

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: 高畠 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 (R&D センター環境システム開発部新事業技術開発グループ、担当課長)
- 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:堀江 信之(下水道研究部部長)
- ②研究項目
  - ・水利用システムのエネルギー評価
  - ・新しい水利用システムの流域環境への影響評価

(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、助教)
- ②研究項目
  - ・河川水および浄水取水を対象とした凝集・沈殿、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)「京大学堂」グループ

- ①主たる共同研究者:田中 周平 (京都大学地球環境学堂、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. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(3-1)に対応する)

### A. 京大環境質予見グループ

H23年度に引き続き、メタウォーターグループと共同で大津サイトにおいてセラミック膜を用いたラボスケール処理装置を稼働した。二次処理水に対しては、膜処理前のオゾン、凝集剤注入率をパラメータとし、新興汚染物質である医薬品類（PPCPs）等の化学物質やウイルスなどの病原微生物の除去特性を評価基準として運転の効率化を図り<sup>A-10,A-12</sup>、さらに短期運転における消費エネルギーの評価を行った結果、オゾンの適切な注入量がファウリングの軽減に役立つことを明らかにした<sup>A-8</sup>。一次処理水に対しては、凝集+膜ろ過に対するオゾン前処理もしくは後処理の効果について、ウイルスやPPCPsの除去性からその有効性を評価するとともにエネルギー消費面での評価でも既存の水道や下水道での単位水量当たりのエネルギー消費<sup>A-9</sup>や既存の水再生技術よりも優位であることを明らかにした<sup>A-14</sup>。

また、東レグループと共同で、大津サイトおよび沖縄サイトにおいて有機膜を用いたパイロットスケール処理実験を実施し、医薬品類（PPCPs）などのUF(Ultrafiltration;限外ろ過)膜+UV(Ultraviolet;紫外線)および低pH凝集+UFでの化学物質およびウイルス等の病原微生物の除去率を把握し<sup>A-11</sup>、エネルギー消費面での評価でも既存の水道や下水道での単位水量当たりのエネルギー消費<sup>A-9</sup>や既存の水再生技術よりも優位であることを明らかにした<sup>A-15</sup>。沖縄サイトでは新たにRO(Reverse osmosis;逆浸透)膜を導入して、UF膜+UVおよび低pH凝集+UFでの化学物質や病原性微生物の除去性に加え、特にRO膜による化学物質の除去率を把握した。凝集+UFの病原微生物の除去については、原水のゼータ電位とウイルス凝集性に関連があることを見出した。また、RO膜によって医薬品類の多くは100%近い除去率が得られたが、一部除去率が低い化学物質も見出された。

レポータージーンアッセイによって、下水試料(二次処理水、初沈越流水)および再生水のエストロゲン様作用と抗エストロゲン作用を評価した。その結果、下水試料にはエストロゲン様作用と抗エストロゲン作用の両方の活性があること、および再生処理の過程におけるエストロゲン物質と抗エストロゲン物質の除去性に違いがあることが確認された<sup>A-6</sup>。具体的には「凝集+UF膜ろ過」などで抗エストロゲン活性が効率よく除去されることが確認された。

下水処理水の間接的再利用でのリスク物質の挙動解明のため、継続して医薬品類などの挙動を流域規模でとらえた<sup>A-2A-3</sup>。この結果、河川流下過程における医薬品類の減衰には光分解が大きく寄与していることが明らかとなったため、環境濃度分布を推定する際に日

内と日間の太陽光強度による光分解の変動を表現できるモンテカルロ法に基づく確率論的モデルを構築した。また、淀川水系の桂川において日内変動に着目した現地調査を複数回実施し<sup>A-2), A-5) A-13)</sup>、構築したモデルが実際の河川に適用可能であることを確認した。

ガスクロマトグラフィータンデム(Gas chromatography–tandem mass spectrometry, GC-MS/MS) で立ち上げた分析方法<sup>A-1)</sup>を用いた *N*-ニトロソジメチルアミン(N-Nitrosodimethylamine, NDMA) などのニトロソアミン類やそれらの生成能を大津サイトおよび沖縄サイトにおいて有機膜(UF膜、RO膜)を用いたパイロットスケールの実験を実施し<sup>A-4)</sup>、有機膜によるNDMAなどのニトロソアミン類やそれらの生成能の挙動を把握することで、再利用を行うとき、消毒副生成物を十分に考慮する必要があることを確認した<sup>A-7)</sup>。

## B. 京大環境質管理グループ

天然有機物(Natural organic matter, NOM)のどの成分・画分が、有機・無機膜、オゾン・促進酸化処理(AOP)等の各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、H24年度は、H23年度に引き続き、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、およびファウリング原因物質、消毒副生成物前駆物質等の同定について研究を実施するとともに、NOM自身の毒性ならびに生物蓄積性・毒性緩和影響等の評価に向けた検討を開始した。

H23年度に引き続き、NOMに関する起源、環境中での挙動・分解等に関する研究成果<sup>B-1)</sup>・文献を集積・検討するとともに、水環境中に存在するNOM構成成分を想定し、有機物分画および分子量分布等の実験から得られた情報を順次反映しながらNOM構成成分の想定を実施した。水環境中NOMの抽出・分析では、全有機炭素(Total Organic Carbon, TOC)検出サイズ排除クロマトグラフィーによる分子量分布の評価および等電点電気泳動法(IFE)による等電点に基づく分画・抽出法の検討を行った。また、有機物分画を田中チームで開発している水再生技術に適用し、ユニットプロセスごとにどの画分がどのような挙動をしているかを明らかにした。有機物分画と分子量分布、3次元蛍光分析の情報を併せた結果、UF膜(MWCO~150 kDa)では比較的高分子量(100 kDa以上)の成分(多糖類、タンパク質など)のサイズ排除と、膜の公称孔径以下の低分子有機酸(~1 kDa)の吸着が起きていることが明らかとなった。今後は、それぞれの画分が膜透過流束の減少やその回復性等にどの程度影響しているかを評価していく予定である。

H24年度は、NOM自身の毒性ならびに生物蓄積性・毒性緩和影響等の評価に向けて、藻類光合成阻害試験の開発およびDNA損傷性試験(Rec assayおよびH2AX assay)の検討を開始した。藻類光合成阻害試験法に対して、操作因子を実験的に検討して試験法を開発すると共に、2種類の藻類(淡水産緑藻、海水産珪藻)を試験生物として選定した。本法を琵琶湖南湖水および下水二次処理水に適用した結果、1~10倍程度の濃縮倍率で光合成阻害を検出できることが明らかとなった。今後は、田中チームで開発している水再生技術に適用し、ユニットプロセスごとにNOM自身の毒性の阻止性を明らかにしていく。一方、DNA損傷性試験(Rec assay)を米

国 Suwannee 河の NOM、フミン酸 (Humic acid、HA)、フルボ酸 (Fulvic acid、FA) に適用したが、DNA 損傷性 (-S9/+S9) は検出されなかった。今後は、実験条件の改善を行うと同時に、共存する NOM が化学物質の DNA 損傷性に与える影響 (毒性緩和影響) を評価していく。さらに、NOM が化学物質の生物蓄積性に与える影響の解明や、活性や影響度合いの高い画分・成分を究明するために、各種分画や構造解析等を行っていく予定である。

### C. 東レグループ

下水再利用のための有機膜利用水処理技術開発として、①下水二次処理水→農業用水用途、②下水二次処理水→都市用水用途、③初沈越流水→再生水用途 (農業用水用途等) における膜処理技術開発を行った。

①H23 年度までに絞り込んだ UF+UV と低 pH 凝集+UF について長期運転評価を実施した結果、UF+UV では年間を通してウイルス除去率 5.2log 以上を達成した一方、低 pH 凝集+UF では未達成となる場合があり、ウイルス除去の安定性の観点から UF+UV が優れていた。省エネ性能についても UF+UV が優れており、最適プロセスとして絞り込んだ。

②H24 年度下期より UF+RO (あるいは NF (Nanofiltration; ナノろ過)) のパイロット装置を設置・稼働させ、既存の再生水プラント (生物膜ろ過+オゾン) に対して水質改善と省エネを達成すべく開発・評価を進めた結果、UF+RO (あるいは NF) は既存の再生水プラントよりも再利用で課題となる微量リスク成分の除去に優れており、同等以上の水質が得られる見通しを得、さらに UF+NF で省エネを達成できる見通しを得た。

③安定運転のための UF 運転技術開発を進め、高フラックス条件にて差圧上昇を抑制しながら運転できる見通しを得た。

またカスタムメイド化に向け、各単位プロセスにおける各リスク成分の除去性能について他グループと協力してデータ取得を実施し、基本的な除去性能を把握・整理した。

H25 年度以降は②および③について長期運転を実施し、処理水質・消費エネルギーについて評価・改善を実施する。また①については、京大予見グループと協力して那覇浄化センターから農業再生水事業化が新たに期待される県南部の下水処理場へと実験装置を移設し、H26 年度から現地実証実験を実施する。

### D. メタウォーターグループ

下水二次処理水を対象とした①親水用水向け高品位再生処理技術 (Case1) では、オゾンおよび凝集剤注入率をパラメータとし、ウイルス等消毒性能、PPCP 類分解性能および膜運転特性の評価基準を定めることで、約 20% 程度の省エネルギー化が可能である運転条件を見出した。H25 年初頭より選定条件での長期実証運転を行い、生態系へのリスク評価や処理の安定性評価、有機物の動態解明など他のグループと連携をして進めていく予定である。

下水流入水や硝化の不十分な下水処理水などを対象とした②下水系水資源直接処理技術

(Case2) では、ラボ実験においてオゾン処理、膜処理の基本処理特性の把握を行ない、凝集剤の添加効果、塩素系酸化剤の添加影響等のデータ収集を進めた。H25 年度以降も基礎データの収集を継続し、大腸菌やウイルス等殺菌効果、PPCPs 等化学物質の除去効果を評価に加え、流入水系水資源のためのプロセス絞込みを行なう。

日中 G と共同で中国南部地域（シンセン）の浄水場に、膜装置を設置し連続運転を開始した。H25 年度以降再生水に含まれるウイルス、微量汚染物質などリスク要因を制御する分離膜などの水処理技術を開発し、そのエネルギー、リスク抑制性を明らかにし、国内外に導入した場合の安全性、エネルギー、環境面からカスケード利用型都市水循環システムを評価する。

#### E. 国土技術政策総合研究所グループ

既存水利用システムのエネルギー消費構造の情報整理を H23 年度に引き続いて実施した。従来技術による再生水の都市広域利用において、用途と供給元の規模と場所を変更した場合についてケーススタディを実施し、CO<sub>2</sub> 排出量を試算した。また、他グループが開発している新しい再利用システムの機器情報から運用時の CO<sub>2</sub> 発生量原単位を算定し、従来技術で処理された再生水広域利用と比較した結果、新しいシステムがエネルギー的に有利となる可能性が示された。

水の再利用システムを導入することがエネルギー面で有利となる流域を抽出するため、流域単位のエネルギー消費量の調査を行った。統計情報を利用して水供給システムおよび下水処理システムのエネルギー消費量原単位を自治体単位で算定した結果、各市町村の上下水システム合計のエネルギー平均値は 1.55kWh/m<sup>3</sup>となったが、ばらつきが大きく、特に山間部の起伏の多い土地で大きくなった。これらのデータを基に、相模川、大和川等の一級河川を対象として流域の構成市町村のエネルギー消費量を流量・人口情報により按分することにより流域単位の水循環エネルギーを推定した。この結果、今回試算した流域のエネルギー消費量には大きな差がみられなかった。これは流域が広く各市町村の消費エネルギーが平均化されたためであると考えられ、今後は流域面積の小さい箇所についても計算を実施する予定である。

H25 年度は、再利用エネルギーに関する情報収集を他グループと連携して実施し、再利用委に係る新システムを導入した場合のエネルギー消費量を試算し、従来システムとの比較を実施する予定である。また、海外の再利用を含む水循環システムのエネルギーに関する情報収集を他グループと連携して実施し、新システムを導入した場合の消費エネルギー面での効果を評価する予定である。

#### F. 土木研究所グループ

H24 年度は、C. 東レグループで運転しているパイロットプラント(沖縄)を主な対象としてリスク評価を行うため、連続運転時における日内変動を考慮した採水を行い、日内の原水中の病原微生物の挙動を把握した。また、季節間での挙動も把握するために、夏場、冬場で同条件下での採水も行い、連続運転を想定した際の衛生的リスク評価を行った。また併せて、農業利用に用いら

れている沖縄河川を対象に同時期でのウイルス濃度を定量し、相対的なリスク評価も試みた。その結果、本パイロットプラントにおいて、原水を二次処理水とした凝集沈殿+UF 膜処理およびUF 膜処理+UV 処理により産出された再生水を農業利用した場合、沖縄河川水と比較して、リスクを 1/10 程度に低減できることが分かった。

また、衛生学的評価に反映させるべく、H24 年度は D.メタウォーターグループが開発しているオゾンセラミック膜処理によるウイルスの除去性とオゾン処理の不活化効果について、腸管系ウイルス(ノロウイルス)を対象に検討した。その結果、増幅域を拡張した Long Target Real Time-Polymerase Chain Reaction、LT/RT-PCR)(350bp)を用いることにより、一般的に RT-PCR 法で用いられる増幅域が 100bp 程度の Short Target RT-PCR 法(ST/RT-PCR)と比較して、オゾン処理による不活化速度が数倍程度大きく評価される結果が得られた。同様に、指標微生物である MS2 phage を用いた実験では、LT-RT-PCR による定量結果とブラックアッセイによる感染価がより近かったことから、LT-RT-PCR の適用により、不活化遺伝子をより適切に評価できることが明らかになった。今後、衛生学的評価を行う際の更なる知見および新たなデータとして反映させるべく、引き続き詳細にデータの取得を行う。

全体計画の数値目標である水利用システム 20 種類以上の評価と、河川水等 30 種類以上の実態把握に対して、H24 年度までに水利用システム 25 種類の評価と、中国深セン市の河川も対象とした河川水等 40 種類の実態把握を行った。

水生生物への影響評価に関しては、統計値や既存調査データを用いて、198 種類を対象とした個別化学物質の再生水用途でのヒト、水生生物を対象とした初期リスク評価を実施した。この結果、ヒト健康や水生生態系に影響を与える可能性のある詳細リスク評価が必要な化学物質としてそれぞれ 2 種類と 24 種類が抽出された。

さらに、メダカ遺伝子発現パターンと藻類生長阻害を基に、再生水を含めた水資源の生物影響評価を進めた。具体的には、メダカでは、5 種類の化学物質(ジヒドロテストステロン、直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム (Linear Alkylbenzene Sulfonate、LAS)、As、Cd、Cr)を雄メダカに曝露し、DNA マイクロアレイによる遺伝子発現変動パターンの追加取得を行った。また、水処理技術の工程水(大津サイト、那覇サイト)や、下水処理水の流入状況が異なる河川水を対象にマイクロアレイによるメダカの遺伝子発現と藻類生長阻害によるバイオモニタリングを実施し、再生水を含めた水資源の生物影響を評価する手法の構築を進めた。

全体計画の数値目標である化学物質 30 種類以上、水処理技術の工程水 20 種類以上、河川水等 30 種類以上の評価に対して、H24 年度までに、化学物質 31 種類、工程水 29 実験、河川水 63 地点について評価を行った。

## G. 京大日中センターグループ

中国華南地区における水道水源の 1 つとなる河川を選定し、上流域から下流域までの 5 地点において、定期水質調査を継続実施した。基本的には、河川の流下方向に沿って汚染の程度が上昇することが認められている。全窒素については、最上流部を除いて、飲料水水源とし

て適する河川表流水基準 III 類以上を満たしていない。一方、ここ一年では、アンモニア濃度は表流水基準 II 類程度を満たしており水質改善が認められた。全リンについても、直近一年半では、ほぼどの地点でも表流水基準 III 類を満たすレベルとなっている。また、II 類を満たすレベルの頻度も増加している。浮遊物質 (Suspended Solid, SS) や有機物濃度に関しては、ここ一年ではそれほどの改善は認められない。

膜処理実験として孔径 0.1 m のセラミック膜の連続処理装置を深圳市内の浄水場に設置し、連続運転を開始した。凝集剤としてのポリ塩化アルミニウム (Polyaluminium Chloride, PAC) を使用し最適な添加濃度において、逆洗までのろ過継続時間を 2 時間として安定して運転できることが確認できた。今後は、水質項目として消毒副生成物生成能に焦点を当て、水質および安定運転の側面から評価を行っていく。

## H. 京大学堂グループ

水需要が急激に増加するベトナムダナン市において、生活用水の利用実態を把握するためのアンケート調査と用途別の水利用量調査を行った。アンケート調査では、現地スタッフとともに対面形式で実施し、世帯人数、所得等の社会的要因と、水源や利用機器、利用行動について 168 件のデータを得た。水利用量調査では、水量メータと水利用機器の容量および用途別の使用量を実測し 97 件のデータを得た。上記アンケート結果から水利用実態を検討し、生活スタイルの変化を考慮した 2025 年における生活用水量を 219,000 m<sup>3</sup>/日と推定した。さらに、農業用水量把握の農作物の種類、栽培期間、栽培面積、水源、水利用期間、頻度、農薬の利用、種類、量など農業用水について 60 件のアンケート調査を実施した。化学物質循環経路調査については、水環境での有機フッ素化合物類 (Perfluorochemicals, PFCs) の調査を 45 地点で実施した。さらにイオン交換樹脂によるペルフルオロオクタンスルホン酸 (Perfluorooctanesulfonate, PFOS)、ペルフルオロオクタン酸 (Perfluorooctanoic acid, PFOA) の吸着効果を明らかにした<sup>H-1)</sup>。さらに、京大環境質予見、東レ、メタウォーターグループの大津、沖縄における新しい水処理技術の開発での PFCs 分析を行い、その除去効果を検討した。

### §3. 成果発表等

#### (3-1) 原著論文発表

##### ●論文詳細情報

A-2. 花本征也, 山下尚之, 中田典秀, 杉下寛樹, 田中宏明 (2012) 流水保全水路と河川における医薬品類の減衰の比較, *環境工学研究論文集*, 49, 193-203.

A-3. Takashi Azuma, Norihide Nakada, Naoyuki Yamashita and Hiroaki Tanaka (2012) Synchronous Transition of Observed and Predicted Values of Anti-influenza drugs in Environmental Waters during a Seasonal Influenza Outbreak, *Environmental Science & Technology*, 46, 12873-12881. (DOI:10.1021/es303203c)

A-4. 尹水鐵、中田典秀、山下尚之、田中宏明 (2012) 下水処理場における N-ニトロソアミン類及びそれらの生成能の挙動, *土木学会論文集 G(環境)*, 68(7), 351-358.

B-1. 日下部武敏, 秋田泰典, 大谷壮介, 岡本高弘, 早川和秀, 清水芳久 (2012) 琵琶湖北湖表層における天然有機物 (NOM) の分解特性, *環境システム計測制御学会誌*, 17 (2/3), 102-111.

[Proceedings]

A-5. S. Hanamoto, N. Nakada, M. Yasojima, J. Zhang, N. Yamashita and H. Tanaka, Occurrence of Pharmaceuticals and Personal Care Products in Aquatic Environment around Shenzhen: Comparison of Shenzhen and Japan, *IWA World Water Congress & Exhibition*, Busan, Korea, 2012年9月17日

A-6. M. Ihara, M. Ohno, V. Kumar, M. Narumiya, S. Hanamoto, N. Nakada, N. Yamashita, S. Miyagawa, T. Iguchi, H. Tanaka, The Endocrine Disrupting Activity and Interspecies Sensitivity of Wastewater: Evaluation by Reporter Gene Assay using Estrogen Receptor- $\alpha$  Derived from Multi-species, *IWA World Water Congress & Exhibition*, Busan, Korea, 2012年9月17日

A-7. Suchul YOON, Norihide NAKADA, Naoyuki YAMASHITA, Hiroaki TANAKA, Occurrence and fate of N-nitrosamines and their formation potential in three WWTPs in Japan, *IWA World Water Congress & Exhibition*, Busan, Korea, 2012年9月18日

A-8. Hongyang Wang, Norihide Nakada, Michiko Aoki, Yasuhiro Kato, Hiroaki Tanaka, Ozonation pretreatment effect on reversible and irreversible fouling resistance during ceramic membrane filtrating secondary effluent, *IWA World Water Congress and Exhibition*, Busan, Korea, 2012 年 9 月 17 日

A-9. Masaru Ihara, Tatsuhiro Ueyama, Ilho Kim, Masashi Ogoshi, Shunsuke Nishimura, Ayako Miyamoto, Hiroaki Tanaka, Energy consumption in water and wastewater systems and energy saving by wastewater reclamation and reuse 2012 *IWA World water congress on Water, climate and energy*, ダブリン、アイルランド, 2012 年 5 月 15 日

A-10. Hongyang Wang, Naoya Wada, Norihide Nakada, Michiko Aoki, Yasuhiro Kato, Hiroaki Tanaka Removal of pharmaceuticals and personal care products from secondary effluent by coagulation and ceramic membrane filtration combination process with ozonation pretreatment, *21st KAIST-KU-NTU-NUS Symposium*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2012 年 7 月 13 日

A-11. SunTae LEE, Naoyuki YAMASHITA, Hiroaki TANAKA, Kentaro KOBAYASHI, Hiroaki TANAKA, Hiroo TAKABATAKE, Virus removal by ultrafiltration with coagulation process considering the pH for creation of wastewater reuse system, *3rd IWA Regional Conference in Membrane Technology*, Buenos Aires, Argentina, 2012 年 12 月 3 日

A-12. Hongyang Wang, Naoya Wada, Dongbum Im, Norihide Nakada, Michiko Aoki, Yasuhiro Kato, HiroakiTanaka, Performance of ceramic membrane filtration with coagulation pretreatment for pharmaceuticals and personal care products and MS2 phage removal from secondary effluent, *3rd IWA Regional Conference in Membrane Technology*, Buenos Aires, Argentina, 2012 年 12 月 3 日

A-13. Seiya Hanamoto, Tsukawa Kawakami, Norihide Nakada, Naoyuki Yamashita, Hiroaki Tanaka, Photolysis and toxicity changes of pharmaceuticals during the river transport, *Environmental Health 2013*, Boston, USA, 2013 年 3 月 7 日

A-14. Hongyang Wang, Dongbum Im, Aki Itou, Norihide Nakada, Naoya Wada, Michiko Aoki, Yasuhiro Kato, HiroakiTanaka, 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, 2013.05.06

A-15. 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, 2013.05.06

H-1. P. Chularueangakorn, S. Tanaka, S. Fujii, C. Kunacheva, D.Q. Hung, Y. Suzuki, Adsorption of Perfluorooctane Sulphonate and Perfluorooctanoic Acid onto Anion-exchange Resins by Batch Experiment, *8th IWA World Water Congress & Exhibition*, Busan, Korea, 2012 年 9 月 1 日

**(3-2) 知財出願**

① 平成 24 年度特許出願件数(国内 3 件、海外 0 件)

② CREST 研究期間累積件数(国内 4 件、海外 0 件)