

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. 研究実施体制

### (1)「京大環境質予見」グループ

① 研究代表者: 田中 宏明 (京都大学工学研究科、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
- ・ 間接的な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 主たる共同研究者: 清水 芳久 (京都大学工学研究科、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
- ・ 有機物分画による水環境中 NOM、ファウリング原因物質等の特性評価
- ・ ファウリング原因物質、消毒副生成物前駆物質の同定
- ・ 生物蓄積性・毒性緩和影響等の評価

### (3)「東レ」グループ

① 主たる共同研究者: 高島 寛生 (東レ株式会社地球環境研究所、主任研究員)

② 研究項目

- ・ 技術開発基本方針の決定
- ・ 基本技術の開発

・実証試験による事業性の評価

(4)「メタウォーター」グループ

① 主たる共同研究者:加藤 康弘 (事業戦略本部 R&D センター新事業開発部新事業技術開発グループ、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技術の開発
- ・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
- ・ベンチスケール実験によるオゾン前処理効果の検証

(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:高島 英二郎(下水道研究部部長)

②研究項目

- ・再生水システムのエネルギー評価
- ・再生水システムにおけるエネルギー消費、ライフサイクルCO<sub>2</sub>と水質、リスクについての総合的評価

(6)「土木研究所」グループ

①主たる共同研究者:鈴木 穰 (材料資源研究グループ、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主たる共同研究者:水野 忠雄 (京都大学大学院工学研究科、講師)

②研究項目

- ・下水二次処理水を対象とした凝集・膜処理プロセスにおける処理性能に関する調査
- ・深圳市を中心とした中国華南地区の水利用・地域情報に関する情報収集
- ・浄水水源となる河川水の定期水質調査
- ・中国の水環境および上下水道に関わる法律、規制に関する調査

(8)「京大地球環境学」グループ

① 主たる共同研究者:田中 周平 (京都大学大学院地球環境学、准教授)

② 研究項目

- ・循環システム調査と水処理技術の適用の検討
- ・水循環系における化学物質調査
- ・新水処理技術における除去効果の検討

## §2. 研究実施の概要

世界的な水不足が問題視される中、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に向け、H25年度は以下に示す研究を実施した。

- ① 膜、オゾン、促進酸化処理(AOP)を活用した水処理技術の開発と多面的な機能評価  
開発した水処理技術の微量化学物質や病原微生物、天然有機物(NOM)の除去性能、ヒトや生態系へのリスク評価、毒性と消費エネルギーの低減効果の評価を実施した。特に沖縄県では、カリフォルニア Title22 で規定された技術の衛生学的機能を満たしつつ、エネルギー消費量を削減することができる水再生技術を開発した。本技術開発が契機となり、日本初となる再生水による畑地灌漑事業の実施調査が沖縄県で始まるなど、実装化へ大きな進展が見られた。また、下水処理水に対して有機膜または無機膜を組み合わせた処理技術を適用し、再生水を都市用水用途に展開させる技術開発とともに、本技術を下水処理場での最初沈澱池越流水処理へ適用するという世界初の技術開発も行っている。
- 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  
有機物分画技術を確立し、チーム内外から得られた水試料中のNOMの特性評価を行った。その結果、下水二次処理水のUF膜ろ過処理では比較的低分子の疎水性有機酸(フルボ酸等)が主な膜ファウリング原因物質であることが示された。従来、低圧膜ろ過(MF、UF)におけるファウリング原因物質として考えられてきた多糖類やタンパク質等のバイオポリマーは、本研究ではUF膜によって排除されるものの逆洗や薬品洗浄工程でUF膜から洗浄除去されることが明らかとなった。また、凝集沈殿処理を組み合わせることにより、膜ファウリングを長期的に抑制できる可能性が示された。
- ③ 再生水利用リスクならびにエネルギー使用量を考慮した都市水利用システムの検討  
再生水の利用用途として農業利用を想定し、農産物消費者に対して、ノロウイルスを対象に定量的微生物リスク評価を行った。また、化学物質のバイオモニタリング手法を提示した。再生水の農業利用と都市利用を想定し、エネルギー消費量を試算し、従来システムとの比較を試みた。中国南部地域の下水処理場での膜処理実験や、ベトナム・ダナン市での水利用実態調査や膜処理実験を行った。また、再生水の利用用途ごとの病原微生物と化学物質の安全性評価方法を体系化し、北東アジア規格フォーラムでの再生水のリスク基準の策定や ISOTC282 の発足と日本の幹事国入りなどの再生水の規格策定に大きな役割を果たした。

### §3. 成果発表等

#### (3-1) 原著論文発表

##### 論文詳細情報(国内)

- A1 東剛志, 菅原民枝, 中田典秀, 山下尚之, 三野芳紀, 田中宏明, 大日康史, 下水中の抗インフルエンザ薬成分を用いた疫学調査手法の検討, 環境技術, 43, 4 (DOI: 未定)
- F1 真野浩行, 村山康樹, 鈴木穰, 中田典秀, 南山瑞彦(2013) PRTR 情報等を活用した下水処理水中に含まれる化学物質の環境リスク初期評価, 下水道協会誌, 50, 85-92. (DOI: 割り当てなし)
- F2. 安井宣仁, 諏訪守, 桜井健介, 鈴木穰, 小林憲太郎, 高嶋寛生(2013) 農業利用を想定したUF膜処理による下水再生水の定量的微生物リスク評価: ノロウイルスを対象とした事例的研究, 土木学会論文集 G (環境), 69, 647-656. (DOI: 未定)

##### 論文詳細情報(国際)

- A2 Yoon, S., Nakada, N., Tanaka, H. (2013) Occurrence and fate of N-nitrosamines and their formation potential in three wastewater treatment plants in Japan, *Water Science and Technology*, 68 (10), 2218-2226 (DOI: 10.2166/wst.2013.458)
- A3 Yoon, S., Tanaka, H. (2014) Formation of N-nitrosamines by chloramination or ozonation of amines listed in Pollutant Release and Transfer Registers, *Chemosphere*, 95, 88-95 (DOI: /10.1016/j.chemosphere.2013.07.090)
- A4 Yoon, S., Tanaka, H. (2013) Optimum conditions for testing N-nitrosamine formation potential (FP) through ozonation in wastewater samples, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* (DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2013.11.028>) (in press)
- A5 Hanamoto, S., Nakada, N., Yamashita, N., Tanaka, H. (2013) Modeling the Photochemical Attenuation of Down-the-Drain Chemicals during River Transport by Stochastic Methods and Field Measurements of Pharmaceuticals and Personal Care Products, *Environmental Science and Technology*, 47, 13571-13577 (DOI: 10.1021/es4035478)
- H1 Pattarawan Chularueangakorn, Shuhei Tanaka, Shigeo Fujii, Chinagarn Kunacheva (2013), Batch and Column Adsorption of Perfluorooctane Sulfonate on Anion Exchange Resins and Granular Activated Carbon, *Journal of Applied Polymer Science*, (DOI: 10.1016/j.desal.2010.05.038)

- H2 Pattarawan Chularueangakorn, Shuhei Tanaka, Shigeo Fujii, Chinagarn Kunacheva (2013), Adsorption of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) onto Anion Exchange Resin, Non-ion Exchange Resin and Granular Activated Carbon by Batch and Column, Desalination and Water Treatment, (DOI:10.1080/19443994.2013.815589) (in press).
- H3 Pattarawan Chularueangakorn, Shuhei Tanaka, Shigeo Fujii, Chinagarn Kunacheva (2013), Regeneration and Reusability of Anion Exchange Resin Used in Perfluorooctane Sulfonate Removal by Batch Experiments, Journal of Applied Polymer Science, 130, 2, 884-890. (DOI: 10.1002/app.39169)
- [proceedings(査読審査の入るものに限る)]
- A6 Hongyang Wang, Dongbum Im, Aki Itou, Norihide Nakada, Naoya Wada, Michiko Aoki, Yasuhiro Kato, Hiroaki Tanaka, Risk and Energy Evaluation of Combination Processes for Secondary Effluent Treatment, Energy and Water 2013: Intergrated Solutions for Advancing Technology and Management, Nashville, Tennessee, USA, 2013年5月6日
- A7 Suntae Lee, Naoyuki Yamashita, Masaru Ihara, Hiroaki Tanaka, Kentaro Kobayashi, Hiroaki Tanaka, Hiroo Takabatake, Yuji Tanaka, Nexus of Energy and Virus Reduction of UF Membrane Filtration Process with Coagulation/UV Irradiation for Wastewater Reclamation, Energy and Water 2013: Intergrated Solutions for Advancing Technology and Management, Nashville, Tennessee, USA, 2013年5月6日
- A8 Hanamoto S, Nakada N, Yamashita N, Tanaka H, Photolysis of PPCPs along the river stretch based on the stochastic model, laboratory experiment and the field survey, Micropol & Ecohazard 2013, Zurich, Switzerland, 2013年6月18日
- A9 Wang H, Im D, Ito A, Nakada N, Wada N, Aoki M, Kato Y, Tanaka H, Performance of ceramic membrane filtration with coagulation pretreatment during treating secondary effluent, 7th IWA Specialised Membrane Technology Conference and Exhibition for Water and Wastewater Treatment and Reuse, Toronto, Canada, 2013年8月27日

### (3-2) 知財出願

- ① 平成 25 年度特許出願件数 (国内 2 件)
- ② CREST 研究期間累積件数 (国内 6 件)