

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)

(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

ガイドライン案の構成（案）

第1章 総則

第1節 目的

ガイドラインの目的、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

第1節 技術の概要

技術の目的、再生水の利用用途、技術の概要、特徴

第2節 技術の適用条件

適用条件(規模、水質)

第3節 実証研究に基づく評価の概要

評価項目・結果

第3章 導入検討

第1節 導入検討手法

導入検討手順、基礎調査、導入効果の検討、コスト・エネルギー消費量・温室効果ガス排出量の算定、その他の効果、導入判断

第2節 導入コスト等の試算例

試算条件、導入コスト等の算出例

第4章 計画・設計

施設計画、設計

第5章 維持管理

運転管理、保守点検、緊急時対応

資料編

実証研究結果、参考資料、問い合わせ先

第1章：用語の定義

Log除去（対数除去率ともいう）

○定義

ウイルス、細菌や汚濁物質などについて、処理前後の対象物質の存在量の比率を対数表示で表したものの。

$$\begin{aligned} [\log \text{除去}] &= \log [\text{処理前の存在量}] - \log [\text{処理後の存在量}] \\ &= \log ([\text{処理前の存在量}] / [\text{処理後の存在量}]) \end{aligned}$$

○使用例

例えば、処理前：**1,000個** → 処理後：**1個**の場合、

$$\begin{aligned} [\log \text{除去}] &= \log (1,000 / 1) = \log (10^3) = \mathbf{3} \\ &\Rightarrow \mathbf{3.0 \log \text{除去}} \text{ と言う。} \end{aligned}$$

なお、通常の除去率で言うと、3.0log除去 = 99.9%となる。

第2章：技術の概要と評価

第1節 技術の概要

技術の「目的」を明確にし、再生水の利用用途のメニュー出し、技術の特徴等の説明を記述。

第2節 技術の適用条件

構成技術の特性に由来する最小規模の考え方、適用可能な水質条件を記述。

第3節 実証研究に基づく評価の概要

実証研究での評価項目と実証結果を記述。

第2章第1節 § 5 技術の目的

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、ウイルス等による病原リスクの低減を図り、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。

利用者に対する
水質リスクの低減

米国カリフォルニア州title22に示された性能基準、JST CRESTの成果を基に、技術の内容・性能条件を設定。

システム全体の
信頼性の担保

- ◆ 再生水質を常に一定の水準に保つ。
 - ◆ システムの異常等のリスクの監視が可能なシステムである。
- ➡ 変動に強く、状態のモニタリングできるシステムであることが必要。

環境負荷の低減

作物には有効な栄養塩類を「上流」に戻す（循環・有効利用）。

➡ 結果として、公共用水域の保全にも寄与。

第2章第1節 § 6 再生水の利用用途

本技術による再生水の利用用途は、得られる品質から、農業灌漑用水が最も適する。

農業灌漑用水

原水である二次処理水の特性と、農業従事者・消費者への安全性確保の観点から、**最も適した利用用途**。

一般的な下水処理水であれば適用可能

都市利用水

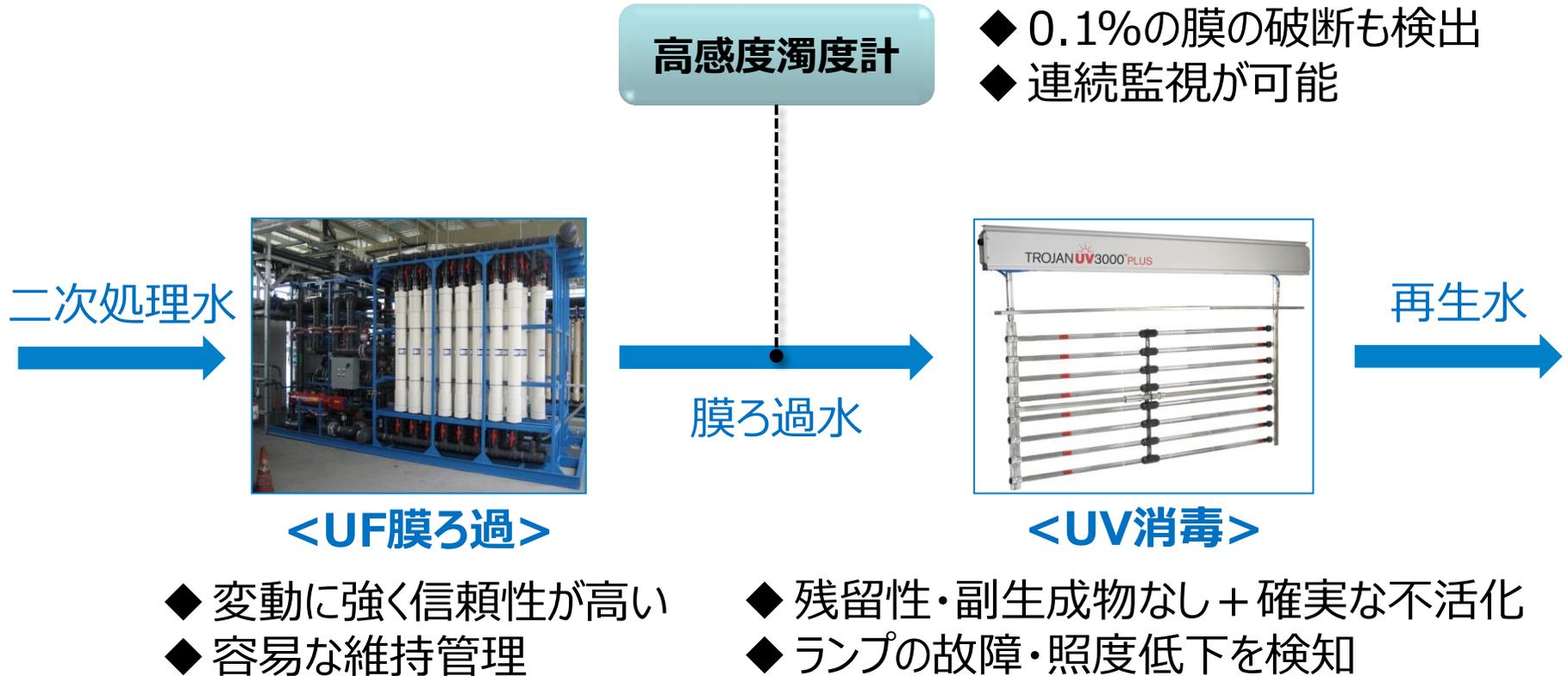
人が触れる可能性への配慮の面では非常に適する。ただし、色度は本システムでは除去対象にできないため注意が必要。

工業用水

濁質およびウイルス等の病原性物質以外（塩素イオン等）は除去対象にできないため、利用用途に応じた検討が必要。

要求水質への対応可否は、原水水質に依存する

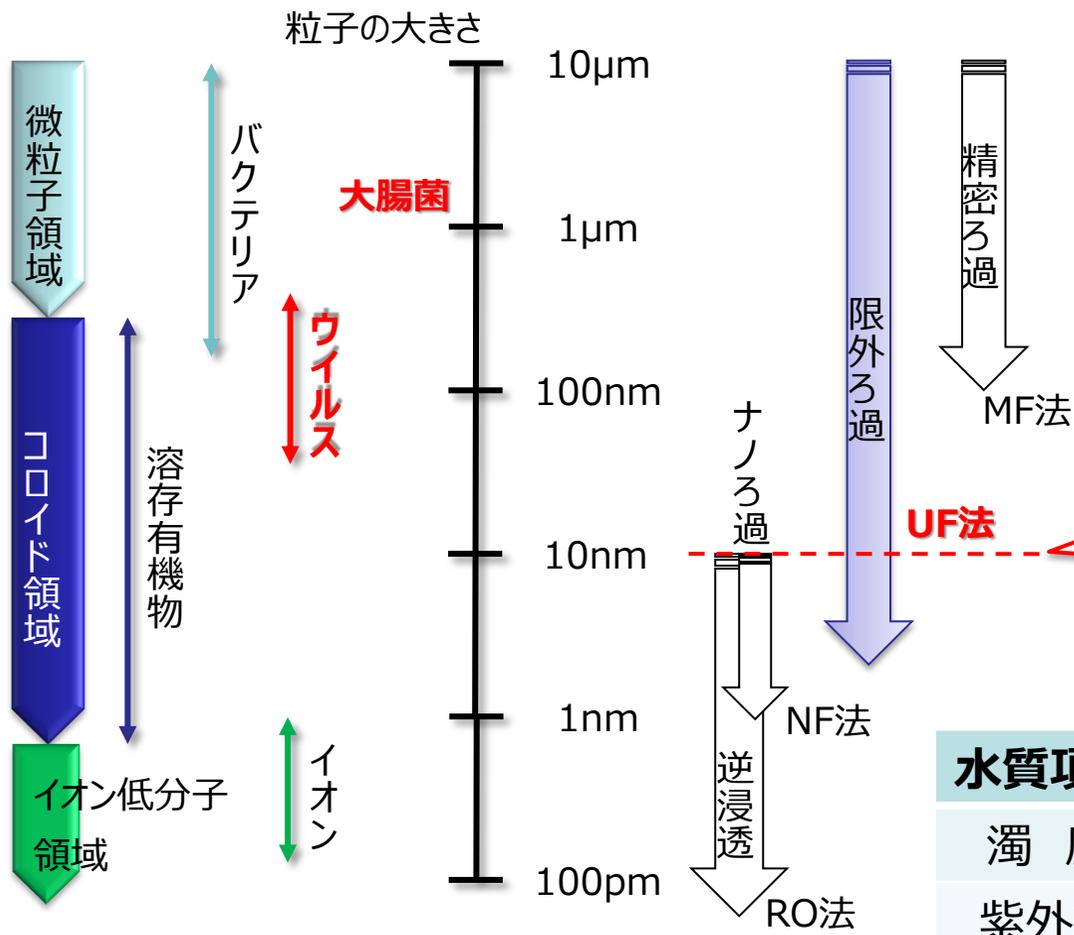
UF膜ろ過 + UV消毒



- ◆ 組み合わせることで「安全で安心な」再生水を提供 ⇒ **水質リスクの低減**
- ◆ システムの異常を連続的に監視 ⇒ **信頼性の担保**

第2章第1節 § 9 UF膜ろ過システムの特徴

UF膜ろ過装置は、一部のウイルスの除去と、後段のUV消毒の確実性を高めるための前処理（濁質除去）を行う。



実証施設に使用した膜の公称孔径：
10nm (0.01µm)

実証研究結果より

水質項目	除去性能等
濁度	膜ろ過水の濁度：0.002～0.007度
紫外線透過率	膜ろ過水の透過率：72～84%
ウイルス	除去性能：1～2log (90～99%)

出典：下水道施設計画・設計指針と解説 2009版より

第2章第1節 § 10 UV消毒装置の特徴

UV消毒装置は、残留物や副生成物を発生させることなく、短時間で確実にウイルスを不活化させる。

本システムによるウイルスの除去
目標は**5.2log**

必要性能はUF膜ろ過：1~2log、UV消毒：4.2log

塩素消毒では、CT値450（5mg/L×**90分**）が必要【title22基準】

UV消毒装置では紫外線照射量85mJ/cm²以上

実証施設のUV装置では、1,000m³/日の再生水能力に対しランプ出力2.25kW、**滞留時間1分**



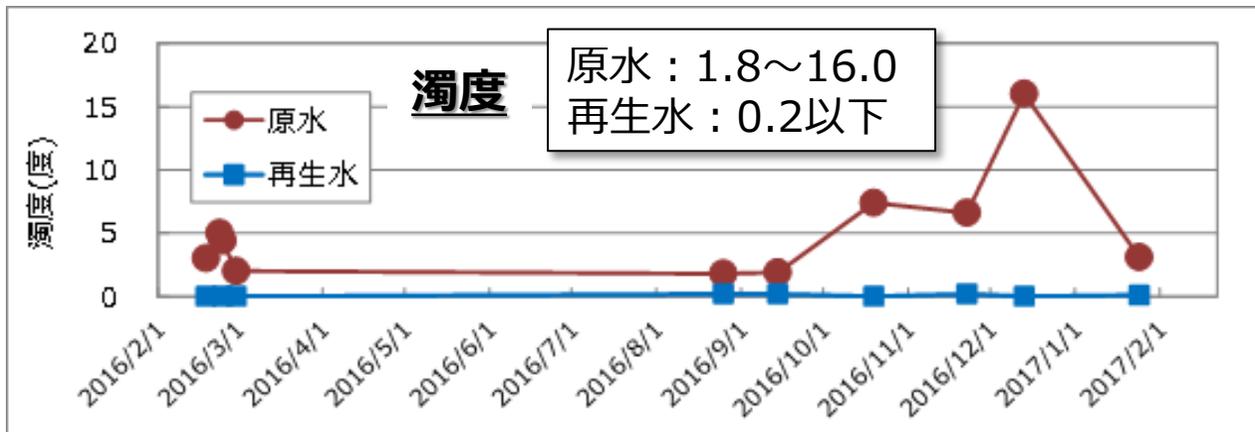
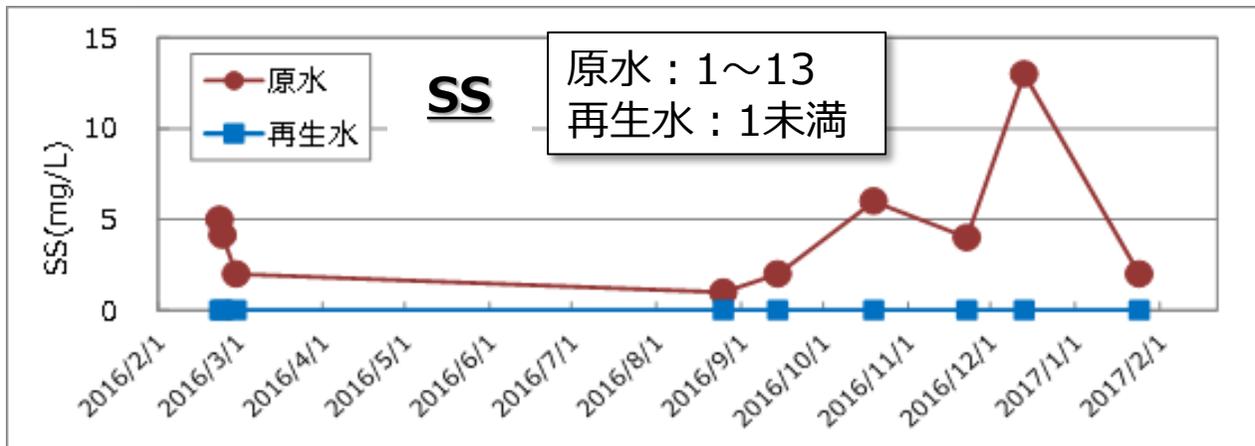
実証研究結果より：ウイルス除去



第2章第2節 § 11 技術の適用条件

原水のSS濃度および濁度の適用条件は、

- ◆ SS濃度：10mg/L以下（年間平均）
- ◆ 濁度：10度以下（年間平均）とする。

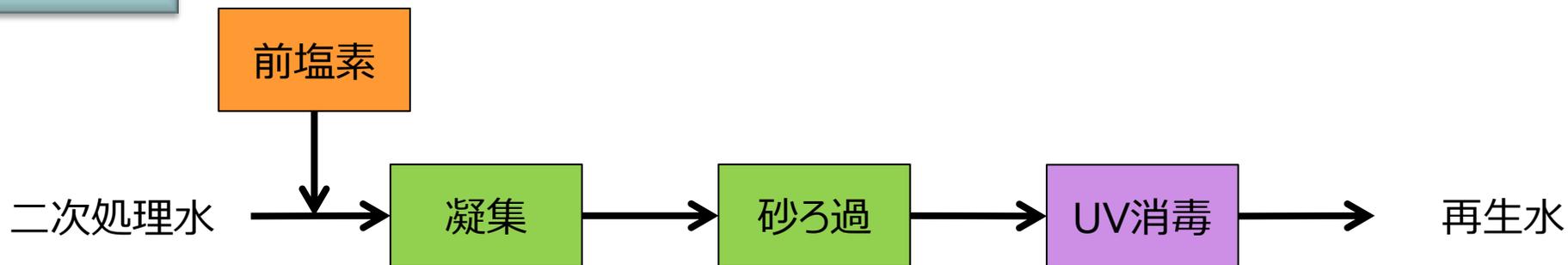


- 実証研究においては、一時的に原水のSS濃度13mg/L、濁度16度の場合があったが、再生水質はSS濃度1mg/L未満（検出下限以下）、濁度0.2度以下で安定。
- ただし、高濃度の状態が長期に渡り継続することによる膜の閉塞等の影響は検証できていないため、上記の適用条件を設定。

第2章第3節 § 14 評価結果(実証研究)

実証研究の結果を基に、従来技術との比較によりコスト等の評価を実施。

従来技術

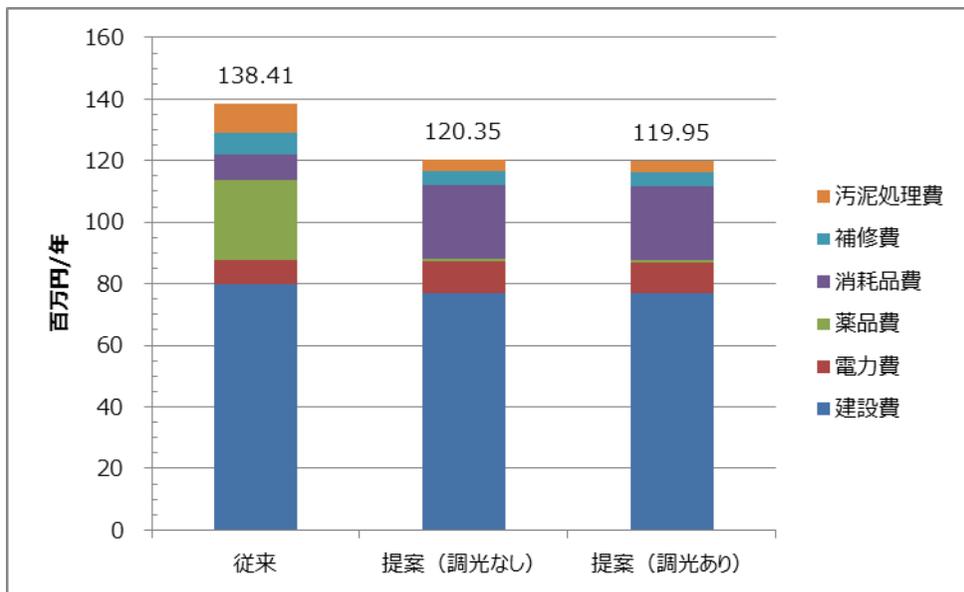


実証技術



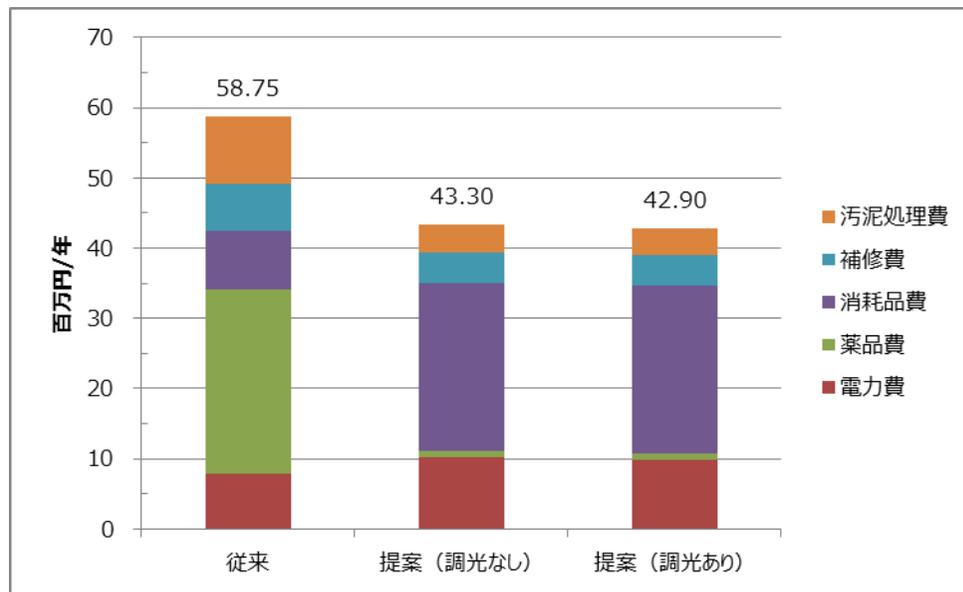
第2章第3節 § 14 評価結果(実証研究)

□ ライフサイクルコスト



項目	金額 (百万/年)	削減率 (%)
従来技術	138.41	—
実証技術 調光なし	120.35	13.0
実証技術 調光あり	119.95	13.3

□ 維持管理費

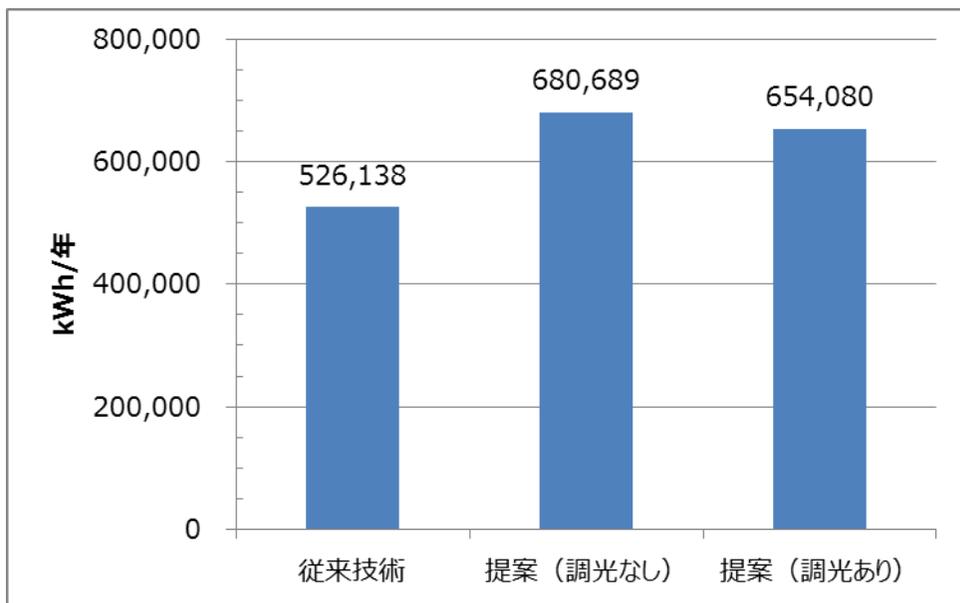


項目	金額 (百万/年)	削減率 (%)
従来技術	58.75	—
実証技術 調光なし	43.30	26.3
実証技術 調光あり	42.90	27.0

※「調光あり」は原水性状に合わせてUV消毒のランプ出力を自動調整した場合の結果を示す。

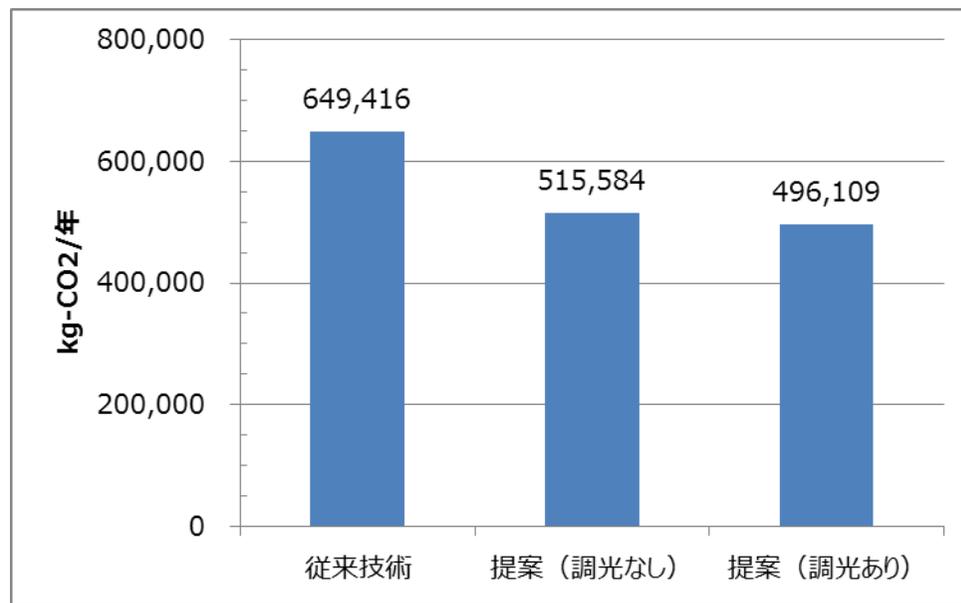
第2章第3節 § 14 評価結果(実証研究)

□ 電力消費量



項目	電力量 (kWh/年)	削減率 (%)
従来技術	526,138	—
実証技術 調光なし	680,689	-29.4
実証技術 調光あり	654,080	-24.3

□ GHG排出量



項目	排出量 (kg-CO ₂ /年)	削減率 (%)
従来技術	649,416	—
実証技術 調光なし	515,584	20.6
実証技術 調光あり	496,109	23.6

※「調光あり」は原水性状に合わせてUV消毒のランプ出力を自動調整した場合の結果を示す。

第3章:導入検討

第1節 導入検討手法

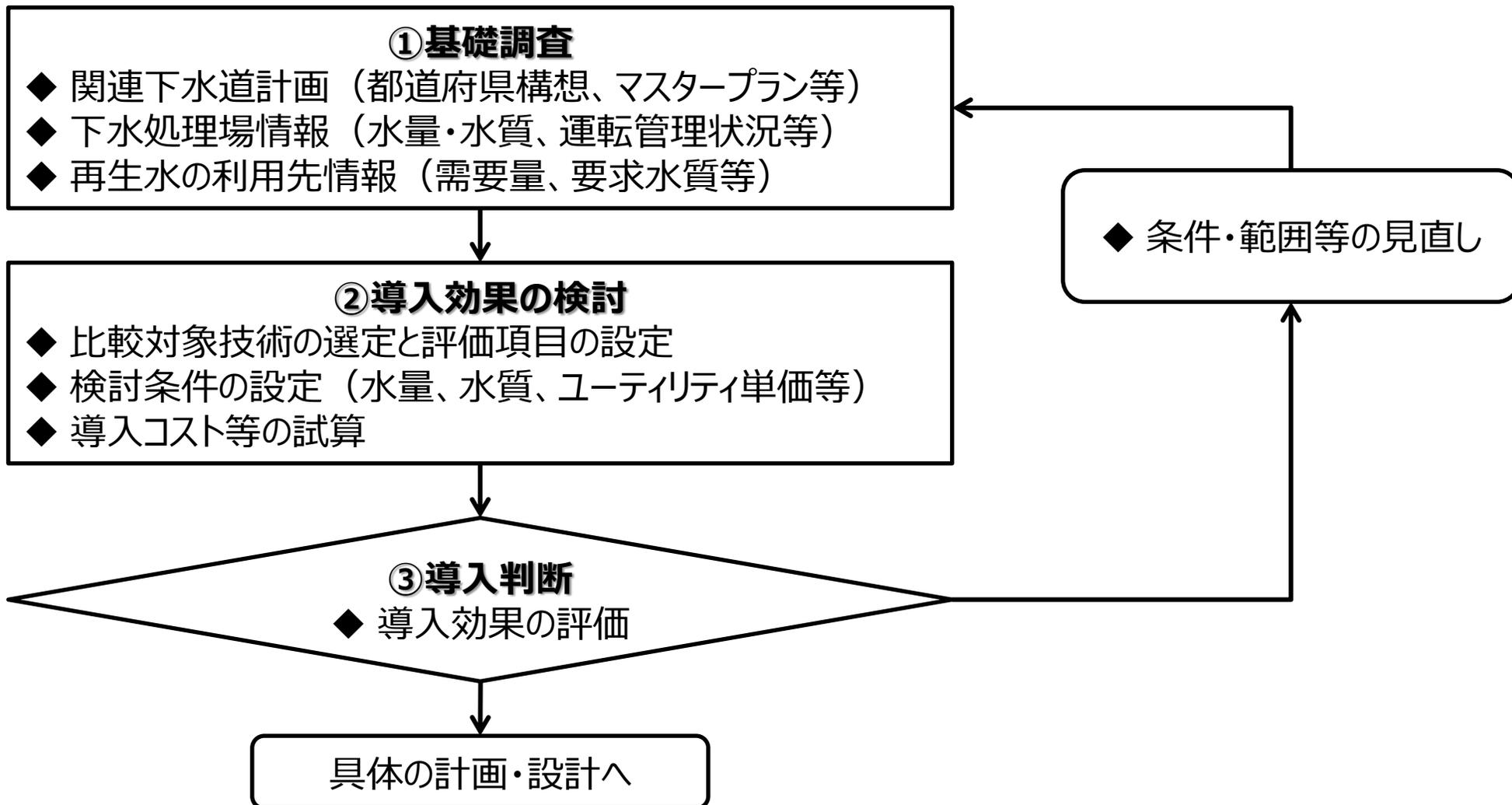
本技術に最も適すると考えられる農業灌漑用水利用を想定した場合の検討手順、コスト等の情報（費用関数）を記述。

第2節 導入コスト等試算例

第1節に示した費用関数等を用い、具体的なケース設定を行って、コスト等の試算例を記述。

第3章第1節 § 15 導入検討手順

導入検討に当たっては、現況と課題を把握し、導入効果の評価を行って適切な導入範囲・事業形態等を判断する。



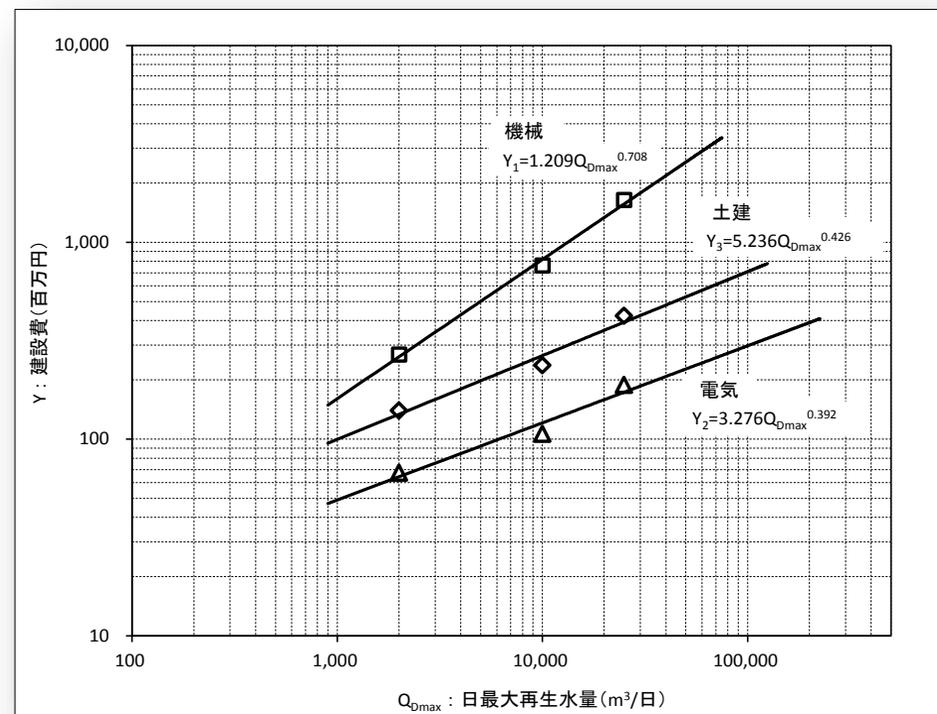
第3章第1節 § 18~22 費用関数

再生水量を基準に、以下の費用関数・係数を記述。

- ◆ 建設費（土建、機械、電気）
- ◆ 維持管理費（ユーティリティ、膜・ランプ交換、補修、汚泥処理）
- ◆ 温室効果ガス排出量（排出係数）
- ◆ 設置面積

○費用関数等

項目	記述内容
建設費	工種（土建・機械・電気）毎の費用関数を作成
維持管理費	ユーティリティ関連は使用量算定関数、補修費等は費用関数を作成
GHG排出量	対象ユーティリティ等に対する排出係数を記述（使用量×排出係数で算出）
設置面積	必要面積の算定関数を作成



第3章第2節 § 26 導入コスト等の試算例

シナリオに沿った条件設定を行い、本システムの導入に係るコスト等を検討する。

項目	内容
設定する条件	<ul style="list-style-type: none">◆供給可能水量と需要量◆利子率◆耐用年数◆ユーティリティ単価◆用地単価
費用等	<ul style="list-style-type: none">◆建設費◆維持管理費◆ライフサイクルコスト◆温室効果ガス排出量◆用地面積

第4章：計画・設計

第1節 施設計画

施設計画の手順、計画実施に当たっての調査事項、水量等の基本諸元設定の考え方、既存処理場への適用に際しての検討事項等を記述

第2節 本システムの処理フロー

必要構成機器による標準フローを記述。

第3節～第6節 構成施設毎の設計

UF膜処理装置本体、UV消毒装置本体と、付帯設備（送水ポンプ、洗浄用設備、計装設備等）の設計手法を記述。

第7節 導入効果の検証

実際の設計終了後に、設計内容に基づいたコストの算定を行って、導入効果の再検証を行う必要性を記述。

第4章第1節 § 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。

◆ 再生水量

再生水の年間需要計画に基づき、年間の日最大需要量に相当する水量を「日最大」とし、それを24時間で割り戻した水量を「時間最大」とする。

◆ 設計運転時間

日最大需要量の発生時において、24時間運転で対応することを原則とする。

本システムの基本性能（除去率）

水質項目	除去率（％）		
	全体	UF膜	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	5.2log	1log以上	4.2log以上

第5章：維持管理

第1節 運転管理

システムの運転方法、日常的な管理内容について記述。

第2節 保守点検

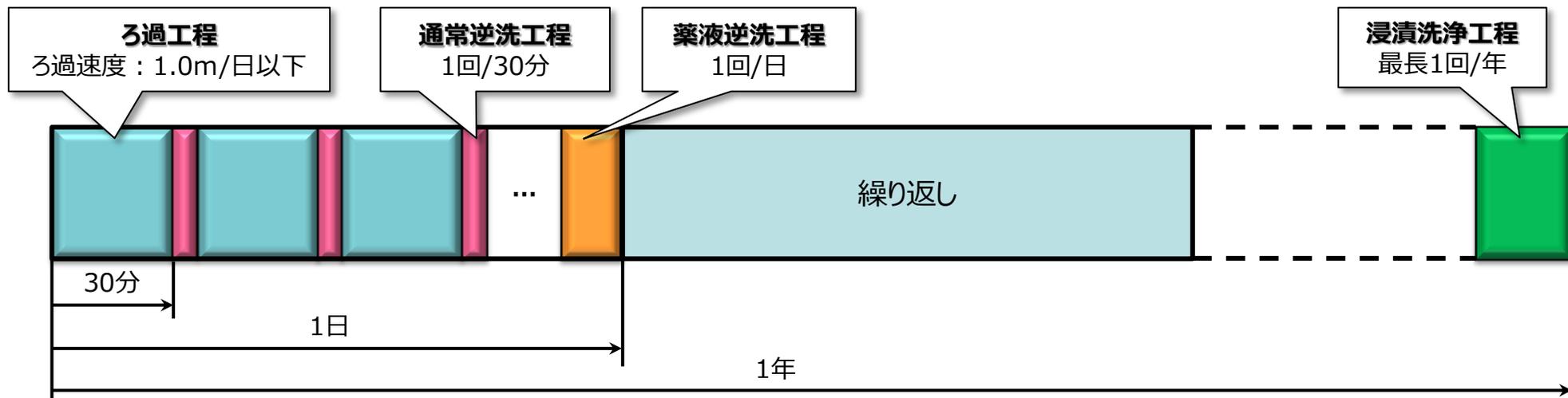
UF膜モジュールの交換、UVランプの交換、構成機器の定期オーバーホールについて記述。

第3節 緊急時の対応

異常発生時のバックアップ運転、施設を停止する場合の対応方法について記述。

第5章第1節 § 49 UF膜の洗浄

本システムに用いるUF膜は、定期的な洗浄を行う。



UF膜処理装置の標準運転サイクル

UF膜処理装置の洗浄内容

洗浄方法	内 容	標準頻度
通常逆洗	再生水および空気による逆洗	1回/30分
薬液逆洗	通常逆洗に次亜による洗浄を追加	1回/1日
薬液洗浄	次亜および酸（塩酸）による浸漬洗浄	1回/1年（最長）

◆ 通常逆洗については、水回収率を上げ、ランニングコストを下げる目的で、長期的な差圧の推移を観察して問題ないと判断されれば、頻度を少なくする（＝ろ過時間を長くする）ことも可能。

第5章第1節 § 50 安定的処理状況の連続的な確認方法

高感度濁度計により、システムの健全度を連続的に監視する。

○膜の破断程度と再生水の水質リスク（破断の程度：0.1～1%）

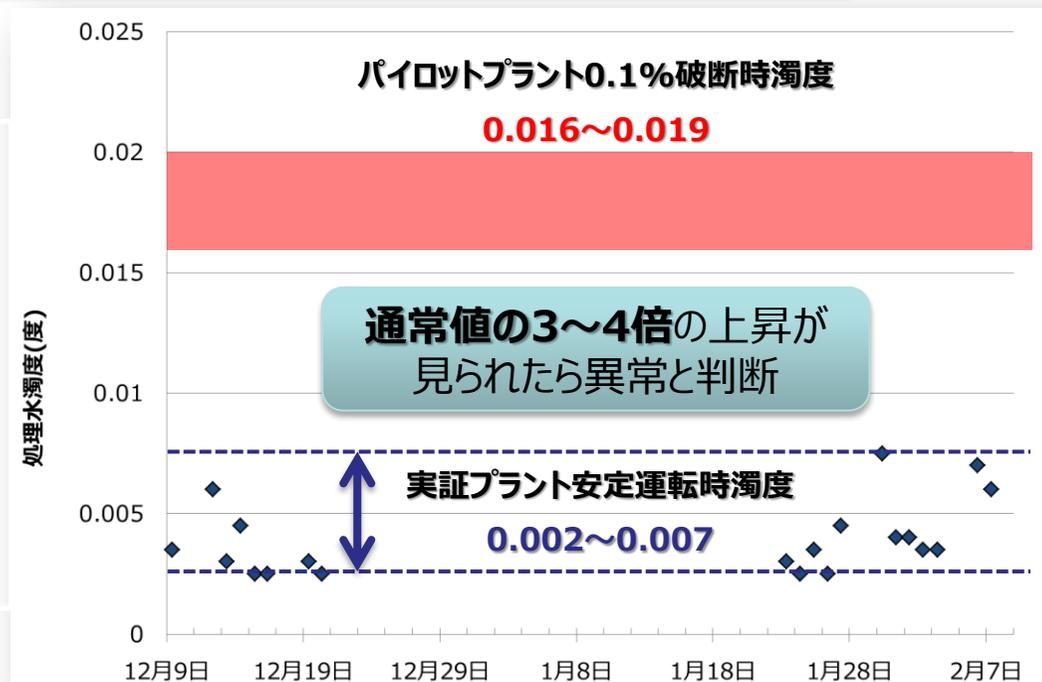
- 大腸菌については、膜が1%破断しても、UV消毒を含めたシステムとしては対応可能（不検出）。
- ウイルスについては、膜の破断が1%まで進むと、UV消毒を含めたシステムとして目標性能（5.2log）を確保できない。



膜が0.1%破断した段階で検知できれば、十分な安全性を担保出来る

○高感度濁度計による状態監視

- 高感度濁度計
分解能：0.0001度
（レーザー散乱光式）
- 膜ろ過水濁度を常時監視することで、システムの健全性を判断可能。
- 膜の健全性をより直接的に確認する「圧力減衰試験」の方法についても記述。



1 実証施設およびパイロットプラント実験結果

2 容量計算およびコスト試算ケーススタディ

3 ウイルス感染リスク

4 ウイルス分析方法

5 UF膜の薬液（浸漬）洗浄方法

6 UF膜の圧力減衰試験要領

7 高感度濁度計清掃方法

8 UV照射量の性能評価におけるP-CFD活用例

9 農業利用リスクコミュニケーション

10 農業利用を前提とした導入効果試算例

11 問い合わせ先

資料編9 農業利用に対する推奨条件

作物により適正が異なるが、各種基準やガイドライン類を参考に、以下の項目に対する「推奨条件」を設定。

- ◆ 重金属類濃度
- ◆ 塩素イオン濃度
- ◆ pH

重金属類濃度

- 農業灌漑用水は河川水を使用する機会が多いことから、同等の水質であれば問題ないという観点で、環境基準値準拠を推奨。
- ISO16075（下水処理水の灌漑用水利用）に基準があるものは、そちらを優先。

塩素イオン濃度

- FAO（国連食糧農業機関）ガイドライン値を目安として記載。
【適用上の制限の程度：地表灌漑】

なし	若干の制限あり	重大な制限あり
<140mg/L	140～350mg/L	>350mg/L

pH

- FAOガイドライン値（6.5～8.4）を目安として記載。
- ただし作物により幅があるため、作物毎の推奨値も併記。