

「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」
平成 21 年度採択研究代表者

田中 宏明

京都大学 大学院工学研究科附属流域圏総合環境質研究センター・教授

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

§ 1. 研究実施の概要

本研究では、以下の 3 主要研究項目に対し、8 つの個別課題を設定し、研究を遂行する。

主要研究項目

1. 膜、オゾン、AOP を活用した水処理システムの開発と多面的な機能評価
2. NOM の果たすファウリングと副生成要因の類型化とリスク要因の阻止性の解明
3. リスク、エネルギー使用を考慮した都市水利用システムの検討

個別課題

- ① 新しい水利用システムのリスク物質の制御と評価(京大環境質予見)
- ② NOM の分類とファウリング原因物質等の究明(京大環境質管理)
- ③ 有機膜利用水処理システムの開発(東レ)
- ④ 無機膜とオゾンを利用した新しい水処理システムの開発(メタウォーター)
- ⑤ 新しい循環型水利用システムのエネルギー評価(国土技術総合研究所)
- ⑥ 水の衛生学的評価とバイオモニタリング(土木研究所)
- ⑦ 中国南部地域における膜処理システムの適用とその改善(京都大学-清華大学環境技術共同研究・教育センター(京大日中センター))
- ⑧ 有機フッ素化合物の除去と東南アジアにおける水利用システムの適用(京大地球環境学
堂)

平成 21 年度は、各分担グループの基礎的な研究作業を進めた。具体的には、個別課題①、③、④、⑦を担当するグループでは、ベンチスケール処理実験装置を設置するため、オゾン処理、促進酸化処理、無機膜処理、有機膜処理のプロセス構築のための基礎情報を収集し、ベンチスケール実験装置の設計、製作を開始した。一部の実験装置については既に稼働を始めており、実験条件確認と運転機能の確認を開始している。課題①、②、⑤、⑥、⑦、⑧を担当する

グループは、評価する項目の選定と分析方法の開発を開始した。新たな分析機器の購入も行い、実験環境の整備を行った。また課題⑤では、平成21年度にケーススタディーフィールドの検討に取りかかるとともに、上下水道、河川での水利用のエネルギー実績の情報収集を開始した。また、課題⑦、⑧では中国、ベトナムなどにおける上下水道、水環境に関する基礎情報の収集を開始した。

次年度以降は、個別課題①、③、④、⑦を担当するグループは、ベンチスケール実験装置を稼働させ、運転条件の検討・最適化を行う。課題①、②、⑤、⑥、⑦、⑧を担当するグループは分析方法を早期に確立させ、新しい水処理システムの評価を開始する予定である。

§ 2. 研究実施体制

(1)「京大環境質予見」グループ

- ① 研究分担グループ長： 田中 宏明（京都大学、教授）
- ② 研究項目：
 - ・微量物質のモニタリング手法の確立
 - ・ウイルス処理性能評価手法の確立
 - ・水利用システムのリスク物質のモニタリングとその制御と評価
 - ・間接再利用でのリスク物質の挙動解明

(2)「京大環境質管理」グループ

- ① 研究分担グループ長： 清水 芳久（京都大学、教授）
- ② 研究項目：
 - ・NOM構成成分の想定
 - ・水環境中NOMの抽出・分析

(3)「東レ」グループ

- ① 研究分担グループ長： 田中 祐之（東レ(株)、主任研究員）
- ② 研究項目：
 - 有機膜利用水処理システムの開発

(4)「メタウォーター」グループ

- ① 研究分担グループ長： 加藤 康弘（メタウォーター(株)、グループマネージャー）
- ② 研究項目：
 - ・オゾン処理、促進酸化処理、無機膜処理を組み合わせた新しい水処理プロセスの開発

- ・下水処理水、流入水を対象とした微量化学物質除去性、消毒効果の評価
- ・次年度以降のベンチスケール実験のための運転条件の検討

(5)「国土技術政策総合研究所」グループ

- ① 研究分担グループ長：小越 真佐司（国土交通省国土技術政策総合研究所、室長）
- ② 研究項目：
 - ・循環型水利用システムのエネルギー評価のケーススタディ実施地域の選定
 - ・個別循環と広域循環などの循環型システムの実態把握とエネルギー消費の調査着手
 - ・対象流域における水道・下水道の管渠・ポンプ場・処理施設などのダムを含めた河川管理施設や浄水施設のエネルギー調査の着手

(6)「土木研究所」グループ

- ① 研究分担グループ長：鈴木 穰（(独)土木研究所、グループ長）
- ② 研究項目：
 - ・水中の病原微生物濃度モニタリング
 - ・水の衛生学的評価と管理手法の提案
 - ・バイオアッセイによるモニタリング
 - ・水生生物への影響評価

(7)「京大日中センター」グループ

- ① 研究分担グループ長：水野 忠雄（京都大学、助教）
- ② 研究項目：
 - ・中国南部地域における浄水処理への膜処理の適用性評価
 - ・中国南部地域における下排水処理への膜処理の適用性評価
 - ・溶存有機物構成成分から見た膜処理システムの最適運転に関する検討
 - ・中国南部地域における最適な水循環利用システムに関する検討

(8)「京大学堂」グループ

- ① 研究分担グループ長：田中 周平（京都大学、准教授）
- ② 研究項目：
 - ・水処理システム調査
 - ・化学物質循環経路調査
 - ・新水処理システムにおける除去効果の検討

§ 3. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(4-1)に対応する)

A. 京大環境質予見グループ

水処理システムの評価の指標となる微量化学物質や大腸菌ファージ、ウイルスの分析方法の検討を開始した。具体的には、微量化学物質についてはガスクロマトグラフ-タンデム質量分析計(GC-MS/MS)を導入し、これまでの LC-MS/MS 対象項目に加えて分析環境を整備し、NDMA を含む 8 種のニトロソアミン類の GC-MS/MS での分析条件と環境試料の前処理方法の検討を開始した。ファージ、ウイルスについてはリアルタイム PCR 装置を導入し、分析条件の検討を開始した。これまでに、培養して純水へ添加したファージを陰電荷膜を用いて回収し、RNA 抽出・逆転写反応を行い、リアルタイム PCR で検出する条件を検討し、河川水、下水、下水二次処理水からのファージ、ウイルスの検出を試みた。

また、大腸菌やファージの削減率を培養法により測定することで、オゾン・紫外線処理等のユニットプロセスによる病原微生物の不活化の評価を開始した^{1),2)}。

また、河川の流域規模での広域的な再生水の間接利用と直接利用との物質的な相違を明らかにするための微量化学物質等の実態調査を淀川水系で行った。

B. 京大環境質管理グループ

NOM のどの成分・画分が、有機・無機膜、オゾン・AOP 等の各種処理プロセスにおいて、相対的にどの程度影響しているかを評価することを目的とし、H21 年度は①NOM 構成成分の推定および②水環境中 NOM の抽出・分析について検討を実施した。

世界中で蓄積されている NOM に関する起源、水環境中での分解・挙動等に関する研究成果・分研を収集・蓄積し、NOM 構成成分の構造式候補を想定した。また、既存の研究成果を基に、NOM の起源および水環境中での反応性を考慮した抽出・分画法について検討を行い、従来法(XAD-8 法)に分子量分画(膜ろ過もしくはゲルろ過)を組み合わせた抽出・分画法を採用することとした。さらに、より現場に近い条件で有機物の分解性を評価するための試験系を確立した。H22 年度は、2 種の実試料(琵琶湖水および下水生物処理水)に H21 年度に採用した抽出・分画法を適用し、分画した NOM に対して LC/MS/MS 等による機器分析を実施し、これらの結果を順次 NOM 構成成分の構造式に反映をしていく予定である。

C. 東レグループ

水処理システムを開発するパイロット実験場所は天津市水再生センターと那覇浄化センターに決定した。

天津市水再生センターでのパイロット実験では、新しい水処理システム開発のための基礎検討を行うため、下水二次処理水を取水可能な当社既設のパイロット装置に新たな取水配管を設け、最初沈殿池(初沈)越流水も取水できるようにした。天津では、下水二次処理水や初沈越流水等を原水とし、様々な生産水水質等のリスクレベルに応じた水処理システムの基本構成の

検討を開始した。

一方、那覇浄化センターでのパイロット実験は、H22 年度下期からの開始を予定しており、H21 年度は台風・塩害対策を含めたパイロット装置一式の仕様を決定した。

また、水処理システム開発の基礎検討をラボスケールにて行うため、膜ろ過試験装置を新規製作し、大津および沖縄の原水の膜ろ過性評価を行った。

D. メタウォーターグループ

オゾン処理、凝集処理、およびセラミック膜処理による微量化学物質除去性評価のための実験装置を製作し、基礎データの取得を行った。

医薬品類のうち、鎮痛消炎剤である Ketoprofen は実下水処理水中から $110 \mu\text{g/L}$ 検出され、塩素処理のみでは分解されなかったが、オゾン注入率に応じて、あるいはオゾン＋凝集膜処理において分解が進行した。一方、副生成物である NDMA はオゾン消費量 2.8mg/L では 5ng/L 生成が確認され、凝集および膜処理では低減されなかった。オゾン消費量を 4.5mg/L まで高めた場合、生成量は 3ng/L と低下したことから、今後オゾン注入率と NDMA 生成量について詳細な検討が必要であることが明らかとなった。

来年度以降はウイルス等の消毒特性評価などを加えて、プロセスの最適化を進めていく。

E. 国土技術政策総合研究所グループ

水循環システムのエネルギー消費量を評価するため、現状把握のための調査を開始した。全国の消費エネルギーについて統計情報を整理し上下水道システムの運用に関わる電力消費の平均値を求めた。再生水利用システムのエネルギー消費について、個別循環、広域循環の事例調査を行い、またモデル計画に基づく農業用灌漑利用のエネルギー試算を行って、現状の技術で循環利用を行う場合のエネルギー消費に関する基礎情報を得た。

モデル流域の選定について、循環システム導入効果が高いと推定される地域を選定することとし、地理的条件、利用用途、必要性、現在の水利用エネルギー消費、調査のしやすさ、などに基づいて対象地域の絞り込み作業を開始した。

F. 土木研究所グループ

ウイルス濃度が比較的高い未処理下水から、濃度が低い再生水等までを分析対象とできるように、分析体制（機器整備、研究員雇用）を整え、分析の試行を行なうなど、試料特性に応じたウイルスの分析方法の開発に着手した。また、当面の間にリスク評価を実施する水利用システムを抽出するとともに、具体的に農業利用を対象に、想定されるハザードの同定を試みた。

また、メダカの遺伝子発現から下水処理水の安全性を評価するための機器などを整備し、脱塩素水道水で飼育しているメダカを用いて、臓器の摘出、RNA 抽出、RNA の増幅と蛍光標識、遺伝子発現の一連の試験操作の確認を行った。さらに、メダカの曝露時間や解析臓器の検討を開始した。

G. 京大日中グループ

中国南部地域において研究を展開するための機器整備、水質分析方法の確立などの環境整備を開始した。具体的には、溶存有機物分画に必要な機器の整備、消毒副生成物に分類される物質の LC/MS/MS、GC/MS を用いた分析方法の確立、微量汚染物質に分類される物質の LC/MS/MS を用いた分析方法の確立などに着手している。

また、平成 22 年度に中国南部地域の浄水場に導入予定の膜処理装置の導入に向けた準備を開始した。購入に向けた手続きと、設置場所に関する検討を行っている。設置場所に関しては、当該地域の中国の大学教員および浄水場運営・管理組織のエンジニアと議論しながら、協力を得て進めている。水源を同一河川とし、河川流下方向に異なる取水口を持つ浄水場を絞込み、最終選定段階である。水源となる河川において水質調査も実施した。上下水道・水環境に関する基礎情報の収集と整理にも着手している。

H. 京大学堂グループ

ベトナムハノイでは、ハノイ工科大学内にある京都大学オフィスを中心として、ハノイ市内の水利用システムに関する現地情報および水循環経路の情報収集を行った。タイ王国では Mahidol 大学 Suwanna 講師と協力し、バンコクでの水利用システムに関する現地情報および水循環経路の情報収集を行った。中国上海、大連、瀋陽を訪問し、周辺水環境中の PFCs 汚染現況の調査を実施した。また、国内では琵琶湖・淀川水系を対象に PFCs 汚染現況調査を実施し、特に、異なる特徴をもつ水処理施設周辺を対象にし、処理効果の概況を把握した。また、下水二次処理水を対象に特徴の異なる凝集剤、吸着剤による PFOS の処理試験を実施し、処理効果に及ぼす溶存物質の影響について考察を進めている。

§ 4. 成果発表等

(4-1) 原著論文発表

● 論文詳細情報

1. Ilho Kim, Hiroaki Tanaka. (2010) Use of Ozone-Based Processes for the Removal of Pharmaceuticals Detected in a Wastewater Treatment Plant, *Water Environment Research*, 82, 294-301, doi: 10.2175/106143009X12487095236630.
2. Ilho KIM, Naoyuki YAMASHITA, Hiroaki TANAKA. (Accepted: 8 Mar. 2010) Energy consumption for PPCPs removal by O₃ and O₃/UV, *Ozone Science & Engineering*.