

201036005B

厚生労働科学研究費補助金

健康安全・危機管理対策総合研究事業

水道の配水過程における水質変化の制御
および管理に関する研究

平成20～22年度 総合研究報告書

平成23年3月

研究代表者 島崎 大 (国立保健医療科学院)

研 究 班 の 構 成

研究代表者

国立保健医療科学院水道工学部 施設工学室長 島 崎 大

研究分担者

京都大学大学院工学研究科	教授	伊 藤 禎 彦
北海道大学大学院工学研究院	助教	(H21, 22)伊 藤 竜 生
お茶の水女子大学大学院		
人間文化創成科学研究科	准教授	大 瀧 雅 寛
東京大学大学院工学系研究科	助教	春 日 郁 朗
静岡県立大学環境科学研究所	教授	国 包 章 一
北海道大学大学院工学研究院	教授	(H20)船 水 尚 行

研究協力者

京都大学大学院工学研究科	大河内 由美子
	矢 田 祐次郎
北海道大学大学院工学研究院	船 水 尚 行
	伊 藤 竜 生
東京大学大学院工学系研究科	中 垣 宏 隆
	Suwat Soonglerdsongpha
	前 田 祐 太
国立保健医療科学院水道工学部	岩 田 和 隆
	武 井 佳奈子

厚生労働科学研究費補助金

健康安全・危機管理対策総合研究事業

水道の配水過程における水質変化の制御
および管理に関する研究

平成20～22年度 総合研究報告書

平成23年3月

研究代表者 島崎 大 (国立保健医療科学院)

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
総合研究報告書

水道の配水過程における水質変化の制御および管理に関する研究

研究代表者 島崎 大 国立保健医療科学院水道工学部施設工学室長
研究分担者 伊藤 禎彦 京都大学大学院工学研究科 教授
伊藤 竜生 北海道大学大学院工学研究院 助教 (H21, 22)
大瀧 雅寛 お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科 准教授
春日 郁朗 東京大学大学院工学系研究科 助教
国包 章一 静岡県立大学環境科学研究所 教授
船水 尚行 北海道大学大学院工学研究院 教授 (H20)

研究要旨

水道水質の安全性や快適性のさらなる向上のためには、残留塩素の保持のみならず、配水管網における衛生状態の保持、さらには微生物の再増殖抑制や栄養源物質の除去といった前段の浄水処理に求められる浄水水質の要件についても満たされる必要がある。本研究では水道水の配水過程における化学的および微生物学的水質変化を最小限に抑えるための水質管理や管路維持管理のあり方、またそれを確保する上で必要となる浄水水質や処理システムの要件を明確にする事を目的とした。本研究の主な成果として、欧米の水道における浄水処理、残塩保持ならびに配水水質管理の現状に関する調査を行い、給配水過程に起因する水系感染症流行のリスク要因としてクロスコネクションや消毒の不備が重要であること、特にEU諸国では残留塩素保持を必要としない場合に給配水過程が脆弱となることを示した。生物活性炭処理における栄養塩除去機構の解明をめざし、硝化についてはアンモニア酸化古細菌が優占種であること、AOC除去についてはギ酸、酢酸、シュウ酸をすべて同化できる細菌の存在が推定されることなど、生物活性炭の処理能力評価に有用となる知見を得た。塩素消毒および紫外線消毒における各種細菌の損傷レベル（半致命的損傷等）の相違を明らかとすることで、従来のCT値に基づく不活化評価のみならず、ターゲットとなる細菌への不活化機構に基づいた多面的な損傷レベルを評価する必要性を提案した。痕跡程度(0.05mgCl₂/L)の残留塩素存在環境で微生物再増殖を抑制するためには、AOC濃度を約11 μg/Lまで低減する必要があることを回分培養試験により明らかとし、わが国において表流水を原水とする場合にはAOCを大幅に低減するための新たな処理技術の導入や、浄水処理プロセスの再構築が必要になるとの見解を示した。給配水過程における従属栄養細菌数およびAOCの迅速測定法の開発に取り組み、前者ではBrdUラベル化反応法を提案し混合微生物系に対して適用できること、後者ではATP濃度に基づく迅速測定の可能性があるものの検出精度向上が課題となることを示した。給配水系を配水管網として計算を行い、塩素の消費速度に関する有機物との反応モデルを組み入れた改良シミュレーションモデルを構築し、微生物の再増殖について浄水中の残留塩素濃度と給水栓における微生物濃度の関係を明らかにした。特に、最も微生物濃度が高い節点に着目することで原水水質と微生物再増殖抑制に必要な残留塩素濃度との関係を計算可能とした。

A. 研究目的

水道水質の安全性および快適性のさらなる向上のため、水道水の配水過程における化学的および微生物学的水質変化を最小限に抑えるための水質管理や管路の維持管理のあり方、また、それを確保する上で必要となる浄水水質や浄水処理システムの要件について明らかにする事を目的とした。特に研究期間内においては、配水管路での微生物再増殖の抑制と管理、また、消毒及び生物処理による浄水水質のさらなる向上を中心的な課題とした。

B. 研究方法

1. 諸外国の水道における浄水処理、残塩保持及び配水水質管理の現状に関する調査

水道水における微生物学的安全性の定量的評価に関する欧州委員会の研究プロジェクトであるMICRORISKの研究成果および米国水系感染症流行サーベイランスシステムより、欧米諸国における給配水過程に由来する水系感染症の事例を調査した。また、オランダ水道・水循環技術研究所(KWR)での情報をもとに、オランダ国内の水道における塩素処理および残留塩素保持の停止の理由、背景、それを可能とするための方策について考察を行った。

2. 高度処理における微生物再増殖に関わる栄養源の低減条件の検討

(1) 生物活性炭における硝化微生物の定着過程の評価

新規に生物活性炭処理の運用を開始した浄水場を対象として、生物活性炭に付着するアンモニア酸化細菌 (AOB: Ammonia Oxidizing Bacteria)、アンモニア酸化古細菌 (AOA: Ammonia-Oxidizing Archaea) の存在量を定期的にモニタリングした。

(2) 同化性有機炭素 (AOC) の除去に関する細菌群の同定

① 連続式カラムリアクターを用いた生物活性炭における低級カルボン酸利用細菌の馴致

AOC のモデル物質として、ギ酸、酢酸、シュウ酸を選択し、各基質を連続的に供給するカラムリアクターを運転することで、これらを同化する細菌群の馴致・単離を試みた。各基質濃度は最初の 30 日間は 1mgC/L、続く 14 日間は 10mgC/L とした。

② 安定同位体プロービング法による低級カルボン酸利用細菌の特定

$^{13}\text{C}_2$ -酢酸塩、 ^{13}C -ギ酸塩、 $^{13}\text{C}_2$ -シュウ酸塩を用いて SIP (Stable Isotope Probing) 法を行った。密度勾配遠心分離によって DNA を分離した後、異なる比重画分に含まれる 16S rRNA 遺伝子の多様性・濃度を解析した。

3. 消毒技術に関する検討 (消毒による微生物再増殖の制御方法の検討)

消毒処理における対象細菌の不活化機構について、モデル細菌 (*Pseudomonas* 属菌および大腸菌 *E. coli*) に対して塩素消毒または紫外線消毒を行い、大腸菌ファージの感染性、運動性・移動性、ならびに複数の培養培地を用いた検出数の相違比較といった手法により、損傷箇所を多角的に推定する方法の検討を行った。また、消毒耐性を有するあるいは再増殖性が高い細菌種の同時検出方法として、消毒処理前後の試料および栄養培地投入後 2 日間の培養を行った試料に対して T-RLFP 法を適用することで一斉評価を行う手法の確立を試みた。

4. 残留塩素濃度を低減した水道システムにおける微生物再増殖管理に関する研究

(1) 微生物増殖を促進しない浄水水質要件の決定

京都市 (急速ろ過処理水)・大阪市 (高度浄水処理水) の給水栓水を採取し、現在の浄水中 AOC、TOC、残留塩素、従属栄養細菌数を調べた。また、淀川水系の表流水を原水とする高度浄水処理施設を対象として、AOC の除去特性を調べた。一方、微生物増殖を促進しない水質要件を決定するため、異なる AOC 濃度の水道水試料を調製し、水道水由来の微生物群を植種したうえで回分培養し、初期 AOC 濃度、残留塩素濃度と微生物再増殖の関係を調べた。また、上記浄水処理施設において稼働中のオゾン-GAC 処理プロセス後に導入したナノろ過処理ユニットの連続運転を行い、処理水質ならびに微生物学的安定性の改善効果を調べた。

(2) 浄水中の従属栄養細菌数を迅速に測定する手法の確立

モデル微生物を対象として、BrdU ラベル化反応条件を決定した。BrdU ラベル化反応後の微生物細胞を固定化 (細胞固定化法)、または菌体から BrdU 標識 DNA を抽出して固定化 (DNA 固定化法) し、免疫学的手法により標識 DNA 量を測定するとともに、培養法により決定した従属栄養細菌数 (HPC) との関係性を調べた。また、実際の給水栓水の残留塩素を中和した後に培養し、再増殖した微生物量を培養法により確認するとともに BrdU ラベル化反応に供し、細胞固定化法ならびに DNA 固定化法の両手法を比較した。

(3) 浄水中の AOC 濃度の迅速測定法の検討

AOC 測定の標準法における混釈培地法の代わりに ATP 濃度分析の適用を検討した。供試水として酢酸ナトリウム標準溶液 (0, 50, 100 $\mu\text{g/L}$) および水道水を用い、AOC 分析は通常法に準じた。ATP 濃度の迅速分析には ATP アナライザおよび消去剤キットを用いた。ここでは、試料の濃縮を行わない直接法とフィルター濃縮を行うろ過法について検出感度および精度の比較を行った。

5. モデルシミュレーションによる配水過程における微生物再増殖性および汚染事故発生時の健康リスク評価

本モデルでは浄水処理の単位プロセスごとに計算を行い、入力パラメータとして原水の平均水質 (過マンガン酸消費量、大腸菌群数)、消毒に用いる浄水中残留塩素濃度を用い、配水池、配水管および高架水槽内での残留塩素の消費量、AOC 濃度の変化量、従属栄養細菌の再増殖量、反応副生成物の生成量を計算し、この結果として、給水栓における残留塩素濃度、有機物濃度、微生物濃度、副生成物濃度を推定した。浄水中の塩素、有機物および微生物の反応に関してはマルチコンポーネントモデルを採用し、主流であるバルク相と壁面に付着した生物膜内の壁面相で各反応が生じ、互いの相間では境界膜を通じた物質移動が起こっていると仮定した。

シミュレーションに用いた配水管網として格子状の理想的な配水区と実際の配水管網を仮定した。理想的な排水区に関して、浄水場を 3 種類に分類し、その中で最も大きい配水区を対象とした。水質初期値の影響をわかり

やすくするため、原水水質、各成分除去率、各節点における配水量を一定とした。平均大腸菌群数を 2.4×10^1 mg/L、平均過マンガン酸消費量を $10^{0.7} \sim 10^{2.0}$ mg/L とし、計算時間を 90 日間とした。浄水処理後の残留塩素濃度を 0～0.24 mg/L の範囲で変化させた。また、実際の水道事業体の配水管網に適用し再現性を確認した。モデルの各パラメータを様々に調整して計算を行い、実測値(BDOC と残留塩素濃度)との比較を行った。初期値として、微生物濃度 1×10^8 CFU/m³、BDOC 0.12 mg/L、遊離塩素濃度 0.78 mg/L および計算時間を 240 日とした。

(倫理面への配慮)

人体試料を用いた実験や動物実験等、倫理上問題となるような実験や調査は行っていない。

C. 研究結果

1. 諸外国の水道における浄水処理、残塩保持及び配水水質管理の現状に関する調査

1990 年から 2004 年の間、EU25 カ国のうち 10 カ国において、86 件の水系感染症が報告された。内 54 件について汚染源および原因の病原微生物が同定された。主な病原微生物はクリプトスポリジウムであり、全事例の 38% を占め、その大半は英国の事例であった。カンピロバクターおよびノロウイルスによる感染症は、82% がフィンランドおよびスウェーデンの事例であった。詳細情報が利用可能である 61 件の水系感染症発生事例について、フォルトツリー解析を用いて原因の分析を行ったところ、配水過程での発生頻度は低い(約 30%)ものの平均貢献度は 87.4 点となり、給配水過程単独の不具合で発生する確率が高いと評価された。

米国では 2003～4 年に 19 州から水道由来の疾病事例に関する情報が 36 件報告された。そのうち 30 件が飲料水によるもの(2716 人発症、4 人死亡)、3 件が非飲用目的のもの、3 件が不明であった。水道の管轄内である 14 件の事例のうち、給配水過程に由来するものは 6 件(42.9%)で最も多かった。続いて不適切な浄水処理(28.6%)、未処理の地下水(21.4%)、未処理の表流水(7.1%)と続いた。

オランダ国内の水道においては、トリハロメタンが発見されてから 2005 年の塩素処理の完全停止に至るまで、30 年以上の歳月をかけて、科学的な知識・技術、その実用化、行政的施策・体制などを積み重ねながら進めてきた。微生物的安全確保の上で特筆されるのは、定量的感染リスク評価の実務への導入であった。これに加えて、微生物的に安定な水の配水、配水管材質の選定を含む配水管内面での生物膜生成の制御、配水管網の維持管理など、実務上必要と考えられる方策を重ね合わせていた。

2. 高度処理における微生物再増殖に関わる栄養源の低減条件の検討

(1) 生物活性炭における硝化微生物の定着過程の評価

2007 年 10 月から運用を開始した浄水場 A では、運転開始時より前塩素処理が行われていたが、2008 年 7 月からは前塩素処理は停止された。前塩素処理実施中は AOA *amoA* 遺伝子、AOB *amoA* 遺伝子ともに定量下限以下であったが、停止後から AOA *amoA* 遺伝子のみが検出されはじめた(図 1)。硝化能試験の結果、生物活性炭の硝化能と AOA の定着との間には関連が見られた。

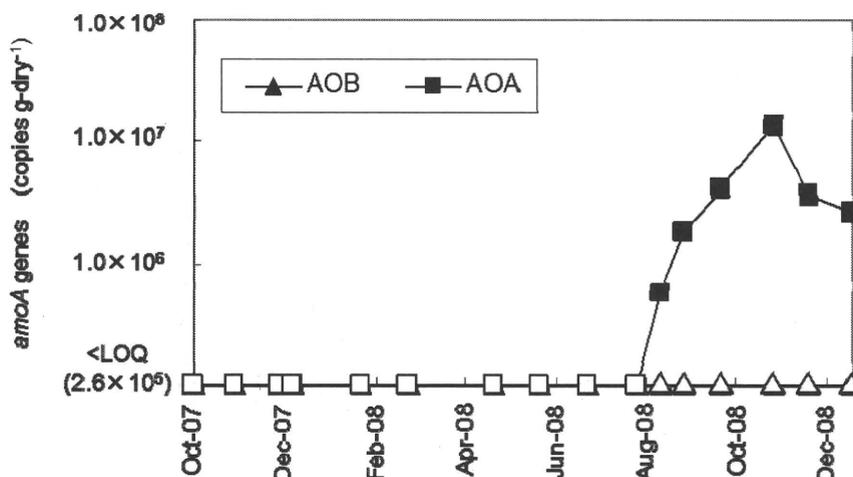


図 1 浄水場 A における AOA *amoA* 遺伝子および AOB *amoA* 遺伝子の検出状況

(2) 同化性有機炭素(AOC)の除去に関与する細菌群の同定

①連続式カラムリアクターを用いた生物活性炭における低級カルボン酸利用細菌の馴致

ギ酸、酢酸、シュウ酸濃度を1mgC/L、10mgC/Lと変えて生物活性炭を馴致し、それぞれの除去能を評価した。1mgC/L培養系では分解速度に変化は見られなかったが、10mgC/L培養系では、ギ酸、シュウ酸については分解速度の向上が認められた。単離の結果、対照系を含むすべての試料から、2種類のコロニーが検出され、基質特異的な細菌の単離には至らなかった。

②安定同位体プロービング法による低級カルボン酸利用細菌の特定

同一の原水を取水し、同一の処理プロセスで浄水処理を行っている二か所の浄水場の生物活性炭を対象として、SIP法による解析を行った。SIP法の適用にあたっては、培養時間や基質濃度などの条件を検討し、0.5mgC/Lという低濃度下における¹³CによるDNAラベリングに成功した。その結果、*Hyphomicrobium*属に近縁な細菌がギ酸、酢酸、シュウ酸すべての同化能を有していることが示された(図2)。

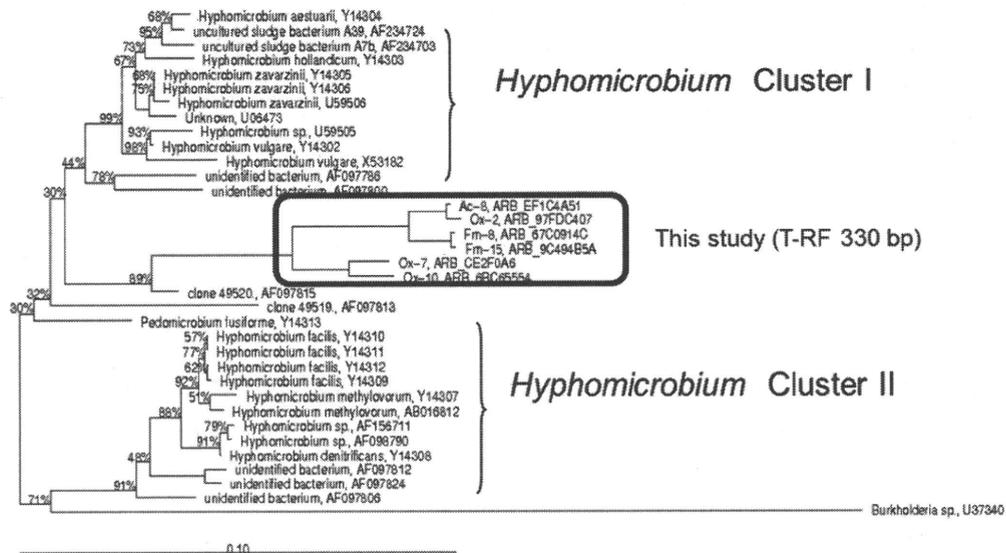


図2 T-RF330bpにおける近縁細菌種の検索結果

3. 消毒技術に関する検討(消毒による微生物再増殖の制御方法の検討)

大腸菌ファージの感染性を用いての細菌の代謝機能評価では、紫外線消毒を対象としたところ、ファージの吸着速度および増殖速度の両面からの評価が可能であった。また、異なる寒天濃度を用いた細菌の運動性・移動性試験により、*Pseudomonas*属菌の個々の運動性や生物膜形成能などを測定することができた。特に、UV照射後のコロニー径の比率を比較したところ、多くの種によって運動性が低くなり、使用寒天濃度の違いから生物膜形成能の減少において影響が大きい種が多く見られた(図3)。

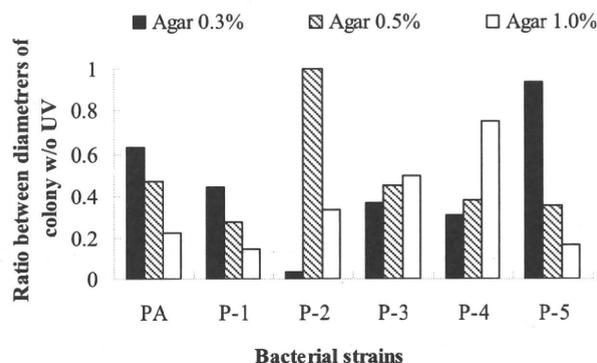


図3 UV照射前後の*Pseudomonas*菌の形成コロニー径の比率

複数培地を用いた細菌の損傷評価について、*P. aeruginosa*では紫外線消毒によって一様に致死性的損傷に到るものの、塩素消毒では塩素濃度およびpHにより致死性的損傷まで至る細菌の割合が異なった(図4, 5)。

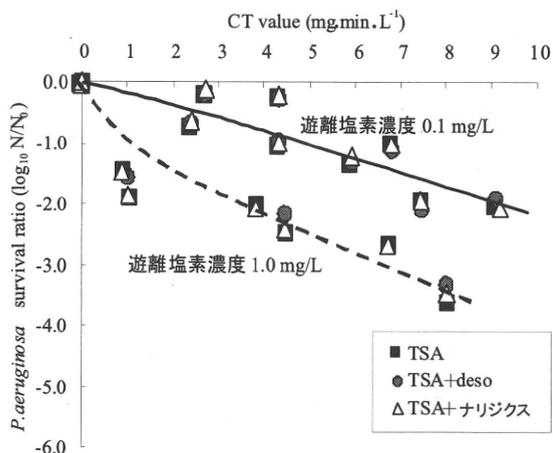


図4 塩素投入後の *P. aeruginosa* の濃度変化 (pH 7)

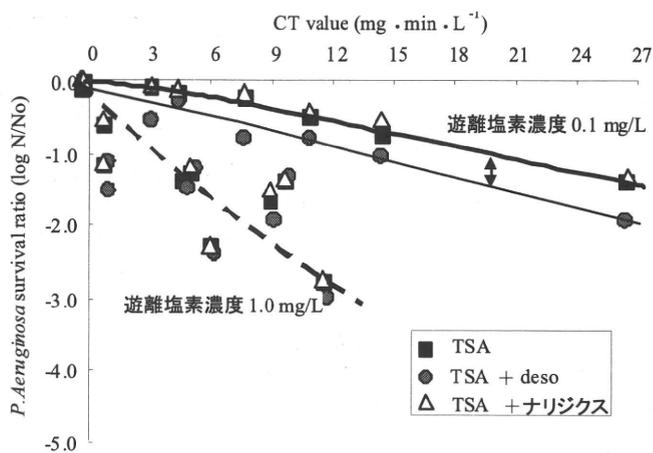


図5 塩素投入後の *P. aeruginosa* の濃度変化 (pH 9)

耐塩素性ないしは高再増殖性をもつ細菌種の同時検出法について、単離培養株において個々の塩素処理耐性を調べた結果を図6に、これら従属栄養細菌の混合溶液に塩素処理を施す前後の試料のT-RFLP分析結果を図7に示す。どちらもT-RFLP解析の結果得られたプロファイルのエリア相対値を求めて比較した。前者では、塩素耐性の高いy3, r1株のエリア相対値は増加し、耐性の低いw6株のエリア相対値は減少していた。後者では、耐性の高いy3, r1株のエリア相対値が増加し、耐性の低いw6株のエリア相対値が減少した。

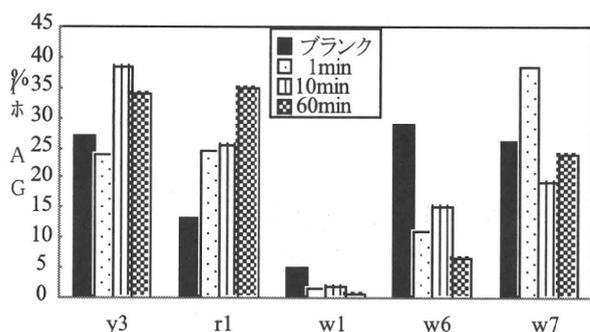


図6 塩素処理前後の各株のエリア相対値

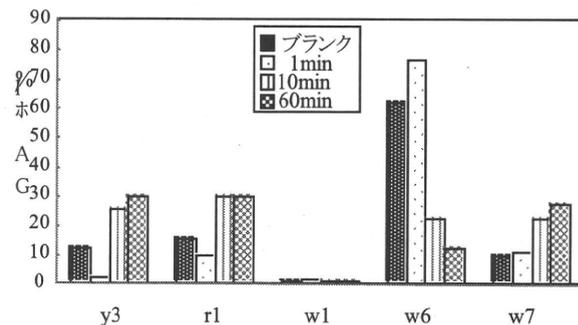


図7 2日間培養後における塩素処理前後の各株のエリア相対値

4. 残留塩素濃度を低減した水道システムにおける微生物再増殖管理に関する研究

(1) 微生物増殖を促進しない浄水水質要件の決定

急速ろ過処理水配水区域では夏季の給水栓水中AOCが50~60 $\mu\text{gC/L}$ であったのに対して、冬季にはAOCが顕著に増大した。また、異なる処理方式の給水栓水AOC濃度を比較した結果、調査対象施設の高度浄水処理水中においてもAOC濃度は50 $\mu\text{gC/L}$ 以上と高濃度であることから、対象施設のプロセス構成ならびに運転条件はAOC除去に対してはほとんど効果がないことが確認された(図8)。一方、痕跡程度(0.05mgCl₂/L)の残留塩素存在環境で微生物再増殖を抑止するためには、AOC濃度を約11 $\mu\text{gC/L}$ まで低減する必要があることを回分培養試験により示した(図9)。また、2009年11月~2010年12月の期間でナノろ過処理前後水のサンプリングを実施した結果、流入水平均TOC 0.69±0.10 mg/L、平均AOC 69±25 $\mu\text{gC/L}$ であったのに対して、ナノろ過処理導入によりそれぞれ平均TOC 0.07±0.06 mg/L、平均AOC 33±24 $\mu\text{gC/L}$ まで低減されることが確認された(図10)。ただし、高水温期に相当する5月~10月では処理水AOC濃度の平均は24±10 $\mu\text{gC/L}$ であったのに対して、徐々に水温が低下する11月~12月には64±30 $\mu\text{gC/L}$ と2倍以上高い値となった。また、NF処理水を残留塩素なしで培養した場合には、微生物再増殖量がGAC処理水を上回ることで、しかし痕跡程度の残留塩素を保持することで再増殖が抑制可能であることを示した。

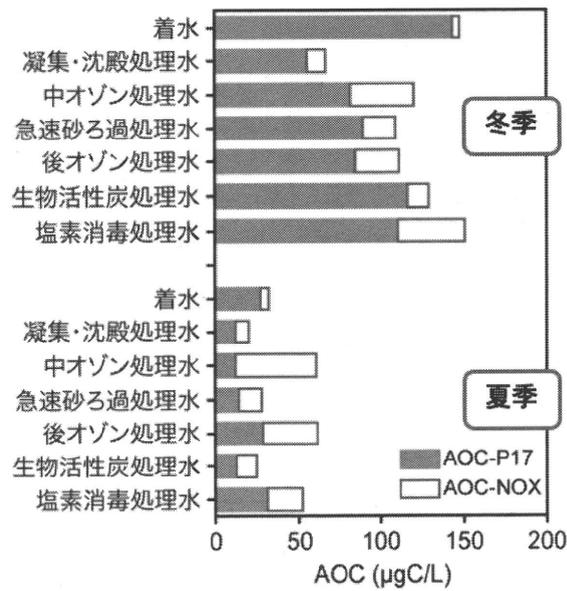


図8 高度浄水処理プロセスにおけるAOC除去特性

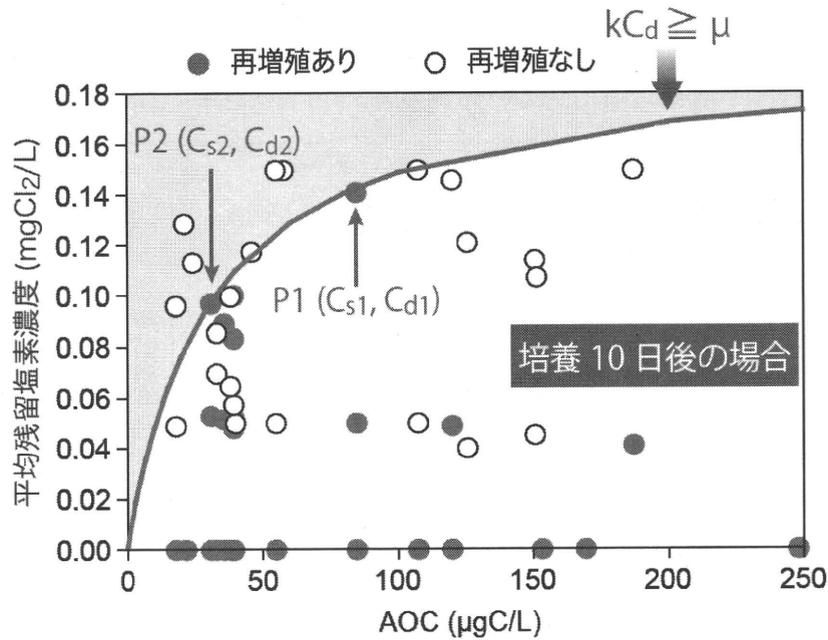


図9 AOC, 残留塩素濃度と微生物再増殖の関係および決定された微生物学的に安定な水質曲線

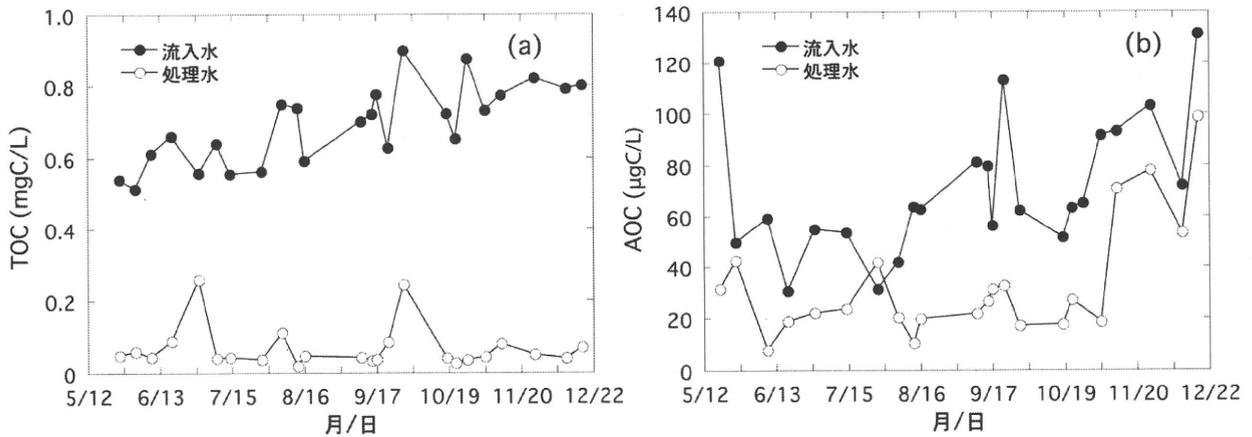


図10 ナノろ過処理プロセスにおける有機物除去の経時変化
(a): TOC, (b): AOC

(2) 浄水中の従属栄養細菌数を迅速に測定する手法の確立

決定したBrdUラベル化反応条件を用いて標識した微生物細胞および抽出DNAをそれぞれ固定化して定量性を比較した結果、DNA固定化の方が従来の細胞固定化法よりも検出感度が高いことを確認した。実際の給水栓水中の再増殖微生物に対してBrdUラベル化および標識DNAの定量を行った結果、混合微生物系に対しても本手法が適用可能であることを示した(図11)。

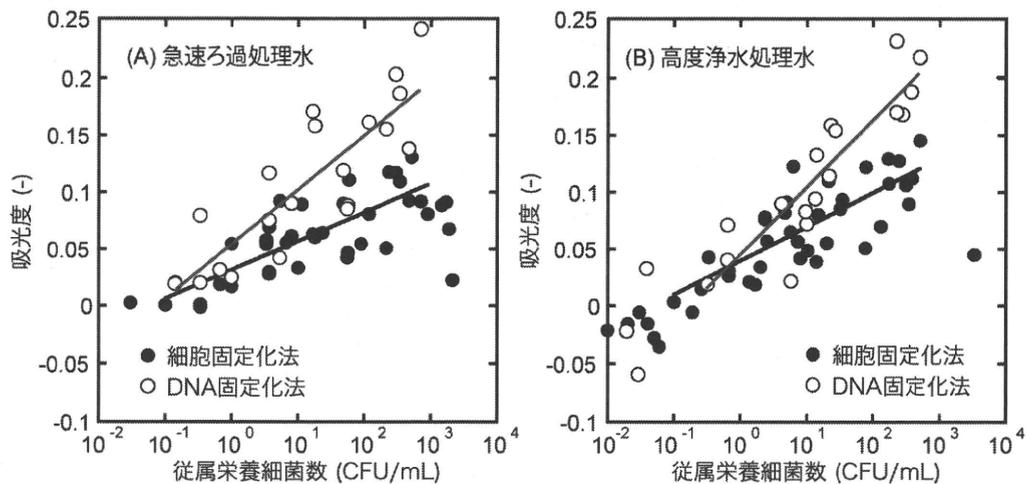


図11 給水栓水中の再増殖微生物数とBrdU標識DNA量の関係

(A) 急速ろ過処理水, (B) 高度浄水処理水

(3) 浄水中のAOC濃度の迅速測定法の検討

試料をろ過せずATPを測定する直接法では、AOC測定標準菌株であるP17株およびNOX株ともに各菌体とも8～11日目に最大増殖に達したことがATP濃度から確認できたが、R2A混釈培地法とは異なり、いったん最大増殖に達した以降のATP濃度は低下する傾向となった。混釈培地法およびATP濃度法との相関を確認したところ、P17株は0.77、NOX株は0.78の相関係数が得られた。一方、試料をろ過濃縮するろ過法においては、ATP濃度の激しい変動が測定されたことにより、混釈培地法との間に明確な相関は認められなかった。

5. モデルシミュレーションによる配水過程における微生物再増殖性および汚染事故発生時の健康リスク評価

原水中の有機物濃度を固定し、浄水中の残留塩素濃度を変えた場合の配水過程の各節点における微生物濃度を求めたところ、残留塩素濃度が低濃度の場合、配水池に最も近い節点が塩素濃度にかかわらずどの点よりも微生物濃度は低かったが、浄水中での微生物濃度より高くなった。また、配水池から遠い節点では微生物濃度が高い傾向が見られた。残留塩素濃度が高くなるに従い、各節点での微生物濃度は低くなり、配水池および配水管網での微生物死滅速度が増殖速度を上回ることが分かった。

D. 考察

1. 諸外国の水道における浄水処理、残塩保持及び配水水質管理の現状に関する調査

特にドイツとオランダにおいては、配水系統での残留消毒剤の保持によらず、浄水と比較して配水系統で*E. Coli*検出率が増加しており、また平均濃度や検出率は同程度であった。このことより、配水過程における残留塩素の保持のみでは水道水の安全性を確保する上では不十分であるとして、水道の配水系統における維持管理の徹底、すなわち、漏水率の低減やクロスコネクションの防止、管路補修時の汚染防止といった技術的対策を講じることで、残留消毒剤の保持に関わらず、高度な安全性が確保できると結論づけられている。また、特に残留消毒剤無しの場合には、*E. Coli*を糞便汚染指標として有効に活用できるため、水道原水に塩素耐性を有する病原微生物が存在する場合に利点となるとの見解が示されている。一方、給配水過程を原因とする水系感染症の発生件数および流行全体に占める割合は、米国が2003-2004年に6件(42.9%)、2005-2006年が2件(20%)、EU諸国が1990-2004年に30%であった。これらから給配水過程の不具合に起因する水系感染症は、いずれの国でも無視することのできないレベルで存在することが確認された。その中でも、米国は水源の汚染や消毒の不良などを主な原因とし、クロスコネクションが事例発生のトリガー、あるいは被害を拡大させるとみられる事例が多かった。EU諸国での個々の事例の詳細は不明であるが、給配水過程の不具合が流行に関与している事例の中で配水過程の

貢献度が高かった。これは、給配水過程での不具合を単独の要因として、集団感染症を引き起こす可能性があることを示している EU 諸国では配水過程での残留消毒剤保持を規定しない場合が散見されるため、給配水過程での突発的汚染等の事象に対して脆弱となる可能性がある。

2. 高度処理における微生物再増殖に関わる栄養源の低減条件の検討

(1) 生物活性炭における硝化微生物の定着過程の評価

硝化微生物については、前塩素処理の影響が顕著に現れた。前塩素処理を停止することにより、従来、硝化を担うと考えられた AOB ではなく、AOA が活性炭に定着したという知見は新規性が高い。これまでの研究から、アンモニアに対する親和性は AOA の方が AOB よりも断然に高いことが知られており、アンモニア濃度が極めて低い水道水においては、従来の AOB ではなく、AOA が優占することは妥当な結果と考えられる。

(2) 同化性有機炭素の除去に関与する細菌群の同定

酢酸は TCA サイクルで好氣的に代謝されるのに対し、ギ酸、シュウ酸は C1 化合物の経路であるセリン経路などで代謝される。セリン経路を有する細菌としては、C1 化合物を同化するメチロトロフなどが挙げられる。SIP 法による解析の結果、ギ酸、酢酸、シュウ酸のすべてを同化可能な細菌として *Hyphomicrobium* 属の応答が示された。当該属菌は C1 化合物だけでなく複数の炭素を含む基質を利用可能な通性メチロトロフであり、その基質利用特性は今回の SIP の結果と整合していた。

3. 消毒技術に関する検討 (消毒による微生物再増殖の制御方法の検討)

紫外線消毒における複数培地を用いた実験結果は、紫外線による不活化が主に核酸損傷によるとの知見と整合していた。ただし、核酸損傷によって大腸菌ファージの吸着速度や増殖速度に差を生じ、また生物膜形成能に大きな影響が出るとの新たな知見を得た。塩素消毒では、塩素濃度や pH の違いによって不活化力の低い次亜塩素酸イオンの存在比率が変化し、致命的損傷に到る細菌の割合に影響を与えると推定された。具体的には中性付近では遊離塩素濃度が高い方が同 CT 値における不活化率が高かったが、どちらにおいても培養培地毎の差は少なく、致命的損傷を受けているものと考えられた。一方、アルカリ側では不活化速度の低下とともに遊離塩素濃度が低い場合 (0.1 mg/L) において致命的でない損傷を受けている菌の存在があると考えられ、*P. aeruginosa* の消毒処理においては、不活化速度の面からも与える損傷レベルの面からも pH の制御が重要であることがわかった。

さらに T-RFLP 法を用いて複数種の微生物群の消毒処理耐性やその後の増殖能力を一度に解析することが可能であることが示唆された。塩素処理において処理前後の各株の T-RFLP プロファイルのエリア相対値を比較すると、耐性の高い株のエリア相対値は増加し、耐性の低い株のエリア相対値は減少したことから、T-RFLP 法を用いて複数種の細菌の塩素耐性を一度に評価することは可能であると考えられたが、処理前の段階で蛍光強度の低い株に対する評価は難しいことがわかった。また、塩素処理後に培養過程を挟むことによって、塩素処理耐性の低い株のエリア相対値の減少が見られ、増殖量に関しても抑制されていることがわかった。一方、処理直後 (培養なし) では減少したものの処理後培養すると増加した株も見られ、処理耐性が低いがその後の増殖能力が高い株であると判断できた。以上の方法によって、配水管中の消毒耐性の強い菌種の同定、および、消毒耐性が弱くても増殖速度が大きく問題視すべき菌種の同定といった情報が得られるものと期待される。

4. 残留塩素濃度を低減した水道システムにおける微生物再増殖管理に関する研究

(1) 微生物増殖を促進しない浄水水質要件の決定

本研究で示された微生物学的安定な水道水に要求される AOC 濃度は、オランダにおける調査結果と比較してより厳しい値となっているが、オランダと比較すると水温が高い我が国において配水システム内でのバイオフィルム形成を抑制するためには、今回示した要求水準が妥当と考えられる。また、表流水を原水として用いる場合には、大幅に AOC を低減するための新たな処理技術の導入あるいは処理プロセスの再構築が不可欠となる。一方、オゾン-GAC 処理後段へのナノろ過処理の導入により高い TOC 除去効果は得られたが、AOC については処理水中濃度の平準化効果は確認されたものの、上記要求水準を安定的に達成することはできなかった。特に低水温期には流入水 AOC の濃度上昇を反映して、NF 処理水 AOC 濃度も上昇した。これらの結果から、現存の高度浄水処理プロセスにナノろ過処理を増設するのみでは浄水の微生物学的安定性を向上させることは困難であり、微生物学的視点からの処理プロセス再構築の必要性を確認した。また、NF 処理水は高い微生物再増殖がテンシャルを有することから、AOC 除去効果が高い場合においても痕跡程度の残留塩素保持が必要であることを示した。

(2) 浄水中の従属栄養細菌数を迅速に測定する手法の確立

DNA 固定化法により、細胞壁処理に代表される抗原抗体反応の前処理が不要となり、約 3 時間の操作時間短縮が可能になった。わずかではあるが検出感度が向上したことと併せて、DNA 固定化法がより優れていると判断された。

(3) 浄水中の AOC 濃度の迅速測定法の検討

ATP 分析における直接法とろ過法の比較について、直接法は試料水の厚みの影響を受けるのに対して、ろ過法は試料がフィルター上に均一に広がり検出感度に優れるため直接法よりも微量な菌体数の測定に適することが期待された。しかし、ろ過法においては分析値が大幅にばらつく結果となった。分析精度低下の原因として、直接法は試料採取後の遊離 ATP の消去作業を蓋付きの容器内で行うのに対して、ろ過法は開放系の装置で試料をろ過し、かつ、遊離 ATP の消去を行うため、コンタミネーションの可能性がより高まると考えられた。

5. モデルシミュレーションによる配水過程における微生物再増殖性および汚染事故発生時の健康リスク評価

低塩素濃度で微生物濃度が最も高かった節点(最遠接点)に着目し、浄水中微生物濃度と最遠節点での微生物濃度が等しくなる塩素濃度を限界塩素濃度と定義し、塩素濃度と微生物濃度の関係について有機物濃度をパラメータとして計算した結果、限界塩素濃度は有機物量が増加するに従い大きくなることが示された(図 1 2)。これにより微生物の再増殖を制御するための塩素濃度の指標を定量化できた。さらに、実際の水道事業体における配水管網を設定し、実測値との比較を行うことでパラメータの調整を行ったところ、実測値をよく再現するような計算結果が得られた。

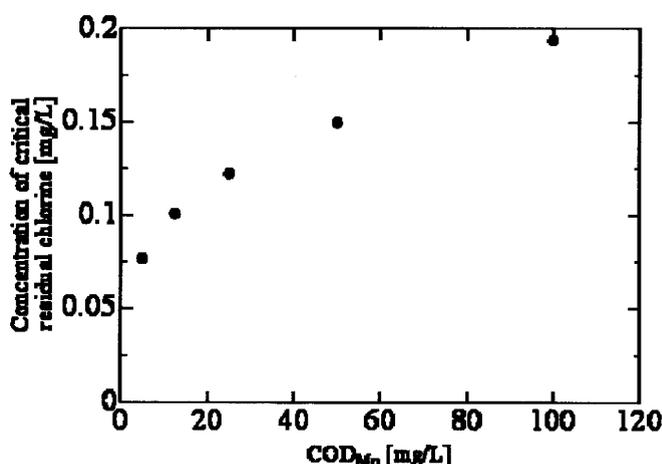


図 1 2 原水中の有機物濃度と限界塩素濃度の関係

E. 結論

消毒副生成物やカルキ臭生成の抑制の面から、水道の配水過程において残留塩素を低減する意義は大きいものの、同時に微生物学的な安全性や快適性を確保することが不可欠である。水道水の安全性および快適性のさらなる向上のためには、残留塩素の適正な保持のみならず、配水系統における衛生状態の確保の要件や配水系統内微生物の迅速モニタリング手法の確立、ならびに前段の浄水処理における微生物の効率的な不活化手法や栄養源となる物質の効果的な除去手法といった点を明らかにする必要がある。本研究では、特に配水管路での微生物再増殖の抑制と管理、また、消毒及び生物処理等による浄水水質のさらなる向上を中心的な研究課題として、当該研究期間において以下の結論を得た。これらは、微生物制御を軸とした水道システムの運転管理や維持管理を推進するにあたり、将来的な管理指針の作成などにおいて、基礎的な知見として活用できるものと期待される。

- (1) 欧米の水道における浄水処理、残塩保持及び配水水質管理の現状に関する調査を行い、飲料水に由来する各国の水系感染症の事例分析から、給配水過程に起因する水系感染症流行のリスク要因としてクロスコネクションや消毒の不備が重要であることを示した。特に EU 諸国では残留塩素保持を必要としない場合が多いため、給配水過程での突発的汚染発生等の事象に対して脆弱となり得る。
- (2) 生物活性炭処理における栄養塩除去機構の解明をめざし、生物活性炭の処理能力評価に有用となる知見を得た。硝化についてはアンモニア酸化古細菌(AOA)が優占し、生物活性炭への定着が前塩素処理によって阻害されるため留意する必要があることを示した。AOC 除去については SIP 法によりオゾン処理の副生成物であるギ酸、

- 酢酸、シュウ酸をすべて同化できる細菌群 (*Hyphomicrobium* 属の近縁種) の存在を明らかとした。これらの特定の機能を有する微生物に関する情報は、生物活性炭の処理能力を評価する上で有用と考えられる。
- (3) 塩素消毒および紫外線消毒における各種細菌の損傷レベルの相違を明らかとし、細菌への損傷レベルのマトリックスを作成した。例として *P. aeruginosa* 及び *E. coli* の塩素消毒による不活化では次亜塩素酸イオンの存在比が高くなると半致命的損傷が生じることが示され、特に、*P. aeruginosa* では低濃度での処理時にその割合が顕著となった。このことから、消毒方法によっては従来の CT 値等に基づく不活化の評価のみならず、ターゲットとする細菌への不活化機構に基づいた多面的な損傷レベルを評価する必要性を提示した。また、T-RFLP 法により従属栄養細菌に属する細菌種の消毒耐性および再増殖能を一斉評価できることを示した。
- (4) 痕跡程度 (0.05mgCl₂/L) の残留塩素存在環境で微生物再増殖を抑制するためには、AOC 濃度を約 11 μgC/L まで低減する必要があることを回分培養試験により示した。わが国において表流水を原水として用いる場合には、既往の高度浄水処理プロセスにナノろ過処理を増設したとしても上記水準の達成は困難であるため、大幅に AOC を低減するための新たな処理技術の導入や、浄水処理プロセスの再構築が必要となる。
- (5) 給配水過程における従属栄養細菌数および AOC の迅速測定法の開発に取り組み、前者では BrdU ラベル化反応法を提案し、混合微生物系に対して適用可能であることを明らかにした。後者では ATP 濃度分析による迅速測定が可能であるものの、ATP のコンタミ低減による検出精度向上が課題となった。
- (6) 給配水系を配管網として計算を行い、また塩素の消費速度に関する有機物との反応モデルを組み入れた改良シミュレーションモデルを構築した。当モデルを用い、微生物の再増殖について浄水中の残留塩素濃度と給水栓における微生物濃度の関係を明らかにした。また、最も微生物濃度が高い節点に着目することで、原水水質と微生物再増殖抑制に必要な残留塩素濃度との関係を計算可能とした。当モデルを実際の水道事業体における配水管網に適用したところ、実測値をよく再現できた。

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Yumiko Ohkouchi, Bich Thuy Ly, and Sadahiko Itoh (2009) Detection of bacterial regrowth in water distribution system using endotoxin as an alternative indicator, *Advances in Asian Environmental Engineering*, Vol. 8, No. 1, pp. 13-19.
- 2) Myriam Ben Said, Otaki Masahiro and Abdennaceur Hassen (2010) Detection of viable but non cultivable *Escherichia coli* after UV irradiation using a lytic Qβ phage, *Annals of Microbiology*, Vol. 60, No. 1
- 3) Myriam Ben Said, Kazama Shinobu, Otaki Masahiro and Abdennaceur Hassen (2010) Detection of active *Escherichia coli* after irradiation by pulsed UV light using a Qβ phage, *African Journal of Microbiology Research*, Vol. 4, No. 11, pp. 1128-1134
- 4) I. Kasuga, H. Nakagaki, F. Kurisu, and H. Furumai (2010) Abundance and diversity of ammonia-oxidizing archaea and bacteria on biological activated carbon in a pilot-scale drinking water treatment plant with different treatment processes, *Water Science and Technology*, Vol. 61, No. 12, 3070-3077.
- 5) I. Kasuga, H. Nakagaki, F. Kurisu, H. Furumai (2010) Predominance of Ammonia-Oxidizing Archaea on Granular Activated Carbon Used in a Full-scale Advanced Drinking Water Treatment Plant, *Water Research*, Vol. 44, No. 17, pp. 5039-5049.
- 6) 伊藤禎彦 (2010) 定量的感染リスク評価の感度分析における非加熱飲料水消費量データの影響、*用水と廃水*, Vol. 52, No. 8, pp. 55-65
- 7) 浅田安廣、大河内由美子、伊藤禎彦 (2010) プロモデオキシウリジン修飾 DNA 量に基づいた浄水中の従属栄養細菌数迅速推定法の開発、*環境工学研究論文集*, Vol. 47, pp. 119-126
- 8) 伊藤禎彦 (2010) 事例報告「オランダにおける塩素を使用しない水道システムの管理」、*水道協会雑誌*, Vol. 79, No. 10, pp. 12-22
- 9) 島崎大. EU 諸国における配水過程の残留消毒剤保持に係る規定および大腸菌の検出状況. *水道協会雑誌* 2010 ; 79(12) : 21-25.
- 10) S. Soonglerdsongpha, I. Kasuga, F. Kurisu, and H. Furumai (2011) Comparison of assimilable organic carbon removal by biological activated carbon in different advanced drinking water treatment plants, *Sustainable Environment Research*, Vol. 21, No. 1, pp. 59-64.
- 11) Yumiko Ohkouchi, Bich Thuy Ly, Suguru Ishikawa, Yusuke Aoki, Shinya Echigo, and Sadahiko Itoh (in press) A survey on levels and seasonal changes of assimilable organic carbon (AOC) and its precursors

in drinking water, Environmental Technology

2. 学会発表

- 1) I. Kasuga, H. Saito, F. Kurisu, and H. Furumai (2008) Characterization of actively respiring bacterial community responding to organic matter in biological drinking water treatment, The 12th International Symposium on Microbial Ecology, P002-0151.
- 2) Sadahiko Itoh, Yuki Yoshimura, and Tomoyuki Okada (2008) Components of estrogenic effect in chlorinated drinking water, Proceedings of The 17th Joint KKNN Symposium on Environmental Engineering (CD-ROM).
- 3) Bich Thuy Ly, Yumiko Ohkouchi, and Sadahiko Itoh (2009) Investigation of related factors to biological stability in drinking water distribution system and the possibility of AOC removal by ion exchange, The 8th International Symposium on Water Supply Technology Proceedings, pp.270-278.
- 4) Yumiko Ohkouchi, Shinya Echigo, Nagahisa Hirayama and Sadahiko Itoh (2009) Our approaches for reducing chlorinous odor to establish satisfactory water supply systems in Japan, Proceedings of 6th Netherlands-Japan Workshop on Water Technology, pp.30-33.
- 5) Yusuke Aoki, Shinya Echigo, Yumiko Ohkouchi and Sadahiko Itoh (2009) Fate of amino acids in drinking water treatment process, Proceedings of 6th Netherlands-Japan Workshop on Water Technology, pp.98-99.
- 6) Yasuhiro Asada, Yumiko Ohkouchi and Sadahiko Itoh (2009) Rapid quantification of heterotrophic bacteria in drinking water based on the amount of DNA labeled with Bromodeoxyuridine, Proceedings of 6th Netherlands-Japan Workshop on Water Technology, pp.108-109.
- 7) Yoshihiro Kawano, Bich Thuy Ly, Suguru Ishikawa, Yumiko Ohkouchi and Sadahiko Itoh (2009) AOC removal during drinking water treatment processes in Japan, Proceedings of 6th Netherlands-Japan Workshop on Water Technology, pp.113-114.
- 8) Yumiko Ohkouchi, Bich Thuy Ly, Suguru Ishikawa, Yoshihiro Kawano, Sadahiko Itoh (2009) Present AOC levels in drinking water and its required level for biologically stable water with lower chlorine residual, Proceedings of the 17th Seminar of JSPS-MOE Core University Program on Urban Environment, pp. 1-9.
- 9) I. Kasuga, H. Nakagaki, F. Kurisu, and H. Furumai (2009) Abundance and diversity of ammonia-oxidizing archaea and bacteria on biological activated carbon in a pilot-scale drinking water treatment plant with different placements of sand filtration, The 3rd IWA-ASPIRE conference Abstracts, p.6.
- 10) S. Soonglerdsongpha, I. Kasuga, F. Kurisu, and H. Furumai (2009) Comparison of assimilable organic carbon removal by biological activated carbon in different advanced drinking water treatment plants, The 3rd IWA-ASPIRE conference Abstracts, pp.67-68. (Best Student Presentation Award)
- 11) I. Kasuga (2009) Characterization of ammonia-oxidizing archaea associated with biological activated carbon used for advanced drinking water treatment, International Workshop on water and Wastewater Treatment at National Cheng Kung University, p.16.
- 12) Sadahiko Itoh (2010) Drinking Water Treatment and Quantification of Infection Risk, Proceedings of the 18th Seminar of JSPS-MOE Core University Program on Urban Environment, pp.113-128
- 13) I. Kasuga, H. Nakagaki, F. Kurisu, and H. Furumai (2010) Predominance of Ammonia-Oxidizing Archaea on Granular Activated Carbon Used in a Full-scale Advanced Drinking Water Treatment Plant, Water Research Conference.
- 14) S. Soonglerdsongpha, I. Kasuga, F. Kurisu, H. Furumai (2010) Application of stable isotope probing to identify carboxylic acids assimilating bacteria associated with biological activated carbon used in drinking water treatment, 13th International Symposium on Microbial Ecology, PS06.091.
- 15) S. Soonglerdsongpha, I. Kasuga, F. Kurisu, H. Katayama, and H. Furumai (2010) Application of stable isotope probing to evaluate AOC assimilating bacteria attached on BAC in drinking water treatment plant, Proceedings of the 44th Annual Conference of JSWE, p.169.
- 16) 岩田和隆, 島崎大, 国包章一. 配水過程における微生物再増殖と細菌種に及ぼす管材質及び残留塩素の影響. 第59回全国水道研究発表会, 2008.5.28-30; 仙台. 同講演集. p.490-491.
- 17) 浅田安廣, 大河内由美子, 伊藤禎彦 (2008) 従属栄養細菌の迅速定量を目的としたブロモデオキシウリジンラベル化DNAの定量方法に関する基礎的検討, 環境衛生工学研究, Vol. 22, No. 3, pp.124-27.

- 18) 中垣宏隆, 春日郁朗, 栗栖太, 古米弘明 (2009) 高度浄水処理用生物活性炭へのアンモニア酸化細菌及び古細菌の定着過程, 第 43 回日本水環境学会年会講演要旨集, p289.
- 19) 大瀧雅寛, 溝添倫子, 林紗綾佳, (2009) 紫外線および二酸化塩素処理における大腸菌の細胞損傷レベルの測定, 第 60 回全国水道研究発表会講演集, pp. 184-185
- 20) 春日郁朗, 中垣宏隆, 栗栖太, 古米弘明, 関哲雄 (2009) 生物活性炭立ち上げ時の微生物定着に及ぼす前塩素処理の影響, 第 60 回全国水道研究発表会講演集, pp. 164-165.
- 21) 前田裕太, 春日郁朗, 栗栖太, 古米弘明 (2009) 培養法と分子生物学的手法を用いた給水末端における細菌群の多様性評価, 第 60 回全国水道研究発表会講演集, pp. 462-463.
- 22) 伊藤禎彦 (2009) 高度浄水処理水を越える水道水質ニーズとリスク管理のゆくえ, 環境衛生工学研究, Vol. 23, No. 3, pp. 3-9
- 23) 島崎 大, 国包 章一. 水道水の残留塩素保持に係る規定および研究の動向. 環境衛生工学研究 2009 ; 23 (3) : 16-19.
- 24) 伊藤禎彦, Patrick Smeets, Gertjan Medema (2009) 微生物の定量的感染リスク評価手法, 日中戦略的国際科学技術協力推進事業 第 3 回シンポジウム 水の反復利用によるリスク低減のためのモニタリング評価と対策技術に関する研究, pp. 74-76
- 25) 春日郁朗, 中垣宏隆, 栗栖太, 古米弘明 (2009) 生物活性炭における硝化微生物の付着過程と硝化能との関係, 第 9 回日中水道技術交流会論文集, pp. 15-18.
- 26) 春日郁朗 (2010) 水道水における同化性有機炭素の制御と課題, 第 12 回東京大学水環境制御研究センターシンポジウム, pp. 9-10.
- 27) 伊藤禎彦, Patrick Smeets, Gertjan Medema, 宋金姫 (2010) 定量的感染リスク評価における浄水処理プロセスの流入・流出水濃度のデータペアリング方法, 第 44 回日本水環境学会年会講演集, p. 75
- 28) 伊藤禎彦, Patrick Smeets, Gertjan Medema (2010) 定量的感染リスク評価の感度解析における非加熱飲料水消費量データの影響, 第 44 回日本水環境学会年会講演集, p. 76
- 29) 河野圭浩, Ly Bich Thuy, 大河内由美子, 伊藤禎彦 (2010) 浄水処理過程における生物分解性有機炭素の除去特性, 第 44 回日本水環境学会年会講演集, p. 178
- 30) 溝添倫子, 佐野満美子, Myriam Ben Said, 大瀧雅寛, (2010) 消毒処理による大腸菌および緑膿菌の損傷メカニズムの定量的解析, 第 44 回日本水環境学会年会講演集, p. 302
- 31) 大河内由美子, Ly Bich Thuy, 石川卓, 河野圭浩, 伊藤禎彦 (2010) 残留塩素濃度を低減した水道システムにおける要求水質に関する研究, 第 61 回全国水道研究発表会講演集, pp. 476-477
- 32) 伊藤禎彦, Patrick Smeets, Gertjan Medema (2010) 定量的感染リスク評価の不確実性分析による必要調査項目の提示, 第 61 回全国水道研究発表会講演集, pp. 498-499
- 33) S. Soonglerdsongpha, 春日郁朗, 栗栖太, 片山浩之, 古米弘明 (2010) Evaluation and enrichment of biological activity of carboxylic acids removal by biological activated carbon in continuous column reactors, 第 61 回全国水道研究発表会, pp. 622-623.
- 34) 浅田安廣, 大河内由美子, 伊藤禎彦 (2010) 浄水中の従属栄養細菌迅速測定を目的としたプロモデオキシウリジン修飾 DNA 定量法の確立, 環境衛生工学研究, Vol. 24, No. 3, pp. 31-34
- 35) 大河内由美子, 河野圭浩, Ly Bich Thuy, 伊藤禎彦 (2010) 残留塩素を最小化した水道システムにおける微生物学的安定性向上を目的とした膜ろ過法の適用, 環境衛生工学研究, Vol. 24, No. 3, pp. 35-38
- 36) 文亮太, 大河内由美子, 伊藤禎彦 (2010) 酵素学的手法による浄水中の同化可能有機炭素前駆物質の構成成分推定, 環境衛生工学研究, Vol. 24, No. 3, pp. 124-127
- 37) 周靨, 伊藤禎彦 (2010) 定量的微生物リスク評価における検出限界以下データに対する濃度補間方法, 第 47 回環境工学研究フォーラム講演集, pp. 151-153
- 38) 春日郁朗 (2010) 生物活性炭におけるアンモニア酸化微生物の多様性と動態, 東京都水道局平成 22 年度水質報告会
- 39) 溝添倫子, 大瀧雅寛, 春日郁郎, (2011) T-RFLP 法を利用した従属栄養細菌の消毒処理耐性の評価, 第 45 回日本水環境学会年会講演集(発表予定)
- 40) 春日郁朗, S. Soonglerdsongpha, 栗栖太, 古米弘明, 片山浩之 (2011) 生物活性炭における低級カルボン酸利用細菌群の安定同位体プロービング法による同定, 第 45 回日本水環境学会年会講演集(発表予定)
- 41) 矢田祐次郎, 河野圭浩, 大河内由美子, 伊藤禎彦 (発表予定) ナノろ過処理による AOC 低減効果と微生物再増殖特性の変化に関する研究, 第 45 回日本水環境学会年会講演集.

- 42) 大河内由美子, 矢田祐次郎, 伊藤禎彦 (発表予定) ナノろ過処理を適用した浄水の微生物学的安定性に関する研究, 第62回全国水道研究発表会講演集.

G. 知的所有権の取得状況

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

研究成果の刊行に関する一覧表

研究成果の刊行に関する一覧表

1. 論文発表

- 1) Yumiko Ohkouchi, Bich Thuy Ly, and Sadahiko Itoh (2009) Detection of bacterial regrowth in water distribution system using endotoxin as an alternative indicator, *Advances in Asian Environmental Engineering*, Vol.8, No.1, pp.13-19.
- 2) Myriam Ben Said, Otaki Masahiro and Abdennaceur Hassen (2010) Detection of viable but non cultivable *Escherichia coli* after UV irradiation using a lytic Q β phage, *Annals of Microbiology*, Vol. 60, No.1
- 3) Myriam Ben Said, Kazama Shinobu, Otaki Masahiro and Abdennaceur Hassen (2010) Detection of active *Escherichia coli* after irradiation by pulsed UV light using a Q β phage, *African Journal of Microbiology Research*, Vol. 4, No.11, pp. 1128-1134
- 4) I. Kasuga, H. Nakagaki, F. Kurisu, and H. Furumai (2010) Abundance and diversity of ammonia-oxidizing archaea and bacteria on biological activated carbon in a pilot-scale drinking water treatment plant with different treatment processes, *Water Science and Technology*, Vol.61, No.12, 3070-3077.
- 5) I. Kasuga, H. Nakagaki, F. Kurisu, H. Furumai (2010) Predominance of Ammonia-Oxidizing Archaea on Granular Activated Carbon Used in a Full-scale Advanced Drinking Water Treatment Plant, *Water Research*, Vol.44, No.17, pp.5039-5049.
- 6) 伊藤禎彦 (2010) 定量的感染リスク評価の感度分析における非加熱飲料水消費量データの影響、*用水と廃水*, Vol.52, No.8, pp.55-65
- 7) 浅田安廣、大河内由美子、伊藤禎彦 (2010) ブロモデオキシウリジン修飾DNA量に基づいた浄水中の従属栄養細菌数迅速推定法の開発、*環境工学研究論文集*, Vol.47, pp.119-126
- 8) 伊藤禎彦 (2010) 事例報告「オランダにおける塩素を使用しない水道システムの管理」、*水道協会雑誌*, Vol.79, No.10, pp.12-22
- 9) 島崎大. EU諸国における配水過程の残留消毒剤保持に係る規定および大腸菌の検出状況. *水道協会雑誌* 2010 ; 79(12) : 21-25.
- 10) S. Soonglerdsongpha, I. Kasuga, F. Kurisu, and H. Furumai (2011) Comparison of assimilable organic carbon removal by biological activated carbon in different advanced drinking water treatment plants, *Sustainable Environment Research*, Vol.21, No.1, pp.59-64.
- 11) Yumiko Ohkouchi, Bich Thuy Ly, Suguru Ishikawa, Yusuke Aoki, Shinya Echigo, and Sadahiko Itoh (in press) A survey on levels and seasonal changes of assimilable organic carbon (AOC) and its precursors in drinking water, *Environmental Technology*

2. 学会発表

- 1) I. Kasuga, H. Saito, F. Kurisu, and H. Furumai (2008) Characterization of actively respiring bacterial community responding to organic matter in biological drinking water treatment, *The 12th International Symposium on Microbial Ecology*, P002-0151.
- 2) Sadahiko Itoh, Yuki Yoshimura, and Tomoyuki Okada (2008) Components of estrogenic effect in chlorinated drinking water, *Proceedings of The 17th Joint KKNN Symposium on Environmental Engineering (CD-ROM)*.
- 3) Bich Thuy Ly, Yumiko Ohkouchi, and Sadahiko Itoh (2009) Investigation of related factors to biological stability in drinking water distribution system

- and the possibility of AOC removal by ion exchange, The 8th International Symposium on Water Supply Technology Proceedings, pp.270-278.
- 4) Yumiko Ohkouchi, Shinya Echigo, Nagahisa Hirayama and Sadahiko Itoh (2009) Our approaches for reducing chlorinous odor to establish satisfactory water supply systems in Japan, Proceedings of 6th Netherlands-Japan Workshop on Water Technology, pp.30-33.
 - 5) Yusuke Aoki, Shinya Echigo, Yumiko Ohkouchi and Sadahiko Itoh (2009) Fate of amino acids in drinking water treatment process, Proceedings of 6th Netherlands-Japan Workshop on Water Technology, pp.98-99.
 - 6) Yasuhiro Asada, Yumiko Ohkouchi and Sadahiko Itoh (2009) Rapid quantification of heterotrophic bacteria in drinking water based on the amount of DNA labeled with Bromodeoxyuridine, Proceedings of 6th Netherlands-Japan Workshop on Water Technology, pp.108-109.
 - 7) Yoshihiro Kawano, Bich Thuy Ly, Suguru Ishikawa, Yumiko Ohkouchi and Sadahiko Itoh (2009) AOC removal during drinking water treatment processes in Japan, Proceedings of 6th Netherlands-Japan Workshop on Water Technology, pp.113-114.
 - 8) Yumiko Ohkouchi, Bich Thuy Ly, Suguru Ishikawa, Yoshihiro Kawano, Sadahiko Itoh (2009) Present AOC levels in drinking water and its required level for biologically stable water with lower chlorine residual, Proceedings of the 17th Seminar of JSPS-MOE Core University Program on Urban Environment, pp. 1-9.
 - 9) I. Kasuga, H. Nakagaki, F. Kurisu, and H. Furumai (2009) Abundance and diversity of ammonia-oxidizing archaea and bacteria on biological activated carbon in a pilot-scale drinking water treatment plant with different placements of sand filtration, The 3rd IWA-ASPIRE conference Abstracts, p.6.
 - 10) S. Soonglerdsongpha, I. Kasuga, F. Kurisu, and H. Furumai (2009) Comparison of assimilable organic carbon removal by biological activated carbon in different advanced drinking water treatment plants, The 3rd IWA-ASPIRE conference Abstracts, pp.67-68. (Best Student Presentation Award)
 - 11) I. Kasuga (2009) Characterization of ammonia-oxidizing archaea associated with biological activated carbon used for advanced drinking water treatment, International Workshop on water and Wastewater Treatment at National Cheng Kung University, p.16.
 - 12) Sadahiko Itoh (2010) Drinking Water Treatment and Quantification of Infection Risk, Proceedings of the 18th Seminar of JSPS-MOE Core University Program on Urban Environment, pp.113-128
 - 13) I. Kasuga, H. Nakagaki, F. Kurisu, and H. Furumai (2010) Predominance of Ammonia-Oxidizing Archaea on Granular Activated Carbon Used in a Full-scale Advanced Drinking Water Treatment Plant, Water Research Conference.
 - 14) S. Soonglerdsongpha, I. Kasuga, F. Kurisu, H. Furumai (2010) Application of stable isotope probing to identify carboxylic acids assimilating bacteria associated with biological activated carbon used in drinking water treatment, 13th International Symposium on Microbial Ecology, PS06.091.
 - 15) S. Soonglerdsongpha, I. Kasuga, F. Kurisu, H. Katayama, and H. Furumai (2010) Application of stable isotope probing to evaluate AOC assimilating bacteria attached on BAC in drinking water treatment plant, Proceedings of the 44th Annual Conference of JSWE, p.169.
 - 16) 岩田和隆, 島崎大, 国包章一. 配水過程における微生物再増殖と細菌種に及ぼす管材質及び残留塩素の影響. 第59回全国水道研究発表会, 2008. 5. 28-30 ; 仙台. 同講演集.