

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。

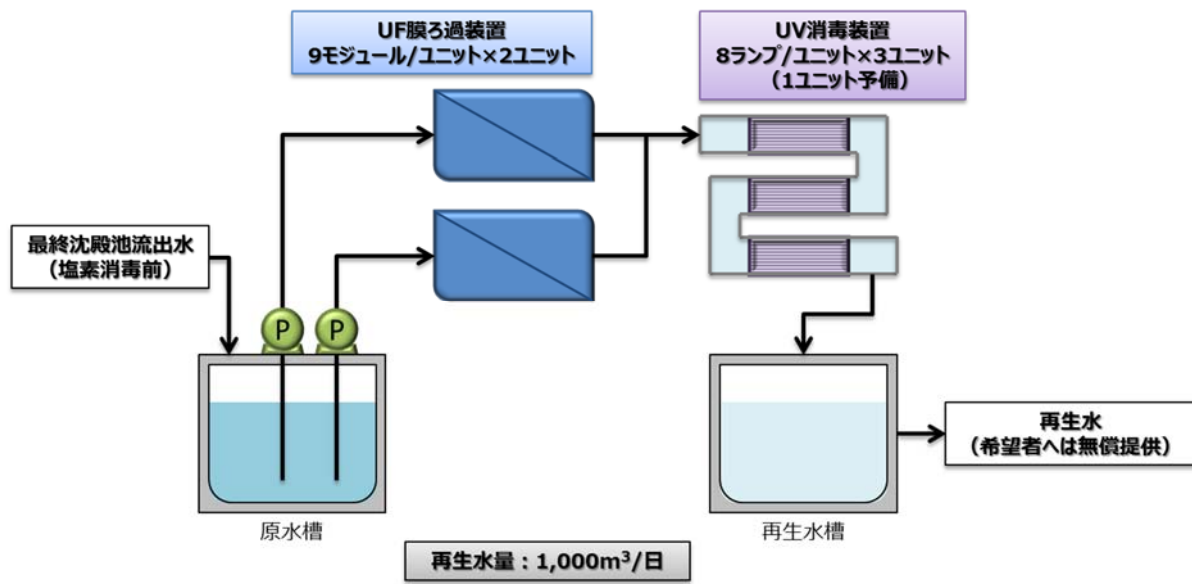


図 2-1 本システムの概要(実証施設)

§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十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】

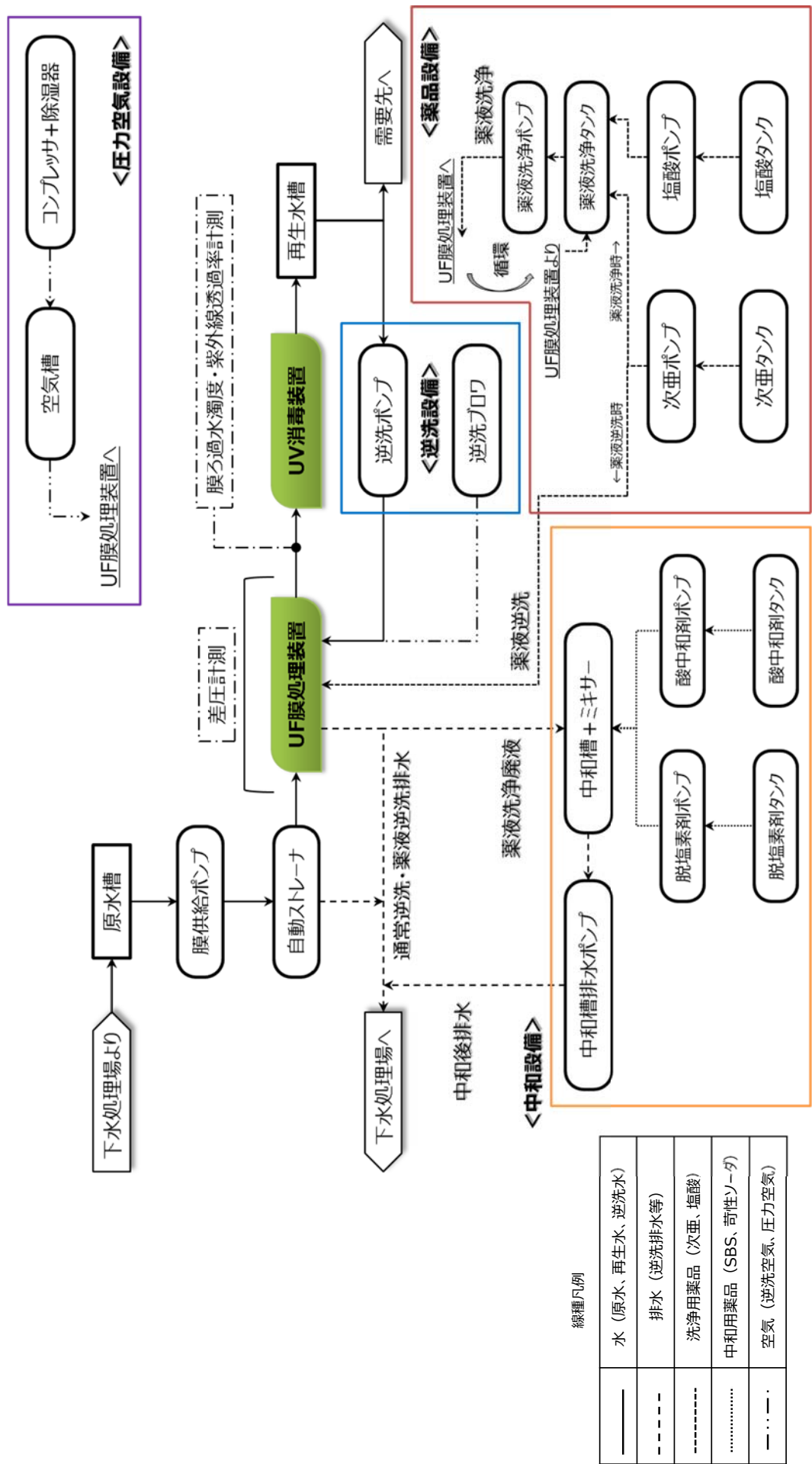
本技術は、以下の技術を組み合わせて、従来技術より信頼性の高いウイルス除去による安全な再生水を、安定的で安価に提供できるものである。本技術では、生食野菜等への再生水の給水や、収穫物の販売を実施し、「農業灌漑用水」に利用できることを実証している。

- ・ 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。



§ 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

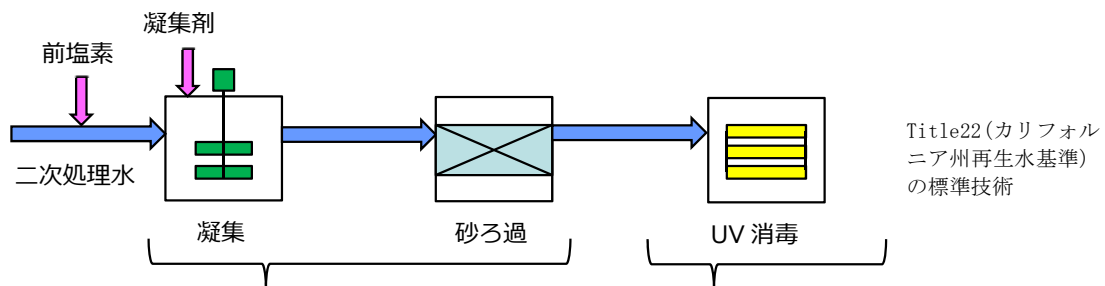
UF 膜ろ過により、UV 透過率も安定したろ過水を得ることにより、後段の UV 消毒も安定した処理ができ、システム全体として効率的なウイルス除去が可能となる。また、処理状況のリアルタイムな処理状況監視により、システムの異常に対する補完を行うことができる。

【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

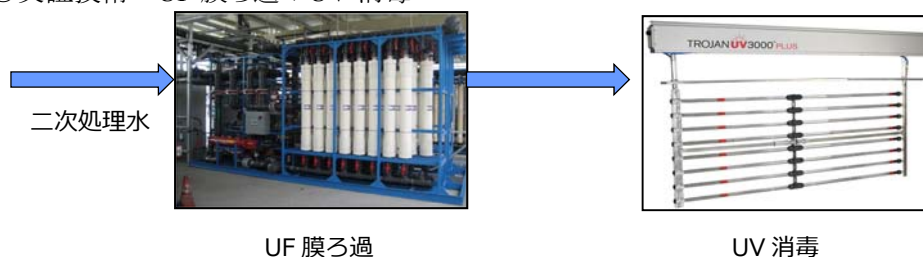


図 2-3 本技術と従来技術の比較

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めるとともに、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期待される。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が考えられるが、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。

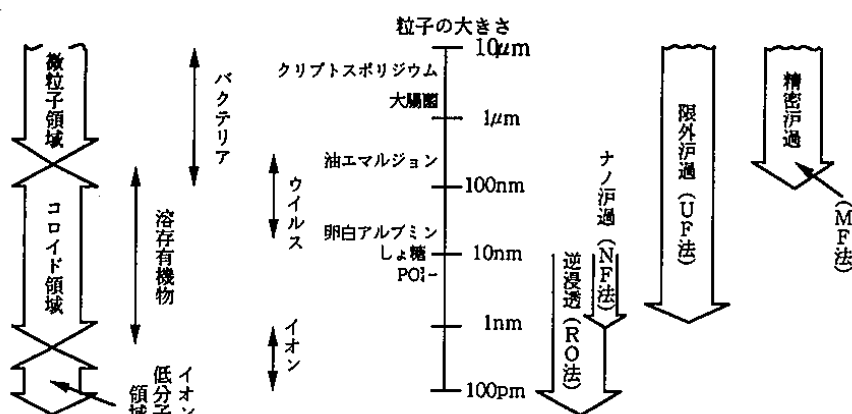
§ 9 UF 膜ろ過システムの特徴

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を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



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 450mg/ℓ・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。

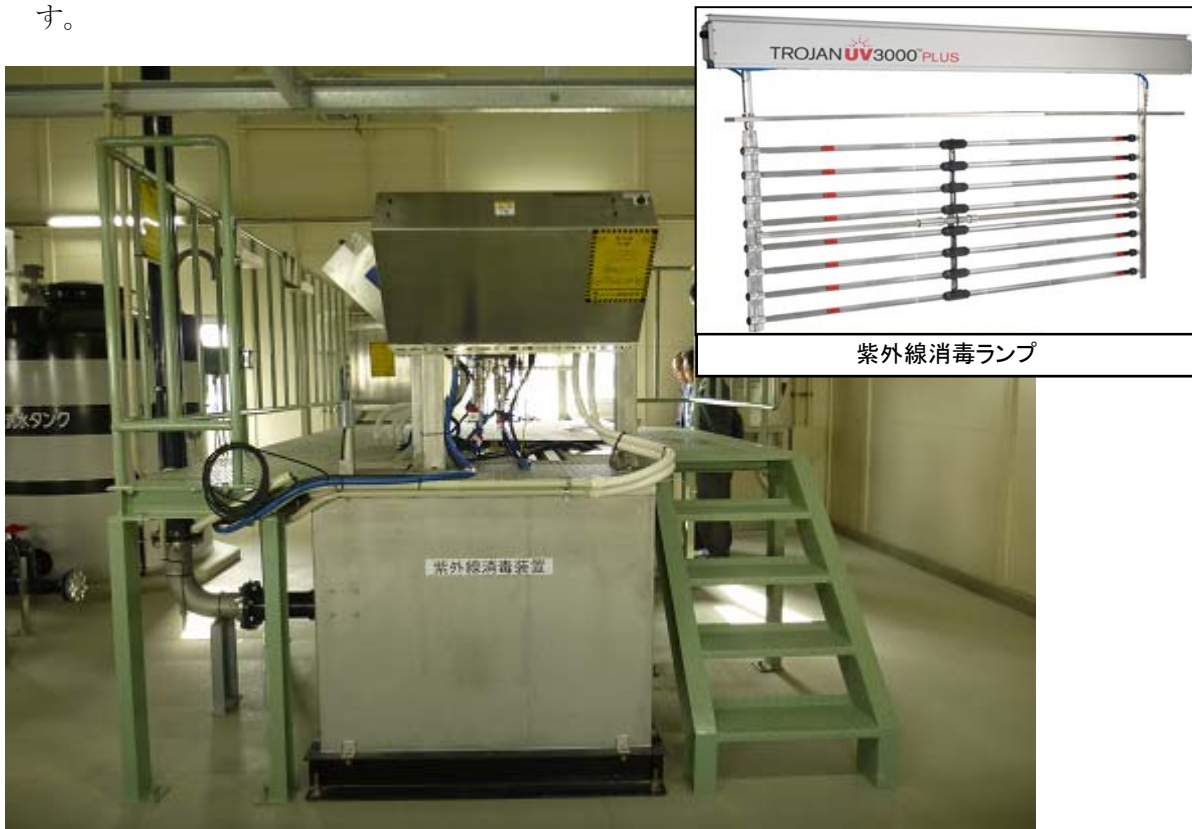


図 2-7 UV 消毒装置(実証施設)の外観



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) 処理水量

本技術の最小規模は 1,000 m³/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 m³/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: 10mg/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) 処理水量

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 m³/日 (日最大) であり、UV 消毒装置の最小規模は 999 m³/日 (日最大) となることから、本技術の最小規模は約 1,000 m³/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 m³/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 ユニットの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)

膜面積 $72\text{m}^2/\text{本} \times$ 膜 Flux $1.0\text{m}/\text{日} \times$ 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 ユニットの最小とする。

1 系列の最小ユニット : 2 ユニットの系列

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

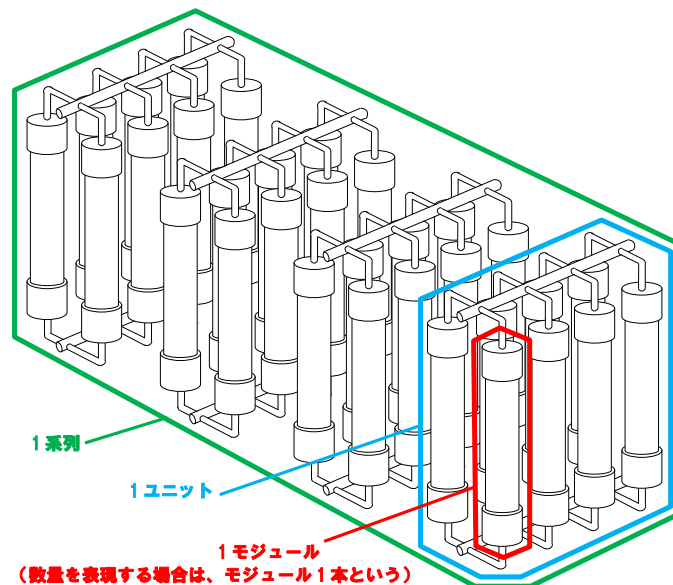


図 2-9 UF 膜ろ過装置の系列およびユニットのイメージ

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 m³/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 : 148m³/日・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 85mJ/cm²として):148m³/日・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 : 1,000m³/日・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。

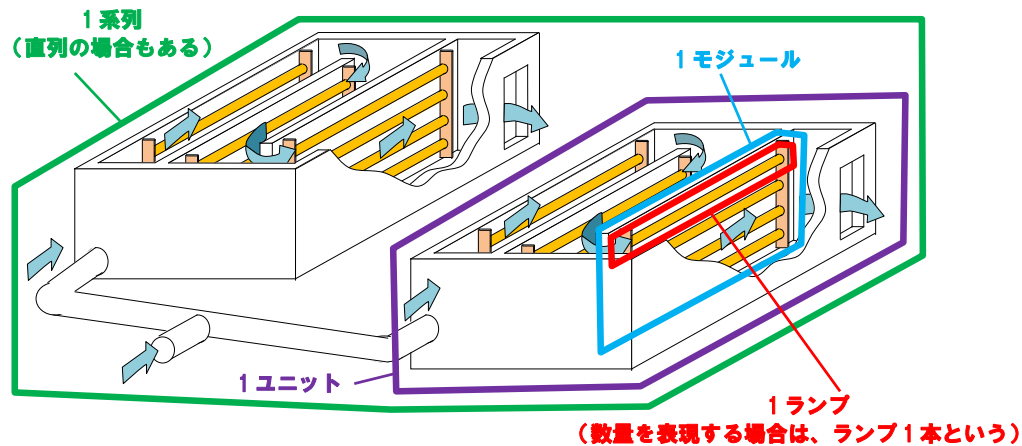


図 2-10 UV 消毒装置の系列およびユニットのイメージ

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。

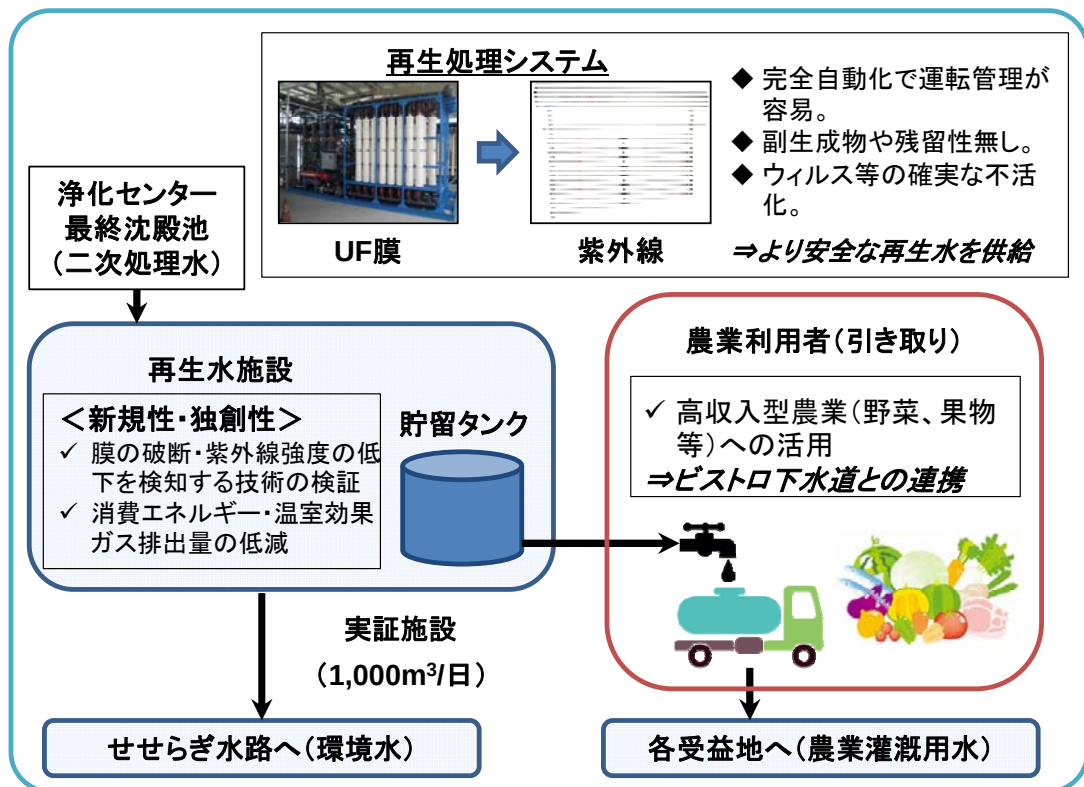


図 2-11 本実証実験の概要

§ 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、10,000m³/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来の各項目における 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

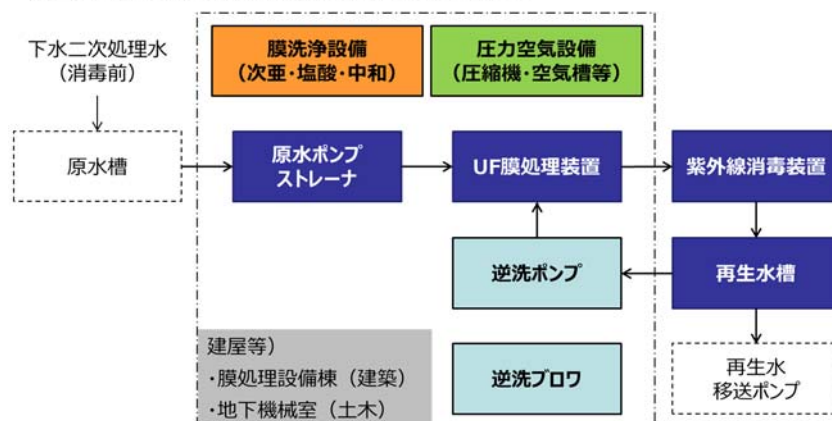


図 2-12 コスト算出範囲

(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(固形物量)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	

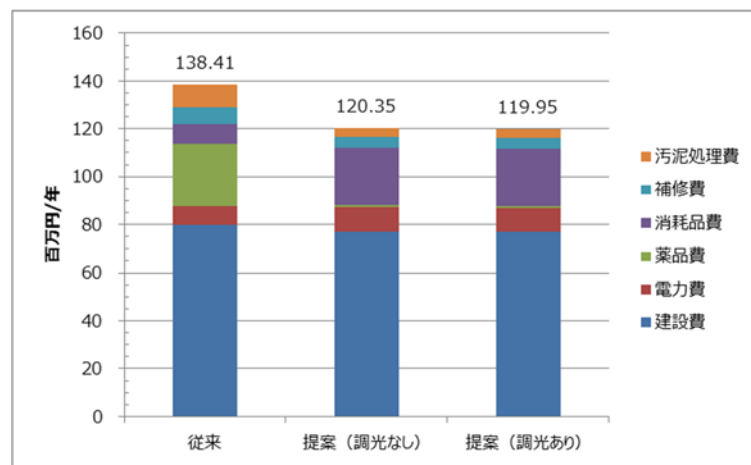


図 2-13 ライフサイクルコストの削減効果

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	

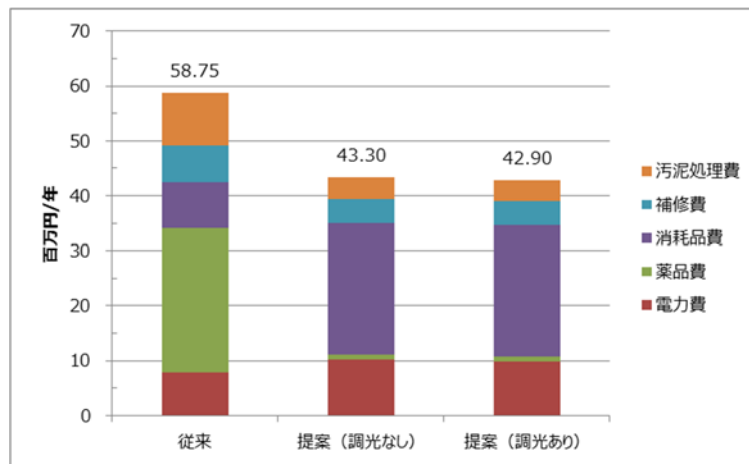


図 2-14 維持管理費の削減効果

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	

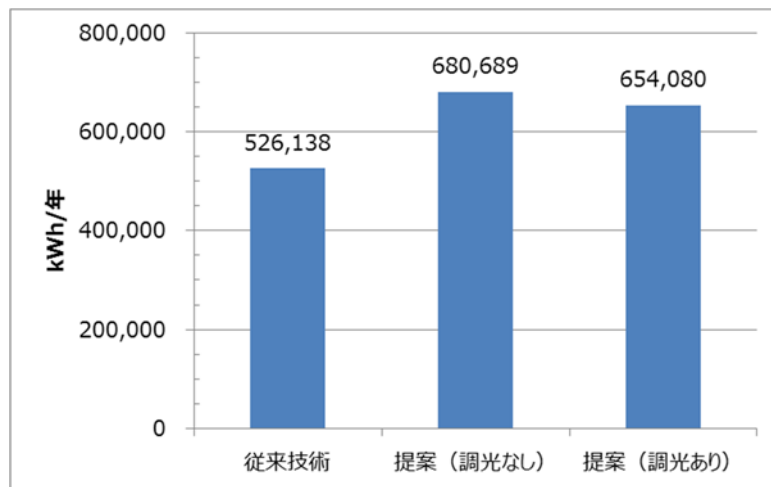


図 2-15 電力消費量の削減効果

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	

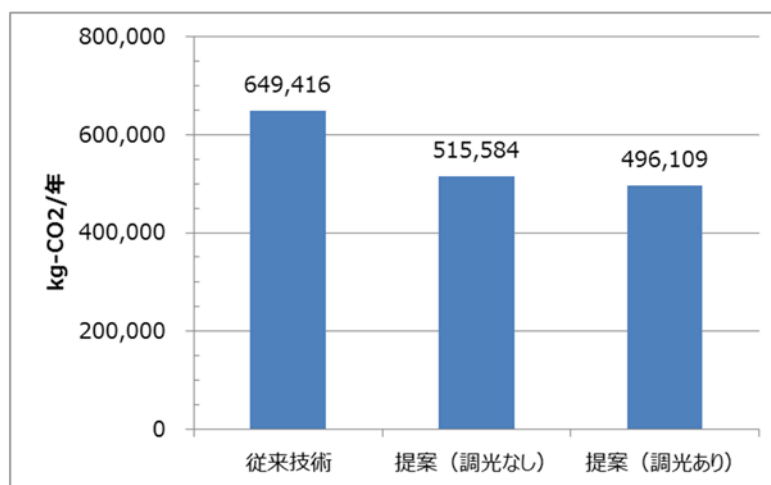


図 2-16 GHG 排出量の削減効果

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	