/ha・年
露地やまいも作	2,010 千円/ha・年
施設きゅうり作	16,070 千円/ha・年
施設大玉トマト作	11,730 千円/ha・年
施設ミニトマト作	13,750 千円/ha・年
施設なす作	16,690 千円/ha・年
施設ピーマン作	21,980 千円/ha・年
施設いちご作	16,040 千円/ha・年

施設メロン作 6,180 千円/ha・年

(2) 高度処理改造費

再生水を農業栽培に用いることにより、窒素・リンの栄養分は農作物に有効に利用されることとなる。そのため、既存の標準活性汚泥法の処理法を高度処理改造したものと同様の効果が得られる。そのため、既存処理場の標準活性汚泥法を高度処理に改造するための費用が不要となることから、この改造費用を便益として見込む。

シナリオ1:

高度処理への改造における処理法は、標準活性汚泥法と同容量での改造が可能なものとして膜分離活性汚泥法の循環変法を仮定する。

シナリオ2:

シナリオ2では、再生水は既存処理場の1割程度しか利用しないため、窒素・リンの削減効果は小さいことから、既存施設の高度処理化による便益は見込まない。

(3) 高度処理維持管理費

シナリオ1:

高度処理への改造に伴う維持管理費の増額分は、膜分離活性汚泥法による維持管理費と、標準活性汚泥法による維持管理費の差額を見込むものとする。

シナリオ2:

シナリオ2では、再生水は既存処理場の1割程度しか利用しないため、窒素・リンの削減効果は小さいことから、既存施設の高度処理化による便益は見込まない。

(4) せせらぎ水路への配水による周辺景観・環境の向上

シナリオ1:

シナリオ1は、全量を農業用水として活用することから、せせらぎ水路への配水による周辺景観・環境の向上による便益は見込まない。

シナリオ2:

再生水施設は日最大 1,000m³/日として、農業利用の日平均需要量は 685m³/日であることから、差分の約 300m³/日を周辺のせせらぎ水路に配水するものとした。

なお、再生水による周辺景観・環境の向上に関する便益の算定は、「下水道事業における費用効果分析マニュアル(案)(追補版)平成 20 年 4 月」(社団法人日本下水道協会)における A 市事例から便益計算を行う。

10. 3. 導入効果の検討

10. 3. 1. シナリオ1

(1) コストの算定

① 再生水量条件

$$Q_{D\max} (\text{日最大再生水量}) = 10,000 \text{m}^3/\text{日}$$

$$Q_{Ave} (\text{日平均再生水量}) = 7,000 \text{m}^3/\text{日}$$

② 建設費

$$Y_1 (\text{機械}) = 1.209 Q_{D\max}^{0.708} = 1.209 \times 10,000^{0.708} = 821 \text{ 百万円}$$

$$Y_2 (\text{電気}) = 3.276 Q_{D\max}^{0.392} = 3.276 \times 10,000^{0.392} = 121 \text{ 百万円}$$

$$Y_3 (\text{土建}) = 5.236 Q_{D\max}^{0.426} = 5.236 \times 10,000^{0.426} = 265 \text{ 百万円}$$

$$Y_T (\text{合計}) : 1,207 \text{ 百万円}$$

③ 必要用地面積

$$A (\text{用地面積}) = 22.07 Q_{D\max}^{0.39} = 22.07 \times 10,000^{0.39} = 801 \text{m}^2$$

④ 用地費

$$P_A (\text{用地単価}) = 120 \text{ 千円/m}^2$$

$$Y_A (\text{用地費}) = A \times P_A = 801 \text{ m}^2 \times 120 \text{ 千円/m}^2 \times 10^{-3} = 96 \text{ 百万円}$$

⑤ 事業費

$$Y (\text{事業費}) = Y_T + Y_A = 1,303 \text{ 百万円}$$

⑥ 建設費年価

$$C_{Y1} (\text{機械}) = Y_1 \times \frac{i(1+i)^{n_1}}{(1+i)^{n_1}-1} = 821 \times \frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} = 65 \text{ 百万円/年}$$

$$C_{Y2} (\text{電気}) = Y_2 \times \frac{i(1+i)^{n_2}}{(1+i)^{n_2}-1} = 121 \times \frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} = 10 \text{ 百万円/年}$$

$$C_{Y3} (\text{土建}) = Y_3 \times \frac{i(1+i)^{n_3}}{(1+i)^{n_3}-1} = 265 \times \frac{0.023(1+0.023)^{50}}{(1+0.023)^{50}-1} = 9 \text{ 百万円/年}$$

$$C_Y (\text{建設費年価・合計}) : 84 \text{ 百万円/年}$$

⑦ ユーティリティ年間使用量

$$U_1 (\text{電力}) = 0.180 Q_{Ave} \times 365 = 0.180 \times 7,000 \times 365 = 459,900 \text{kWh/年}$$

$$U_{21} (\text{次亜塩素}) = 4.923 Q_{Ave} \times 10^{-3} \times 365 = 4.923 \times 7,000 \times 10^{-3} \times 365 = 12,578 \text{kg/年}$$

$$U_{22} (\text{塩酸}) = 0.036 Q_{Ave} \times 10^{-3} \times 365 = 0.036 \times 7,000 \times 10^{-3} \times 365 = 92 \text{kg/年}$$

$$U_{23} (\text{SBS}) = 0.080 Q_{Ave} \times 10^{-3} \times 365 = 0.080 \times 7,000 \times 10^{-3} \times 365 = 204 \text{kg/年}$$

$$U_{24}(\text{苛性ソーダ}) = 0.066 Q_{\text{Ave}} = 0.180 \times 7,000 = 169 \text{kg/年}$$

⑧ ユーティリティ費

電力費：

$$M_1(\text{電力費}) = U_1 \times P_1 = 459,900 \text{kWh/年} \times 15 \text{円/kWh} \times 10^{-3} = 6,899 \text{千円/年}$$

薬品費：

$$M_{21}(\text{次亜塩素}) = U_{21} \times P_{21} = 12,578 \text{kg/年} \times 50 \text{円/kg} \times 10^{-3} = 629 \text{千円/年}$$

$$M_{22}(\text{塩酸}) = U_{22} \times P_{22} = 92 \text{kg/年} \times 55 \text{円/kg} \times 10^{-3} = 5 \text{千円/年}$$

$$M_{23}(\text{中和剤}) = U_{23} \times P_{23} = 204 \text{kg/年} \times 60 \text{円/kg} \times 10^{-3} = 12 \text{千円/年}$$

$$M_{24}(\text{中和剤}) = U_{24} \times P_{24} = 169 \text{kg/年} \times 45 \text{円/kg} \times 10^{-3} = 8 \text{千円/年}$$

$$M_2(\text{薬品費・合計}) : 654 \text{千円/年}$$

⑨ 交換・補修費

$$M_{31}(\text{膜モジュール交換}) = 2.06 Q_{\text{Ave}} = 2.06 \times 7,000 = 14,420 \text{千円/年}$$

$$M_{32}(\text{UV ランプ交換}) = 0.32 Q_{\text{Ave}} = 0.32 \times 7,000 = 2,240 \text{千円/年}$$

$$M_{33}(\text{その他補修費}) = 144.77 Q_{\text{Dmax}}^{0.384} = 144.77 \times 10,000^{0.384} = 4,974 \text{千円/年}$$

$$M_3(\text{交換補修費・合計}) : 21,634 \text{千円/年}$$

⑩ 発生汚泥量(本システムの導入による増加分)

$$\begin{aligned} Q_{\text{dsY}}(\text{発生汚泥固形物量}) &= (3.0 / 0.922 \times 10^6) Q_{\text{Ave}} \times 365 \\ &= (3.0 / 0.922 \times 10^6) \times 7,000 \times 365 = 8.31 \text{t-ds/年} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{wetY}}(\text{発生汚泥量}) = Q_{\text{dsY}} / 0.1 = 8.31 / 0.01 = 831 \text{m}^3/\text{年}$$

$$Q_{\text{cakeY}}(\text{脱水ケーキ量}) = Q_{\text{dsY}} / (1 - 0.80) = 8.31 / (1 - 0.80) = 42 \text{t/年}$$

⑪ 汚泥処理・処分費(本システムの導入による増加分)

$$\begin{aligned} M_{41}(\text{濃縮処理費}) &= 0.030 (Q_{\text{wetY}} / 365)^{0.628} \times 10^3 \times (107.2 / 100) \\ &= 0.030 (831 / 365)^{0.628} \times 10^3 \times (107.2 / 100) = 54 \text{千円/年} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{42}(\text{脱水処理費}) &= 0.039 Q_{\text{wetY}}^{0.596} \times 10^3 \times (107.2 / 100) \\ &= 0.039 \times 831^{0.596} \times 10^3 \times (107.2 / 100) = 2,298 \text{千円/年} \end{aligned}$$

$$M_{43}(\text{汚泥処分費}) = Q_{\text{cakeY}} \times P_{43} = 42 \text{t/年} \times 16,000 \text{円/t} \times 10^{-3} = 672 \text{千円/年}$$

$$M_4(\text{汚泥処理処分費・合計}) : 3,024 \text{千円/年}$$

⑫ 維持管理コスト(合計)

$$\begin{aligned} C_M = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 &= 6,899 + 654 + 21,634 + 3,024 = 32,211 \text{千円/年} \\ &\doteq 32 \text{百万円/年} \end{aligned}$$

⑬ 送水管コスト建設費(年価)

$$L_{\text{pipe}}(\text{送水管延長}) = 2.0 \text{km}$$

D_{pipe} (送水管径) = $\phi 350\text{mm}$ (ポンプ能力送水時の流速 1.0~1.5m/秒となる管径を設定)

$$\begin{aligned} P_{\text{pipe}}(\text{送水管単価}) &= 0.2252 \times D_p + 24.5870 = 0.2252 \times 350 + 24.5870 \\ &= 103 \text{ 千円/m} \end{aligned}$$

※「水道事業の再構築に関する施設更新費用算定の手引き(平成 23 年 12 月)」(厚生労働省健康局水道課)のポリエチレン管(車道施工)の費用関数から設定。

$$Y_{\text{pipe}}(\text{送水管建設費}) = L_{\text{pipe}} \times P_{\text{pipe}} = 206 \text{ 百万円/m}$$

$$\begin{aligned} C_{\text{pipe}}(\text{送水管建設年価}) &= Y_{\text{pipe}} \times \frac{i(1+i)^{n^4}}{(1+i)^{n^4}-1} \\ &= 206 \times \frac{0.023(1+0.023)^{50}}{(1+0.023)^{50}-1} = 7 \text{ 百万円/年} \end{aligned}$$

⑭ 送水ポンプ建設費(年価)

ポンプ能力は、日最大需要量を 24 時間で平均的に送水するものとした。

$$Q_{\text{pump}}(\text{ポンプ能力}) = Q_i D_{\text{max}} = 10,000\text{m}^3/\text{日} (6.94\text{m}^3/\text{分})$$

$$Y_{\text{pump1}}(\text{機械建設費}) = 0.0034Q_{\text{pump}} + 25.8517 = 60 \text{ 百万円}$$

$$Y_{\text{pump2}}(\text{電気建設費}) = 0.0019Q_{\text{pump}} + 78.1407 = 97 \text{ 百万円}$$

$$Y_{\text{pump3}}(\text{土建建設費}) = 0.0056Q_{\text{pump}} + 119.1249 = 175 \text{ 百万円}$$

$$Y_{\text{pump}}(\text{合計}) = Y_{\text{pump1}} + Y_{\text{pump2}} + Y_{\text{pump3}} = 332 \text{ 百万円}$$

※「水道事業の再構築に関する施設更新費用算定の手引き(平成 23 年 12 月)」(厚生労働省健康局水道課)の送配水ポンプ施設の費用関数から設定。

$$C_{Y_{\text{pump1}}}(\text{機械}) = Y_{\text{pump1}} \times \frac{i(1+i)^{n_1}}{(1+i)^{n_1}-1} = 60 \times \frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} = 4.8 \text{ 百万円/年}$$

$$C_{Y_{\text{pump2}}}(\text{電気}) = Y_{\text{pump2}} \times \frac{i(1+i)^{n_2}}{(1+i)^{n_2}-1} = 97 \times \frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} = 7.7 \text{ 百万円/年}$$

$$C_{Y_{\text{pump3}}}(\text{土建}) = Y_{\text{pump3}} \times \frac{i(1+i)^{n_3}}{(1+i)^{n_3}-1} = 175 \times \frac{0.023(1+0.023)^{50}}{(1+0.023)^{50}-1} = 5.9 \text{ 百万円/年}$$

$$C_{Y_{\text{pump}}}(\text{合計}) : C_{\text{pump1}} + C_{\text{pump2}} + C_{\text{pump3}} \doteq 18 \text{ 百万円/年}$$

⑮ 送水ポンプ維持管理費

ポンプ能力は、日最大需要量を 24 時間で平均的に送水するものとした。

$$Q_{\text{pump_min}}(\text{ポンプ能力}) = Q_i D_{\text{max}} / 1440 = 6.94\text{m}^3/\text{分}$$

$$\begin{aligned} C_{M_{\text{pump}}}(\text{維持管理費}) &= 1.00(Q_{\text{pump_min}})^{0.69} \times (103.3 / 78.0) \\ &= 5 \text{ 百万円/年} \end{aligned}$$

※「流域下水道整備総合計画調査指針と解説(平成 20 年 9 月)」(社団法人日本下水道協会)のポンプ施設維持管理費の費用関数から設定

⑯ ライフサイクルコスト

$$C = C_Y + C_M + C_{\text{Pipe}} + C_{YPump} + C_{MPump} = 84 + 32 + 7 + 18 + 5 = 146 \text{ 百万円/年}$$

(2) 便益の算定

① 農作物生産高

$$A_i (\text{受益農地面積}) = 250 \text{ ha}$$

$$P_i (\text{面積あたり農業生産高}) = 21,980 \text{ 千円/ha・年}$$

$$B_i (\text{農業生産高}) = A_i \times P_i = 250 \times 21,980 = 5,495,000 \text{ 千円/年} \\ \approx 5,495 \text{ 百万円/年}$$

② 高度処理改造費(年価)

膜分離活性汚泥法への改造費は、「下水道への膜処置技術導入のためにガイドライン(第2版)」において約 $15,000\text{m}^3/\text{日} \times 8$ 池の改造で約 15,824 百万円(1 池あたり約 2,000 百万円)をしていることから、 $10,000\text{m}^3/\text{日}$ 規模の改造費は 1,333 百万円と仮定する。また、同ガイドラインの費用内訳から、工種別の比率は以下のようになっていることから、以下により算定する。

$$\text{機械 : 電気 : 土建 : 平膜モジュール} = 0.21 : 0.03 : 0.02 : 0.74$$

$$Y_{B1} (\text{高度処理改造費・機械}) = 1,333 \times 0.21 \times \frac{i(1+i)^{n_1}}{(1+i)^{n_1}-1} \\ = 1,333 \times 0.21 \times \frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} \approx 22.3 \text{ 百万円/年}$$

$$Y_{B2} (\text{高度処理改造費・電気}) = 1,333 \times 0.03 \times \frac{i(1+i)^{n_2}}{(1+i)^{n_2}-1} \\ = 1,333 \times 0.03 \times \frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} \approx 3.2 \text{ 百万円/年}$$

$$Y_{B3} (\text{高度処理改造費・土建}) = 1,333 \times 0.02 \times \frac{i(1+i)^{n_3}}{(1+i)^{n_3}-1} \\ = 1,333 \times 0.02 \times \frac{0.023(1+0.023)^{50}}{(1+0.023)^{50}-1} \approx 0.9 \text{ 百万円/年}$$

$$Y_{B4} (\text{高度処理改造費・平膜}) = 1,333 \times 0.74 \times \frac{i(1+i)^{n_4}}{(1+i)^{n_4}-1} \\ = 1,333 \times 0.74 \times \frac{0.023(1+0.023)^{10}}{(1+0.023)^{10}-1} \approx 111.5 \text{ 百万円/年}$$

$$B_Y (\text{高度処理改造費・年価合計}) = Y_{B1} + Y_{B2} + Y_{B3} + Y_{B4} \approx 137.9 \text{ 百万円/年}$$

③ 高度処理維持管理費(標準活性汚泥法との差額のみ)

膜分離活性汚泥法の維持管理費は、「下水道への膜処置技術導入のためにガイドライン(第2版)」において A_2O 法の 59.5%としていることから、「流域別下水道整備総合計画指針と解説」における A_2O 法の費用関数に 0.595 の係数を乗じて算出する。

また、便益費としては、ここから標準活性汚泥法にかかる維持管理費を差し引いて算定を行う。なお、この維持管理費には、汚泥処理も含まれているため、汚泥処理分を除いた水処理に係るもののみと仮定して 0.60 の係数を乗じて算出する。

$$\begin{aligned}
 B_M (\text{高度処理維持管理費}) &= 20.5 \times (Q_{Ave} \times 10^{-3})^{0.72} \times (109.9 / 101.6) \times 0.595 \\
 &\quad - 18.5 \times (Q_{Ave} \times 10^{-3})^{0.69} \times (109.9 / 101.6) \times 0.60 \\
 &= 20.5 \times (7,000 \times 10^{-3})^{0.72} \times (109.9 / 101.6) \times 0.595 \\
 &\quad - 18.5 \times (7,000 \times 10^{-3})^{0.69} \times (109.9 / 101.6) \times 0.60 \\
 &\approx 7.6 \text{ 百万円/年}
 \end{aligned}$$

※「下水道への膜処置技術導入のためにガイドライン(第 2 版)」(平成 23 年 3 月 下水道膜処理技術会議)

※「流域別下水道整備総合計画指針と解説」(平成 27 年 1 月 国土交通省水管理・国土保全局下水道部)

④ 便益

$$B = Bi + B_Y + B_M = 5,495 + 137.9 + 7.6 \approx 5,641 \text{ 百万円/年}$$

(3) 導入効果の評価

コストと便益の試算の結果、便益がコストを上回るため、導入効果があると判断される。

$$\text{コスト } C = 146 \text{ 百万円/年}$$

$$\text{便益 } B = 5,641 \text{ 百万円/年}$$

$$B/C = 38.6$$

10. 3. 2. シナリオ2

(1) コストの算定

① 再生水量条件

$$Q_{Dmax} (\text{日最大再生水量}) = 1,000 \text{m}^3/\text{日}$$

Q_{Ave} (日平均再生水量) = $1,000 \text{m}^3/\text{日}$ (農業利用が少ない時期は、せせせらぎ水路へ配水することで年間一定量の処理を行う)

② 建設費

$$Y_1 (\text{機械}) = 1.209 Q_{Dmax}^{0.708} = 1.209 \times 1,000^{0.708} = 161 \text{ 百万円}$$

$$Y_2 (\text{電気}) = 3.276 Q_{Dmax}^{0.392} = 3.276 \times 1,000^{0.392} = 49 \text{ 百万円}$$

$$Y_3 (\text{土建}) = 5.236 Q_{Dmax}^{0.426} = 5.236 \times 1,000^{0.426} = 99 \text{ 百万円}$$

$$Y_T (\text{合計}) : 309 \text{ 百万円}$$

③ 必要用地面積

$$A (\text{用地面積}) = 22.07 Q_{Dmax}^{0.39} = 22.07 \times 1,000^{0.39} = 326 \text{m}^2$$

④ 用地費

$$P_A (\text{用地単価}) = 120 \text{ 千円/m}^2$$

$$Y_A (\text{用地費}) = A \times P_A = 326 \text{ m}^2 \times 120 \text{ 千円/m}^2 \times 10^{-3} = 39 \text{ 百万円}$$

⑤ 事業費

$$Y (\text{事業費}) = Y_T + Y_A = 349 \text{ 百万円}$$

⑥ 建設費年価

$$C_{Y1} (\text{機械}) = Y_1 \times \frac{i(1+i)^{n_1}}{(1+i)^{n_1}-1} = 161 \times \frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} = 13 \text{ 百万円/年}$$

$$C_{Y2} (\text{電気}) = Y_2 \times \frac{i(1+i)^{n_2}}{(1+i)^{n_2}-1} = 49 \times \frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} = 4 \text{ 百万円/年}$$

$$C_{Y3} (\text{土建}) = Y_3 \times \frac{i(1+i)^{n_3}}{(1+i)^{n_3}-1} = 99 \times \frac{0.023(1+0.023)^{50}}{(1+0.023)^{50}-1} = 3 \text{ 百万円/年}$$

$$C_Y (\text{建設費年価・合計}) : 20 \text{ 百万円/年}$$

⑦ ユーティリティ年間使用量

$$U_1 (\text{電力}) = 0.180 Q_{Ave} \times 365 = 0.180 \times 1,000 \times 365 = 65,700 \text{kWh/年}$$

$$U_{21} (\text{次亜塩素}) = 4.923 Q_{Ave} \times 10^{-3} \times 365 = 4.923 \times 1,000 \times 10^{-3} \times 365 = 1,797 \text{kg/年}$$

$$U_{22} (\text{塩酸}) = 0.036 Q_{Ave} \times 10^{-3} \times 365 = 0.036 \times 1,000 \times 10^{-3} \times 365 = 13.1 \text{kg/年}$$

$$U_{23} (\text{SBS}) = 0.080 Q_{Ave} \times 10^{-3} \times 365 = 0.080 \times 1,000 \times 10^{-3} \times 365 = 29.2 \text{kg/年}$$

$$U_{24} (\text{苛性ソーダ}) = 0.066 Q_{Ave} \times 10^{-3} \times 365 = 0.066 \times 1,000 \times 10^{-3} \times 365 = 24.1 \text{kg/年}$$

⑧ ユーティリティ費

電力費：

$$M_1(\text{電力費}) = U_1 \times P_1 = 65,700 \text{ kWh/年} \times 15 \text{ 円/kWh} \times 10^{-3} = 986 \text{ 千円/年}$$

薬品費：

$$M_{21}(\text{次亜塩素}) = U_{21} \times P_{21} = 1,797 \text{ kg/年} \times 50 \text{ 円/kg} \times 10^{-3} = 89.9 \text{ 千円/年}$$

$$M_{22}(\text{塩酸}) = U_{22} \times P_{22} = 13.1 \text{ kg/年} \times 55 \text{ 円/kg} \times 10^{-3} = 0.7 \text{ 千円/年}$$

$$M_{23}(\text{中和剤}) = U_{23} \times P_{23} = 29.2 \text{ kg/年} \times 60 \text{ 円/kg} \times 10^{-3} = 1.8 \text{ 千円/年}$$

$$M_{24}(\text{中和剤}) = U_{24} \times P_{24} = 24.1 \text{ kg/年} \times 45 \text{ 円/kg} \times 10^{-3} = 0.1 \text{ 千円/年}$$

$$M_2(\text{薬品費・合計}) : 94 \text{ 千円/年}$$

⑨ 交換・補修費

$$M_{31}(\text{膜モジュール交換}) = 2.06 Q_{\text{Ave}} = 2.06 \times 1,000 = 2,060 \text{ 千円/年}$$

$$M_{32}(\text{UVランプ交換}) = 0.32 Q_{\text{Ave}} = 0.32 \times 1,000 = 320 \text{ 千円/年}$$

$$M_{33}(\text{その他補修費}) = 144.77 Q_{\text{Dmax}}^{0.384} = 144.77 \times 1,000^{0.384} = 2,054 \text{ 千円/年}$$

$$M_3(\text{交換補修費・合計}) : 4,434 \text{ 千円/年}$$

⑩ 発生汚泥量(本システムの導入による増加分)

$$\begin{aligned} Q_{\text{dsY}}(\text{発生汚泥固形物量}) &= (3.0 / 0.922 \times 10^6) Q_{\text{Ave}} \times 365 \\ &= (3.0 / 0.922 \times 10^6) \times 1,000 \times 365 = 1.19 \text{ t-ds/年} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{wetY}}(\text{発生汚泥量}) = Q_{\text{dsY}} / 0.1 = 1.19 / 0.01 = 119 \text{ m}^3/\text{年}$$

$$Q_{\text{cakeY}}(\text{脱水ケーキ量}) = Q_{\text{dsY}} / (1 - 0.80) = 1.19 / (1 - 0.80) = 6.0 \text{ t/年}$$

⑪ 汚泥処理・処分費(本システムの導入による増加分)

$$\begin{aligned} M_{41}(\text{濃縮処理費}) &= 0.030 (Q_{\text{wetY}} / 365)^{0.628} \times 10^3 \times (107.2 / 100) \\ &= 0.030 (119 / 365)^{0.628} \times 10^3 \times (107.2 / 100) = 16 \text{ 千円/年} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{42}(\text{脱水処理費}) &= 0.039 Q_{\text{wetY}}^{0.596} \times 10^3 \times (107.2 / 100) \\ &= 0.039 \times 119^{0.596} \times 10^3 \times (107.2 / 100) = 722 \text{ 千円/年} \end{aligned}$$

$$M_{43}(\text{汚泥処分費}) = Q_{\text{cakeY}} \times P_{43} = 6.0 \text{ t/年} \times 16,000 \text{ 円/t} \times 10^{-3} = 96 \text{ 千円/年}$$

$$M_4(\text{汚泥処理処分費・合計}) : 834 \text{ 千円/年}$$

⑫ 維持管理コスト(合計)

$$\begin{aligned} C_M &= M_1 + M_2 + M_3 + M_4 = 986 + 94 + 4,434 + 834 = 6,348 \text{ 千円/年} \\ &\approx 6 \text{ 百万円/年} \end{aligned}$$

⑬ 送水管コスト建設費(年価)

$$L_{\text{pipe}}(\text{送水管延長}) = 2.0 \text{ km}$$

D_{pipe} (送水管径) = $\phi 200\text{mm}$ (ポンプ能力送水時の流速 1.0~1.5m/秒となる管径を設定)

$$P_{\text{pipe}}(\text{送水管単価}) = 0.2252 \times D_p + 24.5870 = 0.2252 \times 200 + 24.5870 \\ = 70 \text{ 千円/m}$$

※「水道事業の再構築に関する施設更新費用算定の手引き(平成 23 年 12 月)」(厚生労働省 健康局水道課)のポリエチレン管(車道施工)の費用関数から設定。

$$Y_{\text{pipe}}(\text{送水管建設費}) = L_{\text{pipe}} \times P_{\text{pipe}} = 2.0 \times 70 = 70 \text{ 百万円/m}$$

$$C_{\text{pipe}}(\text{送水管建設年価}) = Y_{\text{pipe}} \times \frac{i(1+i)^{n^4}}{(1+i)^{n^4}-1} \\ = 70 \times \frac{0.023(1+0.023)^{50}}{(1+0.023)^{50}-1} = 5 \text{ 百万円/年}$$

⑭ 送水ポンプ建設費(年価)

$$L_p(\text{送水管延長}) = 2.0\text{km}$$

ポンプ能力は、日最大再生水量を 8 時間で送水するものとした。

$$Q_{\text{pump_min}}(\text{ポンプ能力}) = Q_i D_{\text{max}} \times 24 / 8 / 1440 = 1,000 \times 24 / 8 / 1440 = 2.08 \text{ m}^3/\text{分} \\ (Q_{\text{pump_day}}(\text{ポンプ能力・日量換算}) 2,995 \text{ m}^3/\text{日})$$

$$Y_{\text{pump1}}(\text{機械建設費}) = 0.0034 Q_{\text{pump_day}} + 25.8517 = 36 \text{ 百万円}$$

$$Y_{\text{pump2}}(\text{電気建設費}) = 0.0019 Q_{\text{pump_day}} + 78.1407 = 84 \text{ 百万円}$$

$$Y_{\text{pump3}}(\text{土建建設費}) = 0.0056 Q_{\text{pump_day}} + 119.1249 = 136 \text{ 百万円}$$

$$Y_{\text{pump}}(\text{合計}) = Y_{\text{pump1}} + Y_{\text{pump2}} + Y_{\text{pump3}} = 256 \text{ 百万円}$$

※「水道事業の再構築に関する施設更新費用算定の手引き(平成 23 年 12 月)」(厚生労働省 健康局水道課)の送配水ポンプ施設の費用関数から設定。

$$C_{Y_{\text{pump1}}}(\text{機械}) = Y_{\text{pump1}} \times \frac{i(1+i)^{n_1}}{(1+i)^{n_1}-1} = 36 \times \frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} = 2.9 \text{ 百万円/年}$$

$$C_{Y_{\text{pump2}}}(\text{電気}) = Y_{\text{pump2}} \times \frac{i(1+i)^{n_2}}{(1+i)^{n_2}-1} = 84 \times \frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} = 6.7 \text{ 百万円/年}$$

$$C_{Y_{\text{pump3}}}(\text{土建}) = Y_{\text{pump3}} \times \frac{i(1+i)^{n_3}}{(1+i)^{n_3}-1} = 136 \times \frac{0.023(1+0.023)^{50}}{(1+0.023)^{50}-1} = 4.6 \text{ 百万円/年}$$

$$C_{Y_{\text{pump}}}(\text{合計}) : C_{Y_{\text{pump1}}} + C_{Y_{\text{pump2}}} + C_{Y_{\text{pump3}}} \approx 14 \text{ 百万円/年}$$

⑮ 送水ポンプ維持管理費

ポンプ能力は、日最大需要量を 8 時間で送水するものとした。

$$Q_{\text{pump_min}}(\text{ポンプ能力}) = Q_i D_{\text{max}} \times 24 / 8 / 1440 = 1,000 \times 24 / 8 / 1440 = 2.08 \text{ m}^3/\text{分}$$

$$C_{M_{\text{pump}}}(\text{維持管理費}) = 1.00 (Q_{\text{pump_min}})^{0.69} \times (103.3 / 78.0) \\ = 2 \text{ 百万円/年}$$

※「流域下水道整備総合計画調査指針と解説(平成 20 年 9 月)」(社団法人日本下水道協会) のポンプ施設維持管理費の費用関数から設定

⑯ 再生水貯留施設(年価)

再生水貯留施設は、需要量に応じて送水を行うために、夜間に処理した再生水を貯留するためのものである。貯留施設の容量は日最大再生水量を 24 時間分を貯留できるものとする。

$$V_{\text{strg}}(\text{貯留施設容量}) = Q_{\text{Dmax}} = 1,000 \text{m}^3/\text{日}$$

$$Y_{\text{strg}}(\text{貯留施設建設費}) = 0.1100 \times V_{\text{strg}} + 0.2386 = 0.1100 \times 1,000 + 0.2386 \\ = 110 \text{ 百万円}$$

※「水道事業の再構築に関する施設更新費用算定の手引き(平成 23 年 12 月)」(厚生労働省健康局水道課)の PC 造配水池の費用関数から設定。

$$C_{Y\text{strg}}(\text{貯留施設年価}) = Y_{\text{strg}} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \\ = 110 \times \frac{0.023(1+0.023)^{50}}{(1+0.023)^{50} - 1} = 4 \text{ 百万円/年}$$

⑰ ライフサイクルコスト

$$C = C_Y + C_M + C_{\text{Pipe}} + C_{Y\text{Pump}} + C_{M\text{Pump}} + C_{Y\text{strg}} = 20 + 6 + 5 + 14 + 2 + 4 = 51 \text{ 百万円/年}$$

(2) 便益の算定

① 農作物生産高

$$B_1(\text{農業生産高}) = A_i \times 21,980 = 25 \times 21,980 = 549,500 \text{ 千円/年} \\ \approx 550 \text{ 百万円/年}$$

② せせらぎ水路への配水による周辺景観・環境の向上

再生水施設は日最大 1,000m³/日の再生水処理が可能であり、農業利用の日平均需要量は 685m³/日であることから、差分の約 300m³/日を付近のせせらぎ水路に配水するものとした。

再生水による周辺景観・環境の向上に関する便益の算定は、「下水道事業における費用効果分析マニュアル(案)(追補版)平成 20 年 4 月」(社団法人日本下水道協会)における A 市事例から便益計算を行う。

・1世帯あたり月間便益額(円/月・世帯)

1 世帯あたりの月間便益額は、「小規模公園費用対効果分析マニュアル」(国土交通省都市・地域整備局公園緑地課監修)の考え方に基づき、以下の算定式により算定する。

$$[1\text{世帯あたり月間便益額}] = [1\text{世帯あたり満足度}(Sw)] \div [\text{負担金のパラメータ}]$$

・負担金のパラメータ

負担金のパラメータは、せせらぎ水路等形成の主目的が「環境」であると想定し、0.0007 とする。(「小規模公園費用対効果分析マニュアル」P21 参照)

$$[\text{負担金のパラメータ}] = 0.0007$$

・1世帯あたり満足度(Sw)

1世帯あたり満足度(Sw)は、「小規模公園費用対効果分析マニュアル」での「競合施設(代替施設)が無い場合」を前提とした下式により算定する。

$$[1\text{世帯あたり満足度}(Sw)] = \ln\{1 + \exp([施設の効用値])\}$$

・施設の効用値

施設の効用値は、「小規模公園費用対効果分析マニュアル」での「環境」が主目的である場合のパラメータを用い、下式により算定する。

$$\begin{aligned}[施設の効用値] &= [施設面積のパラメータ] \times [施設面積(m^2)の平方根] \\ &\quad - [所要時間のパラメータ] \times [所要時間(分)の2乗]\end{aligned}$$

・施設面積および所要時間のパラメータ

施設面積および所要時間のパラメータは、せせらぎ水路等形成の主目的が「環境」であると想定し、以下のとおりとする。(「小規模公園費用対効果分析マニュアル」P20 参照)

なお、所要時間とは町丁目からの平均的な所要時間とする(算定は町丁目単位で実施することを基本とする)。

$$[施設面積のパラメータ] = 0.005409$$

$$[所要時間のパラメータ] = 0.001014$$

A市では、延長 120m、幅 2m のせせらぎ水路に再生水を供給し周辺景観・環境の向上を行っている。受益範囲としては、水路の存在する町丁目から隣接した町丁目(所要時間 30 分以内程度)と設定した。また、リストアップした町丁目について、せせらぎ水路までの距離および所要時間(徒歩による速度を 70m/分として算定)を算定し、下表のとおりまとめている。

表 10-1 せせらぎ水路の受益範囲のデータ取りまとめ(A 市事例)

NO	市町村	町丁目	距離(m) ①	所要時間(分) ②	世帯数(世帯) ③
01	A 市	a	1,581	23	494
02	A 市	b	2,075	30	387
03	B 町	c	1,794	26	313
04	B 町	d	1,772	25	316
05	B 町	e	618	9	781
06	B 町	f	2,003	29	404
07	B 町	g	2,013	29	364
08	C 市	h	1,639	23	664

次に、「小規模公園費用対効果分析マニュアル」により設定したパラメータから、施設の効用値とそれに基づく 1 世帯あたり満足度を算定し、1 世帯当たり便益額(月額ベース)ならびに町丁目便益額(月額ベース)を算定し、下表のとおりまとめている。

表 10-2 1世帯当たり便益額(月額ベース)の試算(A市事例)

NO	施設の効用値 $\textcircled{4} = \sqrt{\textcircled{1}} \times 0.005409 - \textcircled{2} \times \textcircled{2} \times 0.001014$	1世帯当たり満足度 $\textcircled{5} = \ln(1 + \exp(-\textcircled{4}))$	1世帯当たり便益額(円/世帯・月) $\textcircled{6} = \textcircled{5} / 0.000700$	町丁目別の便益額(円/月) $\textcircled{7} = \textcircled{6} \times \textcircled{3}$
01	-0.4331	0.4998	714	352,747
02	-0.8070	0.3690	527	203,977
03	-0.5821	0.4439	634	198,468
04	-0.5659	0.4497	642	203,016
05	0.0048	0.6955	994	776,007
06	-0.7462	0.3881	554	223,993
07	-0.7546	0.3854	551	200,399
08	-0.4721	0.4847	692	459,769

町丁目便益額(月額ベース)を集計すると次のとおりとなる。

$$\begin{aligned} [\text{月間便益額(円/月)}] &= \Sigma [\text{町丁目別の便益額(円/月)}] \\ &= 2,618,377 \text{ 円/月} \end{aligned}$$

また、せせらぎ水路への給水は、農業利用が日最大需要量が発生しない時期のみとなる。農業用水の需要ピークが1ヶ月程度あるものとして、せせらぎ水路への給水は11ヶ月として年間便益額を算定する。

$$\begin{aligned} [\text{年間便益額(円/年)}] &= [\text{月間便益額(円/月)}] \times 11 \text{ ヶ月} \\ &= 2,618,377 \text{ 円/月} \times 11 \text{ ヶ月} = 28,802,147 \text{ 円/年} \\ B_2 \text{ (周辺景観・環境の向上)} &= 29 \text{ 百万円/年} \end{aligned}$$

③ 便益

$$B = B_1 + B_2 = 550 + 29 = 579 \text{ 百万円/年}$$

(3) 導入効果の評価

コストと便益の試算の結果、便益がコストを上回るため、導入効果があると判断される。

$$\text{コスト } C = 51 \text{ 百万円/年}$$

$$\text{便益 } B = 579 \text{ 百万円/年}$$

$$B/C = 11.4$$

11. 問い合わせ先

本技術ガイドラインに関する問い合わせは、以下にお願いします。

国土交通省 国土技術政策総合研究所	国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水処理研究室 〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地 TEL 029-864-3933 FAX 029-864-2817 URL http://www.nilim.go.jp
----------------------	--

本書は、下水道革新的技術実証事業(B-DASH プロジェクト)により国土交通省国土技術政策総合研究所が以下の企業・団体に研究委託を行い、その成果をとりまとめたものです。

<実証研究者 連絡先>

株式会社 西原環境	営業本部 〒108-0022 東京都港区海岸 3 丁目 20 番 20 号 TEL 03-3455-4718 FAX 03-3455-2054 URL http://www.nishihara.co.jp/index.html
株式会社 東京設計事務所	関西支社下水道グループ 〒532-0004 大阪市淀川区西宮原 1 丁目 8 番 29 号 TEL 06-6398-1303 FAX 06-6398-1310 URL https://www.tokyoengicon.co.jp/
京都大学	大学院工学研究科附属 流域圏総合環境質研究センター 〒520-0811 滋賀県大津市由美浜 1 丁目 2 番 TEL 077-527-6222 FAX 077-524-9869 URL http://www.eqc.kyoto-u.ac.jp/
糸満市	水道部 〒901-0392 沖縄県糸満市潮崎町 1 丁目 1 番地 TEL 098-840-8111(代表) FAX 098-840-8112(代表) URL http://www.city.itoman.lg.jp/

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 1011

February 2018

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675