

再生水利用の安全リスクに関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 21～平 25

担当チーム：リサイクルチーム

研究担当者：津森ジュン、諏訪守、桜井健介、
安井宣仁

【要旨】

本研究では、ウイルス濃度の基準値設定に際してその課題抽出や再生処理技術によるリスクの低減効果を評価することを目的に① 再生水利用促進手法の提案、② 水質基準を設定するための課題抽出とその解決手法の提案、③ 再生処理技術におけるウイルス除去効果の明確化とリスク管理手法の提案を行った。その結果、再生水利用促進のためには、「個人のリスク認知」を進め、可能な限り正確でわかりやすい安全性の保証を周知徹底する手法が最も効果的であると判断された。再生処理技術の評価においては、再生水処理技術として、PAC 添加前処理と膜ろ過処理の組み合わせによる NoV 除去性を検討した結果、MF 膜、UF 膜での除去性は PAC 添加量の依存傾向が異なり、最適 PAC 添加量の設定が重要であることが分かった。

キーワード：再生水、Norovirus(NoV)、膜処理

1. はじめに

温暖化による気候変動等に伴い、世界的に水不足が懸念されている現在、下水処理水は安定した水資源として位置づけられる。下水再生水は渇水時にも安定的に供給が可能であり、世界的にその利用が注目されている。また、親水・修景用水等の利用も進んできている。さらに、企業における CSR 活動の一環として下水処理水の再利用に関心が高まりつつある。一方、下水処理水におけるウイルスの知見が集積されてきており、社会的関心が高まっている中で下水処理水の再利用が行われているが、ウイルスに関する水質基準値は設定されていない。下水処理水の再利用を促進する上で衛生的安全性の担保は重要な因子であることから、ウイルス濃度の基準値を設定するための課題抽出や再生処理技術の評価が望まれている。

現在、我が国における下水処理水年間 147.1 億 m³のうち、再利用量は約 2.0 億 m³、再生水利用率は約 1.4%と低水準¹⁾であり、下水処理水の再利用促進が望まれる。今後、水量・水質の双方からの水環境の改善と都市内水資源の有効活用が求められている。下水処理水の再利用にあたり、特に再生水利用時における病原微生物による感染リスクの管理は重要である。現在「下水処理水の再利用水質基準マニュアル」により水質基準や施設基準等が提示されており、

衛生的な安全評価のため大腸菌、大腸菌群を中心に管理が行われている。しかしながら、病原微生物の知見の集積により病原微生物による水系感染症の課題が明らかになってきている。特に下水および下水処理水から、年間を通して検出されるノロウイルス(以下、NoV と記す)は、調査検討すべき病原微生物である^{2),3)}。

再生水の処理技術としては、海外では都市下水の再生利用は増加傾向にあり、その処理技術として膜処理技術が普及・発展している。一方、国内の再生水利用率は 1.4%にとどまっており、限られた資源である水を有効利用し持続可能な社会を実現するためにも再生水処理技術の評価と再生水の利用促進がカギとなる。

本研究では、下水処理水の再利用を促進する上で水質性状、特にウイルス等に関する衛生的安全性を向上させるため、ウイルス濃度に関する水質基準値設定に関して、その課題抽出や再生処理技術によるリスクの低減効果を評価した。具体的には既往の再生処理術を対象に、微小懸濁物質とウイルス除去の關係に着目し再生水の利用促進の向上および安全リスクの信頼度向上を図ることを目的とし、以下の 3 項目について検討を行った。

- ① 再生水利用促進手法の提案
- ② 水質基準を設定するための課題抽出と

その解決手法の提案

③ 再生処理技術におけるウイルス除去効果の明確化とリスク管理手法の提案

本研究における研究スキームを図1に示す。

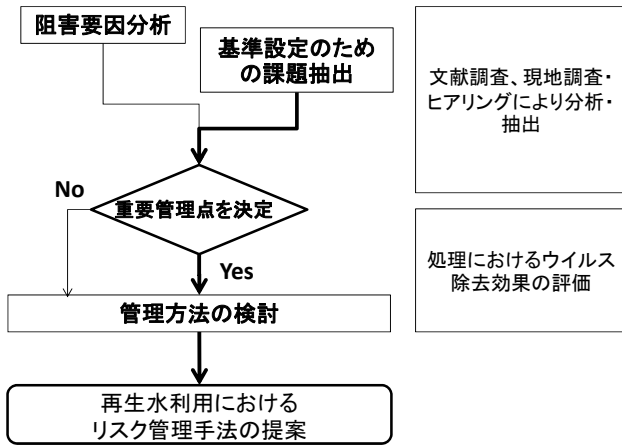


図1 本研究の研究スキーム

2. 障害要因

再生水利用促進手法の提案を行う際、まず再生水利用時の障害要因の分析を行った。本節においては、今後、外的要因が変化し再利用の導入を検討する際に、導入の制限となる可能性がある要因の構成要素の同定と対策について先行事例の取り組みを抽出の後、再生水利用促進のための要因分析を行なった。

障害要因分析の検討は、文献調査、現地調査、ヒアリングにより課題の抽出を行った。まず、文献調査⁴⁾より、4カ国（米国、オーストラリア、イスラエル、日本）、22の再生水利用プロジェクトを対象に「市民の容認度」と、オーストラリアの事例を対象に「容認に関わる要因」を調査し、各国の利用用途と容認度の関係をまとめた。

米国や豪州の事例で「反対」する回答者の割合は、ゴルフ場散水は2-7%、家庭水洗利用は3-13%、野菜への畑地灌漑は7-31%、洗濯用水利用は22-30%、シャワー用水利用は37-52%、調理への利用は55-62%、飲用利用は56-74%である。イスラエルの事例⁵⁾では、「支持」する回答者の割合は、修景利用95%、水洗利用85%、消火用水利用96%、洗濯用水利用38%、飲用利用のための地下浸透11%であった。国内^{6,7)}では、5箇所の調査において、「支持」する回答者の割合は、水洗用水利用で約93%、修景用水で約86%、親水用水で約60%であった。図2に各国の利用用途と再生水利用の容認度の関係を示す。

水洗用水は、いずれの地域においても、支持の割

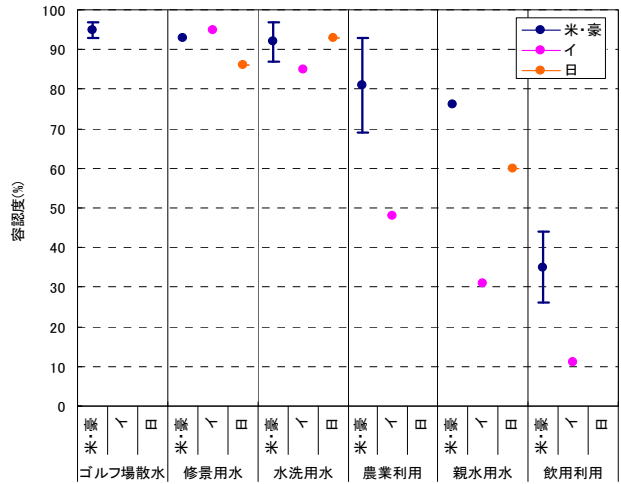


図2 各国の利用用途と容認度の関係

注)「米・豪」は、米国および豪州の事例⁶⁾、「イ」はイスラエルの事例⁷⁾、「日」は日本の事例^{8,9)}を表す。また、「米・豪」は、100より反対度(%)を減じた値を容認度とした。

合が高く、各国間での差は小さかった。また、用途毎の接触可能性の高低と支持率の間には、相関が見られ、接触に対する不安感の寄与が伺われる。しかしながら、地域の特定の課題に取り組むための特定の提案となると、接触の程度ではなく、その目的が大きく寄与する事例も報告されている⁸⁾。

再生水利用促進においては市民の承諾が重要な要素であり、再生水利用促進のためには、「個人のリスク認知」を進めることは市民の承諾を得る上で有効であることが確認され、今後の外的環境の変化により再生水利用の必要性が高まり、その必要性が行政の努力により市民へ理解が進んだ場合に、リスクコミュニケーションなどにより可能な限り正確でわかりやすい安全性の保証が有効となると考えられた。

3. 水質基準を設定するための課題抽出

再生水の有効利用時の包括的な安全管理手法としては、実際に現場で適用する際に必要な要件として以下の諸点を満たすことが必要である。

- 科学的知見に基づき、想定される危害（課題）に対する安全管理を行うこと
- 現場で容易に適用可能な手法であること。即ち、体系化、文章化（マニュアル化）された管理手法であること
- リスク管理計画は、地域要件に応じたカスタムメイドであっても、その策定手法は汎用的であること

上記、要件を達成するために、本研究では、食品・飲料水のリスク管理手法として推奨されている

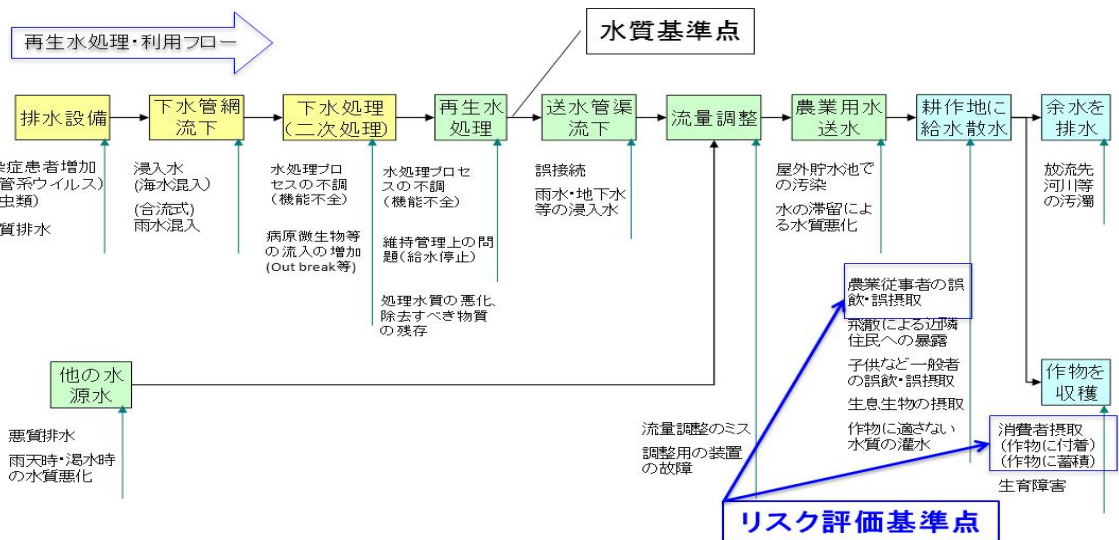


図3 再生水の農業用水利用に関するプロセスフロー

表1 農業用水利用（水稻栽培）におけるハザード別のリスク管理リスト

工程	発生が予想される危害要因	重要な危害要因になるか？		病原微生物リスク評価	重要管理点か？	管理手法（予防措置）
		Yes	根拠			
排水設備	感染症患者増加（腸管系ウイルス） （原虫類） 悪質排水	Yes	感染者増加に伴い下水濃度増加	<p>対数正規分布 （原水濃度分布）</p> <p>流入原水濃度 流行期、非流行期により変動有 ⇒ 流行期においても濃度変動幅は一定 （不確実要素：小）</p>	No	保健所等からの感染者情報の入手
下水道管網	浸入水（海水混入） （合流式） 雨水混入	No	雨水混入により、希釈されるため、濃度減少		No	管きよの更正、改築等
下水処理	水処理プロセスの不調（機能不全）	Yes	処理効率低下によるリスク増大	<p>正規分布 （Log除去率）</p> <p>再生水処理 流入水質の水質状況において、処理変動が生じる。（不確実要素：大）</p>	Yes	定期的な点検の実施 処理の修繕で対応
	病原微生物等の流入の増加（Out break等）	Yes	除去率一定だと、放流濃度増加のため感染リスク増大		Yes	再生水処理の管理強化
再生水処理	水処理プロセスの不調（機能不全）	Yes	処理効率低下による感染リスク増大	<p>文献値等による利用時の曝露シナリオを設定</p> <p>利用方法によりシナリオが一定 （不確実要素：小）</p>	Yes	適切な濃度の凝集剤添加。 （消毒設備の導入等） 定期的な点検の実施 処理の修繕で対応
耕作地に給水	農業従事者の誤飲・誤摂取	Yes	再生水利用の周知が不十分だと感染リスク増大		No	高濃度期の水処理レベル向上、他水源水利用、作業員への注意喚起
	飛散による曝露	No	水稻栽培ではミスト飛散の可能性は少	No	飛沫を発生させないように灌水形態	
作物を収穫	作物に付着、消費者摂取	Yes	コメへの病原微生物付着。	<p>一様分布 （再生水付着量分布）</p> <p>付着、摂取は一様と仮定 （不確実要素：小）</p>	No	飛沫を発生させないように灌水形態

HACCP(Hazard Analysis and Critical Control Points)の考え方に基づくリスク管理計画の適用が有効と判断し、特に微生物学的リスクの観点からリスク管理スキームの枠組みを構築した。図3に再生水の利用用途の一つとして農業用水利用(水稻栽培)を対象とした、水利用に関するプロセスフローを示す。

3. 1 再生利用時の重要管理点の決定と管理手法の提案

図3のプロセスフローより、表1に示す重要管理点選定とハザード別のリスク管理リストを示す。図3に示した、農業利用時の各工程において、重要な危害要因となる項目に対して、定量的病原微生物

リスク評価（QMRA）により、不確実要素（変動が大きい）項目が、農業利用時における重要管理点（CCP）となる。各項目（ハザード）に対する、リスク管理手法（予防措置）を提案した。

4. 再生処理技術におけるウイルス除去効果の明確化

再生水処理技術として、現在、主に下水二次処理水を再生水原水とし、砂ろ過+塩素、膜ろ過等の高度処理が用いられている。これらの再生水処理技術を評価する方法として、ウイルスの除去性を把握することで処理性能を評価する方法が挙げられる。

下水処理水中のウイルスは、しばしば粒子に付着し

ている場合があり、^{9), 10)}、粒子の種類によっては、化学消毒や紫外線消毒において、消毒効果を低下させることが知られている¹¹⁾。また、MF膜やUF膜のろ過処理は、粒子の補足能力が極めて高い一方で、膜の微粒子などによる目詰まりが起りやすく、膜ろ過装置の運転方法や膜の物理的洗浄や薬品による洗浄等のノウハウが重要であることが知られている¹²⁾。このため、処理性能を評価するにあたり、下水処理水中または再生水中のウイルスと粒子の関係を把握することが重要である。

そこで、平成22年度は、粒子とウイルスの関係の解明に向け、下水中、二次処理水中の懸濁物質の粒径の分布を全体と微小な懸濁物質に分けて把握することを目的に検討を行った。また、同一の実下水を用いた下水処理プラントにおける懸濁物質とウイルスの除去の実態調査を行った。

平成23年度は、過年度の研究成果より、NoVを対象に粒子の付着状態を把握するために、孔径の異なるフィルターを用い、粒子を分画しウイルス濃度を定量し検討を行った。

平成24、25年度は、23年度の結果より、1 μ m未満の粒子の除去を行うことがNoV除去に効率的であると考えられたため、前処理として凝集沈殿を行った後に、MF膜、UF膜処理によるNoVの除去性を検討した。

以下に平成21～25年度までに得られた研究成果を示す。なお、NoVの定量は文献^{13), 14)}に準拠してReal-time PCR法にて定量した。

4.1 下水中、二次処理水中の微小懸濁物質径の分布の測定方法の検討 (H22)

微小懸濁物質径の分布の把握には、電気的検知帯法(Electrical sensing zone method, ISO 13319, Multisizer 4.0, Beckman Coulter, Inc.)を用いた。本法は、懸濁物質の電気抵抗を利用し、分析試料中の粒子1個ずつの体積を測定し、球形に換算した粒子径ごとの粒子数を出力する方法である。なお、本方法は、下水や環境水中への検証・適用実績が多数報告されている^{15)~24)}。本報告において、微小懸濁物質とは、生物処理に大きく影響を受けるとされている10-20 μ m以下の粒子²⁵⁾を指すこととし、分析機の細孔は20 μ m(標準測定範囲: 0.4-12 μ m)を用いることとした。

標準物質が添加された試料の測定された粒子の体積は、超純水に添加されたPolystyreneが標準物質よりも大きいピーク径で発生し、下水処理水を用いた

場合などのそれ以外については、0.5 μ mもしくはそれより幾分大きい範囲でピークが検出された。この結果より、下水処理水中の粒径区分は大半が1 μ m未満の粒子の状態が存在していることが明らかとなった。

4.2 下水処理プラント実験 (H.22)

同一の実下水を用いた下水処理プラントにおける懸濁物質とウイルスの除去の実態を把握するために図4に示す、SRTの異なる下水処理プラントの処理水中のNoV濃度および懸濁物質の粒径分布を定量した。NoVは、孔径20 μ mのフィルターでろ過したろ液、孔径1 μ mのフィルターでろ過したろ液のNoV GIIの濃度を定量し、粒子区分毎のNoV濃度を把握した。表2にフィルターでろ過した際のノロウイルス濃度とSS濃度、図4に孔径20 μ mのふるいでろ過した下水処理水の懸濁物質の粒径分布を示す。

調査結果より、0.4~1 μ mの懸濁物質の体積の合計は、系列Aの0.045 mm³/mL、系列Bの0.029 mm³/mLであった。SRTが長くなると微小懸濁物質の除去性が向上することが推測された。SRTの違いによるNoVの濃度の差は確認されなかった。

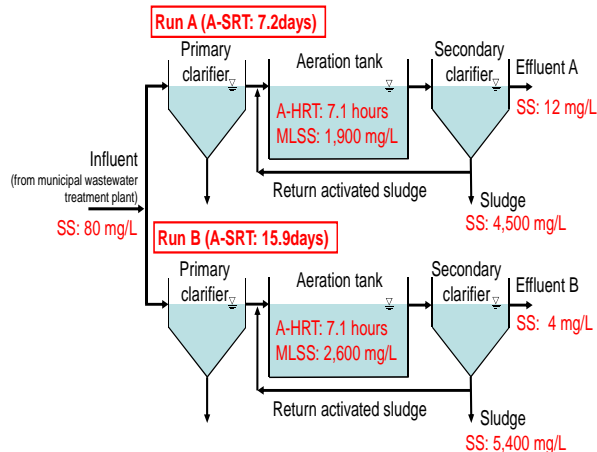


図4 下水処理プラントの概略図

表3 フィルターでろ過した際のNoV濃度とSS濃度

	Run A	Run B
SS in filtered effluents by 20 μ m pore size filter (mg/L)	0.6	0.1
Norovirus genogroup 2 in filtered effluents by 1 μ m pore size filter (copies/L)	4.6×10^4	3.2×10^3
Norovirus genogroup 2 in filtered effluents by 20 μ m pore size filter (copies/L)	1.5×10^5	2.6×10^5

4.3 各処理水の粒度分布と粒子区分毎の NoV の存在実態 (H.23)

処理方式が異なる処理水の微小粒子区分毎におけるウイルスの存在実態の把握を目的に、標準的な活性汚泥法二次処理水と生物学的高度処理法処理水を対象とした。二次処理水は A 下水処理場内のパイロットプラント処理水、高度処理水は A 下水処理場における A₂/O 法、修正 Bardenpho 法、循環式硝化脱窒法とし、凝集剤添加活性汚泥法の処理水も含めた。また処理水の採水と同時に流入下水の採水も行った。

採水時期は平成 23 年 1、2 月の流域の感染胃腸炎患者報告数が多い時期とした。

一例として、図 5 に高度処理水、A₂/O 法処理水の粒度分布と粒子区分毎の NoV 存在割合を示す。流入下水、パイロットプラント処理水、凝集剤添加活性汚泥法処理水では 1 μm 以上の粒子を除去すれば、GI、GII とも概ね 60% 程度、NoV を除去することが可能となるが、残りの 40% は 1 μm 以下の微小粒子態に存在し、特に 0.4 μm 以下に最大で 35% 程度、NoV が残存している可能性が示された。生物学的高度処理 (A₂/O 法、修正 Bardenpho 法、循環式硝化脱窒法) では、粒子径が 1 μm 以上の粒子と 0.4 μm ~ 1 μm 未満の粒子を除去しても NoV の残存濃度がほぼ同等であることから、0.4 μm 未満の微小粒子を除去する必要があると考えられた。よって

二次処理水を再生水として利用する際、特に高度処理水を原水として使用する場合、1 μm 以上の粒子を除去するより、1 μm 以下、特に 0.4 μm 以下の微小粒子を除去する方が効果的にウイルスを除去できると考えられた。

4.4 膜ろ過処理による NoV 除去性の検討(H24-25)

高度処理水を原水とした場合、0.4 μm 以下の微小粒子を除去する方が効果的にウイルス除去できると考えられたため、再生処理技術として、海外で実績があり、今後、促進・発展が期待される膜処理技術に着目し、微小懸濁物質とウイルス除去との関係性を明らかにすることを目的とした。

23 年度の研究成果から、1 μm 未満の粒子に約 20% 程度 NoV が残存している可能性が見出されたことから、24-25 年度では MF 膜、UF 膜を用いた膜処理による NoV の除去性を検討した。図 4 に示す膜モジュール装置を用い、前処理としてポリ塩化アルミニウムによる凝集沈殿を行い、その後膜処理を行った。

4.4.1 実験材料と方法

a) 原水

前処理および膜処理による除去効果を的確に把握するためには、原水中の NoV 濃度が比較的高濃度で存在することが望ましい。そこで、本実験においては、A 下水処理場の流入下水とパイロットプラン

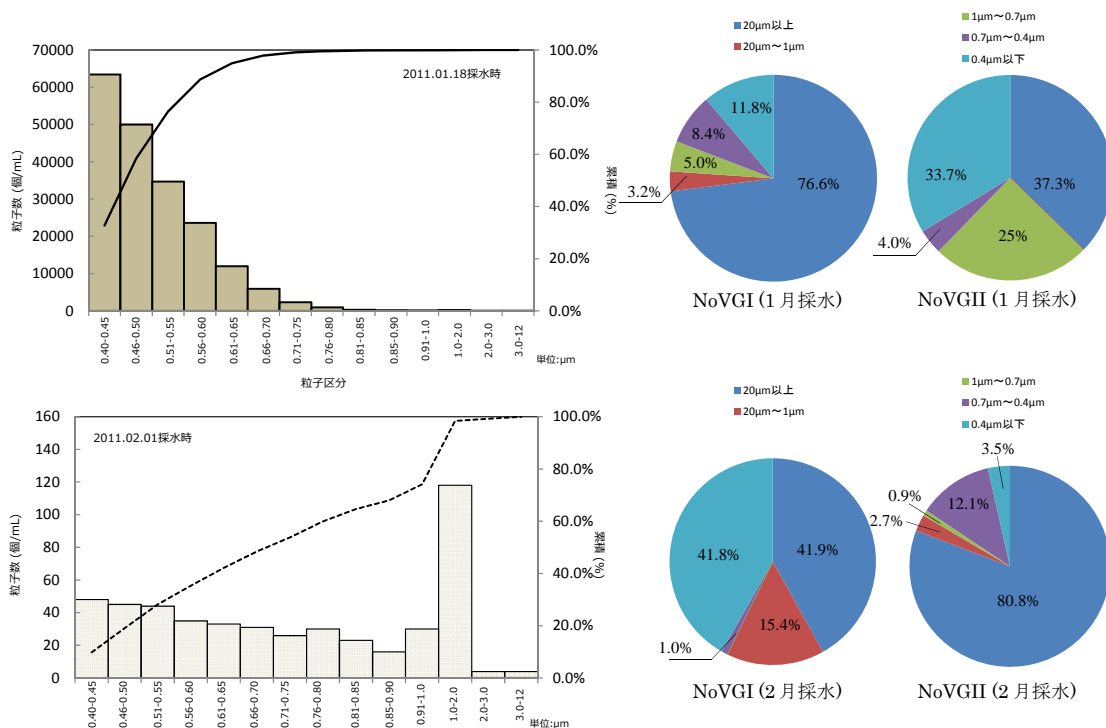


図 5 A₂/O 法処理水の粒度分布と粒子区分毎の NoV 存在割合 (上段:1 月採水、下段:2 月採水)

トの活性汚泥を用いて疑似処理水を作成し、本実験の原水とした。疑似処理水は、流入下水 16L 中に活性汚泥を 4L 投入し、約 1 時間曝気を行い、活性汚泥を沈降させ、その上澄みを疑似処理水とした。作成した疑似処理水の水質は、SS=5.5 mg/L、COD_{Cr}=50 mg/L、NoVGI=2.66×10⁷ (copies/L)、NoVGII=1.51×10⁶(copies/L)であった。

b) 前処理

前処理として、一般に市販されているポリ塩化アルミニウム (PAC) を用い、ジャーテスターにて凝集沈殿を行い、その上澄み水を膜ろ過した。PAC 添加量は、アルミ濃度で約 2~12mg-Al/L になるように添加した。攪拌は、G 値が約 800(s⁻¹)に設定し、急速攪拌 10(s)、緩速攪拌 20(min)を行い、60 分間静置後の上澄み水を試験水として用いた。

c) 膜モジュール

実験には、MF 膜(膜材質：ポリフッ化ビニリデン (PVDF)、公称孔径=0.45 μm、有効膜面積=120cm²)と UF 膜 (膜材質：ポリアクリロニトリル (PAN)、分画分子量=50000Da、有効膜面積=170cm²)の膜材質、膜種の異なる 2 種類の膜を用いた。ろ過水量は全ての実験系で 500mL となるように膜間差圧を調整した。

d) 実験方法

公称孔径、分画分子量、材質の異なる膜モジュールを用い、異なる前処理条件下での膜処理による NoV 除去性の把握を試みた。図 6 に示す、膜ろ過装置を用いた。実験は回分式にて行った。PAC 添加のみ、PAC 添加後の凝集沈殿上澄み液を MF 膜、UF 膜に通水し、膜処理水を得た。

e) 実験結果

図 7 に各実験条件における NoV 除去特性を示す。PAC 添加のみでは、NoVGI は、添加量を増加すると除去率が向上するが、6mg-Al/L 以上の添加量を超えると除去率が低下することが確認された。一方 NoVGII は、2mg-Al/L の添加では、除去率が向上しなかったが、4 mg-Al/L 以上の添加で概ね 2Log 程度の除去が期待された。PAC 添加+MF 膜処理では、GI、GII ともに PAC 添加量に比例して MF 膜処理後の NoV の除去率が向上傾向にあるものの、GI、GII に関しては PAC のみ添加時同様に最適な添加量が存在する可能性が示された。また、PAC 添加+UF 膜処理では、GII に関しては PAC 添加=2mg-Al/L を除き、全ての実験系で不検出であったため、PAC 添加効果を明確に判断することは出来な

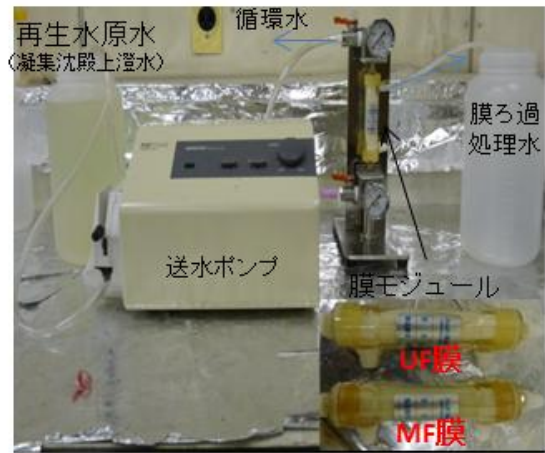
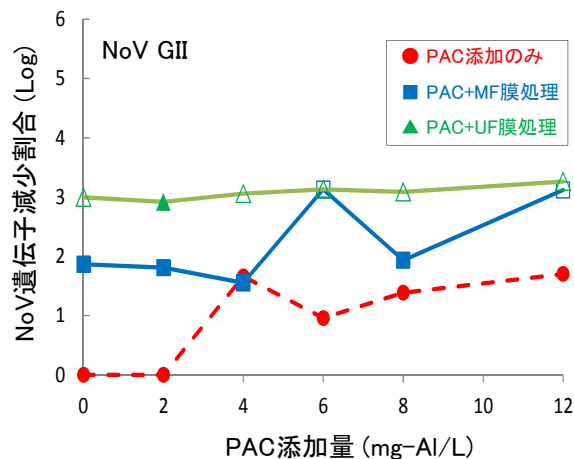
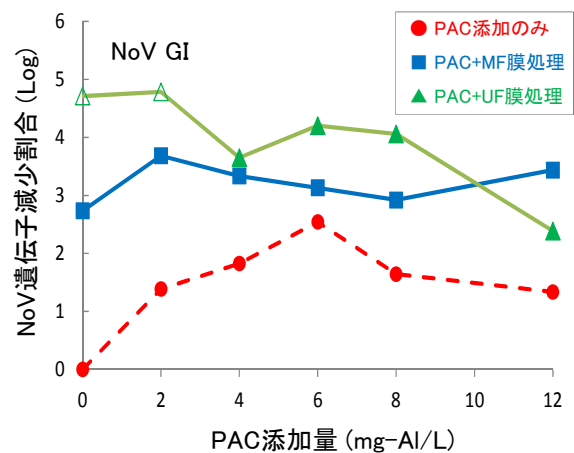


図 6 膜ろ過装置



* 図中の白抜きは、不検出データ (仮値として、Real-time PCR 法にて 1copy/tube 検出されたと仮定)

図 7 PAC 添加による凝集沈殿+膜処理による

NoV 遺伝子減少割合 (上段: NoVGI, 下段: NoVGII)

かった。一方、GI に関しては PAC 添加量が 4mg-Al/L 以上になると除去率が低下する傾向が確認された。

以上より、NoVGI は PAC 添加量が 0~2mg/Al/L の前処理で UF 膜処理を行うことで、4Log 以上の除去が見込まれた。NoVGII は PAC 添加量に依らず、UF 膜処理で 3Log 以上の除去が見込まれた。また MF 膜、UF 膜処理を行う場合、処理水量の増加ならびに膜処理の運転性能を低下させないため、前処理として PAC を添加する際、最適な添加量が存在することが明らかとなった。特に NoVGI の除去を考えた際は、PAC 添加量に依存して MF 膜、UF 膜での除去性が異なるため、最適 PAC 添加量の設定が重要であることが分かった。

5. まとめ

本研究では、下水処理水の再利用を促進する上で水質性状、特にウイルス等の衛生学的安全性を向上させるため、ウイルス濃度の基準値設定に関する課題抽出と再生処理技術によるリスクの低減効果を評価した。得られた成果は以下の通りである。

- 1) 再生水利用促進においては市民の承諾が重要な要素であり、再生水利用促進のためには、「個人のリスク認知」を進めることは市民の承諾を得る上で有効手法であることが確認された。
- 2) 食品・飲料水のリスク管理手法として推奨されている HACCP(Hazard Analysis and Critical Control Points)の考え方に基づくリスク管理手法の適用が有効と判断し、特に微生物学的リスクの観点から再生水利用システムにおける重点管理点(CCP)を特定するとともに、各プロセスで想定されるハザードに対して、リスク評価に基づく管理手法を提案した。
- 3) 下水処理水中または再生水中のウイルスと粒子の関係を検討した結果、高度処理水を原水として使用する場合、1 μ m 以下、特に 0.4 μ m 以下の微小粒子を除去することも重要であることが明らかになった。
- 4) 再生水処理技術として、PAC 添加前処理と膜ろ過処理の組み合わせによる NoV 除去性の検討した結果、PAC 添加量に依存して MF 膜、UF 膜での除去性が異なるため、最適 PAC 添加量の設定が重要であることが分かった。

参考文献

- 1) 社団法人日本下水道協会、平成 22 年下水道白書、日本の下水道、pp.58-61、2010。

- 2) 諏訪守、岡本誠一郎、尾崎正明、陶山明子、下水処理のノロウイルス除去効果とその検出濃度に及ぼす濃縮法の影響、下水道協会雑誌、46 (512)、pp.91-101、2009。
- 3) 諏訪守、岡本誠一郎、桜井健介、下水道におけるウイルス対策手法に関する検討調査、平成 22 年度下水道関係調査研究年次報告書集、No.4191、ISSN 0386-5878、土木研究所資料、2010。
- 4) Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications, Metcalf & Eddy, Inc. an AECOM Company, 2007。
- 5) Eran Friedler, Ori Lahava, Hagar Jizhakib, Tali Lahav, Study of urban population attitudes towards various wastewater reuse options: Israel as a case study, Journal of Environmental Management 81 pp.360-370, 2006。
- 6) 桜井健介、田嶋淳、南山瑞彦、吉澤正宏、下水処理水の再利用における利用者意識及び水質の実態調査、第 39 回日本水環境学会年会講演集、p.421、2005。
- 7) 田中修司、白崎亮、飯田和輝、下水処理水の再利用に関わる水質基準等に関する調査研究、下水道新技術推進機構年報、2003。
- 8) William H. Bruvold, Public opinion on water reuse options, Journal WPCF, 60(1), 45-49, 1988。
- 9) Charles P. Gerba, Charles H. Stagg and Marc G. Abadie, Characterization of sewage solid-associated viruses and behavior in natural waters, Water Research, 12(10), 805-812, 1978。
- 10) Qinglong Wu and Wen-Tso Liu, Determination of virus abundance, diversity and distribution in a municipal wastewater treatment plant, Water Research, 43(4), 1101-1109, 2009。
- 11) Michael R. Templeton, Robert C. Andrews, Ron Hofmann, Particle-Associated Viruses in Water: Impacts on Disinfection Processes, Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 38(3), 137-164, 2008。
- 12) 膜分離技術振興協会・膜浄水委員会監修、浄水膜(第 2 版)、技報堂出版、2008。
- 13) 厚生労働省医薬食品局食品安全部監視安全課、ノロウイルスの検出法について、p.24、2007。
- 14) 陶山明子、諏訪守、鈴木穰、尾崎正明、下水試料からのノロウイルス定量法の検討、環境工学研究論文集、第 43 巻、pp.225-261、2006。
- 15) P.H.Walker, K.D.Woodyer, J.Hutka, Particle-size measurements by Coulter Counter of very small deposits and low suspended sediment concentrations in streams,

Journal of Sedimentary Research, 44(3), 673-679, 1974.

- 16) John G. Harfield, R. Tony Wharton, Roy W. Lines, Response of the Coulter Counter® Model ZM to Spheres, Particle characterization, 1(1-4), 32-36, 1984.
- 17) Erdogan Ozturgut, J. William Lavelle, New method of wet density and settling velocity determination for wastewater effluent, Environ. Sci. Technol., 18 (12), pp 947-952, 1984.
- 18) Dahong Li and Jerzy Ganczarczyk: Size Distribution of Activated Sludge Floccs, Research Journal of the Water Pollution Control Federation, 63(5), 806-814, 1991.
- 19) G. H. McTainsh, A. W. Lynch, R. Hales, Particle-size analysis of aeolian dusts, soils and sediments in very small quantities using a Coulter Multisizer, Earth Surface Processes and Landforms, 22, 13, 1207-1216, 1997.
- 20) M. Cristina Bonferoni, Cristina Ciocca, Henk G. Merkus, Carla Caramella, Proposals of a procedure for mass recovery of standard materials: Comparison between two electrical sensing zone instruments, Particle & Particle Systems Characterization, 15(4), 174-179, 1998.
- 21) Yves Plancherel, James P. Cowen, Towards measuring particle-associated fecal indicator bacteria in tropical streams, Water Research, Volume 41, Issue 7, April 2007, Pages 1501-1515, ISSN 0043-1354, DOI: 10.1016/j.watres.2006.12.021.
- 22) Jeffrey A. Nason, Desmond F. Lawler, Particle size distribution dynamics during precipitative softening: Declining solution composition, Water Research, Volume 43, Issue 2, February 2009, Pages 303-312, ISSN 0043-1354, DOI: 10.1016/j.watres.2008.10.017.
- 23) Jeffrey A. Nason, Desmond F. Lawler, Particle size distribution dynamics during precipitative softening: Constant solution composition, Water Research, Volume 42, Issue 14, August 2008, Pages 3667-3676, ISSN 0043-1354, DOI: 10.1016/j.watres.2008.05.016.
- 24) 飯田健次郎:液中粒子数濃度の計測および校正技術に関する調査研究、産総研計量標準報告 8(2)、213-243、 2011.
- 25) Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications, Metcalf & Eddy, Inc. an AECOM Company, 2007.
- 2) Author : "Title", Technical Memorandum of PWRI, No.1234, pp.00-00, 2001.3

A STUDY ON RISK ASSESSMENT OF RECLAIMED WATER USE

Budgeted: Grants for operating expenses

General account

Research Period: FY2009-2013

Research Team: Recycling Research Team

Author: TSUMORI Jun,

SUWA Mamoru,

SAKURAI Kensuke,

YASUI Nobuhito

Abstract

This study aims to extract out critical issues in setting up the standard value of virus in reclaimed water, and to evaluate the effectiveness of risk reduction by reclamation technologies. The following subjects were examined.

- 1: To propose promotion methodologies for the reclaimed water use,
- 2: To extract out issues in setting up the water quality standard of virus, and to make a proposal of its solution, and
- 3: To clarify the virus reduction performance of several reclamation methods and to propose the risk management methodology.

It was known that promotion of "Risk self cognition" and the acknowledgement of the guaranteed safety in an exact and easy manner were most effective. In the evaluation of reclamation technology, Norovirus reduction characteristic by combination of PAC addition pre-treatment and membrane filtration treatment was examined, and it was revealed that Norovirus reduction characteristics by micro-membrane filtration and ultra-membrane filtration depended on the amount of PAC addition and the setup of the optimal addition amount of PAC was important.

Keyword: Reclaimed water, Norovirus, Membrane filtration treatment