

戦略的国際科学技術協力推進事業（日本－中国 研究交流）

1. 研究課題名：「健全な水リサイクルシステム設計のための下排水処理の特性解析と最適操作」

2. 研究期間：平成21年 4月～平成24年3月

3. 支援額： 総額 19,000,000 円

4. 主な参加研究者名：

日本側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	藤江幸一	横浜国立大学安心・安全の科学研究教育センター	センター長・教授
研究者	亀屋隆志	横浜国立大学大学院環境情報研究院	准教授
研究者	小林 剛	同上	准教授
研究者	丹 雅史	同上・大学院環境情報学府	博士課程前期
研究者	永島佳奈	同上	同上
研究者	橘 隆一	東京農業大学	助教
参加研究者 のべ 6 名			

中国側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	楊敏	中国科学院生態環境研究中心	教授
研究者	張 昱	同上	准教授
研究者	高迎新	同上	准教授
研究者	齊 嵘	同上	助教授
研究者	李 棟	同上	助教授
研究者	胡洪营	清華大学・環境学院	教授
参加研究者 のべ 6 名			

5. 研究・交流の目的

本研究は、持続可能社会に資する健全な水システムを実現するために、排水処理におけるエネルギー消費と処理水の水質に着目して下水処理場の解析を実施し、その結果に基づいて下水処理プロセスの最適操作のための情報・知見を集積することを目的としてきた。具体的には、下水処理における水質評価および化学物質等によるリスク管理手法の確立、水質とエネルギー消費に着目した下水処理の性能評価と改善手法の提案、活性汚泥プロセスにおける微生物群集動態解析を行い、低コストで安全なリサイクル水を供給できるシステム実現の手法を日中が連携して確立することである。

加えて、本事業による日中間での交流を通して、特に水資源の不足が喫緊の課題となっている北京市を中心とした中国北東部において、利用用途に適合した適切な水質の水資源を少ないエネルギー消費で供給できる健全な水リサイクルシステム設計に貢献できる研究の進展に加えて、我が国においても、若手研究者を巻き込んだ日中間の研究交流の促進を通して、限られた水資源の有効利用に有益な知見を提供することである。

6. 研究・交流の成果

6-1 研究の成果

●「新しい知の創造/画期的な科学技術の進展/新分野の開拓」の観点から

この事業では、以下の4サブテーマを設定して日中間が連携して研究を推進してきた。研究の成果は以下のおとりである。

・**下水処理過程における遺伝毒性・生態毒性の低減効果の実態把握**：下水処理過程における遺伝毒性および生態毒性の変化について、前者はumu試験、後者は藻類増殖阻害試験(GIT)および甲殻類遊泳阻害試験(AIT)をそれぞれ適用して下水処理施設において調査を行った。活性汚泥プロセスによる有機汚濁物質除去は甲殻類遊泳阻害の低減のみに効果があること、消毒を目的に導入されている紫外線照射(UV)については遺伝毒性、生態毒性ともに顕著な低減効果が見られないこと、塩素処理は副生物によって生態毒性の上昇をもたらす場合があることを明らかにするとともに、オゾン処理は通常の運転条件で両毒性の低減効果があることを明らかにできた。

・**遺伝毒性・生態毒性を効率的に低減する処理方式と最適な処理条件の探索**：下水処理水に対してUV照射、塩素酸化およびオゾン酸化について標準的運転条件を大幅に拡大したラボ試験を実施し、運転条件と毒性低減効果の関係に加えて、エネルギー消費と毒性低減効果についての検討を行い、UV照射および塩素添加の増加が生態毒性の上昇をもたらすこと、オゾン注入は標準的な量で充分であることなどを確認できた。フミン酸やアンモニアなどの共存物質は塩素処理における遺伝毒性の低減を阻害することを示した。

・**排水処理における省エネルギー実現に向けた酸素溶解性能の解析と酸素消費速度の評価**：我が国では下水1m³の処理に約0.8~0.9kWhの電力を消費しており、活性汚泥への酸素供給のためのエアレーションがその最も大きな割合を占めている。北京市の清河下水処理場と北小河下水処理場を対象として、活性汚泥プロセスのエアレーションタンクにおける実測に基づいて酸素溶解性能と酸素消費速度の評価を行った。エアレーション排ガス中の酸素および二酸化炭素のモル分率に加えて混合液(MLSS)中の溶存酸素濃度を同時に測定することによって、エアレーションタンクの散気性能指標を決定し、他の下水処理場での酸素溶解性能との直接比較を行った。清河処理場での酸素利用効率は15%と我が国での値と同等であったが、散気装置がことなる北小河処理場ではより低い値となった。この方法により酸素消費速度をリアルタイムでとらえ、汚濁負荷量と酸素消費量、窒素・リン除去性能と酸素消費量、プロセスの運転制御方式による酸素消費量への影響などについて引き続き解析を行っている。高度処理を目的に導入されている好気・嫌気繰り返し(A₂O)法における汚濁物質除去性能と酸素消費量の関係解析にも展開している。

・**下水処理水放流による公共用水域へのインパクト評価**：放流された下水処理水が流量の多くを占める都市河川において、水中に生息する多様な微生物の量と群集構造の変化を定量化する指標としてキノプロファイル法を採用し、その流入による微生物の量と群集構造の変化を追跡したところ、1) 窒素除去を目的として好気・嫌気を繰り返す下水処理場からの処理水には嫌気呼吸を行う微生物群の優占キノン種であるメナキノン(MK)が多く検出される、2) 下水処理水が大量に流入する河川では溶存酸素濃度が減少して嫌気状態になるために好気性微生物の優占キノン種であるユビキノン(UQ)に対してMKの割合が著しく大きくなる、3) その下流域では下水処理水に含まれる窒素・リンを栄養源とした光合成による藻類の増殖が進行し、光合成微生物の優占キノン種であるビタミンK1(VK1)やプラストキノン(PQ)の増加が顕著になることが明らかにすることができた。

・**水需給に基づく健全な水リサイクルシステム構築のための手法の確立**：家庭における水利用の実態と水リサイクル水利用の可能性についての聞き取りによる調査を北京市海淀区(北西部の文教地区)で日中共同で実施するとともに、北京市全域での水収支の解析、水リサイクルの実態について調査を行った。この調査結果をもとに下水処理率と水リサイクル率の上昇によって、北京市内での水収支がどのように変化するかについて予測を行い、上記の調査結果とともに公表することができた。

●「相手国との協力による研究への相乗効果」の観点から

・海外の実情とニーズの把握に基づいた研究目的の明確化と協力体制の確立：「人口一人当たりの年間最大利用可能水資源量」が 1000m³/人・年を下回る水ストレスが高い地域である日本の大都市圏や中国の沿海部ではリサイクルによる水資源量の有効活用が強く求められている。共通の課題を抱える両国の研究者の連携による当研究の成果に対して、関係機関や企業等からの期待が大きい。同時に、下水処理場での実験や水資源・水環境に関する情報の収集など、両国での研究を実施する上で協力を得やすい環境であった。

・研究手法の相互補完と研究実施サイトの確保による研究の進捗：中国科学院生態環境研究中心では、未知物質を含む排水を受け入れる下水処理場の放流水水質について安全性試験を実施していたこと、日本側は下水処理水の高度処理と遺伝毒性と生態毒性による水質評価に取り組んでいたことにより相互補完が実現した。加えて、中国側では下水処理場や行政機関等との連携を推進していたことから、下水処理場や再生水工場などの実験サイトを北京市内で容易に確保することができた。

●「当該研究の今後の展開見込、社会への波及効果」の観点から

・リサイクル水の水質評価について：流入下水や下水処理水に微量に含まれる農薬をはじめ有害化学物質を逐一定量分析することは労力とコストの観点から非常に困難であり、本事業で採用した遺伝毒性と生態毒性を指標とした水質評価方法を高度処理実施後の水質評価に適用し、水質に関して明確な結果を得ることができたことで、水リサイクルを行う場合の水処理方式の選択および用途に適合した水質を確認するため評価指標として大きな関心を集めるものと判断している。

・リサイクル水製造におけるエネルギー消費削減：下水処理の省エネルギー化を推進する方策は中国側の高い関心事であり、我が国の水産業に支援の要請が来ていることから、特にエアレーションの効率化や運転方式による酸素消費量の違いなどについて、中国側での成果の活用が進むものと判断している。

・下水処理水の河川生態系への影響評価：キノンプロファイル法によって、水中に生息する微生物群集に対する下水道放流水の影響を明らかにできた。BOD、窒素、リンなどの従来の水質指標とは異なる観点から、水域生態系へのインパクトを把握する新たな指標としての可能性を提示できた。

6-2 人的交流の成果

・当事業では、水環境分野で著しい活躍をしている帰国留学生、すなわち我が国に留学し学位を取得後帰国して教育研究職に就いている留学生、との強力な連携によって実施してきた。中国側メンバーには帰国留学生によって育成された若手研究者が多数参画しており、当グループの若手との連携を通して、次の研究交流を担う若手研究者の育成とネットワークの強化、相互の往復による交流の促進に貢献できたものと判断している。加えて、双方ともに大学院生を参画させたことで、両国の水資源・水環境や研究環境についての相互理解など就職後の活動にプラス効果をもたらすものと期待される。

・当事業の成果を中国国内へ情報発信するプラットフォームとして、日中水環境シンポジウムを活用した。（公益社団法人）日本水環境学会と中国環境科学学会は平成9年に連携交流協定を締結し、以来、北京、上海、昆明、青島、桂林、西安、深セン、蘇州において10回の日中水環境シンポジウムを開催してきた（日本側代表：藤江幸一、中国側代表：胡洪营（清華大学））。中国側学会の強い協力を得て、このシンポジウムの第6回～第10回を戦略的国際科学技術協力推進事業（日本－中国研究交流）の成果報告の場とすることができた。当事業の他グループ（味埜教授グループ（東京大学）、原田教授グループ（東北大学）、迫田教授グループ（東京大学）にも参加を要請し、それぞれの研究成果発表を実施していただいた。中国各地で開催の日中間シンポジウムと連携したことにより情報発信の対象者が大幅に増加し、シンポジウムに参加した研究者間でのネットワークの拡大、日本側参加者による各地での水環境・水資源等に関する状況把握にも大きく貢献できた。このシンポジ

ウムには日本側の産業界や中国側の行政担当者も参加しており、日中の産官学による交流の促進にも貢献できた。

・両国間の交流促進には人的ネットワークの構築と維持が欠かせない。前述した日中水環境シンポジウムが契機となり日本水環境学会では JSTAGE を活用した英文電子ジャーナル (<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jwet>) を創刊し、アジア各国とのシンポジウム論文を優先的に掲載する体制を整えており、本事業をはじめ日中間での共同研究の推進や成果発表のインセンティブとなっている。

・水リサイクルは日中間での共通の課題であり、我が国がこの分野での研究や技術開発をリードしていることから、水処理、水質評価、水環境への影響評価、省エネルギー化など水リサイクルシステム構築に向けた両国での実践的な研究者の育成と人的交流に貢献できたと判断している。

7. 主な論文発表・特許等（5件以内）

相手国側との共著論文については、その旨を備考欄にご記載ください。

論文 or 特許	・論文の場合： 著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 ・特許の場合： 知的財産権の種類、発明等の名称、出願国、出願日、 出願番号、出願人、発明者等	備考
論文	Takashi KAMEYA, Kotaro YAMAZAKI, Takeshi KOBAYASHI and Koichi FUJIE, Ecological Assessment of Water Quality by Three-species Acute Toxicity Test and GC/MS Analysis—A Case Study of Agricultural Drain—, Journal of Water and Environment Technology, 8, (3), 223–230 (2010)	
論文	Muhammad Hanif , Yoichi Atsuta , Koichi Fujie , Hiroyuki Daimon, Supercritical fluid extraction of microbial phospholipid fatty acids from activated sludge, Journal of Chromatography A,1217,6704–6708(2010)	
論文	Takashi Kameya, Takumi Nagato, Kouichi Nakagawa, Daisuke Yamashita, Takeshi Kobayashi and Koichi Fujie, Quantification of umu Genotoxicity Level of Urban River Water, Water Science & Technology, 63,(3),410–415 (2011)	
論文	Ryuichi TACHIBANA, Hirokazu KURAHASHI, Rong QI, Wei AN, Min YANG, Koichi FUJIE, An Analysis of Domestic Water Demand Structure and Water Recycling in Beijing, Journal of Water and Environment Technology, 9,(2),129–140 (2011)	
論文	Muhammad Hanif, Yoichi Atsuta, Koichi Fujie and Hiroyuki Daimon, Supercritical Fluid Extraction and Ultra Performance Liquid Chromatography of Respiratory Quinones for Microbial Community Analysis in Environmental and Biological Samples, Molecules, 17, 2628 – 2642 (2012)	