

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「持続可能な水利用を実現する革新的な
技術とシステム」

研究課題「都市地下帯水層を利用した
高度リスク管理型水再利用システムの構築」

研究終了報告書

研究期間 平成22年10月～平成28年3月

研究代表者：伊藤禎彦
(京都大学大学院工学研究科、教授)

目次

§ 1. 研究実施の概要

1. 実施概要
2. 顕著な成果
 - (1) 優れた基礎研究としての成果
 - (2) 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果

§ 2. 研究実施体制

1. 研究チームの体制について
2. 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

§ 3. 研究実施内容及び成果

1. 土壌浸透処理を用いた高度リスク管理型水循環システムの処理性評価（京都大学 土壌浸透処理グループ、国立保健医療科学院 消毒副生成物評価グループ、麻布大学 ウイルス処理評価グループ） 【研究項目 1】
2. システムの数値モデル化に基づく流域への実装シナリオの作成（京都大学 土壌浸透処理グループ） 【研究項目 2】
3. 文献調査・既往の知見の整理（全体） 【研究項目 3】
4. 社会実装化（膜ろ過による浄水処理技術の革新[生物高速ろ過＋凝集＋MF 膜ろ過（セラミック膜及び PTFE 膜）]）（大阪市水道局 阪神水道企業団） 【研究項目 4】

§ 4. 成果発表等

1. 原著論文発表
2. その他の著作物（総説、書籍など）
3. 国際学会発表及び主要な国内学会発表
 - (1) 招待講演
 - (2) 口頭発表
 - (3) ポスター発表
4. 知財出願
 - (1) 国内出願
 - (2) 海外出願
 - (3) プログラムの著作物
 - (4) データベースの著作物
5. 受賞・報道等
 - (1) 受賞
 - (2) マスコミ（新聞・TV等）報道
 - (3) その他
6. 成果展開事例
 - (1) 実用化に向けての展開
 - (2) 社会還元的な展開活動
 - (3) 他分野への波及効果

§ 5. 研究期間中の活動

1. 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

§ 6. 最後に

§ 1. 研究実施の概要

1. 実施概要

本研究は、リスク管理を高度化しつつ、土壌浸透処理(Soil Aquifer Treatment: SAT)を組込んだ間接的飲用水再利用システムの構築を目的として展開したものである。「土壌浸透処理」グループでは、土壌カラム、パイロットスケールの土壌浸透リアクターを用いて化学物質、病原微生物に対する SAT の処理性能の把握を行った。化学物質に関する成果として、消毒副生成物生成能、微量汚染物質が低減されるレベル等を明らかにし、化学物質リスクの観点からは、通常、あるいはそれよりも簡易な下水・浄水処理と比較的短時間の SAT により、飲用を目的とした下水処理水の再生利用が可能であることを示した。微生物関係の成果として、「ウイルス処理評価」グループと共に、SAT は細菌に対する除去・不活化には効果的である一方ウイルスには限定的であることを示した。またウイルスに関しては、指標であるファージによる評価ではなく、病原ウイルスとしてアデノウイルス、ロタウイルスを対象として、SAT による除去・不活化評価を行った。この結果、ウイルス種により除去・不活化効果に差があることが明らかとなり、土壌浸透処理の処理性評価において病原ウイルス自体のデータを得ることの重要性を指摘した。最後に病原ウイルスの蓄積データを用いて再生水飲用のウイルス感染リスクを評価した。この結果、再生水飲用による微生物リスクの観点から、SAT 後にウイルス不活化に効果的な処理プロセスを組み込む必要性を定量的に示した。さらに、これまでの成果とともに土壌浸透リアクターにおける長期実証試験により示された SAT の安定性を踏まえると、間接的飲用水再利用システムの下水処理側では、嫌気-無酸素-好気法(A2O 法)によって、SAT に対して十分な受入水質を確保可能であることを示した。

「消毒副生成物評価」グループでは、淀川流域のオゾン処理による *N*-ニトロソジメチルアミン(NDMA)前駆物質の主な発生源であることが判明した A 下水処理場に流入する下水管渠中の下水中の NDMA 前駆物質を調査した。その結果、NDMA 前駆物質の主な排出源を特定できた。同排水の影響を受けている下水から、新規の NDMA 前駆物質として 1,1,5,5-テトラメチルカルボヒドラジド(TMCH)を同定し、淀川流域における主な NDMA 前駆物質であることを見出した。オゾン処理による TMCH からの NDMA の生成抑制策として、塩素処理との組み合わせが有効であることを明らかにした。これらの成果から、下水処理水の再利用における NDMA 前駆物質制御の管理の重要性を指摘した。

さらに「土壌浸透処理」グループは、水再利用システムに関する実装システムを提示することを目的として、確率論的数値モデルの構築および検証を実施した。化学物質測定データおよび構築した確率論的数値モデルを用いて、桂川ならびに淀川下流域を対象地域として、水量と水質の評価を行った。また想定した水再生利用システムの電力消費量推算モデルを構築し、諸外国における水再生利用システムの電力消費量と比較した。最終的に間接的飲用再利用システムを実用にするために必要な事項を整理した。

一方、SAT 内で生じている現象の一部を解明することを目的とし、チーム全体で SAT に関する基礎研究を実施した。成果として、有機物除去に関して SAT によって除去される溶存有機物(DOM)特性の把握、SAT 内に存在する微生物の代謝活性の把握ならびに活性汚泥内微生物が持つ代謝活性との相違を示した。また、除去効果が限定的であるウイルスに関しては、共存 DOM によるウイルスの吸着阻害効果について明示することができた。さらに、下水処理水中医薬品類(PPCPs)の除去特性から SAT における化学物質除去機構の一部を明らかにした。最後に、化学酸化処理としてオゾン処理と SAT の組み合わせに着目し、SAT とオゾン処理の組み合わせによる相補的有用性を示した。

「大阪市水道局」及び「阪神水道企業団」は、厳密な固液分離が可能となる膜ろ過に活性炭吸着と生物処理を組み合わせ、高い水処理性、運転・維持管理性を備えたハイブリッド膜ろ過システム(浸漬型・ケーシング型の2タイプ)の調査研究を実施した。これは次世代型浄水システムとして高効率・低環境負荷の浄水処理システムの構築を目的としたものである。成果として、オゾン・活性炭処理による高度浄水処理と同様に様々な処理対象物質への対応が可能であることを確認するとともに、浸漬型に関しては単一(追加処理を追加した場合においても二槽)、ケーシング型に関しても二槽での処理となり、運転制御及び維持管理の技術水準によらず採用可能な汎用性の高いシステムであることを示すことに成功した。

2. 顕著な成果

(1) 優れた基礎研究としての成果

① *N*-ニトロソアミン類とその前駆物質の存在実態

新規消毒副生成物である NDMA 等の *N*-ニトロソアミン類とその前駆物質について、下水処理場放流水や環境水中の存在状況を明らかにした。淀川流域での NDMA の発生源を特定し、新規前駆物質として TMCH を同定した。一連の成果は、これらが下水処理水再利用や高度浄水の水源としての水質評価に重要な物質であることを明らかにするものである。その成果により複数の賞を受賞するとともに、論文はインパクトファクター (IF:5.330) が高い国際ジャーナル (Environmental Science & Technology) に掲載された。

② 土壌浸透処理における微生物代謝活性の特性評価

一連の水再利用プロセス (活性汚泥処理、土壌浸透処理) での微生物の有機物代謝特性の変化を BIOLOG assay を用いて評価した。結果として、活性汚泥および SAT 表層 5 cm 以深の土壌微生物で異なる有機物群の代謝が期待できることを提示した。本成果は、下水処理、土壌浸透処理における微生物代謝効果の相違を明確にしたもので、土壌浸透処理の有用性に科学的知見を与えている。この成果はインパクトファクターが高い (IF:5.528) 国際ジャーナル (Water Research) に掲載された。

③ 土壌浸透処理による下水処理水再生に対するオゾン処理の有用性

土壌浸透処理とオゾン処理を組み合わせることで、水再利用プロセス全体での処理効率が向上すること、特に土壌浸透処理前にオゾン処理を行うことの有用性を提示した。土壌浸透処理のみに着目した過去の多くの研究と異なり、オゾン処理と土壌浸透処理の相補的有用性を見いだしたもののとして独創的である。その成果は 2 編のプロシーディングスならびに原著論文として発表し、国際学会で発表賞を受賞した。

(2) 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果

① 化学物質ならびに病原微生物に対する高度リスク管理の提示

下水処理水の再利用にあたり、モニタリングすべき化学物質を下水処理水最大濃度と水道水質基準値等との比較により選定した手法、および QMRA (Quantitative microbial risk assessment) を用いた病原微生物リスク管理手法を提示した。これらの手法は、再生水利用だけでなく、下水処理、浄水処理における水質およびリスク管理に広く活用することができる。

② 病原微生物の存在実態を踏まえた再生水飲用による健康影響の定量化

Campylobacter jejuni に着目して、土壌浸透処理後の再生水飲用による健康影響を障害調整生存年数 (DALYs) を指標として定量化した。ここでは、存在量、除去・不活化能データのみではなく、特定の重篤な疾患を引き起こす菌株の存在を明らかにし、その存在実態に基づいた健康影響を評価している。一連の成果は、健康影響に基づいた定量的微生物リスク評価を実施する上での手順を明示したものであり、将来的な高度リスク管理の実施において重要な成果となる。

③ 下水処理水再生利用システムの実装化に向けた確率論的水質評価モデルの構築

パイロットスケールの土壌浸透リアクターならびにカラム試験で得られた土壌浸透処理が持つ処理能データを用いて、土壌浸透処理を導入した際の水質評価を確率論的に行うモデルを構築した。その上で、桂川ならびに淀川下流域を対象領域として、構築モデルを適用することで土壌浸透処理による化学物質の処理性評価を可能とした。これらの手法は、土壌浸透処理導入の際に必要な管理項目を提示する上で、広く活用することができる。

§ 2. 研究実施体制

1. 研究チームの体制について

(1) 土壌浸透処理グループ

氏名	所属	役職	参加時期
伊藤 禎彦	京都大学大学院工学研究科	教授	H22.10～
西村 文武	京都大学大学院工学研究科	准教授	H22.10～
平山 修久	国立研究開発法人 国立環境研究所	主任研究員	H22.10～
越後 信哉	京都大学大学院工学研究科	准教授	H22.10～
日高 平	京都大学大学院工学研究科	助教	H22.10～
高部 祐剛	国立研究開発法人 土木研究所	研究員	H22.10～
浅田 安廣	京都大学大学院工学研究科	助教	H26.4～
河合 香織	京都大学大学院工学研究科	教務補佐員	H22.10～
Suphia Rahmawati	京都大学大学院工学研究科	特定研究員	H25.3～H27.3
鈴木 亮介	京都大学大学院工学研究科	M2	H26.6～H27.3
周 靚	京都大学大学院工学研究科	D1～2	H24.4～H26.3
亀田 一平	京都大学大学院工学研究科	M2	H25.4～H26.3
Songkeart Phattarapattamawong	京都大学大学院地球環境学堂	特定研究員	H23.4～H24.12

研究項目

- ・下水処理水の土壌浸透処理による水再生利用の成立要件の整理とその実装シナリオの構築

(2) 消毒副生成物評価グループ

氏名	所属	役職	参加時期
浅見 真理	国立保健医療科学院 生活環境研究部・水管理研究領域	上席主任研究官	H22.10～
小坂 浩司	国立保健医療科学院 生活環境研究部・水管理研究領域	主任研究官	H22.10～
岩本 卓治	神奈川県産業技術センター 化学技術部	主任研究員	H24.4～

研究項目

- ・下水処理水の土壌浸透処理による水再生利用における消毒副生成物の生成ポテンシャル評価とその制御

(3) ウイルス処理評価グループ

氏名	所属	役職	参加時期
大河内 由美子	麻布大学生命・環境科学部	准教授	H22.10～

研究項目

・下水処理水の土壌浸透処理条件がウイルス除去・不活化能に与える影響の評価

(4) 大阪市水道局(平成 26 年度のみ)

氏名	所属	役職	参加時期
柳生 眞喜男	大阪市水道局	浄水統括担当部長	H26.4～H27.3
村田 幸一	大阪市水道局 柴島浄水場	柴島浄水場長	H26.4～H27.3
中村 公彦	大阪市水道局 柴島浄水場	技術調査担当係長	H26.4～H27.3
鐘井 豊	大阪市水道局 柴島浄水場	浄水技術担当係長	H26.4～H27.3
前田 成人	大阪市水道局 柴島浄水場	係員	H26.4～H27.3
小林 芳宏	大阪市水道局 柴島浄水場	係員	H26.4～H27.3
三輪 雅幸	大阪市水道局 水質試験所	研究主幹	H26.4～H27.3
平林 達也	大阪市水道局 水質試験所	調査担当係長	H26.4～H27.3
鶴田 朋子	大阪市水道局 水質試験所	係員	H26.4～H27.3

研究項目

・生物高速ろ過＋凝集＋MF 膜ろ過（セラミック膜及び PTFE 膜）システムの開発

(5) 阪神水道企業団(平成 26 年度のみ)

氏名	所属	役職	参加時期
小林 健一	阪神水道企業団 技術部	技術部長	H26.4～H27.3
長塩 大司	阪神水道企業団 技術部 浄水計画課	浄水計画課長	H26.4～H27.3
古林 祐正	阪神水道企業団 技術部 浄水計画課	主査	H26.4～H27.3
岡本 知久	阪神水道企業団 技術部 施設管理課	主査	H26.4～H27.3
布川 裕士	阪神水道企業団 技術部 浄水管理事務所	主査	H26.4～H27.3
大谷 真巳	阪神水道企業団 技術部 水質試験所	主査	H26.4～H27.3
道下 健二	阪神水道企業団 技術部 浄水計画課	主任	H26.4～H27.3
新田 翔悟	阪神水道企業団 技術部 浄水計画課	係員	H26.4～H27.3
瀧野 博之	阪神水道企業団 技術部 浄水計画課	係員	H26.4～H27.3

長谷川 晃	阪神水道企業団 技術部 施設管理課	係員	H26.4～H27.3
洗 優佑	阪神水道企業団 技術部 施設管理課	係員	H26.4～H27.3
飯田 和明	阪神水道企業団 技術部 浄水管理事務所	係員	H26.4～H27.3
井筒 祐一	阪神水道企業団 技術部 浄水管理事務所	係員	H26.4～H27.3
宗像 伸明	阪神水道企業団 技術部 水質試験所	係員	H26.4～H27.3
片木 孝徳	阪神水道企業団 技術部 水質試験所	係員	H26.4～H27.3
中村 英靖	阪神水道企業団 技術部 水質試験所	係員	H26.4～H27.3

研究項目

・生物高速ろ過＋凝集＋MF 膜ろ過（セラミック膜及び PTFE 膜）システムの開発

2. 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

(1) 2015 年 4 月、国際水学会(IWA)の支援を受けて、日本・韓国・中国の 3 カ国による The First Asian Symposium on Water Reuse (Tsinghua University, Beijing, China, 2015.4.23-25) を開催し講演した。そこでは、今後、再生水利用の促進とその標準化作業を行う枠組みを形成することで合意した。2016 年 4 月には第 2 回シンポジウムを日本で開催した(田中宏明教授と協力)。アジア地域における再生水利用を拡大する牽引力になるものと期待される。

(2)米国の Water Reuse Association が主催する会議に3度出席し、講演を行った。また、会議開催に合わせて、処理施設や研究施設を訪問しつつ、関係者と連携関係を構築してきた。例えば、2011 年には Arizona State University の Paul Westerhoff 教授を訪問した。SAT 実験施設を見学し、その後も SAT 実験系構築についてご指導いただいている。実水再利用システム見学を行ったカリフォルニア州 Groundwater replenishment system および San Jose Creek Water Reclamation Plant それぞれでの職員とは、見学終了後も、実施設の処理条件や、水再利用を実施するにあたっての規制等に関する質疑・応答を行う等、密な関係を継続している。2012 年には、カリフォルニア州ロサンゼルス郡 Sanitation Districts を訪問し、Rio Hondo Coastal Spreading Grounds の見学を実施し、意見交換を行った。また、2013 年には Georgia Institute of Technology の John Crittenden 教授を訪問し、SAT での微生物代謝特性に関する研究発表を行うとともに、今後の研究展開についてご意見を頂いた。

(3)IWA の Water Reuse に関するスペシャリストグループが開催するシンポジウムに3度参加し、研究発表を行った。特にナミビアや米国テキサス州における直接飲用再利用に関する情報を収集するとともに、関係者との連携関係を構築してきた。大学関係では、特にベルリン工科大学 Martin Jekel 教授と連携し、その後も情報交換を行っている。同教授による紹介者を第10回水道技術国際シンポジウム(2015 年 7 月、神戸市)に招待し、講演を行っていただいた。

(4)埼玉大学の小松登志子教授が代表を務める CREST 研究課題「地圏熱エネルギー利用を考慮した地下水管理手法の開発」の研究グループから、土壌に関する知見や、土壌微生物数カウンティング法に関する知見をご教授頂いた。

(5)QMRA に関する講習会を 2012 年 3 月と 12 月の 2 回行い、我が国において同手法を普及させるのに寄与した。その後、大阪市水道局、大阪広域水道企業団、阪神水道企業団、東京都水道局、神奈川県内広域水道企業団から微生物データを提供頂き、オランダ KWR Watercycle Research Institute と協力して微生物出現特性の解析業務を進めている。

(6)京都大学の田中宏明教授が代表を務めるCREST研究課題「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」の研究グループから、環境水試料からのウイルス濃縮方法ならびに定量方法に関する技術についてご指導頂いた。その他、同教授およびその研究グループとは、合同シンポジウムを開催するなど密な連携関係を構築してきた。同教授のグループでは、飲料水以外の再生水の利用先を扱っており、我々のグループは飲料水を利用先としている。今後も、両者が協働することにより、我が国の再生水利用技術のプレゼンスを高めることができると考える。

(7) 京都大学環境衛生工学研究会シンポジウムで行われた「循環型社会の構築を目指した水の再利用と農業システム」(2013 年)の特別セッションにおいて、CREST の 3 つの研究チームから多くの参加があり、多数研究発表された。今後の研究展開について、研究チーム間で意見交換を行い、密な連携関係を構築した。

(8) 東北大学の太田達夫教授と京都大学の田中宏明教授が中心となり企画した CREST 横断ミーティング「病原微生物と持続可能な水利用」(2013 年)において、病原微生物、特に病原ウイルスを専門としている研究グループから、ウイルス定量方法、解析方法等に関する基礎技術についてご指導頂いた。また微生物解析に関連する研究グループと密な連携関係を構築し、信頼性が高いウイルス定量データの取得が可能となった。

(9) 京都市上下水道局職員の方々からは、鳥羽水環境保全センターでの処理成績等、本研究課題を遂行する上で重要となる情報を提供頂いた。一方、本研究課題で得られた知見は、同局の新技术研修会の場において、職員の方々に対して紹介し、技術および知見を共有することができた。

(10) 水道技術経営パートナーズ株式会社代表の山口岳夫氏から国内での下水処理水の地下涵養事例に関する知見をご教授頂いた。

(11) 京都大学の米田稔教授に土壌浸透処理の実装化モデル構築に関して知見をご教授頂き、共同著者としてその成果を公表した。

§ 3. 研究実施内容及び成果

1. 土壌浸透処理を用いた高度リスク管理型水循環システムの処理性評価（京都大学 土壌浸透処理グループ、国立保健医療科学院、消毒副生成物評価グループ、麻布大学、ウイルス処理評価グループ） 【研究項目 1】

(1)土壌カラムおよびパイロットプラントの設計・構築、ならびに長期実証実験(京都大学 土壌浸透処理グループ)

①研究のねらい

土壌浸透処理(Soil Aquifer Treatment: SAT)の処理性を把握するため、土壌カラムおよびパイロットスケールの土壌浸透リアクターを用いて連続的に長期間の運転を行い、その処理特性や安定性等の評価を行う。

②研究実施方法

室内土壌カラムは、高さ 150 cm、内径 15 cm のアクリル製カラムに砂または豊浦標準砂を充填し、土壌の種類、HRT (Hydraulic retention time)の違い (3.5 日、7 日)および不飽和層の有無の影響について調べた。運転は、2012 年 1 月から開始した。一方、土壌浸透リアクター実験は、京都市鳥羽水環境保全センター内に設置した高さ 3 m×1.5 m×1.5 m のステンレス鋼製のプラントに、砂および真砂土を充填し、室内土壌カラム実験に比べてより長期の HRT 下で、土壌の種類、HRT の違い (30 日、180 日)および不飽和層の有無による影響を検討した。それぞれの実験系での運転条件および基礎的水質項目を表 1-1 に記す。各実験系での流入水については、鳥羽水環境保全センターの A2O (anaerobic-anoxic-oxic)処理水を用いた。運転は、砂を用いた 1 系列は 2011 年 10 月、真砂土を用いた 3 系列は 2012 年 4 月からそれぞれ開始した。

③研究成果

砂および豊浦標準砂を用いた実験系は好気条件であったが、真砂土を用いた 3 系列では、流出水中 DO が低く、系の一部が嫌気条件となっていた。Dissolved total nitrogen (DTN)については、好気条件であった砂および豊浦標準砂の系では除去されなかった一方で、DO が低下した真砂土の系では、脱窒により DTN が除去された。各実験系での Dissolved total phosphorus (DTP)の減少については、各土壌への吸着の寄与が回分実験より示された。図 1-1 に各実験系での流入水および流出水中 DOC (Dissolved organic carbon)の経時変化を示す。豊浦標準砂の系では、土壌由来の DOC の流出が一因となり、時間経過とともに流出水中濃度が減少していったが、他の系では、実験開始より、流出水中 DOC 濃度に大きな変動はなく安定していた。砂については、HRT が 3.5 日、7 日および 30 日と伸びるにつれ、流出水 DOC 濃度および UV₂₅₄ 値が有意に減少し($p<0.05$)、芳香族化合物を含む有機物の除去が促進された。一方で、HRT3.5 日での DOC 除去率が 71.2%と、短い HRT での有機物除去が示された。また、砂 7 および砂飽での DOC 濃度に有意な差がなく ($p>0.05$)、不飽和層の有無による DOC 除去への影響は小さかった。一部が嫌気条件であった真プ 30 と比べて、全体が好気条件であった砂プ 30 での DOC 濃度が有意に低い結果となった ($p<0.05$)。

表 1-1 各実験系での運転条件および基礎的水質項目 (平均値 (最小値-最大値))

実験系	表記	土の種類	HRT (日)	不飽和層の有無	pH (-) (n=30-43)	DO (mgO ₂ /L) (n=30-42)	DOC (mgC/L) (n=67-97)	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹) (n=67-96)	DTN (mgN/L) (n=49-66)	DTP (mgP/L) (n=33-55)
室内実験	カIn	—	—	—	6.71 (5.82-7.48)	7.52 (4.96-12.1)	4.41 (2.70-6.04)	0.089 (0.054-0.141)	5.59 (3.45-11.3)	0.128 (0.004-0.906)
	砂3.5	砂	3.5	有	6.79 (5.96-7.49)	6.22 (3.23-10.5)	1.27 (0.817-3.72)	0.031 (0.010-0.070)	5.54 (2.18-9.53)	0.069 (<0.002-1.26)
	砂7	砂	7	有	6.81 (6.01-7.54)	6.03 (2.27-7.93)	1.08 (0.784-3.60)	0.025 (0.007-0.056)	5.51 (2.35-9.14)	0.053 (<0.002-0.621)
	砂飽	砂	7	無	6.51 (5.88-7.47)	4.98 (1.55-8.62)	1.15 (0.825-3.02)	0.026 (0.002-0.069)	5.79 (2.96-8.89)	0.047 (<0.002-0.433)
	豊浦	豊浦標準砂	7	有	6.79 (5.98-7.73)	5.12 (1.30-8.54)	2.31 (1.01-13.2)	0.062 (0.020-0.249)	5.72 (3.87-8.76)	0.060 (<0.002-0.415)
プラント実験	プIn	—	—	—	6.65 (6.04-7.67)	3.46 (1.12-6.70)	3.82 (2.09-5.57)	0.087 (0.043-0.183)	5.06 (3.08-8.48)	0.419 (0.012-2.52)
	砂プ30	砂	30	有	5.85 (5.17-7.38)	4.28 (1.09-7.60)	0.751 (0.462-2.15)	0.021 (0.005-0.057)	4.91 (2.93-7.18)	0.170 (<0.002-2.52)
	真プ30	真砂土	30	有	6.28 (5.55-7.13)	0.42 (0-3.32)	0.839 (0.541-1.75)	0.018 (0-0.054)	0.867 (0.016-5.20)	0.087 (<0.002-0.859)
	真プ飽	真砂土	30	無	6.34 (5.85-7.19)	0.32 (0-3.33)	1.02 (0.606-2.08)	0.022 (0-0.061)	0.373 (0-2.83)	0.063 (<0.002-0.574)
	真プ180	真砂土	180	有	5.95 (5.48-7.07)	0.26 (0-0.87)	0.988 (0.607-3.06)	0.019 (0.004-0.042)	0.458 (0.015-4.22)	0.074 (<0.002-0.588)

室内土壌カラムは、2012 年 1 月から 2015 年 3 月現在まで 3 年 3 か月間、また、土壌浸透リアクターは、砂で 3 年 5 か月間、真土砂で 3 年間運転を継続した。これらは、それぞれの実験系の HRT の 5~340 倍に相当する。この長期の運転期間によって、安定した水質データを得るとともに、目視ではあるが、系内の水位（損失水頭）に変化が見られず、クロッキングの兆候は確認されなかった。このように、処理の安定性の観点から、A2O 処理水を対象とした砂、豊浦標準砂ならびに真砂土を用いた土壌浸透処理の実現可能性が示された。

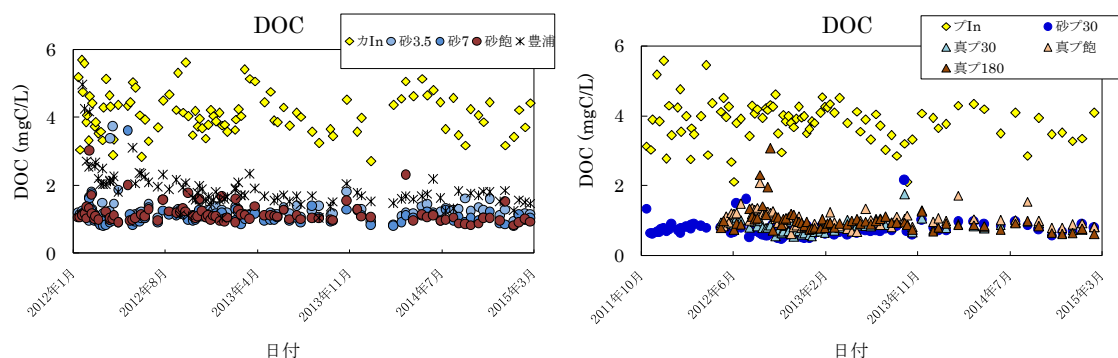


図 1-1 各実験系での DOC 濃度の経時変化

(2)微量汚染物質の基本処理性能評価(京都大学 土壌浸透処理グループ)

①研究のねらい

SAT による化学物質の除去性能の評価を目的とする。広範な微量汚染物質について SAT の処理性を総合的に把握するとともに、研究項目 1-(4)におけるリスク評価と研究項目 2 における確率論的水質評価に必要な量と質のデータを取得する。

②研究実施方法

まず、間接的飲用水再利用システム構築に際して着目すべき測定対象化学物質を、ヒトへのリスクの観点から選定した¹⁾。まず、PRTR 対象物質と消毒副生成物について、本研究課題での測定値ならびに文献²⁾⁻¹⁰⁾を参照し、下水処理水中化学物質濃度に関する知見を収集した。そして、各物質での最大濃度と水道水質基準等にみられる基準・目標値とを比較し、最大濃度が基準・目標値に比して 0.1 程度以上である化学物質を選定した(研究項目 1-(4)も参照のこと)。結果として、消毒副生成物 (THMs (trihalomethanes) 4 種、HAAs (haloacetic acids)のうち chloroacetic acid, dichloroacetic acid、trichloroacetic acid、HANs (haloacetonitrile)のうち dichloroacetnitrile、NDMA (N-nitrosodimethylamine)、1,4-dioxane、EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid)、DCP (1,3-dichloro-2-propanol)、PFOA (perfluorooctanoic acid)、E2 (17β-estradiol)、ニッケル、鉛およびシアン)の 17 物質を選定した。これらに含臭素 HAAs および HANs と PPCPs (Pharmaceutical and Personal Care Products) および TPs (Transformation products)の探索、SAT での除去特性の把握を目的)を加えたものを本研究課題での測定対象化学物質とした。SAT 実験の内容と条件は研究項目 1-(1)と同様である。

③研究成果

まず、対象とした物質の処理性評価結果を表 1-2 にまとめた。THMs、HAAs、HANs、NDMA といった消毒副生成物は、対象物質の中でもリスク管理上注意すべき物質である。総 THMs 生成能(Formation Potential: FP)の各実験系での平均値(図 1-2)は、DOC と同様、砂の場合 3.5 日の SAT であっても、除去率 70%と顕著な除去が見られた。また、HRT が増大するにつれて、除去率は緩やかに上昇した。また、豊浦では、除去率は他の系に比べ低かった。さらに、DOC 濃度と総 THMsFP との間に強い相関関係があり、各系での THMsFP 除去において、DOC 除去が寄与していると考えられた(図 1-3)。これは、HAAs および HANs でも同様であった(図 1-2)。すなわち、HAAs および HANs も含め、ハロゲン化消毒副生成物低減の観点から、SAT の効果が示されたことになる。

表 1-2 主な微量汚染物質に関する各実験系での流入水および流出水中濃度のまとめ

物質	測定回数	平均値(最小値-最大値)		物質	測定回数	平均値(最小値-最大値)	
THMsFP ($\mu\text{g/L}$)	CHCl ₃	29-31	カIn: 65.4 (37.3-93.6) 砂3.5: 8.34 (3.39-20.8) 砂7: 5.09 (1.43-10.4) 砂飽: 7.68 (1.76-31.6)	砂飽: 6.47 (1.83-18.3) 豊浦: 24.8 (5.34-44.6) 砂プ1: 1.78 (0.455-7.98)	1,4-Dioxane ($\mu\text{g/L}$)	7-16	カIn: 0.63 (0.42-4.3) 砂3.5: 0.65 (0.39-1.0) 砂7: 0.56 (0.43-0.61) 砂プ1: 0.73 (0.33-0.98)
	CHBrCl ₂	29-31	カIn: 29.5 (2.37-68.2) 砂3.5: 10.4 (2.19-35.2) 砂7: 7.62 (1.76-31.6)	砂飽: 8.50 (1.49-23.8) 豊浦: 19.8 (1.96-55.6) 砂プ1: 2.43 (0.054-9.23)	EDTA ($\mu\text{g/L}$)	6-8	カIn: 177 (147-211) 砂3.5: 121 (42.6-148) 砂7: 75.1 (56.7-91.2)
	CHBr ₂ Cl	29-31	カIn: 6.19 (2.14-21.2) 砂3.5: 8.62 (3.96-19.0) 砂7: 7.62 (5.06-14.2)	砂飽: 7.66 (4.02-15.0) 豊浦: 9.73 (3.50-31.1) 砂プ1: 3.72 (2.94-6.23)	DCP ($\mu\text{g/L}$)	1-2	カIn: 0.21 砂3.5: 0.15 砂7: 0.18 砂飽: 0.092 豊浦: 0.34
	CHBr ₃	29-31	カIn: 2.14 (<0.061-10.6) 砂3.5: 3.96 (<0.061-16.7) 砂7: 5.06 (<0.061-22.1)	砂飽: 4.02 (<0.061-12.9) 豊浦: 3.50 (<0.061-23.1) 砂プ1: 2.94 (<0.061-10.0)	PFOA (ng/L)	13-26	カIn: 19 (12-69) 砂プ1: 20 (15-33) 真浦: 21 (16-46)
HAAsFP ($\mu\text{g/L}$)	MCA	29-31	カIn: 2.83 (<3.6-24.3) 砂3.5: 0.994 (<3.6-8.68) 砂7: 1.37 (<3.6-14.3)	砂飽: 0.97 (<3.6-8.77) 豊浦: 1.79 (<3.6-12.6) 砂プ1: 0.71 (<3.6-4.90)	E2 (ng/L)	11-12	カIn: 61 (2.3-110) 砂3.5: 0.37 (<0.58-2.2) 砂7: 0.25 (<0.58-0.70) 砂飽: 0.43 (<0.58-2.3)
	DCA	29-31	カIn: 33.2 (26-51.6) 砂3.5: 5.03 (2.6-8.41) 砂7: 2.58 (<0.21-5.87)	砂飽: 3.53 (<0.21-7.50) 豊浦: 13.4 (6.3-26.3) 砂プ1: 0.809 (<0.21-3.31)	ニッケル ($\mu\text{g/L}$)	5	カIn: 5.1 (1.9-8.3) 砂3.5: 4.0 (0.27-8.0) 砂7: 3.2 (0.55-7.4) 砂飽: 1.4 (0.39-2.1) 豊浦: 2.3 (0.83-4.6)
	TCA	29-31	カIn: 43.5 (33-57.3) 砂3.5: 2.65 (1.3-4.44) 砂7: 1.71 (0.25-3.38)	砂飽: 2.19 (0.40-4.54) 豊浦: 11.1 (1.6-19.2) 砂プ1: 1.16 (<0.054-9.64)			カIn: 2.6 (1.8-3.8) 砂3.5: 1.9 (1.6-2.4) 砂7: 1.9 (1.6-2.7) 砂飽: 1.7 (1.4-2.3) 豊浦: 2.4 (2.0-3.2) カIn: 33 (26-41)
HANsFP ($\mu\text{g/L}$)	DCAN	4	カIn: 8.75 (7.96-9.74) 砂3.5: 0.94 (0.85-1.10) 砂7: 0.67 (0.53-0.74)	砂飽: 0.69 (0.59-0.75) 豊浦: 2.56 (2.42-2.82) 砂プ1: 0.17 (0.12-0.20)	鉛 ($\mu\text{g/L}$)	5	カIn: 2.6 (1.8-3.8) 砂3.5: 1.9 (1.6-2.4) 砂7: 1.9 (1.6-2.7) 砂飽: 1.7 (1.4-2.3) 豊浦: 2.4 (2.0-3.2) カIn: 33 (26-41)
NDMA (ng/L)	クロラミン処理前	3	カIn: 14.5 (11.6-16.7) 砂3.5: 3.22 (1.23-4.87) 砂7: 4.07 (1.27-6.16)	砂飽: 2.28 (1.26-2.64) 豊浦: 3.52 (1.98-5.06) 砂プ1: 1.92 (0.97-2.87)	シアン ($\mu\text{g/L}$)	2	カIn: <10 砂3.5: <10 砂7: <10 砂飽: <10 豊浦: <10
	クロラミン処理後	11-13	カIn: 33.4 (8.31-57.0) 砂3.5: 7.08 (0.82-13.9) 砂7: 5.84 (3.06-10.2)	砂飽: 8.52 (4.74-15.7) 豊浦: 9.93 (5.70-16.0) 砂プ1: 6.48 (2.91-22.5)			カIn: <10 砂プ1: <10 真浦: <10 真浦: <10

※MCA: Monochloroacetic acid, DCA: Dichloroacetic acid, TCA: Trichloroacetic acid, DCAN: Dichloroacetnitrile

一方、図 1-4 の CHBr₃ に代表されるように、基準値に比して濃度は低いものの、臭素を含む THMs は、SAT 後に濃度が上昇しうることがわかった。さらに、この結果を踏まえて含臭素および含窒素消毒副生成物の生成能について、詳細な処理性評価を行った。この結果、THMs、HAAs、HANsFPs について、短時間の処理であっても、良好な処理性が確認できたが(図 1-2)、相対的には、これらの消毒副生成物の総量に対する HANs の比率が短時間処理では増加すること(図1-5)、塩素のみを含む消毒副生成物量に対する含臭素消毒副生成物の比率が処理の進行とともに増加することがわかった(図 1-6)。

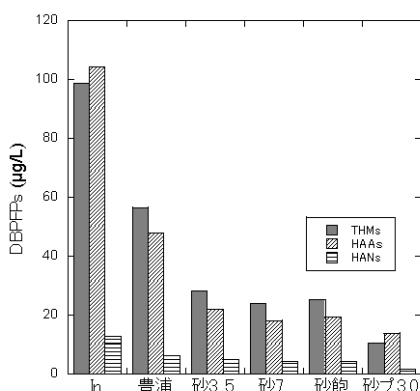


図 1-2 主要含ハロゲン DBPsFP 平均濃度

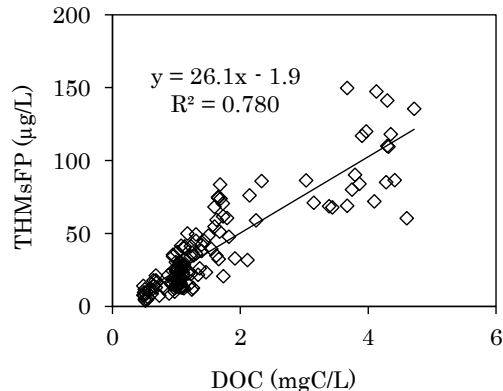


図 1-3 DOC と THMsFP の相関関係

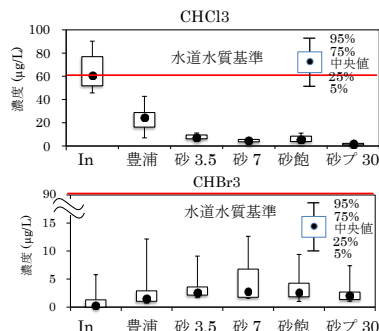


図 1-4 THMsFP 濃度分布

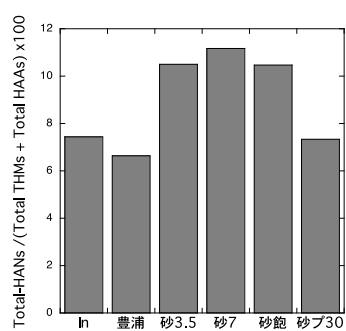


図 1-5 N-DBPs/ C-DBPs比の変化

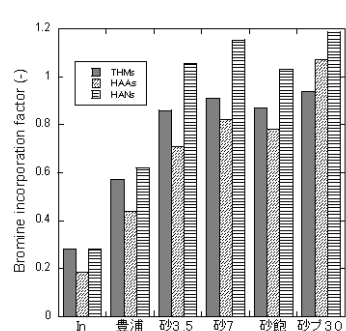


図 1-6 Br-DBPs 割合の変化

さらに、*N*-ニトロソジメチルアミン(NDMA)生成能の SAT による低減効果について、長期処理性評価を行った。結果として、下水処理水の NDMA 生成能(クロラミン処理による評価)は SAT により 70%以上低減できること、その効果は 15 ヶ月以上の長期間に渡って維持できること、さらにはこの効果は比較的短時間の SAT(例えば平均滞留時間 3.5 日)でも実現できることを示した(図 1-7)。また、消毒副生成物評価グループにより新規に同定された NDMA 前駆物質(1,1,5,5-テトラメチルカルボヒドラジド(TMCH)、(6)も参照のこと)についても、SAT により分解され、その NDMA 生成能も消失することを示した。

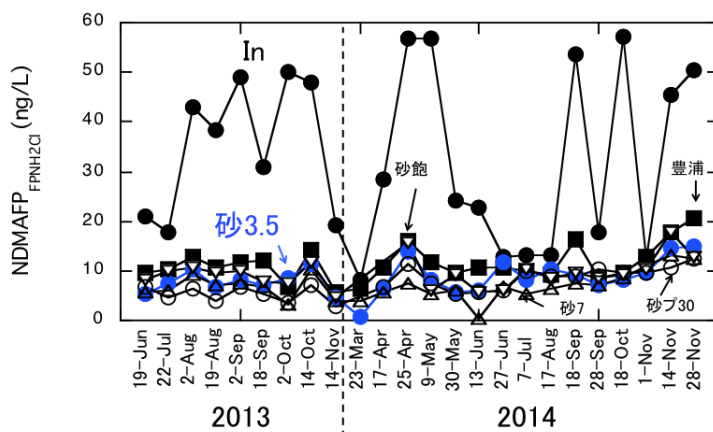


図 1-7 *N*-ニトロソジメチルアミン生成能(NDMAFP)の長期トレンド

以上の結果と毒性学的情報を総合すると、SAT 処理水の安全性評価においては、含窒素および含臭素消毒副生成物にも十分注意する必要があると指摘できる。

EDTA は、室内カラム実験では流入水濃度 177 $\mu\text{g/L}$ (平均値)に対して、砂 7 においても、75.1 $\mu\text{g/L}$ と除去率 57.6%にとどまった。回分実験により、土壌微生物による EDTA の分解は期待できず、カラムでの除去は土壌吸着によることが示された。また、モデル解析のために、土壌への吸着における速度定数 ($0.00258 \text{ (h}^{-1}\text{)}$)、吸着等温線を得た。

EDCs については、各系で概ね 90%以上の高い除去率が得られ、効果的に除去されていた。鉛の各系での除去率は 10%~37% (平均値)であった。また、ニッケルについては、カラム実験での除去が 22~74% (平均値)であったのに対して、プラント実験では、流入水に対して流出水濃度が顕著に増加していた。この理由としては、プラントに用いたステンレス鋼からの流出が考えられる。シアンはすべて検出下限値以下 ($<10 \mu\text{g/L}$)であった。

PFCs は、流入水に比して、流出水で除去がほとんど見られず、最大 6 ヶ月の SAT でも PFCs の除去は困難と考えられた。また、DCP の除去率は 30%程度であり、HRT を延長しても大きな改善は認められなかった。

以上のように、長期間にわたる継続的な測定により、健康影響が懸念される消毒副生成物等が、除去されることが分かる等、対象化学物質に関する土壌浸透処理性能が明らかとなった。また、消毒副生成物を中心に、研究項目 2 における確率論的手法による水質評価のために十分なモニタリングデータを得ることができた。

一方、EDTA のように、SAT である程度除去されるものの、流出水濃度は依然として一定程度残存する物質や、PFCs のように除去が困難な物質があることも判明した。これらの知見に基づき、研究項目 1-(4)における、必要とされる下水処理・浄水処理レベルとその内容についての整理が可能となった。なお、PPCPs については研究項目 1-(5)で述べる。

〈参考文献〉

- 1) Schriks M. et al. (2010), *Water Res.*, 44, 461-476.
- 2) 浦瀬太郎ら (2008), 水環境学会誌, 31, 769-774.
- 3) 大西勇輔ら (2007), 大阪市水道局水質試験所調査研究ならびに試験成績, 59, 36-46.
- 4) 京都市上下水道局 (2012), 平成 23 年度 下水水質試験年報.

- 5) 国土交通省 (2001), 国土交通省, 平成 12 年度下水道における内分泌攪乱化学物質, Available at Website, <http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/info/naibun/naibunzentai.pdf>, last accessed May 2012.
- 6) 鈴木穰ら (2008), 平成 20 年度下水道関係調査研究年次報告書集, 101-114.
- 7) 伏見絵里ら (2001), 衛生工学シンポジウム論文集, 9, 245-249.
- 8) 成宮正倫ら (2009), 環境工学研究論文集, 46, 175-185.
- 9) Abe A. (1999), *Sci. Total. Environ.*, 227, 41-47.
- 10) Murakami M. (2008), *Environ. Sci. Technol.*, 42, 6566-6572.

(3) 微生物の分析方法の整備、基本処理性能評価(京都大学 土壌浸透処理グループ、麻布大学 ウイルス処理評価グループ)

①研究のねらい

本研究項目の目標は、SAT による対象病原微生物の除去・不活化能を測定し、その処理性能を評価することである。

②研究実施方法

SAT の基本処理性能評価には、京都市鳥羽水環境保全センターに設置した土壌浸透リアクターを用いた。対象微生物には、細菌として集団感染のみならず散発感染事例も多いとされている *Campylobacter jejuni* (*C. jejuni*)、ウイルスとして水環境中に普遍的に存在することが知られているが各種水処理による挙動がよくわかっていないヒトアデノウイルス F 群 (HAdV) に加え、小児に対して重篤な下痢症を引き起こすロタウイルス A 群 (RV) を取り上げた。ただし、既往研究⁹⁾より SAT による *C. jejuni* 除去・不活化能の直接測定は困難と予想されるため、糞便性大腸菌群を指標微生物²⁾とした。

A2O 処理水 (リアクター流入水) ならびに流出水を定期的に採取した。細菌測定用にはリアクター中段の採水ポートから、ウイルス測定用にはリアクター底部の流出ポートで採水した。処理時間はそれぞれ約 10 日、30 日に相当する。*C. jejuni* は、増菌培養後 MPN-PCR 法により定量した。また糞便性大腸菌群の定量は M-FC 寒天培地法に従った。ウイルス測定では PEG 沈殿法による濃縮操作を行った。流出水については、50 L を UF 膜を用いて予め約 1 L に減容した上で PEG 沈殿法を適用する二段階濃縮とした。物理化学的なウイルス粒子除去能を把握するためには TaqMan プローブを用いたリアルタイム PCR 法により HAdV、RV 遺伝子を定量した。上記に加えて、ウイルス不活化能を把握するための測定を行った。すなわち、HAdV に対してはヒト大腸がん細胞 CaCO-2、RV に関してはアカゲザル腎由来株化細胞 MA104 を用いて感染性ウイルスの増幅培養を行い、その後遺伝子定量に使用したプライマー対を用いて各ウイルスの PCR 検出し、MPN 法によりウイルス濃度を求める ICC (Integrated Cell Culture)-PCR 法を適用した。

③研究成果

A2O 処理水中濃度の測定結果を図 1-8 に示す。*C. jejuni* の濃度は $9.2 \times 10^0 \sim 1.2 \times 10^4$ MPN/L の範囲で変動し、季節変動も見られた。一方、HAdV のゲノム濃度は $8.2 \times 10^3 \sim 2.0 \times 10^6$ copies/L であったが、感染性 HAdV 濃度も $1.0 \times 10^1 \sim 3.6 \times 10^3$ MPNIU/L に分布したことから、A2O 処理水中には感染力を有する *C. jejuni* と HAdV が高濃度で存在することがわかった。また、RV のゲノム濃度は $1.9 \times 10^3 \sim 5.7 \times 10^5$ copies/L であったが、感染性 RV は試料数 25 に対して 3 サンプルのみしか検出されず、濃度も $2.2 \times 10^1 \sim 7.3 \times 10^1$ MPNIU/L に分布した。RV は HAdV に比べ、比較的低濃度で存在していることが分

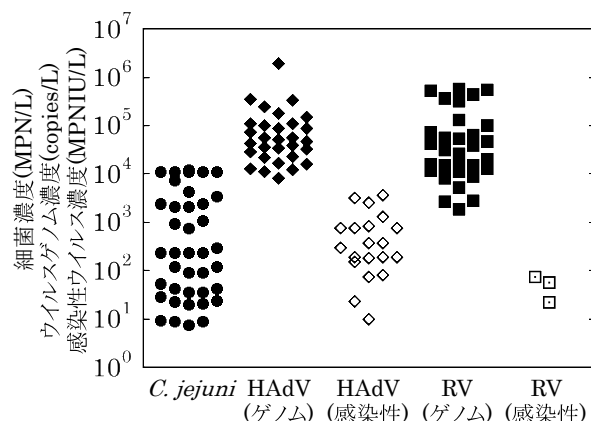


図 1-8 A2O 処理水中の対象微生物濃度の比較

かる。

対象微生物の除去・不活化能を図 1-9 に示す。なお、UF 膜濃縮および PEG 沈殿法によるウイルス回収率には採水期間中に定期的実施した回収率実験の値を適用し、濃度はこれらの値を用いて算出した。糞便性大腸菌群の除去・不活化能は $5.06 \sim 6.81 \log_{10}$ (平均値 $5.57 \log_{10}$) と安定して高い値であった。土壌層内における糞便性大腸菌群と *C. jejuni* の不活化されやすさの違いを考慮していないが、土壌層内滞留時間が比較的小さいことに加えて、土壌層の上部に形成される表層マット部による細菌除去が支配的であったとした知見³⁾や、緩速砂ろ過施設におけるカンピロバクターの除去能は耐熱性大腸菌群 *Coli44* の除去能より 1 log 高い値が得られたとの知見²⁾等を総合すると、糞便性大腸菌群で得た除去・不活化能を *C. jejuni* に適用することは妥当と考えられる。

ウイルスゲノムを指標とした HAdV 除去能は $0.09 \sim 2.24 \log_{10}$ (平均値 $0.71 \log_{10}$) となった。そして感染性ウイルス濃度の変化から求めた HAdV 除去・不活化能は $1.92 \sim 2.03 \log_{10}$ (平均値 $1.97 \log_{10}$) に分布した。同様に RV の除去能は $-0.55 \sim 1.45$ (平均値 0.13) $\log_{10}$ 、除去・不活化能は $0.44 \sim 0.96$ (平均値 0.63) $\log_{10}$ であった。細菌に対する安定した高い除去・不活化効果と比べると、約 30 日と比較的小さい滞留時間ではあるもののその効果はウイルスに対しては限定的であることがわかった。

またウイルス種間での比較では、RV に対する SAT 中の除去・不活化効果は HAdV よりも小かった。ここで除去・不活化能データから除去能データを引いた値を不活化能とし、その平均値を取ることで不活化能推定値を得た。その結果、不活化能推定値は AdV-F で $0.68 \log_{10}$ 、RV で $0.52 \log_{10}$ となった。このことから、SAT における AdV-F と RV の不活化能は同程度であると推察できる。そのため、SAT における AdV-F と RV の除去・不活化能に差がみられたのは、主に両ウイルスの除去能の違いが要因であると考えられる。この要因として、ウイルス種ごとに異なる表面の形状、等電点といった物理化学的性質などが大きく関与していると推察される。本研究では SAT へのウイルス除去・不活化に関わる影響因子の詳細まで明らかとはならなかったが、ウイルス種ごとに SAT での処理効果は異なることが示された。

〈参考文献〉

- 1) La Manita R. et al. (2008) *Water Sci. Technol.*, 57 (6), 849-856.
- 2) Hijnen, W. A. M. et al. (2004) *Water Sci. Technol.*, 50 (1), 147-154.
- 3) Gerba, C. P., Goyal, S. M. (1985) *Artificial Re-charge of Groundwater* (T. Asano, ed.) Ann Arbor Science, 283-317.

(4) リスク管理手法の提案・受入水質要件の取りまとめと必要とされる浄水・下水処理技術の整理 (京都大学 土壌浸透処理グループ)

① 研究のねらい

研究の目的は、i) SAT による化学物質の除去性能評価に基づきリスク評価を行い、必要な浄水・下水処理技術を整理すること、ii) プラント実験により収集した、微生物の除去・不活化能データに基づいて、病原細菌 (病原性大腸菌およびカンピロバクター) あるいは腸管系ウイルス (ロタウイルス等) の感染リスクを定量化することである。

また、リスク制御の鍵となる下水/浄水処理プロセスを特定し、各プロセスで要求される処理条件を明らかにする。

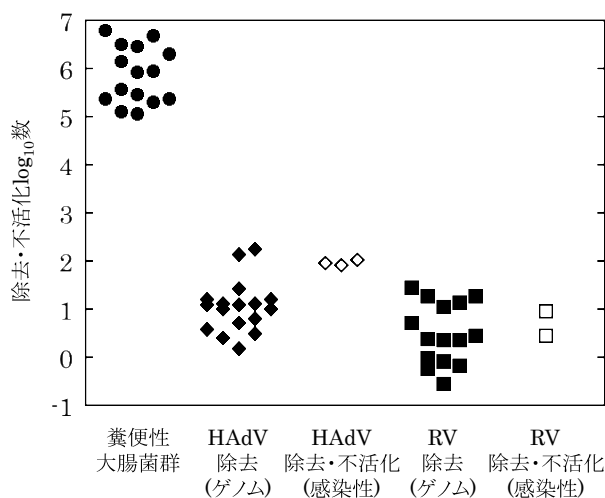


図 1-9 土壌浸透処理による対象微生物の除去・不活化能の比較

②研究実施方法

i) 化学物質に関するリスク評価

まず、研究項目 1-(2)にて間接的飲用水再利用システム構築に際して着目すべき測定対象化学物質を、ヒトへのリスクの観点から選定した。長期モニタリングにより SAT による除去性能を把握し、基準値等と比較することで、SAT の処理効果を評価した。さらに SAT を行っても問題となりうる物質を抽出した。その上で、浄水・下水処理に求められる処理水準について整理した。

ii) 微生物リスク評価

SAT による除去・不活化能を利用して、A2O 処理－SAT で再生された飲料水の年間感染確率あるいは障害調整生存年数(Disability Adjusted Life Years: DALYs)を試算した。その上で、微生物リスク観点から水道水の安全確保のために浄水処理に求められる処理能(要求処理能)を推定した。なお、*C. jejuni*に関しては下痢症以外に様々な疾病を引き起こすことから DALYs を指標とし、ウイルスは年間感染確率を指標とした。

まず、A2O 処理水濃度と土壌浸透処理の除去・不活化能から SAT 流出水の病原微生物濃度を決定した。続いて、ヒトが飲用により 1 日に摂取する微生物量を求め、用量－反応モデル式を用いて、モンテカルロシミュレーションにより SAT 流出水を直接飲用した場合の年間感染確率を算出した。また感染－発症割合、*Campylobacter* 胃腸炎患者 1000 人あたりの DALYs 値を用いて年間1人当たりの DALYs を算出した。なお、感染性濃度のデータ数が少ない RV に関しては、ゲノム濃度と流入水中の感染能を有する RV の存在割合から、SAT 流入水中の感染性ウイルス濃度分布を決定した。また HAdV、RV の除去・不活化能については、SATリアクターで得られた除去能、不活化能推定値を用いた。

③研究成果

i) 化学物質に関する評価

図 1-10 は評価結果をまとめたものである。下水処理水 (SAT 流入水) では健康影響懸念領域にあった多くの DBPsFPs が低減し、モニタリング必要領域に移行した。平均値で見た場合、砂 3.5 でもすべての対象物質がモニタリング必要域または安全域にあり、A2O 水を対象とした場合には、比較的 HRT の短い SAT のみでも安全性確保が可能であることがわかる。また、最大値でみても、bromodichloromethane を除く全てが、安全域・モニタリング必要域となった(流入の場合は、5種の消毒副生成物と E2 が健康影響懸念域にあった)。HRT を延長した場合には、DBPsFPs を中心として処理性の向上が見られた。

なお、研究項目 1-(2)ではいくつかの含窒素および含臭素副生成物に濃度や消毒副生成物に占める割合が増加する懸念があると述べたが、

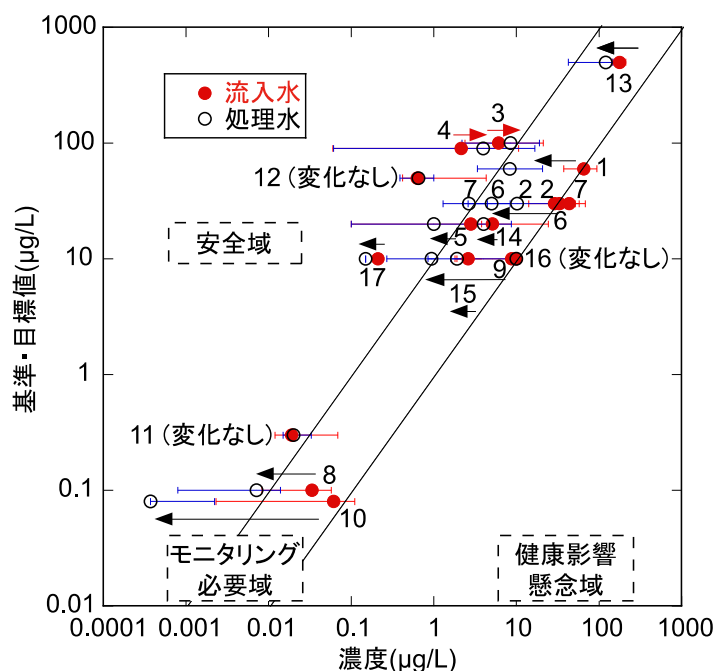


図 1-10 化学物質に関するリスク評価のまとめ(処理水濃度の評価には砂 3.5 の結果を用いた(PFOAのみ砂30);図中のエラーバーの両端は最大値と最小値を示す;図中の番号は以下の各物質に対応する。1. chloroform, 2. bromodichloromethane, 3. dibromochloromethane, 4. bromoform, 5. chloroacetic acid, 6. dichloroacetic acid, 7. trichloroacetic acid, 8. NDMA, 9. dichloroacetonitrile, 10. E2, 11. PFOA, 12. 1,4-dioxane, 13. EDTA, 14. Ni, 15. Pb, 16. CN, 17. DCP)

基準値と比較するとそのリスクは低く、十分なモニタリングにより対応可能であるといえる。また、下水再利用においてしばしば問題視される NDMA についても SAT により安全確保が可能であることもわかる。

以上のことから、化学物質リスクの観点からは、通常、あるいはそれよりも簡易な下水・浄水処理と比較的短時間の SAT により、飲用を目的とした下水処理水の再生利用が可能であることを示すことができたといえる。

ii) 定量的微生物リスク評価(QMRA)による年間感染確率ならびに障害調整生存年数の推定

C. jejuni に対する QMRA 推定値については、平均値として 3.96×10^{-4} DALYs 人⁻¹年⁻¹、中央値として 5.91×10^{-5} DALYs 人⁻¹年⁻¹を得た。ここで特筆すべき点としては、SAT の除去・不活化能が平均 $5.57 \log_{10}$ と高い効果を示しているにも関わらず、WHO が設定した参照リスクレベル 10^{-6} DALYs 人⁻¹年⁻¹を越える結果となった点である。そこで下水処理水を SAT 後に塩素処理した再生水を飲用するケースを検討した。DALYs 推定値を、直接飲用ケースとともに図 1-11 に示す。DALYs 推定値は、平均値で 4.92×10^{-8} DALYs 人⁻¹年⁻¹、中央値で 6.30×10^{-10} DALYs 人⁻¹年⁻¹となり、参照リスクレベルを十分に下回る結果である。すなわち、SAT 後に塩素消毒のみを行うことで *C. jejuni* に対する安全性を確保できると考えられる。

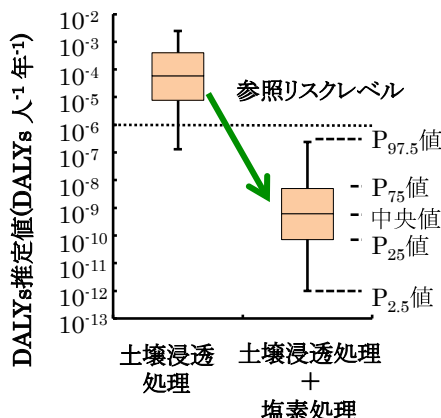


図 1-11 再生水飲用による *C. jejuni* 曝露に伴う DALYs 推定結果

一方 HAdV に対する QMRA 推定値については、平均値として 7.78×10^{-1} 人⁻¹年⁻¹、中央値 1.00 人⁻¹年⁻¹となった。また RV は、平均値 9.90×10^{-1} 人⁻¹年⁻¹、中央値 1.00 人⁻¹年⁻¹となり、共に許容感染リスクとして一般的な 10^{-4} 人⁻¹年⁻¹を大きく上回った。そのため、HAdV、RV の感染リスクを考えた場合、SAT のみでは制御が全く不十分であり、ウイルスリスクを管理することが重要と指摘できる。再生水利用システムを構築する上では、浄水処理能力を十分に確保する必要がある。そこで各病原ウイルスに対して SAT 後段の処理工程の要求処理能を算出した。結果を表 1-3 に示す。これらの要求処理能は高いということができ、後段の処理ではウイルス不活化のために十分な消毒処理プロセス(紫外線処理、塩素処理)を追加する必要がある。

表 1-3 年間感染確率 10^{-4} 人⁻¹年⁻¹達成のための要求処理能

	P _{2.5}	平均値	中央値	P _{97.5}
HAdV	4.11	4.58	6.25	8.16
RV	4.40	4.87	6.66	8.72

(5) 土壌浸透処理の内部反応機構解明(基礎研究)(京都大学 土壌浸透処理グループ)

① 研究のねらい

研究の目的は、i) SAT 前後の溶存有機物の特性解析、ii) SAT 内微生物の代謝特性、iii) ウイルス吸着試験と微生物群集解析による SAT の処理機構の理解、iv) 医薬品類の除去機構からみた SAT の化学物質除去機構の解析、v) 化学酸化処理との組み合わせに関する検討である。

② 研究実施方法

i) 溶存有機物の特性

A2O 処理および SAT における DOM(Dissolved Organic Matter)除去特性の把握を行うために、A2O 処理水を流入水とするパイロットスケール土壌浸透リアクター連続実験を行い、最初沈殿池流出水、A2O 処理水および SAT 処理水を対象に DOM 樹脂分画¹⁾を行った。また、樹脂分画後の各画分中の DOM の官能基を FT-IR および ¹H-NMR を用いて解析するとともに、各画分の消毒副生成物生成能について調査した。

ii) 基質代謝特性

下水処理場および SAT を含む下水再利用過程での微生物の有機物代謝特性の変化を把握した。具体的には、活性汚泥、A2O 処理水および微生物による活発な有機物除去が期待される土壌表層を中心に土壌浸透リアクターの土壌層を鉛直方向にサンプリングした。その上で、各試料での微生物活性を FDA(Fluorescein diacetate)試験により把握するとともに、Biolog EcoPlates™ (BIOLOG 社、USA)によって得られた微生物の基質代謝パターンデータの主成分分析結果から、有機物代謝特性の変化を評価した。さらに、有機物代謝特性の変化と水質変化の関係を考察した。

iii) ウイルス吸着、微生物群集解析

SAT によるウイルス除去能が低いことを述べた。そこで、下水処理水中の DOM の物理化学的性質がウイルスの土壌粒子への吸着に及ぼしている影響を実験的に検討した。具体的には下水処理水中 DOM を疎水性と分子量の違いによって分画し、各画分の存在下で吸着実験を行うことでウイルスの吸着を阻害する画分を抽出した。ブランク試験において電気伝導率を統一させるために NaCl 溶液を調製した。続いて、SAT の制御、管理において重要である土壌粒子へ付着している微生物に着目し、次世代シーケンサー機器を用いて土壌浸透リアクターでの土壌層内微生物叢の組成変化について解析を行った。

iv) 医薬品類の除去特性からみた SAT の化学物質除去機構

滅菌カラムおよび非滅菌土壌カラムによる医薬品類の除去特性の差から、SAT における化学物質の除去機構の推定を行った。7種の抗生物質、8種の抗アレルギー剤、3種の抗脂血剤を対象とした。カラムの滅菌にはアジ化ナトリウムを用いた。あわせて Biolog EcoPlates™ により活性汚泥法と代謝特性を比較した。また、カラム実験により、カルバマゼピン(CBZ)とジクロフェナック(DCF)を対象に医薬品類の変換生成物の消長について評価した。

v) 化学酸化処理との組み合わせに関する検討

A2O 処理と SAT が有さない除去機構として化学酸化処理を付与する効果について検討した。具体的には、図 1-12 に示した実験マトリクスに従い、SAT 前後にオゾン処理を行い、その優劣を、処理水水質のリスク評価に基づき判定した。SAT は、室内土壌カラムに砂を充填し、HRT は 7 日に設定した。また、前オゾン処理による副生成物であるアルデヒド類の SAT での分解特性を把握するため、注入率 24 mg/L でオゾン処理を行い、SAT 過程での濃度変化を把握した。

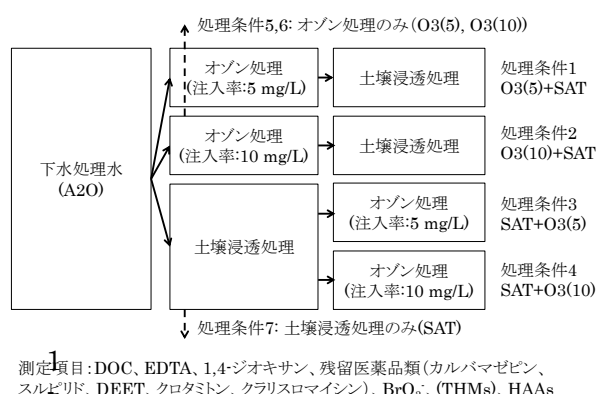


図 1-12 実験マトリクスと分析項目

③研究成果

i) 有機物特性

図 1-13 に各対象試水中の各画分 DOC 濃度を、図 1-14 に IR スペクトル測定結果例を示す。親水性酸性(HiA)、親水性中性(HiN)、親水性、疎水性の中間性物質(Trs)、塩基性(Bas)、疎水性酸性(HoA)および疎水性中性(HoN)の 6 画分について、SAT 処理水中に残存する主な有機物画分は HiN、Trs および HoA であり、これら 3 画分で DOC の 80.8%を占めていた。残存する DOM は、最初沈殿池流出水由来の DOM および SAT 過程において生物分解の副生成物として生成する物質であり、前者は Trs および HoA に多く含まれる長い脂肪鎖を持つ物質群、後者は HiN に分画される芳香族化合物および Bas に分画されるアミノ酸であった。

SAT 流出水中 HoA は単位炭素量当たりの THMsFP が高く、これはカルボニル基の存在量が多いことによると考えられた。また、HiN 画分からの THMs の生成量は SAT 後に増加した。生物分解に伴う副生成物が、高い THMsFP を有していた。しかし SAT による DOM 除去効果は高く、処理水自身の THMsFP は水道水質基準値を満たす範囲であった。THMsFP の観点からは、

SAT を組み込んだ飲用目的の下水再利用システムは有効な手段であると考えられた。

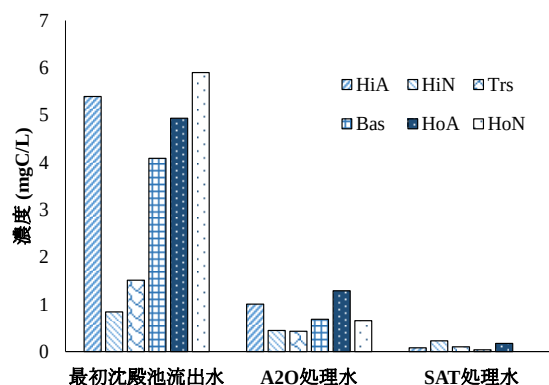


図 1-13 各対象試水中の各画分中 DOC 濃度

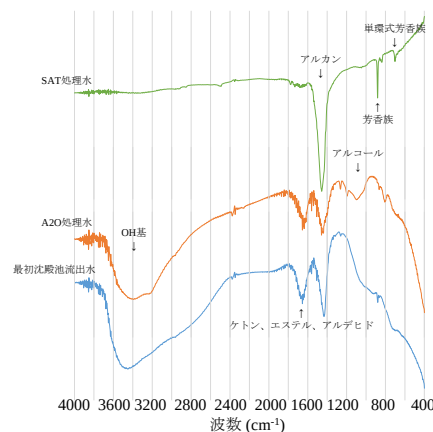


図 1-14 対象試水中 HiN の IR スペクトル

ii) 基質代謝特性

FDA 試験結果を図 1-15 に、また、Biolog EcoPlates™ での基質代謝パターンデータの主成分分析結果を図 1-16 に示す。表層 0-5 cm での微生物活性は活性汚泥の約 2/3 であり、また、表層 0-5 cm 層での微生物活性が $0.090 \text{ cm}^{-1}\cdot\text{g-dry}^{-1}$ であったのに対して、15-20 cm 層で $0.005 \text{ cm}^{-1}\cdot\text{g-dry}^{-1}$ と 0.056 倍まで減少し、表層より深い層での微生物活性の急激な減少が示された。主成分分析の結果、活性汚泥、A2O 処理水および 0-5 cm 層での微生物基質代謝パターンが類似していた一方で、表層 10 cm より深い層での代謝パターンは大きく異なることが明らかとなった。

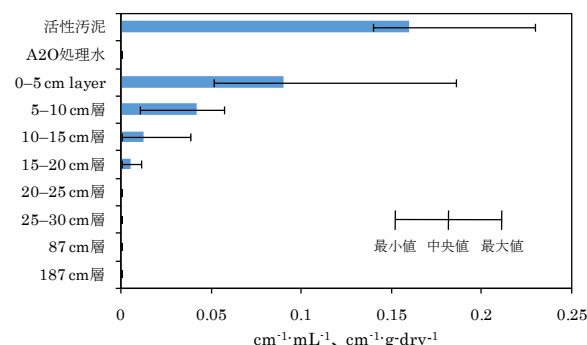


図 1-15 下水再利用過程での微生物活性の変化

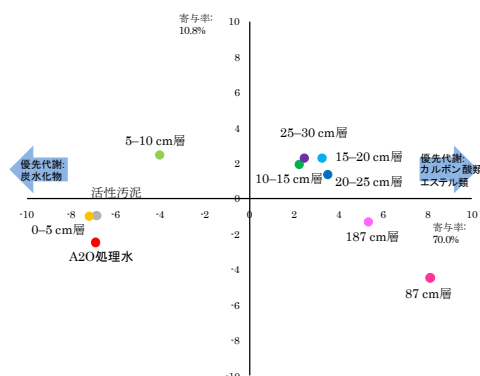


図 1-16 下水再利用過程での有機物代謝特性

前者の 3 試料での代謝パターンが類似していた理由としては、A2O 処理水の流入により活性汚泥由来の微生物が土壌表層に植種されたこと、また、各試料が存在する環境での有機物組成が類似していたことが考えられる。一方、表層 25 cm の浸透（浸透時間：80 分程度）により、DOC が 59.0% (3.68 から 1.52 mgC/L) 減少し、芳香族化合物に比して他の有機物が優先的に除去される等、有機物組成が変化することが考えられる。この有機物組成変化が表層 10 cm 付近での微生物基質代謝パターンの変化に寄与したと考えられる。以上の結果、土壌浸透処理の表層 10 cm より深い層では、活性汚泥処理とは異なる有機物の生分解が期待できる可能性を示した。

iii) ウイルス吸着、微生物群集解析

共存 DOM によるウイルスの吸着阻害効果に着目し、DOM の物理化学的な性質に基づいてウイルス吸着阻害について検討した。結果を図 1-17、18 に示す。疎水性画分と 5000 Da 以上の高分子画分の DOM がウイルスの吸着阻害に大きく寄与すること、親水性低分子の DOM はほとんど吸着阻害に寄与しないことを示した。また DOM の三次元蛍光分析により、疎水性高分子の

DOM として溶解性代謝物や芳香族性のタンパク質を見だし、これらが吸着阻害に関与する可能性を示した。以上より、土壌浸透過程でのウイルス吸着除去特性は DOM の存在だけでなく DOM の特性にも大きく依存することから、ウイルスの吸着挙動を理解するためには共存 DOM の性質も考慮する必要があると考えられた。

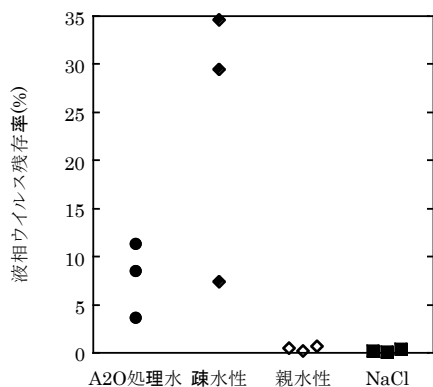


図 1-17 疎水/親水性画分と濃縮 A2O 処理水, NaCl 溶液を用いたアデノウイルスの吸着実験結果

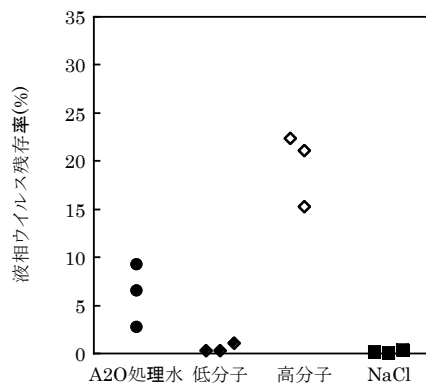


図 1-18 低分子/高分子画分と濃縮 A2O 処理水, NaCl 溶液を用いたアデノウイルスの吸着実験結果

次世代シーケンサー機器を用いて土壌粒子へ付着している微生物の群集解析を試みた。細菌の分類の中で門(division)レベルでの比較を行ったところ、表層の流入部と深さ 60,120,220 cm 部分で、構成している細菌種が異なっていることがわかった。

iv) PPCPs の除去特性からみた SAT の処理機構

抗生物質の除去については、概ね滅菌カラムとの差がなく吸着による除去が主体であることがわかった。その他の物質については、多くの場合差が見られたことから生物分解が寄与していると考えられた。また、基質代謝特性の比較から、滞留時間が比較的短い SAT と活性汚泥法の代謝特性の類似性を示した。以上のことから、SAT の微量汚染物質除去機構は主に吸着と比較的単純な生物分解から構成されると結論した。

代謝物も含めた評価においては、CBZ とその代謝物について、まず、下水処理水中に 3-水酸化体が原体と同程度、ジヒドロキンドが 10 倍程度存在していた。また、SAT により 3-水酸化体が除去された一方、ジヒドロキンドは高濃度で残存していた。さらに、SAT におけるカルバマゼピン増加に対して、カルバマゼピングルクロン酸抱合体の脱抱合が約 6 割寄与している可能性を示した。DCF についても、代謝物が SAT 処理過程で増加することを示した(図 1-19、20)。これは、ある過程では別の化学形態をとっていた物質が特定の処理過程などで再度原体に戻る場合があることを意味し、下水の再利用においては、化学物質原体のみならず、リスク管理の観点から、代謝物にも着目する必要があると指摘できる。

v) 化学酸化処理との組み合わせに関する検討

前オゾン処理では、オゾン処理のみによる DOC の変化はほとんどなかったが、その後の SAT では大幅な減少を確認した。難分解性物質がオゾンにより易分解性物質に変換された結果、A2O 処理水を直接土壌浸透処理した場合よりも処理効率が向上したと考えられる。後オゾン処理では、オゾン処理後にも DOC はわずかに低減した。DOC が A2O 処理水よりも減少した SAT 処理水を対象としたことで、オゾンの処理効率が上がったと推察される。A2O 処理水から比較した平均除去率は、O3(5)+SAT で 80.4%、O3(10)+SAT で 82.4%、SAT+O3(5)で 75.8 %、SAT+ O3(10)で 77.1 %となった。

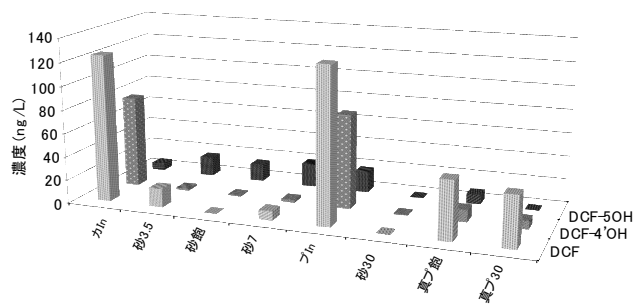
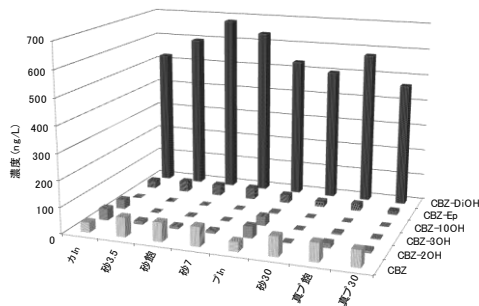


図 1-19 CBZ とその第 1 相反応代謝物の消長 図 1-20 DCF とその第 1 相反応代謝物の消長

EDTA については、オゾン処理単独では、オゾン注入率 O3(5)で 19.8%、O3(10)で 47.0%の除去率となり、ある程度の減少が確認できた。前オゾン処理では、EDTA は A2O 処理水に対して O3(5)+SAT で 74.9%、O3(10)+SAT で 83.5%除去された。ただし、前段のオゾン水を基準にすると O3(5)+SAT で 68.7%、O3(10)+SAT で 68.9%となり、SAT における差はほとんどなく、前段のオゾン処理のオゾン注入率による差であると考えられた。また、SAT 単独の場合、除去率が 50.6%であり、前オゾン処理ではその結果よりも除去率が増している。後オゾン処理では、EDTA は A2O 処理水に対して SAT+O3(5) で 68.2%、SAT+O3(10) で 75.7%除去された。

表 1-4 リスク評価試算結果（最大濃度/基準値等を表示（ただし、0.1 未満は 0 とした）。なお、1,4-ジオキサンおよび残留医薬品については全て 0.1 未満であったため表から省略した）

	A2O	SAT	O3(5)	O3(10)	O3(5) +SAT	O3(10) +SAT	SAT+ O3(5)	SAT+ O3(10)
TCM	基準超過	0.22	0.53	0.61	0.20	0.21	0.24	0.24
BDCM	0.61	0.39	基準超過	0.97	0.41	0.45	0.36	0.45
DBCM	0.00	0.10	0.15	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00
TBM	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T-THMs	0.89	0.36	0.83	0.72	0.35	0.38	0.33	0.37
DCA	0.93	0.26	0.59	0.69	0.19	0.20	0.27	0.25
TCA	0.23	0.00	0.14	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00
HAA5	基準超過	0.34	0.90	0.95	0.31	0.27	0.32	0.30
EDTA	0.47	0.21	0.39	0.26	0.12	0.00	0.16	0.14
BrO ₃ ⁻	0.00	0.00	0.00	0.71	0.00	0.11	0.95	基準超過
合計	基準超過	1.88	基準超過	5.20	1.58	1.62	2.63	基準超過

調査対象とした微量汚染物質および消毒副生成物について、水質基準値（もしくは目標値）との比率が 0.1 以下(安全域)、0.1 以上 1.0 未満（モニタリング必要域）、1.0 以上（健康影響懸念域）に各物質の最大濃度を分類し、安全域を 0 Pt、モニタリング必要域では基準値に対する最大濃度の比の値を Pt とし、健康影響懸念域を評価対象外としてリスク試算したものを表 1-4 にまとめる。この評価では、前オゾン処理（オゾン注入率 5 mg/L）が 1.58 Pt となり、最も優れた処理法となった。

また、アルデヒド類濃度の土壌浸透処理過程での濃度変化を評価した結果、オゾン処理によりホルムアルデヒドが 80 µg/L（平均値）と最も高濃度で生成されたが、表層 40 cm までで 90%以上除去され、オゾン処理によりアルデヒド類が生成した場合でも、後段の土壌浸透処理により効率的に除去されることが分かった。

〈参考文献〉

1) Jo I. *et al.* (2012) *Water Sci. Technol.*, 13(1), 89-95.

(6) 消毒副生成物生成能の分析法の整備、ならびに消毒副生成物に関する検討（国立保健医療科学院 消毒副生成物評価グループ）

①研究のねらい

N-ニトロソアミン類は、発がん性を有する新規の消毒副生成物として注目されている。このうち、海外では水の再利用の観点からも検討されている NDMA を含む、3 種（*N*-ニトロソモルホリン（NMOR）、*N*-ニトロソピロリジン（NPYR））について、淀川流域、利根川流域の下水処理場放流水中の存在実態の把握を行う。また、NDMA 前駆物質について、淀川流域における発生源の探索と同等、淀川流域での寄与率の評価、および制御方法について明らかにする。

②研究実施方法

淀川流域の 5 下水処理の 6 放流水と淀川河川水、利根川流域の 3 下水処理場の 3 放流水、水路の水と利根川河川水について、*N*-ニトロソアミン類とその前駆物質の実態調査を行った。また、オゾン処理による NDMA の前駆物質濃度が高かった A 下水処理場について、その上流の下水管渠中の下水を対象に調査を行い、NDMA 前駆物質の発生源の探索を行った。

次に、NDMA 前駆物質濃度が高かった下水管渠中の下水試料を用いて、NDMA 前駆物質の同定を試みた。まず、下水試料を濃縮した後、HPLC で分画し、画分をオゾン処理した後の NDMA 濃度を測定して、前駆物質が存在する主要画分を特定した。さらに、その画分を濃縮し、UHPLC-MS/MS、UHPLC-TOF/MS、NMR を用いて前駆物質の同定を行った。さらに、前駆物質を同定した後、A 下水処理場の工程水を用いてオゾン処理を行い、全 NDMA 前駆物質に占める、同定した前駆物質の寄与率を評価した。

NDMA 前駆物質のオゾン処理による NDMA 生成の制御方法として、塩素処理との組み合わせ処理の効果について検討を行った。

③研究成果

淀川流域の 5 下水処理場の 6 放流水と利根川流域の 3 下水処理場の 3 放流水中の実態調査を行った。NDMA と NMOR は、全ての放流水から検出され、それぞれ 5.0～200、2.0～47 ng/L の濃度範囲であった。NPYR は、全ての場合で不検出であった。クロラミン処理とオゾン処理による *N*-ニトロソアミン類の生成について評価したところ、NDMA は、クロラミン処理により、1 下水処理場放流水を除く全ての場合で濃度が増加し、その程度は数十～数百 ng/L であった。濃度が上昇しなかった放流水は、下水処理場でオゾン処理が導入されていた。オゾン処理の場合、4 放流水で濃度が増加し、その程度は数十～数千 ng/L であった。特に、A 下水処理場放流水での値は高かったが、同放流水は過去の淀川流域での主な発生源であることが報告されており、それを支持する結果であった。NMOR では、クロラミン処理、オゾン処理のいずれでも、処理後に濃度は増加しなかった。NPYR では、クロラミン処理後に、2 放流水中の濃度が増加した。

A 下水処理場放流水中の NDMA 前駆物質は、元々流入水中に含まれていることが報告されている。下水処理場に流入する下水管渠から下水を採取し、下水中の NDMA 濃度および前駆物質濃度を測定し、その発生源の探索を行った。12 下水管渠中の下水および下水処理場の流入水の計 13 試料のうち、NDMA は 9 試料から検出され、その濃度範囲は<5.0～120 ng/L であった。オゾン処理を行った後の、NDMA 濃度は 26～75000 ng/L であった。各下水の流量も考慮した場合、NDMA 濃度が最も高かった試料において、NDMA 前駆物質の負荷量も大きかった。

別の日に、同下水管渠中の下水とさらに上流の下水管渠中の 4 下水を採取し、オゾン処理を行ったところ、NDMA 濃度は 40～26000 ng/L の範囲にあり、特に X 事業所の排水の下水への流入前後で大きく上昇していることがわかった。したがって、X 事業所排水が、NDMA 前駆物質の主な排出源であることがわかった。

排出源直下の下水をエバポレーターで濃縮し、その濃縮液を HPLC で 1 分ごとの 40 画分に分けた。4 各画分ずつ混合した液をオゾン処理し、どの混合画分に NDMA 前駆物質が存在するかを探索し、続いて、その混合画分を構成している 1 分ごとの画分をオゾン処理し、どの画分に NDMA 前駆物質が存在しているか検討した。その結果、幾つかの画分に NDMA 前駆物質が存在していたが、5.5～6.5 分の画分にその多くが存在していることがわかった。UHPLC-MS/MS、

UHPLC-TOF/MS を用いた解析により、同画分中に TMCH の存在が推測された。TMCH 合成試薬と同画分について、UPLC-MS/MS、UPLC-TOF/MS、NMR で解析を行った結果、TMCH の存在が確認された(図 1-21)。TMCH をオゾン処理し、NDMA 生成率を求めたところ 140%であった。すなわち、TMCH はオゾン処理による新規 NDMA 前駆物質であること、そのモル変換率は、過去に報告されていた物質の変換率よりも非常に高いことが明らかとなった。

A 下水処理場の一次、二次、放流水を対象にオゾン処理を行ったところ、TMCH 濃度は低下し、NDMA 濃度は上昇した。各処理時間での TMCH 濃度、NDMA 濃度、

TMCH の NDMA モル生成率を基に、各処理時間における全 NDMA 前駆物質に占める TMCH の寄与率を算出し、その平均を求めたところ、40～72%の範囲であった(図 1-22)。過去の研究で NDMA 前駆物質であることが報告されている 2 種の黄ばみ防止剤(4,4'-ヘキサメチレンビス(1,1-ジメチルセミカルバジド) (HDMS) および 1,1,1',1'-テトラメチル-4,4'-(メチレンジ-*p*-フェニレン)ジセミカルバジド(TMDS))についても寄与率を評価したところ、それぞれ最大で 0.6%および 6.9%であった。この下水処理場の放流水を経由して、NDMA 前駆物質は淀川流域に負荷されていることから、TMCH は淀川流域における主な NDMA 前駆物質であることが示された。

TMCH 合成試薬を浄水場の凝集沈殿水に添加し、塩素処理(塩素注入率、2.5 mg/L;反応時間、30 分)を行った後に、オゾン処理を行った。塩素処理を行わない場合、オゾン処理による NDMA 生成率は約 140%であった。一方、塩素処理を行った後にオゾン処理を行った場合、NDMA は検出されなかった(<2%に相当)。このとき、塩素処理によって TMCH は分解され、その副生成物としてホルムアルデヒドが生成した。この結果から、オゾン処理による TMCH からの NDMA 生成の抑制の観点からは、塩素処理との組み合わせが有効であることがわかった。

NDMA は下水再利用の観点から、注目すべき消毒副生成物であることが知られている。本研究の結果は、特に淀川流域における水循環を考える上で、非常に有用な知見であると考えられた。

〈参考文献〉

- 1) 小坂浩司ら (2011) 土木学会論文集 G(環境), 67(7), pp.III_13-III_21.
- 2) Kosaka, K. *et al.* (2014) Identification of a new N-nitrosodimethylamine precursor in sewage containing industrial effluents, *Environ. Sci. Technol.*, 48, 11243–11250. (DOI: 10.1021/es502284t).

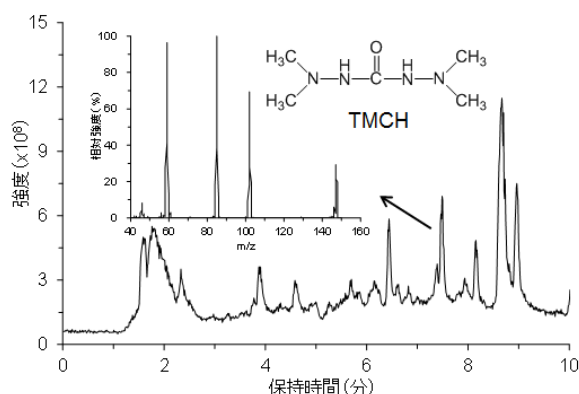


図 1-21 X 事業所排水の影響を受けている下水の濃縮水の HPLC 画分のトータルイオンクロマトグラムと対象ピークのプロダクトイオンスペクトル

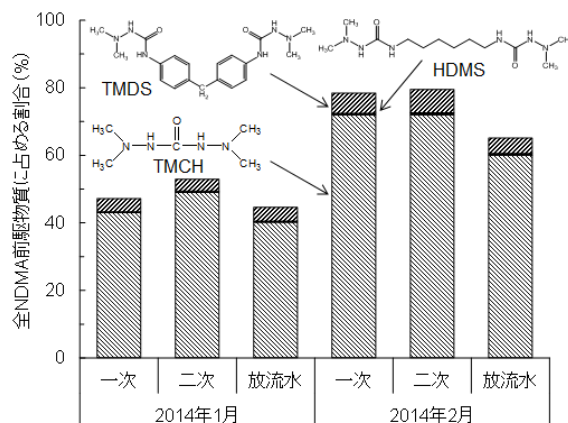


図 1-22 A 下水処理場の工程水中のオゾン処理による全 NDMA 前駆物質に占める各前駆物質の割合

2. システムの数値モデル化に基づく流域への実装シナリオの作成（京都大学 土壌浸透処理グループ）【研究項目2】

(1) システムの数値モデル化に基づく流域への実装シナリオの作成（京都大学 土壌浸透処理グループ）

① 研究のねらい

カラム実験(ラボスケール、パイロットスケール)実験結果を基に、SAT 系内での挙動に関するモデル構築を行い、対象化学物質の挙動解明を行うことを目的とした。

② 研究実施方法

対象物質として BPA、E1、E2、EDTA、1,4-ジオキサンを取り上げた。数理モデルの概念を以下に示す。水中の微量汚染物質は土壌による吸着と従属栄養性生物による生物分解を受けて除去される。従属栄養性生物は有機物、リン化合物および窒素源としてアンモニア態窒素を摂取し、これに伴って有機態窒素からアンモニア態窒素が生成される。微生物は、窒素源としてアンモニア態窒素を優先摂取するが、その枯渇時には酸化態窒素も利用できるとした。有機物、リン、有機態窒素、アンモニア態窒素および酸化態窒素それぞれについて土への吸着が起こる。独立栄養性生物はアンモニア態窒素を酸化態窒素に硝化することで増殖する。細菌は自己分解後その全てが難分解性固形性有機物となるとし、再度摂取等生物反応に利用されることはないとした。微量汚染物質は生物分解によりその全てが微生物に利用されるとした。微生物は土壌に吸着された物質は利用せず、水中に存在する物質のみを消費するとした。また、土壌層内での流動は完全混合槽列モデルで取り扱えるとした。

反応速度は、反応定数や基質や微生物などの濃度影響式の積で表される。反応速度の数式表現にあたって、基質摂取などに関しては Michaelis-Menten 型の式で、微量汚染物質および微生物濃度に関しては一次反応で表現した。また、吸着平衡時の濃度は Freundlich の吸着等温式に従うものとした。物質収支は有機物および微生物を C 基準 [mgC] で、窒素類を N 基準 [mgN] で表した。

本モデルで重要な位置を占める SAT における吸着、および生物分解に関する各係数については、実験を行い算出した。他の係数については既往研究¹⁻⁴⁾を用いた。有機物の COD/C 比を 1.0 [(mgCOD/m³)/(mgC/m³)]、微生物の COD/C 比を 1.67 (mgCOD/m³)/(mgC/m³)とした⁵⁾。表 2-1 に本モデルで用いる係数の一部を示す。

③ 研究成果

図 2-1 に DOC の流入出ならびに微量汚染物質として EDTA の挙動の計算結果を示す。挙動が良好に把握できている。また表 2-2 に算出された生物分解速度定数値をまとめて示す。

表 2-1 モデル係数

係数	記号	値	単位
土壌層空隙率	α	0.35	—
土の比重	β	1400	g-土/L
流速	Q	*	L/hr
土壌完全混合槽列 1 槽当たりの体積	V	*	L
微量汚染物質生物分解速度定数	i_t	*	L/(mgC・hr)
吸着速度定数	ω	*	hr ⁻¹
Freundlich 吸着係数	a	*	(μg/g-土)(L/μg) ⁿ
Freundlich 吸着指数	b	*	—

*: 対象物質や土壌種に応じた値を採用

表 2-2 生物分解速度定数

物質	L/(mgC・hr)
BPA	5.79×10^{-4}
E1	9.05×10^{-4}
E2	1.88×10^{-3}
EDTA	1.32×10^{-4}
1,4-dioxane	7.37×10^{-5}

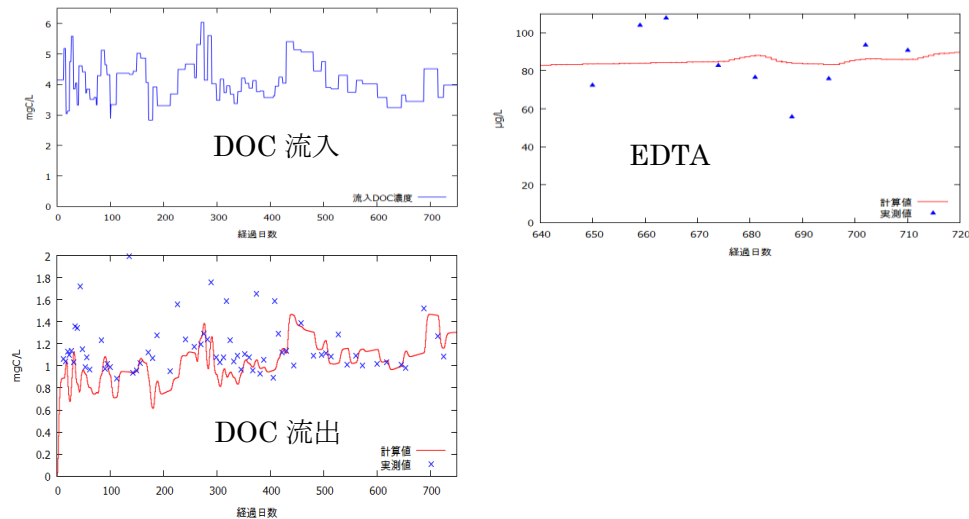


図 2-1 シミュレーション結果例

(2) 土壌浸透プロセスを組み込んだ統合的都市内水循環システム数値モデルの構築 (京都大学土壌浸透処理グループ)

①研究のねらい

SATを実装化するためには、水量と水質の評価が欠かせない。ここではSATプロセスの確率論的水質評価モデルを構築することを目的とした。対象地域は、京都市桂川流域と淀川下流域である。このうち、淀川下流域に設置する意義を以下に示す。(i)この地域では、かねてから水源を淀川一川に依存することの脆弱性が指摘されてきた。本検討に基づく水資源の確保は、水源を複数化することに寄与するものとなる。(ii)淀川流域では、常に水源の汚染事故のリスクが存在し、実際に汚染事故が毎年多数発生している。本成果を活用することにより、事故時においても水質を安定して確保することができる。(iii)南海トラフ巨大地震等の震災が発生した場合、津波が淀川を遡上し、その結果阪神地域の浄水場が機能不全となることが指摘されている。本成果を活用すれば、震災時の水源確保にも寄与するものとなる。

② 研究実施方法

京都市桂川流域(琵琶湖・淀川水系小流域)、および淀川下流域を対象とした。地下水流動モデル、二次元移流分散方程式に基づく水質評価モデル、そして土壌浸透処理の確率論的水質評価モデルについて各々構築した。

③研究成果

i) MODFLOW を用いた地下水流動モデルの構築

SAT を導入した際の各流域における地下水位と地下水流速を評価する地下水流動モデルを構築した。解析領域を 50 m×50 m のメッシュに分割した上で、MODFLOW (Schelumberger)を用いて地下水解析を行った。MODFLOW は、多孔質媒体内の三次元地下水解析を差分方程式に基づいて数値的に解くソフトウェアである。SAT での涵養ならびに揚水は部分的な注水あるいは吸い込みとして捉えることができると考え、地下水流動モデルを構築した上で、SAT を想定した涵養と揚水を行った場合の地下水位と地下水流速への影響を評価した。必要な解析領域内の初期条件と境界条件は、対象地域における先行研究⁹⁾により推定された値を与えた。

ii) 二次元移流分散方程式に基づく水質評価モデルの構築

水中の物質濃度 C の輸送モデルを、輸送距離 x 、 y 、時間 t に関する二次元移流分散方程式に、微生物代謝・分解による減衰項 λC を加えて下式で記述した(式 2.1)。

$$R_d \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} + D_{xy} \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{xy} \frac{\partial C}{\partial x} + D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \lambda C \quad (2.1)$$

ここで、 u 、 v は地盤中を移動する水の x 、 y 方向の間隙流速である。 D_x 、 D_y 、 D_{xy} は、それぞれ流体力学的分散係数である。 R_d は遅延係数である。数値解析にあたっては式 2.1 を時間に対して前進差分、空間に対して中心差分を行うことで得た式 2.2 を用いた。

$$C_{t+\Delta t} = \frac{\Delta t}{R_d} \left(D_x \frac{C_{x+\Delta x} - 2C + C_{x-\Delta x}}{\Delta x^2} - u \frac{C_{x+\Delta x} - C_{x-\Delta x}}{2\Delta x} + D_y \frac{C_{y+\Delta y} - 2C + C_{y-\Delta y}}{\Delta y^2} - v \frac{C_{y+\Delta y} - C_{y-\Delta y}}{2\Delta y} + D_{xy} \frac{C_{x+\Delta x, y+\Delta y} - C_{x+\Delta x, y-\Delta y} - C_{x-\Delta x, y+\Delta y} + C_{x-\Delta x, y-\Delta y}}{2\Delta x \Delta y} - R_d \lambda C \right) + C_t \quad (2.2)$$

なお、有限差分法を用いたことで生じる数値誤差を制御するため、水質開面対象領域の MODFLOW で分割されたメッシュに対してペクレ基準を満たす 5 つの格子幅 Δx 、 Δy (5 m、2.5 m、0.5 m、0.1 m) の最大値を求め、その最大格子幅 Δx 、 Δy に分割した。ここで、間隙流速 u 、 v は MODFLOW により計算された地下水流速を用いた。初期条件ならびに境界条件は以下の式 2.3 のように設定した。なお R_x 、 R_y は滴養点位置の座標であり、 C_{in} は SAT における対象物質の流入濃度である。

$$\begin{aligned} \alpha(R_x, R_y, t) &= C_{in}, \alpha(-\Delta x, y, t) = 0 \\ \alpha(500 + \Delta x, y, t) &= 0, \alpha(x, -\Delta y, t) = 0 \\ \alpha(x, 500 + \Delta y, t) &= 0, \alpha(x, y, 0) = 0 \end{aligned} \quad (2.3)$$

iii) 土壌浸透処理の確率論的水質評価モデルの構築

土壌浸透における処理能の変動を評価した。微生物濃度を考慮した生物分解を表すため、減衰定数 λ を式 2-4 で表した。また微生物濃度 X_H に関する式を式 2-5 に示す。 ρ_s は土の乾燥密度、 ϕ_e は有効間隙率、 C_{boc} は有機炭素濃度、 i_{DOC} は溶存有機炭素に対する生物分解速度定数、 Y は有機物分解時収率、 i_t は生物分解速度である。SAT における除去能の変動が i_t の変動によると仮定し、まず土壌浸透リアクターでの実測値をもとに推定した i_t の確率分布と流入水中の DOC の確率分布から乱数を発生させた。次に発生させた乱数をパラメータとして 2.2 にて構築した数値解析モデルに適用して揚水点での DOC を求める。この作業を繰り返すことで流出水中の DOC の確率分布を推定した。この際、計算結果に大きな影響が無いことを確認した上で、簡単のため、式 2-2 における D_{xy} に関する項を省略した。

$$\lambda = i_t \frac{(1 - \phi_e) \rho_s}{\phi_e} X_H \quad (2-4)$$

$$\frac{\partial X_H}{\partial t} = i_{tDOC} \cdot Y \cdot X_H \cdot C_{DOC} \cdot f(X_H) - k \cdot X_H, f(X_H) = \frac{-X_H}{X_{Hmax}} + 1 \quad (2-5)$$

(3) 水質リスク評価とプロセスに係るエネルギー効率との関連性の把握(京都大学 土壌浸透処理グループ)

① 研究のねらい

水循環システムにおける電力エネルギー消費量の算出のための原単位算出式を得て、水質リスク評価とプロセスに係るエネルギー効率との関連性を把握するためのツールを得ることを目的とした。

② 研究実施方法

浄水処理・下水処理の電力エネルギー消費量は電力原単位から算出した。解析には平成 23 年度の水道統計 7 および下水道統計 8) を用いた。水処理プロセスを構成する単位操作の種類・有無が電力原単位に影響するとみなし、電力原単位を従属変数、単位操作の種類・有無および年間処理水量を説明変数とした非線型の重回帰分析を行った。解析の際、質的な要素である処理方式の有無は、浄水処理施設に関しては各処理方式が直列に配置されているとみなし「有」の場合は「1」、「無」の場合は「0」とした。また下水処理施設に関しては各単位操作が並列されうると仮定した。すなわち、下水処理施設における単位操作の有無は、施設にて「有」となっている単位操作の数を n_j としたとき、「有」の場合は「 $1/n_j$ 」、「無」の場合は「0」とした。重回帰分析には SPSS ver.22 を使用した。

③研究成果

SAT 後の涵養水 730,000 m³/year (2,000 m³/day) 程度を処理することを想定し、年間処理水量 365,000 m³ (1,000 m³/day) 以上 1,000,000 m³ (2,700 m³/day) 以下の小規模浄水処理施設を対象とした浄水施設電力エネルギー原単位算出式として式(2-6)を得た。

$$EW = QW^{0.904} \times (10 x_1 + 190 x_2 + 200 x_3 + 100 x_4 + 140) \quad (2-6)$$

ここに、 QW : 処理水量、 x_1 : 紫外線処理の有無、 x_2 : MF 膜処理の有無、 x_3 : 急速砂ろ過処理の有無、 x_4 : 塩素処理の有無、定数項: 固定消費電力による項を示す。 $QW^{0.904}$ はスケールメリットを表す。

また、年間処理水量 365,000 m³ 以上 (1,000 m³/day 以上) の下水処理施設を対象とした下水処理施設電力エネルギー原単位算出式として式(2-7)を得た。

$$EW = QW^{257} \times (27 x_1 + 42 x_2 + 39 x_3 + 36 x_4 + 30 x_5 + 24 x_6) \quad (2-7)$$

ここに、 QW : 処理水量、 x_1 : 標準活性汚泥法の有無、 x_2 : A2O(嫌気無酸素好気法)の有無、 x_3 : 循環式消化脱窒法の有無、 x_4 : ステップ流入式多段硝化脱窒法の有無、 x_5 : AO(嫌気好気活性汚泥法)の有無、 x_6 : オキシデーションディッチ法の有無を示す。 QW^{257} はスケールメリットを表す。

土壌浸透処理の電力エネルギー消費量の算出には、下水処理施設から溜養点までの水輸送および揚水点から浄水処理施設までの水輸送は自然流下によるものとし、その際に電力エネルギーは消費しないものとした。すなわち、SAT の電力エネルギー消費量は、揚水点での揚水ポンプに必要なエネルギーのみとした。

(4)実装シナリオ構築と評価(京都大学 土壌浸透処理グループ)

①研究のねらい

本研究が提案する下水処理-SAT-浄水処理による間接的飲用再利用システムを実装した時の SAT 後の水質挙動を予測するとともに、実装シナリオ別の電力エネルギー消費量、CO₂ 排出量についての評価を行うことを目的とした。

②研究実施方法

京都市桂川流域(琵琶湖・淀川水系小流域)、および淀川下流域を検討対象とした。対象 2 流域のうち桂川流域を図 2-2 に示す。鳥羽水環境保全センターの A2O 処理水の一部 2000 m³/day を涵養水とすることを想定し、浄水処理施設は当該地域に既存の施設が存在しないため日処理水量 2000 m³/day の小規模浄水処理施設を想定した。涵養点と揚水点間の距離は 50 m とした。

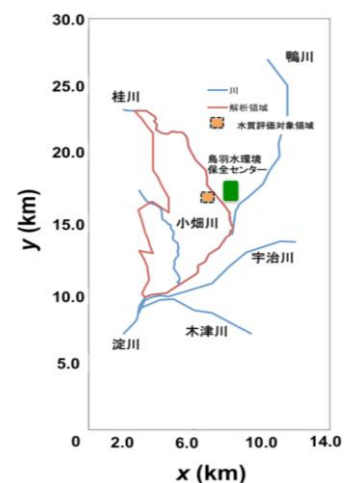


図 2-2 検討対象流域

③研究成果

図 2-3 に回収率の分布を示す。この場合、回収率は 57.9%、滞留時間は 9.6 日と推定された。図 2-4 に DOC の分布を示す。DOC の低減は、涵養点周辺で起きていることがわかる。図 2-5 は土壌浸透処理水に含まれる THMsFP の濃度変動の推定結果である。このように処理水質の変動を表現することによって、SAT の水質安全度に関する信頼性を評価できる。

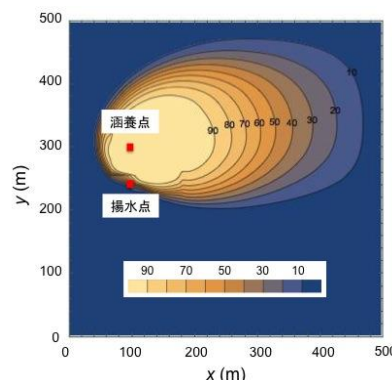


図 2-3 回収率の分布

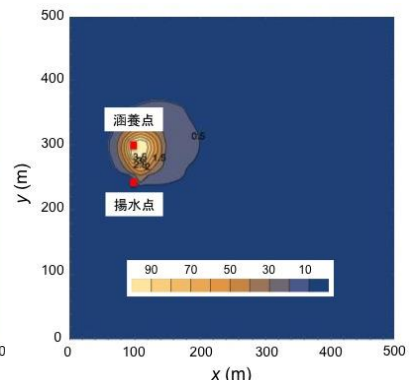


図 2-4 DOC の分布

表 2-3、図 2-6 にシナリオ別電力エネルギー消費量の計算結果を示した。SAT のために新たな電力が必要ではあるが、例えばシナリオ 4(浄水処理:UV+Cl₂)では、全体の消費量を約 30%低減できている。また、下水処理プロセスの処理レベルを落とすことによる効果は浄水処理プロセスで簡易処理を導入する効果に比べて小さいこともわかる。なお、下水処理と土壌浸透処理との間に超高度処理(MF+RO+AOP)を行うシナリオ 16 と比較すると、シナリオ 4 では 56.9%低減可能であることがわかる。

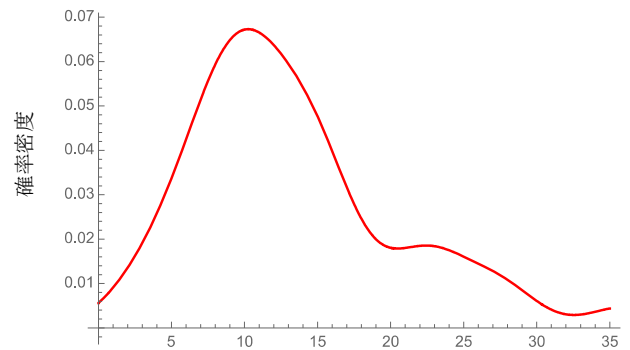


図 2-5 土壌浸透処理水 THMsFP の確率分布

表 2-3 下水処理-SAT-浄水処理におけるシナリオ							
シナリオ No.	下水処理	SAT	浄水処理	シナリオ No.	下水処理	SAT	浄水処理
0	A2O	なし	RSF ^{a)} +Cl ₂	9	AO	あり	UV+ Cl ₂
1	A2O	あり	無処理	10	AO	あり	MF+ Cl ₂
2	A2O	あり	UV	11	AS ^{c)}	あり	無処理
3	A2O	あり	Cl ₂	12	AS	あり	UV
4	A2O	あり	UV+ Cl ₂	13	AS	あり	Cl ₂
5	A2O	あり	MF+ Cl ₂	14	AS	あり	UV+ Cl ₂
6	AO ^{b)}	あり	無処理	15	AS	あり	MF+ Cl ₂
7	AO	あり	UV	16	A2O+MF+RO+AOP	あり	RSF+Cl ₂
8	AO	あり	Cl ₂				

a) 急速砂ろ過, b) 嫌気好気法, c) 標準活性汚泥法

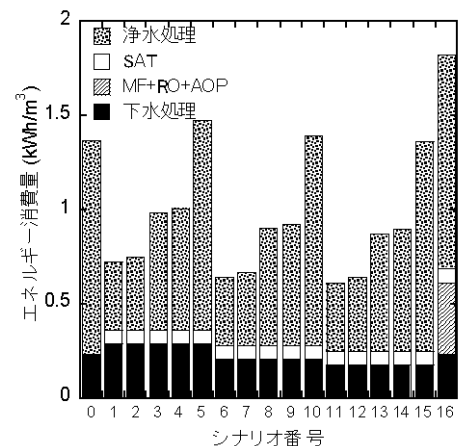


図 2-6 シナリオ別電力エネルギー消費量評価

続いて、設定したシナリオ(表 2-4)に対して単位処理水量あたりの CO₂ 排出量を算定した。なお、SAT 後の浄水処理としては、ウイルス感染リスクの制御(1.(4)を参照)を考慮し、紫外線と塩素消毒を組み合わせた処理方式とした。結果を図 2-7 に示す。水再生処理として SAT のみを導入し、浄水処理を簡便化することによる CO₂ 排出量削減効果(シナリオ 1、2)は、削減率 38.9%であった。つまり、浄水処理として紫外線及び塩素消毒によって飲料水としての安全性を確保可能であれば、環境負荷を大幅に削減可能であることを意味する。一方下水処理レベルを下げることによる CO₂ 排出量の削減効果(シナリオ 2、3、4、5)は、A2O 法からの処理方式変更に伴う削減率(8.4-12.7%)が大きく、AO 法、AS 法、OD 法間では削減率の差は小さかった。最終的にはこれらの情報に加えて、水質リスクや費用等の評価を含めつつ再利用システムにおける下水処理方式を選定することになる。

最後に処理水量を 2,000 m³/日と想定し、シナリオ変更に伴う年間 CO₂ 排出量削減分を水の輸送距離に換算した。一例としては、シナリオ 1 をシナリオ 2 へ変更しことにより可能となる水の輸送距離は直線距離で 105 km であった。つまり、本研究が提案した SAT

表 2-4 CO₂ 排出量算出の際に設定したシナリオ

シナリオNo.	下水処理	水再生処理	浄水処理
0	A2O	-	RSF+Cl ₂
1	A2O	MF+RO+AOP+SAT	RSF+Cl ₂
2	A2O	SAT	UV+Cl ₂
3	AO	SAT	UV+Cl ₂
4	AS	SAT	UV+Cl ₂
5	OD ^{a)}	SAT	UV+Cl ₂

a)オキシデーションディッチ法

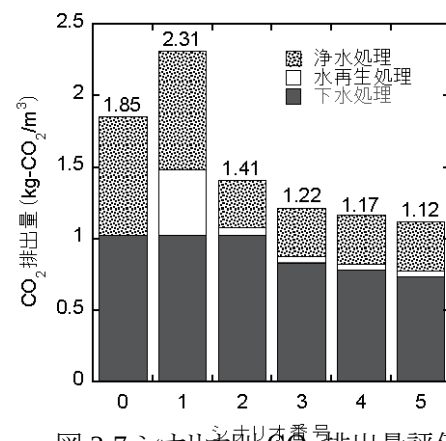


図 2-7 シナリオ別 CO₂ 排出量評価

を含む下水処理水の間接的飲用再利用システムが有利となる範囲(下水処理施設の位置、SATの涵養点・揚水点の位置、浄水処理施設の位置)を示すことができた。

(5)技術的成立要件の整理(京都大学 土壌浸透処理グループ)

①研究のねらい

本研究が提案する下水処理-SAT-浄水処理による間接的飲用再利用システムを導入する場合に必要な事項を整理する。

②研究実施方法

必要と考えられる以下の3項目について各々整理する。

i) 水需給実態とニーズの把握

ii) 下水処理水の水質把握(有害化学物質および病原微生物)

iii) 地下水水質と流動特性把握

③研究成果

i) については、流域における自然環境の状況(降水状況、淡水資源の利用可能状況)と人間活動の実態により、その要求度が異なる。サウジアラビア、アフリカ大陸北部、中央アジア、ロッキー山脈地域、オーストラリア・ニューサウスウェールズでは物理的渇水があり、インド北部やネパール、アフリカ大陸中央部、ニカラガなどの中央アメリカは経済的渇水地域であるとされる⁹⁾。また2025年にはオーストラリア、中国、中東、アフリカが将来の水不足地域になると予測され、世界人口の30億人と52の国が干ばつになるとされている¹⁰⁾。カリフォルニア州などでは、水再生利用を行っていることから水不足が緩和されており、世界的には、下水の飲用再利用が求められる地域は広く存在する。導入を検討する地域において、NecessityとOpportunityの条件が備わったときに導入する価値がある。

ii) については、地域における人のライフスタイルや産業構造によって流入下水の水質が異なり、また下水処理方式によって処理水水質は異なる。特殊な排出源を有しない下水集水区域においては、化学物質に関しては、本研究で取り上げた化学物質を軸とすることが重要と考えられる。このうち、ハロゲン化消毒副生成物やNDMA生成能などはSATで低減可能であることから、下水処理水中濃度がそれほど高くなければSATで低減でき、安全な再生水が得られると考えてよい。一方、EDTAやPFCsなどはSATにおいて生物分解が期待できないことから、これらの物質が下水処理水に高濃度で存在する場合には、その対処方法を検討するなど注意が必要となる。また、今回A2O処理水を対象として実験を行ったため、窒素分(酸化態窒素)については十分除去され、水道水質基準を超えるリスクは低いと考えられるため、地下水の硝酸汚染の程度が高くない場合には導入が可能と考えられる。一方、微生物リスクについては、ウイルスに対する安全度を十分に確保する必要があり、まず下水処理水中のアデノウイルスを中心とする病原ウイルス濃度を測定する必要がある。SATでの除去・不活化は限定的であることから、SAT後にUVと塩素による消毒を実施することが重要となる。これによってSAT処理水中に土壌細菌や原虫が含まれている場合でも安全な水道水を得ることができる。

iii) については、SATによる処理水と地下水の混合水が浄水用の水源として用いられることになる。まずSAT導入地域での地質、地下水水質(ヒ素、マンガンなどの重金属汚染状況等)の情報を収集し、それらの影響を把握する必要がある。次に揚水地点において、既存の地下水とSATによる処理水の混合の結果、浄水処理で対応可能な水質になるかどうかを把握する必要がある。このためには、下水処理水の涵養点と揚水点の位置関係において、下水処理水が揚水されるまで滞留時間、および回収率を把握する必要がある。本研究で提示したとおり、土壌浸透層内の物質の移流分散と減衰(分解)特性が把握できれば、数値解析による予測が可能となる。ただし、その精度は利用可能なデータと新たな調査によって得られるデータの量と質に依存する。対象物質をSATにより長期にわたって除去するためには、SATが有する分解除去能(生物分解能等)が重要となるが、一時的な負荷・濃度変動に対しては、物質吸着能も揚水水質を安定させる働きがある。したがって、SATの信頼性を評価する上では、想定する土壌浸透層における物質の移流分散と減衰(分解)特性に加え、吸着特性の適切な把握も重要である。最終的に、想定したシステムが、水輸送を含めて、電力エネルギー消費面等で受け入れ可能範囲であるならば、本技術を導入することがで

きる。

〈参考文献〉

- 1) 日高平 (2002) 京都大学大学院工学研究科博士学位論文.
- 2) 津野洋ら (1994) 環境工学研究論文集, 31, 189-197.
- 3) 鯉渕幸生ら (2000) 海岸工学論文集, 47, 1066-1070.
- 4) 日本地下水学会 (2010) 地下水シミュレーション, 技法堂出版, p.66.
- 5) 農林水産省 (2011) 諫早湾干拓事業の潮受堤防の排水門の開門調査に係る環境影響評価準備書.
- 6) 米田稔 (1995) 京都大学大学院工学研究科博士論文.
- 7) 社団法人日本水道協会 (2011) 水道統計施設・業務編, 平成 23 年度.
- 8) 公益社団法人日本下水道協会 (2011) 下水道統計, 平成 23 年度.
- 9) IMWI report(2006): Insights from the Comprehensive assessment of water management in agriculture, p.8.
- 10) IWMI(2000) (<http://www.waternunc.com/gb/map2025.htm>)

3. 文献調査・既往の知見の整理 (全体) 【研究項目 3】

(1)研究のねらい

SAT を組み込んだ水再利用システムに関する現状・課題の整理を行うことを目的とした。

(2)研究実施方法

世界の各地域で実施されている SAT の現状に関する知見、また、SAT による化学物質、病原微生物の除去能に関して報告した論文、書籍等をレビューし知見の整理を行った。一方、SAT を組み込んだ水再利用システムの高度リスク管理へ向けて、リスクの定義、化学物質、病原微生物に関するリスクの取り扱い方法についてまとめ、本研究における考え方を明らかにした。

(3)研究成果

現状の SAT を組み込んだ水再利用システムについて、①下水処理で必要以上の処理が施されている可能性、②SAT における 6 カ月といった長期の HRT の必要性への疑問、といった課題を抽出し、本研究のアプローチ「地下での浄化作用を十分に活用することを想定し、その上で、最もその効果を発揮させる比較的簡易な前処理手法の開発を試み、適切な管理手法を併用することでエネルギー削減をも試みる」の新規性・独創性を再定義することができた。また、化学物質では、窒素系消毒副生成物やオゾン処理による NDMA 前駆物質の SAT での除去性、病原微生物では、ロタウイルス、腸管系アデノウイルスといったヒト感染性のウイルスの挙動に関するデータ集積の重要性を明らかにした。さらに、確率論的手法による水循環システムの数値モデルの構築の意義を示した。成果品として、7 章で構成される文献レビュー報告書を作成し、JST に提出した。

またリスクに関する整理では、飲用水を介した化学物質と微生物の摂取によるヒトの健康リスクの定義を示すとともに、両者の取り扱い方ならびにその質的な差も示した。その上で、本研究における考え方を提示した。最後に化学物質リスクと微生物リスクの比較、それらの許容レベルに関する検討を実施する場合に重要な検討項目として、人々のリスク認知上の特性も考慮する必要性を示した。成果品として、3 章で構成される文献レビュー報告書を作成し、JST に提出した。

4. 社会実装化(膜ろ過による浄水処理技術の革新[生物高速ろ過+凝集+MF 膜ろ過(セラミック膜及び PTFE 膜)]) (大阪市水道局 阪神水道企業団)【研究項目 4】

(1)研究のねらい

本研究開発は、琵琶湖と大都市京都の下流に位置し、繰り返し利水され富栄養化と生活排水の影響を受けた典型的な都市河川である淀川表流水を原水とし、高度浄水処理に代わる次世代型浄水システムであるハイブリッド膜ろ過システムの実用化を目指すものである。

(2)研究実施方法

淀川表流水を原水とし、大阪市水道局柴島浄水場の最適先端処理技術実験施設に設置した浸漬型 PTFE 膜及びケーシング型セラミック膜を用いた 2 系列のハイブリッド膜ろ過システム実験装

置にて、安全運転条件、水処理性について調査を行った。そして、得られたデータより本システムの実用可能性について検証した。実験装置の概要を以下に示す。

①浸漬型ハイブリッド膜ろ過システム

実験フローを図 4-1、設備仕様を表 4-1 に示す。この実験フローは、原水に、pH 調整剤(硫酸)、粉末活性炭、凝集剤(硫酸アルミニウム)を添加した後、原水を生物処理・粉末活性炭吸着槽(以下、生物処理槽)に流入させ、生物処理槽に浸漬した PTFE 膜でろ過するものである。膜物理洗浄は、膜ろ過水による膜 2 次側からの洗浄(洗浄排水はそのまま生物処理槽内に保持)とエアスクラビングを併用しており、ろ過時においても一定の間隔でエアスクラビングを実施している。なお、排泥は、生物処理槽下部より、設定回収率に応じて一定の間隔で行う。

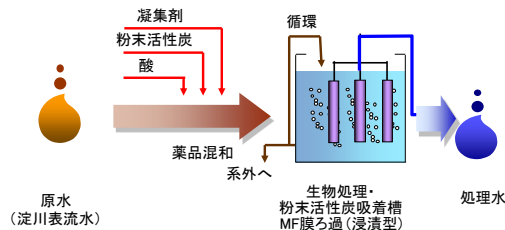


表 4-1: 浸漬型膜ろ過システム 設備仕様

膜	形状・膜種・材質	中空糸型・MF 膜・PTFE 製
	公称孔径	0.1 μ m
	膜面積	14m ² /モジュール
生物処理・粉末活性炭吸着槽		1.1m(W)×1.2m(L)×2.5m(H)

図 4-1 浸漬型膜ろ過システム
実験フロー図

②ケーシング型ハイブリッド膜ろ過システム

実験フローを図 4-2、設備仕様を表 4-2 に示す。この実験フローは、淀川表流水を原水とし、原水に粉末活性炭を添加したのち、原水を生物処理槽に流入・曝気後、上向流傾斜板を通過した水に、酸剤(硫酸)、凝集剤(硫酸アルミニウム)を添加し、生物処理槽外に設置したケーシング型セラミック膜でろ過するものである。ろ過方式については、クロスフロー方式を採用しており、濃縮水は生物処理槽に返送している。膜物理洗浄は、一定の間隔でろ過を停止して膜 2 次側より空気圧で実施し、発生する洗浄排水は生物処理槽へ返送している。なお、排泥は、生物処理槽下部より設定回収率に応じて一定の間隔で行う。

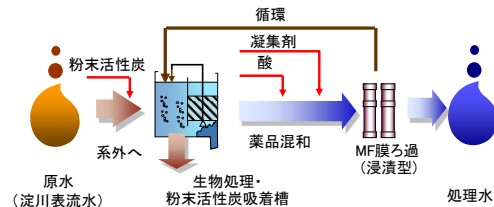


表 4-2 ケーシング型膜ろ過システム 設備仕様

膜	形状・膜種・材質	モノリス型・MF 膜・セラミック製
	公称孔径	0.1 μ m
	膜面積	15m ² /モジュール
生物処理・粉末活性炭吸着槽		1.1m(W)×3.0m(L)×1.1m(H)

図 4-2 ケーシング型膜ろ過システム
実験フロー

(3)研究成果

表 4-3 及び表 4-4 に示す安定運転条件において、浸漬型、ケーシング型単体の水処理性をオゾン・活性炭処理を用いた高度浄水処理システムの水処理性と比較した結果を表 4-5 に示す。

浸漬型、ケーシング型ともに、多くの項目において、オゾン・粒状活性炭からなる高度浄水処理システムと同等の水処理性が確認された。また、浸漬型とケーシング型について、薬品注入条件が同一であれば両システムはほぼ同じ処理性を示すことが確認された。

しかしながら、水温 10℃未満における溶解性マンガンのについては、低い処理性となったが、生物高速ろ過・オゾン処理・塩素処理・マンガ砂といった追加処理により処理性が向上することを確認している。

表 4-3 浸漬型ハイブリッド膜ろ過システムにおける安定運転条件

流束(m/d)	凝集剤注入率 (mg/L)	粉炭注入率 (mg/L)	回収率(%)※ 1	処理槽滞留時間 (h)
0.6	25	3.0	99.9	3.0

※ 1 流入水量に対するろ過水量の割合

表 4-4 ケーシング型ハイブリッド膜ろ過システムにおける安定運転条件

流束(m/d)	循環水比 ※1	凝集剤注入率 (mg/L)	粉炭注入率 (mg/L)	回収率(%)※ 2	処理槽滞留時間 (h)
1.7	1:0.3	25※3	3.0	99.9	3.0

※1 ろ過水量と循環水量の比

※2 流入水量に対するろ過水量の割合

※3 生物処理槽の後段で凝集剤を注入(上向流式傾斜板を通過後、膜ろ過直前で注入)

表 4-5 ハイブリッド膜ろ過システム単体の水処理性比較

項目	単位	原水	ハイブリッド膜ろ過システム(塩素無添加)		高度浄水処理システム (塩素無添加)
			浸漬型	ケーシング型	
濁度	度	10.2 (N=42)	<0.1 (N=42)	<0.1 (N=42)	<0.1 (N=42)
溶解性 Mn(≥10℃)	mg/L	0.018 (N=37)	0.004 (N=20)	0.005 (N=37)	<0.001 (N=41)
溶解性 Mn(<10℃)	mg/L	0.020 (N=5)	0.021 (N=5)	0.014 (N=5)	<0.001 (N=9)
NH4-N(≥10℃)	mg/L	0.07 (N=36)	<0.02 (N=20)	<0.02 (N=37)	<0.02 (N=63)
NH4-N(<10℃)	mg/L	0.05 (N=5)	0.04 (N=5)	<0.02 (N=5)	<0.02 (N=9)
DOC	mg/L	1.8 (N=39)	1.0 (N=25)	0.8 (N=37)	0.8 (N=14)
THM-FP	mg/L	0.030 (N=3)	0.012 (N=2)	0.010 (N=3)	0.008 (N=3)
蛍光強度 (Em430nm、Ex330nm)	abs	424 (N=6)	143 (N=3)	165 (N=6)	40 (N=6)
紫外線吸光度 (260nm)	abs	0.042 (N=16)	0.013 (N=11)	0.011 (N=16)	0.007 (N=14)

本システムは、活性炭吸着と生物処理に厳密な固液分離が可能な膜ろ過を組み合わせた浄水処理であり、表 4-6 に示すように、様々な処理対象物質への対応が可能な浄水処理システムであることを確認した。

加えて、本システムは浸漬型に関しては単一(追加処理を追加した場合においても二槽)、ケーシング型に関しても二槽での処理となり、運転制御及び維持管理の技術水準によらず採用可能な汎用性の高いシステムであると考ええる。

表 4-6 ハイブリッド膜ろ過システムの処理対象物質

処理対象項目	処理対象物質	処理方法									
		ハイブリッド膜ろ過システム		追加処理				その他			
不溶解性	濁度	膜ろ過						急速ろ過方式	緩速ろ過方式		
	藻類	膜ろ過						マイクロストレーナ	浮上分離		
	微生物	膜ろ過						急速ろ過方式	緩速ろ過方式		紫外線処理
	一般細菌、大腸菌	膜ろ過									
溶解性	臭気	かび臭	活性炭	生物処理				オゾン			
		その他の臭気	活性炭					オゾン			
	消毒副生成物	トリハロメタン・前駆物質	膜ろ過					オゾン	エアレーション		
		トリハロメタン	活性炭	生物処理							
	陰イオン界面活性剤		活性炭	生物処理				オゾン			
	トリクロロエチレン他		活性炭						エアレーション		
	農薬、その他		活性炭								
	鉄		生物処理					マンガン砂	エアレーション	鉄細菌利用法	
	マンガン(高・平水濃)		生物処理					マンガン砂			
	マンガン(低水濃)							マンガン砂			
	アンモニア態窒素		生物処理								
	硝酸態窒素										
	フッ素										
	硬度										
	浸食性遊離炭酸										
	色度										
	腐食質		活性炭	凝集沈澱				オゾン			
	ランゲリア指数										
								アルカリ処理	炭酸ガス・消石灰併用法		

※ 黄色の網掛け部がシステム単体での処理対象物質、青の網掛け部は追加処理で補足される処理対象物質

§ 4. 成果発表等

1. 原著論文発表 (国内(和文)誌 9 件、国際(欧文)誌 16 件)

1. 小坂浩司, 廣瀬一人, 浅見真理, 秋葉道宏:水道における *N*-ニトロソアミン類とその前駆物質の実態調査, 土木学会論文集 G(環境), 67 巻, 7 号, pp.III_13-III_21, 2011.
2. 森田悠斗, 越後信哉, 伊藤禎彦:ヨード造影剤の琵琶湖・淀川水系及び塩素処理過程における挙動, 土木学会論文集 G(環境), 67 巻, 7 号, pp.III_1-III_11, 2011.
3. 久本祐資, 中村玲奈, 小坂浩司, 越後信哉, 大河内由美子, 浅見真理, 伊藤禎彦:水道原水中のアミノ酸の存在実態, 土木学会論文集 G(環境), Vol. 67, No.7, pp.III_23-III_30, 2011.
4. Ohkouchi, Y., Ly, B. T., Ishikawa, S., Aoki, Y., Echigo, S., Itoh, S.:A survey on levels and seasonal changes of assimilable organic carbon (AOC) and its precursors in drinking water, *Environ. Technol.*, Vol. 32, No.14, pp.1605-1613, 2011.
5. 米谷貴志, Phattarapattamawong, S., 越後信哉, 森田悠斗, 大河内由美子, 伊藤禎彦:地下浸透処理における下水処理水中残留医薬品類の消長に関する基礎的検討, 土木学会論文集 G(環境), Vol.68, No.7, III_419-III_428, 2012.
6. 小坂浩司, 黒田啓介, 村上道夫, 吉田伸江, 浅見真理, 小熊久美子, 滝沢智, 秋葉道宏:東京の地下水中の塩素酸イオンおよび過塩素酸イオンの実態調査, 木学会論文集 G(環境), 69, 10-18, 2013.
7. Takabe, Y., Suzuki, R., Nishimura, F., Kameda, I., Kurita, N., Mizuno, T., Itoh, S.: Water quality change of sewage effluent treated by A2O/O3 process in soil aquifer treatment 9th IWA International Conference and Exhibition on WaterReuse, Proceedings & Abstracts, 74, 2013.
8. Zhou, L., Echigo, S., Ohkouchi, Y., Itoh, S.: Quantitative Microbial Risk Assessment of Drinking Water Treated with Advanced Water Treatment Process, *J. Water Supply Res. Technol.-Aqua*, Vol.63, No.2, pp.114-123, 2014.
9. 安川太希, 浅田 安廣, 國本啓太, 大河内由美子, 伊藤 禎彦: *Campylobacter jejuni* 存在実態を踏まえた再生水飲用による障害調整生存年数の定量化, 土木学会論文集 G(環境), Vol.70, No.7, III_285-III_294, 2014.
10. Rahmawati, S., Wang, X., Phattarapattamawong, S., Suzuki, R., Echigo, S., Takabe, Y., Itoh, S.: Reduction of the Formation Potentials of Trihalomethanes (THMs) and Haloacetic acids (HAAs) in Reclaimed Water by Soil Aquifer Treatment, The 5th International Slow Sand and Alternative Biological Filtration Conference, Proceedings, Chapter 69, pp. 535-542, 2014.
11. He, K., Yonetani, T., Takabe, Y., Rahmawati, S., Echigo, S., Itoh, S.: Comparative Study on Removals of Pharmaceuticals and Personal Care Products in Reclaimed Water during Soil Aquifer Treatment with Different Soil Types, Hydraulic Retention, and Saturated Condition, The 5th International Slow Sand and Alternative Biological Filtration Conference, Proceedings, Chapter 70, pp. 543-551. 2014.
12. Nishimura, F., Kurita, N., Takabe, Y., Mizuno, T., Hidaka, T., Itoh, S.: Behavior of trace organic contaminants in soil aquifer treatment (SAT) process for reuse of secondary sewage effluent, The 5th International Slow Sand and Alternative Biological Filtration Conference, Proceedings, Chapter 71, pp. 553-562, 2014.
13. Kosaka, K., Asami, M., Ohkubo, K., Iwamoto, T., Tanaka, Y., Koshino, H., Echigo, S. and Akiba, M.: Identification of a new *N*-nitrosodimethylamine precursor in sewage containing industrial effluents, *Environ. Sci. Technol.*, Vol.48, pp.11243-11250. (DOI: 10.1021/es502284t), 2014.
14. Takabe, Y., Kameda, I. Suzuki, R., Nishimura, F., Itoh, S.: Changes of microbial substrate metabolic patterns through a wastewater reuse process, including WWTP and SAT concerning depth, *Water Res.*, Vol.60, pp.105-117. (DOI:

- 10.1016/j.watres.2014.04.036), 2014.
15. 鈴木亮介, 高部祐剛, 亀田一平, 栗田憲寿, 西村文武, 水野忠雄, 伊藤禎彦: A2O-O₃ 処理水の土壌浸透処理過程における水質変換特性に関する研究 土木学会論文集 G(環境), Vol.71, No.1, pp.14-25, 2015.
 16. Echigo, S., Nakatsuji, M., Takabe, Y., Itoh, S.: Effect of preozonation on wastewater reclamation by the combination of ozonation and soil aquifer treatment, *Water Sci Technol.: Water Supply*, Vol.15, No.1, pp.101-106. (DOI: 10.2166/ws.2014.089), 2015.
 17. Suzuki, R., Kameda, I., Takabe, Y., Nishimura, F. and Itoh, S. : Removal of Dissolved Organic Matter and Disinfection By-products Formation Potential in the Upper Layer during Soil Aquifer Treatment, *J. Water Environ. Technol.*, Vol. 13, No. 2, pp. 107-118, 2015.
 18. Denpetkul, T., Asada, Y., Itoh, S.: Evaluation of the human enteric viruses removal and inactivation in the presence of soils by the static batch experiment, 10th IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse, Proceedings, pp.63-65, 2015.
 19. Rahmawati, S., Tanoue, Y., Wang X., Echigo, S., Itoh, S.: Reduction Level Of N-nitrosodimethylamine Concentration And Its Formation Potential By SAT, 10th IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse, Proceedings, pp.142-143, 2015.
 20. Kosaka, K., Asami, M., Ohkubo, K. and Akiba, M.: Determination of a N-nitrosodimethylamine precursor in water using ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, *Anal. Sci.*, Vol.31, pp.769-772, 2015.
 21. 中西智宏, 浅田安廣, 越後信哉, 伊藤禎彦: 土壌浸透処理におけるウイルス吸着に及ぼす下水処理水中の溶存有機物の影響, 土木学会論文集 G(環境), Vol.71, No.7, III_351-III_359, 2015.
 22. 亀田一平, 高部祐剛, 西村文武, 鈴木亮介, Suphia Rahmawati, 伊藤禎彦: 再生水飲用を目的とした短い HRT での 土壌浸透処理における下水処理中有機物生分解特性に関する研究, 土木学会論文集 G(環境), Vol.71, No.7, III_79-III_89, 2015.
 23. Yonetani, T., Echigo, S., Itoh, S.: Fate of Selected Pharmaceuticals and Their Metabolites in Soil Aquifer Treatment, *Journal of Water Reuse and Desalination*, 2016. (*in press*)
 24. He, K., Echigo, S. and Itoh, S.: Effect of operating conditions in soil aquifer treatment (SAT) on the removals characteristics of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs), *Sci. Total Environ.*, 2016. (*in press*)
 25. Phattarapattamawong, S., Takabe, Y., Echigo, S. and Itoh, S.: Control of Disinfection Byproduct (DBP) Precursors by Soil Aquifer Treatment (SAT): How long hydraulic retention time (HRT) is necessary?, *Water Sci Technol.: Water Supply*, 2016. (*in press*)
2. その他の著作物(総説, 書籍など)
1. Itoh, S., Gordon, B. A., Callan, P. Bartram, J.: Regulations and perspectives on disinfection by-products: importance of estimating overall toxicity, *J. Water Supply Res. Technol.-Aqua*, Vol.60, No.5, pp.261-274, 2011.
 2. 伊藤禎彦 : 消毒副生成物とリスク問題の現在, 第20回水道技術セミナーテキスト テーマ「安全でおいしい水を目指して」, pp.127-157, 2011.
 3. 伊藤禎彦 : 寄稿 受容リスクと必要な水処理レベル, 流域圏総合環境質研究センター研究活動報告 (RCEQM Report), No.2, pp.7-8, 2011.
 4. 伊藤禎彦: オランダの水道事情, 空気調和・衛生工学, Vol.85, No.9, pp.9-16, 2011.9.
 5. 浅見真理 : 地下水汚染物質の現状と課題ーこれまでと何が違うのかー, 用水と廃水, pp.40-44, 53巻, 7号, 2011.

6. 浅見真理：水道水質基準，水環境設備ハンドブック，オーム社，pp.162-167，2012.
7. 浅見真理：有害物質指標，水環境設備ハンドブック，オーム社，pp.176-177，2012.
8. 伊藤禎彦(分担)：水道施設設計指針 2012，水道施設設計指針改訂特別調査委員会(社) 日本水道協会，p.808，2012.
9. 伊藤禎彦(分担)：WHO飲料水水質ガイドライン Guidelines for drinking-water quality 第4版(日本語版)，国立保健医療科学院，第7章7.2，pp.128-143，2012.
10. 越後信哉(分担)：WHO飲料水水質ガイドライン Guidelines for drinking-water quality 第4版(日本語版)，国立保健医療科学院，第12章12.1A～B，pp.321-336，2012.
11. 浅見真理(分担)：WHO飲料水水質ガイドライン Guidelines for drinking-water quality 第4版(日本語版)，国立保健医療科学院，はじめに，第1章1.1～1.3，xxv-xxxiv，pp. 1-181，2012.
12. 小坂浩司(分担)：WHO飲料水水質ガイドライン Guidelines for drinking-water quality 第4版(日本語版)，国立保健医療科学院，第8章8.4～8.7，第12章12.2，pp.177-206，pp.442-450，2012.
13. 伊藤禎彦：巻頭言 第1研究委員会「水道施設における診断評価・整備手法等に関する研究」成果集，持続可能な水道サービスのための浄水技術に関する研究(Aqua10 共同研究)(Research on Water Purification Technology for Sustainable Drinking Water Services)成果報告書(2/4)，II-1～I-2，2012.
14. 伊藤禎彦：2.2 研究開発に求められる展開「高度処理に安住せず」，産官学による浄水技術研究開発プロジェクト20年を振り返る！！～水道界にもたらした効果，さらなる発展に向けて何を求めるか～，公益財団法人 水道技術研究センター発行，(株)日本水道新聞社編集，p.15，2012.
15. 伊藤禎彦：寄稿 水道事業における技術ニーズー施設更新需要と再構築・高機能化の視点からー，ベース設計資料，No.154 土木編 2012年後期版，pp.50-54，2012.
16. Tanaka, H., Itoh, S.: Outlook. Japan Recovering from disaster: The restoration of water and wastewater services after the Tohoku-Pacific Earthquake, IWA (International Water Association) Yearbook 2012, pp.6-7, 2012.
17. 小坂浩司(分担)：第1編水環境を驚かす新たな汚染物質の実態，第2章過塩素酸・NDMA，排水・汚水処理技術集成vol. 2，エヌ・ディー・エス，pp.29-38，2013.
18. 伊藤禎彦：「都市地下帯水層を利用した高度リスク管理型水再生利用システムの構築」プロジェクトの概要とねらい，環境衛生工学研究 Vol.27, No.3，pp.16-19，2013.7.
19. 伊藤禎彦：特集記事・研究動向紹介 消毒副生成物の飲用寄与率と水道水質基準，環境衛生工学研究 Vol.27, No.4，pp.3-22，2013.11.
20. 伊藤禎彦：企画セッション「水循環基本法とわが国環境問題のゆくえ」開催趣旨，環境衛生工学研究，Vol.28, No.3，pp.6-7，2014.7.
21. 伊藤禎彦：再生水の直接飲用再利用のゆくえ，京都大学大学院工学研究科流域圏総合環境質研究センター研究活動報告，第4号，2014.3.
22. 伊藤禎彦：巻頭言 人口減少社会へむけた上水道システムの持続的再構築のための技術ニーズ，「水道」5月号，p.3，2015.
23. 伊藤禎彦：人口減少社会へ向けた上水道システムの再構築と浄水処理の高機能化，水団連 夏季号，No.124，p.12，2015.
24. 伊藤禎彦：「都市地下帯水層を利用した高度リスク管理型水再利用システムの構築」における「リスク」について，科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業(CREST)，16p.，2015.1.
25. 越後信哉：浄水処理過程における人為由来化合物からの消毒副生成物の生成機構，水環境学会誌，Vol.38, No. 3，pp.89-94，2015.3.
26. 島崎 大，伊藤禎彦，大滝雅寛，春日郁朗：微生物リスク評価を用いた水質管理手法について，厚生労働省 平成26年度第1回水道における微生物問題検討会，pp.1-32，2015.3.24.
27. 伊藤禎彦，上月康則，山崎慎一，藤原拓，西村文武，山本裕史，橋本温，樋口隆哉，山中亮一，大谷壮介 共著：よくわかる環境工学，236p.，理工図書，2015（コード：

ISBN978-4-8446-0831-8).

28. 伊藤禎彦: 水道におけるリスク評価手法とその適用, 水環境学会誌、Vol.39, No.2, pp.67-71, 2016.2.

3. 国際学会発表及び主要な国内学会発表

(1) 招待講演 (国内会議 43 件、国際会議 13 件)

1. 伊藤禎彦: Water Reuse System with Advanced Health Risk Management, GCOE Symposium on Sustainability in Environmental Engineering, 京都大学 GCOE「アジア・メガシティの人間安全保障工学拠点」主催, 京都大学桂キャンパス・C クラスタ・人融, 2011.7.21.
2. 伊藤禎彦: Risk Assessment and Management of Water Quality, 日中環境技術共同研究・教育センター・GCOE/EML 深セン拠点研修シンポジウム, 京都大学桂キャンパス・C クラスタ・人融, 2011.8.11.
3. Itoh, S.: Water Reuse System with Advanced Health Risk Management, The 4th China-Japan Science Forum “Low Carbon City”, Haikou, 21-22 November 2011.
4. Itoh, S.: Water Reuse System with Advanced Health Risk Management, Promoting Collaborative Research & Education on Environmental Engineering between China and Japan - The Third GCOE Shenzhen Symposium, Graduate school at Shenzhen, Tsinghua University, 2011.12.10.
5. Itoh, S.: Regulations and Perspectives on Disinfection By-products - Importance of Estimating Overall Toxicity, The Hong Kong University of Science and Technology, 2011.12.13.
6. 伊藤禎彦: 消毒副生成物とリスク問題の現在, 第 20 回水道技術セミナー テーマ「安全でおいしい水を目指して」, (財)水道技術研究センター主催, 尼崎ホテルニューアルカイク, 2011.1.28.
7. 越後信哉: 水質管理に関する昨今の研究成果, 阪神水道品質保証プログラム会議, 阪神水道企業団主催, 阪神水道企業団本庁舎, 2011.3.15.
8. 伊藤禎彦: 塩素を使用しないオランダ水道の現状とリスク管理, 大阪水道顧問技師会 講演会, 日本水道協会主催, 日本水道協会大阪会館, 2011.3.28.
9. 伊藤禎彦: 日本の浄水処理技術の現状と課題, 日本・中国南部地方水道技術交流セミナー, 京都大学 GCOE プログラム「アジア・メガシティの人間安全保障工学」主催, 京都大学桂キャンパス・C クラスタ 172 室, 2011.11.16.
10. 越後信哉: 浄水処理技術と水循環技術～伊藤研究室研究活動紹介～, 京都大学 GCOE プログラム「アジア・メガシティの人間安全保障工学」主催, 京都大学桂キャンパス・C クラスタ 172 室, 2011.11.16.
11. 伊藤禎彦: 水利用における危機管理対策 ―水安全計画とその実践手法―, 特定非営利活動法人水環境創造機構 新年研究大会, 特定非営利活動法人水環境創造機構主催, 大阪弥生会館, 2012.2.20.
12. 伊藤禎彦: 日本水道の現状と展望, 深圳市水務(集団)有限公司(中国), 2012.3.1.
13. 伊藤禎彦: 日本水道の現状と浄水処理技術の課題, 湖南大学(中国), 2012.3.5.
14. 伊藤禎彦: QMRA による感染確率の計算手順, 水の定量的微生物リスク評価手法に関する講習会-第 1 回戦略的創造研究推進事業講習会-, 科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業, 京都大学桂キャンパス 312 室, 2012.3.21.
15. 周 靚: QMRA における感度分析と不確実性分析, 水の定量的微生物リスク評価手法に関する講習会-第 1 回戦略的創造研究推進事業講習会-, 科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業, 京都大学桂キャンパス 312 室, 2012.3.22.
16. 伊藤禎彦: QMRA における技術的諸課題と対応方法, 水の定量的微生物リスク評価手法に関する講習会-第 1 回戦略的創造研究推進事業講習会-, 科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業, 京都大学桂キャンパス 312 室, 2012.3.22.
17. 越後信哉: 飲み水の安全と安心, 第 13 回 京都大学地球環境フォーラム リスクとつきあう,

- 京都大学時計台記念館 国際交流ホールⅢ, 2012.7.14.
18. 伊藤禎彦: 震災後の飲用水の微生物的および化学的安全確保; *Microbial and Chemical Safety of Drinking Water after Earthquake Disasters*, 第 19 回京都大学国際シンポジウム 東日本大震災の健康リスクを考える; *The 19th Kyoto University International Symposium: Health Concerns in the Wake of the Tohoku Triple Disaster*, 京都大学時計台記念館大ホール, pp.38-40, 2012.7.27.
 19. 伊藤禎彦: 飲料水に求められる品質と安全性, (株)ROKI(静岡県浜松市), 2012.10.29.
 20. 伊藤禎彦: 水道施設更新需要と再構築・高機能化からみた技術ニーズ, 第 4 回水道技術・工法研究会, 水道産業新聞社主催, 日本水道協会大阪会館, 2012.11.27.
 21. 伊藤禎彦: 感染確率の計算手順～オランダ浄水プロセスを例として～, 水の定量的微生物リスク評価手法に関する講習会-第 2 回戦略的創造研究推進事業講習会-, 科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業, 京都大学桂キャンパス 152 室, 2012.12.13.
 22. 周 靚: 感度分析と不確実性分析による重要管理点と必要調査項目の提示, 水の定量的微生物リスク評価手法に関する講習会-第 2 回戦略的創造研究推進事業講習会-, 科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業, 京都大学桂キャンパス 152 室, 2012.12.13.
 23. 伊藤禎彦: *QMRA* における技術的諸課題と対応方法, 水の定量的微生物リスク評価手法に関する講習会-第 2 回戦略的創造研究推進事業講習会-, 科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業, 京都大学桂キャンパス 152 室, 2012.12.13.
 24. 浅見真理: 『“緊急”水質汚染に備えるために!! ～水道水源への汚染物質混入とその対応策～, 水道水質に係る最近の話題』, 第 11 回浄水技術研究会, 東京, 2012.9.
 25. 浅見真理: 「水道水の安全を考える」, 福岡女子大学産学官技術講演会, 福岡, 2012.11.
 26. 浅見真理: 「水道水質に係る最近の話題」, 日本水道協会関東支部事務・技術研修会, 横浜, 2013.1.
 27. 越後信哉: 「促進酸化処理とイオン交換処理の組み合わせによる水道水中のカルキ臭と消毒副生成物の制御」, 大阪市水道局フィールド提供に関する平成24年度調査研究報告会～塩素消毒により生成するカルキ臭の低減に向けた浄水処理技術の調査研究～, 大阪市水道局柴島浄水場総合管理棟 1F 大会議室, 2013.4.12.
 28. 周靚: 「カルキ臭低減型浄水処理プロセスにおける定量的微生物リスク評価」, 大阪市水道局フィールド提供に関する平成24年度調査研究報告会～塩素消毒により生成するカルキ臭の低減に向けた浄水処理技術の調査研究～, 大阪市水道局柴島浄水場総合管理棟 1F 大会議室, 2013.4.12.
 29. 伊藤禎彦: 「水道施設の再構築と高機能化における技術ニーズ」, 第 1 回大阪広域水道企業団水道問題研究会, 大阪広域水道企業団会議室, 2013.4.26.
 30. 伊藤禎彦: 「わが国水道システムの現況と技術課題」, 日本水中ロボット調査清掃協会 技術認定研修及びロボット清掃技師 (ECCR) 検定試験受検対策特別講習「上水道の基礎知識習得講座」, 西鉄イン福岡, 2013.9.26.
 31. 伊藤禎彦: 「上水道システムの更新と高機能化における技術ニーズ」, 関西水未来研究会 第 4 回研究会シンポジウム, 京大桂キャンパス C1 棟「人融」, 2013.10.11.
 32. 國本啓太: 地下浸透処理におけるカンピロバクター／アデノウイルス除去能評価と再生水の感染確率評価, 麻布大学, 2013.11.1.
 33. 伊藤禎彦: 都市地下帯水層を利用した高度リスク管理型水再利用システムの構築, 京都市上下水道局 平成 25 年度新技術説明会, 本庁別館 1 階研修室, 2014.1.28.
 34. 伊藤禎彦: *CREST* プロジェクト「都市地下水帯水層を利用した高度リスク管理型水再利用システムの構築」, 京都大学・清華大学・JST *CREST* 日中環境技術共同研究・教育の促進に関するシンポジウム, シンセン, 2013.12.
 35. Itoh, S.: Consumers' Needs for Drinking Water Quality and Prospects of Japanese Water Supply System, *Proceedings of JSPS-US Alumni Association – 4th Multidisciplinary Science Forum*, pp.10-11, Old Ambassador's Residence, Embassy of Japan, Washington D.C., 2014.2.21.

36. 伊藤禎彦, 浄水処理の高機能化と水質管理の高度化～"Conventional" Advanced Treatment からの卒業, 0.1 度からの卒業～, 淀川水質協議会設立 50 周年記念シンポジウム, 大阪リバーサイドホテル, 2014.12.17.
37. 伊藤禎彦:QMRA の意義と世界的動向, 大阪市水道局フィールド提供に関する平成 25 年度調査研究報告会～塩素消毒により生成するカルキ臭の低減に向けた浄水処理技術の調査研究～, 柴島浄水場総合管理棟 3F 会議室, 2014.5.29.
38. 周靚, 松館圭太, 中西智宏, 山崎翔平, 越後信哉, 伊藤禎彦:カルキ臭低減型浄水処理プロセスにおける定量的微生物リスク評価, 大阪市水道局フィールド提供に関する平成 25 年度調査研究報告会～塩素消毒により生成するカルキ臭の低減に向けた浄水処理技術の調査研究～, 柴島浄水場総合管理棟 3F 会議室, 2014.5.29.
39. 越後信哉, 水道水質リスク管理のこれから, 関西水未来研究会 第 6 回研究会, 京大桂キャンパス C クラスタ C1 棟「人融」, 2014.5.23.
40. 西村文武, Emerging contaminants, current situation in Japan and its countermeasure techniques, 1st International Energy & Environment Conference, 韓国ソウル, 2014.10.1.
41. 伊藤禎彦, Quantitative microbial risk assessment of drinking water and advanced risk control in soil aquifer treatment for wastewater reuse, ノースカロライナ大学チャペルヒル校 グローバル公衆衛生学大学院 環境科学技術専攻(ノースカロライナ・アメリカ), 2014.11.24.
42. 越後信哉, 「都市地下帯水層を利用した高度リスク管理型水再利用システムの構築」研究, 第二回京都大学-清華大学-JST CREST 日中環境技術共同研究・教育の促進に関するシンポジウム, 清華大学深圳研究生院 C 棟多機能会議場, 2014.12.13.
43. 伊藤禎彦:人口減少社会へ向けた上水道システムの再構築と浄水処理の高機能化, 一般社団法人 日本水道工業団体連合会 定例講演会, 共催:NPO 法人 グリーンサイエンス 21, 日本水道会館会議室, 2015.6.16.
44. 伊藤禎彦:人口減少社会における配水管内環境の管理と制御へ向けて, 関西ウォーターワークスセッション2015(第 84 回日本水道協会関西地方支部総会), 主催:日本水道協会 関西支部, 奈良ロイヤルホテル, pp.1-21, 2015.7.17.
45. 伊藤禎彦:人口減少社会へ向けた上水道システムの再構築と高機能化に関する総合研究, 京都大学桂キャンパス C クラスタ C1 棟「人融」, 2015.1.10.
46. 伊藤禎彦:人口減少社会へ向けた上水道システムの再構築と高機能化に関する総合研究～管内環境に関する実験的検討と水道システムの将来像との関係～, 京都大学桂キャンパス C クラスタ C1 棟「人融」, 2015.3.21.
47. Itoh, S.:Water Supply System in Japan and its Perspectives, Workshop of Kyoto – Varanasi Partnership Program, Kyoto University, 2015.4.20.
48. Itoh, S.: How Safe is Safe? – Risk Management for Indirect Potable Reuse using Soil Aquifer Treatment –, The First Asian Symposium on Water Reuse, Tsinghua University, Beijing, China, 2015.4.24.
49. 伊藤禎彦: わが国水道システムの現況と人口減少下における技術課題, 日本水中ロボット調査清掃協会 平成27年度ロボット清掃技術講習会, 東京八重洲ホール, 2015.7.30.
50. 伊藤禎彦:水道原水としての淀川の水質～下水飲用再利用の動向から人口減少社会への対応まで～, 平成 27 年度 (公財) 琵琶湖・淀川水質保全機構シンポジウム, 主催:公益財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構, 国民會館 12 階大ホール, 2015.11.9.
51. Itoh, S.: New Water Reuse System using Urban Aquifer with Advanced Risk Management, International Symposium of CREST “Innovative Technology and System for Sustainable Water Use”, Kyoto University Rakuyu kaikan, Kyoto, Japan, 2015.12.2.
52. 伊藤禎彦: 水道水の微生物的安全性の評価と制御～カンピロバクターによるリスクを中心として～, 第 8 回日本カンピロバクター研究会総会, 京都大学桂キャンパス C1 棟「人

- 融」, 2015.12.3.
53. Itoh, S.: Indirect Potable Reuse System using Soil Aquifer Treatment and Advanced Risk Management, 都市化過程中的汚水資源再利用に関する日中シンポジウム、及び第 5 回環境先端技術と応用に関するシンポジウム, 清華大学深圳研究生院、深圳、中国、2015.12.6.
 54. Itoh, S.: Water Supply System in a Depopulation Society and Research Needs, Department of Civil and Environmental Engineering, The Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, 2015.12.8.
 55. 伊藤禎彦: 人口減少社会における上水道システムの持続的再構築, 平成 27 年度日本ダクタイル鉄管協会中部支部技術説明会, 主催: 一般社団法人日本ダクタイル鉄管協会中部支部, 津市勤労者福祉センター (サン・ワーク津) 研修室、2016.1.27.
 56. 浅田安廣: 社会環境変化に適応した上下水道システムの構築研究, 阪神水道品質保証プログラム会議, 阪神水道企業団本庁, 2016.3.22.

(2) 口頭発表 (国内会議 64 件、国際会議 36 件)

〈国内〉

1. 久本祐資, 中村玲奈, 小坂浩司, 越後信哉, 大河内由美子, 浅見真理, 伊藤禎彦: 水道原水中のアミノ酸濃度に関する実態調査, 第 62 回全国水道研究発表会, 大阪市, 2011.5.18-20.
2. 伊藤禎彦, Gordon, B. A., Callan, P., Bartram, J.: 消毒副生成物の規制とその展望—水の安全性の全体評価の重要性—, 第 62 回全国水道研究発表会, 大阪市, 2011.5.18-20.
3. Itoh, S., Echigo, S., Ohkouchi, Y., Hirayama, N., Nishimura, F., Hidaka, T., Asami, M., Kosaka, K.: Water Reuse System using Urban Aquifer with Advanced Risk Management, 平成 22 年度 GCOE-HSE 健康リスク管理研究領域 研究成果報告会, 京都市, 2011. 6. 3.
4. 周靚: QMRA 手法を導入した微生物感染リスク管理の高度化, 都市地下帯水層を利用した高度リスク管理型水再利用システムの構築 -第 1 回戦略的創造研究推進事業シンポジウム-, 京都市, 2011. 6. 17.
5. Phattarapattamawong, S.: Soil Aquifer Treatment (SAT) 地下浸透処理, 都市地下帯水層を利用した高度リスク管理型水再利用システムの構築 -第 1 回戦略的創造研究推進事業シンポジウム-, 京都市, 2011. 6. 17.
6. 高部祐剛, 地下浸透処理における処理特性の把握に関する研究, 都市地下帯水層を利用した高度リスク管理型水再利用システムの構築 -第 1 回戦略的創造研究推進事業シンポジウム-, 京都市, 2011. 6. 17.
7. 高部祐剛, 生物学的処理による下水中天然エストロゲンの除去機構に関する研究, 都市地下帯水層を利用した高度リスク管理型水再利用システムの構築 -第 1 回戦略的創造研究推進事業シンポジウム-, 京都市, 2011. 6. 17.
8. 浅田安廣, 大河内由美子, 伊藤禎彦, 水道システムにおける微生物リスクの定量化手法の精度向上に関する研究 Quantification of health effects caused by pathogenic microorganisms in drinking water using Disability Adjusted Life Years, 1st GSGES Global COE Workshop (平成 23 年度第 1 回地球環境学堂グローバル COE ワークショップ), 京都市, 2011. 7. 1.
9. 浅田安廣, 大河内由美子, 伊藤禎彦, 血清学的調査による *Campylobacter jejuni* の感染—発症割合推定に基づいた障害調整生存年数の定量化, 第 33 回京都大学環境衛生工学研究会シンポジウム, 京都市, 2011.7.29-30.
10. 高部祐剛, Songkeart Phattarapattamawong, 伊藤禎彦, 西村文武, 津野洋, 日高平, 竹峰秀祐, 松村千里, 水再利用を目的とした土壌浸透での処理特性に関する研究, 第 46 回日本水環境学会年会, 文京区, 2012.3.14-16.
11. 米谷貴志, Songkeart Phattarapattamawong, 越後信哉, 大河内由美子, 伊藤禎彦, 地

- 下帯水層浸透処理過程における残留医薬品の消長, 第 46 回日本水環境学会年会, 文京区, 2012.3.14-16.
12. Songkeart Phattarapattamawong, 高部祐剛, 越後信哉, 西村文武, 大河内由美子, 伊藤禎彦: Removal Characteristics of Effluent Organic Matters (EfoM) by Soil Aquifer Treatment (SAT), 環境衛生工学研究, 京都大学, 2012.7.
 13. 浅田安廣, 大河内由美子, 伊藤禎彦: 環境水中の *Campylobacter jejuni* 存在実態解明に向けた分離および定量手法の確立, 環境衛生工学研究, 京都大学, 2012.7.
 14. 高部祐剛, 栗田憲寿, 西村文武, 津野洋: 下水二次処理水中に存在するエストロゲン性物質の土壌への吸着に関する研究, 第 49 回下水道研究発表会, 神戸, 2012.7.
 15. 周靚, 越後信哉, 大河内由美子, 伊藤禎彦: 高度浄水処理プロセスのカンピロバクター感染確率評価における感度分析と不確実性分析, 第 15 回日本水環境学会シンポジウム, 佐賀大学, 2012.9.
 16. 浅田安廣, 大河内由美子, 伊藤禎彦: 環境水中に存在する *Campylobacter jejuni* に対する分離方法の探索ならびに血清型調査, 第 5 回日本カンピロバクター研究会, 大阪府立大学, 2012.11.
 17. 高部祐剛, 鈴木亮介, 亀田一平, 栗田憲寿, 西村文武, 水野忠雄, 伊藤禎彦: 下水処理水の再利用を目的とした土壌浸透処理に与える前オゾン処理の影響, 第 47 回日本水環境学会年会, 大阪工業大学, 2013.3.
 18. 伊藤禎彦: 「都市地下帯水層を利用した高度リスク管理型水再利用システムの構築」趣旨と研究目標, 水再生利用とそのシステムに関する合同シンポジウム, シンポジウム報告書 pp.9-10, 京都大学, 2013.3.
 19. 仲辻真章, 高部祐剛, 越後信哉, 伊藤禎彦: 地下浸透処理とオゾン処理の組み合わせによる下水再生における前オゾン処理の有効性, 水再生利用とそのシステムに関する合同シンポジウム, シンポジウム報告書 pp.51-53, 京都大学, 2013.3.
 20. 王雪, Songkeart Phattarapattamawong, 越後信哉, 伊藤禎彦: 土壌浸透処理により下水処理水中の消毒副生成物の生成ポテンシャルの低減効果, 水再生利用とそのシステムに関する合同シンポジウム, シンポジウム報告書 pp.55-58, 京都大学, 2013.3.
 21. 栗田憲寿, 高部祐剛, 西村文武, 水野忠雄, 伊藤禎彦: 土壌浸透処理過程における化学物質の動態に関する研究, 水再生利用とそのシステムに関する合同シンポジウム, シンポジウム報告書 pp.59-60, 京都大学, 2013.3.
 22. 亀田一平, 高部祐剛, 鈴木亮介, 西村文武, 水野忠雄, 伊藤禎彦: DOM 分画を用いた SAT における土壌中微生物代謝特性に関する研究, 水再生利用とそのシステムに関する合同シンポジウム, シンポジウム報告書 pp.61-62, 京都大学, 2013.3.
 23. 鈴木亮介, 高部祐剛, 亀田一平, 西村文武, 水野忠雄, 伊藤禎彦: A2O/オゾン処理水の土壌浸透処理過程における水質変換特性に関する研究, 水再生利用とそのシステムに関する合同シンポジウム, シンポジウム報告書 pp.63-65, 京都大学, 2013.3.
 24. 國本啓太, Kanoknit Santimahakullert, 大河内由美子, 浅田安廣, 伊藤禎彦: 地下浸透処理におけるカンピロバクター除去能評価と再生水の感染確率評価, 水再生利用とそのシステムに関する合同シンポジウム, シンポジウム報告書 pp.67-69, 京都大学, 2013.3.
 25. Kanoknit, S., Keita, K., Itoh, S., Yumiko, O., Itoh, S. : Evaluating Removal Efficiency of Adenovirus during Soil Aquifer Treatment, 水再生利用とそのシステムに関する合同シンポジウム, シンポジウム報告書 pp.71-73, 京都大学, 2013.3.
 26. 宇都宮夢人, 平山修久, 伊藤禎彦: 数値解析モデルによる地下浸透処理を活用した水循環システムの実装シナリオに関する一考察, 水再生利用とそのシステムに関する合同シンポジウム, シンポジウム報告書 pp.75-77, 京都大学, 2013.3.
 27. 高部祐剛, 伊藤禎彦, 西村文武, 越後信哉, 平山修久, 大河内由美子, 日高平, Phattarapattamawong, S.: 土壌浸透処理に関する研究での到達点および今後の課題, 水再生利用とそのシステムに関する合同シンポジウム, シンポジウム報告書 pp.79-82, 京都大学, 2013.3.

28. 小坂浩司, 浅見真理: *N*-ニトロソジメチルアミンの発生源探索, 水再生利用とそのシステムに関する合同シンポジウム, シンポジウム報告書 pp.83-86, 京都大学, 2013.3.
29. 伊藤禎彦: 「都市地下帯水層を利用した高度リスク管理型水再利用システムの構築」プロジェクトの概要とならば, 環境衛生工学研究, Vol.27, pp.16-19, 京都大学, 2013.7.25.
30. 高部祐剛, 米谷貴志, 栗田憲寿, 王雪, 西村文武, 越後信哉, 伊藤禎彦, ソンケアット パタパタマウオン: 土壌浸透処理における化学物質と消毒副生成物生成ポテンシャルの動態, 環境衛生工学研究, Vol.27, pp.20-23, 京都大学, 2013.7.25.
31. 大河内由美子, 國本啓太, 伊藤慎吾, 伊藤禎彦, Santimahakullert, K.: 土壌浸透処理による病原微生物の除去と感染確率評価, 環境衛生工学研究, Vol.27, pp.24-27, 京都大学, 2013.7.25
32. 平山修久, 宇都宮夢人, 高部祐剛, 伊藤禎彦: 水再利用システムの確率論的評価と実装に向けて, 環境衛生工学研究, Vol.27, pp.28-31, 京都大学, 2013.7.25.
33. Wang, X., Takabe, Y., Echigo, S., Itoh, S.: Reduction of infection by-products formation potential (DBFPF) on wastewater effluent treated by soil aquifer treatment (SAT) for drinking water purposes, 環境衛生工学研究, Vol.27, pp.176-179, 京都大学, 2013.7.26.
34. 越後信哉, 仲辻真章, 高部祐剛, 伊藤禎彦: 地下浸透処理とオゾン処理の組み合わせによる下水再生における前オゾン処理の有効性, 第 22 回日本オゾン協会年次学術講演会, 文京区, 2013.8.9.
35. 宇都宮夢人, 平山修久, 伊藤禎彦: 一次元移流分散方程式に基づく地下浸透処理プロセスの数値解析モデルの構築, 第 41 回環境システム研究論文発表会講演集, pp.93-101, 九州大学, 2013.10.19.
36. 國本啓太, Santimahakullert, K., 大河内由美子, 浅田安廣, 伊藤禎彦: 水再利用における病原細菌リスク制御に対する地下浸透処理の有効性, CREST 横断ミーティング「病原微生物と持続可能な水利用」, 京都大学, 2013.10.22.
37. 大河内由美子, 國本啓太, Denpetkul T., 伊藤慎吾, Santimahakullert, K., 伊藤禎彦: 水再利用におけるウイルスリスク制御に対して地下浸透処理が果たす役割とその限界, CREST 横断ミーティング「病原微生物と持続可能な水利用」, 京都大学, 2013.10.22.
38. 高部祐剛, 仲辻真章, 越後信哉, 伊藤禎彦: リスク評価による地下浸透処理とオゾン処理を組み合わせた下水再利用法の有効性の検討, CREST 横断ミーティング「病原微生物と持続可能な水利用」, 京都大学, 2013.10.22
39. Wang, X., Takabe, Y., Echigo, S., Itoh, S.: Disinfection by products and their precursors in wastewater effluent treated by soil aquifer treatment, 第 48 回日本水環境学会年会 講演集, p.308, 東北大学, 2014.3.18.
40. Denpetkul, T., Kunimoto, K., Ohkouchi, Y., Itoh, S.: Determination of infectious adenovirus in river, secondary effluent and its removal during Soil aquifer treatment, 第 48 回日本水環境学会年会 講演集, p.423, 東北大学, 2014.3.19.
41. 國本啓太, Denpetkul T., 大河内由美子, 伊藤禎彦: 感染性アデノウイルス濃度に基づいた地下浸透処理を介した下水再生飲用水による年間感染確率評価, 第 48 回日本水環境学会年会 講演集, p.424, 東北大学, 2014.3.19.
42. 安川太希, 國本啓太, 浅田安廣, 伊藤禎彦: 下水再利用におけるカンピロバクター起因の健康影響評価, 第 48 回日本水環境学会年会 講演集, p.425, 東北大学, 2014.3.17-19.
43. 米谷貴志, 高部祐剛, 越後信哉, 伊藤禎彦: 地下浸透処理における下水処理水中残留医薬品およびその代謝物の消長, 第 48 回日本水環境学会年会 講演集, p.500, 東北大学, 2014.3.19.
44. 高部祐剛, 栗田憲寿, 西村文武, 伊藤禎彦: 下水処理水再利用を目的とした土壌浸透処理法のモデル化に関する研究, 第 51 回下水道研究発表会, 大阪アカデミア, 2014.7.23.
45. Rahmawari, S., Echigo, S., Itoh, S., Takabe, Y.: The fate of 1,3-dichloro-2-propanol (1,3-DCP) during Soil Aquifer Treatment (SAT), 第 36 回環境衛生工学研究会シンポジ

- ウム, 京都大学百周年時計台記念館, 2013.7.31.
46. 浅田安廣, 大河内由美子, 伊藤禎彦: *Campylobacter jejuni* 感染に伴う健康影響に基づいた微生物リスク評価手法の構築, 第 36 回環境衛生工学会シンポジウム, 京都大学百周年時計台記念館, 2013.7.31.
 47. 前田成人, 中村公彦, 古林祐正: 淀川におけるハイブリッド膜ろ過システムの適用性に係る研究, 第 17 回日本水環境学会シンポジウム, 滋賀県立大学, 2014.9.9.
 48. 前田成人, 三好礼子, 中村公彦, 古林祐正: 淀川におけるケーシング型セラミック膜を用いたハイブリッド膜ろ過システムに係る研究(Ⅳ)ーシステムの安定性・高度化に関する調査ー, 平成 26 年度全国会議(水道研究発表会), ポートメッセなごや, 2014.10.29.
 49. 夢田俊浩, 古林祐正, 瀧野博之, 中村公彦: 淀川における浸漬型 PTFE 膜を用いたハイブリッド膜ろ過システムに係る研究(Ⅳ)ー生物処理槽の改造とマンガン対策としての前塩素注入に関する調査ー, 平成 26 年度全国会議(水道研究発表会), ポートメッセなごや, 2014.10.29.
 50. 小坂浩司, 浅見真理, 大久保慶子, 岩本卓治, 越野広雪, 越後信哉, 秋葉道宏: オゾン処理による *N*-ニトロソジメチルアミン前駆物質の排水中からの同定と淀川流域での寄与の評価, 平成 26 年度全国会議(水道研究発表会)講演集, ポートメッセなごや, 2014.10.
 51. 岩本卓治, 大久保慶子, 小坂浩司, 浅見真理: LC-TOFMS を用いた NDMA 前駆物質の同定と NDMA 生成抑制法の検討, 平成 26 年度全国会議(水道研究発表会)講演集, ポートメッセなごや, 2014.10.
 52. 鈴木亮介, 西村文武, 高部祐剛, 伊藤禎彦: 下水処理水の土壌浸透処理プロセスにおける有機物群質的変換に関する研究, 第 49 回日本水環境学会年会, 金沢大学角間キャンパス, 2015.3.16.
 53. 中西智宏, 浅田安廣, 越後信哉, 伊藤禎彦: 土粒子へのウイルス吸着に及ぼす溶存有機物の影響, 第 49 回日本水環境学会年会, 金沢大学角間キャンパス, 2014.3.16.
 54. 國本啓太, Thuangsi, D., 浅田安廣, 大河内由美子, 伊藤禎彦: 再生水飲用に対する土壌浸透処理のウイルス感染リスク低減効果把握, 第 49 回日本水環境学会年会, 金沢大学角間キャンパス, 2015.3.16.
 55. 田上洋介, 越後信哉, 小坂浩司, 伊藤禎彦: 下水処理水の土壌浸透処理における *N*-ニトロソジメチルアミン(NDMA)生成ポテンシャルの変化, 第 49 回日本水環境学会年会, 金沢大学角間キャンパス, 2015.3.18.
 56. 小坂浩司, 浅見真理, 大久保慶子, 秋葉道宏: 水道における *N*-ニトロソジメチルアミン前駆物質の実態調査, 第 49 回日本水環境学会年会講演集, 金沢大学角間キャンパス, 2015.3.
 57. 西村文武, 鈴木亮介, 亀田一平, 栗田憲寿, 水野忠雄, 伊藤禎彦, 高部祐剛: 下水処理水の再利用のための土壌浸透処理に与える前オゾン処理の効果, 日本オゾン協会第 24 回年次研究講演会, 2015.5.
 58. 西村 文武, 鈴木 亮介, 水野 忠雄, 日高 平, 高部 祐剛, 伊藤 禎彦: 下水処理水の飲用再利用を目的とした土壌浸透処理プロセスにおける有機物の挙動, 第 52 回下水道研究発表会, 東京ビッグサイト, 2015.7.30.
 59. 小坂浩司, 浅見真理, 大久保慶子, 岩本卓治, 越野広雪, 越後信哉, 秋葉道宏: 淀川流域におけるオゾン処理での *N*-ニトロソジメチルアミン前駆物質の実態, 環境衛生工学研究, Vol.29, No.3, pp.126-129, 2015.8.1
 60. 小坂浩司, 浅見真理, 大久保慶子, 岩本卓治, 越野広雪, 越後信哉, 秋葉道宏: 淀川流域におけるオゾン処理での *N*-ニトロソジメチルアミン前駆物質の実態, 環境衛生工学研究, Vol.29, No.3, pp.126-129, 2015.8.1.
 61. 宇都宮夢人, 長井康祐, 越後信哉, 西村文武, 米田 稔, 伊藤禎彦, 平山修久: 水再生利用システムにおける土壌浸透処理の実装化に向けた確率論的水質評価モデルおよび電力エネルギー消費量評価モデルの構築, 環境衛生工学研究, Vol.29, No.3, pp.146-149, 2015.8.1.
 62. 前田成人, 中村公彦, 瀧野博之, 古林祐正: 淀川におけるケーシング型セラミック膜を用いたハイブリッド膜ろ過システムに係る研究(Ⅴ)ーシステムとしての適用性調査ー, 平成 27 年

- 度全国会議(水道研究発表会), さいたまスーパーアリーナ, 2015.10.21.
63. 瀧野博之, 古林祐正, 前田成人, 中村公彦: 淀川における浸漬型 PTFE 膜を用いたハイブリッド膜ろ過システム適用に係る研究 (V) —実施設への導入を想定したケーススタディー, 平成 27 年度全国会議(水道研究発表会), さいたまスーパーアリーナ, 2015.10.21.
64. 安川太希, 浅田安廣, 國本啓太, 大河内由美子, 伊藤禎彦: 下水再生利用による *Campylobacter jejuni* の飲用リスク定量化, 第 8 回日本カンピロバクター研究会総会, 京都大学桂キャンパス人融ホール, 2015.12.4.

〈国際〉

1. Asada, Y., Ohkouchi, Y., Itoh, S.: Serological survey of serum antibodies to *Campylobacter jejuni* in general population in Japan, 20th KKNN Symposium, Taipei, 2011.6.27-30.
2. Asada, Y., Ohkouchi, Y., Song, J., Zhou, L., Itoh, S.: Estimation of Illness-to-Infection Ratio of *Campylobacter jejuni* Based on Seroepidemiological Survey for Improving Disability Adjusted Life Years, The 16th International Symposium on Health-Related Microbiology; WaterMicro 2011, Rotorua, 2011.9.18-23.
3. Itoh, S., Asami, M., Nishimura, F., Echigo, S., Ohkouchi, Y., Hirayama, N., Kosaka, K., Hidaka, T.: Water Reuse System Using Urban Aquifer with Advanced Risk Management, The 4th IWA-ASPIRE, Tokyo, 2011.10.2-6.
4. Phattarapattamawong, S., Echigo, S., Itoh, S.: Characterization of Chlorinous Odor Precursors by a Comprehensive Fractionation Technique, The 4th IWA-ASPIRE, Tokyo, 2011.10.2-6.
5. Hirayama, N., Itoh, S., Nishimura, F., Echigo, S., Ohkouchi, Y., Hidaka, T., Phattarapattamawong, S., Takabe, Y.: A Probabilistic Approach to Water Quality Assessment for Water Reuse System using Urban Aquifer, First International Conference on Water and Society, Las Vegas, 2011.12.5-7.
6. Phattarapattamawong, S., Takabe, Y., Yonetani, T., Echigo, S., Itoh, S.: Treatability of Pharmaceutical Personal Care Products (PPCPs) by Soil Aquifer Treatment (SAT) with Short Hydraulic Retention Time, 21st KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, Kuala Lumpur, Malaysia, 2012.7.
7. Takabe, Y., Phattarapattamawong, S., Nishimura, F., Itoh, S., Takemine, S., Matsumura, C.: Treatment of wastewater effluent by soil aquifer, 21st KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, Kuala Lumpur, Malaysia, 2012.7.
8. Itoh, S.: Effect of the Ratio of Illness to Infection of *Campylobacter* on the Uncertainty of DALYs in Drinking Water, 21st KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, Kuala Lumpur, Malaysia, 2012.7.
9. Zhou, L., Itoh, S.: Concentration interpolation method for data below detection limit in Quantitative Microbial Risk Assessment, 21st KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, Kuala Lumpur, Malaysia, 2012.7.
10. Itoh, S., Echigo, S., Ohkouchi, Y., Hirayama, N., Asada, Y., Phattarapattamawong, S., Takabe, Y.: Quantitative Risk Management for Water Reuse System, 2012 GCOE-HES Conference on Health Risk Management, Kyoto, 2012.10.
11. Zhou, L., Echigo, S., Ohkouchi, Y., Itoh, S.: Quantitative Microbial Risk Assessment of Drinking Water Treated with Advanced Water Treatment Process, The 9th International Symposium on Water Supply Technology, Yokohama, 2012.11.
12. Asada, Y., Ohkouchi, Y., Itoh, S.: Estimation of illness-to-infection rate of *Campylobacter jejuni* based on epidemiological study The 4th Asia-Pacific Young Water Professionals Conference 2012, Health-Related Water Microbiology Special Session, Tokyo, 2012.12.
13. Itoh, S., Echigo, S., Nishimura, F., Ohkouchi, Y., Hirayama, N., Phattarapattamawong, S., Takabe, Y., Zhou, L.: Quantitative Risk Assessment and

- Water Reuse System, Tsinghua University – Kyoto University Symposium on Research Engineering –The 4th GCOE/EML Shenzhen Symposium–, ShenZhen, 2012.12.
14. Takabe, Y., Itoh, S., Echigo, S., Hirayama, N., Nishimura, F., Ohkouchi, Y., Asada, Y., Phattrapattamawong, S.: Reuse of wastewater with soil aquifer treatment, GSGES Global COE Workshop in FY2012- Summary of FY2008-2012 Activities-, Kyoto, 2013.3.
 15. Takabe, Y., Suzuki, R., Nishimura, F., Kameda, I., Kurita, N., Mizuno, T., Itoh, S.: Influences of Ozonation on Soil Aquifer Treatment for Wastewater Reuse, 28th WaterReuse, Denver, 2013.9.17.
 16. Kameda, I., Takabe, Y., Nishimura, F., Suzuki, R., Itoh, S.: Metabolic diversity of microbial communities during soil aquifer treatment, 28th WaterReuse, Denver, 2013.9.16.
 17. Nishimura, F., Takabe, Y., Suzuki, R., Kameda, I., Kurita, N., Mizuno, T., Itoh, S.: Influences of Ozonation on Soil Aquifer Treatment for Reuse of Secondary Sewage Effluent, 2013 IOA-IUVA World Congress, Las Vegas, USA, 2013.9.22-25.
 18. Echigo, S., Nakatsuji, M., Takabe, Y., Itoh, S.: Effect of Pre-ozonation on the Wastewater Reclamation by the Combination of Ozonation and Soil Aquifer Treatment, 9th IWA INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATEREUSE, Namibia, 2013.10.29.
 19. Takabe, Y., Suzuki, R., Nishimura, F., Kameda, I., Kurita, N., Mizuno, T., Itoh, S.: Water quality change of sewage effluent treated by A2O/O3 process in soil aquifer treatment, 9th IWA INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATEREUSE, Namibia, 2013.10.30.
 20. Denpetkul, T.: Microbial Risk control in reclaimed water treated with soil-aquifer treatment process, Seminar for the future cooperative research between Kyoto Univ. and Tsinghua Univ., Kyoto, 2013.11.18.
 21. Suzuki, R., Takabe, Y., Kamada, I., Kurita, N., Nishimura, F., Mizuno, T., Itoh, S.: Water quality transformation of sewage effluent treated by A2O and O3 process in soil aquifer treatment, Seminar for the future cooperative research between Kyoto Univ. and Tsinghua Univ., Kyoto, 2013.11.18.
 22. He, K., Takabe, Y., Echigo, S., Itoh, S.: Comparison of the removal mechanisms of PPCPs between soil aquifer treatment (SAT) and conventional activated sludge process, 京都大学・清華大学・JST CREST 日中環境技術共同研究・教育の促進に関するシンポジウム, シンセン, 2013.12. 14.
 23. Rahmawati, S., Wang, X., Phattarapattamawong, S., Suzuki, R., Echigo, S., Takabe, Y., Itoh, S.: Reduction of the Formation Potentials of Trihalomethanes (THMs) and Haloacetic acids (HAAs) in Reclaimed Water by Soil Aquifer Treatment, The 5th International Slow Sand and Alternative Biological Filtration Conference, Civic Reception Hall House Nagoya, Nagoya, Japan, 2014.6.19-21.
 24. He, K., Yonetani, T., Takabe, Y., Rahmawati, S., Echigo, S., Itoh, S.: Comparative Study on Removals of Pharmaceuticals and Personal Care Products in Reclaimed Water during Soil Aquifer Treatment with Different Soil Types, Hydraulic Retention, and Saturated Condition, The 5th International Slow Sand and Alternative Biological Filtration Conference, Civic Reception Hall House Nagoya, Nagoya, Japan, 2014.6.19-21.
 25. Nishimura, F., Kurita, N., Takabe, Y., Mizuno, T., Hidaka, T., Itoh, S.: Behavior of trace organic contaminants in soil aquifer treatment (SAT) process for reuse of secondary sewage effluent, The 5th International Slow Sand and Alternative Biological Filtration Conference, Civic Reception Hall House Nagoya, Nagoya, Japan, 2014.6.19-21.

26. Takabe, Y., Kurita, N., Nishimura, F., Itoh, S.: Analysis of nutrients and EDTA fate in soil aquifer treatment for wastewater reuse by mathematical models, Water and Environment Technology Conference, Waseda Univ., Tokyo, 2014.6.28.
27. Suzuki, R., kameda, I., Takabe, Y. Nishimura, F., Itoh, S.: Removal of dissolved organic matter and disinfection by-products in the upper layer during soil aquifer treatment, Water and Environment Technology Conference, Waseda Univ., Tokyo, 2014.6.29.
28. Itoh, S., Echigo, S., Nishimura, F., Ohkouchi, Y., Takabe, Y., Asada, Y., Phattarapattamawong, S.: Advanced Risk Management For Establishing Water Reuse System Using Soil Aquifer Treatment, The 12th IWA Leading Edge Conference on Water and Wastewater Technologies, Hong Kong Science Park, Hong Kong, China, 2015.5.30-6.3.
29. Takabe, Y., Kameda, I., Suzuki, R., Nishimura, F., Itoh, S.: Water Quality Changes And Microbial Metabolic Diversity In WWTP And SAT For Wastewater Reuse, The 12th IWA Leading Edge Conference on Water and Wastewater Technologies, Hong Kong Science Park, Hong Kong, China, 2015.5.30-6.3.
30. Nishimura, F., Suzuki, R., Takabe, Y., Mizuno, T., Hidaka, T., Itoh, S.: Transformation of organic matters in A2O effluent during soil aquifer treatment process for sewage reuse as urban water resources, Proceeding of The 24th Joint KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, p.269-275, National Taiwan University, Taipei, TAIWAN, 2015.6.18-21.
31. Yonetani, T., Echigo, S., Itoh, S.: Fate of Selected Pharmaceuticals and Their Metabolites in Soil Aquifer Treatment, 10th IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse, Harbin China, 2015.7.5-9.
32. Denpetkul, T., Asada, Y., Itoh, S.: Evaluation of the human enteric viruses removal and inactivation in the presence of soils by the static batch experiment, 10th IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse, Harbin China, 2015.7.5-9.
33. Rahmawati, S., Tanoue, Y., Wang X., Echigo, S., Itoh, S.: Reduction Level Of N-nitrosodimethylamine Concentration And Its Formation Potential By SAT, 10th IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse, Harbin China, 2015.7.5-9.
34. Kobayashi, Y., Takino, H., Oya, M., Nagashio, D., Nakamura, M.: Application of Hybrid Microfiltration (MF) Membrane System to Surface Water Treatment from Yodo River, The 10th International Symposium on Water Supply Technology, Kobe, 2015.7.
35. Shiomi, Y., Murata, K., Nakamura, M., Maeda, S., Kobayashi, Y. : Performance of the Hybrid MF membrane Systems Using Polytetrafluoroethylene (PTFE) and Ceramic membrane(Ⅲ) , The 6th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition, Beijing International Convention Center, Beijing P. R. China, 2015.9.20-24.
36. Utsunomiya, Y., Nagai, K., Hirayama, N., Echigo, S., Nishimura, F., Yoneda, M., Itoh, S.: Probabilistic Water Quality Assessment and the estimation of energy consumption for the Implementation of Soil Aquifer Treatment in Water Reclamation System, 1st International Workshop on Environmental Issues for Young Students and Researchers by Young Students and Researchers, Kyoto university, Katsura Campus, Kyoto, Japan, 2015.11.4.

(3)ポスター発表 (国内会議 13 件、国際会議 9 件)

〈国内〉

1. 米谷貴志, Phattarapattamawong, S., 越後信哉, 森田悠斗, 大河内由美子, 伊藤禎彦:
地下帯水層浸透処理過程における残留医薬品類の消長, 水再生利用とそのシステムに関す

- る合同シンポジウム, シンポジウム報告書 p.92, 京都大学, 2013.3.
2. Denpetkul, T., Itoh, S., Santimahakullert, K., Kunimoto, K., Ohkouchi, Y., Itoh, S.: Study on the assay conditions for quantitative detection of infectious adenovirus in water samples using CaCO-2 cell line, 水再生利用とそのシステムに関する合同シンポジウム, シンポジウム報告書 p.96, 京都大学, 2013.3.
 3. He, K., Echigo, S., Itoh, S.: Comparison of the removal mechanisms of PPCPs between soil aquifer treatment (SAT) and conventional activated sludge process, 水再生利用とそのシステムに関する合同シンポジウム, シンポジウム報告書 p.90, 京都大学, 2013.3.
 4. 伊藤禎彦, 西村文武, 越後信哉, 平山修久, 大河内由美子, Phattarapattamawong, S., 高部祐剛, 浅見真理, 小坂浩司, 日高平: 都市地下帯水層を利用した高度リスク管理型水再利用システムの構築, 水再生利用とそのシステムに関する合同シンポジウム, シンポジウム報告書 pp.108-110, 京都大学, 2013.3.
 5. 國本啓太, Santimahakullert K., 大河内由美子, 浅田安廣, 伊藤禎彦: 地下浸透処理におけるカンピロバクター除去能評価と再生水の感染確率評価, 環境衛生工学研究, Vol.27, pp.161-164, 京都大学, 2013.7.25
 6. Wang, X., Phattarapattamawong, S., Takabe, Y., Echigo, S., Itoh, S.: Control of disinfection by-product formation potentials in wastewater effluent treated by soil aquifer treatment for purposes, 第 50 回環境工学研究フォーラム, pp.125-127, 北海道, 2013.11.19-20
 7. 米谷貴志, 高部祐剛, Phattarapattamawong, S., 越後信哉, 伊藤禎彦: 地下浸透処理による下水処理水中残留医薬品類の除去能評価, 第 50 回環境工学研究フォーラム, pp.139-141, 北海道, 2013.11.19-20
 8. 亀田一平, 高部祐剛, 鈴木亮介, 西村文武, 伊藤禎彦: 下水処理場曝気槽および土壌浸透処理過程での微生物基質資化特性の把握に関する研究, 第 50 回環境工学研究フォーラム, pp.206-208, 北海道, 2013.11.19-20
 9. 高部祐剛, 亀田一平, 鈴木亮介, 西村文武, 伊藤禎彦: 土壌浸透処理における土壌表層での有機物, 栄養塩除去に関する研究, 第 36 回環境衛生工学研究会シンポジウム, 京都大学百周年時計台記念館, 2014.7.31.
 10. 賀 凱, 越後信哉, 伊藤禎彦: 医薬品類の除去性から見た土壌浸透処理と活性汚泥法の比較, 環境衛生工学研究, Vol.29, No.3, pp.51-54, 2015.7.31
 11. 榊原崇, 浅田安廣, 伊藤禎彦: 下水処理水再生利用に向けた土壌浸透処理表層におけるウイルス除去性の把握, 環境衛生工学研究, Vol.29, No.3, pp.55-58, 2015.7.31.
 12. 浅田安廣, 伊藤禎彦: 障害調整生存年数を指標としたカンピロバクター感染症に伴う疾病負担の定量化, 第 52 回環境工学研究フォーラム講演集, pp.36-38, 日本大学工学部キャンパス, 福島県郡山市, 2015.11.27-29.
 13. 越後信哉, 中山恵裕, 伊藤禎彦: *N*-クロロアセトアルドイミン分析法の開発とその応用, 第 52 回環境工学研究フォーラム講演集, pp.45-47, 日本大学工学部キャンパス, 福島県郡山市, 2015.11.27-29.

〈国際〉

1. Suzuki, R., Takabe, Y., Kameda, I., Kurita, N., Nishimura, F., Mizuno, T., Itoh, S.: Water quality transformation of sewage effluent treated by A2O and O3 process in soil aquifer treatment, 22nd Joint KAIST-KYOTO-NTU-NUS (KKNN) Symposium on Environmental Engineering, Soul, 2013.7.2
2. Asada, Y., Ohkouchi, Y., Itoh, S.: Investigation of methods for isolation and quantitation of *Campylobacter jejuni* in water environment, 22nd Joint KAIST-KYOTO-NTU-NUS (KKNN) Symposium on Environmental Engineering, Soul, 2013.7.2.

3. He, K., Takabe, Y., Echigo, S., Itoh, S.: Comparison of the removal mechanisms of PPCPs between soil aquifer treatment (SAT) and conventional activated sludge process, Asian Core Program 第3回包括シンポジウム, 京都大学, 2013.10.28-29
4. Zhou, L., Nakanishi, T., Matsudate, K., Echigo, S., Ohkouchi, Y., Itoh, S.: Infection Risk Assessment of *Campylobacter jejuni* in Drinking Water Treated with Water Treatment Process Reducing Chlorinous Odor, Asian Core Program 第3回包括シンポジウム, 京都大学, 2013.10.28-29.
5. Kobayashi, Y., Takino, H. Oya, M., Nagashio, D. Nakamura, M.: Application of Hybrid Microfiltration (MF) Membrane System to Raw Water from Yodo River, IWA Specialist Conference Advanced in Particle Science and Separation: From mm to nm scale and beyond, Hokkaido University Conference Hall, Sapporo, Japan, 2014. 6. 15-18.
6. Yamaguchi, T., Kunimoto, K., Denpetkul, T., Asada, Y. Ohkouchi, Y. Itoh, S.: Estimation of removal efficiencies of pathogenic viruses by soil aquifer treatment and biological safety of reclaimed drinking water, 23rd Joint KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, Kyoto, Japan, 2014.7.2-5.
7. Suzuki, R., Kameda, I., Takabe, Y., Nishimura, F. Itoh, S.: Study on the removal of dissolved organic matter in the upper layer during soil aquifer treatment, 23rd Joint KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, Kyoto, Japan, 2014.7.2-5.
8. Denpetkul, T., Kunimoto, K., Yamaguchi, T., Asada, Y. Ohkouchi, Y. Itoh, S., Estimation of the virological safety of reclaimed drinking water using Soil-aquifer treatment, JSPS-ACP Comprehensive Symposium 4 (CS4), UTM Skudai Campus, Johor, Malaysia, 2014.12.3-4.
9. Thuy, V. K., Echigo, S., Itoh, S.: Clogging process in soil aquifer treatment system with different influent water quality, Behavior of Particles and Manganese in Drinking Water Distribution System Research and Education Center for The Risk Based Asian Oriented Integrated Watershed Management 5th Comprehensive Symposium, Kyoto university, Katsura Campus, Kyoto, Japan, 2015.11.19.

4. 知財出願

- (1)国内出願 (1 件)
浄水処理装置 特許出願中(特願 2015-55872)
- (2)海外出願 (0 件)
特になし
- (3)プログラムの著作物
特になし
- (4)データベースの著作物
特になし

5. 受賞・報道等

- (1)受賞
 1. ＊第 48 回環境工学研究フォーラム論文賞, 小坂浩司, 廣瀬一人, 浅見真理, 秋葉道宏, 2012.11.
 2. STUDENT POSTER AWARD, the 22nd Joint KAIST-KYOTO-NTU-NUS (KKNN) Symposium on Environmental Engineering, Ryosuke Suzuki, 2013.7.3
 3. Outstanding Presentation Award, JSPS Asian Core Program Comprehensive Symposium III (CS3), Infection Risk Assessment of *Campylobacter jejuni* in Drinking Water Treated with Water Treatment Process Reducing Chlorinous Odor,

Tomohiro Nakanishi, 2013.10.29

4. *平成 25 年度土木学会論文賞, 小坂浩司, 廣瀬一人, 浅見真理, 秋葉道宏, 2014.6.13.
5. 第 36 回京都大学環境衛生工学研究会シンポジウム 研究奨励賞, 浅田安廣, 2014.8.1.
6. 第 36 回京都大学環境衛生工学研究会シンポジウム 優秀ポスター賞, 高部祐剛, 2014.8.1.
7. *第 49 回日本水環境学会年会 クリタ賞, 國本啓太, 2015.3.17.
8. 第 11 回京都大学環境衛生工学研究会優秀プロジェクト賞, 小坂浩司, 浅見真理, 大久保慶子, 岩本卓治, 越野広雪, 越後信哉, 秋葉道宏, 2015.8.1.
9. *第 51 回環境工学研究フォーラム 論文奨励賞, 安川大希, 2015.11.27.

(2)マスコミ(新聞・TV等)報道

1. 水道産業新聞, CREST 都市地下帯水層を利用した高度リスク管理型水再利用システムの構築, 2011 年 9 月 29 日
2. 日本水道新聞, CREST 都市地下帯水層を利用した高度リスク管理型水再利用システムの構築, 2011 年 10 月 3 日
3. 伊藤禎彦: GX 形管で耐震化をさらに前進へー伊藤教授と訪ねた神戸市の GX 形管施工現場へ, 水道産業新聞, 6 面, 2011.3.28
4. 伊藤禎彦: “水道の最先端”ー有識者の視点ー大阪水道研究発表会, 浄水・高度処理分野, 日本水道新聞, 7 面, 2011.5.16
5. 水道産業新聞 8 面, インタビュー 第 9 回水道技術国際シンポジウム 第一分科会「環境にやさしく安全・安心な浄水技術」, 2012.11.15
6. 日本水道新聞, 水道研究座談会 次代を見据えた京都市水道の施設更新を考える, 2012.12.24
7. 伊藤禎彦: テーマ「高度浄水処理」, KBS 京都「笑福亭晃瓶のほっかいほかラジオ」, 京都市水道 100 周年記念コーナー, 午前 7 時から 5 分間, 2013.1.23
8. 伊藤禎彦: 水の未来 50 年後の姿, CREST「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」研究領域, 都市地下帯水層を利用した高度リスク管理型水再利用システムの構築, 日本水道新聞 9 面, 2013.1.24
9. 伊藤禎彦: 今, 見つめるべきこと 持続可能な水道インフラの実現に向けて, 「将来に向け技術を磨こう!」, 日本水道新聞 7 面, 2013.10.21
10. 日本水道新聞, 28th Annual WaterReuse Symposium (デンバー, コロラド州)での研究発表, 2013.10.24.
11. 日本水道新聞, 28th Annual WaterReuse Symposium での経験, 2013.10.24.
12. 伊藤禎彦: 水循環基本法への期待 学識者・有識者・業界団体からの提言, 日本水道新聞, 11 面, 2014.4.28
13. 伊藤禎彦: 日本水道新聞社 創立 60 周年特別企画, 提言 第一人者が語る水事業の未来像, 変革の時代を迎えた水事業の将来像とは, 日本水道新聞, 11 面, 2014.8.4
14. 伊藤禎彦, 学識者に聞くー年頭アンケートー 2015 年 上下水道界の展望 下水の直接飲用再利用に注目, 水道産業新聞 第2部, 14 面, 2015.1.1.
15. 伊藤禎彦: 提言「上下水道事業の持続と発展を見据え」, 水道産業新聞 12 面, 2015.6.15
16. 滝沢智, 越後信哉: 小笠原村扇浦浄水場が供用開始, 水道産業新聞 2 面, 2015.6.15
17. 西村文武, SAT で飲用目的の下水再利用, 水道産業新聞 下水道展特集第 3 部, 36 面, 2015.7.23.(第 5009 号)

(3)その他

特になし

6. 成果展開事例

(1)実用化に向けての展開

①日本・韓国・中国の3カ国による The First Asian Symposium on Water Reuse (Tsinghua University, Beijing, China, 2015.4.23-25)を開催した。そこでは、今後、再生水利用の促進とその標準化作業を行う枠組みを形成することで合意した。2016年4月には第2回シンポジウムを日本で開催した(京都大学 田中宏明教授と協力)。この活動を継続することにより、アジア地域における再生水利用を牽引する力になるものと期待される。

田中教授が代表を務めるCREST研究課題「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」では、再生水の利用先として飲料水以外を扱っており、我々のグループは飲料水を利用先としている。今後、両者が協働することにより、再生水利用技術を広く展開できるものと考えられる。

②本研究では、実装シナリオの提示は桂川流域と淀川下流域で行った。このうち、淀川下流域に設置する意義は下記のとおりである。(i)この地域では、かねてから水源を淀川一川に依存することの脆弱性が指摘されてきた。本研究課題による水資源の確保は、水源を複数化することに寄与するものとなる。(ii)淀川流域では、常に水源の汚染事故のリスクが存在し、実際に汚染事故が毎年多数発生している。本事業の成果を活用することにより、事故時においても水質を安定して確保することができる。(iii)南海トラフ巨大地震等の震災が発生した場合、津波が淀川を遡上し、その結果阪神地域の浄水場が機能不全となることが指摘されている。本事業の成果を活用すれば、震災時の水源確保にも寄与するものとなる。

上記観点から、提示した実装シナリオの実現可能性についてさらに検討を進めることとする。

(2) 社会還元的な展開活動

大学及び国立研究機関の研究者、水道事業者技術者に向けて、定量的微生物リスク管理(QMRA)手法に関する講習会を計2度実施し、この手法をわが国に普及させることに寄与した。

水再利用に関する技術、およびリスク管理に関する手法を、京都市上下水道局において行われた新技術研究会で講演させていただき、本研究課題の成果の普及活動を行った。

厚生労働省は平成27年、「浄水処理対応困難物質」を発表した。これを検討する「水道水質基準逐次改正検討会」に対して、本研究で検討したNDMA前駆物質に関する情報を資料として提示し、わが国の施策策定に貢献した。

オゾン処理による新規NDMA前駆物質として1,1,5,5-テトラメチルカルボヒドラジド(TMCH)を特定し、TMCHが淀川流域における主なNDMA前駆物質であることを明らかにした。また、前処理として塩素処理を行うことで、オゾン処理によるTMCHからのNDMAの生成を制御できることを示した。得られた知見は、淀川流域の上下水道事業体に情報提供を行った。また、TMCHの製造業者、使用業者へヒアリングを行い、TMCHやその類似化合物の生産、使用状況等の情報提供を受け、意見交換を行った。これら一連の活動は、未規制物質あるいはその前駆物質の起源探索に留まらず、水道事業者や製造・使用業者を含めた未規制物質(その前駆物質)の管理における貴重な事例となった。本研究により、下水排水を含めこれらの物質の制御がNDMA生成抑制に有効であることを示し、京都大学環境衛生工学会優秀プロジェクト賞を受賞した。

(3) 他分野への波及効果

下水処理水の直接飲用再利用は、1968年から実施されているナミビアが世界で唯一の例であった。これに対し2013年、アメリカ・テキサス州の2市で直接飲用再利用が開始されたことから、現在この分野のホットスポットとなっている。そこで行われている水処理プロセスは浄水処理そのものであるが、従来から行われてきた超高級処理(促進酸化+RO膜など)に対して、ROを回避しようとする処理の適正化の検討も進んでいる。この分野の動向をみると、今後、以下の事項が確実に発展するとみられる。①浄水処理に相当する技術の進化(過剰処理を回避する適正化を含む)、②リスク評価と制御の発展、③失敗が許されないことから運転管理技術の高度化。重要な点は、水道分野としても、今後この分野の動向を注視する価値が高いと考えられることである。以上の内容を、わが国の水道分野の方々(官公庁および企業)を対象として、これまでに複数回講演して発信した。その上で、情報収集を行いつつ、導入する価値がある技術・手法があれば積極的に導入するよう促した。

§ 5. 研究期間中の活動

1. 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2011 年 6 月 17 日	都市地下帯水層を利用した高度リスク管理型水再利用システムの構築 -第 1 回戦略的創造研究推進事業シンポジウム-	京都大学	約 35 人	本事業に関連する研究成果発表・研究展開の討議
2011 年 9 月 17 日	実水再利用システム見学	Los Angeles	2 人	Groundwater replenishment system 視察
2012 年 3 月 21、22 日	水の定量的微生物リスク評価手法に関する講習会 -第 1 回戦略的創造研究推進事業講習会-	京都大学	19 人	定量的微生物リスク評価の理解・普及
2012 年 6 月 15 日	都市地下帯水層を利用した高度リスク管理型水再利用システムの構築 -第 2 回戦略的創造研究推進事業シンポジウム-	京都大学	約 35 人	本事業に関連する研究成果発表・研究展開の討議
2012 年 7 月 24 日	学術講演	京都大学	70 人	飲み水の安全と安心に関する学術講演
2012 年 9 月 6 日	NDMA 測定手法講習会	国立保健医療科学院	5 人	NDMA 測定手法の教授
2012 年 9 月 13 日	実水再利用システム見学	Los Angeles	2 人	San Jose Creek Water Reclamation Plant 視察
2012 年 10 月 29 日	学術講演	(株)ROKI	9 人	飲料水に求められる品質と安全性に関する講演
2012 年 11 月 27 日	学術講演	日本水道協会大阪会館	110 人	水道施設更新需要と再構築・高機能化からみた技術ニーズに関する学術講演
2012 年 12 月 13 日	第 2 回 水の定量的微生物リスク評価手法に関する講習会	京都大学	16 人	感染確率の計算手順の伝授
2013 年 3 月 15 日	水再生利用とそのシステムに関する合同シンポジウム	京都大学	80 人	学術交流
2013 年 6 月 25 日	都市地下帯水層を利用した高度リスク管理型水再利用システムの構築 -第 3 回戦略的創造研究推進事業シンポジウム-	京都大学	約 40 人	本事業に関連する研究成果発表・研究展開の討議
2013 年 7 月 25 日	第 35 回 京都大学環境衛生	京都大学	約 120	本事業に関連する

	工学研究会シンポジウム 特別セッション「循環型社会の構築を目指した水の再利用と農業システム」		人	研究成果発表・研究展開の討議
2013年10月22日	CREST 横断ミーティング「病原微生物と持続可能な水利用」	京都大学	40人	本事業に関連する研究成果発表・研究展開の討議
2014年6月5日	Crest ミーティング (非公開)	京都大学	5人	研究打ち合わせ
2014年6月12日	CREST「都市地下帯水層を利用した高度リスク管理型水再利用システムの構築」 サイトビジット	京都大学	55人	本事業に関連する研究成果発表・研究展開の討議
2014年6月26日	Crest ミーティング (非公開)	京都大学	5人	研究打ち合わせ
2014年7月10日	都市地下帯水層を利用した高度リスク管理型水再利用システムの構築 ・第4回戦略的創造研究推進事業シンポジウム	京都大学	35人	本事業に関連する研究成果発表・研究展開の討議
2014年7月11日	Crest ミーティング (非公開)	京都大学	5人	研究打ち合わせ
2014年7月22日	講演：伊藤禎彦「飲み水をつくり、安全を守る」	ポートメッ なごや	70人	高校生向けイベント「夢ナビライブ名古屋」で講演
2014年10月18日	講演：伊藤禎彦「飲み水をつくり、安全を守る」	マリンメ ッセ福岡	50人	高校生向けイベント「夢ナビライブ福岡」で講演

§6. 最後に

5年間に渡るプロジェクトは、研究チームを構成した研究者にとって、その活動領域を広げることとなりました。これは各研究者にとって、今後の大きな財産といえます。

また、若手研究者が何人も育ち巣立っていったことは、本プロジェクトの重要な貢献といえるでしょう。

さらに、いうまでもなく、本プロジェクトには多数の学生が参画しました。平成24年度には、実に12名もの学生が取り組んでいました。彼らには海外・国内における学会・集会で発表する機会を与えることもでき、その過程で彼らは大きく成長していきました。

本プロジェクトの主たる実験装置は、パイロットスケールの土壌浸透リアクター(写真1)と室内土壌カラム(写真2)でした。特に、京都市上下水道局には、鳥羽水環境保全センター内に土壌浸透リアクターを設置することを許可していただくとともに、インターンシップ生を受け入れていただくなど、5年間に渡って種々の便宜を図っていただきました。同局のご協力とご支援がなければ、本研究は成立しませんでした。ここに深甚なる謝意を表します。



写真 1 パイロットスケール土壌浸透リアクター



写真 2 室内用土壌浸透カラム



写真 3 サイトビジット集合写真(2011 年)



写真 4 サイトビジット集合写真(2014 年)