

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

「水循環の基盤となる革新的水処理システム
の創出」

研究終了報告書

研究期間 平成21年10月～平成25年3月

研究代表者：岡部 聡
(国立大学法人北海道大学
大学院工学研究院、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. 研究構想

1. 当初の研究構想
2. 新たに追加・修正など変更した研究構想

§ 3. 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

§ 4. 研究実施内容及び成果

1. 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))(北海道大学+大阪市水道局+阪神水道企業団)【研究項目(1-1)】
2. 膜ろ過による下廃水処理の革新(革新的な省エネ・省スペース型膜分離活性汚泥法(MBR)の開発)(北海道大学+メタウォーター)【研究項目(1-2-1)】
 - 2-1. 局所曝気装置の開発
 - 2-2. 担体投入型 MBR の開発
 - 2-3. 低ファウリングセラミック膜の開発
 - 2-4. MBR 膜ファウリングの発生と連動して変化する水質
3. 膜ろ過による下廃水処理の革新(MBR における窒素除去の高効率化)(北海道大学+セント大学)【研究項目(1-2-2)】
4. 膜ファウリング機構の解明とその制御(北海道大学+メタウォーター)【研究項目(1-3)】
5. MBR 余剰汚泥からのエネルギーの回収(北海道大学グループ)【研究項目(1-4)】
6. トキシコゲノミクスを用いた多指標型バイオアッセイの開発:北海道大学【研究項目(2-1)】
7. 腸管系ウイルスの新たな検出方法および感染性評価手法の開発:北海道大学【研究項目(2-2)】
8. 宿主特異的 16S rRNA 遺伝子マーカーによる水系汚染の評価:北海道大学【研究項目(2-3)】
9. ナノマテリアルを用いた重金属センサーの開発:北海道大学【研究項目(2-4)】

§ 5. 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)その他の知的財産権

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

§ 6. 研究期間中の活動(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)

§ 1 研究実施の概要

1. 実施概要

本研究の目標は、安心安全な水供給の持続可能性を向上させるため、従来のような一過型の水利用から脱却し、多様な水資源の有効活用を可能とする自律・分散型水循環システムを実現させることである。本研究では、その実現に必須である自律・分散型の先端的水処理技術の開発、及び水の安全性評価・管理手法の開発を行った。

「要素研究－1:膜分離技術を核とした先端的水処理システムの開発」においては、次の通り、研究項目 1-1～1-4 を実施した。

「研究項目 1-1：膜ろ過による浄水処理技術の革新(生物高速ろ過＋凝集＋MF (Microfiltration)ろ過(セラミック膜及び PTFE (polytetrafluoroethylene)膜))」では、大阪市水道局柴島浄水場に設置した浸漬型 PTFE 膜およ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(以下、それぞれを浸漬型およびケーシング型という)実証装置により、水量 25 m³/d で実証実験を実施した。同一の条件にて運転したケーシング型セラミック膜については、当該システムが中～高水温期において長期間安定的に運転可能であることを確認した。また、これまでケーシング型セラミック膜に比べ薬品使用量を低減した条件で運転してきた浸漬型 PTFE 膜については、ケーシング型セラミック膜と同じ薬品注入条件とすると、ケーシング型セラミック膜と同様、オゾン処理と活性炭処理による高度浄水処理と同等の水処理性能が得られることを確認した。さらに、原水水質変動時を想定し、PFOA (perfluorooctanoic acid)を原水に添加した実験においてもケーシング型、浸漬型ともに高度浄水処理水と比較して同等以上の除去率が得られることを確認した。また、平成 24 年度夏場に発生した淀川上流域における集中豪雨による約 2,200 度の高濁度原水に対しても、安定的に運転可能であった。

「研究項目 1-2：膜ろ過による下廃水処理の革新(革新的な省エネ・省スペース型膜分離活性汚泥法(以下 MBR)の開発)」では、「直接吹き込み装置」及び「省エネ型超小型微細気泡発生装置」を新たに開発し、MBR の曝気エネルギー低減効果の定量的評価を行った他、「膜閉塞成分の分析」及び「代謝物質の解析」に関する研究を行った。その結果、直接吹き込み装置を用いることで従来型と比べ 30%程度の曝気風量削減が可能であることが示された。さらに、膜ファウリングを引き起こす多糖構造の一部を同定することに成功した。省エネ型超小型微細気泡発生装置についても曝気風量削減が可能であるうえ、細胞外ポリマーの生成が低減し膜ファウリングを抑制可能であることが明らかになった。

「研究項目 1-2：膜ろ過による下廃水処理の革新(MBR における窒素除去の高効率化)」では、無動力で好気部と無酸素部間の汚泥循環を行い、単一槽で硝化と脱窒を行う仕切板挿入型 MBR を開発すること、及び担体投入による膜洗浄の効率化を行った。仕切板挿入型 MBR により滞留時間 3 時間未満で処理水中の平均全窒素濃度が 5 mg/L 未満になるような運転が可能となった他、担体投入により曝気風量の削減が 50%程度可能であることが確認された。

「研究項目 1-3：膜ファウリング機構の解明とその制御(低ファウリング膜の開発)」では、槽外クロスフロー型 MBR に用いられるモノリス型セラミック膜に着目し、その性能向上を図った。その結果、タンパク質がセラミック膜において膜ファウリングに大きく寄与しており、膜間差圧の上昇に大きく影響を与えていた可能性が示唆される結果を得た他、改良膜においては酸による洗浄を実施することで差圧上昇速度を低減できる可能性が示唆された。以上の成果は、研究項目 1-2 と同様、膜ろ過による下廃水処理を実用化するための貴重な知見である。

「研究項目 1-4：MBR 余剰汚泥からのエネルギー回収」では、余剰汚泥からのエネルギー回収技法としてバイオ燃料電池(MFC)プロセスを採用し、MBR 余剰汚泥を植種源とする MFC の構築、発電過程に関与する菌叢の解明、関与する細菌群の分離・育種、更には得られた菌株を利用した MFC の高性能化(バイオオーグメンテーション)を検討した。その結果、複数の微生物の関与により嫌気消化の食物連鎖を短絡してエネルギー損失を低減できる可能性が示唆された他、MFC が炭酸ガス回収装置として機能しうること、及び MFC 槽内に細胞外電子運搬体が存在することを明らかにした。

「要素研究－2:病原微生物・微量有害化学物質のモニタリングと健康リスク評価」においては、次

の通り、研究項目 2-1～2-4 を実施した。

「研究項目 2-1：トキシコゲノミクスを用いた多指標型バイオアッセイの開発」では、DNA マイクロアレイ技術を用いたヒト遺伝子(群)の解析により、再生水の慢性毒性(変異原性や発癌性など)を含めた安全性を一括して評価できる多指標型バイオアッセイを開発し、再生水の評価・管理への導入の可能性を検討した。その結果、重金属毒性、発がん性及びヒ素毒性に関する遺伝子マーカーを選定し、定量 RT-PCR 法により遺伝子マーカーの発現量を定量することにより、再生水の安全性の定量的評価が可能となった。

「研究項目 2-2：腸管系ウイルスの新たな検出方法および感染性評価手法の開発」では、感染性ウイルス回収・定量技術の開発に取り組み、ウイルス外殻タンパク質上の酸化ストレスマーカー量に着目することで、サンプル中に含まれる感染能力を保持したウイルス粒子の割合を推定することが可能であることが確認された他、MBR によるノロウイルスの排除に寄与しうる細菌由来物質を発見することに成功した。

「研究項目 2-3：宿主特異的 16S rRNA 遺伝子マーカーによる水系汚染の評価」では、新たな糞便性汚染指標として、宿主動物毎に特異的に存在する *Bacteroides* 属の 16S rRNA 遺伝子配列(遺伝子マーカー)を提案し、遺伝子マーカーの迅速かつ正確な定量・モニタリング法の開発を行った。その結果、カモ、ニワトリ由来の *Bacteroides* 属に特異的な定量的 PCR アッセイを確立した他、内部標準法を確立することによって標的微生物の検出効率を評価する方法を確立した。また、多種類の病原微生物の同時直接検出手法を確立した。

「研究項目 2-4：ナノマテリアルを用いた重金属センサーの開発」では、重金属による環境汚染を迅速に検出するための蛍光分光法による新たな簡易分析法を開発することを目的とした。その結果、4 種類の重金属認識ナノマテリアルを新たに開発し、それらの重金属認識パターンを解析した。

2. 顕著な成果

(1) 優れた基礎研究としての成果

① 感染性ウイルス粒子の濃縮に活用可能な腸内細菌由来血液型決定抗原様物質を発見

概要: 本研究では、ある種の腸内細菌が血液型決定抗原様物質を細胞外に分泌していることを見出した。単離された腸内細菌 (*Enterobacter* sp. SENG-6) は、自らが分泌した血液型決定抗原様物質を介してノロウイルスを特異的に捕捉することが可能になった。本研究で発見された腸内細菌由来血液型決定抗原様物質は、環境サンプルからノロウイルスを回収・濃縮・検出する際のウイルス吸着材として使用可能である他、ノロウイルス感染に対する予防薬として活用できるものである。

② 新規ナノマテリアルを開発し、路面排水および工場排水中の重金属を測定することに成功

概要: 本研究では、オンサイト重金属分析システムを構築するため、特定の重金属を捕捉すると蛍光スペクトルが変化する重金属測定用蛍光色素を開発した。2種類の蛍光色素を開発したが、色素1は亜鉛イオンに、色素2はクロムイオンに特異的に応答することが明らかとなった。色素1および色素2はイオン認識部位のみが異なる、蛍光色素部分は同じ分子であるため、今後様々なイオン認識部位を開発すれば多種多様な重金属測定用蛍光色素を開発できることを明らかにした。

③ 人畜糞便汚染源の特定と定量に用いる病原微生物の同時検出・定量方法を確立

概要: マイクロ流体工学に基づく定量的PCR法を応用し、環境水試料から病原性大腸菌、サルモネラ、カンピロバクター、リステリア、レジオネラ、ウェルシュ菌、赤痢菌、腸炎ビブリオ、コレラ菌、ノロウイルスおよびプロセスコントロール株を同時に特異的に検出・定量する手法を確立した。環境試料から病原微生物を直接的に検出・定量できる本手法は、現行の糞便汚染指標菌による水系モニタリング法に代わりうる革新的なものである。

(2) 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果

① 超省エネタイプの仕切板挿入型MBRの開発

概要: 処理水量あたりのエネルギー消費量が大きいことから導入が進まないMBRを改良し、従来型MBRに対して50%程度のエネルギー消費量削減が見込める仕切板挿入型MBRを開発した。仕切板導入に伴って発生する槽内循環流を活用した担体導入による膜面洗浄の効果が高く、曝気量を少なくとも半減させられる見込みが得られた。曝気量の大幅な削減に加えて仕切板導入により栄養塩除去のための汚泥循環が不要になることの相乗効果により、仕切板挿入型MBRではエネルギー消費量を大きく削減することが可能となった。本研究で行った膜ファウリング原因多糖の構造解析の結果との相乗効果により、従前とは全く異なる膜ファウリング制御が可能になるとともに、新たな耐ファウリング膜の設計も視野に入る。本研究の成果は、現時点で限定された適用に留まっている膜処理のウィークポイントを解消し、膜処理導入へのハードルを一気に下げるものである。

② 環境水中の複数種病原微生物モニタリング手法の確立

概要: 水環境サンプル中から複数種の病原微生物を直接検出・定量する手法を開発した。環境水中から幅広い病原微生物を直接的に検出・定量することにより、現行の糞便汚染指標菌による間接的なリスク評価手法にとって代わりうる、新規水系モニタリングおよびリスク評価手法を確立することが可能である。本研究で開発した複数種病原微生物検出・定量手法を適用することにより、下水処理再生水、飲料水及び農業用水等、さまざまな水利用における迅速かつ正確な微生物リスクの評価が可能となることから、安全・安心な水環境の構築に大きく貢献できるものと期待される。

③ 細胞応答に基づく全排水毒性評価手法の確立

概要: 細胞応答に基づく全排水の毒性評価方法を確立した。本手法は、動物実験に代わってヒトの遺伝子発現変化で毒性の有無やメカニズムを鋭敏に検出、予測できる多指標型バイオアッセイで

あり、究極の水循環シナリオである下水再生水の直接（または間接）飲用を考えた場合、どのような下水再生処理プロセスをどのような浄水処理プロセスと組み合わせ、どのレベルまで下水を再生（処理）すれば、ヒトの健康に影響を及ぼさないと科学的に言えるのか？ という難問に、遺伝子応答レベルで極めて鋭敏かつ迅速に答えを出すことが可能となる。

§ 2. 研究構想

1. 当初の研究構想

地球温暖化など気候変動による海面上昇や局地的な洪水の発生、加えて産業発展、都市化、人口増加などの影響から世界的な水不足や水質・水源汚染が進行している。このような状況下においても、国内外における水に対する安全安心の高まり、水の安定的供給、水質規制強化、循環型水利用の促進が強く求められている。安心安全な水供給の持続可能性を向上させるためには、従来のような一過型の水利用から脱却し、多様な水資源を有効活用することを可能にする自律・分散型の水循環システムを構築することが重要である。システム構築の鍵は、水の量的管理から質的管理への転換である。水消費速度が自然水循環速度を上回る今日では、飲用水系と非飲用水系などそれぞれの用途に応じた水質の水を使い分けると同時に、不足分は下・廃水の再利用で対応する新しい水循環システムの構築が必要不可欠である。これまでは、自律・分散型の水循環システムを都市内において具現化するための手段が存在しなかったため、主に処理上のスケールメリットを追求した一極集中型の水循環システムが形成されるに至った。しかしながら、現在、自律・分散型の水循環システムを具現化する技術が登場してきた。すなわち、「膜分離技術」と「バイオテクノロジー」である。これらの新しい技術を基盤技術として積極的に活用・融合し、新しい水循環システムの構築および得られる処理水（再生水）の迅速かつ正確な安全性評価法の開発・整備が重要である。

本研究の目標は、安心安全な水供給の持続可能性を向上させるため、従来のような一過型の水利用から脱却し、多様な水資源を有効活用する自律・分散型の水循環システムを実現させることである。本研究では、実現に必須である自律・分散型の先端的水処理技術の開発、および水の安全性評価・管理手法の開発を行う。先端的水処理技術の開発に関しては、原水水質や目的に応じて、膜分離プロセスと既存の各種水処理プロセスを組合せ、処理の高度化と高効率化を達成する。また、水の安全性評価・管理手法の開発に関しては、微量汚染化学物質リスクと病原微生物（ウイルス、細菌）リスクを対象とし、トキシコゲノミクスを用いた新規多指標型毒性評価法の開発や腸管系ウイルスの感染性評価法の確立を目指した。

提案する水循環システムが構築されれば、総需要中の大部分を占める非飲用系の用水には、高度な下・廃水処理水の貯留によって都市近傍に創出した新たな水源を用い、飲料用系の用水には河川上流部や地下水などの清澄な水源を用いて精密な浄水処理をして供給する新しい都市水循環システムの構築が可能となる。また、小規模分散型の水処理技術を基盤とする本水循環システムのコンセプトは、先進国の都市にのみ適用されるものではなく、開発途上国のように、これから社会基盤施設が整備される地域にも適用可能と予想される。このため、実証実験による水循環システムの安全性、妥当性などの検討結果は、社会基盤施設整備計画の意思決定に大きなインパクトを与え、パラダイムシフトの絶好の機会となると考えた。

以上の目標を達成するために、自律・分散型の先端的水処理技術の開発、および水の安全性評価・管理手法の開発を行う 2 つの要素研究グループ：I. 膜分離技術を核とした先端的水処理システムの開発（要素研究-1）及び II. 水の新規安全性評価・管理手法の開発（要素研究-2）を構成し研究を行った。

なお、当初の研究期間は平成 21 年 10 月～平成 27 年 3 月であったが、研究代表者である岡部聡が平成 25 年 3 月末をもって研究代表者を辞任することとなった。平成 25 年 4 月～平成 26 年 3 月の期間は「研究保全活動期間」として、木村克輝が保全活動代表者となった。

2. 新たに追加・修正など変更した研究構想

(1) 中間評価で受けた指摘や助言、それを踏まえて対応した結果について

中間評価において、研究成果の普及や類似の目標を持つ研究グループとの交流の場が十分でないとの指摘を受けた。そこで 2013 年 2 月 26 日に東京・秋葉原で研究グループ外からの講師をお招きして公開シンポジウムを開催し、成果の公表や関連技術を扱って

る他の研究チームとの連携を積極的に図った。

(2) 中間報告書 § 2. 当初の研究計画に対する進捗状況「2. 今後の進め方、および研究成果の見通し」の記載事項に関し、研究を進めた結果について

中間報告書においては、研究全体の進捗が順調であるとの評価を得た。その後の研究成果を考慮し、「要素研究 1: 膜分離技術を核とした先端的水処理システムの開発」に関する研究では、平成 25 年度までの研究計画を、「要素研究 2: 水の新規安全性評価・管理手法の開発」に関する研究では、平成 24 年度までの研究計画は達成できた。

(3) 上記 (1) (2) 以外で生まれた新たな展開について

「研究項目 1-2: 膜ろ過による下廃水処理の革新(革新的な省エネ・省スペース型膜分離活性汚泥法(MBR)の開発)」において、更なるエネルギー消費の削減を目的として、平成 23 年度より以下の研究項目を追加した。

①新規な省エネ型超小型微細気泡発生装置の開発

また、「研究項目 2-3: 宿主特異的 16S rRNA 遺伝子マーカーによる水系汚染の評価」において、多種類の病原性微生物の同時直接検出を目的として、平成 24 年度より以下の研究項目を追加した。

①複数病原性細菌・ウイルスの同時定量手法の開発

②環境水サンプルから病原体を特異的に検出・分離する手法の開発

§3 研究実施体制

1. 研究チームの体制について

(1) 北海道大学「水の安全性評価」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
岡部 聡	北海道大学	教授	H21.10～H25.3
船水 尚行	北海道大学	教授	H21.10～H25.3
佐野 大輔	北海道大学	准教授	H21.10～H25.3
石井 聡	北海道大学	助教	H23.4～H25.3
松下 拓	北海道大学	准教授	H21.10～H25.3
加藤 毅	群馬大学	准教授	H24.4～H25.3
伊藤 司	群馬大学	准教授	H22.10～H25.3
渡部 徹	山形大学	准教授	H23.4～H25.3
松井 佳彦	北海道大学	教授	H21.10～H25.3
大野 浩一	北海道大学	助教	H21.10～H22.6
押木 守	北海道大学	博士研究員	H22.1～H25.3
三浦 尚行	北海道大学	博士研究員	H22.4～H25.3
田代 陽介	北海道大学	博士研究員	H22.4～H25.3
福島 寿和	北海道大学	博士研究員	H23.10～H25.3
シェイク カジャ ラティーフ	北海道大学	博士研究員	H23.1～H23.3
水流 俊江	北海道大学	研究補助員	H21.11～H26.3
野町 理恵	北海道大学	研究補助員	H22.4～H26.3
平野 麗子	北海道大学	研究補助員	H24.4～H26.3
木村 善一郎	北海道大学	研究補助員	H21.10～H25.3
山村 宏江	北海道大学	研究補助員	H22.10～H25.3
小林 彩乃	北海道大学	研究補助員	H21.10～H25.3
大野 浩一	北海道大学	助教	H21.10～H22.6
メイ ティティワット	北海道大学	博士研究員	H21.10～H23.8
木村 善一郎	北海道大学	博士課程学生	H21.10～H25.3
宋 延軍	北海道大学	博士課程学生	H22.10～H25.3
山村 宏江	北海道大学	博士課程学生	H22.10～H25.3
小林 彩乃	北海道大学	博士課程学生	H21.10～H25.3
モハメッド アリ	北海道大学	博士課程学生	H24.4～H25.3
石崎 創	北海道大学	博士課程学生	H23.4～H25.3
小澤 就志	北海道大学	修士課程学生	H24.4～H25.3
吉村 岳	北海道大学	修士課程学生	H24.4～H25.3
中島 弘司	北海道大学	修士課程学生	H24.4～H25.3
井川 裕介	北海道大学	修士課程学生	H25.4～H25.3
太田 崇智	北海道大学	修士課程学生	H25.4～H25.3
上海 一輝	北海道大学	修士課程学生	H25.4～H25.3
寺田 浩太郎	北海道大学	修士課程学生	H25.4～H25.3
水戸 佳祐	北海道大学	修士課程学生	H25.4～H25.3
鶴田 研二	北海道大学	修士課程学生	H21.10～H23.3
吉永 卓史	北海道大学	修士課程学生	H21.10～H23.3
伊藤 皓亮	北海道大学	修士課程学生	H21.10～H23.3
柿沼 建至	北海道大学	修士課程学生	H21.10～H23.3

新家子 香織	北海道大学	修士課程学生	H21.10～H23.3
畑 洋次	北海道大学	修士課程学生	H21.10～H23.3
藤木 一到	北海道大学	修士課程学生	H21.10～H23.3
増田 竹広	北海道大学	修士課程学生	H21.10～H22.9
松崎 高史	北海道大学	修士課程学生	H21.10～H23.3
林 健太	北海道大学	修士課程学生	H21.10～H24.3
末永 敦士	北海道大学	修士課程学生	H21.10～H24.3
東條 一樹	北海道大学	修士課程学生	H21.10～H24.3
堤 篤大	北海道大学	修士課程学生	H23.4～H25.3
榮田 弘明	北海道大学	修士課程学生	H23.4～H25.3
田澤 恵	北海道大学	修士課程学生	H23.4～H25.3
吉田 圭太郎	北海道大学	修士課程学生	H23.4～H25.3
山田 雪絵	北海道大学	修士課程学生	H23.4～H25.3
平泉 晴菜	北海道大学	修士課程学生	H23.4～H25.3
大谷 美帆	北海道大学	修士課程学生	H24.4～H25.3
アマラシリ カラヘ パンディサ コララ ゲ モハン	北海道大学	修士課程学生	H24.10～H25.3
タン リー チュア	北海道大学	修士課程学生	H24.10～H25.3
ザン レイ	北海道大学	修士課程学生	H24.10～H25.3

研究項目:病原微生物・微量化学物質のモニタリングと健康リスク評価手法の開発

(2)北海道大学「膜処理」グループ
研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
木村 克輝	北海道大学	准教授	H21.10～H26.3
高橋 正宏	北海道大学	教授	H21.10～H25.3
佐藤 久	北海道大学	准教授	H21.10～H25.3
羽深 昭	北海道大学	博士課程学生	H21.10～H25.3
栗田 宗大	北海道大学	博士課程学生	H23.4～H25.3
吉川 弘晃	北海道大学	修士課程学生	H24.4～H25.3
谷内 翔	北海道大学	修士課程学生	H24.4～H25.3
坂楨 有紀恵	北海道大学	修士課程学生	H24.4～H25.3
田中 健	北海道大学	修士課程学生	H24.4～H25.3
永井 悠平	北海道大学	修士課程学生	H24.4～H25.3
吉本 みどり	北海道大学	修士課程学生	H24.4～H25.3
永井 悠平	北海道大学	修士課程学生	H24.4～H25.3
田中 一平	北海道大学	修士課程学生	H21.10～H23.3
山寺 瑞人	北海道大学	修士課程学生	H21.10～H23.3
渡辺 江梨	北海道大学	修士課程学生	H21.10～H23.3
橋本 悠司	北海道大学	修士課程学生	H21.10～H22.3
宮川 浩樹	北海道大学	修士課程学生	H21.10～H22.3
谷山 拓生	北海道大学	修士課程学生	H21.10～H24.3
菅藤 亮輔	北海道大学	修士課程学生	H23.4～H25.3
安井 信人	北海道大学	修士課程学生	H23.4～H25.3
大橋 威哉	北海道大学	修士課程学生	H23.4～H25.3

田村 尚也	北海道大学	修士課程学生	H23.4～H25.3
宮崎 悠爾	北海道大学	修士課程学生	H24.4～H25.3
竹田 絵里	北海道大学	研究補助員	H22.4～H23.3
安藤 菜子	北海道大学	修士課程学生	H25.4～H26.3
岡崎 紗彩	北海道大学	修士課程学生	H25.4～H26.3
山口 大輝	北海道大学	修士課程学生	H25.4～H26.3
大屋 光平	北海道大学	修士課程学生	H25.4～H26.3
山田 健太	北海道大学	修士課程学生	H25.4～H26.3

研究項目:膜分離技術を核とした先端的水処理システムの開発

・

(3)「大阪市水道局」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
山崎 弘太郎	大阪市水道局	工務部長	H24.4～H26.3
川内 武彦	大阪市水道局	柴島浄水場長	H24.4～H26.3
近藤 才寛	大阪市水道局	技術調査担当係長	H24.4～H26.3
北野 陽一郎	大阪市水道局	浄水技術担当係長	H24.4～H26.3
早川 生馬	大阪市水道局	係員	H21.10～H26.3
小林 芳宏	大阪市水道局	係員	H24.5～H26.3
三好 礼子	大阪市水道局	係員	H24.5～H26.3
三輪 雅幸	大阪市水道局	研究主幹	H22.5～H26.3
平林 達也	大阪市水道局	調査担当係長	H23.5～H26.3
益崎 大輔	大阪市水道局	係員	H22.5～H26.3
河谷 幸生	大阪市水道局	工務部長	H21.10～H23.3
枝 雅克	大阪市水道局	浄水統括担当部長	H21.10～H22.3
宮山 佳彦	大阪市水道局	技術監兼浄水場長	H21.10～H24.3
原 正之	大阪市水道局	技術調査担当係長	H21.10～H23.4
唐谷 栄起	大阪市水道局	水質保全担当係長	H21.10～H24.3
木村 昭博	大阪市水道局	係員	H21.10～H23.4
小松 良光	大阪市水道局	係員	H21.10～H24.4
北本 靖子	大阪市水道局	係員	H21.10～H22.4
林 広宣	大阪市水道局	係員	H22.5～H23.3
西村 博之	大阪市水道局	浄水技術担当係長	H23.1～H23.3
山野 一弥	大阪市水道局	工務部長	H22.4～H24.3
宮内 潔	大阪市水道局	浄水統括担当部長	H22.4～H24.3
田中 尚	大阪市水道局	計画課長	H23.4～H24.3
喜多 信代	大阪市水道局	係員	H23.5～H24.3
内橋 慶隆	大阪市水道局	係員	H22.5～H24.3
宮山 佳彦	大阪市水道局	技術監兼浄水場長	H21.10～H24.3
田川 克弘	大阪市水道局	浄水技術担当係長	H23.4～H24.3
横山 幸秀	大阪市水道局	係員	H23.5～H24.4

研究項目:膜ろ過による浄水処理技術の革新(高速生物ろ過+凝集+MF膜ろ過(セラミック膜及びPTFE膜)システムの開発)

(4)「阪神水企業団」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
小林 健一	阪神水道企業団	技術部長	H21.10～H26.3
花元 隆司	阪神水道企業団	浄水管理課長	H21.10～H26.3
長塩 大司	阪神水道企業団	工務課長	H21.10～H26.3
大谷 真巳	阪神水道企業団	主査	H21.10～H26.3
藤原 淳	阪神水道企業団	主査	H21.10～H24.3
津田 巖	阪神水道企業団	係員	H21.10～H26.3
道下 健二	阪神水道企業団	係員	H21.10～H26.3
清水 勇治	阪神水道企業団	係員	H21.10～H24.3
厩橋 哲也	阪神水道企業団	係員	H21.10～H23.3
宗像 伸明	阪神水道企業団	係員	H21.10～H26.3
小林 正継	阪神水道企業団	係員	H23.4～H26.3
長谷川 晃	阪神水道企業団	係員	H24.4～H26.3

研究項目:膜ろ過による浄水処理技術の革新(高速生物ろ過+凝集+MF膜ろ過(セラミック膜及びPTFE膜)システムの開発)

(5)「メタウォーター(株)」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
大和 信大	メタウォーター(株)	研究員	H21.10～H26.3

研究項目:膜ろ過による下廃水処理の革新(低ファウリングセラミック膜の開発)

(6)「アントワープ大学」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
Ingmar Nopens	アントワープ大学	准教授	H25.4～H26.3
Thomas Maere	アントワープ大学	博士研究員	H25.4～H26.3

研究項目:膜ろ過による下廃水処理の革新(MBRにおける窒素除去の高効率化)

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

特になし。

§ 4 研究実施内容及び成果

1. 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))(北海道大学+大阪市水道局+阪神水道企業団)【研究項目(1-1)】

(1) 研究のねらい

凝集沈澱・砂ろ過システムにオゾン処理や活性炭処理を導入した高度浄水処理により、かび臭物質や消毒副生成物前駆物質、農薬などの微量有機物を分解するとともに、クリプトスポリジウム等の病原性微生物を不活化するなど、水道水質の安全性・信頼性は飛躍的に向上した。しかし、オゾン処理の副生成物である臭素酸イオンの問題や、未規制有害化学物質への対応、さらには市民の健康意識の高まりやカルキ臭への不快感といったおいしい水に対するニーズの向上など、昨今の水道水質を取り巻く環境は刻々と変化している。

薬品やオゾンなどの化学酸化を主体とした処理方式ではなく、活性炭による吸着処理と生物処理に膜分離を組み合わせた複数の処理機構からなるハイブリッド膜ろ過システムは有力なオプションとなりうる処理技術である。本研究は、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、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。本システムは、世界のトップレベルにある我が国の膜ろ過技術と、粉末活性炭吸着及び生物処理という従来技術を組み合わせた、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特徴は、凝集沈澱一砂ろ過から本システムへの転換によって、①高度浄水処理と同等レベルまでの供給水質の向上が図られるとともに、②既存構造物の有効活用による建設改良コストの抑制や環境負荷の低減、③高度浄水処理に比べシステムのシンプル化による設備等にかかる各種コストの抑制と運転管理性の向上といった大きなメリットが期待できることである。本研究ではモノリス型セラミック膜およびPTFE(テフロン)膜を使用し、両膜のさらなる改良と処理システムの最適化を目指す。

更に、本研究開発においてハイブリッド膜ろ過システムの実用可能性が検証されれば、水道事業者に対して浄水施設の更新や整備計画の策定時において新たな選択肢を与えるのみならず、本研究チームが提案する自律・分散型の水循環システムの一翼を担う浄水システム開発となるものである。

(2) 研究実施方法

① 実験フロー

大阪市水道局柴島浄水場に浸漬型PTFE膜(公称孔径0.1 μ m)およびケーシング型セラミック膜(公称孔径0.1 μ m)を用いた2系列のハイブリッド膜ろ過システム(以下、それぞれを浸漬型およびケーシング型という)を設置した。この実験装置を用いて、水量25 m³/dにて実証実験を実施した。実験フローを図-1に示す。浸漬型膜ろ過システムでは酸剤(硫酸)、粉末活性炭、凝集剤(硫酸アルミニウム)を添加した後、生物処理・粉末活性炭吸着槽(以下、生物処理槽)に流入し、生物処理槽に浸漬したPTFE膜でろ過する。生物処理槽内の水は循環しており、一部は系外へ排泥している。膜物理洗浄は、膜ろ過水による逆圧洗浄とエアスクラビングを併用しており、逆圧洗浄の排水は生物処理槽内の水と混合している。また、ろ過時において間欠的にエアスクラビングを実施している。ケーシング型膜ろ過システムでは酸剤(硫酸)、粉末活性炭、凝集剤(硫酸アルミニウム)を添加し、生物処理槽で曝気後、上流傾斜板沈澱槽を介し、槽外に設置したケーシング型セラミック膜でろ過する。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、一定の間隔で膜2次側より空気圧(約0.5MPa)で実施し、洗浄排水は生物処理槽へ返送している。なお、排泥は、設定回収率に応じて間欠的に行い、ろ過水以外の系外放流は、排泥のみとした。

② 調査内容

汚濁度の高い都市河川水を原水とする場合の膜ろ過装置運転性については知見が乏しいため、装置を長期間安定して運転できるような条件の探索をまず行った。浸漬型膜ろ過システムについては生物処理槽のpH、季節性のある水質項目(水源藻類および溶解性マンガ)、物理洗浄間隔、

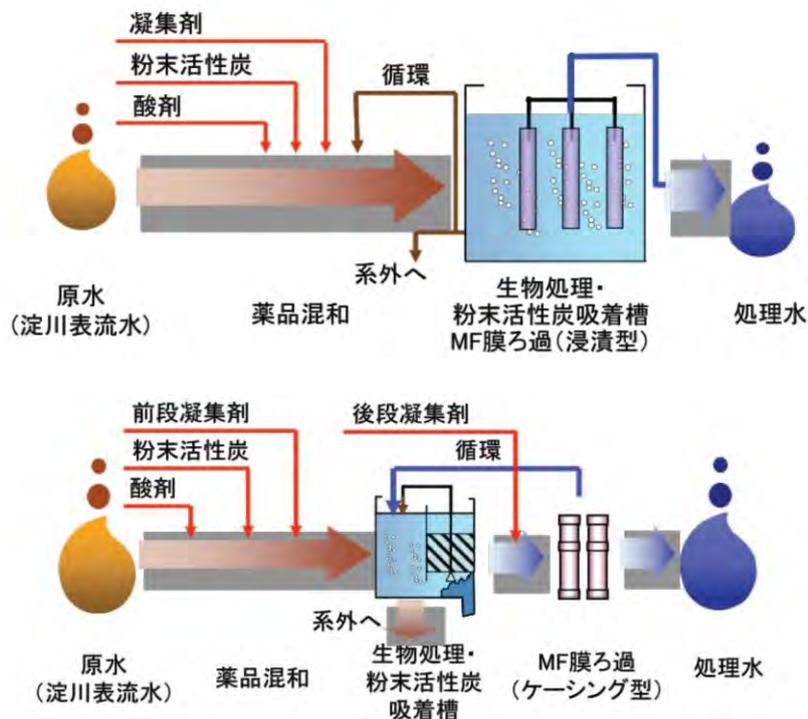


図-1 ハイブリッド膜ろ過システムフロー（上：浸漬型膜ろ過システム、下：ケーシング型膜ろ過システム）

表-1 ハイブリッド膜ろ過システムにおける消毒副生成物の生成

（平成25年7月29日採水）

	原水	浸漬型膜処理水	ケーシング型膜処理水	GAC処理水（実施設）	水質基準値
総トリハロメタン生成能 ^{※1} (mg/L)	0.040	0.018	0.017	0.010	0.1以下
ホルムアルデヒド生成能 ^{※1} (mg/L)	0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.08以下
クロロ酢酸生成能 (mg/L)	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.02以下
ジクロロ酢酸生成能 (mg/L)	0.017	0.004	0.005	0.002	0.04以下
トリクロロ酢酸生成能 (mg/L)	0.020	0.003	0.004	0.001	0.2以下
ジクロロアセトニトリル生成能 ^{※2} (mg/L)	0.005	0.001	0.001	<0.001	0.01以下
抱水クロラール生成能 ^{※2} (mg/L)	0.010	0.002	0.002	0.001	0.02以下

※1 平成25年7月22日採水

※2 水質管理目標設定項目

薬品注入率が膜差圧へ与える影響を調査した。ケーシング型膜ろ過システムについては回収率、循環水量、凝集剤注入位置、物理洗浄間隔が膜差圧へ与える影響を調査した。

ある程度絞り込まれた安定運転条件において長期連続運転を行い、消毒副生成物も含めた水処理性の評価、原水水質異常時を想定した農薬とかび臭の添加実験、前処理との組み合わせによる最適化の検討（特に低水温期におけるアンモニアおよび溶解性マンガンの対応について）、

膜差圧上昇への対策について検討を行った。また、研究期間内に得られた調査結果に基づいてケーススタディを実施した。大阪市水道局と阪神水道企業団の既設の浄水場へ導入する場合を想定し試算を行い、現行システムを継続した場合の費用と比較した。

(3) 研究成果

浸漬型膜ろ過システムにおいては、生物反応槽内pHを6.8～7.5の範囲で変化させたが、膜差圧の上昇傾向に明確な違いは認められなかった。粉末活性炭の注入率を15mg/Lから1.5mg/Lに、凝集剤の注入率を25mg/Lから5mg/Lに低減させたが、膜差圧への明確な影響は認められず、使用薬品量を大幅に低減させられる可能性が示唆された。溶解性マンガンや藻類に由来する項目など、季節性のある水質項目が膜の安定運転に影響を及ぼしていることが考えられた。物理洗浄間隔を20分から10分に短縮させたところ膜差圧の上昇抑制に大きな効果が認められた。ケーシング型膜ろ過システムにおいては、凝集剤注入は生物反応槽後段において25mg/Lの注入率で行い、凝集pHを6.5～6.8程度になるように調整することで膜ろ過流速1.7m/dでの安定運転が可能となることを見出した。また、適当な循環水比は1:0.3、物理洗浄間隔は120分程度であると考えられた。

ハイブリッド膜ろ過システムの安定運転時において得られる処理水の消毒副生成物生成能を評価し、実施設(高度処理を実施)との比較を行った。表-1に評価結果を示す。水質基準項目と水質管理目標設定項目を対象に測定を行った結果、ハイブリッド膜ろ過システムによる処理水中の消毒副生成物生成能は概ね基準値及び管理目標値の1/10となっており、高度処理水(GAC)処理水とほぼ同等の処理水が得られることが実証された。農薬とかび臭の添加実験については、生物処理槽において濃縮された粉末活性炭により農薬、かび臭ともに高い除去率を示した。浸漬型実験装置の生物処理槽内における過度の汚泥堆積は水処理性の悪化を引き起こした。

膜ろ過プロセスの前処理としてBRF(生物高速ろ過)と前塩素処理を検討した。アンモニアと溶解性マンガンについてはBRFにおける除去をメインとし、後段に配するハイブリッド膜ろ過プロセスはBRFを補完するプロセスと位置づける運転を実施することで処理性が向上した。冬期における生物処理性低下への対応を目的として、前塩素処理との併用を検討した。前塩素処理から生物処理への切り替えを行う際、生物処理の立ち上げには10日程度かかることを確認した。

膜差圧の上昇対策を諸々試みたが、効果の高い対策の確立には至っていない。本研究で処理対象とした淀川表流水は膜ファウリングの主原因物質と考えられるバイオポリマーを多く含んでおり、膜ファウリングの制御を難しくしていると考えられる。淀川表流水においても効果の高い膜ファウリング抑制手法を開発することは、膜ろ過法の適用範囲を大きく拡大することに直結する挑戦的な研究トピックであり、今後の課題である。本研究では達成できなかったが、膜の改良により膜ファウリングの発生を抑制できる可能性もある。

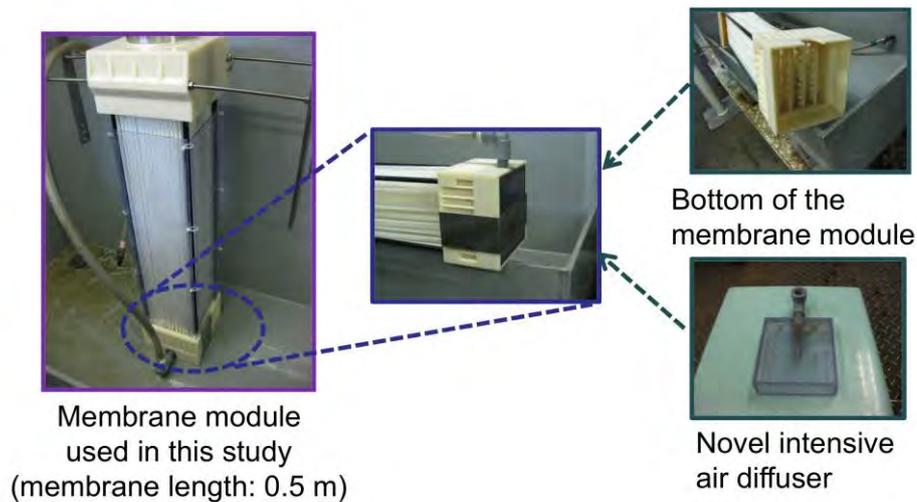
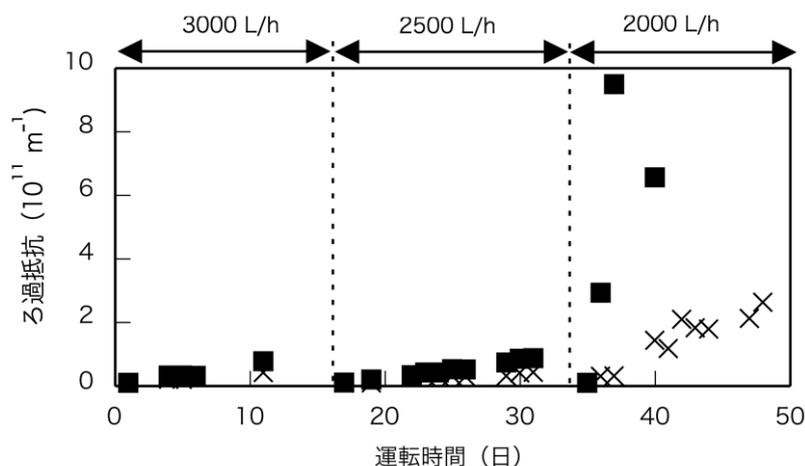


図-2 本研究で開発した局所曝気装置



2. 膜ろ過による下廃水処理の革新(革新的な省エネ・省スペース型膜分離活性汚泥法(MBR)の開発)(北海道大学+メタウォーター)【研究項目(1-2-1)】

2-1. 局所曝気装置の開発

(1) 研究のねらい

膜分離活性汚泥法(MBR)を用いた下水処理が国内外で本格化している。MBRは、非常に高度な処理水質が得られること、維持操作が簡便であること、バルキングの問題から解放されること、処理施設がコンパクトであることなどの利点を有している。MBRには上述した利点がある一方で、エネルギー消費量の大きさという問題が解消されておらず、この点がMBRの本格的普及を阻んでいる。MBRのエネルギー消費は、50%以上が膜洗浄のために槽内において行う曝気によるものである。曝気量を低減させても膜ファウリング(目詰まり)が進行しないような運転方法、膜装置の開発が重要である。

本研究では、膜モジュール直下からの気泡の直接吹き込み及び気泡の流出を防ぐガイド板の取り付けによって、導入した気泡全てが膜近傍を通過できるように改造した局所曝気装置を新規に開発する。局所曝気装置の導入に伴う曝気削減可能性(省エネルギー効果)を実下水を用いた連続処理実験により確認する。エアスクラビングを局所的に行うことで、リアクター内のDO濃度が減少

する可能性があるため、DO 供給用として微細気泡による補助曝気装置も併せて開発する。

(2) 研究実施方法

図-2 に本研究で新規に開発した局所曝気装置を示す。膜モジュール一本あたり面積 1.4m^2 の PTFE 製中空糸膜(細孔径 $0.3\mu\text{m}$)が充填されている。札幌市創成川水再生プラザ内に設置したパイロットスケール MBR に新規開発した局所曝気装置を装着して連続運転を行った。MBR に流入させた原水は同処理場の最初沈殿池流入水である。10 分ろ過毎に 1 分ろ過を停止する間欠運転を実施し、膜透過水フラックスおよび曝気風量を変化させて実験を行った。実験条件を変更する際には膜の化学薬品洗浄を実施し、膜透過性能を十分に回復させた後に連続運転を開始した。洗浄に使用した薬品は次亜塩素酸ナトリウムおよびシュウ酸である(濃度はともに 0.1%)。

(3) 研究成果

図-3 に局所曝気装置を装着した膜モジュールを用いて、曝気風量を変化させながら行った実験における膜ろ過抵抗の経日変化を示す。比較のために並列して使用した通常の膜モジュールにおける膜ろ過抵抗の経時変化も図-3 にはあわせてプロットしている。この実験における膜透過水フラックスは $0.8\text{m}^3/\text{d}$ である。本実験で用いた通常タイプの膜モジュールにおいて標準とされる曝気風量は $3000\text{L}/\text{min}$ とされている。曝気風量を $3000\text{L}/\text{min}$ に設定した場合には、局所曝気装置の有無に関わらず、膜ろ過抵抗の上昇は緩やかなものとなった。曝気風量を $2500\text{L}/\text{min}$ に減少させた場合においても、両者の差異はわずかなものであった。曝気風量を $2000\text{L}/\text{min}$ に低減させた運転では通常タイプの膜モジュールにおける膜ファウリングの発生が顕著になり、頻繁な膜の物理洗浄が必要となった。一方、局所曝気装置を装着した膜モジュールでは、膜ファウリングの発生が抑制された。局所曝気装置の装着により、低曝気風量(従来型に比較して 33%減)においても膜面へのケーキ付着を抑制できることが明らかになった。局所曝気装置の使用により、MBR における曝気風量を大幅に削減することが可能であり、MBR の省エネルギー化が達成される。

省エネ型超小型微細気泡発生装置の開発に関しては、60%を超える高い酸素溶解効率(従来のは 10~30%)が得られた。また、微細気泡発生装置の導入により膜ファウリングの主な原因物質と考えられる細胞外多糖類の生成抑制効果が認められたが、微生物活性自体は低下していないことが確認された。従って、本装置を MBR に組み込むことにより、曝気風量の大幅削減が可能であるうえ、微生物活性を高く維持しながら細胞外多糖類の生成を低減することが可能であり、膜ファウリングを抑制可能であることが明らかになった。

表-2 担体の物理特性

材質	ポリエチレングリコール
形状	円柱状
直径	4±0.5 mm
長さ	4±0.5 mm
比重	1.01-1.15



図-4 本研究で用いた担体

2-2. 担体投入型 MBR の開発

(1) 研究のねらい

浸漬型 MBR へ担体を投入することで膜ファウリングを効率的に制御でき、曝気量を低減させられると考えられる。適当な流動性・固さを持つ担体を MBR 槽内に投入することで、担体が膜面と頻りに接触し、膜ファウリングを引き起こす成分の膜面蓄積を抑制することが予想されるためである。本研究では、人工下水を処理するベンチスケール MBR および実都市下水を処理するパイロットスケール MBR に担体を投入し、担体の投入に伴う MBR の運転効率の改善を検討した。特に、MBR のエネルギー消費量に直結する曝気量の削減に関する検討を行った。また、運転終了時における膜破損の状態および担体投入による膜閉塞物質の特性変化についても検討を行った。

(2) 研究実施方法

①ベンチスケール MBR

ペプトンおよび肉抽出液を主成分とする人工下水を流入原水として、同一条件で運転する 2 台のベンチスケール MBR(有効体積 7.5L)の一方に担体を投入し、連続運転を行った。実験に使用した膜は、膜面積 0.06m²、公称孔径 0.1μm、PVDF 製の平膜である。膜透過水フラックスを 0.45m³/m²/d (18.75LMH)、曝気量を 17L/min に設定した。水理的滞留時間(HRT)および汚泥滞留時間(SRT)はそれぞれ 7.3 時間および 22 日とした。また、間欠運転(12 分ろ過、1 分休止)を実施した。恒温装置により水温は約 20℃に維持した。本実験では、実都市下水を処理しているパイロットスケール MBR から採取した汚泥を種汚泥として使用した。運転開始から 1 ヶ月後の MLSS 濃度は、担体を投入した場合としない場合とでそれぞれ 4500mg/L、3200mg/L となった。

投入した担体の物理特性および写真を表-2、図-4 にそれぞれ示す。見かけ体積 0.75L 分を MBR 槽内に投入した。膜間差圧が 40kPa に達した時点で、膜の物理洗浄(加圧水の吹きつけ及びスポンジによる膜表面のふき取り)を行うこととした。

②パイロットスケール MBR

本研究で使用した MBR は仕切板挿入型 MBR(BMBR)である。BMBR は単一反応槽内で硝化・脱窒を行うことができる。水位が仕切板上端部よりも高い位置にあるときは、仕切板内部で曝気された汚泥が反応槽全体を循環し、好気的な状態となる。一方、水位が仕切板上端部よりも低い位置にあるときは仕切板により槽内が 2 つの部分に分割され、仕切板外部が無酸素状態となる。ろ過の

継続に伴い槽内水位が低下し、あらかじめ設定した最低水位になると原水が供給され、予め設定した最高水位に達すると、供給が停止する。本装置では仕切板によって反応槽内に循環流を作り出すことで、担体のスムーズな流動を期待できる。札幌市創成川水再生プラザにおいて実都市下水を処理するパイロットスケール BMBR に担体を投入し、連続運転を行った。本実験では、公称孔径 $0.1 \mu\text{m}$ の PVDF 製平膜を使用した。MBR 槽内に膜面積が 0.68 m^2 の膜モジュール 10 枚(全膜面積 : 6.8 m^2)を 18 mm 間隔で平行に設置した。吸引ポンプを用いた定流量ろ過で間欠運転(15 分間ろ過、 1 分間休止)を実施した。また、膜モジュールは 5 枚ずつ 2 系列に分け、それぞれのろ過系列における膜透水フラックスを $0.8 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ および $0.2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ に設定した。 $0.8 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ の系列において発生した膜ファウリングを本研究の主な検討対象とした。反応槽の有効体積は 450 L であり、仕切板内部と外部の体積比はおよそ $5:8$ である。HRT および SRT は 3.4 時間、 20 日に設定した。 1 mm スクリーン通過後の最初沈澱池流入水を原水として使用し、仕切板外部の四隅に流入させた。

ベンチスケール実験で用いたものと同じ担体を、リアクター体積の 5% に相当する見かけ体積 22.5 L 分 MBR 槽内へ投入し、常時曝気を伴う洗浄を行った(曝気量 : $9 \text{ m}^3/\text{h}$)。膜間差圧が 40 kPa に達した時点で、膜の物理洗浄(加圧水の吹きつけ及びスポンジによる膜表面のふき取り)を行うこととした。

連続運転の開始に先立ち、 2 カ月間の汚泥馴致を行った。実験は 2012 年 8 月から 2013 年 2 月まで行った。実験期間は Run1、Run2、Run3 に分割される。Run1 では、担体を投入せずに約 50 日間の運転を行った。Run2 では、まず担体を投入せずに運転を行い、膜間差圧が 20 kPa 付近に達した後、担体を投入した。Run3 では曝気量を $9 \text{ m}^3/\text{h}$ から $4 \text{ m}^3/\text{h}$ に削減して約 30 日間の運転を行った。各 Run の前に、膜モジュールの薬液洗浄を実施した。薬液洗浄では、膜を MBR 槽内から取り出し、物理洗浄実施後に 0.1% の次亜塩素酸ナトリウム水溶液と 0.4% 水酸化ナトリウム水溶液の混合液に 1 日浸漬させた後、 0.1% のシュウ酸と 0.1% 塩酸の混合液に 1 日浸漬させた。

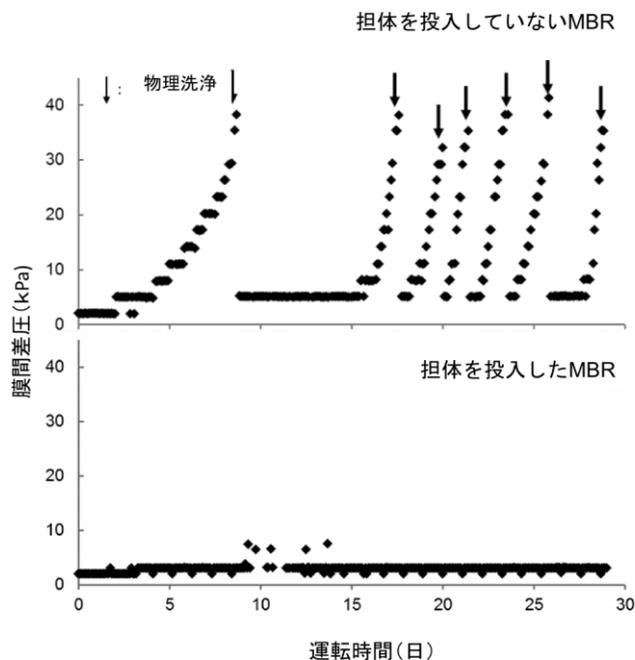


図-5 膜間差圧の経日変化

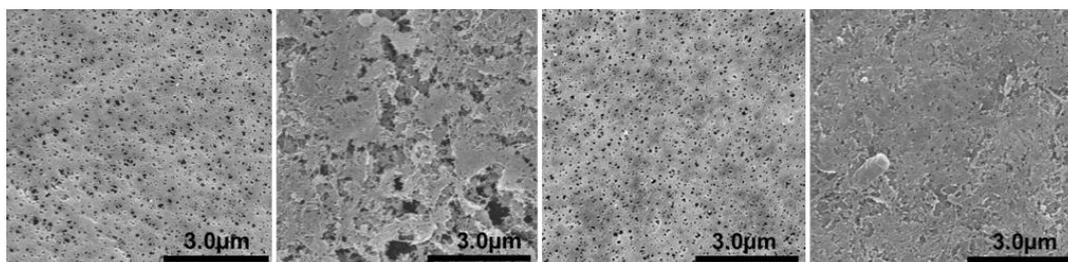


図-6 膜表面のSEM画像(左から順に未使用新膜、担体を投入しない場合、担体を投入した場合、担体を投入しない場合の物理洗浄後)

(3) 研究成果

① ベンチスケール MBR

図-5に、2つのMBRにおける膜間差圧の経日変化を示す。図中の矢印は物理洗浄の実施時期を示している。担体を浸漬型 MBR へ投入することにより、膜間差圧の上昇が大きく抑制されたことが明らかである。さらに、1ヶ月間の連続運転の間、担体を投入した MBR では膜間差圧がほとんど上昇せず、膜の物理洗浄を一度も行わずに運転の継続が可能であった。

また、図-6に未使用の新膜と連続運転終了後に観察した膜表面のSEM画像を示す。担体を投入しない場合では堆積物により膜表面が完全に覆われていたが、担体を投入した場合には堆積物の蓄積は認められず、新膜とほぼ同様の状態が維持されていた。担体を投入しない場合の試料について物理洗浄を実施後に行ったSEM観察では、物理洗浄では除去できない堆積物が膜表面に認められた。

図-7に1カ月間の連続運転後に取り出し、物理洗浄を実施した後に測定した閉塞膜と新膜の

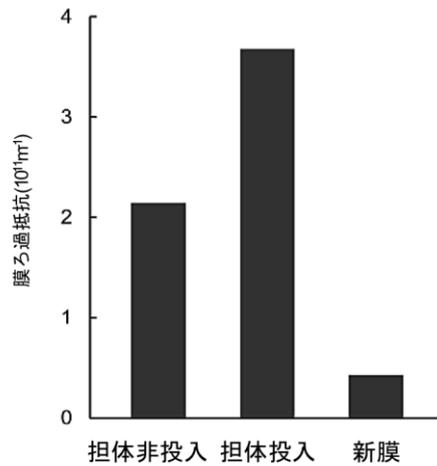


図-7 閉塞膜のろ過抵抗

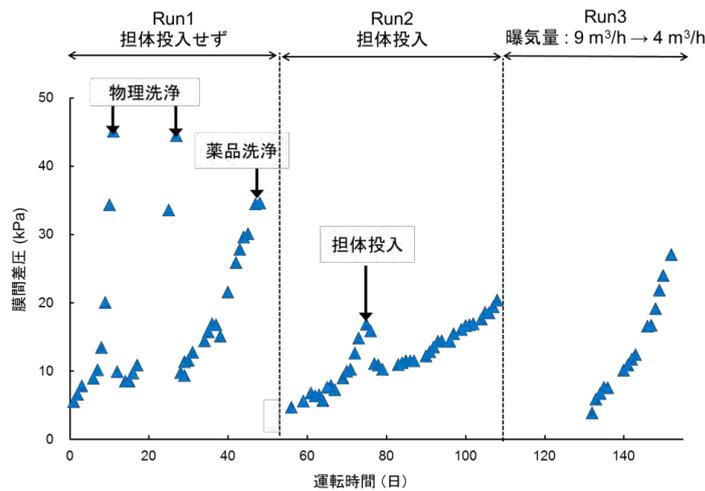


図-8 パイロットスケール実験における膜間差圧の変化

ろ過抵抗をそれぞれ示す。担体の有無にかかわらず、閉塞膜のろ過抵抗は新膜と比べて高い値を示した。いずれのMBRも物理洗浄で解消することができず、薬品による浸漬洗浄などを必要とする、物理的に不可逆的な膜ファウリングが進行していたことが示された。

担体を投入した場合のろ過抵抗は、担体を投入しない場合よりも高い値となった。担体の投入は物理的に可逆的な膜ファウリングの防止に大きな効果を発揮するが、不可逆的な膜ファウリングの進行についてはこれを促進する可能性が示唆されている。図-6 に示した通り、担体を投入した場合には膜表面の堆積物がほとんど認められなかったにも関わらず、ろ過抵抗が増加した。担体を投入した場合の不可逆的な膜ファウリングは主に膜細孔内部で進行していたことが考えられる。

②パイロットスケール MBR

図-8 にパイロットスケール実験における膜間差圧の経日変化を示す。Run1 では10日から20日で急激に膜間差圧が上昇し、膜の物理洗浄が必要となった。一方、Run2 では担体を投入後より明らかに膜間差圧の上昇が抑制され、50日以上物理洗浄を実施せずに運転を継続することができた。Run3において曝気量を9m³/hから4m³/hに削減しても、膜間差圧の上昇速度は担体投入前と同程度であった。このことから、担体を投入することで曝気量を50%以上削減しても、担体投入前

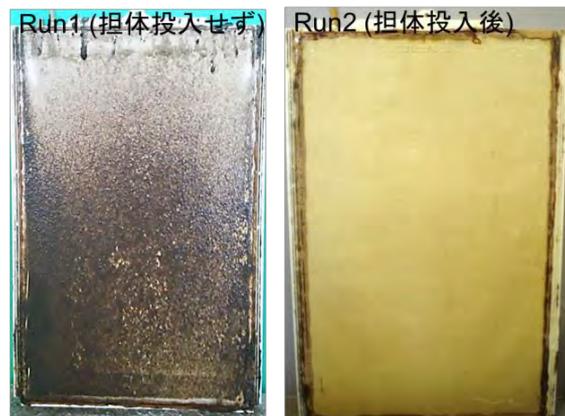


図-9 Run1、Run2 終了時における膜面ケーキ堆積状況

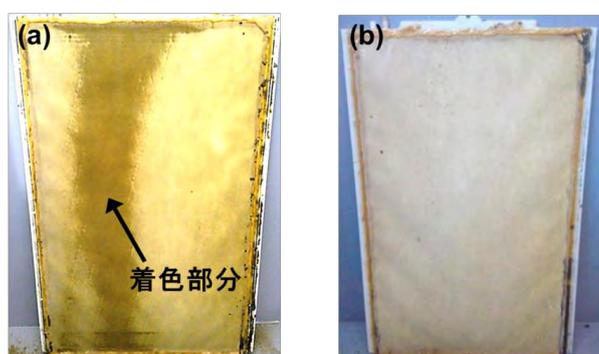


図-10 (a) Run2 終了時における膜面の着色、
(b) Run3 終了時における膜面状況 (物理洗浄後)

と同程度の膜ファウリング抑制効果が得られることが明らかになった。図-9 に Run1 終了時物理洗浄前に撮影した膜モジュールの写真と、Run2 終了時に撮影した(物理洗浄は実施していない)膜モジュールの写真を示す。担体の投入によって、膜表面におけるケーキ層の形成が抑制されたことが明らかである。一方、曝気を削減した Run3 においては、一部の膜モジュール間で汚泥の閉塞が発生していた。担体投入型 MBR に適した曝気方法についても今後検討を行う必要がある。ベンチスケール実験で得られた結果と同様に、担体投入による膜間差圧の上昇抑制(可逆的膜ファウリングの制御)効果は明らかであった。担体投入によって膜表面ケーキ形成が大きく抑制された。また、流入原水や気温の季節的な変化によって、汚泥のろ過性が悪化した場合でも、急激な膜間差圧の上昇が発生せず、安定したろ過を継続できた。さらに、担体投入によって曝気量を 50%以上削減しても、担体投入前と同程度の膜ファウリング抑制効果が得られることが明らかになった。

Run2 終了時において、MBR から取り出した一部の膜表面に物理洗浄では除去できない着色が観察された(図-10(a))。着色部分では非着色部分と異なる形態で膜ファウリングが発生していたことが予想されたため、閉塞膜の分析は着色部分と非着色部分と別個に行った。このような着色は曝気量を低下させた Run3 においては観察されなかった(図 10(b))。

Run1、Run2、Run3 の運転終了時に MBR から膜を取り出し、物理洗浄および NaOH 洗浄(pH12)、次亜塩素酸ナトリウム洗浄(1000ppm)後に測定した膜ろ過抵抗値を表-3 に示す。なお、未使用の新膜のろ過抵抗値は $0.6 \times 10^{11}(\text{m}^{-1})$ である。Run1 後の膜と Run2 後の膜の非着色部分については、

表-3 閉塞膜のろ過抵抗 (10^{11} m^{-1})

	Run1	Run2		Run3
	担体投入せず	非着色部分	着色部分	曝気削減
物理洗浄後	7.4 ± 2.7	7.5 ± 1.5	200.7 ± 47.6	13.0 ± 1.5
NaOH洗浄後	2.2 ± 1.0	4.0 ± 2.4	96.3 ± 79.1	2.7 ± 0.4
次亜塩素酸 ナトリウム洗浄後	0.5 ± 0.03	0.5 ± 0.06	2.1 ± 1.0	0.6 ± 0.05

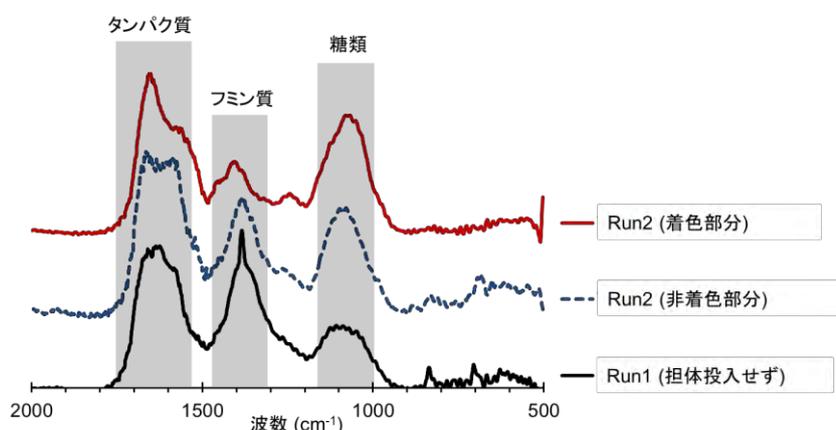


図-11 膜閉塞成分の FTIR スペクトル

物理洗浄後のろ過抵抗がほぼ同じ値となった。しかし、担体を投入した場合に観察された着色部分では、非常に高いろ過抵抗を示した。着色部分では、物理洗浄で除去できない不可逆的な膜ファウリングの進行が深刻であったことを示すものである。曝気量を削減した Run3 においても、担体の導入による不可逆的な膜ファウリングの進行が観察された。ほとんどの場合、NaOH 洗浄によって、膜透過性が大きく改善したが、Run2 の着色部分のみ次亜塩素酸ナトリウム洗浄でも十分に膜透過性を回復させられなかった。また、Run2 の着色部分を薬品洗浄後に電子顕微鏡で観察した結果、膜表面構造の破壊が認められた。

図-11 に膜閉塞成分の FTIR スペクトルを示す。Run2 着色部分では 1100 cm^{-1} 付近に見られる糖成分の割合が増加し、相対的に 1400 cm^{-1} 付近に見られるフミン質成分の割合が低下していた。さらに、Run2 着色部分では 1640 cm^{-1} 付近に見られるタンパク質成分のピーク形状が他の膜抽出成分とは異なっていた。また、単糖組成にも違いが観察された。これらの結果から、Run2 着色部分では Run1 および Run2 非着色部分とは膜ファウリング成分が異なることが示された。

パイロットスケール MBR への担体投入に伴う処理水質への影響は、本研究では観察されなかった。過剰な曝気が、担体を過度に膜表面と接触させ、膜表面の損傷を引き起こし、膜ファウリング特性を変化させることで、不可逆的な膜ファウリングの発生が促進されることが示唆された。

本研究では、担体の投入により MBR における曝気量を50%以上削減させられる可能性を示す実験結果が得られた。担体投入型 MBR では膜の損傷や用いる担体など最適化検討の余地が未だ多く残されており、今後更に大きな MBR の省エネルギー化が期待できる。

2-3. 低ファウリングセラミック膜の開発

(1) 研究のねらい

MBR の運転管理コストはかなり縮減されてきたが、なお一層の低コスト化、高効率化を図らなけ

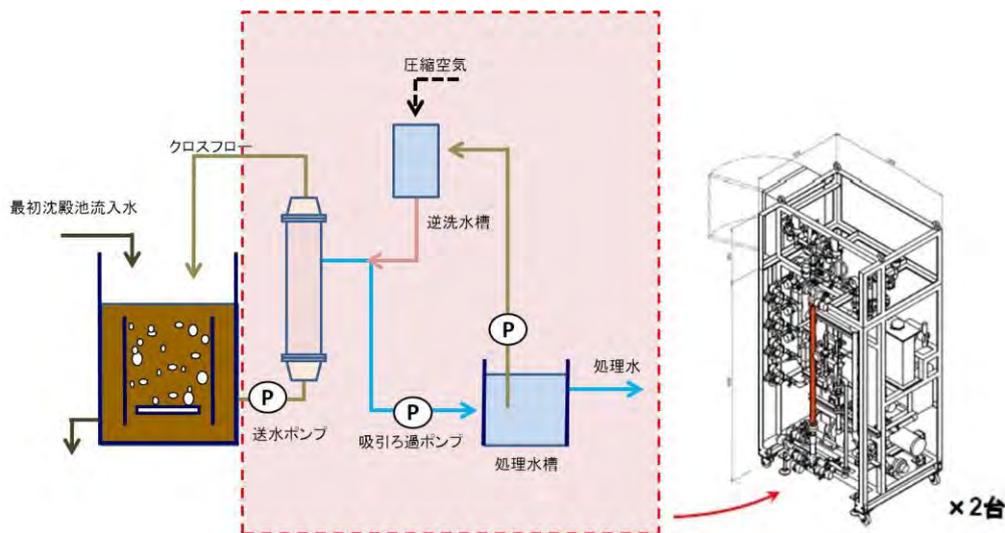


図-12 セラミック膜評価に用いた槽外型 MBR



図-13 モノリス型セラミック膜 (φ30 mm)

れば従来の処理技術と比較して経済的なメリットが得られず、下・廃水処理への MBR の導入および処理水の再利用が進まない。既存の MBR の曝気エネルギー等の消費エネルギー量や膜洗浄頻度の低減および膜透過フラックスの向上を図るため、閉塞しにくい膜、膜モジュール、膜洗浄の方法、最適な運転方法の検討などが必要である。本研究は、閉塞しにくい膜、膜洗浄方法に焦点を当てて、省エネ・低運転コスト型の MBR を開発することを目的とした。特に本研究では槽外クロスフロー型 MBR に用いられるモノリス型セラミック膜に着目し、その性能向上を図ることを目的とした。新規に MBR 用として試作するセラミック膜を省スペース型硝化脱窒同時反応槽と組み合わせた槽外型 MBR に装着して実下水の連続処理実験を行い、ファウリングの進行度などを評価した。

(2) 研究実施方法

本研究で用いた槽外型 MBR を図-12 に示す。槽外型 MBR システムは、膜ユニットを生物反応槽外に設置し、ポンプにより活性汚泥混合液の循環流を生起させ、この循環流により膜面を洗浄しながらろ過(クロスフローろ過)を行うシステムである。本研究で用いたセラミック膜(図-13)は内圧型モノリス膜であり、物理的強度が高く耐薬品性も高い点が特長である。このため、逆圧洗浄や薬

表-4 現行膜と試作膜の仕様

名称	膜孔径 (μm)	概要
現行膜	0.1	φ30、55 穴、有効膜面積 0.4m ² 、モノリス型 (上記の膜仕様は試作膜も共通)
試作膜-A	0.1	現行膜比で 10~15%程度透水性を向上させた膜
試作膜-C	0.01	UF 膜
試作膜-D	0.3	現行膜よりも膜孔径を大きくした膜

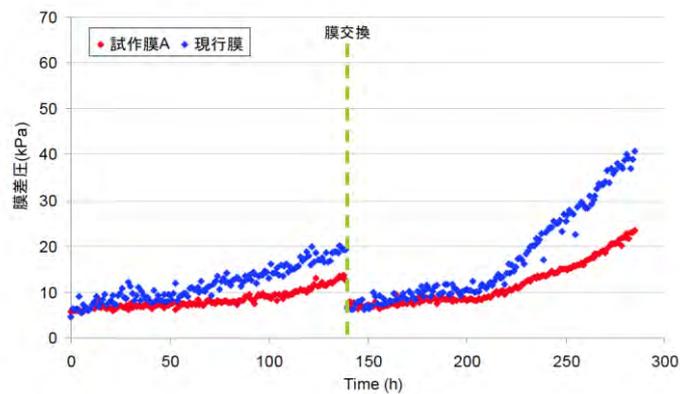


図-14 現行膜と試作膜 A の比較運転結果

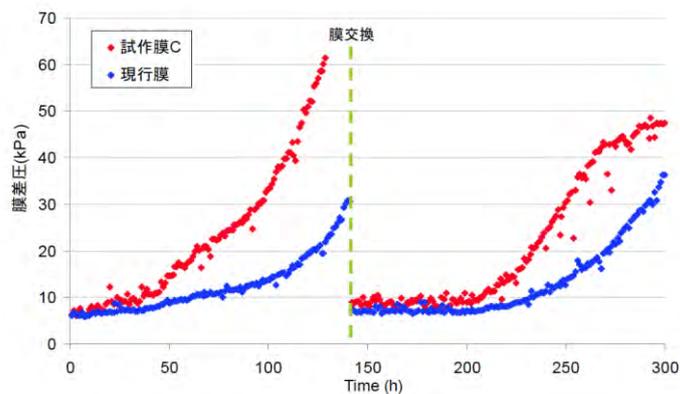


図-15 現行膜と試作膜 C の比較運転結果

液洗浄による強力な膜面洗浄が可能であり、高い膜ろ過流速での運転を行うことができる。

現行膜(細孔径 0.1 μm)のろ過性、耐ファウリング性改善を目指して、透水性能および膜孔径を変更した 3 種の試作セラミック膜を製作した(表-4)。生物反応槽の運転条件は、HRT4.25 h、SRT40 日とした。MBR の運転条件は、膜ろ過フラックス 1.4 m³/d、クロスフロー流速 0.7 m/s、気液混相流流速 0.13 m/s、逆洗間隔 45 分とし、水逆洗と次亜塩素酸ナトリウム(有効塩素濃度 150 mg/L)による CEB を交互に実施した。また、ろ過 10 分ごとに、クロスフロー流を停止しない簡易な逆洗(パルス逆洗)を実施した。

(3) 研究成果

① 現行膜と試作膜における差圧上昇の比較

細孔径 0.1 μm の現行膜と透水性能を向上させた試作膜 A を用いて連続運転を行った際の膜

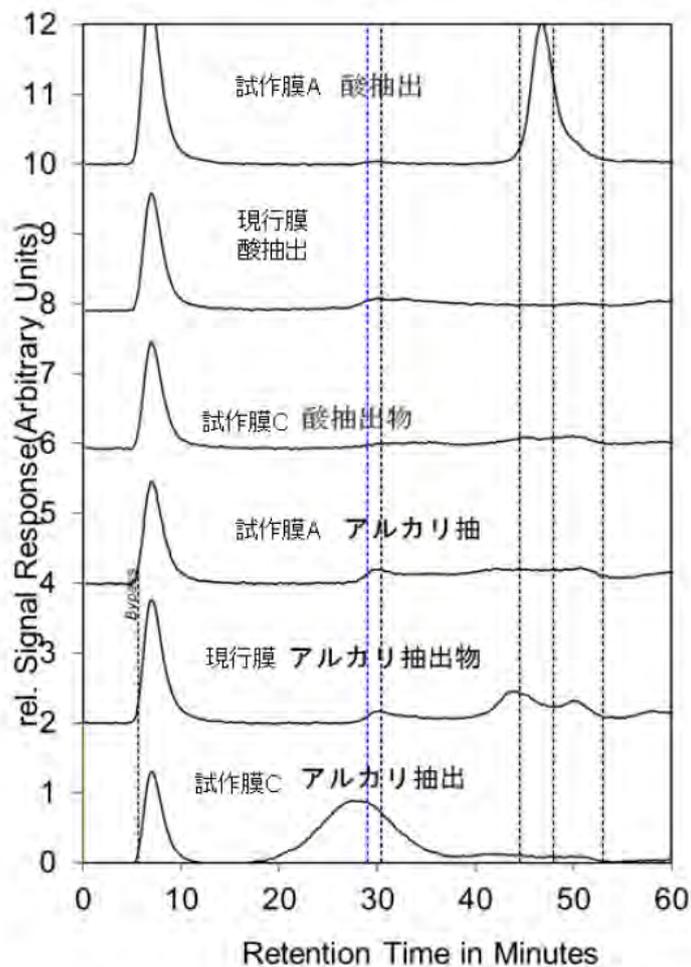


図-16 薬液抽出成分の LC-OCD 分析結果

差圧の変化を図-14 に示す。くり返して実施した比較実験のいずれにおいても、試作膜 A の方が現行膜よりも差圧上昇が遅い傾向が確認された。現行膜と細孔径 $0.01 \mu\text{m}$ の UF 膜である試作膜 C を用いて連続運転を行った際の膜差圧の変化を図-15 に示す。試作膜 A の場合と同様に、比較運転をくり返して実施した。試作膜 C の方が現行膜よりも膜差圧上昇が早い傾向が確認された。現行膜と細孔径 $0.3 \mu\text{m}$ の試作膜 D を用いた比較実験では、運転開始直後から試作膜 D の差圧が急激に上昇し、数時間程度で運転継続が困難となった。これらの結果は、槽外型 MBR に装着するセラミック膜の最適膜細孔径が非常に狭い範囲 ($0.1\mu\text{m}$ 付近) に存在することを示すものである。本研究では、新規に製作した試作膜 A の使用により膜ファウリングの進行が現行膜よりも抑制されることが示された。

②現行膜と試作膜における膜ファウラントの分析

膜の違いによるファウラントの違いや、膜洗浄条件の改善について検討をするため、上述した連続ろ過運転の終了後にそれぞれの膜を取り出し、ファウラントの抽出および分析を行った。それぞれのセラミック膜について複数の薬液による抽出を実施するため、1 本の膜を長さ 20 cm の膜となるように複数本に分割 (切断) し、薬液抽出に供した。薬液による抽出操作については、膜の支持層部分からのファウラント抽出を防ぐために、切断後の膜サイズに合うケーシングを用意し、膜 1 次側に薬液をクロスフローで循環させながら、膜 2 次側より圧縮空気を導入し、薬液の膜内部への侵入を防止した。このようにして抽出した成分は、膜分離層にて閉塞していた成分であると考えられる。抽出薬液は、アルカリとして水酸化ナトリウム (pH11)、酸として硫酸 (pH2) を用い、抽出時

間は 24 時間とした。

図-16 に閉塞膜からの薬液抽出成分の LC-OCD (有機炭素検出液体クロマトグラフィー) による

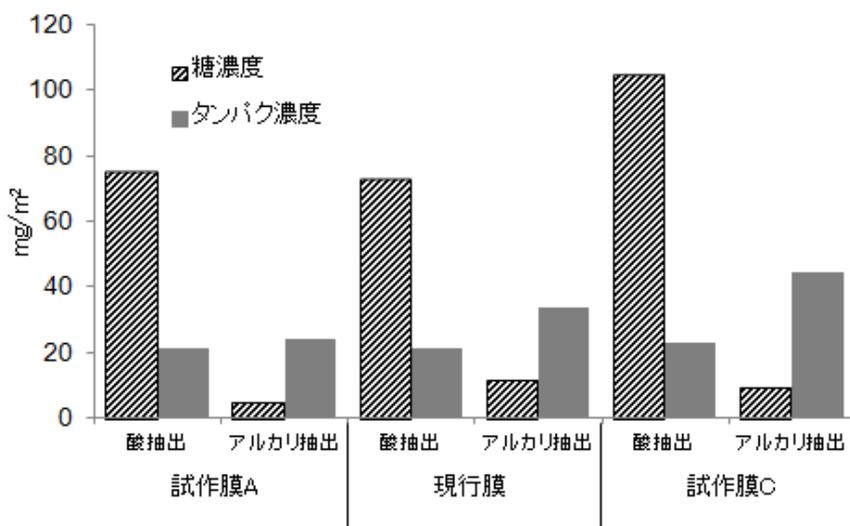


図-17 薬液によって抽出された糖・タンパク量

分子量分画結果を示す。膜差圧上昇速度の速かった試作膜 C のアルカリ抽出成分からのみ、保持時間 30 分付近に大きなピークが検出された。このピークは分子量数万～数十万の糖・タンパク質を主体とするバイオポリマーに起因するものである。次亜塩素酸ナトリウムを用いた CEB の実施にも関わらず、試作膜 C においてはバイオポリマーが深刻な膜ファウリングを引き起こしていたことが明らかになった。現行膜および試作膜 A においては、バイオポリマーによるファウリングは軽微であり、CEB が高い効果を発揮した。

図-17 に閉塞膜から薬液で抽出された糖、タンパク質の量を示す。グラフの縦軸は単位膜面積あたりの抽出量となっている。酸抽出の糖およびアルカリ抽出のタンパク質については、膜差圧上昇速度が速い膜ほど抽出量が多くなる傾向が認められ、これらの糖あるいはタンパク質による膜ファウリングの発現が推察される。また、アルカリによる有機物ファウラントの抽出量が多くなっていることが多い既往の研究例とは異なり、本研究では酸による糖、タンパク質の抽出量の方が大きくなっていたことは注目すべき点である。本実験においては、次亜塩素酸ナトリウムによる CEB を組み込んだら過運転を行っており、連続運転の段階で、アルカリで抽出されるようなファウラントが CEB により除去され、相対的に酸で抽出されるようなファウラントが膜面で多く蓄積していたものと考えられる。

本研究では、CEB (特に次亜塩素酸ナトリウムの場合) の実施によりセラミック膜の膜ファウリング抑制効果が高くなることを確認したが、最適薬品濃度および実施頻度の特定、他の薬品を用いた CEB との交互実施効果の確認には至らなかった。これらの点についての検討を行うことで、槽外型 MBR に装着するセラミック膜の膜ファウリングの制御がより一層効率的になると予想される。

2-4. MBR 膜ファウリングの発生と連動して変化する水質

(1) 研究のねらい

MBR の運転を高効率化して一層の省エネ化を達成するためには、膜ファウリングを誘発しやすい汚泥性状を把握し、これを回避することが重要である。高フラックスでの運転が可能となるような汚泥状態の探索が国内外で続けられているが、これまでに特定には至っていない。近年、LC-OCD や EEM の PARAFAC 解析など、新たな有機物分析手法が水処理分野で導入されている。これらの新たな手法を用いた有機物分析や、後述する特定の膜ファウリング成分に着目した分析を行い、長期連続運転を行う MBR における膜ファウリング進行状況との照合を行う。

(2) 研究実施方法

札幌市創成川水再生プラザに設置した槽外型パイロットスケール MBR を連続運転し、膜間差圧の上昇を継続してモニタリングすると共に、生物反応槽内懸濁液の水質分析を網羅的に実施した。MBR は SRT30 日、HRT6 時間の条件で運転し、2 種類の膜を並列に装着して膜ろ過を行った。一方の系列にはチューブラー型 PVDF 膜を、もう一方の系列にはモノリス型セラミック膜を装着し、そ

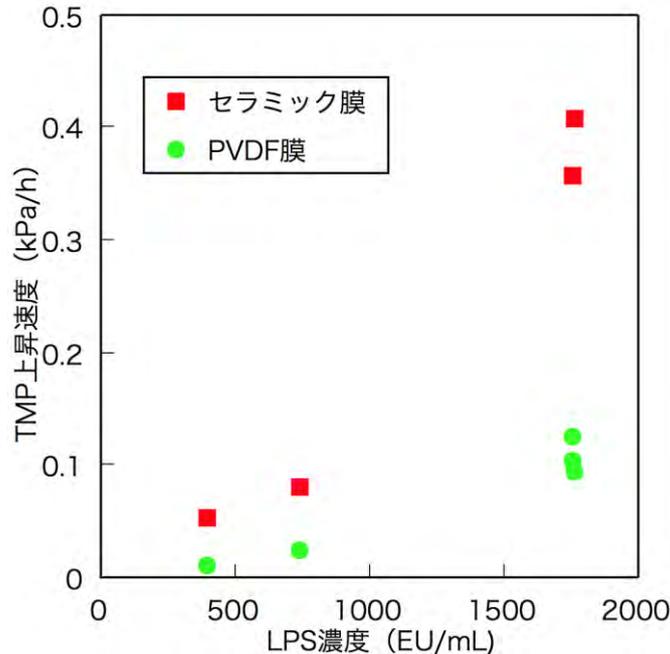


図-18 パイロットスケール MBR における膜間差圧上昇速度と生物反応槽内上澄水中 LPS 濃度の相関

れぞれフラックス 0.9 m/d、1.6 m/d でろ過運転を行った。

(3) 研究成果

MBR 槽内の溶解性糖・タンパク濃度など、従来の研究でも測定例の多い水質項目とパイロットスケール MBR における膜ファウリングの進行速度には、明確な関連性は認められず、これまでも我々が得てきている実験結果の再現性を改めて確認した。平成 25 年度は新規性のある分析手法として、LC-OCD による膜分離槽内容存有機物の分子量分布把握、EEM スペクトルの PARAFAC 解析、画像解析により捉えた膜分離槽内ナノ粒子のブラウン運動速度から求めるナノ粒子の粒径把握を導入してパイロットスケール MBR における膜ファウリング進行速度との関連性を検討した。これらの新規分析手法も膜ファウリング発生速度との明確な関連性は認められなかったが、後述する MBR における主要な膜ファウリング多糖画分と考えられる LPS (リポ多糖) は、図-18 に示すように膜ファウリング発生速度との相関が高くなっていた。今後、より充実したデータにより膜ファウリング発生と LPS 存在量との相関を検証できれば、MBR における膜ファウリング発生と連動する水質指標として LPS が利用される可能性がある。

3. 膜ろ過による下廃水処理の革新 (MBR における窒素除去の高効率化) (北海道大学+ゲント大学)【研究項目(1-2-2)】

(1) 研究のねらい

MBR における消費エネルギー内訳では、栄養塩除去のために必要となる汚泥の循環と無酸素

槽における槽内の攪拌も大きな割合を占める(10-20%)。本研究では、無動力で好気部と無酸素部の間の汚泥循環を行い、単一槽で硝化と脱窒を行う仕切板挿入型 MBR を開発することを目指している。仕切板挿入型 MBR の処理水質は運転条件や装置条件によって大きく変化する。運転条件および装置設計の最適化支援のために、仕切板挿入型 MBR のモデル開発を試みた。

(2) 研究実施方法

仕切板挿入型 MBR のモデル開発については、これまでに長期運転実績があるパイロットスケールの装置を用いたトレーサーテスト(ナトリウムイオンを使用)を実施し、槽内の流動状況把握を試みた。一連のトレーサーテストは十分な精度が得られることを確認して実施した。散気管開口部の位置、膜挿入位置などの詳細な条件を考慮に入れ、パイロットスケール MBR 反応槽を 60 万メッシュに分割し、FLUENT®ツールを用いてモデリングを行った。

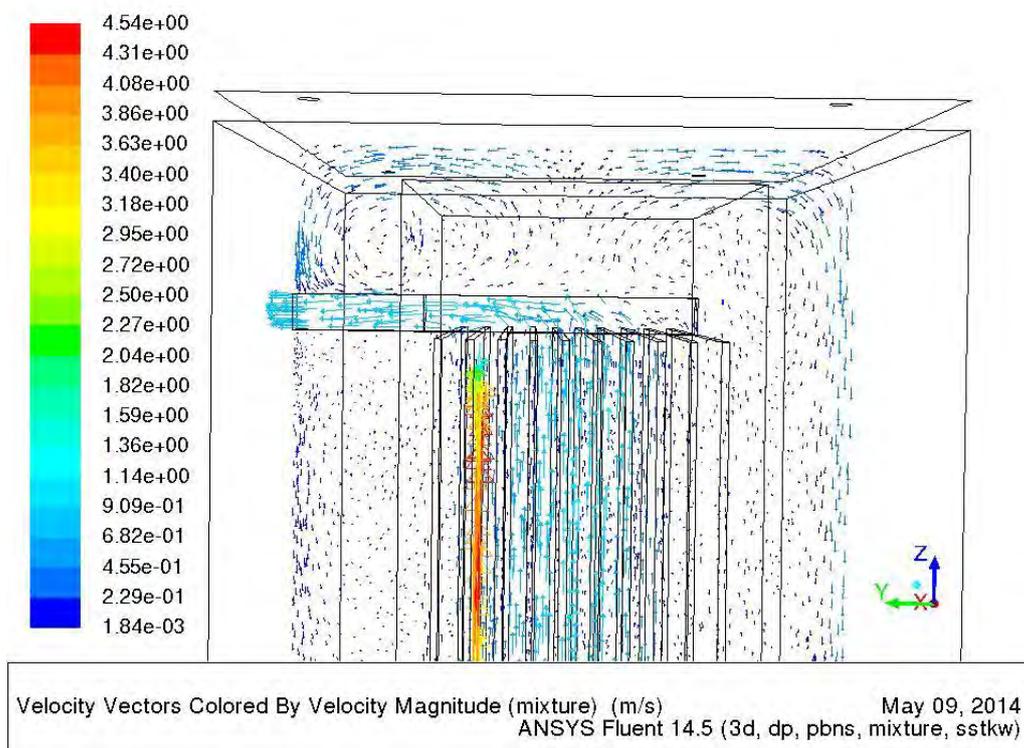


図-19 パイロットスケール仕切板挿入型 MBR 内部における懸濁液流速の分布(反応槽上部)

(3) 研究成果

トレーサーテストについては十分な再現性のあるデータの取得に成功したため、これを用いた仕切板挿入型 MBR 槽内流動状況のモデリングを行った。複数の反応槽内水位について計算を行い、図-19 に示すような槽内懸濁液の流速分布に関する情報を得た。活性汚泥モデルとの組み合わせによる処理水質の予測計算にまでは至らなかったが、本研究で得られた成果は、仕切板挿入型 MBR の運転条件および設計の最適化に活用されるものである。

4. 膜ファウリング機構の解明(北海道大学+メタウォーター)【研究項目(1-3)】

(1) 研究のねらい

膜ろ過の普及のためには、膜ファウリング機構の発生機構を理解し、その発生を抑制することが

重要である。MBR における膜ファウリングの発生には、微生物が放出する細胞外有機ポリマー（特に多糖類）が大きな関与をしているが、その詳細な特性についてはほとんど分かっていない。本研究では糖鎖構造を特異的に捕捉して精製するグライコブロットティング法を適用した糖鎖構造解析を実施し、MBR のファウリングを引き起こす多糖の詳細に迫る。

(2) 研究実施方法

パイロットスケール MBR を用いた連続実験で、閉塞膜から膜ファウリングを引き起こしていた多糖を抽出して分析に供した。また、ファウリング多糖抽出と同時期に生物反応槽内に存在していた溶存性多糖についても分析を行った。酸による部分加水分解を施した後、グライコブロットティング法によりオリゴ糖を選択的に補足・精製した後に MALDI-TOF/MS 分析を実施した。得られた質量数

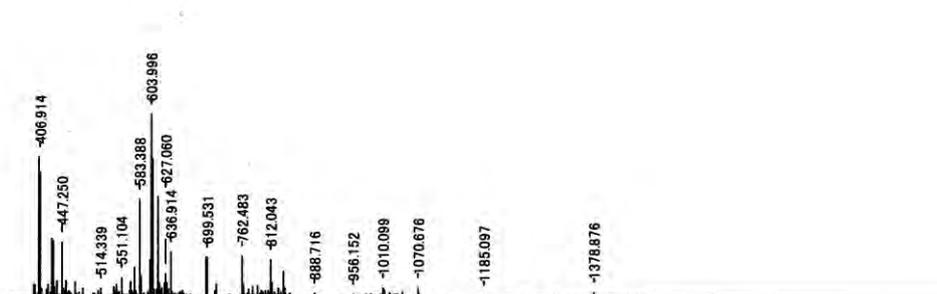


図-20 グライコブロットティング法を用いて精製した膜ファウリング多糖の MALDI-TOF/MS スペクトル

ピークをデータベースと照合し、可能性のある糖構造を推定した。一連の分析をそれぞれ3つの異なる膜ファウリング多糖および生物反応槽内多糖について実施し、繰り返し検出された構造についてはさらにデータベースを用いた検討を加え、ファウリング多糖のタイプを推定した。

(3) 研究成果

図-20 にグライコブロットティング法による精製を経たファウリング多糖について測定した MALDI-TOF/MS スペクトルの一例を示す。異なる時期にファウリング多糖の抽出を行ったのにも関わらず、異なる試料間で繰り返し検出されるピーク（すなわち多糖構造）の存在が明らかになった。このような多糖は、膜ファウリングの発生に重要な糖であると考えられる。また、閉塞膜から抽出された試料について検出される質量数ピークと、生物反応槽内に存在していた溶存態糖について検出される質量数ピークは、かなり異なるものとなっていた。このことは、生物反応槽内に存在している糖の大部分は膜ファウリングの発生に重要な関与をしていないことを示唆している。従来の MBR 膜ファウリングに関する研究は、生物反応槽内の糖の総量を把握することのみにより議論の展開を行うものがほとんどであるが、このようなアプローチは見当外れの膜ファウリング対策策定に繋がる危険性がある。

前述した重要な糖構造をデータベースにより精査した結果、膜ファウリングに重大な関与をする糖のタイプとして CPS (Capsular PolySaccharide) と LPS (Lipo-Polysaccharide) が考えられた。今後、このようなファウリング発生に重要な関与をする糖を選択的に・特異的にモニタリングすることで、革新的な膜ファウリング抑制手法の開発に繋がる可能性がある。

5. MBR 余剰汚泥からのエネルギーの回収(北海道大学グループ)【研究項目(1-4)】

(1) 研究のねらい

MBR を構成する汚泥の菌叢はその多くが好気性従属栄養細菌であり、平均的菌体収率はおよそ 50% である。このことは、廃水に含まれる化学エネルギーの半分が余剰汚泥の形で保存されていることを意味する。従って余剰汚泥に保存されたエネルギーを回収することができれば、吸引に

伴うエネルギー消費を低減可能である。本研究では余剰汚泥からの直接エネルギー回収技術としてバイオ燃料電池(MFC)プロセスを採用した。MFCは微生物触媒を利用した、汚泥処理と発電を同時に可能とする技術であり、高いエネルギー転換率が期待できる。本研究ではMBR余剰汚泥を植種源とするMFCの構築、発電に関与する菌叢の解明、関与する細菌群の分離・育種、更には得られた菌株を利用したMFCの高性能化(バイオオーグメンテーション)を目標とした。

(2) 研究実施方法

① バイオ燃料電池の開発

MBR余剰汚泥を植種源とする二槽式MFC反応槽を構築した。この研究ではモデル基質としてグルコースを供給した連続三段式MFCを運用した。反応槽を多段式にしたのは、食物連鎖的に進行する嫌気消化過程を1つの系で観察可能であると期待してのことである。また、安定した電力供給が観察された後のMFC内の菌叢は16S rRNA遺伝子クローンライブラリ法で解析した。

② 一槽式空気カソードバイオ燃料電池の開発

MFCの高性能化を目指し、一槽式空気カソードバイオ燃料電池を構築した。このMFCの植種源には、上記三段式MFCの二段目に形成された菌叢を用いた。また当該菌叢のエネルギー源としては酢酸を用いた。更に本研究では空気カソード界面のpHを下げ、出力を向上させる目的でカソード室への炭酸ガス充填を行った。

③ 電気生産菌の育種

上記のMFC群から希釈平板培養法、及び限外希釈培養法を用いて、電気生産細菌の分離に取り組んだ。分離した菌株のうち電気生産能を示した株は16S rRNA遺伝子配列に基づく同定を行った。また電気生産株の基質利用性等の知見から電子放出部位や電子放出様式の解明を試みた。

(3) 研究成果

① バイオ燃料電池の開発

グルコースをエネルギー源とするMFCの開発に成功し、三段の反応槽の電力密度合計値は最大28 W/m³を記録した¹⁷⁾。最大電力時のクーロン効率(電流として回収された電子量とエネルギー源の持つ電子量との比)は47%だった。従って、グルコースの持つ化学エネルギーの約半分を電流として回収することに成功した。三段式MFCの微生物群集を比較した結果を図-21に示した。真正細菌叢を解析した結果、リアクター一段目においては*Gammaproteobacteria*綱*Aeromonas*属に最類縁のクローンが頻出した(48/93)。*Aeromonas*属細菌は、グルコースからの発電能力を有すると知られており、リアクター一段目において発電に関与していたと考えられる。リアクター二段目には、*Firmicutes*門*Lactococcus*属に最類縁クローンが頻出した(53/89)。リアクター三段目には*Firmicutes*門*Streptococcaceae*科と*Acetobacterium*属に最類縁のクローンが頻出した(39/97)。*Firmicutes*門細菌は酢酸をエネルギー源とする好熱性MFCの優占種のひとつである。第2、第3リアクターは酢酸を中心とした有機酸が電子供与体であると考えられるために、これらの細菌が発電に関与していたと判断した。以上のようにリアクターを多段式にすることで、嫌気消化反応の各段階(糖→脂肪酸→酢酸)それぞれに電極呼吸を行う微生物が存在することを明らかにした。またリアクター一段目において*Aeromonas*属細菌に代表されるグルコースを単独で完全酸化し、電極呼吸を行う細菌が検出された点は通常の嫌気消化過程とは異なる点である。単独の微生物が嫌気条件下でグルコースを発酵ではなく呼吸により完全酸化したことは、嫌気消化の食物連鎖を短絡できる、つまり従来の複数の微生物が関与する代謝に比べてエネルギー損失を低減できる可能性を示唆

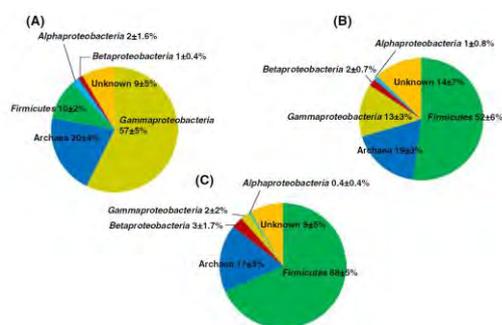


図-21 三段式MFCの菌叢解析結果
(A) (B) (C)はそれぞれリアクター
1, 2, 3 段目

した。

②一槽式空気カソードバイオ燃料電池の開発

酢酸をエネルギー源とする一槽式 MFC の開発に成功した。カソード室への炭酸ガス充填の結果、図-22 に示すような大幅な電力密度上昇が確認され、最大 150 W/m^3 を記録した。この結果は炭酸ガス充填法が、アノード電極表面に存在する水の pH を低下させる、すなわち、プロトン (H^+) 供給に関与していることが明らかとなった。さらに、アノード電極表面の水分量を最適化することも発電量の向上に重要であることを明らかにした。カソード室へ供給するガスの炭酸濃度および湿度の最適化が MFC の電力上昇に影響を与える重要な要因である。このことは、同時に MFC が炭酸ガス回収装置として機能することを示すものである。

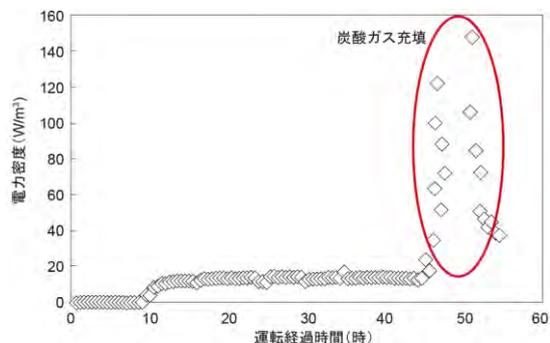


図-22 炭酸ガス充填に伴う MFC の出力上昇

③電気生産菌の育種

複合系 MFC から電気生産能力を有する細菌の分離に取り組み、*Aeromonas* sp. ISO2-3

株、*Hydrogenophaga* sp. AR20 株そして *Raoultella* sp. 1GB 株⁴⁷⁾ を獲得した。得られた分離株は基質分解特性を中心に表現型を調査し、その結果 AR20 株と 1GB 株は種レベルで新規な細菌であることが判明した。この内、特に 1GB 株は、MFC の触媒として機能する際にのみ、好気呼吸時よりも側鎖長の長いユビキノン(電子運搬体)を生産する(好気呼吸時はユビキノン-8 を生産、MFC 触媒時はユビキノン-10 を生産)ことが判明した。また生産されたユビキノン-10 は細胞内だけでなく細胞外からも検出された。我々はさらに 1GB 株の純粋培養 MFC に対しユビキノン-10 を添加することで、発電能が大幅に向上することを見出した。この成果はユビキノン-10 が MFC の細胞外電子運搬体である可能性を示唆した。今後は、これらの細菌を育種し、MFC に接種し有機物の分解を促進するとともに発電量の向上を図る必要がある。

6. トキシコゲノミクスを用いた多指標型バイオアッセイの開発:北海道大学【研究項目(2-1)】

(1) 研究のねらい

膨大な数の微量有害化学物質や消毒副生成物について、個別の健康リスク評価を行うことには限界がある。そこで本研究では、DNA マイクロアレイ技術を用いたヒト遺伝子(群)の発現解析により、再生水の慢性毒性(変異原性や発癌性など)を含めた安全性を一括して評価できる多指標型バイオアッセイを開発し、再生水の評価・管理への導入を目指す。

(2) 研究実施方法

毒性作用が既知の化学物質をヒト由来培養細胞に暴露することにより発現するヒト遺伝子群を、DNA マイクロアレイを用いて網羅的に解析し、発現遺伝子ライブラリーを構築した。ライブラリーの中から各毒性作用に対して特異的な発現応答を示す遺伝子(群)を選定した。定量 RT-PCR 法を用いて、選定した遺伝子(群)を簡便且つ定量的に評価できる試験系を確立した。また、ナノ粒子などの毒性が未知な化学物質に対して、本研究で確立したトキシコゲノミクスのアプローチを適用し、毒性メカニズムの解明、及びライブラリーの充実を図った。

さらに、上述の検討により確立したアプローチが下水処理水の安全性評価に適用可能か検討した。まず、細胞に暴露するための試料の前処理方法を検討した。続いて、細胞毒性試験を実施し、水質分析および既存の毒性試験(発光阻害試験)の結果と比較した。さらに、確立した暴露条件で遺伝子発現解析を実施し、本研究で確立したトキシコゲノミクスのアプローチの適用可能性を検討した。

(3) 研究成果

発現遺伝子ライブラリーの構築に関する研究については、代表的な毒性物質の遺伝子発現プロ

ファイルを集積し、遺伝子発現パターンによって毒性作用を区別可能な発現遺伝子ライブラリーを構築した。これまでに、酸化ストレス、タンパク質変性、発癌性等の毒性作用が明らかな6つのモデル物質を含む13の化学物質を対象に遺伝子発現解析を行った。得られた遺伝子発現プロファイルに階層的クラスタ解析を適用することによって、遺伝子発現パターン全体を比較し、その類縁性から化学物質間の作用の類縁性を推定した。その結果、図-23に示した通り、対象物質は、明らかに酸化ストレス、発癌性、タンパク質変性の作用ごとのクラスターに分類可能であることが示唆された。選択した1239遺伝子を利用した毒性評価システムの構築、毒性作用を評価できることが示された。

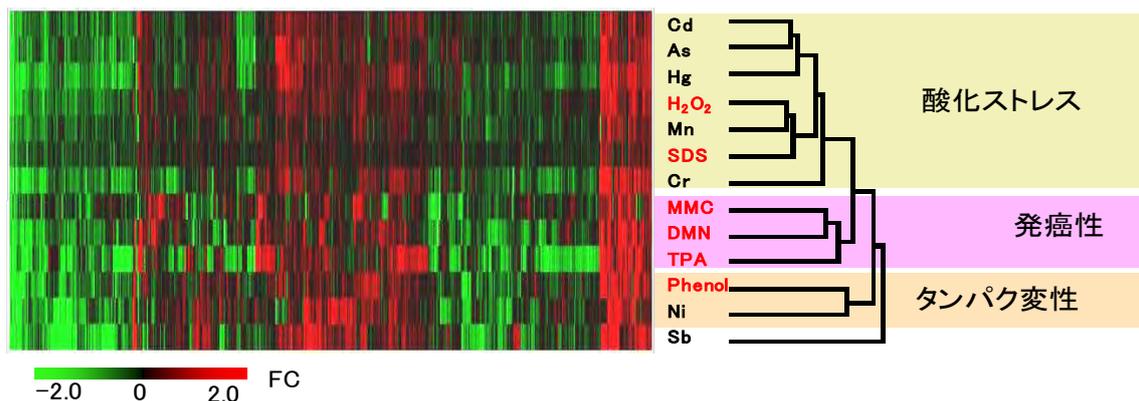


図-23 遺伝子発現プロファイルの階層的クラスタ解析

化学物質に特異的な遺伝子マーカーの探索・選定に関する研究については、発現遺伝子ライブラリーを活用し、毒性のマーカーとなる遺伝子の探索・選定を行った。実際の水質モニタリングにおいては、迅速・安価・簡便な毒性の推定が求められる。そこで、特定の化学物質（群）に対し特異的な変動を示す遺伝子（群）を選定し、これら遺伝子マーカーを標的としたハイスループットな毒性評価システムの構築を進めている。これまでに、重金属毒性、発がん性、ヒ素毒性に関して、表-5に示す5つの遺伝子マーカーを選定することができた。

表-5 選定された遺伝子マーカー

化学物質	遺伝子マーカー(主な機能)
重金属 (As、Cd、Cr、Hg、 Ni、Sb)	<i>HMOX1</i> (酸化ストレス)
発がん性物質 (発がんメカニズムに よらない)	<i>PTTG1</i> (腫瘍形成)
ヒ素	<i>CDC25B</i> (細胞増殖) <i>UBE2C</i> (細胞増殖) <i>PTTG1</i> (腫瘍形成)

特異的遺伝子マーカーの定量法の確立に関する研究については、選定された遺伝子マーカーの用量—反応関係を取得するために定量 RT-PCR 法が有効であることを実証した。一例として、ヒ素特異的遺伝子マーカー(*UBE2C*)の定量 RT-PCR 法による測定結果を図-24 に示す。*UBE2C* の発現量は、ヒ素暴露濃度の上昇とともに上昇し、6 μM で最大となった。この結果は、DNA マイクロアレイ解析及び細胞毒性試験の結果を反映したものであり、定量 RT-PCR 法による特異的遺伝子マーカー定量の有用性を示すことができた。このように、今後は、他の遺伝子マーカー及び暴露試料(化学物質、処理水など)に対しても今回確立した定量法が適用可能であるかを確認していく必要がある。

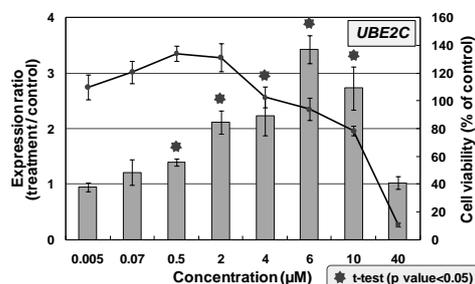


図-24 定量 RT-PCR 法による *UBE2C* の発現定量及び細胞生存率。

化学物質の毒性評価に関する研究については、毒性メカニズムの解明及び発現遺伝子ライブラリーのさらなる充実のため、表-6 に示した化学物質の毒性評価を実施した。ヒト由来培養細胞を用いた各種毒性試験と遺伝子発現解析を組み合わせることにより、毒性作用の推定や濃度・構造に依存的な変化を明らかにできた。今後は、これまで構築してきた遺伝子ライブラリーへ組み込み、遺伝子マーカーの選定を行っていく必要がある。

下水処理水の安全性評価手法の確立に関する研究については、試料の前処理方法について検討した結果、濃縮をしなくても細胞生存率の変化を見られることが分かった²⁷⁾。続いて、下水処理水および流入下水に対して、水質分析、発光阻害試験、ヒト細胞を用いた細胞毒性試験および遺伝子発現解析を実施し、結果を比較した。各処理水間で水質に顕著な違いは見られなかった。表-7にまとめた通り、既存の毒性試験では影響が見られなかったが、ヒト細胞を用いた細胞毒性試験、及び遺伝子発現解析では処理水間の違いを検出することができた^{27,39)}。

表-6 毒性評価を実施した化学物質および得られた主な成果

化学物質	得られた主な成果
フラーレン	・粒径および水酸基付加量に依存的に細胞毒性および遺伝子変動が変化した。
dendリマー	・世代(デンドロンの分岐回数)依存的な遺伝毒性の違いが見られた。 ・遺伝子発現解析により、毒性メカニズムが推定できた。
アルミニウム	・凝集剤として用いられる硫酸アルミニウムとポリ塩化アルミニウムのヒト神経細胞への取込み及び細胞毒性の違いを明らかにした。 ・遺伝子発現解析により、暴露濃度によって毒性作用が変化することが示唆された。

表-7 下水処理水および流入下水の安全性評価のまとめ³⁹⁾
(-: 影響なし、+: 影響有り、++: 強い影響有り)

	クロスフロ-型 MBR	浸漬型 MBR 1	浸漬型 MBR 2	活性汚泥	流入下水
発光阻害試験	-	-	-	-	++
細胞毒性試験 (生細胞数)	-	-	+	-	++
細胞毒性試験 (MTT 法)	-	-	+	+	++
遺伝子発現解析 (主な生物学的機能)	-	脂質代謝	脂質代謝 ホルモン応答	脂質代謝 細胞増殖	多数

都市下水の再利用を念頭に置いた場合、処理水の塩素消毒は必要不可欠である。しかしながら、塩素消毒によって有害な消毒副生成物が生成され、発がん性などの新たなリスクが生じることが懸念されている。本研究では⁵¹⁾、理水及び膜分離活性汚泥処理水を塩素で処理し、消毒による毒性の変化をヒト肝ガン由来細胞株 (HepG2) を用いて評価した。細胞毒性および遺伝毒性試験に加え、DNA マイクロアレイを用いたトキシコゲノミクスのアプローチを用いて、消毒した処理水が細胞に与える影響を網羅的に評価した。さらに、フーリエ変換質量分析計を用いて処理水中の残留有機物および塩素消毒により生じた消毒副生物の組成を解析し、毒性試験結果と比較した。この結果、活性汚泥法による処理水は塩素消毒すると細胞毒性が強まったが、逆に膜分離活性汚泥法による処理水の毒性は弱まった。なお、多くの消毒副生成物は遺伝毒性が疑われているが、本研究で対象とした処理水では、塩素消毒による遺伝毒性の変化は見られなかった。マイクロアレイの結果では、「急性の炎症応答」や「ホルモン刺激への応答」などに関わる生物学的機能が処理水暴露により影響を受けていたが、塩素消毒した処理水ではそれら影響が認められなかった。おそらくは塩素消毒により分解されやすい酸素/炭素比が小さい分子がそれら機能へ影響していたと考えられた。膜分離活性汚泥法による処理水は酸素/炭素比が小さい分子が活性汚泥法による処理水よりも多く、上述生物学的機能へ影響していた分子が塩素消毒により無毒化され、結果として細胞毒性が弱まったと考えられた。一方、活性汚泥処理水は塩素消毒により新たに生成した分子、すなわち消毒副生物が多く検出され、それらが細胞毒性を強めたと考えられた。このように、毒性評価と有機物分析を組み合わせることで、塩素消毒による下水処理水の毒性変化を詳細に且つ網羅的に評価することができた。本研究で用いたアプローチが今後も活用され、より安心・安全な再生水が供給されることが期待される。

都市下水の再利用は都市部における水不足を解消する手段として非常に有用であるが、処理水には微量ながらも数多くの有害物質が残留している可能性があり、多様な毒性作用機序により有害影響をもたらすことが懸念される。そこで、都市下水処理水の細胞毒性、遺伝毒性および生体異物反応を同時に評価できる **multiple endpoints gene alteration-based (MEGA) アッセイ**を開発した。これまでに筆者らは、DNA マイクロアレイを用いたトキシコゲノミクスのアプローチによって下水処理水の有害性を評価してきた。その中で、下水処理水による細胞毒性と関連があった遺伝子群を選定した。下水処理水をヒト肝ガン由来細胞株 (HepG2) に暴露し、リアルタイム RT-PCR 法により選定した遺伝子群の有意変動を評価した結果、最終的に 8 つの遺伝子が下水処理中の細胞毒性を高感度に検出できることが分かった。また、癌抑制タンパク質 p53 に関連する遺伝子群、生体異物の代謝に関わるシトクロム P450 に関連する遺伝子群を遺伝毒性および生体異物反応を検出するために選定し、MEGA アッセイに組み込んだ。これにより、3 つの毒性作用機序を簡便、高感度且つ、同時に検出することが可能になった。MEGA アッセイは安全な下水処理水を提供するための処理方法の検討、さらには得られた処理水の安全性評価に活用ができ、安心・安全な再生水を提供するための一助となることが期待される。

7. 腸管系ウイルスの新たな検出方法および感染性評価手法の開発:北海道大学【研究項目(2-2)】

(1) 研究のねらい

下水処理再生水中に存在しヒトに対して健康被害を与えうる病原微生物は多様であるが、粒径が小さいために膜ろ過による物理的除去が困難であり、且つ指標細菌と比して消毒剤耐性が高い腸管系ウイルスは、膜技術を最大限に活用した水循環システムを構築する上で特に注意を有する。そのような腸管系ウイルスの中でも近年被害を増大させているノロウイルスやサポウイルスなどは、感染能力評価に不可欠な組織細胞が存在しないため、下水処理再生水中からウイルス遺伝子が検出された場合においてもその感染リスクを議論することが事実上不可能であるのが現状である。本研究では、培養できない腸管系ウイルスの感染リスク評価を実現するために、感染性ウイルス回収・定量技術の開発を行うこと、さらには感染性を保持する腸管系ウイルスの水処理工程における

挙動を明らかにすることを目的としている。

(2) 研究実施方法

感染性ウイルス回収・定量技術の開発に関する研究では、本研究グループが独自に考案・開発したウイルス外殻タンパク質酸化ストレスマーカー検出技術を応用し、酸化傷害を受けることで感染能力を喪失したウイルス粒子を特異的に除去し、感染能力を有するウイルス粒子を精製した上で、定量 RT-PCR によるウイルス遺伝子定量を行った。対象ウイルスとしては、ノロウイルスやサポウイルスが属するカリシウイルス属の代替としてマウスノロウイルスを、全世界で年間50万人以上の乳幼児死者数を出すなど多大な被害をもたらしているヒトロタウイルスの代替としてサルロタウイルスを用いた。これらのウイルスを遊離塩素、紫外線及び光触媒処理を用いた消毒処理に供し、酸化損傷を受けたウイルス粒子をビオチンでマーキングし、ビオチン-アビジン相互作用を用いて酸化損傷を受けたウイルス粒子をサンプル中から除去する手法の有効性を評価した。腸管系ウイルスの水処理工程における挙動に関する研究では、MBR パイロットプラントから流入下水、MBR 槽内水及び下水処理水を採取し、エンテロウイルス、ノロウイルス及びサポウイルス遺伝子量を定量することで MBR におけるウイルス除去効率を評価した。また、MBR におけるヒトノロウイルス除去に寄与するヒトノロウイルス受容体様物質を保持する腸内細菌の分離を試みた。

(3) 研究成果

感染性ウイルス回収・定量技術の開発に関する研究では、代替ウイルスとして用いたマウスノロウイルス及びサルロタウイルスに関し、遊離塩素により酸化損傷マーカーであるカルボニル基が生成することが確認された。図-25 には各ウイルスの RNA 分解酵素感受性(ウイルス遺伝子が露出している程度を表す指標。この値が大きい程、カプシドタンパク質が崩れウイルス遺伝子が露出している程度が大きい)及び非ビオチン化—ビオチン化ウイルス粒子数比(酸化損傷の程度を表す指標。値が大きい程、酸化損傷を受けていないウイルス粒子の占める割合が大きい)を示した。

マウスノロウイルス及びサルロタウイルスに関し、1感染価当たりの遺伝子コピー数(この値が大きい程、感染能力を失ったウイルス粒子の存在割合が高い)が大きくなる程、RNA 分解酵素感受性が増加し、非ビオチン化—ビオチン化ウイルス粒子数比は低下した。これらの結果は、ウイルス外殻タンパク質上の酸化ストレスマーカー量に着目することで、あるサンプル中に含まれる感染能力を保持したウイルス粒子の割合を推定することが可能であることを示している⁴⁰⁾。

腸管系ウイルスの水処理工程における挙動に関する研究では、MBR パイロットプラントから得られたウイルス遺伝子定量値の確率分布を推定するために、ベイズ法を用いた水中ウイルス濃度予測分布推定手法を確立した。本研究の特徴は、陰性サンプルを含むウイルス定量値データを基に、正しい濃度分布を推定することが出来る点にある⁴³⁾。

特に大きな感染症被害をもたらしているノロウイルスに関し、MBR による除去メカニズムを解明するために、MBR 槽内に常在する腸内細菌が保持するノロウイルス受容体(血液型決定抗原)様物質に着目し、その存在を証明することを試みた。その結果、血液型決定抗原様物質を菌体表面に有する腸内細菌を単離することに成功した。この腸内細菌は *Enterobacter* sp. に属するものであり、特に A 型抗原様物質を細胞外物質中に分泌することが免疫透過型電子顕微鏡により観察された。この結果は、MBR における膜表面ケーキ層などに見出される細菌由来物質の中には血液型決定抗原様物質を保持するものが存在し、それらが MBR によるノロウイルスの排除に寄与することを示唆するものである³⁷⁾。今後、血液型決定抗原様物質を保持する腸内細菌がどの程度ノロウイルスの除去に関わっているか、直接的なデータを取得する必要がある。

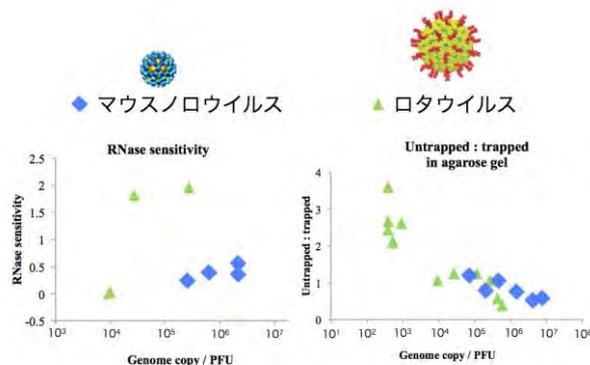


図-25 マウスノロウイルス及びサルロタウイルスの RNA 分解酵素感受性及び非ビオチン化—ビオチン化ウイルス粒子数比

8. 宿主特異的 16S rRNA 遺伝子マーカーによる水系汚染の評価:北海道大学【研究項目(2-3)】

(1) 研究のねらい

現在の水道水水質基準において、糞便性汚染を示す指標としては大腸菌が用いられている。一方で、排水基準や環境基準では大腸菌群数が、海水浴場の指標細菌としては糞便性大腸菌が採用されており、統合的な水環境管理を行なううえで統一された糞便性汚染指標とはなっておらず、早急な対応が望まれる。また、現行の糞便性汚染指標である大腸菌群数の測定には多くの問題点があるため、新たな統合的な糞便性汚染指標として宿主動物毎に特異的に存在する *Bacteroides* 属の 16S rRNA 遺伝子配列(遺伝子マーカー)を提案し、伝子マーカーの迅速かつ正確な定量・モニタリング法の開発を行うことを目的とする。これにより迅速かつ簡便な糞便汚染源の特定と汚染度の同時定量が可能となり、統合的な水環境管理を可能とし、より安全で効率的な水利用や具体的な汚染防止対策が可能となる。

(2) 研究実施方法

まず、ヒト、ウシ、ブタ、カモ、ニワトリ由来の糞便汚染を定量的に評価するための特異的 PCR プライマーを設計し検証した。また、環境水サンプルの濃縮方法および核酸の抽出方法を比較検討し、最適法を確立した。さらに、ターゲット微生物の検出効率を評価するための内部標準法を確立した。次に、実際の環境水サンプルを経時的に採取し、宿主特異的 16S rRNA 遺伝子マーカーを用いて糞便汚染源の特定・定量を行った。さらに、複数病原細菌・ウイルスの同時定量手法および病原体を特異的に検出・分離する手法を開発し、それぞれの糞便汚染指標である遺伝子マーカーの存在量と病原細菌・ウイルスの存在量との相関関係を調べた(平成 24 年度から新規追加)。

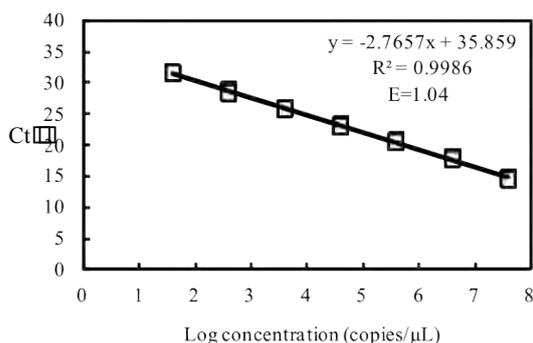


図-26 カモ、ニワトリ由来の *Bacteroides* 属に特異的な定量的 PCR システムを用いて作成した検量線。横軸はターゲット遺伝子濃度、縦軸は定量的 PCR による閾値サイクル数(Ct)を示す。

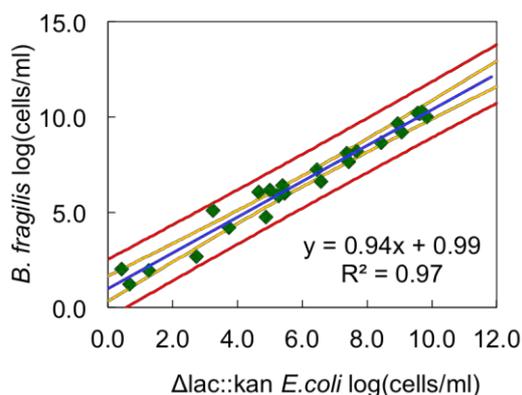


図-27 *B. fragilis* および内部標準 ($\Delta lac::kan E. coli$) の定量値の関係。青線； 回帰直線、黄線；母平均の 99% 信頼区間、赤線；線標本の 99% 予測区間。

(3) 研究成果

ヒト、ウシ、ブタ由来の *Bacteroides* 属に特異的な定量的 PCR システムに加えて、カモ、ニワトリ由来の *Bacteroides* 属に特異的な定量的 PCR システムを確立した(図-26)³⁸⁾。また、環境水サンプルの濃縮方法および核酸の抽出方法の最適化を行った。さらに、 $\Delta lac::kan E. coli$ を用いた内部標準法を作成しターゲット微生物の検出効率を評価する方法を確立した(図-27)³⁶⁾。さらに、確立した手法を用いて実際の環境水サンプルを経時的に採取し、宿主特異的 16S rRNA 遺伝子マーカーを用いて糞便汚染源の特定・定量を行った。これにより迅速かつ簡便な糞便汚染源の特定と汚染度の同時定量が可能となった。

当初の計画では、複数種病原微生物の検出・定量を行う予定はなかったが、ここ数年のバイオテクノロジーおよびナノテクノロジーの急速な発展により、直接的・網羅的に病原微生物を定量検

出し安全性を評価することが可能になりつつある。したがって、バイオテクノロジーおよびナノテクノロジーの新技术(マイクロ流体工学デバイス)を駆使して環境中に存在する複数の病原微生物を同時に検出・定量する研究を追加した。現在までに、8種類の病原微生物、16種の病原因子遺伝子を同時定量検出できることを確認した(図-28)^{41, 48)}。この検出方法は特許申請中である。

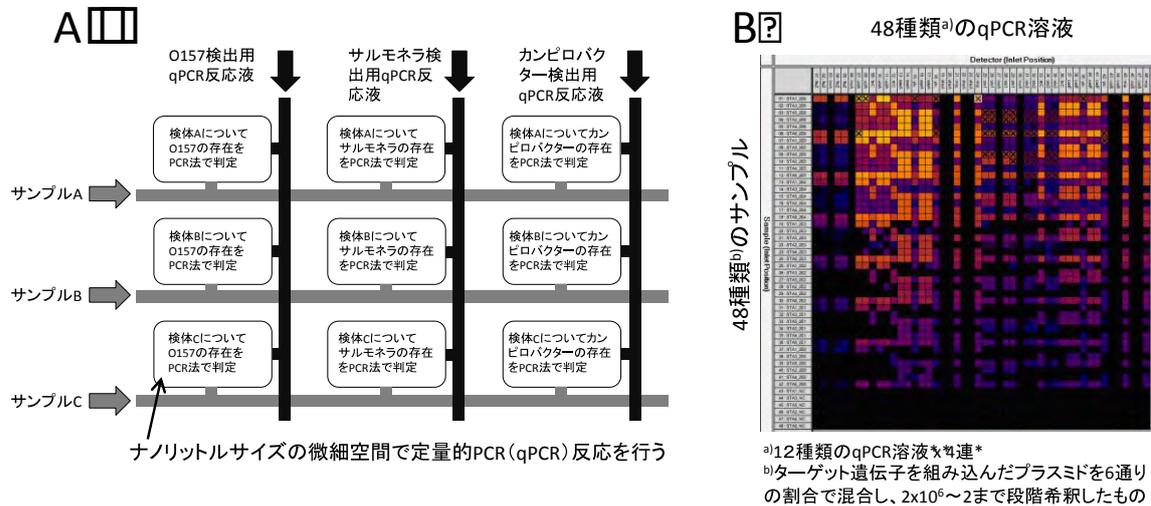


図-28 複数種病原微生物の検出・定量手法の原理(A)と結果例(B)

病原微生物が検出された場合は、汚染源を特定し除去する必要がある。そこで、フローサイトメトリおよびセルソータを用いて病原体を特異的に検出・分離する手法を開発する研究を新たに追加した。現在までに、蛍光抗体および生菌染色剤を用いて生きた大腸菌 O157 を特異的に検出し、分取する手法を開発した(図-29)。

以上の研究成果より、病原体の網羅的検出・定量、病原体汚染源の特定が可能になり、糞便性汚染指標と合わせることでより安全で効率的な水利用やリスク評価、具体的な汚染防止・除去対策が可能となり、目標である統合的な水環境管理につながれると考える。

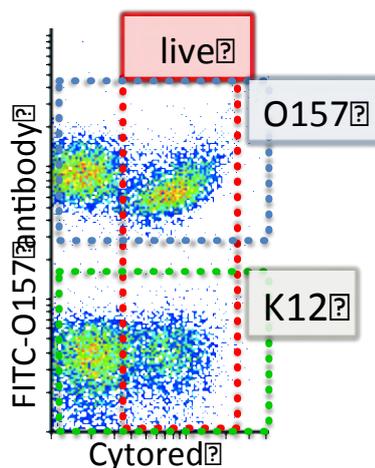


図-29. フローサイトメトリによる生きた大腸菌 O157 の特異的検出。横軸に生菌染色剤の蛍光強度を縦軸に抗O157抗体の蛍光強度を示す。

9. ナノマテリアルを用いた重金属センサーの開発:北海道大学【研究項目(2-4)】

(1) 研究のねらい

重金属による土壌、地下水、河川水の汚染が問題となっており、人の健康ならびに生態系への影響が懸念されている。現在、重金属汚染現場でのモニタリングやスクリーニングを目的とした簡易分析法が求められており、パックテスト、イオン選択性電極ならびにボルタンメトリー法などが開発されている。しかしながらこれらの分析技術には選択性に欠ける、電極が汚染される、などの問題点がある。本研究項目ではこれら欠点を解決するために、蛍光分光法による新たな簡易分析法を開発する。蛍光分光法は高感度かつ簡易な分析法であり、分析機器の構成要素も少ないため装置の小型化も可能である。しかしながら、蛍光分光法を用いた重金属の分析には重金属イオンを検出し、蛍光特性(蛍光強度、波長)が変化するナノマテリアルが必要である。このようなナノマテリアルは既に多数の報告があるが、その多くが生命科学分野での利用を目的としており、水環境中の重金属を分析するための蛍光分光法は実用化されていない。

本研究項目は以下の4ステップからなる。①重金属センサーのコア技術となる蛍光分子を合成する。これと並行してイオン認識部位を合成する。これらを結合することで重金属認識ナノマテリアルを開発する。②重金属認識ナノマテリアルを用いて、水サンプル中の重金属を分析する。③重金属認識ナノマテリアルを基板(ビーズおよびガラス)へ固定することでセンサーを開発する。④複数の重金属認識ナノマテリアルをガラス基板へ固定することで網羅的重金属分析システムを開発する。

(2) 研究実施方法

ナノマテリアルの合成は原料化合物より段階的に行い、各反応での目的化合物は抽出後、シリカゲルカラムクロマトグラフィーまたはアルミナカラムクロマトグラフィーを用いて精製した。全ての新規化合物は¹H-NMR スペクトル、¹³C-NMR スペクトルおよびMS スペクトルにより同定した。

ナノマテリアル溶液は 3.0×10^{-7} molのナノマテリアルを10 mLのアセトニトリルに溶解することで調整した。金属イオン標準原液は13種類の金属(Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , Cr^{3+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+} および Pb^{2+})の過塩素酸塩をTris-HClバッファー(1 mM)に溶かして作製した。10 mLメスフラスコに色素溶液と金属標準液を分注し、目的の金属濃度の試料を調製した。すなわち、溶媒はアセトニトリル/水=9/1の含水アセトニトリルである。吸収および蛍光スペクトルは紫外可視分光光度計(日本分光、V-630)および分光蛍光光度計(日本分光、FP-6600)を用いて測定した。

(3) 研究成果

①重金属認識ナノマテリアルの開発

これまでに4種類の重金属認識ナノマテリアルを開発した(図-30)^{18, 26, 35)}。ナノマテリアル1は Zn^{2+} に、ナノマテリアル2は Cr^{3+} に高い選択性を示した。ナノマテリアル3は金属イオンとの結合が弱く、ナノマテリアル4は含水サンプル中では蛍光を発しなかった。

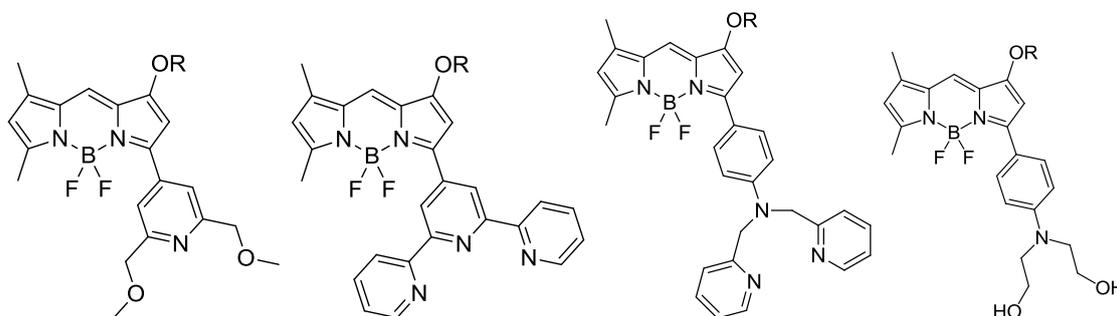


図-30 重金属認識ナノマテリアルの分子構造

一例としてナノマテリアル 2 の特性を記述する。アセトニトリル中のナノマテリアル 2 について、吸収および蛍光の極大波長はそれぞれ 551 nm, 595 nm であり、モル吸光係数は $6.2 \times 10^4 \text{ mol}^{-1} \text{ L cm}^{-1}$ 、蛍光量子収率は 0.14 であった。吸収および蛍光スペクトルの両者で各イオンに対しそれぞれ異なった応答を示した。吸収および蛍光スペクトル両方について、 Na^+ 、 K^+ のアルカリ金属に対してはスペクトルの変化はほぼ見られなかった。 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Cr^{3+} 、 Fe^{2+} に対しては吸収、蛍光極大波長の短波長側へのシフトおよびわずかな吸光度の減少と蛍光強度の増大が見られた。うち、 Cr^{3+} のみ他のイオンに比べ吸収スペクトルのシフト、吸光度減少ともにやや小さかった。 Fe^{3+} 、 Cu^{2+} については吸収波長では短波長側へのシフトが見られたものの、吸光係数は 1/3~1/4 に減少し蛍光強度も減少した。 Zn^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Hg^{2+} 、 Pb^{2+} については吸収・蛍光波長のシフト、蛍光強度増大ともに大きく Zn^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Pb^{2+} では蛍光極大波長が 544 nm, Hg^{2+} については 549 nm へ移動した。しかしながら、吸光度の大きな変化は無かった。ナノマテリアル 2 のみをアセトニトリルに溶解した系では、蛍光量子収率は低く 0.14 であった。これはアニリン部分の窒素原子は非共有電子対を有しており、これが BODIPY の骨格側へ電子を供与することによって光誘起電子移動 (PET) 効果が起き、蛍光を減じているものと考えられる。金属イオンに対する応答機構は次のようなものと考えられる。認識部位にイオンが結合することにより、認識部位の電荷がイオン側へ偏る。この結果、認識部位から BODIPY 骨格への電子供与が減少し、分子内電荷移動効果が減少する。これにより最高被占軌道 (highest occupied molecular orbital: HOMO) -最低空軌道 (Lowest unoccupied molecular orbital: LUMO) 間のバンドギャップが大きくなり蛍光は短波長側へ移動する。また、認識部位の電子供与性が減じるため PET 効果も減少し、量子収率が大幅に増大する要因ともなる。

アセトニトリル中でナノマテリアル 2 に対し Zn^{2+} 濃度を変化させ、吸収スペクトル及び蛍光スペクトルを測定し蛍光滴定を行った。励起波長は 520 nm とし、 Zn^{2+} 濃度は 0~10 μM で変化させた。 Zn^{2+} 濃度の増加に伴い吸収、蛍光波長はそれぞれ 550 nm から 520 nm, 595 nm から 544 nm へと変化した。このとき、等蛍光点と考えられる 615 nm の蛍光強度に対し 544 nm の蛍光強度の比 ($R=I_{544}/I_{615}$) をプロットした結果、対数濃度に対し強度比は約 2~6 μM で直線を示した。また、強度比より Hill plot を行ったが、傾きが 1 より大きい値となった。このことから色素 1 と Zn^{2+} との滴定において、1:1 以外の錯体が共存していると考えられる。

②ナノマテリアルを用いた水サンプル中の重金属分析

溶媒を含水アセトニトリル (アセトニトリル/水=9/1 (v/v)) に変え、上記と同様の実験を行った結果、イオン応答性に変化が見られた。アセトニトリル 100% 中ではスペクトルの変化が見られた Mg^{2+} および Ca^{2+} に関して含水アセトニトリル中では応答せず、ナノマテリアル 1 のスペクトルの変化が見られなかった。この結果は環境工学的視点から考えると重要な結果である。生化学分野では細胞イメージング用の Mg^{2+} や Ca^{2+} プロブが注目されるが、環境サンプル中にはこれらのイオンならびに Na^+ 、 K^+ が多量に含まれており、むしろ妨害イオンとして考えられるため応答しないことが望ましい。また、アセトニトリル中では蛍光消光を引き起こした Cr^{3+} が存在した場合でも蛍光を発したが、 Mn^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} ならびに Cu^{2+} は蛍光消光を引き起こした。 Hg^{2+} および Pb^{2+} の場合はアセトニトリル中では蛍光が微弱であったが、含水アセトニトリル中では明らかな蛍光を示した。しかしながら、これは励起波長を変えたため (アセトニトリル中では 515 nm, 含水アセトニトリル中では 520 nm) だとも考えられる。

続いて、最も長波長側に蛍光が移動した Zn^{2+} を用いて蛍光滴定実験を行った。ナノマテリアル 1 の濃度を 1 μM に固定し、 Zn^{2+} 濃度を 0 μM から 50 μM (50 当量) まで徐々に増加させた際の蛍光スペクトル変化を検討した。 Zn^{2+} 濃度の増加に伴い、ナノマテリアル由来の波長 539 nm の蛍光の強度は徐々に低下した。一方、色素と Zn^{2+} との錯

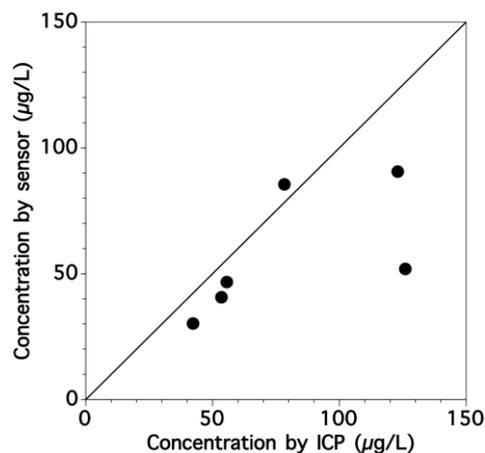


図-31 ナノマテリアルおよび ICP で測定した路面排水中の Zn^{2+} 濃度

体が発する波長 567 nm での蛍光強度は増強した。つまり、この 2 波長での蛍光強度 (F) の比 ($R = F_{567}/F_{539}$) は Zn^{2+} 濃度の増加に従って増大する。R 値の比を用いて検量線を作成した。 Zn^{2+} 定量範囲はナノマテリアル 1 では 0.01 – 1.0 mg/L、ナノマテリアル 2 では 0.1 – 300 mg/L であった。この結果から、ナノマテリアル 1 はナノマテリアル 2 よりも Zn^{2+} に対する結合力が強く、より低濃度の Zn^{2+} を定量可能であることが明らかとなった。一方、ナノマテリアル 2 は Zn^{2+} に対する結合力はナノマテリアル 1 よりも弱いものの、より広範囲の Zn^{2+} 濃度を定量可能であった。以上より、単一のナノマテリアルを用いるよりも複数のナノマテリアルを用いることで定量範囲を拡大できることが示唆された。

最後に、ナノマテリアル 1 を用いて路面排水中の Zn^{2+} を分析した⁴⁶⁾。路面排水中の溶存態 Zn 濃度を ICP-AES で分析した後、ろ過後の路面排水にナノマテリアル 1 を添加し、蛍光スペクトルを解析した。Zn 濃度が 80 $\mu\text{g/L}$ 以下の場合、ICP の測定結果と蛍光分析の結果はおおむね一致した(図-31)。しかしながら、Zn 濃度が 120 $\mu\text{g/L}$ 以上の場合、蛍光分析の結果は過小評価となった。この理由として、Zn 濃度が高い排水には比較的高濃度で Fe が含まれており、ナノマテリアルが消光したためと考えられる。

§ 5 成果発表等

1. 原著論文発表 (国内(和文)誌 1件、国際(欧文)誌 50件)

1. May, T., Itoh, A. and Okabe, S. Characterization and global gene expression of F- phenocopies during *Escherichia coli* biofilm formation. *Molecular Genetics and Genomics*, **284**, 333-342, 2010.
2. Okabe, S., Oshiki, M., Kamagata, Y., Yamaguchi, N., Toyofuku, M., Yawata, Y., Tashiro, Y., Nomura, N., Ohta, H., Ohkuma, M., Hiraishi, A. and Minamisawa, K. A Great Leap forward in Microbial Ecology, *Microbes and Environments*, **25**(4), 230-240, 2010.
3. Sano, D., Wada, K., Imai, T., Masago, Y. and Omura, T. Norovirus-binding proteins recovered from activated sludge microorganisms with an affinity to a noroviral capsid peptide, *Journal of Applied Microbiology*, **109**(6), 1923-1928, 2010.
4. Cho, S., Takahashi, Y., Fujii, N., Yamada, Y., Satoh, H. and Okabe, S. Nitrogen removal performance and microbial community analysis of an anaerobic up-flow granular bed anammox reactor, *Chemosphere*, **78**, 1129-1135, 2010.
5. Miyoshi, T., Tanaka, I., Tsuyuhara, T., Watanabe, E., Aizawa, E., Kimura, K. and Watanabe, Y. Fouling potentials of polysaccharides in membrane bioreactors (MBRs) assessed by lectin affinity chromatography, *Water Science and Technology*, **61**(7), 1787-1792, 2010.
6. Tsuyuhara, T., Hanamoto, Y., Miyoshi, T., Kimura, K. and Watanabe, Y. Influence of membrane properties on physically reversible and irreversible fouling in membrane bioreactors, *Water Science and Technology*, **61**(9), 2235-2240, 2010.
7. Kimura, K., Hara, H. and Watanabe, Y. Elimination of selected pharmaceuticals by biosolids from municipal wastewater treatment plants: importance of modest pH change and degree of mineralization, *Water Science and Technology*, **62**(5), 1084-1089, 2010.
8. Ogawa, N., Kimura, K. and Watanabe, Y. Membrane fouling in nanofiltration/reverse osmosis membranes coupled with a membrane bioreactor used for municipal wastewater treatment, *Desalination and Water Treatment*, **18**, 292-296, 2010.
9. Yamada, Y., Kikuchi, K., Yamauchi, T., Shiraishi, K., Ito, T., Okabe, S., Hiraishi, A., Ohashi, A., Harada, H., Kamagata, Y., Nakamura, K., and Sekiguchi, Y. Ecophysiology of uncultured filamentous anaerobes belonging to the phylum KSB3 as causative agents of bulking in methanogenic granular sludge. *Applied and Environmental Microbiology*. **77**(6), 2081-2087, 2011.
10. Tojo, F., Itoh, Y., Okabe, S., and Morikawa, M. Analyses of three dominant membrane proteins from anammox planctomycete Candidatus 'Brocadia sinica' *Journal of Environmental Biotechnology*, **11**(1-2), 77-81, 2011.
11. Okabe, S., Satoh, H., and Kindaichi, T. A polyphasic approach to study eco-physiology of complex multispecies nitrifying biofilms. *Methods in Enzymology*. **496**, 163-184, 2011.
12. Okabe, S., Oshiki, M., Takahashi, Y., and Satoh, H. N₂O emission from a partial nitrification-anammox process and identification of a key biological process of N₂O emission from anammox granules. *Water Research*, **45**(19), 6461-6470, 2011.
13. Okabe, S., Oshiki, M., Takahashi, K., and Satoh, H. Development of long-term stable partial nitrification and subsequent anammox process. *Bioresource Technology*, **102**(13), 6801-6807, 2011.
14. Sano, D., Perez, U., Guix, S., Pinto, R. M., Miura, T., Okabe, S., and Bosch, A. Quantification and genotyping of human sapoviruses in the Llobregat River catchment, Spain, *Applied and Environmental Microbiology*. **77**(3), 1111-1114, 2011.
15. Hafuka, A., Sakaida, K., Satoh, H., Takahashi, M., Watanabe, Y., and Okabe, S. Effect of feeding regimens on polyhydroxybutyrate production from food wastes by *Cupriavidus necator*, *Bioresource Technology*, **102**(3), 3551-3553, 2011.
16. Cho, S., Fujii, N., Lee, T., and Okabe, S. Development of a simultaneous partial nitrification and anaerobic ammonia oxidation process in a single reactor, *Bioresource Technology*, **102**(2), 652-659, 2011.
17. Chung, K., Fujiki, I., and Okabe, S. Effect of formation of biofilms and chemical scale on the cathode electrode on the performance of a continuous two-chamber microbial fuel cell, *Bioresource Technology*, **102**(1), 355-360, 2011.

18. Hafuka, A., Taniyama, H., Yamada, K., Takahashi, M., Okabe, S., and Satoh, H. Development of a fluorescent molecule for heavy metal ion detection. *Proceeding of 7th IWA Assessment and Control of Hazardous Substances in Water Specialist Conference*. 2011.
19. Kimura, K., Watanabe, E., and Watanabe, Y. Treatment of municipal wastewater with a short retention time by a baffled membrane bioreactor: performance and fouling characteristics. *Proceeding of 4th Specialized Conference on Decentralized Water and Wastewater International Network*, 415-420, 2011.
20. May, T., Tsuruta, K., and Okabe, S. Exposure of conjugative plasmid carrying *Escherichia coli* biofilms to male-specific bacteriophages. *The ISME Journal*, **5**(4), 771-775, 2011.
21. Miyoshi, T., Aizawa, T., Kimura, K., and Watanabe, Y. Characteristics of proteins involved in membrane fouling in membrane bioreactors (MBRs) treating municipal wastewater: the application of metaproteomic analyses. *Desalination and Water Treatment*, **34**(1-3), 150-155, 2011.
22. May, T., and Okabe, S. Enterobactin is required for biofilm development in reduced-genome *Escherichia coli*. *Environmental Microbiology*, **13**(12), 3149-3162, 2011.
23. Oshiki, M., Shimokawa, M., Fujii, N., Satoh, H., and Okabe, S. Physiological characteristics of the anaerobic ammonium-oxidizing bacterium 'Candidatus Brocadia Sinica'. *Microbiology*, **157**, 1706-1713, 2011.
24. Tojo, K., Sano, D., Miura, T., Nakagomi, T., Nakagomi, O., and Okabe, S. Detection of oxidative damages on viral capsid protein for evaluating infectivity of gastroenteritis viruses. *Proceeding of 4th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition*, 2011.
25. Kobayashi, A., Sano, D., and Okabe, S. Effects of temperature and predator to the persistence of host-specific genetic markers in water. *Proceeding of 4th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition*, 2011.
26. Hafuka, A., Taniyama, H., Satoh, H., Yamada, K., Takahashi, M. and Okabe, S. Development of fluorescent molecules for heavy metal ions analysis. *Proceeding of 4th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition*, 2011.
27. Hara-Yamamura, H., Taga, T., Kawata, K., and Okabe, S. Evaluating short-term and long-term effect of arsenic exposure on human hepatoma cells. *Proceeding of 4th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition*, 2011.
28. Tashiro, Y., Kawata, K., Taniuchi, A., Kakinuma, K., May, T., and Okabe, S. RelE-mediated dormancy is enhanced at high cell density in *Escherichia coli*. *Journal of Bacteriology*, **194**(5), 1169-1176, 2012.
29. Hoque, A., Kimura, K., Miyoshi, T., Yamato, N., and Watanabe, Y. Characteristics of foulants in air-sparged side-stream tubular membranes used in a municipal wastewater membrane bioreactor. *Separation and Purification Technology*, **93**, 83-91, 2012.
30. Hoque, A., Miyoshi, T., Kimura, K., and Watanabe, Y. Performance of Membrane Bio-reactor Equipped with Air-sparged Side-stream Tubular Membrane: Treatment Efficiency and Membrane Fouling. *Separation Science and Technology*, **47**(10), 1455-1463, 2012.
31. Satoh, H., Tsushima, I., Miura, Y., and Okabe, S. Characterization of microbial community structures and their activities in single anaerobic granules by beta imaging, microsensors and fluorescence in situ hybridization. *Water Science and Technology*, **65**(12), 2125-2131, 2012.
32. Ji, Z., Wang, X., Zhang, C., Miura, T., Sano, D., Funamizu, N., and Okabe, S. Occurrence of hand-foot-and-mouth disease pathogens in domestic sewage and secondary effluent in Xi'an, China. *Microbes and Environments*, **27**(3), 288-292, 2012.
33. Bandara, W., Kindaichi, T., Satoh, H., Sasakawa, M., Nakahara, Y., Takahashi, M., and Okabe, S. Anaerobic treatment of municipal wastewater at ambient temperature: Analysis of archaeal community structure and recovery of dissolved methane. *Water Research*, **46**(17), 5756-5764, 2012.
34. Bandara, W., Satoh, H., Sasakawa, M., Nakahara, Y., Takahashi, M., and Okabe, S. Introduction of a degassing membrane technology into anaerobic wastewater treatment. *Water Environment Research*, **85**(5), 387-390, 2013.
35. Hafuka, A., Taniyama, H., Son, S. H., Yamada, K., Takahashi, M., Okabe, S. and Satoh, H. BODIPY-based ratiometric fluoroionophores with bidirectional spectral shifts for the selective recognition of heavy metal ions. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*. **86**(1), 37-44. 2013.

36. Kobayashi, A., Sano, D., Taniuchi, A., Ishii, S. and Okabe, S. Use of a genetically-engineered *Escherichia coli* strain as a sample process control for quantification of the host-specific bacterial genetic markers. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(20), 9165-9173, 2013.
37. Miura, T., Sano, D., Suenaga, A., Yoshimura, T., Fuzawa, M., Nakagomi, T., Nakagomi, O. and Okabe, S. Histo-blood group antigen-like substances of human enteric bacteria as specific adsorbents for human norovirus. *Journal of Virology*, 87(17), 9441-9451, 2013.
38. Kobayashi, A., Sano, D., Hatori, J., Ishii, S. and Okabe, S. Chicken- and duck-associated *Bacteroides-Prevotella* genetic markers for detecting fecal contamination in environmental water. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(16), 7427-7437, 2013.
39. Hara-Yamamura, H., Nakashima, K., Hoque, A., Miyoshi, T., Kimura, K., Watanabe, Y. and Okabe, S. Evaluation of whole wastewater effluent impacts on HepG2 using DNA microarray-based transcriptome analysis. *Environmental Science and Technology*, 47(10), 5425-5432, 2013.
40. Tojo, K., Sano, D., Miura, T., Nakagomi, T., Nakagomi, O. and Okabe, S. A new approach for evaluating the infectivity of noncultivable enteric viruses without cell culture. *Water Science and Technology*, 67(10), 2236-2240, 2013.
41. Ishii, S., Segawa, T. and Okabe, S. Simultaneous quantification of multiple food and waterborne pathogens by use of microfluidic quantitative PCR. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(9), 2891-2898, 2013.
42. Kobayashi, A., Sano, D. and Okabe, S. Effects of temperature and predator on the persistence of host-specific *Bacteroides-Prevotella* genetic markers in water. *Water Science and Technology*, 67(4), 838-845, 2013.
43. Kato, T., Miura, T., Okabe, S. and Sano, D. 2013. Bayesian modeling of enteric virus density in wastewater using left-censored data. *Food and Environmental Virology*, 5(4), 185-193, 2013.
44. 羽深昭、吉川弘晃、大屋光平、山田幸司、高橋正宏、岡部聡、佐藤久。フルオロイオノフォアを用いた蛍光分光法による工場廃水中 Zn^{2+} の定量。土木学会論文集 G(環境). 69(7), 275-279, 2013.
45. Kimura, K., Tanaka, K. and Watanabe, Y. Microfiltration of different surface waters with/without coagulation: Clear correlations between membrane fouling and hydrophilic biopolymers, *Water Research*, 49, 434-443, 2014.
46. Hafuka, H., Yoshikawa, H., Yamada, K., Kato, T., Takahashi, M., Okabe, S. and Satoh, H. Application of fluorescence spectroscopy using a novel fluoroionophore for quantification of zinc in urban runoff. *Water Research*. 54(1), 12-20. 2014.
47. Kimura, Z., Chung, K. M., Itoh, H., Hiraishi, A. and Okabe, S. *Raoultella electricum* sp. nov., isolated from anodic biofilms of a glucose-fed microbial fuel cell. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 64, 1384-1388. 2014.
48. Ishii, S., Nakamura, T., Ozawa, S., Kobayashi, A., Sano, D. and Okabe, S. Water quality monitoring and risk assessment by simultaneous multipathogen quantification. *Environmental Science and Technology*, 48(9), 4744-4749. 2014.
49. Ali, M., Oshiki, M. and Okabe, S. Simple, rapid and effective preservation and reactivation of an anaerobic ammonium oxidizing bacterium "*Candidatus Brocadia sinica*". *Water Research*, 57, 215-222. 2014.
50. Hafuka, A., Yoshikawa, H., Yamada, K., Kato, T., Takahashi, M., Okabe, S. and Satoh, H. Application of fluorescence spectroscopy using a novel fluoroionophore for quantification of zinc in urban runoff. *Water Research*, 54, 12-20. 2014.
51. Fukushima, T., Hara-Yamamura, H., Urai, M., Kasuga, I., Kurisu, F., Miyoshi, T., Kimura, K., Watanabe, T. and Okabe, S. Toxicity assessment of chlorinated wastewater effluents by using transcriptome-based bioassays and Fourier Transform Mass Spectrometry (FT-MS) analysis. *Water Research*, 52, 73-82. 2014.
52. Ishii, S., Song, Y., Rathnayake, L., Tumendelger, A., Satoh, H., Toyoda, S., Yoshida, N. and Okabe, S. Identification of key N_2O production pathways in aerobic partial nitrifying granules, *Environmental Microbiology*, DOI: 10.1111/1462-2920.12458

2. その他の著作物(総説、書籍など)

1. Okabe, S. and Kamagata, Y.「Wastewater Treatment」『Environmental Molecular Microbiology』 Liu, W.-T. and Jansson, J. K. (eds.), Caister Academic Press, Norfolk, UK., Pp.191-210. 2010.
2. 岡部 聡. 巻頭言「微生物燃料電池:一石三鳥の次世代型水処理技術」水環境学会誌, 2010, 33(11), 347
3. 岡部 聡、「微小空間における難培養微生物群集の構造と機能解析」『難培養微生物研究の最新技術 II』(大熊盛也、工藤俊章 監修) シーエムシー出版、Pp.3-18, 2010.
4. 佐野大輔. 水質管理によるノロウイルス感染症の制御の可能性. 感染対策 ICT ジャーナル, 5(4), 421-426, 2010.
5. 岡部 聡、「廃水処理」第 8 章 微生物電池の応用、「バイオ電池の最新動向」(加納 健司 監修)、シーエムシー出版、Pp.225-234, 2011.
6. 佐藤久、池田真之、高橋正宏、岡部聡、中原禎仁、笹川学. 脱気膜を用いた有機性廃水の水素発酵プロセスの高効率化. 環境浄化技術, 2011, 1-2, 85-90.
7. 押木守、岡部聡. バイオフィルム, 遺伝, 2011, 65(3), 48-54.
8. Okabe, S., Satoh, H. and Kindaichi, T.「A Polyphasic Approach to Study Ecophysiology of Complex Multispecies Nitrifying Biofilms」『Research on Nitrification and Related Processes, Part B』Methods in Enzymology, Klotz, M. D., and Stein. L. Y. (eds.), Elsevier, CA, USA, Pp.163-184. 2011.
9. Okabe, S., Aoi, Y., Satoh, H. and Suwa, Y.「Nitrification in Wastewater Treatment」『Nitrification』Ward, B. B., Arp, D. J. and Klotz. M. G. (eds.), ASM Press, VA, USA, Pp.405-433. 2011.
10. Okabe, S. Membrane technology is highly applicable to developing countries. Asian Water, 27(1), 19-22, 2011.
11. 佐野大輔. 感染性胃腸炎と上下水道の衛生工学的管理. 化学療法の領域, 4, 82-88, 2011.
12. 岡部 聡. バイオフィルムの理解・制御から共存へ. 日本海水学会誌, 66(4), 191-196, 2012.
13. 岡部 聡. 巻頭言「次世代シーケンサーが導く環境研究の革新」日本水環境学会誌, 2011, 35(9), 289.
14. 伊藤司、穏やかに培養して高活性化させる微細気泡発生装置 MiBos バイオリクターの開発、日本微生物生態学会誌、7(2)、72-74, 2012.
15. 山村寛、木村克輝、膜を利用した浄水処理技術に関する最新研究動向、水環境学会誌、第 36 巻(A)第 12 号, 430-438, 2013.
16. 石崎 創、岡部 聡. 微生物燃料電池の高出力化に向けての生態学機能解析. 「微生物燃料電池による廃水処理システム最前線」渡邊一哉, 第 1 編、第 1 章、第 1 節、pp.9-16、NTS Inc.、東京、2013.
17. 岡部 聡. 水の再生と再利用の鍵:「膜分離技術」と「バイオテクノロジー」の融合. 水環境学会誌、2013、36(1)、15-18.
18. 岡部 聡. 海水と淡水の塩分濃度差を用いた発電技術の可能性. 月刊マテリアルステージ、2013、12(11)、72-74.
19. Kimura, K., Meng, F., Chang, I.-S. and Lee, C.-H. Monitoring, characterization and control of membrane biofouling in MBR. In Membrane Biological Reactors, Hai, F.-I., Yamamoto, K. and Lee, C.-H. Ed. IWA Publishing, London, 2013.
20. Kimura, K., Funamizu, N. and Oi, Y. On-site water reclamation and reuse in individual buildings in Japan. In Milestones in Water Reuse, Lazarova, V., Asano, T., Bahri, A. and Anderson, J. Ed. IWA Publishing, London, 2013.

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 9 件、国際会議 10 件)

〈国内〉

1. 岡部聡. 水環境保全とバイオフィルム、環境バイオテクノロジー学会 2010 年度大会 第 40 回 シンポジウム「生態機能と環境保全」、東北大学片平さくらホール、仙台、平成 22 年 6 月 21

- 日.
2. 木村克輝、膜ファウリングの原因となる糖・タンパク質、日本膜学会第 34 回年会、早稲田大学西早稲田キャンパス、2012 年 5 月 9 日.
 3. 木村克輝、MBR の膜ファウリングを引き起こす糖・タンパク質の構造と起源、ニューメンブレンテクノロジーシンポジウム 2012、三田 NN ホール、2012 年 11 月 30 日.
 4. 伊藤司. 穏やかに培養して微生物を高活性化する振動多孔板を用いた微細気泡発生バイオリクター. 第 28 回日本微生物生態学会、豊橋技術科学大学、2012 年 9 月 19 日～22 日.
 5. 石井聡. 湿地環境における大腸菌の分布と生態. 第 92 回 Wetland Seminar、北海道大学農学部 N23 講義室. 2012 年 7 月 23 日.
 6. 岡部 聡. 微生物燃料電池の原理と高出力化に向けての生態学的機能の解析、微生物発電による廃棄物・廃水処理システム開発の最新動向、NTS セミナー、東京、2013 年 3 月 4 日
 7. 木村克輝. 担体添加型 MBR のファウリング特性、ニューメンブレンテクノロジーシンポジウム 2013、東京、2013 年 11 月 29 日
 8. 岡部 聡. 水循環の基盤となる革新的水処理システムの創出、新化学技術推進協会環境技術部会講演会、新化学技術推進協会(JACI) 、東京、2013 年 12 月 4 日
 9. 木村克輝. グライコブロッティング法を用いた膜ファウリング多糖の構造解析、水処理における膜ファウリングに関するシンポジウム、東京、2014 年 1 月 24 日

〈国際〉

1. Okabe, S. Challenges to micropollutants and pathogens in water environment. MICINN-JST Joint Workshop on “Nanosciences and New Materials for Environmental Challenges, Barcelona, Spain, Mar 10-12, 2010.
2. Okabe, S. Assessment of human health risk and water safety: Chemical and microbial risks, The 6th International Conference on Sustainable Water Environment, University of Delaware Clayton Hall Conference Center, Newark, Delaware 19716, USA. July 29-31, 2010.
3. Kimura, Z. and Okabe, S. Microbial community structure and function of anode biofilms in MFC. BIT's 3rd World Congress of Industrial Biotechnology 2010 (ibio-2010), Dalian, China. July 25-27, 2010.
4. Okabe, S. N₂O emission from a partial nitrification-anammox process. The 2nd International Conference on Nitrification and the 16th European Nitrogen Cycle Meeting. Berg en Dal, The Netherlands. July 3-7, 2011.
5. Okabe, S., Tashiro, Y., Kakinuma, K., Taniuchi, A., and Kawata, K. Cell density dependent RelE-mediated dormancy in *Escherichia coli*. IUMS2011, Sapporo, Japan, Sep. 6-16, 2011.
6. Okabe, S. Super high-rate nitrogen removal by a partial nitrification and anammox process. The 8th JST, NSFC Japan-China workshop on “Technology for water pollution prevention”, Kyoto Japan, Nov. 14-16, 2011.
7. Okabe, S. N₂O emission from a partial nitrification-anammox process. IWA Nutrient Removal and Recovery 2012. Harbin, China, Sep. 23-25, 2012.
8. Okabe, S. FISH case study. IWA World Water Congress & Exhibition. Busan, South Korea, Sep. 16-21, 2012.
9. Satoh, H. Development of a fluorescent molecular probe for heavy metal ion analysis in aquatic samples. Second International Conference on Small Science, Orlando USA, Dec. 16-19, 2012.
10. Okabe, S. (Key note speech) Identification of key N₂O production pathways in aerobic partial nitrifying granules. International Environmental Engineering Conference (IEEC). Seoul, June 12-13, 2013.

(2) 口頭発表 (国内会議 105 件、国際会議 52 件)

〈国内〉

1. 佐藤久, 高橋慶考, 山田陽平, 高橋正宏, 岡部聡(北海道大学). 微小電極を用いた ANAMMOX グラニュール内の微生物活性の解析, 日本水環境学会年会, 福岡大学, 平成

22年3月17日.

2. 林健太, 岡部聡. PAMAM デンドリマーの世代依存的毒性の評価, 日本水環境学会年会, 福岡大学, 平成22年3月17日.
3. 羽鳥潤, 佐野大輔, 岡部聡. 新規ニワトリ・カモ糞便汚染指標としての特異的遺伝子マーカーの開発, 日本水環境学会年会, 福岡大学, 平成22年3月17日.
4. 木村善一郎, 岡部聡. DNA-SIP法を用いた微生物燃料電池内の炭素フローの解析, 日本水環境学会年会, 福岡大学, 平成22年3月17日.
5. 伊藤皓亮, 木村善一郎, 鄭景美, 岡部聡. 純粋培養系と複合系を用いた微生物燃料電池における電力生産の比較, 日本水環境学会年会, 福岡大学, 平成22年3月17日.
6. 柿沼建至, 佐野大輔, 岡部聡. バイオフィルム形成・維持に関する大腸菌細胞死誘導環境因子の同定, 日本水環境学会年会, 福岡大学, 平成22年3月17日.
7. 三好太郎, 相沢智康, 木村克輝, 渡辺義公. 膜分離活性汚泥法(MBR)において膜ファウリングに関与しているタンパク質のプロテオーム解析, 日本水環境学会年会, 福岡大学, 平成22年3月17日.
8. 露原智央, 三好太郎, 木村克輝, 渡辺義公. 膜細孔径が膜分離活性汚泥法(MBR)における膜ファウリングに与える影響, 日本水環境学会年会, 福岡大学, 平成22年3月17日.
9. 田中一平, 三好太郎, 木村克輝, 渡辺義公. レクチンを用いたMBR内溶存態糖類のファウリングポテンシャルの評価, 日本水環境学会年会, 福岡大学, 平成22年3月17日.
10. 羽深昭. 変色型ボロンジピロメテン蛍光色素を用いた含水サンプル中での重金属イオンの簡易分析. 第27回分析化学緑陰セミナー, 旭川, 平成22年7月2日~3日.
11. 谷山拓生. 重金属イオンの識別が可能な変色型ボロンジピロメテン蛍光色素の開発. 第27回分析化学緑陰セミナー, 旭川, 平成22年7月2日~3日.
12. 宮崎悠爾. 環境サンプル測定のためのリン酸マイクロセンサーの開発. 第27回分析化学緑陰セミナー, 旭川, 平成22年7月2日~3日.
13. 羽深昭, 佐藤久, 山田幸司. ボロンジピロメテンを母骨格とした変色型重金属イオンセンサ, 日本化学会北海道支部2010年夏季研究発表会, 函館, 平成22年7月24日.
14. 羽深昭, 谷山拓生, 山田幸司, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 蛍光色素を用いたレシオメトリ測定による重金属イオン分析, 第47回環境工学研究フォーラム, 高知, 平成22年11月12日~14日.
15. 谷山拓生, 羽深昭, 山田幸司, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. オンサイト重金属イオン分析に向けた変色型蛍光色素の開発, 第47回環境工学研究フォーラム, 高知, 平成22年11月12日~14日.
16. 宮崎悠爾, 押木守, 佐藤久, 高橋正宏, 岡部聡. 環境サンプル測定のためのリン酸マイクロセンサーの開発, 第47回環境工学研究フォーラム, 高知, 平成22年11月12日~14日.
17. 三好太郎, 相沢智康, 木村克輝, 渡辺義公. 膜分離活性汚泥法(MBR)において膜ファウリングに関与しているタンパク質の特性解析, 第47回環境工学研究フォーラム, 高知, 平成22年11月12日~14日.
18. 林健太, 岡部聡. PAMAM デンドリマーの毒性評価, 第17回日本環境毒性学会・バイオアッセイ研究会合同研究発表会, 鹿児島大学, 平成23年9月3日~4日.
19. 原(山村)宏江, 岡部聡. 下水処理水中の残留医薬品の毒性評価. 第17回日本環境毒性学会・バイオアッセイ研究会合同研究発表会, 鹿児島大学, 平成23年9月3日~4日.
20. 羽深昭, 谷山拓生, 山田幸司, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 新規変色型蛍光色素を用いた水サンプル中重金属イオンの簡易分析. 第66回土木学会年会, 愛媛, 平成23年9月7日~9日.
21. 谷山拓生, 羽深昭, 山田幸司, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. オンサイト重金属イオン分析に向けた新規変色型蛍光色素の開発. 第66回土木学会年会, 愛媛, 平成23年9月7日~9日.
22. 宮崎悠爾, 押木守, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 環境サンプル測定のためのリン酸マイクロセンサーの開発. 第66回土木学会年会, 愛媛, 平成23年9月7日~9日.

23. 三好太郎, 相沢智康, 木村克輝, 渡辺義公. 膜分離活性汚泥法において膜ファウリングを引き起こしているタンパク質のメタプロテオーム解析. 第66回土木学会年会, 愛媛, 平成23年9月7日～9日.
24. 羽深昭, 谷山拓生, 菅藤亮輔, 吉川弘晃, 山田幸司, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 新規蛍光色素を用いた重金属イオン分析. 第48回環境工学研究フォーラム, 名古屋, 平成23年11月25日～27日.
25. 菅藤亮輔, 羽深昭, 谷山拓生, 吉川弘晃, 山田幸司, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 重金属イオン分析に向けた新規蛍光色素の開発. 第48回環境工学研究フォーラム, 名古屋, 平成23年11月25日～27日.
26. 宮崎悠爾, 谷内翔, 押木守, 佐藤久, 高橋正宏, 岡部聡. 環境サンプル測定のためのリン酸マイクロセンサーの開発. 第48回環境工学研究フォーラム, 名古屋, 平成23年11月25日～27日.
27. 安井信人, 三好太郎, 木村克輝, 渡辺義公. 槽外型セラミック膜に装着したセラミック膜における膜ファウリング. 第48回環境工学研究フォーラム, 名古屋, 平成23年11月25日～27日.
28. 栗田宗大, 三好太郎, 木村克輝, 渡辺義公. 担体投入に伴う MBR の運転効率の改善. 第48回環境工学研究フォーラム, 名古屋, 平成23年11月25日～27日.
29. 菅藤亮輔, 吉川弘晃, 谷山拓生, 羽深昭, 山田幸司, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 変色型ボロンジピロメテン蛍光色素を用いた重金属イオン分析. 化学系学協会北海道支部 2012年冬季研究発表会, 札幌, 平成24年1月31日～2月1日.
30. 宮崎悠爾, 谷内翔, 押木守, 佐藤久, 高橋正宏, 岡部聡. 環境サンプル測定のためのリン酸マイクロセンサーの開発. 化学系学協会北海道支部 2012年冬季研究発表会, 札幌, 平成24年1月31日～2月1日.
31. 羽深昭, 谷山拓生, 菅藤亮輔, 吉川弘晃, 山田幸司, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 新規蛍光色素を用いた重金属イオン分析. 土木学会北海道支部平成23年度年次技術発表会, 札幌, 平成24年2月2日～3日.
32. 菅藤亮輔, 吉川弘晃, 谷山拓生, 羽深昭, 山田幸司, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 変色型ボロンジピロメテン蛍光色素を用いた重金属イオン分析. 土木学会北海道支部平成23年度年次技術発表会, 札幌, 平成24年2月2日～3日.
33. 宮崎悠爾, 谷内翔, 押木守, 佐藤久, 高橋正宏, 岡部聡. 環境サンプル測定のためのリン酸マイクロセンサーの開発. 土木学会北海道支部平成23年度年次技術発表会, 札幌, 平成24年2月2日～3日.
34. 末永敦士, 三浦尚之, 佐野大輔, 中込治, 中込とよ子, 岡部聡. 組織血液型決定抗原様物質を保持するヒト腸内細菌のヒトノロウイルス粒子吸着特性評価. 第46回日本水環境学会年会, 東洋大学, 平成24年3月14日～16日.
35. 小林彩乃, 佐野大輔, 岡部聡. プロセスコントロールを用いた新規糞便汚染指標“宿主特異的遺伝子マーカー”の定量方法確立. 第46回日本水環境学会年会, 東洋大学, 平成24年3月14日～16日.
36. 平泉晴菜, 押木守, 岡部聡. Anammox 活性の菌体密度依存的制御機構の解明. 第46回日本水環境学会年会, 東洋大学, 平成24年3月14日～16日.
37. 山田雪絵, 岡部聡. ヒト神経細胞株を用いた凝集剤由来アルミニウムの毒性評価. 第46回日本水環境学会年会, 東洋大学, 平成24年3月14日～16日.
38. 吉田圭太郎, 田代陽介, May Thithiwat, 岡部聡. 親水性細胞外多糖による水処理膜への細菌付着の影響. 第46回日本水環境学会年会, 東洋大学, 平成24年3月14日～16日.
39. 石黒真規, 押木守, 石井聡, 岡部聡. Anammox 菌による鉄酸化硝酸還元能の解析. 第46回日本水環境学会年会, 東洋大学, 平成24年3月14日～16日.
40. 中島弘司, 原(山村)宏江, Hoque Asiful, 岡部聡. トキシコゲノミクスのアプローチを用いた膜処理再生水の水質評価～残留医薬品の影響～. 第46回日本水環境学会年会, 東洋大学, 平成24年3月14日～16日.

41. 羽深昭, 谷山拓生, 菅藤亮輔, 吉川弘晃, 山田幸司, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 新規変色型蛍光色素を用いた亜鉛イオン分析. 第46回日本水環境学会年会, 東洋大学, 平成24年3月14日~16日.
42. 谷山拓生, 羽深昭, 菅藤亮輔, 吉川弘晃, 山田幸司, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 新規変色型蛍光色素を用いた環境サンプル中の重金属イオン分析. 第46回日本水環境学会年会, 東洋大学, 平成24年3月14日~16日.
43. 菅藤亮輔, 羽深昭, 谷山拓生, 吉川弘晃, 山田幸司, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 網羅的重金属イオン分析に向けた新規変色型蛍光色素の開発. 第46回日本水環境学会年会, 東洋大学, 平成24年3月14日~16日.
44. 吉川弘晃, 羽深昭, 谷山拓生, 菅藤亮輔, 山田幸司, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 新規変色型蛍光色素を用いたクロムイオン分析. 第46回日本水環境学会年会, 東洋大学, 平成24年3月14日~16日.
45. 谷内翔, 宮崎悠爾, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 環境サンプル測定のためのリン酸マイクロセンサーの開発. 第46回日本水環境学会年会, 東洋大学, 平成24年3月14日~16日.
46. 安井信人, 三好太郎, 木村克輝, 大和信大, 渡辺義公. 槽外型MBRに装着したセラミック膜における膜ファウリング原因物質の分析. 第46回日本水環境学会年会, 東洋大学, 平成24年3月14日~16日.
47. 栗田宗大, 三好太郎, 木村克輝, 渡辺義公. 担体投入が浸漬型MBRにおける膜ファウリングの発生に及ぼす影響. 第46回日本水環境学会年会, 東洋大学, 平成24年3月14日~16日.
48. 田村尚也, 三好太郎, 木村克輝, 渡辺義公. MBRファウリング多糖のMALDI-TOFMS分析における試料調製条件の検討. 第46回日本水環境学会年会, 東洋大学, 平成24年3月14日~16日.
49. 三好太郎, 工藤憲三, 渡辺義公, 木村克輝, 相沢智康. 運転条件の異なる膜分離活性汚泥法における膜透過水fluxと曝気風量の関連. 第46回日本水環境学会年会, 東洋大学, 平成24年3月14日~16日.
50. 羽深昭, 谷山拓生, 菅藤亮輔, 吉川弘晃, 山田幸司, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 新規変色型蛍光色素を用いた亜鉛イオン分析. 第46回日本水環境学会年会, 東洋大学, 平成24年3月14日~16日.
51. 谷山拓生, 羽深昭, 菅藤亮輔, 吉川弘晃, 山田幸司, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 新規変色型蛍光色素を用いた環境サンプル中の重金属イオン分析. 第46回日本水環境学会年会, 東洋大学, 平成24年3月14日~16日.
52. 菅藤亮輔, 羽深昭, 谷山拓生, 吉川弘晃, 山田幸司, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 網羅的重金属イオン分析に向けた新規変色型蛍光色素の開発. 第46回日本水環境学会年会, 東洋大学, 平成24年3月14日~16日.
53. 吉川弘晃, 羽深昭, 谷山拓生, 菅藤亮輔, 山田幸司, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 新規変色型蛍光色素を用いたクロムイオン分析. 第46回日本水環境学会年会, 東洋大学, 平成24年3月14日~16日.
54. 谷内翔, 宮崎悠爾, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 環境サンプル測定のためのリン酸マイクロセンサーの開発. 第46回日本水環境学会年会, 東洋大学, 平成24年3月14日~16日.
55. 宋延軍, 石井聡, 岡部聡. Development of an aerobic granule sequencing batch airlift reactor for partial nitrification. 第49回環境工学研究フォーラム, 京都大学, 平成24年11月28-30日.
56. 田澤恵, 三浦尚之, 佐野大輔, 岡部聡. 細胞応答を活用した感染性ウイルス検出手法の開発. 第49回環境工学研究フォーラム, 京都大学, 平成24年11月28-30日.
57. 吉村岳, 三浦尚之, 佐野大輔, 岡部聡. ヒトノロウイルス粒子を特異的に捕捉するヒト腸内細菌由来細胞外物質に関する研究. 第49回環境工学研究フォーラム, 京都大学, 平成24年11月28-30日.
58. 宮崎悠爾, 谷内翔, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 環境サンプル測定のためのリン酸マイクロセ

- ンサーの開発. 第 49 回環境工学研究フォーラム, 京都大学, 平成 24 年 11 月 28-30 日.
59. 伊藤司, 久保田智, 黒尾健太, 山崎隆行. 細胞外多糖類の生成を抑制する微細気泡発生装置の開発. 第 49 回環境工学研究フォーラム, 京都大学, 平成 24 年 11 月 28-30 日.
 60. 坂楨有紀恵, 山田健太, ピタックティーラタム ニティ, 石井聡, 佐野大輔, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 表面プラズモン共鳴を利用した病原微生物バイオセンサの開発. 第 49 回環境工学研究フォーラム, 京都大学, 平成 24 年 11 月 28-30 日.
 61. 菅藤亮輔, 大屋光平, 吉川弘晃, 羽深昭, 山田幸司, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 新規蛍光分子プローブを用いた環境水中重金属イオン分析. 第 49 回環境工学研究フォーラム, 京都大学, 平成 24 年 11 月 28-30 日.
 62. 岡部聡, 田代陽介, 谷内亜沙美, May Thithiwat, 柿沼建至, 川田耕司. 大腸菌 RelE が誘導する菌体密度依存的休眠化. 第 64 回日本生物工学会大会, 神戸国際会議場, 平成 24 年 10 月 23-26 日.
 63. 福島寿和, 三好太郎, 木村克輝, 渡辺義公, 岡部聡. 水再利用を目的とした塩素消毒下水処理水の毒性評価 -トキシコゲノミクス的アプローチを用いた網羅的な毒性評価-. 第 18 回バイオアッセイ研究会・日本環境毒性学会・合同研究発表会, 熊本 ANA ホテルニュースカイ, 平成 24 年 9 月 23-24 日.
 64. 中島弘司, 原(山村)宏江, Asiful Hoque, 木村克輝, 岡部聡, 三好太郎, 渡辺義公. トキシコゲノミクス的アプローチを用いた都市下水処理水の評価 -処理水中残留成分が医薬品の毒性にもたらす影響-. 第 18 回バイオアッセイ研究会・日本環境毒性学会・合同研究発表会, 熊本 ANA ホテルニュースカイ, 平成 24 年 9 月 23-24 日.
 65. 原(山村)宏江, 三好太郎, 木村克輝, 渡辺義公, 岡部聡. 細胞応答に基づいた膜処理水下水中の毒性画分の探索. 第 18 回バイオアッセイ研究会・日本環境毒性学会・合同研究発表会, 熊本 ANA ホテルニュースカイ, 平成 24 年 9 月 23-24 日.
 66. 吉川弘晃, 菅藤亮輔, 羽深昭, 山田幸司, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 新規変色型蛍光色素を用いた路面排水水中亜鉛濃度の定量. 日本分析化学会第 61 年会, 金沢大学, 平成 24 年 9 月 19-21 日.
 67. 押木守, 新家子香織, 佐藤久, 岡部聡. 嫌気性アンモニア酸化(アナモックス)細菌のゲノム解析が明らかにする生理学的特性. 第 15 回水環境学会シンポジウム, 佐賀大学, 平成 24 年 9 月 10-11 日.
 68. 佐藤久, 坂楨有紀恵, 山田健太, ピタックティーラタム・ニティ, 石井聡, 佐野大輔, 高橋正宏, 岡部聡. 表面プラズモン共鳴を利用した水中病原微生物検出バイオセンサの開発. 第 15 回水環境学会シンポジウム, 佐賀大学, 平成 24 年 9 月 10-11 日.
 69. 安井信人, 木村克輝, 大和信大. 槽外型 MBR に装着したセラミック膜における膜ファウリング原因物質の分析, 第 49 回下水道研究発表会, 神戸国際会議場, 平成 24 年 7 月 25 日.
 70. 菅藤亮輔, 吉川弘晃, 谷山拓生, 羽深昭, 山田幸司, 高橋正宏, 岡部聡, 佐藤久. 重金属センサアレイに向けた変色型ボロンジピロメテン蛍光色素群の開発. 第 72 回分析化学討論会, 鹿児島大学, 平成 24 年 5 月 19-20 日.
 71. 早川生馬, 小松良光, 近藤才寛, 津田巖. 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適用に係る研究(Ⅱ)～水処理性に関する調査～. 第 63 回全国水道研究発表会, くにびきメッセ(島根県立産業交流会館), 平成 24 年 5 月 16 日～18 日.
 72. 津田巖, 大谷真巳, 道下健二, 清水勇治, 近藤才寛. 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(Ⅱ)～水処理性に関する調査～. 第 63 回全国水道研究発表会, くにびきメッセ(島根県立産業交流会館), 平成 24 年 5 月 16 日～18 日.
 73. 山田雪絵, May Thithiwat, 岡部聡. ヒト神経細胞株を用いた凝集剤由来アルミニウムの毒性評価. 第 47 回日本水環境学会年会, 大阪工業大学, 平成 25 年 3 月 11-13 日.
 74. 中島弘司, 原(山村)宏江, 三好太郎, 木村克輝, 渡辺義公, 岡部聡. 遺伝子発現解析に基づく再生水中残留医薬品の毒性評価. 第 47 回日本水環境学会年会, 大阪工業大学, 平成 25 年 3 月 11-13 日.
 75. 福島寿和, 三好太郎, 木村克輝, 渡辺義公, 岡部聡. ヒト由来培養細胞を用いた塩素消毒下

- 水処理水の毒性評価. 第 47 回日本水環境学会年会、大阪工業大学、平成 25 年 3 月 11-13 日.
76. 原(山村)宏江、Asiful Hoque、三好太郎、木村克輝、渡辺義公、岡部聡. 細胞応答に基づいた膜処理再生水中の毒性画分の探索—粒径に着目して. 第 47 回日本水環境学会年会、大阪工業大学、平成 25 年 3 月 11-13 日.
 77. 井川裕介、三好太郎、渡辺義公、岡部聡. MBR 膜ファウリングを支配する細菌の探索. 第 47 回日本水環境学会年会、大阪工業大学、平成 25 年 3 月 11-13 日.
 78. 吉田圭太郎、田代陽介、May Thithiwat、岡部聡. 親水性細胞外多糖(コラン酸)の生産が膜ファウリングに与える影響. 第 47 回日本水環境学会年会、大阪工業大学、平成 25 年 3 月 11-13 日.
 79. 榮田弘明、田代陽介、石井聡、岡部聡. 大腸菌のバイオフィーム内における小コロニー形成株の発生原因と生態学的役割の解析. 第 47 回日本水環境学会年会、大阪工業大学、平成 25 年 3 月 11-13 日.
 80. 坂楨有紀恵、佐野大輔、高橋正宏、岡部聡、佐藤久. プラズモン共鳴を利用した病原微生物バイオセンサの開発. 第 47 回日本水環境学会年会、大阪工業大学、平成 25 年 3 月 11-13 日.
 81. 宮崎悠爾、谷内 翔、高橋正宏、岡部聡、佐藤久. 環境サンプル測定のためのリン酸マイクロセンサーの開発. 第 47 回日本水環境学会年会、大阪工業大学、平成 25 年 3 月 11-13 日.
 82. 谷内翔、宮崎悠爾、高橋正宏、岡部聡、佐藤久. リン酸マイクロセンサーのイオノフォアの検討. 第 47 回日本水環境学会年会、大阪工業大学、平成 25 年 3 月 11-13 日.
 83. 吉川弘晃、羽深昭、菅藤亮輔、大屋光平、山田幸司、高橋正宏、岡部聡、佐藤久. 網羅的重金属イオン分析に向けた新規変色型蛍光色素の開発. 第 47 回日本水環境学会年会、大阪工業大学、平成 25 年 3 月 11-13 日.
 84. 菅藤亮輔、羽深昭、吉川弘晃、大屋光平、山田幸司、高橋正宏、岡部聡、佐藤久. 新規変色型蛍光色素を用いた路面排水中亜鉛濃度の定量. 第 47 回日本水環境学会年会、大阪工業大学、平成 25 年 3 月 11-13 日.
 85. 石崎創、佐野大輔、岡部聡. プロトン供給促進による一槽式バイオ燃料電池の高出力化. 第 47 回日本水環境学会年会、大阪工業大学、平成 25 年 3 月 11-13 日.
 86. 小澤就志、石井聡、岡部聡. 環境水中からの FCM-FACS を用いた大腸菌 O157 の単離手法の開発. 第 47 回日本水環境学会年会、大阪工業大学、平成 25 年 3 月 11-13 日.
 87. 麩沢美裕、吉村岳、佐野大輔、岡部聡. ヒト腸内細菌由来リポ多糖へのヒトノロウイルス粒子吸着評価. 第 47 回日本水環境学会年会、大阪工業大学、平成 25 年 3 月 11-13 日.
 88. 太田崇智、佐野大輔、岡部聡. 胃腸炎ウイルス感染能力評価への外殻タンパク質酸化ストレスマーカーの適用. 第 47 回日本水環境学会年会、大阪工業大学、平成 25 年 3 月 11-13 日.
 89. 小林彩乃、佐野大輔、石井聡、岡部聡. 病原体の許容感染リスクに基づく水質基準設定方法の検討- 遺伝子マーカーの利用-. 第 47 回日本水環境学会年会、大阪工業大学、平成 25 年 3 月 11-13 日.
 90. 石井聡、瀬川高弘、岡部聡. 複数種病原体の同時一斉検出・定量手法の開発. 第 47 回日本水環境学会年会、大阪工業大学、平成 25 年 3 月 11-13 日.
 91. 寺田浩太郎、木村善一郎、石崎創、岡部聡. Hydrogenophaga sp. AR20 の Geobacter sulfurreducens との水素を介した共生的電気生産. 第 47 回日本水環境学会年会、大阪工業大学、平成 25 年 3 月 11-13 日.
 92. 黒尾健太、久保田智、伊藤司. 細胞外多糖類の生成を抑制する超小型微細気泡発生装置 MiBos の開発. 第 47 回日本水環境学会年会、大阪工業大学、平成 25 年 3 月 11-13 日.
 93. 菅藤亮輔、羽深昭、吉川弘晃、大屋光平、山田幸司、高橋正宏、岡部聡、佐藤久. 新規変色型蛍光色素を用いた路面排水中亜鉛濃度の定量. 第 47 回日本水環境学会年会、大阪工業大学、平成 25 年 3 月 11-13 日.
 94. 吉川弘晃、羽深昭、菅藤亮輔、大屋光平、山田幸司、高橋正宏、岡部聡、佐藤久. 網羅的重金属イオン分析に向けた新規変色型蛍光色素の開発. 第 47 回日本水環境学会年会、大阪

工業大学、平成 25 年 3 月 11-13 日。

95. 安藤菜子、前凝集条件が膜ファウリングに及ぼす影響ーバイオポリマーとナノ粒子の挙動ー、土木学会平成 25 年度全国大会、日本大学生産工学部津田沼キャンパス、平成 25 年 9 月 4～6 日
96. 山口大輝、槽外型エアリフト MBR においてクロスフロー流速および気液混合比が膜ファウリングに及ぼす影響、土木学会平成 25 年度全国大会、日本大学生産工学部津田沼キャンパス、平成 25 年 9 月 4～6 日
97. 岡崎紗彩、下水再利用 NF/RO プロセスにおけるシリカの存在形態、土木学会平成 25 年度全国大会、日本大学生産工学部津田沼キャンパス、平成 25 年 9 月 4～6 日
98. 吉本みどり、NF 膜を用いた微量有機成分の除去における分子サイズ及び荷電が及ぼす影響、第 48 回日本水環境学会年会、東北大学川内北キャンパス、平成 26 年 3 月 17 日～19 日
99. 田中健、膜ファウリングの発生と水道原水中バイオポリマー濃度の相関、第 48 回日本水環境学会年会、東北大学川内北キャンパス、平成 26 年 3 月 17 日～19 日
100. 大木康充、膜ろ過の凝集前処理において攪拌強度がナノ粒子の挙動に及ぼす影響、第 48 回日本水環境学会年会、東北大学川内北キャンパス、平成 26 年 3 月 17 日～19 日
101. 茂木拓真、異なる微生物担体による浸漬型 MBR の膜ファウリング抑制効果、第 48 回日本水環境学会年会、東北大学川内北キャンパス、平成 26 年 3 月 17 日～19 日
102. 栗田宗大、MBR 汚泥性状が粒状担体の膜ファウリング抑制効果に及ぼす影響、第 48 回日本水環境学会年会、東北大学川内北キャンパス、平成 26 年 3 月 17 日～19 日
103. 厚朴大祐、下水の直接膜ろ過における薬品添加逆洗(CEB)に用いる薬品と膜ファウリングの関係、第 48 回日本水環境学会年会、東北大学川内北キャンパス、平成 26 年 3 月 17 日～19 日
104. 安彦健斗、MBR における膜ファウリング進行と連動する水質指標の探索、第 48 回日本水環境学会年会、東北大学川内北キャンパス、平成 26 年 3 月 17 日～19 日
105. 中島貴史、MBR 汚泥ろ過性評価手法の検証、第 48 回日本水環境学会年会、東北大学川内北キャンパス、平成 26 年 3 月 17 日～19 日

〈国際〉

1. Hafuka, A., Taniyama, H., Yamada, K., Takahashi, M., Okabe, S. and Satoh, H. A novel ratiometric fluorescent sensor for Zn^{2+} based on boron-dipyrromethene dye, Water and Environment Technology Conference (WET2010), Yokohama, Japan, Jun. 25-26, 2010.
2. Miyoshi, T., Aizawa, T., Kimura, K. and Watanabe, Y. Metaproteomic analysis of proteins causing physically irreversible fouling in membrane bioreactors (MBRs), 9th Membranes in Drinking and Industrial Water Treatment, Trondheim, Norway, June 27-30, 2010.
3. Hoque, A., Miyoshi, T., Kimura, K., Watanabe, Y. Effect of Hydraulic Condition on Membrane Fouling in Airlift Side-Stream Membrane Bioreactor, 9th Membranes in Drinking and Industrial Water Treatment, Trondheim, Norway, June 27-30, 2010.
4. Sano, D., Norovirus-binding bacteria: significance in the environmental dissemination of gastroenteritis viruses, The 44th Joint Working Conference on Viral Diseases, US-Japan Cooperative Medical Science Program, Sapporo, Japan, June 28-30, 2010.
5. May, T. and Okabe, S. Biofilm formation by the reduced-genome *Escherichia coli*, The 13th International Symposium on Microbial Ecology, STEWARDS OF A CHANGING PLANET, Seattle, USA, Aug. 22-27, 2010.
6. Sano, D., Suenaga, A., Nakagomi, T., Nakagomi, O. and Okabe, S., Human enteric bacteria that capture norovirus particles with a specific interaction through histo-blood group antigen-like moiety, The 2nd COST 929 Symposium, Istanbul, Turkey, Oct. 7-9, 2010.
7. Miyoshi, T., Aizawa, T., Kimura, K. and Watanabe, Y. Characteristics of proteins involved in membrane fouling in membrane bioreactors (MBRs) treating municipal wastewater: The application of metaproteomic analyses, The 6th conference of the Aseanian Membrane Society In conjunction with the 7th International Membrane Science and Technology Conference, Sydney, Australia, November 22-26, 2010.
8. Miura, T., Tsutsumi, A., Sano, D., and Okabe, S. Fate of enteric viruses in a membrane

- bioreactor. The Young Researchers and Students Symposium of NSFC-JST Joing Resarch Program, Xi'an, China, Mar. 4, 2011.
9. Tazawa, M., Miura, T., Sano, D., and Okabe, S. Development of a detection method of infectious viruses based on immune response in human tissue cells. The Young Researchers and Students Symposium of NSFC-JST Joing Resarch Program, Xi'an, China, Mar. 4, 2011.
 10. Kawamura, K., Miura, T., Sano, D., and Okabe, S. Development of an enteric virus sensor using virus affinity envelope. The Young Researchers and Students Symposium of NSFC-JST Joing Resarch Program, Xi'an, China, Mar. 4, 2011.
 11. Kimura, K., Watanabe, E., and Watanabe, Y. Treatment of municipal wastewater with a short retention time by a baffled membrane bioreactor: performance and fouling characteristics. 10th Specializes Conference on Small Water and Wastewater Treatment Systems, Apr. 18, 2011, Venice Italy.
 12. Oshiki, M., Shinyako, K., Satoh, H., and Okabe, S. Comparative genomics and functional analysis for anammox bacteria, Candidatus 'Brocadia sinica' and Candidatus 'Kuenenia stuttgartiensis'. First International Anammox Symposium 2011 (IANAS2011). Kumamoto, Japan. May 20th, 2011.
 13. Okabe, S. Current progress in microbial fuel cells in Japan. The 3rd International Microbial Fuel Cell Conference. Leeuwarden, The Netherlands. Jun. 6th-8th, 2011.
 14. Ishizaki, S., Fujiki, I., Sano, D., and Okabe, S. Improvement of air-cathode MFCs performance by increasing CO₂ partial pressure in a cathode chamber. The 3rd International Microbial Fuel Cell Conference. Leeuwarden, The Netherlands. Jun. 6th-8th, 2011.
 15. Hara-Yamamura, H., and Okabe, S. Toxicity assessment of tertiary treated municipal wastewater by toxicogenomic approach. The 15th International Symposium on Toxicity Assessment. Hong Kong, P. R. China. July 3-8, 2011.
 16. Oshiki, M., Shinyako, K., Satoh, H., and Okabe, S. Physiological characteristics of the anaerobic ammonium-oxidizing bacterium 'Candidatus Brocadia sinica', responsible for high-rate nitrogen removal. The 2nd International Conference on Nitrification and the 16th European Nitrogen Cycle Meeting. Berg en Dal, The Netherlands. July 3-7, 2011.
 17. Hafuka, A., Taniyama, H., Yamada, K., Takahashi, M., Okabe, S., and Satoh, H. Development of a fluorescent molecule for heavy metal ion detection. The 7th IWA Assessment and Control of Hazardous Substances in Water Specialist Conference. Sydney, Australia. July 11-13, 2011.
 18. Oshiki, M., Satoh, H., and Okabe, S. Long-term operation of anaerobic ammonium oxidation (anammox) process in a membrane bioreactor equipped with hollow fibred membranes. The 4th IWA-ASPIRE, Tokyo International Forum, Tokyo, Japan, Oct. 2-6, 2011.
 19. Kimura, Z., and Okabe, S. Bacterial metabolism and electron transport mechanisms of anode chamber in microbial fuel cell fed with acetate. The 4th IWA-ASPIRE, Tokyo International Forum, Tokyo, Japan, Oct. 2-6, 2011.
 20. Hara-Yamamura, H., Taga, T., Kawata, K., and Okabe, S. Evaluating short-term and long-term effect of arsenic exposure on human hepatoma cells. The 4th IWA-ASPIRE, Tokyo International Forum, Tokyo, Japan, Oct. 2-6, 2011.
 21. Kobayashi, A., Sano, D., and Okabe, S. Physical and biological factors affecting the fate of host-specific genetic markers in water. The 4th IWA-ASPIRE, Tokyo International Forum, Tokyo, Japan, Oct. 2-6, 2011.
 22. Tojo, K., Sano, D., Miura, T., Nakagomi, T., Nakagomi, O., and Okabe, S. Detection of oxidative damages on viral capsid protein for evaluating infectivity of gastroenteritis viruses. The 4th IWA-ASPIRE, Tokyo International Forum, Tokyo, Japan, Oct. 2-6, 2011.
 23. Ishizaki, S., Fujiki, I., Sano, D., and Okabe, S. Improvement of MFC performance by increasing CO₂ partial pressure in a cathode chamber. The 4th IWA-ASPIRE, Tokyo International Forum, Tokyo, Japan, Oct. 2-6, 2011.
 24. Pitakteeratham, N., Satoh, H., and Watanabe, Y. Phosphorus recovery from wastewater with polymer coated zirconium sulfate. The 4th IWA-ASPIRE, Tokyo International Forum, Tokyo, Japan, Oct. 2-6, 2011.
 25. Hafuka, A., Taniyama, H., Yamada, K., Takahashi, M., Okabe, S., and Satoh, H. Development of fluorescent molecules for heavy metal ions analysis. The 4th IWA-ASPIRE, Tokyo International Forum, Tokyo, Japan, Oct. 2-6, 2011.

26. Ohashi, T., Miyoshi, T., Kimura, K., and Watanabe, Y. Time-course change of foulant composition in NF/RO membranes used for wastewater reclamation. 6th IWA Specialist Conference on Membrane Technology for Water and Wastewater Treatment, Aachen, Oct. 5, 2011.
27. Rathnayake, L., Satoh, H., Takahashi, M., and Okabe, S. Microsensor measurements of nitrous oxide (N₂O) and nitric oxide (NO) production rates in Partial nitrification (PN)-ANAMMOX process. The 20th Korea-Japan Symposium on Water Environment 2011. Daegu, Korea. Oct. 17, 2011.
28. Hara-Yamamura, H., and Okabe, S. Toxicity assessment of tertiary treated municipal wastewater by toxicogenomic approach. International Conference on Environmental OMICS, Guangzhou, P. R. China. Nov. 8-12, 2011.
29. Ozawa, S., Ishii, S., and Okabe, S. Detection of enteropathogenic *Escherichia coli* O157 with flow cytometry. The 2nd Young Professors and Students Symposium of NSFC-JST Joing Resarch Program, Xi'an P.R. China, Mar. 28th, 2012.
30. Yoshimura, T., Suenaga, A., Miura, T., Sano, D., and Okabe, S. Adsorption characterization of human norovirus particels to bacterial extracellular polymeric substances. The 2nd Young Professors and Students Symposium of NSFC-JST Joing Resarch Program, Xi'an P.R. China, Mar. 28th, 2012.
31. Otani, M., Sano, D., Miura, T., and Okabe, S. Calicivirus infectivity estimated by oxidative stress marker detection. The 2nd Young Professors and Students Symposium of NSFC-JST Joing Resarch Program, Xi'an P.R. China, Mar. 28th, 2012.
32. Sano, D. Microbiologically safe water management in wastewater potable reuse. The 2nd Young Professors and Students Symposium of NSFC-JST Joing Resarch Program, Xi'an P.R. China, Mar. 28th, 2012.
33. Kimura, K., Ogawa, N., and Watanabe, Y. Permeability decline in NF/RO membranes fed with municipal wastewater treated by an MBR. IWA Regional Conference on Wastewater Purification and Reuse, Heraklion, Mar. 29, 2012.
34. Tazawa, M., Miura, T., Sano, D., and Okabe, S. Transcriptome analysis of intestinal epithelial cells infected with poliovirus type 1. Europic2012, Saint Raphael, France, Jun 3-7, 2012.
35. Sano, D. Human norovirus-binding enteric bacteria bearing histo-blood group antigen-like extracellular polymeric substances. The 46th Joint Working Conference on Viral Diseases, US-Japan Cooperative Medical Science Program. Beppu, Oita, Japan, Jun. 19, 2012.
36. Kimura, K., Ogyu, R. and Watanabe, Y. Transition of major foulants in membrane fouling in a municipal wastewater MBR, Advances in Particle Separation – Science, Technology, Practice, Berlin, Jun. 19, 2012.
37. Rathnayake, L., Satoh, H., Takahashi, M. and Okabe, S. Microsensor measurements of nitrous oxide and nitric oxide production rates in partial nitrification and Anammox granules. WET2012. Tokyo, Japan. Jun. 29-30, 2012.
38. Satoh, H., Hafuka, A., Yamada, K., Takahashi, M. and Okabe, S. Development of a Fluorescent Molecular Probe for Analysis of Zinc Ion in Aquatic Samples, ACEM'12, Seoul, South Korea, Aug. 26-29, 2012.
39. Hafuka, A., Taniyama, H., Yamada, K., Takahashi, M., Okabe, S. and Satoh, H. Development of fluorescent molecular probes for analysis of heavy metal ions in aquatic samples, IWA World Water Congress, Busan, South Korea, Sep. 16-21, 2012.
40. Kimura, K., Ogyu, T., Miyoshi, T., Naruse, T., Tsuyuhara, T. and Watanabe, Y. Membrane fouling caused by sub-micron particles in a mixed liquor suspension of an MBR, IWA World Water Congress & Exhibition, Busan, South Korea, Sep. 16-21, 2012.
41. Okabe, S. FISH case study. IWA World Water Congress & Exhibition, Busan, South Korea, Sep. 16-21, 2012.
42. Rathnayake, L., Satoh, H., Takahashi, M. and Okabe, S. Microsensor Measurements of Nitrous Oxide and Nitric Oxide Production Rates in Partial Nitrification and Anammox Granule. IWA Nutrient Removal and Recovery 2012. Harbin, China, Sep. 23-25, 2012.
43. Sano, D., Miura, T., Tojo, K., Otani, M. and Okabe, S. Infectivity of gastroenteritis viruses analyzed by oxidative stress marker detection and RNase sensitivity test. 3rd Food and Environmental Virology Conference. Lisbon, Portugal, Oct. 7-10, 2012.

44. Miura, T., Sano, D., Suenaga, A., Yoshimura, T., Nakagomi, T., Nakagomi, O. and Okabe, S. Enteric bacteria bearing histo-blood group antigen-like extracellular polymeric substances as environmental vehicles for human noroviruses. 3rd Food and Environmental Virology Conference. Lisbon, Portugal, Oct. 7-10, 2012.
45. May, T., Trusuta, K. and Okabe, S. Bacteriophage resistant mechanisms of mature *Escherichia coli* biofilms. Biofilm 5. Paris, France, Dec. 10-12, 2012.
46. Sano, D., Kato, T., Kobayashi, A., Miura, T. and Okabe, S. Multiple peak expression of enteric virus density in environmental water. 4th Asia-Pacific Young Water Professionals Conference 2012. Miraikan, Tokyo, Dec. 7-10, 2012.
47. Kobayashi, A., Sano, D., Ishii, S. and Okabe, S. *Bacteroides-Prevotella* genetic markers as fecal pollution indicators for microbiologically safe water management. 4th Asia-Pacific Young Water Professionals Conference 2012. Miraikan, Tokyo, Dec. 7-10, 2012.
48. Watanabe, T., Itoh, H., Sano, D. and Okabe, S. Risk assessment for viral infection via drinking water considering age-dependent susceptibility. 4th Asia-Pacific Young Water Professionals Conference 2012. Miraikan, Tokyo, Dec. 7-10, 2012.
49. Sano, D., Miura, T. and Okabe, S. Performance target of enteric virus removal with MBR. Global Leadership Initiative Special Workshop on Water Virology. Parkside Hotel Ueno, Tokyo, Jan. 19, 2013.
50. Fukushima, T., Miyoshi, T., Kimura, K., Watanabe, Y. and Okabe, S. Toxicity assessment of chlorinated treated wastewater by using toxicogenomics approach, 16th International Symposium on Toxicity Assessment, Cape Town, South Africa, Feb. 21-26, 2013.
51. Nakashima, K., Hara-Yamamura, H., Asiful, H., Miyoshi, T., Kimura, K., Watanabe, Y. and Okabe, S. Toxicogenomic-based water quality evaluation of reclaimed water: Potential effects of pharmaceutical residues in treated wastewater, 16th International Symposium on Toxicity Assessment, Cape Town, South Africa, Feb. 21-26, 2013.
52. Kurita, T. Energy saving in operation of submerged MBRs by insertion of baffles and introduction of granular materials, 7th IWA Specialised Membrane Technology Conference and Exhibition for Water and Wastewater Treatment and Reuse, Toronto(Canada), August 25 to 29, 2013

(3)ポスター発表 (国内会議 15 件、国際会議 19 件)

〈国内〉

1. 末永敦士, 佐野大輔, 中込治, 中込とよ子, 岡部聡. ノロウイルスの環境中動態に影響を与える腸内細菌のスクリーニングに関する研究, 第 44 回水環境学会年会ポスター発表部門, 福岡大学(福岡県福岡市), 平成 22 年 3 月 15 日~17 日.
2. 東條一樹, 佐野大輔, 中込治, 中込とよ子, 岡部聡. 胃腸炎ウイルス不活化指標としてのカプシドタンパク質酸化損傷検出手法の開発, 第 44 回水環境学会年会ポスター発表部門, 福岡大学(福岡県福岡市), 平成 22 年 3 月 15 日~17 日.
3. 羽深昭, 谷山拓生, 佐藤久, 山岸裕, 湯浅麻衣子, 孫尚鉉, 山田幸司. イオンセンシングに向けた新規変色型 3 位置換ポロジピロメテン蛍光色素, 光化学討論会, 千葉, 年 9 月 8 日~10 日
4. Tsuruta, K., May, T. and Okabe, S. Localization of male-specific bacteriophage within *Escherichia coli* biofilms, 第 26 回日本微生物生態学会, つくば, 2010 年 11 月 24 日~26 日
5. Eida, H., Tashiro, Y., May, T. and Okabe, S. Aminoglycoside antibiotics promote *Escherichia coli* biofilm formation, 第 26 回日本微生物生態学会, つくば, 2010 年 11 月 24 日~26 日
6. Yoshida, K., Tashiro, Y., May, T. and Okabe, S. High throughput assays to evaluate membrane biofouling, 第 26 回日本微生物生態学会, つくば, 2010 年 11 月 24 日~26 日
7. 柴田弘明, 岡部聡. バイオフィルム内における形態変異株の発生とその性質の解析. 第 27 回日本微生物生態学会, 京都大学, 2011 年 10 月 8 日~10 日.
8. 平泉晴菜, 新屋子香織, 押木守, 佐藤久, 岡部聡. Anammox 細菌 *Candidatus "Brocadia sinica"* の嫌気性アンモニア酸化活性に及ぼす菌体密度の影響. 第 27 回日本微生物生態学会, 京都大学, 2011 年 10 月 8 日~10 日.

9. 宋延軍、石井聡、岡部聡. Development of an aerobic granule sequencing batch airlift reactor for partial nitrification. 第49回環境工学研究フォーラム、京都大学、2012年11月28-30日.
10. 田澤恵、三浦尚之、佐野大輔、岡部聡. 細胞応答を活用した感染性ウイルス検出手法の開発. 第49回環境工学研究フォーラム、京都大学、2012年11月28-30日.
11. 吉村岳、三浦尚之、佐野大輔、岡部聡. ヒトノロウイルス粒子を特異的に捕捉するヒト腸内細菌由来細胞外物質に関する研究. 第49回環境工学研究フォーラム、京都大学、2012年11月28-30日.
12. 宮崎悠爾、谷内翔、高橋正宏、岡部聡、佐藤久. 環境サンプル測定のためのリン酸マイクロセンサーの開発. 第49回環境工学研究フォーラム、京都大学、2012年11月28-30日.
13. 坂楨有紀恵、山田健太、ピタックティータム ニティ、石井聡、佐野大輔、高橋正宏、岡部聡、佐藤久. 表面プラズモン共鳴を利用した病原微生物バイオセンサの開発. 第49回環境工学研究フォーラム、京都大学、2012年11月28-30日.
14. 菅藤亮輔、大屋光平、吉川弘晃、羽深昭、山田幸司、高橋正宏、岡部聡、佐藤久. 新規蛍光分子プローブを用いた環境水中重金属イオン分析. 第49回環境工学研究フォーラム、京都大学、2012年11月28-30日.
15. 大屋光平、羽深昭、菅藤亮輔、吉川弘晃、山田幸司、高橋正宏、岡部聡、佐藤久. 重金属測定用蛍光色素の理論的分子設計による高感度化. 第47回日本水環境学会年会、大阪工業大学、2013年3月11-13日.

〈国際〉

1. May, T., Itoh, A. and Okabe, S. F-phenocopies induce *Escherichia coli* biofilm formation. The 13th International Symposium on Microbial Ecology, STEWARDS OF A CHANGING PLANET, Seattle, USA, Aug. 22-27, 2010.
2. May, T. and Okabe, S. Respiratory activity within *Escherichia coli* biofilms, Biofilm IV International Conference, Winchester, UK, Sep. 1-3, 2010.
3. May, T., Tashiro, Y. and Okabe, S. F plasmid-mediated signaling during *Escherichia coli* biofilm formation. Biofilm IV International Conference, Winchester, UK, Sep. 1-3, 2010.
4. Sano, D., Tojo, K., Nakagomi, T., Nakagomi, O., Pinto, R. M., Bosch, A., and Okabe, S., Accumulation of oxidative damages on rotavirus capsid protein and its relationship with infectivity, The 2nd COST 929 Symposium, Istanbul, Turkey, Oct. 7-9, 2010.
5. Satoh, H. and Okabe, S. Construction of microsensors for in situ monitoring of biofilms, Pacifichem, Hawaii, USA, Dec. 15-20, 2010.
6. Hafuka, A., Taniyama, H., Yamagishi, Y., Yuasa, M., Song, S.-H., Yamada, K. and Satoh, H. Novel ratiometric fluorescent sensors for heavy metal ions based on 3-aryl substituted boron-dipyromethene dye, Pacifichem, Hawaii, USA, Dec. 15-20, 2010.
7. Tashiro, Y., and Okabe, S. Impacts of trimethoprim on biofilm formation in *Escherichia coli*, IUMS2011, Sapporo, Japan, Sep. 6-16, 2011.
8. Hiraizumi, H., Shinyako, K., Oshiki, M., Satoh, H., and Okabe, S. Detection of cell-density dependent anaerobic ammonium oxidation (anammox) activities and acyl-homoserine lactone signal molecules. The 4th IWA-ASPIRE, Tokyo International Forum, Tokyo, Japan, Oct. 2-6, 2011.
9. Yoshida, K., Tashiro, Y., May, T., and Okabe, S. Colanic acid production decreases bacterial attachment on membranes. ASM General Meeting. San Francisco, Jun. 16-19, 2012.
10. May, T., and Okabe, S. Localization and global gene expression during filamentous bacteriophage biofilm infection. ASM General Meeting. San Francisco, Jun. 16-19, 2012.
11. Awata, T., Kindaichi, T., Ozaki, N., Ohashi, A., Oshiki, M., and Okabe, S. Physiological characteristics of marine anammox bacteria enriched from sea sediments, Hiroshima, Japan. ISME14, Copenhagen, Aug. 19-24, 2012.
12. Hiraizumi, H., Oshiki, M., and Okabe, S. Cell density-dependent anaerobic ammonium oxidation (anammox) activity of *Candidatus 'Brocadia sinica'*. ISME14, Copenhagen, Aug. 19-24, 2012.
13. Tashiro, Y., and Okabe, S. Reduction of folate synthesis represses biofilm formation by decreasing curli fimbriae synthesis in *Escherichia coli*. ISME14, Copenhagen, Aug. 19-24,

- 2012.
14. Oshiki, M., Shinyako, K., Satoh, H., and Okabe, S. Meta-genomic analysis for the elucidation of physiology of an anammox bacterium, *Candidatus 'Brocadia sinica'*. ISME14, Copenhagen, Aug. 19-24, 2012.
 15. Tashiro, Y. and Okabe, S. Reduction of folate synthesis represses biofilm formation by decreasing curli fimbriae synthesis in *Escherichia coli*. ISME14, Copenhagen, Denmark, Aug. 19-24, 2012.
 16. Hiraizumi, H., Oshiki, M. and Okabe, S. Cell density-dependent anaerobic ammonium oxidation (anammox) activity of *Candidatus "Brocadia sinica."* ISME14, Copenhagen, Denmark, Aug. 19-24, 2012.
 17. May, T. and Okabe, S. Localization and global gene expression during filamentous bacteriophage biofilm infection. ASM General Meeting, San Francisco, USA, Jun. 16-19, 2012.
 18. Yoshida, K., Tashiro, Y., May, T. and Okabe, S. Colanic acid production decreases bacterial attachment on membranes. ASM General Meeting, San Francisco, USA, Jun. 16-19, 2012.
 19. Tazawa, M., Miura, T., Sano, D. and Okabe, S. Transcriptome analysis of intestinal epithelial cells infected with poliovirus type 1. Eiropic2012, Saint Raphael, France, Jun. 3-7, 2012.

4. 知財出願

(1) 国内出願 (2 件)

1. 出願番号:2013-022979、出願日:2013-02-08、発明の名称:ケイ光イオンセンサー色素、発明者:山田幸司、佐藤久、菅藤亮輔、羽深昭、吉川弘晃、岡部聡
2. 出願番号:2013-023872、出願日:2013-02-08、発明の名称:水質監視方法、発明者:笹川学、中原禎仁、佐藤久

(2) 海外出願 (0 件)

(3) その他の知的財産権
特になし。

5. 受賞・報道等

(1) 受賞

1. 第 26 回日本微生物生態学会・最優秀ポスター賞. Sinyako, K., Oshiki, M., Satoh, H. and Okabe, S. 平成 22 年 11 月 25 日.
2. 第 26 回日本微生物生態学会・日韓ポスター賞. Eida, H., Tashiro, Y., May, T. and Okabe, S. 平成 22 年 11 月 25 日.
3. The 1st International Anammox Symposium・最優秀講演賞. Oshiki, M. 平成 23 年 5 月 19 日.
4. 第 45 回日本水環境学会年会・学生ポスター発表賞(ライオン賞), 榮田弘明. 平成 23 年 6 月 14 日.
5. 第 45 回日本水環境学会年会・学生ポスター発表賞(ライオン賞), 山田雪絵. 平成 23 年 6 月 14 日.
6. 第 45 回日本水環境学会年会・優秀発表特別賞(クリタ賞), 柿沼建至. 平成 23 年 6 月 14 日.
7. 第 45 回日本水環境学会年会・優秀発表特別賞(クリタ賞), 新家子香織. 平成 23 年 6 月 14 日.
8. 第 45 回日本水環境学会年会・優秀発表特別賞(クリタ賞), 藤木一到. 平成 23 年 6 月 14 日.
9. The 2nd International Conference on Nitrification (ICoN2)・the 16th European Nitrogen Cycle Meeting・最優秀講演賞. Oshiki, M. 平成 23 年 7 月 3~7 日
10. The 4th IWA-ASPIRE・Best Student Award, Tojo, K. 平成 23 年 10 月 5 日.
11. 第 27 回日本微生物生態学会・優秀ポスター賞, 押木守. 平成 23 年 10 月 10 日.

12. 第 48 回環境工学フォーラム・優秀ポスター発表賞, 菅藤亮輔. 平成 23 年 11 月 25～27 日.
13. 第 46 回日本水環境学会年会・優秀発表賞(クワダ賞), 平泉晴菜. 平成 23 年 3 月 14～16 日.
14. 第 46 回日本水環境学会年会・学生ポスター発表賞(ライオン賞), 石黒真規. 平成 23 年 3 月 14～16 日.
15. 第 46 回日本水環境学会年会・学生ポスター発表賞(ライオン賞), 中島弘司. 平成 23 年 3 月 14～16 日.
16. ISME14、Travel Award、Hiraizumi, H. 平成 24 年 8 月 19 日
17. 第 49 回環境工学研究フォーラム・優秀ポスター発表賞、田澤恵、2012 年 11 月 30 日.
18. 第 18 回バイオアッセイ研究会・日本環境毒性学会・合同研究発表会・奨励賞, 原(山村)宏江 2012 年 9 月 23 日～24 日.
19. 第49 回環境工学フォーラム・環境技術・プロジェクト賞, 伊藤司, 久保田智, 黒尾健太, 山崎隆行, 2012 年 11 月 28 日～30 日.
20. Excellent Poster Award, WET2013, Amarasiri, M., Jun. 15-16, 2013.
21. 第 16 回日本水環境学会シンポジウム・博士研究奨励賞(オルガノ賞)、小林彩乃、2013 年 11 月 9 日.
22. 第50回環境工学フォーラム・優秀ポスター発表賞, 小林彩乃, 2013年11月21日.

(2) マスコミ(新聞・TV等)報道

1. 水道産業新聞：2010 年 3 月 15 日、大阪市水道局と阪神水道企業団との共同研究
2. 日本水道新聞：2011年8月4日、4面、新規多指標型毒性評価法の開発
3. 水道産業新聞：2011 年 9 月 29 日、13 面、CREST 特集ページ
4. 日本水道新聞、「水の未来 50 年後の姿」 持続可能な水利用を実現する革新的な技術創出へ、2013 年 1 月 24 日
5. 北海道大学プレスリリース：2013 年 6 月 28 日「ノロウイルスを特異的に捕捉する腸内細菌の存在を世界で始めて証明」
6. 毎日新聞全国版：6 月 29 日朝刊「ノロウイルス捕捉 腸内細菌を確認」
7. 読売新聞北海道版：6 月 29 日朝刊「ノロ捕まえる腸内細菌」
8. 北海道新聞：7 月 2 日朝刊「ノロ吸着する腸内細菌 北大グループ特定 治療薬開発に道」
9. 北海道医療新聞：7 月 1 9 日「ノロウイルス吸着腸内細菌を同定—感染予防開発へ期待 北大(工)佐野准教授ら」
10. NHK・おはよう北海道・土曜プラス：6 月 29 日

(3) その他

NHK NEWS WEB：6 月 29 日「ノロウイルスの性質解明 薬の開発に」
<http://archive.today/QdyIk>

6. 成果展開事例

(1) 実用化に向けての展開

特になし。

(2) 社会還元的な展開活動

特になし。

§ 6 研究期間中の活動(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
H21.7.22	グループ内ミーティング	大阪市水道局 柴島浄水場	11名	実験施設に関する施設概要 及び研究計画について
H21.7.29	グループ内ミーティング	阪神水道企業 団本庁舎	17名	研究計画について
H21.7.29	申請準備会合	北海道大学 岡部教授室	3名	共同研究内容等, 申請内容 詳細の打ち合わせ
H21.9.8	グループ間ミーティング	大阪市水道局 柴島浄水場	19名	実験施設現場視察
H21.9.30	グループ内ミーティング	阪神水道企業 団本庁舎	17名	研究進捗状況について
H21.10.1	第1回運営会議	北海道大学 岡部教授室	3名	平成 21 年度研究内容の確認
H21.10.5	第2回運営会議	北海道大学 岡部教授室	2名	博士研究員採用選考 研究補助員採用選考
H21.10.9	スタートアップ会合	北海道大学工 学部 A102	5名	研究内容の確認 研究費配分内容確認
H21.11.12	第 3 回運営会議	北海道大学 岡部教授室	2名	研究進捗状況について 博士研究員採用選考 研究補助員採用選考
H21.12.10	チーム内ミーティング	大阪市水道局 柴島浄水場	17名	共同研究の概要報告 これまでの実験経過の報告 目標とする処理水質について ハイブリッドシステムでの水 処理性について
H21.12.24	グループ内ミーティング: 大阪市水道浄水技術 R&Dプログラム第3分科会 (第2回)	大阪市水道局 柴島浄水場	14名	研究進捗状況について 研究費収支状況について
H21.12.24	研究打ち合わせ	北海道大学 木村准教授室	4名	現在製作中の実験装置の 概要について セラミック膜のファウリング分 析方法、手法について
H21.12.24	第 4 回運営会議	北海道大学 岡部教授室	3名	研究費収支状況確認 研究進捗状況確認
H22.1.7	第 5 回運営会議	北海道大学 岡部教授室	3名	研究費収支状況確認 平成 21年度研究報告書作 成について 平成 22 年度研究内容につ いて

H22.3.5	平成21年度中間報告会	北海道大学 工学部	15名	H21年度共同研究報告。 H22年度共同研究計画概要報告
H22.4.28	第6回運営会議	北海道大学 岡部教授室	7名	平成22年度研究内容について
H22.5.14	グループ内ミーティング:大阪市水道浄水技術 R&Dプログラム委員会(第1回)	大阪市水道局 柴島浄水場	9名	平成21年度研究成果報告 実験装置運転状況報告
H22.6.9	機器購入検討会議	北海道大学 工学部	4名	LC-OCD 購入検討
H22.6.15	機器購入検討会議	北海道大学 工学部	4名	LC-OCD 購入検討
H22.7.9	グループ内ミーティング:大阪市水道浄水技術 R&Dプログラム委員会(第2回)	大阪市水道局 柴島浄水場	9名	平成22年度研究計画について
H22.8.23	研究打ち合わせ	北海道大学 岡部教授室	3名	平成22年度中間報告会企画
H22.9.3	グループ間ミーティング	大阪市水道局 柴島浄水場	22名	研究進捗状況について 研究費収支状況について
H22.9.7	サイトビジット	大阪市水道局 柴島浄水場	20名	研究進捗状況について
H22.9.10	グループ内ミーティング:大阪市水道高付加価値型技術開発委員会(第11回)	関西アーバン 銀行本店	10名	研究進捗状況について
H22.10.20	グループ内ミーティング:大阪市水道浄水技術 R&Dプログラム第3分科会(第1回)	大阪市水道局 柴島浄水場	7名	・研究進捗状況並びに成果に関する中間報告
H22.10.28	研究打ち合わせ	北海道大学 木村准教授室	5名	ファウリング分析方法、手法について
H22.10.29	研究打ち合わせ	北海道大学 岡部教授室	5名	共同研究の概要報告 これまでの実験経過の報告 目標とする処理水質について ハイブリッドシステムでの水処理性について
H22.10.29	平成22年度中間報告会	北海道大学 工学部	3名	平成22年度共同研究報告
H22.11.26	グループ内ミーティング:大阪市水道浄水技術 R&Dプログラム委員会(第3回)	大阪市水道局 柴島浄水場	9名	研究進捗状況並びに成果に関する報告
H22.12.28	第7回運営会議	北海道大学 岡部教授室	3名	研究費収支状況確認 平成22年度研究報告書作成について 平成23年度研究内容について

H23. 4. 21-22	研究打合せ(非公開)	群馬大学	2人	研究内容確認のためのミーティング
H23. 4. 27	チーム内ミーティング(非公開)	北海道大学	5人	研究進捗報告のためのミーティング
H23. 6. 14	サイトビジット	北海道大学	8人	研究進捗報告
H23. 10. 17	特別講演会	北海道大学	25人	Prof. Sadowsky (Minnesota State University) 講演会
H23. 10. 21	H23 中間報告会	北海道大学	16人	研究進捗報告
H23. 11. 5	JST キックオフミーティング+中間報告会	アキバホール(東京)	5人	研究進捗報告
H23. 11. 21	健康関連微生物情報交換会	東京大学	2人	研究紹介
H23. 12. 19	糞便汚染調査手法研修	北海道大学	2	稲葉愛美 CREST 研究員(古米グループ)へ糞便汚染調査手法を教授
H23. 12. 22	特別講演会	北海道大学	20	三宅亮教授(広島大学)
H24. 1. 13	チーム内ミーティング(非公開)	北海道大学	4人	研究内容に関するミーティング
H24. 3. 1	H23 報告会	北海道大学	16人	研究進捗報告
H24. 3. 2	チーム内ミーティング(非公開)	北海道大学	9人	来年度研究内容に関する打合せ
H24. 4. 5	チーム内ミーティング(非公開)	北海道大学・岡部教授室	5人	研究計画確認のためのミーティング
H24. 6. 12	チーム内ミーティング(非公開)	北海道大学・岡部教授室	3人	研究進捗確認のためのミーティング
H24. 6. 20	札幌ウイルス性胃腸炎セミナー	京王プラザホテル札幌	60人	セミナー
H24. 7. 13	Special Seminar “Implication of Microbial Community Structures in Water Quality and Biogeochemical N Cycle”	北海道大学工学部 A101	40人	特別セミナー
H24. 9. 28	チーム内ミーティング(非公開)	北海道大学・岡部教授室	3人	研究進捗確認のためのミーティング
H24. 10. 2	チーム内研究報告会	北海道大学工学部 A101	25人	公開シンポジウム
H24. 11. 2	アドバイザー勉強会(非公開)	北海道大学工学部	6人	アドバイザーのための勉強会

H24. 11. 26	チーム内ミーティング(非公開)	北海道大学・岡部教授室	3人	研究進捗確認のためのミーティング
H25. 1. 8	チーム内ミーティング(非公開)	北海道大学・岡部教授室	3人	研究進捗確認のためのミーティング
H25. 2. 26	JST CREST「水環境の基盤となる革新的水処理システムの創出」第1回公開シンポジウム	秋葉原 UDX8 階会議室	60人	公開シンポジウム
2013年11月12日	国民との対話	札幌南高校	80人	「水研究最前線」というタイトルで、水試料分析技術について講演した。
2014年1月29日	国民との対話	札幌開成高校	80人	「水研究最前線」というタイトルで、水試料分析技術について講演した。