

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

水道水及び原水における化学物質等の実態を踏まえた水質管理の向上に資する研究

研究代表者 松井 佳彦 北海道大学大学院工学研究院 名誉教授

研究要旨

浄水処理プロセスにおけるウイルス除去遺伝子マーカーとして、Promega Wizard Enviro Total Nucleic Acid Kit による PMMoV の検出の実用性が示された。ろ過水および浄水では PMMoV は  $10^{3-4}$  copies/L のオーダーで検出可能であった。共通試料について 7 機関による測定濃度の差は最大でもおよそ 1 log であったことから、管理目標値としての「 $10^4$  copies/L のオーダー以下」の測定精度の点からもおおむね問題はないと考えられた。水系感染症ウイルスが陽性となった幾つかの試料について、エンテロウイルス及びロタウイルスが ICC-PCR 法ではそれぞれそれぞれ 10 MPN/L, 1-3 MPN/L 程度であった。浄水ろ過水では遊離塩素によるコクサッキーウイルス B5 (CVB5) の不活化効率はあまり水質に影響されない可能性がわかった。

ろ過水、浄水では一般細菌数と従属栄養細菌数(HPC)との間に相関関係が弱く、水質管理目標値設定には細菌類再増殖を考慮した上で検証する必要があることが示された。レジオネラ属菌の遺伝子が検出した浄水試料では HPC はレジオネラ属菌の遺伝子量に弱い正の相関が確認され、細菌汚染状況を把握する上で重要であることが示された。一方では一度汚染された給水システムでのレジオネラ属菌制御の困難さが示された。水道におけるクリプトスポリジウムの検査における遺伝子検査法の活用の課題についての事例を報告するとともに、検査の顕微鏡と遺伝子が 7 割程度に一致していたことを確認した。

鉛製給水管については布設替えが徐々に進んでいるが、鉛製給水管の残存状況が把握されていない事業体も多い上に、判明しているだけでも未だに 200 万件程度の鉛製給水管が残存している。鉛製給水管の残存件数の概数を把握する手法について検討した結果、鉛製給水管使用期間中に建築され残存する建物と数と鉛管残存件数には一定の関連があることがわかった。また、水道の鉛の水質検査では 15 分滞水による採水と検査を行うことが定められているが、鉛管が残存せず鉛が検出されていない箇所では 15 分滞水による採水方法の必要性は低く、負担の多い 15 分滞留採水方法の省略要件を示した。

令和 3, 4 農薬年度の農薬製剤出荷量や水道原水・浄水における検出状況を調査した。有塩素処理により農薬フェントエートはオキソン体に変換され、コリンエステラーゼ (ChE) 活性阻害性も見られた。機械学習モデルを用いて農薬の検出可能性を高い精度で評価でき、対象農薬類の見直し候補農薬を提案した。有機フッ素化合物の調査では、炭素数が少ないものが検出される傾向、炭素数の少ないものが浄水処理工程で除去されにくい傾向が認めら

れた。PFCA の GAC 破過曲線を調査したところ、その鎖長が短いほど破過速度が大きく、PFBA と PFPeA は高水温時に 5000～7500 BV で完全に破過し脱着傾向も見られた。

全国調査により、臭素化副生成物は広く存在していること、ブロモクロロ酢酸、ブロモジクロロ酢酸は目標値案の 50% を超過している地点があることが示された。オゾン及び活性炭処理で総トリハロメタン生成能と比べてハロ酢酸生成能は除去されやすく、低減効果が高いことが確認された。粒状活性炭(GAC)の更新周期の目安として、ヨウ素吸着性能 400～500 mg/g-GAC を提案した。臭素化消毒副生成物濃度は、同じグループの塩素化消毒副生成物濃度とブロモジクロロメタン(BDCM)/クロロホルム(TCM)のデータから予測可能なことがわかった。

臭気強度の試験条件統一を目的とし、有機アミン類などを由来とするカルキ臭の除去法について検討したところ、アスコルビン酸ナトリウムによる除去が有効であることが分かった。この除去法を用いて 227 水道水について臭気強度実態調査を行い、水道水の臭気強度に対するカルキ臭の割合が高いこと、および残留塩素濃度が高いほどカルキ臭の臭気強度(=除去に伴う臭気強度の減少分)が高い傾向にあることが分かった。しかしながら、この傾向から外れる試料もあった。カルキ臭前駆物質の実態調査のため、低分子アミン類の定量法の構築を試みたが、浄水試料で検出されたメチルアミンの臭気への寄与は大きくないと判断された。GC/olfactometry ではベンズアルデヒドと、ブロモジクロロメタンとジブロモクロロメタンの臭気への寄与が示唆されたが、それらの寄与は極めて限定的であると判断された。

2022 年に欧州の水枠組み指令の改定案にリストされた PFAS24 物質と国内で検出例が知られている 2 化合物 (4:2FTS, 6:2FTS) について、体内動態、反復投与毒性、生殖発生毒性、発がん性(遺伝毒性を含む)に関する毒性情報収集を行い、17 物質について NOAEL(LOAEL)を表にまとめた。トリクロロエチレン(TCE) およびテトラクロロエチレン(別名:パークロロエチレン、PCE)の TDI 算定値は、それぞれ 0.0005 mg/kg bw/day (0.5 µg/kg bw/day) , 0.016 mg/kg/day であった。

PFAS のスクリーニング分析法について、高速液体クロマトグラフ-トリプル四重極型質量分析計(LC-MS/MS)を用い、同定に必要な情報をデータベース化した。定量精度については装置状態の把握が重要であることがわかった。通常分析法であるターゲット分析法との誤差は小さく、スクリーニング分析としては十分な定量精度であった。農薬類の LC-QTOFMS スクリーニング分析法についてバリデーション試験を実施し、定量下限値の設定により判定に関する個人差を少なくすることが可能であることがわかった。また 25 種の農薬について負イオン化モードのデータベースを構築し、24 種については検査法としての活用に十分な感度を有することがわかった。農薬 GC/MS スクリーニング分析法の実運用案とガイドライン案を策定した。

これらの成果は学術論文や学術集会で多数公表されるとともに、厚生労働省告示や厚生科学審議会生活環境水道部会、水質基準逐次改正検討会や水道における微生物問題検討会、水道水質検査法検討会に資された。

研究分担者	所属機関	職名
浅田 安廣	国立保健医療科学院生活環境研究部	主任研究官
浅見 真理	国立保健医療科学院生活環境研究部	上席主任研究官
泉山 信司	国立感染症研究所寄生動物部	主任研究官
伊藤 禎彦	京都大学大学院工学研究科	教授
越後 信哉	京都大学大学院地球環境学堂	教授
片山 浩之	東京大学大学院工学系研究科	教授
小坂 浩司	国立保健医療科学院生活環境研究部	上席主任研究官
小林 憲弘	国立医薬品食品衛生研究所生活衛生化学部	室長

研究分担者	所属機関	職名
島崎 大	国立保健医療科学院生活環境研究部	上席主任研究官
高木 総吉	地独)大阪健康安全基盤研究所衛生化学部生活環境課	主幹研究員
広瀬 明彦	国立医薬品食品衛生研究所安全性予測評価部	客員研究員
増田 貴則	国立保健医療科学院	総括研究官
松本 真理子	国立医薬品食品衛生研究所安全性予測評価部	主任研究員
三浦 尚之	国立保健医療科学院生活環境研究部	主任研究官
松下 拓	北海道大学大学院工学研究院	准教授
白崎 伸隆	北海道大学大学院工学研究院	准教授

## A. 研究目的

本研究の目的は、水道水質基準の逐次見直しなどに資すべき化学物質や消毒副生成物、設備からの溶出物質、病原生物等を調査し、着目すべき項目に関してそれらの存在状況、監視、低減化技術、分析法、暴露評価とリスク評価に関する研究を行い、水道水質基準の逐次改正などに資するとともに、水源から給水栓に至るまでの水道システム全体のリスク管理のあり方に関して提言を行うことにある。研究目的を、ウイルス、細菌・寄生虫、無機物、化学物質・農薬、消毒副生成物、臭気物質、リスク評価管理、水質分析法について詳述すると以下のようである。

**ウイルス:**水道における病原ウイルスのリスク管理方法として、浄水処理プロセスにおける

ウイルス除去遺伝子マーカーにトウガラシ微斑ウイルス (PMMoV) を用いることを目的として、水道原水において感染力を有する病原ウイルスの実態調査および PMMoV 検査方法の評価などを検討した。

**細菌・寄生虫:**レジオネラ汚染に対する従属栄養細菌の指標性およびクリプトスポリジウムの顕微鏡検出と遺伝子検出の一致の確認について、文献および実態調査を行った。

**無機物:**厚生労働省鉛製給水管の効率的な布設替えに関する検討会「鉛製給水管布設替えに関する手引き」(以下「手引き」)において、既存の鉛製給水管の布設替えの推進が図られているが、現状では鉛製給水管の解消に至っていない水道事業者が多くある。一方では、令和3年6月食品安全委員会が鉛評価書を発出し、継続的に鉛ばく露低減のための取組が必要であ

ることが示された。本研究では、手引きの改定を見据え、鉛製給水管布設実態の把握方法および鉛検査のための採水方法について検討することを目的とした。

**化学物質・農薬：**水源となる流域に開放的に使用される化学物質として農薬について実態調査、浄水処理性に関する検討を行った。有機リン系農薬についてはコリンエステラーゼ (ChE) 活性阻害試験を行い、オキソンの生成特性と毒性を評価した。対象農薬類の更新リストとその地域版を作成した。また、有機フッ素化合物を対象に、水源や浄水場での実態調査を行った。

**消毒副生成物：**水質基準の改正に際して重要と考えられる事項として、臭素化ハロ酢酸、ハロアセトニトリル、臭素酸、ハロアセトアミド、ハロアルデヒドを対象に、生成実態・特性、管理・低減策について調査を行った。あわせて、消毒副生成物に関する全国調査を行い、物質間の関係性について検討した。さらに、新規の未規制消毒副生成物やその前駆体に関する検討を行った。

**臭気物質：**臭気強度評価はカルキ臭を除いて行うこととされているが、有機アミン等のカルキ臭原因物質前駆体が存在する場合について、塩素消去剤について検討した。残留塩素存在下でのカルキ臭に由来する臭気強度を実態調査した。アミン類の定量法の確立と実態調査を行うとともに、GC/olfactometry や HS-GC/MS を用いて水道水カルキ臭原因物質を調査した。

**リスク評価管理：**有機フッ素化合物(PFAS)類の国際的な評価機関における評価状況を把握するとともに、WHO ガイドラインの改定で国内の規準値や目標値と異なる評価がなされた物質として TCE と PCE を取り上げ、毒性情報の収集整理を行った。

**水質分析法：**PFAS について LC-MS/MS を用いたスクリーニング分析法用のデータベースを作成し、定量精度を評価した。農薬類についてはこれまでの成果を踏まえて、スクリーニング分析法の前処理方法、解析時における個人差の影響、および負イオン化モードのデータベースの構築を行い、農薬 GC/MS スクリーニング分析法の実運用案を策定した。

## B. 研究方法

原水や水道水質の状況、浄水技術について調査研究を行うため、ウイルス、細菌・寄生虫、無機物、化学物質・農薬、消毒副生成物、臭気物質、リスク評価管理、水質分析法の 8 課題群－研究分科会を構築し、研究分担者 16 名の他に 52 もの水道事業体や研究機関などから 144 名の研究協力者の参画を得て、各研究分担者所属の施設のみならず様々な浄水場などのフィールドにおける実態調査を行った。

水質項目は多岐にわたるため、上述の研究目的に沿って 8 課題群に分けて、研究分科会とグループを構成し、全体会議などを通じて相互に連携をとりながら並行的に研究を実施した。研究分科会は、ウイルス分科会 (研究分担者 4 名、研究協力者 11 名)、細菌・寄生虫分科会 (研究分担者 4 名、研究協力者 14 名)、無機物分科会 (研究分担者 1 名、研究協力者 11 名)、化学物質・農薬分科会 (研究分担者 3 名、研究協力者 23 名)、消毒副生成物分科会 (研究分担者 3 名、研究協力者 18 名)、臭気分科会 (研究分担者 3 名、研究協力者 8 名)、リスク評価管理分科会 (研究分担者 2 名、研究協力者 17 名)、水質分析分科会 (研究分担者 2 名、研究協力者 42 名) である。

ウイルス、細菌・寄生虫、無機物、化学物質・農薬、消毒副生成物、臭気物質、リスク評価管理、水質分析法の 8 課題群それぞれの研究方法の詳細は、分担研究報告書を参照されたい。

倫理面への配慮：該当しない。

## C. 研究結果と考察

### (1) ウイルス

水道原水 A においては、PCR 法単独にて定量されたアデノウイルス、エンテロウイルス、ロタウイルスが  $10^{3-5}$  copies/L 程度、また、トウガラシ微斑ウイルスが  $10^{6-7}$  copies/L 程度存在していることが確認された。PCR 法単独によるウイルス定量においてエンテロウイルス及びロタウイルスが陽性となった試料について、ICC-PCR 法による定量を実施したところ、エンテロウイルス及びロタウイルスが感染力を有する状態でそれぞれ 10 MPN/L 程度、1-3 MPN/L 程度存在する可能性があることが明らかとなった。エンテロウイルスの定量においては、PMAxx-Enhancer-PCR 法と ICC-PCR 法の間

陽性/陰性の結果が一致したことから、エンテロウイルスの感染力評価手法の代替として PMAx-Enhancer-PCR 法を活用できる可能性が示唆された。

流入下水に存在する大腸菌を用いて Coliminder の有用性が確認され、水道原水を対象とした調査に用いることの可能性が示された。

浄水の塩素消毒によるウイルスの不活性化率に水質はあまり影響しない可能性があり、水温や pH が塩素消毒の効率に影響する可能性が高いことが示された。

水道事業者において実施可能な PMMoV の検査方法を確立することを目的として、市販の核酸抽出・精製キット (Promega Wizard Enviro Total Nucleic Acid Kit) の有用性を評価した。原水試料を用いた評価では、陰電荷膜法による濃縮を行う方法と PMMoV の検出結果は概ね一致しており (一致率は 93%)、当該キットによ

る PMMoV 濃度の測定値は有意に高かった (対応のある t 検定,  $P < 0.01$ )。また、ろ過水および浄水試料を用いた評価では、当該キットを用いて、陰電荷膜法により得られたウイルス濃縮液全量 (10 mL) からウイルス RNA を抽出・精製することで、試料に  $10^2$  copies/L のオーダーで含まれる PMMoV を測定できることが示された。

PMMoV 濃度がおよそ  $10^5$ ,  $10^4$ ,  $10^3$  copies/L のオーダーで含まれるように調製した高濃度、中濃度、低濃度試料は、研究分担者と研究協力者が所属する 7 機関で概ね同様の測定濃度だった (表 1)。同一濃度の試料では、測定濃度の差は最大でもおよそ 1 log であったことから、ろ過水における PMMoV の管理目標値として「 $10^4$  copies/L のオーダー以下」と設定することは、検査方法の測定精度の点からも現実に即していると考えられた。

表 1. 各機関による PMMoV 濃度測定結果

機関	高濃度試料		中濃度試料		低濃度試料	
	平均濃度 [copies/L]	平均濃度 [log copies/L]	平均濃度 [copies/L]	平均濃度 [log copies/L]	平均濃度 [copies/L]	平均濃度 [log copies/L]
A	$2.3 \times 10^5$	5.4	$1.7 \times 10^4$	4.2	$1.4 \times 10^3^*$	3.1*
B	$3.3 \times 10^5$	5.5	$3.5 \times 10^4$	4.5	$3.5 \times 10^3$	3.5*
C	$5.9 \times 10^5$	5.8	$5.9 \times 10^4$	4.8	$6.9 \times 10^3$	3.8
D	$1.3 \times 10^5$	5.1	$1.5 \times 10^{4**}$	4.2**	$1.2 \times 10^3^*$	3.1*
E	$7.0 \times 10^4$	4.8	$3.8 \times 10^4$	4.5	$5.3 \times 10^3$	3.7
F	$3.1 \times 10^5$	5.5	$4.7 \times 10^4$	4.7	$7.3 \times 10^3$	3.9
G	$8.0 \times 10^5$	5.9	$6.7 \times 10^4$	4.8	$9.2 \times 10^3$	3.9

\*: 定量下限以下を含む参考値として示した。

\*\* : 3 試料中、1 試料で得られた濃度を示した。

## (2) 細菌・寄生虫

全国 21 浄水場の原水、ろ過水、浄水での一般細菌数と HPC の測定結果に基づき、相関性を評価した結果、一般細菌数 100 CFU/mL に相当する HPC は 430 CFU/mL と目標値の 2000 CFU/mL を大幅に下回る結果となった。浄水、ろ過水データのみで相関関係の評価したところ、相関性は弱く (図 1)、従属栄養細菌の再増殖による影響であると考えられた。

全国 21 浄水場の原水、ろ過水、浄水でのレ

ジオネラ属菌の遺伝子量を把握するとともに、HPC との相関関係の評価した (図 2)。その結果、レジオネラ属菌遺伝子の検出率より、浄水処理によるレジオネラ属菌の遺伝子量の低減効果が示された。浄水試料でレジオネラ属菌の遺伝子が検出した試料を用いた場合に、HPC とレジオネラ属菌の遺伝子量に弱い正の相関が確認でき、レジオネラ汚染を把握する上で、HPC 等により、処理システム内での細菌汚染状況を把握することが重要であることが示さ

れた。

再増殖試験におけるレジオネラの安定的な再増殖を目的として、給配水管内のレジオネラ存在形態を模擬するため、抗生物質処理を加えた自由生活性アメーバ(FLA)/レジオネラの共培養方法を検討した。しかし、抗生物質添加なしの試験系も含めいずれの方法でも FLA 細胞内へのレジオネラの取り込みはほとんど起こらなかった。

水道水試料から分離した *V. vermiformis* の栄養体細胞またはシストを異なる HPC 濃度の水道水試料に接種し、HPC と FLA の再増殖を経時的に調べた。その結果、HPC が低濃度であってもシストが栄養体に変化すること、また初期の HPC 濃度が高い試料ほど FLA 再増殖までのラグが短くなったことを確認した。一方、FLA の十分な増殖が起こった試料では、先行して HPC が  $10^3$  CFU/mL 以上に上昇する傾向が確認された。

レジオネラ汚染された給水システムにおいて、給水栓における滞留時間を 28 日以上から 14 日、7 日と短縮することで培養可能なレジオネラ濃度の抑制効果が見られた一方で、7 日以内の条件ではその効果が頭打ちとなったことから、一度汚染された給水システムでは蛇口の定期的な開栓のみでレジオネラを制御することは難しいことがわかった。また、滞留条件に

よって宿主 FLA や細菌群集組成が変化し、レジオネラ再増殖に影響を及ぼしている可能性も示された。

水道水が長期滞留した給水栓において異なる流量条件で放水を行い、その後の滞留期間におけるレジオネラの再増殖過程を比較した。高流量条件で放水を行った場合、低流量条件での放水よりも給水栓でのレジオネラ濃度を長期間にわたって低濃度に抑制できることが明らかとなった。その一方で、高流量条件でも 1~2 週間後にはレジオネラが一定レベルまで再増殖したことから、放水（フラッシング洗浄）のみでは対策の持続性に限界があることも示唆された。

水道原水として使われる河川水から、クリプトスポリジウム 1,000 個/10L 程の高濃度な汚染が検出された。顕微鏡検査では検出が保留されたところを、遺伝子検査で補われて、*Cryptosporidium suis* の配列が得られた。結果を無視することなく、相談と確認に進んだのが良かったと言えた。最近の検査における顕微鏡と遺伝子の結果を比較したところ、7 割程度の一致が得られた。1 個/10L の難しい検査であり判断に苦慮することがあれば、異なる検査で補うことが、検査の信頼性向上につながると考えられた。

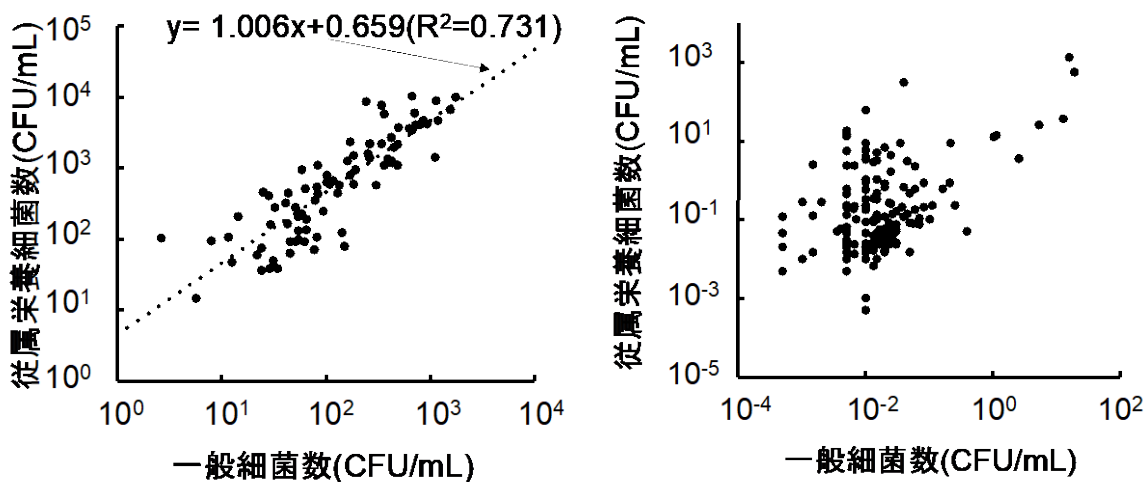


図1 一般細菌数と従属栄養細菌数の関係性評価(左:原水 84 データ, 右:浄水・ろ過水 168 データ)

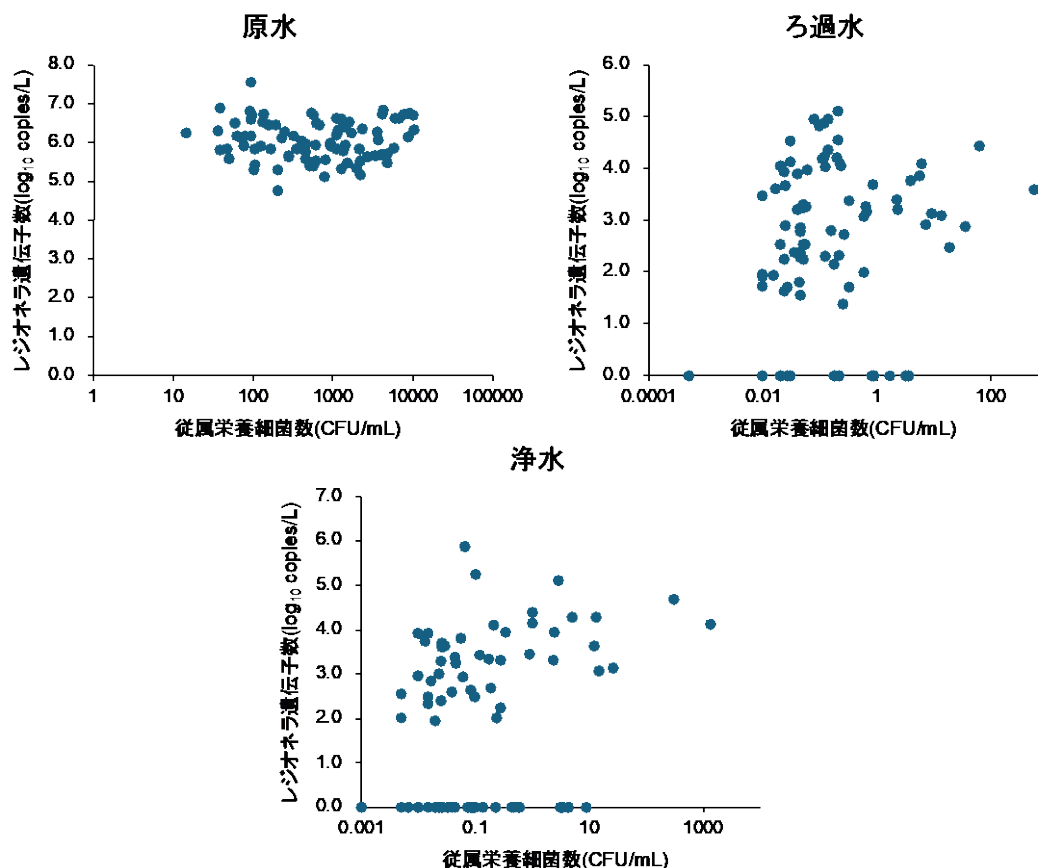


図2 原水、ろ過水、浄水試料での従属栄養細菌数とレジオネラ属菌遺伝子量の関係

### (3) 無機物

公道からメータまでの鉛管の布設替えは比較的進んだが、敷地内の布設替えは進みにくく、さらに現状では鉛製給水管の残存状況が把握され布設替えが進んでいる地域と、残存状況の把握が一部にとどまる地域、手が付けられていない地域がある。アンケート調査では、比較的規模の大きい水道事業体では、給水台帳やマッピングシステム等の既存資料から調査把握している事業体が多いことが分かった。公道部では鉛製給水管の布設替えは進んでいるものの、布設替え工事の実施が困難な場所が依然残っており、利用者の理解を促し合意形成を進めることが必要である。公道部と比べて宅地部で残存する鉛製給水管の解消については、私有地内であるために布設替えといった直接的な対策が困難であり、多くの事業体では広報活動が中心に行われている実態が分かった。私有地内の布設替えに対し助成金など補助金制度を設けている場合や、鉛管解消に向けた専門部署や専

門担当者の設置している事業体もあり、これらの取り組みも解消に有効であることが分かった。また宅地部の給水管については、所有者が水道事業ではないため、公道部と比べて実態の把握が進んでいないことが分かり、効果的な調査把握手法が必要と考えられた。

そこで、鉛製給水管の残存件数（概数）を把握する手法について検討した結果、該年度の建物戸数と鉛管残存件数には一定の関連があることが示唆された。一方で、鉛製給水管解消の取り組みの程度により建物対鉛管比率に差があることが分かった。今後、検証する事業体を増やすことで、地域や取り組みによる差を把握し、建築年数別建物数から鉛製給水管の残存件数（概数）を把握できる可能性がある。なお分析にあたっては、空き家の有無や使用期間に建築された建物での当時の鉛製給水管採用率を考慮する必要がある。今後の課題である。一方では、水道統計や現状の解析結果からは、必ずしも鉛製給水管の残存状況と鉛濃度の関係

は明確とはならないことが改めて明らかとなった。

一方で、日本の水道の鉛の水質検査では、流水後 15 分滞留させて 5L を採取し、検査を行うことが定められている。鉛管が使われていない場合を含むすべての地点で、一般的な重金属の採水の他に 15 分滞留後の採水を行うため、検査実施上の負担も大きいことが分かった。ある市の例では、1 地点あたり約 30 分の増加（15 分滞水＋滞水時の採水 2 分（1 分 5L 採水と攪拌分取）＋分析時間 10 分＋容器準備等＝約 30 分）、車 1 台追加、人員の追加及び電気代、試料数の増加によりアルゴンガスや電気代が必要であった。鉛管を使用していない箇所では、過去の検査でも鉛が検出されていない箇所では、15 分滞水による採水方法の省略が可能と考えられた。今回調査に用いた鉛濃度のデータ群を解析したところ、滞留法は流水に比べて鉛濃度にばらつきが大きいことがわかった。

採水方法については省略のできる要件について検討を行った。今後、鉛製給水管の交換に資する検討を継続し、鉛製給水管が残存する箇所の把握、水質管理を含めた対策の継続が必要である。

滞留法および流水ともに、鉛管長さが長くなるほど鉛濃度の平均値および中央値、超過率が上昇する傾向を示した。また、鉛管長さ 7m 未満の鉛濃度については流水と滞留法で鉛濃度に顕著な差がなかった。また、鉛管においては、温度及び水質により溶出の濃度が異なることが示された。

#### (4) 化学物質・農薬

令和 3、4 農薬年度の農薬製剤出荷量は約 23.8 万、約 22.2 万 t とほぼ同じであった。令和 4 農薬年度の用途別農薬製剤出荷量は殺虫剤が 6.7 万 t、殺菌剤が 3.8 万 t、殺虫殺菌剤が 1.6 万 t、除草剤が 9.1 万 t であった。登録農薬製剤数は令和 4 年 9 月で、殺虫剤が 1033、殺菌剤が 866、殺虫殺菌剤が 352、除草剤が 1609、それ以外が 317 で、合計は 4177 であった。

農薬類の実態調査の結果、令和 4 年度は、原水では 95 種、浄水では 26 種の農薬類および分解物が検出され、令和 5 年度は原水では 68 種、浄水では 35 種の農薬および分解物が検出された。用途別に見ると、いずれの年度も原水、浄

水ともに除草剤が最も多かった。個別農薬評価値は、原水では令和 4、5 年度ともにテフリルトリオンが最も高く、浄水ではそれぞれプロモブチド、クロロピクリンが最も高かった。Σ 値の最大値は、令和 4 年度は原水が 0.98、浄水が 0.04、令和 5 年度は、原水では 0.96、浄水では 0.10 であった。

研究班の分科会に参加の事業者による有機フッ素化合物の調査では、浄水から PFOS と PFOA の合計値が暫定目標値の 50% を超過する場合もあったが、他の浄水場の浄水と混合されて配水され、給水栓水濃度は低い値になっていた。多種の有機フッ素化合物を調査した事業者では、炭素数が少ないものが検出される傾向、炭素数の少ないものが浄水処理工程で除去されにくい傾向が認められた。水源調査では、いくつかの事業者で PFOA、PFOS あるいは合計値が 50 ng/L 超で検出される場合があったが、原水の取水への寄与が小さかったり、取水の抑制等で運用が行われていた。

有機フッ素化合物のうち、ペルフルオロカルボン酸 (PFCA) について単一 GAC 池で破過曲線を調査したところ、その鎖長が短く、LogD が大きい（親水性）ほど破過速度が大きかった（図 3）。PFCA の破過は水温が高いほど促進され、2 種の短鎖 PFCA（ペルフルオロブタン酸 (PFBA) とペルフルオロペンタン酸 (PFPeA)）は高水温時に短期間（通水倍率 5000～7500 BV）で完全に破過し脱着傾向に至った。

A 浄水場の水源河川を調査し、PFBS の発生源は河川 L、河川 B と C の上流、河川 D の合計 4 地点に存在することが推定された。このうち、河川 L、河川 D の発生源はそれぞれ廃棄物集積地点、廃棄物埋立地の可能性が考えられた。

ジメトエートは、代謝の有無にかかわらず、塩素処理試料は ChE 活性阻害性を誘発しなかった。一方、フェントエートは、塩素処理でフェントエートオキソンに変換され、その変換率は 60～80% と高かった。また、塩素共存下でもフェントエートオキソンは安定して存在した。さらに、フェントエート塩素処理試料が誘発した ChE 活性阻害性は、フェントエートオキソンのみで説明できた。

機械学習モデルを用いて農薬の検出可能性を高い精度で評価できることを示した。その結



果、2023 年度時点の対象農薬類に対して格上げ対象が 6 農薬、格下げ対象が 8 農薬となり (表 2, 3), 対象農薬類を 115 から 113 農薬に更新することを提案した. 第 1 格上げ基準のフェンキノトリオンは出荷量の増加が顕著な水田用除草剤で、10 地域中 6 地域で優先度が高い測定推奨農薬と判定された. さらに同モデルを用いて各地域で測定が推奨される農薬類の地域別リストを作成した.

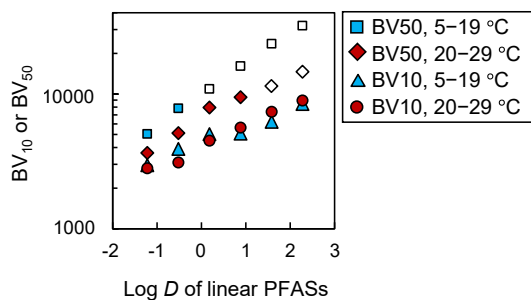


図 3. PFCA の Log  $D$  と、PFCA の  $BV_{10}$  または  $BV_{50}$  の関係 (測定値は 2022 年 1 月~2022 年 5 月 (水温 5~19 °C) と 2022 年 5 月~2022 年 9 月 (20~29 °C) の 2 期間に収集, 白抜きプロットは外挿値, PFCA の Log  $D$  は MarvinSketch 22.11 で算出)

表 2. 格上げ対象農薬

選択基準	整理番号	原剤名	用途	主な使用先	ADI (mg/kg/day)	評価値 (µg/L)	登録年	備考
第1	治-177	フェンキノトリオン	除草剤	水田	0.0016	4	2018	
第2	要-010	フルスルファミド	殺菌剤	畑地	0.001	2.5	1992	
第2	他-061	ヒメトロジン	殺虫剤	水田	0.013	30	1998	
第2	治-060	シアナミド	成長調整剤	水田	0.002	5	2000	ADI:EFSA値
第2	治-148	イミシアホス	殺虫剤	畑地	0.0005	1.3	2010	
第2	治-150	メソトリオン	除草剤	水田	0.003	7.5	2010	

表 3. 格下げ対象農薬

選択基準	整理番号	原剤名	用途	主な使用先	ADI (mg/kg/day)	評価値 (µg/L)	登録年	失効年
第2	対-001	1,3-ジクロロプロベン (D-D)	土壌燻蒸	畑地	0.02	50	1950	未失効
第2	対-006	アジュラム	除草剤	水田	0.36	900	1972	未失効
第2	対-039	クロロタニル (TPN)	殺菌剤	畑地	0.018	50	1965	未失効
第2	対-052	ジメトエート	殺虫剤	畑地	0.002	50	1961	未失効
第2	対-059	チオジカルブ	殺虫剤	畑地	0.03	80	1988	未失効
第2	対-067	トリフルラリン	除草剤	畑地	0.024	60	1966	未失効
第2	対-106	マラチオン (マラソン)	殺虫剤	畑地	0.02	700	1953	未失効
第2	対-109	メタラキシル	殺菌剤	畑地	0.022	200	1984	未失効

### (5) 消毒副生成物

全国の Br<sup>-</sup>濃度の分布状況と地域的特性を明らかにした. 全国調査により, 臭素化副生成物は広く存在していること, ブロモクロロ酢酸 (BCAA), ブロモジクロロ酢酸 (BDCAA) は目標値案の 50% を超過している地点があることが示

された. Br<sup>-</sup>濃度が高濃度の地点では, これまで検出が確認されなかったトリプロモ酢酸 (TBAA) も検出された. ジハロ酢酸について, 夏季の高温時に配水過程で減少傾向にあった. 台風や豪雨に伴う高濁度時と平常時の原水のハロ酢酸類生成能及び工程水と浄水のハロ酢酸の挙動を調査した. 高濁度時には, 原水は TOC の上昇と共にハロ酢酸生成能が増加し, 工程水, 浄水のハロ酢酸濃度, 特にジクロロ酢酸及びトリクロロ酢酸の濃度は前塩素処理の影響で上昇した.

オゾン処理及び活性炭処理を用いた場合のハロ酢酸生成能の長期トレンドの結果から浄水処理において安定的に生成能を低減できることを示した. また, オゾン処理及び活性炭処理は総トリハロメタン生成能と比べてハロ酢酸生成能は除去されやすいことがわかった. 総ハロ酢酸生成能, 総アセトニトリル生成能は, 高度浄水処理システムによってそれぞれ約 80%, 約 70% 除去されており, 高度浄水処理による低減効果が高いことが確認された. ハロ酢酸については, 分子構造中の塩素原子数が多い成分ほど浄水処理による除去性能が高くなるため, 処理が後段に進むにつれ, 臭素系成分の構成割合が高くなった.

アセトニトリルについては, ジクロロアセトニトリルを除く成分の除去率が大きくないために, 臭素系成分の構成割合が高く, 浄水で 60% 以上を占めることがわかった.

ラフィド藻類は, トリクロロ酢酸だけでなく, BDCAA の生成にも関与している可能性が考えられた. 栗国村における臭素酸増加の原因は, 送水ポンプから供給される銅と, 塩素が入った浄水 (海水淡水化水) の接触によるものと考えられる.

近年の浄水処理用 GAC は, 性状や水処理性能が納入時期により異なることが確認されたことから, 水処理性能を指標にした更新周期の目安を推定したところ, ヨウ素吸着性能として 400~500 mg/g-GAC 必要になることがわかった. 全量交換から交換補充せず 3 年経過した経年炭は, ブロモクロロアセトアミド (BCAcAm), トリクロロアセトアミド (TCAcAm), ジプロモアセトアミド (DBAcAm) が 90% 以上物理吸着により除去されたものの, クロロアセトアミド (CAcAm), プロモアセトアミド (BAcAm) 及びクロロアセトアミド (DCAcAm) の除去性は低下し, 低水温ほど低下した. 夏季に採取した場合, 生物処理性の寄与は冬季に比べ高かった.

ジハロ酢酸(DHAA)を除き、THM 濃度と消毒副生成物グループの濃度は関連性が認められ、THM 濃度が高い場合に高いことが示された。いずれの消毒副生成物グループの BIF(Bromine incorporation factor)も THM の BIF と関連性が認められ、また、原水の臭化物イオン濃度が高い場合に BIF も高い傾向にあった。臭素化消毒副生成物濃度は、同じグループの塩素化消毒副生成物濃度と BDCM/TCM のデータから予測可能であることがわかった。

未規制ハロ酢酸（臭素化ハロ酢酸）濃度と TTHM 等基準項目の「緩い関係性」について、国内水道事業体の測定データを用いて解析を行った。その結果、多くの浄水場で臭素化ハロ酢酸について TTHM や個別の臭素化トリハロメタンと関係性が認められた。一方で、臭素化ハロ酢酸のマーカーとして TTHM と臭素化トリハロメタンを比較すると大きな差は認められなかった。

DCAP の細胞毒性を DCBQ , 2,6-dichloroquinone-4-chloroimide (DCQC), *p*-quinone-4-chloroimide (QC) と比較したところ、細胞毒性の強さは QC >> DCQC > DCBQ > DCAP となった。また、DCAP 塩素処理物の細胞毒性は DCAP 自体の毒性より高く、DCAP は塩素処理によってより毒性の高い物質に変換されていることが示唆された。

珪藻類 (*Asterionella formosa* , *Fragilaria crotonensis*) を単離培養し、生成能試験をおこなった。当該生物の生成能は低値であり、異臭リスクは低いことを確認した。

国内の水道原水中のヨウ素の形態別濃度について、全体的な分布として大まかには、有機態ヨウ素 > ヨウ素酸イオン > ヨウ化物イオンといった大小関係があることを示した。

形態間の濃度の相関関係は明確ではないが、総ヨウ素と塩化物イオンや臭化物イオン濃度の間には、比例関係が認められた。

## (6) 臭気物質

カルキ臭原因物質の消去剤としては、アスコルビン酸ナトリウムが十分有効であり、添加量も低濃度条件で効果があることを指摘した。また、チオ硫酸ナトリウムは硫黄臭が残存するため臭気評価の観点からは望ましくないことが分かった。

全国 5 事業体の給水栓水と浄水を対象とした実態調査の結果、残留塩素を消去しない時の

臭気強度（全臭気）に対する、消去した時の臭気強度の減少分(カルキ臭)の割合は 63~100%

(中央値 87%) であり、水道水の臭気強度に対するカルキ臭の割合が高いことが示された。全試料を対象としたノンパラメトリック検定であるウィルコクソンの順位和検定により、残留塩素濃度が高い場合には臭気強度が高い傾向にあった。しかし、一部の事業体の試料では、残留塩素濃度に対して臭気強度が高い場合、低い場合が認められたため、さらなる調査が必要であると考えられた。

トリニトロベンゼンスルホン酸を用いた誘導体化-LC/MS 法により、アミン類を高感度に分別定量できる手法を構築した。本手法を、ちば野菊の里浄水場浄水に適用したところ、メチルアミンが最大で 0.5 µg/L 検出されたが、この濃度のメチルアミンが塩素処理を受けることにより生成される臭気強度は 1.3 TON 程度であると計算され、浄水臭気への寄与は大きくないと判断された。

全国 4 ヶ所の浄水場の浄水中に含まれるベンズアルデヒドの濃度は、その臭気閾値より低かった。すなわち、これらの浄水場浄水が有する臭気へのベンズアルデヒドの寄与は極めて限定的であると判断された。一方、J 浄水場浄水を GC/O により解析したところ、51 種の臭気が感知され、これらのうち、GC 保持時間 4.7~5.0 分と、6.2~6.7 分の臭気が、浄水由来である可能性が高いと判断された。これらの GC 保持時間には、それぞれ BDCM と DBCM が検出されたが、標準品を用いた官能試験の結果、これらの物質の浄水臭気への寄与率は、最大でも 0.01% と 0.7% であると算定され、浄水臭気への寄与は極めて限定的であると判断された。

新規カルキ臭原因物質の候補物質としてブロモジクロロアミンの調製を試み、そのマススペクトルを HS-GC/MS により初めて取得することに成功するとともに、ガスクロマトグラム上での保持時間を確定した。このマススペクトルには、これまでのトリクロラミン分析に用いられていた *m/z* が含まれていたため、現在までに得られているデータを再解析することで、水道水中のブロモジクロロアミンの存在について調査できる可能性が示された。一方、量論的にはブロモジクロロアミンの生成が優先する

と期待された臭化物イオンの添加条件でも、トリクロロミンが主な生成物であった。速度論あるいは多種の中間体の存在の影響が示唆されたため、プロモジクロロアミンの合成条件を最適化するためには、今後より広い範囲での条件探索が必要であると考えられた。

## (7) リスク評価管理

水道水の水質管理に必要な水質基準値や要検討項目の目標値等の逐次改訂にあたり、対象となる化学物質の最新の毒性知見を収集し、健康影響評価値の設定、改正等に資する毒性情報の収集を目的としており、本研究では、近年国際的に関心の高い PFAS 化合物についての毒性情報の収集と、WHO ガイドラインの改定で国内の規準値や目標値と異なる評価がなされた物質の毒性情報の収集整理を行った。初年度は、先行して規制が進んでいる欧州の飲料水指令で管理されることとなっている 20 種の PFAS 化合物のうち、国内で要検討項目として目標値が設定されている PFOS と PFOA 以外の 18 化合物についての情報収集整理を行った。健康影響評価値の設定に必要な体内動態、反復投与毒性、生殖発生毒性、遺伝毒性、発がん性に係る情報が得られたのは 18 物質中 11 物質であった。スルホン酸化合物よりもカルボン酸化合物に関する情報の方が多く得られた。そのうち NOAEL (LOAEL) 等の毒性の用量相関性に関するデータが得られたのは 9 物質であった。どの化合物も反復投与毒性も生殖発生毒性も同様のレベルで毒性が発現しており、カルボン酸化合物については、炭素数が 8 未満の PFAS 化合物よりも 9 以上 (11 まで) の PFAS 化合物でより低用量で毒性が発現している傾向が認められた。今年度は、2022 年に欧州の水枠組み指令の改定案にリストされた PFAS24 物質のうち、昨年度の調査 (欧州飲料水指令) で対象とならなかった 8 化合物と国内で検出例が知られている 2 化合物 (4:2FTS, 6:2FTS) について、体内動態、反復投与毒性、生殖発生毒性、発がん性 (遺伝毒性を含む) に関する毒性情報収集を行った。健康影響評価値の設定に必要な体内動態、反復投与毒性、生殖発生毒性、遺伝毒性、発がん性に係る NOAEL などの定量的情報が得られたのは 10 物質中 8 物質であった。ほとんどの化合物で共通して肝臓への影響が報告されており、NOAEL の根拠となっていた。HFPO-DA (GEN-X) の

NOAEL は最も低く 0.1 mg/kg/day であったが、その他の物質の NOAEL は 1–45 mg/kg/day の範囲と考えられた。炭素数が 14 以上のカルボン酸類は、炭素数が多くなるに従い毒性は弱くなる方向であった。2 年間の研究期間で定量的情報が得られた 17 物質を表 4 にまとめた。

WHO ガイドラインの改定で国内の規準値や目標値と異なる評価がなされた物質の毒性情報の収集整理としては、TCE および PCE の毒性情報の整理と評価手法の情報を整理した。TCE の複数の影響によって裏付けられた全体的な TDI は 0.0005 mg/kg bw/day (0.5 µg/kg bw/day) が適切であると考えられ、WHO は本 TDI に体重 60 kg 及び飲水量 2 L 及び寄与率 50% を適用して、水道水の基準値として 8 µg/L という値を定めた。WHO (2020) の新しい TDI (0.5 µg/kg/day) を用いて、日本の現行の基準値算出に使用した曝露量 (5 L) と寄与率 (70%) を代入すると基準値は 0.004 mg/L (4 µg/L) と試算され、現行の基準値 (0.01 mg/L = 10 µg/L) の半分以下の値と算出された。最近の水道水質データからは 99.9% 以上の地点で 0.005 µg/L を下回っており、現状の曝露がすぐに懸念のある状態であるとは考えられないが、TCE は代表的な地下汚染物質であり、過去に地下水を原水としている地域等において、特異的に高濃度で検出された事例もある。これらの曝露に関する情報と WHO の新しい TDI の情報に鑑み、日本における基準値の再検討に向けた取り組みを行うことが必要であると考えられた。WHO の改訂において、PCE の GV が 40 µg/L から 100 µg/L に改訂された。本改訂で新たに追加されたデータはなかったが、疫学研究の吸入曝露量を PBPK モデルへあてはめて経口曝露量へ変換する手法が適用された。WHO で採用された PBPK モデルは、Health Canada で確立されたモデルである。Health Canada における水道水中の PCE の評価では、発がん性毒性および非発がん性毒性のキースタディの選定、BMD アプローチによる POD の設定、PBPK モデリングによる吸入曝露量からの経口曝露量のシミュレーションは、WHO と同様であるが、UF の考え方が WHO と異なっており、TDI がより保守的に設定され。一方、日本では 1992 年、水道法第 4 条に基づき、PCE の水質基準値は 0.01 mg/L 以下と設定され、現在もこの基準値が維持されている。基準値の根拠の概要は、『WHO 飲料

水質ガイドライン(1984)および USEPA-HA の根拠データ(1977) をもとに、リスク外挿法線形多段階モデルによるライフタイム 70 年に対する発がんリスク  $10^{-5}$  の評価より、水質評価値 0.01 mg/L (水道水質基準での採用算定方法).』とされている ( 国立環境研究所 <https://www.nies.go.jp/eqsbasis/water.html>). この値は Health Canada(2015)の GV と同値である。

PCE の発がん性毒性の MOA, PBPK 等の評価手法等の新たな情報を鑑み、基準値の再検討に役立てることが必要であると考えられた。

表4. PFAS 類物質の NOAEL (LOAEL)の一覧表

化合物名(略称)	反復投与毒性	生殖発生毒性
PFBS	Lieder et al. (2009a) ラット90日試験 NOAEL:60 mg/kg/day	Feng et al. (2017) マウス発生毒性試験 NOAEL:50 mg/kg/day
PFHxS	Butenhoff et al. (2009) 反復生殖併合試験 NOAEL:1 mg/kg/day	Ramhøj et al., 2018 発生毒性試験 NOAEL: 0.05mg/kg/day (LOAEL:5 mg/kg/day)
PFBA	Butenhoff et al. (2012) ラット90日間試験 NOAEL: 6 mg/kg/day	Das et al. (2008) マウス発達毒性試験 LOAEL: 35 mg/kg/day
PFHxA	Chengelis et al.(2009b) ラット90日間試験 NOAEL: 50 mg/kg/day	Loveless et al. (2009) ラット一代試験 NOAEL: 100 mg/kg/day
PFHpA	CLH report (2019) 生殖/発生毒性スクリーニング併用90日間試験 LOAEL: 0.5mg/kg/day	CLH report (2019) 生殖/発生毒性スクリーニング併用90日間試験 LOAEL: 0.5mg/kg/day
PFNA	-	Singh and Singh (2019b) マウス発生毒性試験 NOAEL=0.2 mg/kg/day
PFDA	NTP (2019) ラット28日間試験 LOAEL: 0.156 mg/kg/day	NTP (2019) ラット28日間試験 NOAEL: 0.156 mg/kg/day
PFUnDA	Takahashi et. al., (2014) ラット反復毒性生殖	Takahashi et. al., (2014) ラット反復毒性生殖

	毒性併合試験 NOEL: 0.1 mg/kg/day	性併合試験 NOEL=0.3 mg/kg/day
PFDoDA	Kato et.al., (2015) ラット反復毒性生殖毒性併合試験 NOEL: 0.1 mg/kg/day	Kato et.al., (2015) ラット反復毒性生殖毒性併合試験 NOEL: 0.5 mg/kg/day
PFTeDA	Hirata-Koizumi M, et.al., (2015) 反復生殖併合試験 NOEL:1 mg/kg/day	Hirata-Koizumi M, et.al., (2015) 反復生殖併合試験 NOEL:3 mg/kg/day
PFHxDA	Hirata-Koizumi M, et.al., (2015) 反復生殖併合試験 LOEL:4 mg/kg/day	Hirata-Koizumi M, et.al., (2015) 反復生殖併合試験 NOEL:20 mg/kg/day
PFODA	Hirata-Koizumi M, et.al., (2012) 反復生殖併合試験 NOEL:40 mg/kg/day	Hirata-Koizumi M, et.al., (2015) 反復生殖併合試験 NOEL:200 mg/kg/day
ADONA	Gordon (2011) ラット90日間試験 LOAEL:10 mg/kg/day	Gordon (2011) 発生毒性試験 NOAEL:30 mg/kg/day
HFPO-DA (GenX)	Caverly Rae et al. (2015) ラット2年間慢性毒性/発がん性複合試験 NOAEL:0.1 mg/kg/day	DuPont-18405-1037 マウス生殖/発生毒性スクリーニング試験 NOAEL:0.5 mg/kg/day
6:2-FTOH	Serex et al. (2014) ラット90日間試験 NOAEL:5 mg/kg/day	Mukerji, et al. (2015) マウス1世代試験試験 NOAEL: 25 mg/kg/day
8:2-FTOH	Ladics et al., (2008) ラット90日間試験 NOAEL:5 mg/kg/day	Mylchreest et al., 2005 発生毒性試験 NOAEL: 50 mg/kg/day
6:2FTS	ECHA REACH Dossier 反復生殖併合試験 NOAEL:15 mg/kg/day	ECHA REACH Dossier 反復生殖併合試験 NOAEL:45 mg/kg/day

## (8) 水質分析法

PFAS を対象とした LC-MS/MS を用いたスクリーニング分析法の開発:LC-MS/MS を用いたプロダクトイオンスキャンによる PFAS のスクリーニング分析法確立のため、LC 条件、MS

条件の検討および検量線の作成を行った。その結果、PFASの同定に必要な保持時間、マススペクトルの情報、定量に必要な検量線情報をデータベース化することができた。

また、PFASのスクリーニング分析法について定量精度を評価した。その結果、装置間で検量線の傾きに違いが認められた。これはPFASをTICでモニターしているため、汚れ等のPFAS由来ではないイオンが加算されることが原因と推察された。したがって、スクリーニング分析を実施する際には、装置状態の把握が重要であることがわかった。標準液と実試料について通常分析法であるターゲット分析法とスクリーニング分析法のより得られた定量値を比較した。その結果、その誤差は小さく、スクリーニング分析として活用するには十分な定量精度であった。

**農薬類を対象としたLC-QTOFMSを用いたスクリーニング分析法の開発**:LC-QTOFMSを用いたスクリーニング分析法の前処理方法の分析精度を検証した。その結果、測定対象とした農薬類217種の約84%（水道水試料）および約91%（河川水試料）の回収率が70~130%の範囲内かつ併行精度30%以内に収まった。本前処理法は、多数の農薬類を精度良く回収できる方法であることが明らかになった。

LC-QTOFMSスクリーニング分析法において、解析する際に発生する個人差の影響をバリデーション試験により調べた。その結果、定量下限値付近の農薬類は、個人により検出・不検出の判断が分かれる傾向がみられた。そのため、定量下限値を適切に設定することで解析者による判断基準の差を小さくできることが明らかとなった。

また、負イオン化モード用のデータベースの構築を試みた。その結果、選定したIS候補5物質は、適度に保持時間が分散されたため、ISとして有用と判断した。次に通知法に記載された負イオン化モードの農薬類29種についてプリカーサーイオンおよびプロダクトイオンの検出を試みた。その結果、25種の農薬類のイオン化条件を決定することができた。そして、保持時間の近いISで補正した検量線を作成した結果、いずれの検量線の直線性は良好であった。

農薬類の定量下限値を目標値と比較したところ、トリクロピルを除く24種の農薬類は目標値の1/100を下回った。

構築したLC-QTOFMSを用いたスクリーニング分析法を用いて、実試料へ適用について検証した。その結果、25種の農薬類のうち、9種の農薬類が河川水試料4検体から検出され、その実態を明らかにすることができた。以上の結果より、本法は、これまで構築してきた正イオン化モードの農薬類に加えて、負イオン化モードのスクリーニング法として十分な感度で定量できることがわかった。また、LC-QTOFMSを用いたスクリーニング分析法は検査対象とする農薬類の選定や検出オーダーの把握に非常に役立つと考えられた。

**農薬GC/MSスクリーニング分析法の実運用案の策定**:スクリーニング分析法の実運用化に向けては、以下の3ステップに従って進めていくことを考えている。

#### <レベル1（部分利用）>

- ・ 標準品が入手困難・高価な異性体・分解物のみに適用する。
- ・ 定性はデータベース登録情報、定量は原体の標準品で作成した検量線を利用する。（メチダチオン⇨メチダチオンオキソン、フェントエート⇨フェントエートオキソン等）

#### <レベル2（過去結果の利用）>

- ・ 運用する検査機関自らが同一装置・同一分析条件で過去に測定した結果を基に適用する。
- ・ 定性は過去に測定した結果のRI、マススペクトル等に基づいて判断し、定量も過去に作成した検量線を用いる。

#### <レベル3（DB利用）>

- ・ 同一メーカー・同一分析条件で作成した結果をデータベース（DB）として活用
- ・ 定性はDB登録のRI、マススペクトル等に基づいて判断し、定量はDB登録した検量線を用いる。
- ・ 定量精度が悪い農薬、検出頻度・濃度が高い農薬は、都度検量線を作成してもよい。

今後は、上記のステップに従い、レベル1（部分利用）の実運用化に向けた検討と提案を行う予定である。

## D. 結論

### (1) 微生物（ウイルス）

エンテロウイルスの定量においては、PMAxx-Enhancer-PCR 法と ICC-PCR 法との間の陽性/陰性の結果が一致したことから、エンテロウイルスの感染力評価手法の代替として PMAxx-Enhancer-PCR 法を活用できる可能性が示唆された。

水道事業者において実施可能な PMMoV の検査方法を確立することを目的として、市販の核酸抽出・精製キット（Promega Wizard Enviro Total Nucleic Acid Kit）の有用性が示された。ろ過水における PMMoV の管理目標値として「 $10^4$  copies/L のオーダー以下」と設定することは、検査方法の測定精度の点からも現実に即していると考えられた。

### (2) 細菌・寄生虫

浄水原水、ろ過水、浄水での一般細菌数と HPC の関係より一般細菌数 100 CFU/mL に相当する HPC は 430 CFU/mL となり、現行の目標値の 2000 CFU/mL を大幅に下回った。浄水処理によるレジオネラ属菌の遺伝子量の低減効果が確認された。レジオネラ汚染された給水システムにおいては、滞留時間が 28 日以上から 14 日、7 日と短縮することでレジオネラ濃度の抑制効果が見られた。高流量フラッシング洗浄で給水栓でのレジオネラ濃度を長期間にわたって低濃度に抑制できることが明らかとなった。水道原水河川水におけるクリプトスポリジウム 1,000 個/10L 程の汚染事例を報告した。顕微鏡と遺伝子の結果を比較したところ、7 割程度の一致が得られた。

### (3) 無機物

宅地部の給水管については、所有者が水道事業ではないため、公道部と比べて実態の把握が進んでいないことが分かり、効果的な調査把握手法が必要と考えられた。鉛製給水管の残存件数（概数）を把握する手法について検討した結果、該年度の建物戸数と鉛管残存件数には一定の関連があることが示唆された。検討をさらに進めることで建築年数別建物数から鉛製給水管の残存件数の概数を把握できる可能性がある。

宅地部の布設替え促進については、多くの事

業体では広報活動が中心に行われているが、布設替えに対し助成金など補助金制度を設けている場合や、鉛管解消に向けた専門部署や専門担当者の設置している事業者もあり、これらの取り組みも解消に有効であることが分かった。

日本の水道の鉛の水質検査では、滞水法により採取し、検査を行うことが定められているが、その負担が明らかになった。鉛管が使われておらず過去の検査でも鉛が検出されていない箇所では、滞水法による採水方法の省略が可能と考えられた。

### 4) 化学物質・農薬

個別農薬評価値が高く検出された農薬は、原水ではテフリトリオン、浄水ではブロモブチド、クロロピクリンであった。Σ値の最大値は、原水では最大 0.98、浄水では最大 0.10 であった。ジメトエートは原体、その塩素処理試料ともに ChE 活性阻害性を誘発しなかったが、フェントエートは塩素処理後にフェントエートオキソンに変換され、安定して存在し、ChE 活性阻害性を示した。機械学習モデルを用いて農薬の検出可能性を高い精度で評価できること、同モデルにより対象農薬類への格上げ対象が 6 農薬、格下げ対象として 8 農薬を示した。

有機フッ素化合物については炭素数が少ないものが検出される傾向、炭素数の少ないものが浄水処理工程で除去されにくい傾向が認められた。PFCA の GAC 破過曲線を調査したところ、その鎖長が短いほど破過速度が大きく、また水温が高いほど破過が促進された。有機フッ素化合物の発生源の 1 つとして棄物集積地点や廃棄物埋立地の可能性が考えられた。

### (5) 消毒副生成物

全国調査により、臭素化副生成物は広く存在していること、ブロモクロロ酢酸、ブロモジクロロ酢酸は目標値案の 50% を超過している地点があることが示された。Br<sup>-</sup>濃度が高濃度の地点でトリブロモ酢酸も検出された。オゾン及び活性炭処理で総トリハロメタン生成能と比べてハロ酢酸生成能は除去されやすく、低減効果が高いことが確認された。ハロ酢酸とハロアセトニトリルについては、処理が後段に進むにつれ、臭素系成分の構成割合が高くなった。GAC の更新周期の目安として、ヨウ素吸着性能 400~500 mg/g-GAC を提案した。ラフィド

藻類は、トリクロロ酢酸だけでなく、ブロモジクロロ酢酸の生成にも関与している可能性が考えられた。

DHAA を除き、THM 濃度と消毒副生成物グループの濃度は関連性が認められ、THM 濃度が高い場合に高いことが示された。臭素化消毒副生成物濃度は、同じグループの塩素化消毒副生成物濃度と BDCM/TCM のデータから予測可能であることがわかった。未規制ハロ酢酸（臭素化ハロ酢酸）濃度と TTHM 等基準項目の「緩い関係性」について明らかにした。

## 6) 臭気物質

カルキ臭原因物質の消去剤としては、アスコルビン酸ナトリウムが有効であり、添加量も低濃度条件で効果がある。チオ硫酸ナトリウムは硫黄臭が残存するため望ましくない。水の全臭気強度（残留塩素消去無し）に対するカルキ臭の割合は高い。残留塩素濃度が高い場合には臭気強度が高い傾向にあったが、その傾向にない試料も認められた。トリニトロベンゼンスルホン酸を用いた誘導体化-LC/MS 法によりアミン類を高感度に分別定量できる手法を構築し、メチルアミンを検出したが臭気への寄与は大きくないと判断された。浄水中に含まれるベンズアルデヒド、BDCM、DBCM の濃度は、臭気閾値より低く、臭気への寄与は極めて限定的であると判断された。これまでに得られているデータを再解析することで、新規カルキ臭原因物質の候補物質としてブロモジクロロアミンの存在について調査できる可能性が示された。

## (7) リスク評価管理

2022 年に欧州の水枠組み指令の改定案にリストされた PFAS24 物質と国内で検出例が知られている 2 化合物(4:2FTS, 6:2FTS) について、体内動態、反復投与毒性、生殖発生毒性、発がん性（遺伝毒性を含む）に関する毒性情報収集を行った。健康影響評価値の設定に必要な体内動態、反復投与毒性、生殖発生毒性、遺伝毒性、発がん性に係る情報が得られたのは 17 物質であった。それらの NOAEL (LOAEL) を表にまとめた。WHO ガイドラインの改定で国内の規準値や目標値と異なる評価がなされた物質の毒性情報の収集整理としては、トリクロロエチレン (TCE) およびテトラクロロエチレン (別名：パークロロエチレン、PCE) の毒性情報の整理

と評価手法の情報を整理し、TDI はそれぞれ 0.0005 mg/kg bw/day (0.5 µg/kg bw/day) , 0.016 mg/kg/day であった。

## (8) 水質分析法

PFAS のスクリーニング分析法について、広く普及している高速液体クロマトグラフ-トリプル四重極型質量分析計 (LC-MS/MS) を用い、LC 条件、MS 条件の検討および検量線の作成を行った。PFAS の同定に必要な情報をデータベース化することができ、定量精度について検討を行った。装置間で検量線の傾きに違いが認められたことから、分析の実施にあたっては、装置状態の把握が重要であることがわかった。また、通常分析法であるターゲット分析法との誤差は 0.51~1.41 倍と小さく、スクリーニング分析としては十分な定量精度であった。

農薬類の LC-QTOFMS スクリーニング分析法についてバリデーション試験を実施した。定量下限値を適切に設定することで個人による判定の違いを少なくすることが可能であることがわかった。また 25 種の農薬について負イオン化モードのデータベースを構築し、前処理による濃縮倍率 (1000 倍) を考慮した定量下限値は、0.2~200 ng/L となり、24 種については定量下限値が目標値の 1/100 より低値となり、検査法としての活用に十分な感度を有することがわかった。これらを踏まえ、農薬 GC/MS スクリーニング分析法の実運用案とガイドライン案を策定した。

## E. 健康危険情報

なし

## F. 研究発表

### 1. 論文発表

Miura, T., Kadoya, S., Miura, Y., Takino, H., Akiba, M., Sano, D., Masuda, T. (2024). Pepper mild mottle virus intended for use as a process indicator for drinking water treatment: present forms and quantitative relations to norovirus and rotavirus in surface water. *Water Research*, accepted.

Canh, V. D., Torii, S., Singhopon, T., & Katayama, H. (2023). Inactivation of coxsackievirus B5 by free chlorine under conditions relevant to drinking water

- treatment. *Journal of Water and Health*, 21(9). <https://doi.org/10.2166/wh.2023.178>
- Shirakawa, D., Shirasaki, N., Hu, Q., Matsushita, T., Matsui, Y., Takagi, H., Oka, T. (2023). Investigation of removal and inactivation efficiencies of human sapovirus in drinking water treatment processes by applying an in vitro cell-culture system. *Water Research* 236, 119951.
- Miura, T., Kadoya, S., Takino, H., Sano, D., Akiba, M. (2022). Temporal variations of human and animal Rotavirus A genotypes in surface water used for drinking water production. *Frontiers in Microbiology* 13, 912147.
- 谷口直生, 三浦尚之, 浅田安廣, 上野薫, 谷口なつ海, 増田貴則: 水道統計を用いたわが国における従属栄養細菌の測定状況解析. *水道協会雑誌*, 92(2), 2-13, 2023.
- 泉山信司: 水の塩素消毒ー病原微生物の塩素消毒にまつわる誤解への回答例. *環境技術*, 51(2), 43-48, 2022.
- 泉山信司: クリプトスポリジウムなどによる食中毒, 臨床検査. 66, 91-97, 2022.
- Nakazawa, Y., Kosaka, K., Yoshida, N., Asami, M., Matsui, Y. Maximum desorption of perfluoroalkyl substances adsorbed on granular activated carbon used in full-scale drinking water treatment plants. *Water Research*, 254, 121396, 2024.
- Nakazawa, Y., Kosaka, K., Yoshida, N., Asami, M., Matsui, Y. Long-term removal of perfluoroalkyl substances via activated carbon process for general advanced treatment purposes. *Water Research*, 2023, 245, 120559.
- Narita, K., Matsui, Y., Matsushita, T., Shirasaki, N. Screening priority pesticides for drinking water quality regulation and monitoring by machine learning: Analysis of factors affecting detectability. *Journal of Environmental Management*, 326 (Part A), 116738, 2023.
- 小坂浩司, 越後信哉, 松下拓, 今井美江, 清宮佳幸, 庭山秀一 (2023) 水道水中のカルキ臭の生成と制御に関する最新の動向, *水道協会雑誌*, 92(3), 19-32.
- Matsumoto, M., Murata, Y., Hirose, N., Shigeta, Y., Iso, T., Umamo, T., & Hirose, A. (2023). Derivation of subacute guidance values for chemical contaminants of drinking water quality standard in Japan. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 141, 105401.
- 小林憲弘. 水道事業における水質検査のあり方の見直しと今後の課題. *水環境学会誌*, 45(A)(9), 316-320, 2022.
- 小池真生子, 長谷川有紀, 高木総吉, 吉田仁, 安達史恵, 小泉義彦, 中島孝江, 竹中凜代, 山口進康. 大阪府内浄水場におけるフィプロニルおよびフィプロニル分解物4種の実態調査, *水道協会雑誌*, 91(11) 2-9, 2022.
- Kobayashi, N., Takagi, S., Kinoshita, T., Sakata, O., Nakano, F., Watanabe, N., Nomura, A., Kawai, N., Hiraiwa, T., Okumura, M., Furukawa, K., Kasuya, T., Iwama, N., Yonekubo, J., Takahara, R., Tanaka, S., Tsuchiya, Y., Ikarashi, Y. Development and validation of an analytical method for simultaneous determination of perfluoroalkyl acids in drinking water by liquid chromatography/tandem mass spectrometry. *Journal of Water and Environment Technology*, 20(6), 219 - 237, 2022. <https://doi.org/10.2965/jwet.22-058>
- 小林憲弘, 土屋裕子, 高木総吉, 吉田仁, 大窪かおり, 北原健一, 坂本晃子, 木下輝昭, 仲野富美, 橋本博之, 古川浩司, 粕谷智浩, 岩間紀知, 平林達也, 小嶋隼, 林幸範, 古口健太郎, 五十嵐良明. 水道水中農薬の GC/MS ターゲットスクリーニング分析のデータ解析における誤差要因の分析. *環境化学*, 33, 26-40, 2023. <https://doi.org/10.5985/jec.33.26>
- 小林憲弘, 水道水質検査における陰イオン界面活性剤 (LAS) の LC-MS/MS 分析法の開発. *和光純薬時報*, 91(1), 2-5, 2023. <https://labchem-wako.fujifilm.com/jp/journal/docs/jiho911.pdf>
- 小林憲弘, 土屋裕子, 木下輝昭, 高木総吉, 中嶋京介, 広木孝行, 平林達也, 藤井裕美, 栗原正憲, 関川慎也, 奥村学, 古口健太郎, 樋口雄一, 大瀧翔吾, 代龍之介, 古川浩司, 松巾宗平, 松澤悠, 高原玲華, 五十嵐良明. 液体クロマトグラフ質量分析計による水道水中のメチダチオンオキシソンの分析法の検討と妥当性評価. *水道協会雑誌*, 92(7), 5-17, 2023.



小林憲弘:水質事故迅速モニタリング手法の開発と普及に関する研究. 地球環境, 28(2), 171-178, 2023.

小林憲弘, 土屋裕子, 石井一行, 馬場紀幸, 林田寛司:ページ・トラップ-ガスクロマトグラフィー質量分析による水道水中の揮発性有機化合物の分析精度に影響を与える要因の解析. 環境化学, 34, 1 - 8, 2024. <https://doi.org/10.5985/jec.34.1>

木下輝昭, 小田智子, 栗田翔, 山崎貴子, 猪又明子, 佐久井徳広, 野原健太, 中村李, 土屋裕子, 小林憲弘:水道水中農薬のGC/MSスクリーニング分析データベースの構築と定性・定量精度の検証. 環境科学会誌, 37(2), 53-63, 2024. <https://doi.org/10.11353/sesj.37.53>

2. 著書  
なし

### 3. 解説・総説

小坂浩司. 水道における化学物質に関する最近の話題. 保健医療科学, 72 (3), 203-211, 2023.

松下拓, 松井佳彦 (2022) 水道水の臭気に関する問題と対策, 水環境学会誌, 45(A), 376-381.

越後信哉 (2022) 水道水のカルキ臭の評価と制御の試み, 水環境学会誌, 45(A), 382-386.

小坂浩司 (2022) 水道における異臭による水質汚染事故と原因物質の特定, 水環境学会誌, 45(A), 395-399.

### 4. 学会発表

Shirakawa, D., Shirasaki, N., Yamashita, R., Matsumura, T., Koriki, S., Matsushita, T., Matsui, Y. Investigating virus reduction efficiencies in coagulation-sedimentation-rapid sand filtration or coagulation-microfiltration by a combination of full-scale studies and lab-scale experiments. IWA World Water Congress & Exhibition, Copenhagen, Denmark, 11-15 September 2022.

福士萌笑, 白崎伸隆, 松下拓, 松井佳彦. 塩素処理におけるウイルスの高不活化率の評価:濃縮法を組み合わせた大容量実験系の適用. 第58回日本水環境学会年会, 福岡, 2024/3/6-8.

山口耕平, 白崎伸隆, 松下拓. 感染力評価と外殻タンパク質損傷評価を併用したオゾン処理におけるヒトサポウイルスの不活化特性の把握. 第58回日本水環境学会年会, 福岡, 2024/3/6-8.

三浦尚之, 前田暢子, 東城まゆみ, 吉田伸江小坂浩司, 増田貴則. 全国の水道原水におけるPMMoV 遺伝子マーカーと医薬品の実態調査. 第58回日本水環境学会年会, 福岡, 同講演集, 146, 2024/3/6-8.

白崎伸隆, 胡秋晗, 白川大樹, 高木弘隆, 岡智一郎, 松下拓, 松井佳彦. 汎用細胞増殖系を活用した浄水処理におけるヒトサポウイルスの除去・不活化特性の把握. 第60回環境工学研究フォーラム, 山口, 2023/11/29-12/1.

浅川高志, 白川大樹, 白崎伸隆, 松下拓, 松井佳彦. ヒトノロウイルスの浄水処理性評価に向けた高感度に定量可能な革新的ウイルス様粒子の創製. 第30回衛生工学シンポジウム, 札幌, 2023/11/9-10.

福井健暉, 川上悟史, 白崎伸隆, 松下拓, 松井佳彦. 水道原水に存在する病原ウイルスの感染力評価:活性炭吸着とUF膜ろ過を組み合わせたウイルス濃縮法の構築と適用. 第30回衛生工学シンポジウム, 札幌, 2023/11/9-10.

三浦尚之, 白崎伸隆, 片山浩之, 増田貴則, 松井佳彦. 水道におけるウイルスのリスク管理の国際動向とPMMoV 遺伝子マーカーの有用性. 令和5年度全国会議(水道研究発表会)東京, 同講演集, 694-695, 2023/10/18-20.

白川大樹, 白崎伸隆, 松下拓, 松井佳彦. トウガラシ微斑ウイルスの水中病原ウイルスに対する代替指標性と実浄水工程における処理性. 第26回日本水環境学会シンポジウム, 吹田, 2023/9/20-22.

白川大樹, 高力聡史, 白崎伸隆, 松下拓, 松井佳彦. 全国10カ所の水道原水における病原ウイルスの存在実態の把握:PMAXx-Enhancer-PCR法による調査. 第57回日本水環境学会年会, 松山, 2023/3/15-17.

浅川高志, 白川大樹, 白崎伸隆, 松下拓, 松井佳彦. 培養困難なヒトノロウイルスの浄水処

理性評価に向けた高感度に定量可能な革新的ウイルス様粒子の創製. 第 57 回日本水環境学会年会, 松山, 2023/3/15-17.

平岩竜士, 白崎伸隆, 松下拓, 松井佳彦. ウィルス粒子の状態変化はウィルスの凝集沈澱-砂ろ過処理性にどの程度影響するのか?. 第 57 回日本水環境学会年会, 松山, 2023/3/15-17.

福井健暉, 川上悟史, 白崎伸隆, 松下拓, 松井佳彦. 水道原水に存在する病原ウイルスの感染価評価: 活性炭と UF 膜を組み合わせたウイルス濃縮法の構築と適用. 第 57 回日本水環境学会年会, 松山, 2023/3/15-17.

三浦尚之, 瀧野博之, 前田暢子, 東城まゆみ, 佐野大輔, 秋葉道宏, 増田貴則. 流入下水および表層水試料からの新型コロナウイルス RNA 検出手法の検討. 第 57 回日本水環境学会年会, 松山, 同講演集, 372, 2023/3/15-17.

白崎伸隆, 胡秋晗, 白川大樹, 高木弘隆, 岡智一郎, 松下拓, 松井佳彦. 汎用細胞増殖系を活用した下痢症ウイルスの浄水処理性の評価. ウィルス性下痢症研究会第 33 回学術集会, 長崎, 2022/11/12.

白崎伸隆, 胡秋晗, 白川大樹, 高木弘隆, 岡智一郎, 松下拓, 松井佳彦. 汎用細胞増殖系を活用した浄水処理工程におけるヒトサポウイルスの未知動態の解明. 第 29 回衛生工学シンポジウム, 札幌, 2022/11/3-4.

白川大樹, 松村拓哉, 白崎伸隆, 松下拓, 松井佳彦. 低圧膜ろ過処理を導入した実浄水処理場におけるウイルスの除去性評価. 令和 4 年度日本水道協会全国会議 (水道研究発表会), 名古屋, 2022/10/19-21.

三浦尚之. 水道水源における病原微生物汚染とリスク管理. 第 25 回日本水環境学会シンポジウム, 東京, 同講演集, 83-84, 2022/9/6-7.

瀧野博之, 浅田安廣, 増田貴則: 粒状活性炭上に生息するカビ臭原因物質分解細菌の探索. 第 57 回日本水環境学会年会, 松山, 2023/3/15-17.

青井裕亮, 永田莞織, 中西智宏, 伊藤禎彦: 給水末端における間欠的な塩素接触条件がレジオネラ再増殖に及ぼす影響. 第 57 回日本水環境学会年会, 松山, 2023/3/15-17.

泉山信司, 小久保敦啓, 小澤克行: 水道原水からの高濃度なクリプトスポリジウムの検出事例. 環境技術学会, 京都, 2022/10/22.

古川紗耶香, 赤坂遼平, 山崎朗子, 泉山信司: 青森市におけるジアルジア汚染源調査-河川水と野ネズミの *Giardia microti* 検出-. 令和 4 年度日本水道協会全国会議 (水道研究発表会), 名古屋, 2022/10/19-21.

瀧野博之, 浅田安廣, 増田貴則: 実態調査に基づく従属栄養細菌数と一般細菌数の関係性評価. 令和 5 年度日本水道協会全国会議, 東京, 2023/10/18-20.

泉山信司, 小澤克行: 河川水クリプトスポリジウム等の検査における顕微鏡検査と遺伝子検査の比較. 第 82 回日本寄生虫学会東日本支部大会, 第 56 回日本原生生物学会大会および第 74 回日本衛生動物学会東日本支部大会との合同大会 (PPEZ-2023), 東京, 2023/10/20-22.

泉山信司, 北沢和, 藤瀬大輝, 井上亘: クリプトスポリジウム・ジアルジアの下水疫学. 第 23 回環境技術学会年次大会, 草津, 2023/10/28.

永田莞織, 青井裕亮, 中西智宏, 伊藤禎彦: 建物給水システムにおけるレジオネラ対策からみた給水管の洗浄効果に関する研究. 第 60 回環境工学研究フォーラム, 山口, 2023/11/29-12/1.

北沢和, 藤瀬大輝, 井上亘, 泉山信司: 都市河川におけるクリプトスポリジウム, ジアルジアの調査手法確立と実態調査. 第 58 回日本水環境学会年会, 福岡, 2024/3/6-8.

風間真, 泉山信司, 浦山俊一, 高木善弘, 布浦拓郎, 七戸新太郎: ランブル鞭毛虫から検出された 5 種類の RNA ウィルス. 第 92 回日本寄生虫学会大会, 金沢, 2023/3/29-31.

柳瀬剛士, 北本靖子, 吉村誠司. 「鉛及びその化合物」の検査における採水方法の影響. 令和 5 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集. 8-31. p.732-733. 東京.

藤田充司, 斎藤直樹, 高橋英司, 植木健一. 鉛管実験プラントを用いた間欠通水条件下における水道水の鉛溶出試験. 日本水道協会中部支部発表会. 2023

Ando, D., Matsushita, T., Matsui Y., Shirasaki, N. Evaluating toxicity of phenthoate during chlorination and identifying toxic transformation products generated by reaction with free chlorine. 9th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition 2023, 2023.

Nakazawa, Y., Kosaka, K., Asami, M., Matsui, Y. Desorption of perfluoroalkyl substances from granular activated carbon used at a full-scale drinking water treatment plant. 12th Congress of the Asia Pacific Initiative on Reproduction (ASPIRE 2023), 2023.

Matsushita, T., Takeuchi, T., Kikkawa, Y., Matsui, Y., Shirasaki, N. Development of metabolism-coupled cell-independent anti-acetylcholinesterase assay for evaluating change in toxicity of organophosphorus insecticides during chlorination. IWA World Water Congress, Copenhagen, 2022.

安藤大将, 松下拓, 松井佳彦, 白崎伸隆. 毒性を誘発する農薬ジスルホトンの塩素処理生成物: LC を用いた分画と精密質量分析による推定. 第 58 回日本水環境学会年会, 2024.

平田蒼太郎, 松下拓, 松井佳彦, 白崎伸隆. カーバメイト系農薬メソミルの塩素処理に伴う毒性の変動に寄与する分解生成物の推定. 第 58 回日本水環境学会年会, 2024.

中沢禎文, 小坂浩司, 浅見真理, 松井佳彦. 有機フッ素化合物の粒状活性炭からの脱着速度と水質の影響. 第 58 回日本水環境学会年会講演集, 128, 2024.

平田蒼太郎, 松下拓, 松井佳彦, 白崎伸隆. 塩素処理に伴うカーバメイト系農薬メソミルのコリンエステラーゼ活性阻害性の変動. 第 30 回衛生工学シンポジウム, 2023.

中沢禎文, 小坂浩司, 吉田伸江, 浅見真理. ペルフルオロオクタン酸とペルフルオロオクタンスルホン酸の分岐鎖の分別定量による水道水源の調査. 第 60 回環境工学研究フォーラム講演集, 2023.

中沢禎文, 小坂浩司, 吉田伸江, 浅見真理. 粒状活性炭処理における有機フッ素化合物の破過におよぼす水質の影響. 令和 5 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, 336-337, 2023.

中沢禎文, 小坂浩司, 吉田伸江, 浅見真理. 水

源河川における有機フッ素化合物汚染とその発生源調査. 第 57 回日本水環境学会年会講演集, 169, 2023.

安藤大将, 松下拓, 松井佳彦, 白崎伸隆. コリンエステラーゼ活性阻害試験とカラム分画の組み合わせによる農薬フェントエートの毒性を誘発する塩素処理生成物の推定. 第 29 回衛生工学シンポジウム, 2022.

松下拓, 松井佳彦, 白崎伸隆. 水道における有機リン系農薬由来の消毒副生成物の管理. 第 25 回日本水環境学会シンポジウム, 2022.

小坂浩司, 吉田伸江, 中沢禎文, 浅見真理, 松井佳彦, 秋葉道宏. 浄水場での PFAS の粒状活性炭, 粉末活性炭による除去特性. 京都大学環境衛生工学研究会第 44 回シンポジウム, 環境衛生工学研究, 36 (3), 18-20, 2022.

小坂浩司, 吉田伸江, 小島邦恵, 東城まゆみ, 越後信哉, 増田貴則. 全国の浄水場における水道水中の多種の消毒副生成物の実態調査と関連性評価. 令和 4 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, 名古屋, 2022. 10/19-21, 646-647.

岸本由紀子, 小坂浩司, 三浦尚之. 台風等豪雨時におけるハロ酢酸類の生成実態. 令和 4 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, 名古屋, 2022. 10/19-21, 652-654.

越後信哉, 奥村夏子, 多田悠人, 小坂浩司, 伊藤禎彦. 国内の水道事業者のデータにおける基準項目と未規制消毒副生成物の関係性. 令和 4 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, 名古屋, 2022. 10/19-21, 565-567.

川上陽介, 小坂浩司, 吉田伸江, 小島邦恵, 東城まゆみ, 越後信哉, 増田貴則. 全国の浄水場の原水の臭化物イオン及び給水栓水の消毒副生成物の実態調査. 第 58 回日本水環境学会年会講演集, 福岡, 2024. 3/6-8, 316.

奥大輔, 川上陽介, 小坂浩司, 吉田伸江, 小島邦恵, 東城まゆみ, 越後信哉, 増田貴則. ハロ酢酸やその生成能の浄水プロセス及び配水過程での挙動. 第 58 回日本水環境学会年会講演集, 福岡, 2024. 3/6-8, 317.

松本真理子, 広瀬望, 磯貴子, 村田康允, 重田善之, 馬野高昭, 広瀬明彦: Derivation of a target

value of perfluorooctanoic acid in drinking water  
第 49 回日本毒性学会学術年会(2022.6.30-7.2)

松本真理子, 環境化学物質系 3 学会合同大会  
「新興化学物質の人健康影響に関する講演」  
(招待講演) (2022. 6. 15)

Matsumoto M, Murata Y, Hirose N, Iso T, Shigeta  
Y, Umamo T, Hirose A : Derivation of a target value  
of 1,3-butadiene, a possible contaminant, in  
drinking water ( ICT/EUROTOX2022 )  
(2022.9.18-21)

広瀬明彦, PFAS の環境曝露によるリスク評価の  
現状と課題, 第 50 回日本毒性学会学術年会, 横  
浜, (2023.06.21)

広瀬明彦, PFAS の健康影響評価における現状と  
課題, 廃棄物資源循環学会セミナー, 東京,  
(2023.10.23)

松本真理子, 広瀬望, 磯貴子, 村田康允, 重田  
善之, 長谷川彩由香, 馬野高昭, 広瀬明彦.  
Derivation of a target value of  
perfluorooctanesulfonic acid in drinking water (第  
50 回日本毒性学会学術年会, 6 月)

M. Matsumoto, Y. Murata, N. Hirose, T. Iso, Y.  
Shigeta, S. Hasegawa, T. Umamo, A. Hirose.  
Derivation of a target value of acrylic acid in  
drinking water. (EUROTOX2023, 9 月, スロベニ  
ア)

Kobayashi, N., Tsuchiya, Y., Takagi, S., Ikarashi, Y.  
GC/MS target screening method for 176  
agricultural chemicals in raw and drinking water  
samples. Nontarget Analysis for Environmental  
Risk Assessment. SETAC Focused Topic Meeting,  
Durham, USA, 2022/5/22-26.

小林憲弘, 高木総吉, 木下輝昭, 坂田脩, 仲野  
富美, 渡辺直人, 野村あづみ, 河相暢幸, 平岩  
俊也, 奥村学, 古川浩司, 粕谷智浩, 岩間紀知,  
米久保淳, 高原玲華, 田中誠也, 土屋裕子, 五  
十嵐良明. LC/MS/MS による水道水中の有機フ  
ッ素化合物 21 種の一斉分析法の開発と妥当性  
評価, 第 30 回環境化学討論会 (環境化学物質  
3 学会合同大会), 富山県富山市, 2022/6/14-16.

渡部春奈, 山岸隆博, 小林憲弘, 阿部良子, 小  
塩正朗, 山本裕史. 影響指向型解析を用いた公  
共用水域の生態影響評価と原因化学物質の探

索, 第 30 回環境化学討論会 (環境化学物質 3  
学会合同大会), 富山県富山市, 2022/6/14-16.

小林憲弘, 内野正, 五十嵐良明. ヒト用医薬品  
の環境モニタリングおよび環境動態予測手法  
の構築, 第 49 回日本毒性学会学術年会シンポ  
ジウム「ヒト用医薬品の環境リスク評価研究の  
進展と将来展望」, 北海道札幌市, 2022/7/2.

Kobayashi, N., Takagi, S., Kinoshita, T., Sakata, O.,  
Nakano, F., Watanabe, N., Nomura, A., Kawai, N.,  
Hiraiwa, T., Okumura, M., Furukawa, K., Kasuya,  
T., Iwama, N., Yonekubo, J., Takahara, R., Tanaka,  
S., Tsuchiya, Y., Ikarashi, Y. Development and  
validation of an analytical method for simultaneous  
determination of perfluoroalkyl acids in drinking  
water by liquid chromatography/tandem mass  
spectrometry, Water and Environment Technology  
Conference Online 2022 (WET2022-online),  
(Online), 2022/7/9-10.

小池真生子, 長谷川有紀, 高木総吉, 吉田仁,  
安達史恵, 小泉義彦, 中島孝江, 竹中凜代, 山  
口進康. 大阪府内浄水場のフィプロニルおよ  
びフィプロニル分解物の検出状況と評価, 第  
59 回全国衛生化学技術協議会年会, 神奈川県  
川崎市, ) 2022/10/31-11/1.

小林憲弘, 土屋裕子, 五十嵐良明. LC-MS/MS  
を用いた水道水中の陰イオン界面活性剤 (LAS)  
の分析法の検討, 第 57 回日本水環境学会年会,  
愛媛県松山市, 2023/3/15-17.

高木総吉, 小林憲弘, 吉田仁, 土屋裕子, 村田  
楓果. LC-MS/MS を用いた水道原水および水道  
水中 PFBA の分析における注意点, 57 回日本水  
環境学会年会, 愛媛県松山市, 2023/3/15-17.

吉田仁, 高木総吉, 安達史恵, 小池真生子, 山  
口進康, 小林憲弘, 土屋裕子. LC-QTOFMS に  
よる河川水中の農薬類ターゲットスクリーニ  
ング分析法の定量精度, 57 回日本水環境学会年  
会, 愛媛県松山市, 2023/3/15-17.

木下輝昭, 山崎貴子, 栗田翔, 小田智子, 中嶋  
順一, 猪又明子. 環境水中農薬類における  
GC/MS スクリーニングメソッドの作成及び解  
析, 第 57 回日本水環境学会年会, 愛媛県松山  
市, 2023/3/15-17.

小林憲弘, 土屋裕子, 五十嵐良明. 水道水質検査方法におけるヘリウムガス供給問題への対応, 日本薬学会第 143 年会 環境・衛生部会衛生試験法シンポジウム:水環境における化学物質分析の最新動向, 北海道札幌市, 2023/3/26-28.

高木総吉. 水環境中 PFAS の分析法と存在実態の現状と課題, 日本薬学会第 143 年会 環境・衛生部会衛生試験法シンポジウム:水環境における化学物質分析の最新動向, 北海道札幌市, 2023/3/26-28.

小林憲弘, 土屋裕子, 五十嵐良明. 水環境におけるヒト用医薬品 111 種の存在実態の調査. 第 31 回環境化学討論会 (第 2 回環境化学物質 3 学会合同大会), 徳島県徳島市, 2023/5/30-6/2.

Norihiro Kobayashi, Yuko Tsuchiya, Yoshiaki Ikarashi. Occurrence of 111 human pharmaceuticals in Japanese water environment. Water and Environment Technology Conference 2023 (WET2023-online), Online, 2023/7/8.

小林憲弘, 土屋裕子, 五十嵐良明. 水道水中農薬の GC/MS スクリーニング分析のバリデーション試験. 環境科学会 2023 年会, 兵庫県神戸市, 2023/9/7-8.

高木総吉, 吉田仁, 安達史恵, 小池真生子, 赤木航. スクリーニング分析法の適用における衛生研究所としての役割と課題, 環境科学会 2023 年会, 兵庫県神戸市, 2023/9/7-8.

小林憲弘, 土屋裕子, 内山奈穂子. PFOS・PFOA 分岐異性体の定量方法に関する検討. 第 26 回日本水環境学会シンポジウム, 大阪府吹田市, 2023/9/20-21.

小林憲弘, 土屋裕子, 高木総吉, 五十嵐良明. 水道水中の有機フッ素化合物 (PFAS) 80 種の LC/MS/MS 一斉分析法の検討と検出実態調査. 令和 5 年度日本水道協会全国会議 (水道研究発表会), 東京都江東区, 2023/10/18-20.

Norihiro Kobayashi, Yuko Tsuchiya, Sokichi Takagi, Yoshiaki Ikarashi. Development of an analytical method for simultaneous determination of PFAS in Japanese drinking water by liquid chromatography/tandem mass spectrometry (LC/MS/MS). SETAC North America 44th Annual Meeting, Louisville, KY, USA, 2023/11/12-16.

小林憲弘, 土屋裕子, 高木総吉, 五十嵐良明. GC/MS スクリーニング分析法を用いた全国の河川・水道水中農薬の実態調査. 第 58 回日本水環境学会年会, 福岡県福岡市, 2024/3/6-8.

山崎貴子, 栗田翔, 木下輝昭, 猪又明子, 野原健太, 中村李, 小林憲弘. GC/MS スクリーニング分析による河川水中農薬類の実態調査. 第 58 回日本水環境学会年会, 福岡県福岡市, 2024/3/6-8.

高木総吉, 吉田仁, 安達史恵, 小池真生子, 長谷川有紀, 赤木航, 小林憲弘. LC-QTOFMS スクリーニング分析法を用いた水道原水および水道水中農薬の実態調査, 第 58 回日本水環境学会年会, 福岡県福岡市, 2024/3/6-8.

吉田仁, 高木総吉, 安達史恵, 小池真生子, 赤木航, 小林憲弘, LC-QTOFMS を用いたスクリーニング分析における負イオン化モードデータベースの構築, 第 58 回日本水環境学会年会 福岡県福岡市, 2024/3/6-8.

高木総吉, 吉田仁, 安達史恵, 小池真生子, 赤木航, 小林憲弘, 液体クロマトグラフ-トリプル四重極質量分析計を用いたターゲットスクリーニング分析法検討, 日本薬学会第 144 年会, 神奈川県横浜市, 2024/3/29-31.

## G. 知的財産権の出願・登録状況

### 1. 特許取得

(該当なし)

### 2. 実用新案登録

(該当なし)

### 3. その他

(該当なし)

## H. 謝辞

本研究課題の遂行に際しては, 表 A に示す研究協力者及びその所属組織より協力を頂いた. ここに記して謝す.

表 A

<ウイルス分科会>

小田 琢也	神戸市水道局 水質試験所
齊藤 巧介	神奈川県企業庁 水道水質センター
佐藤 啓貴	埼玉県企業局 行田浄水場
田中 宏憲	千葉県企業局 水質センター
藤原 俊一郎	京都市上下水道局 技術監理室 水質管理センター
鳥居 将太郎	東京大学 大学院工学系研究科
Vu Duc Canh	東京大学 大学院工学系研究科
Miaomiao Liu	東京大学 大学院工学系研究科
佐野 大輔	東北大学 大学院工学研究科
門屋 俊祐	東京大学 大学院工学系研究科
三浦 耀平	東北大学 大学院工学研究科

<細菌・寄生虫分科会>

大河内 由美子	麻布大学生命環境科学部
中西 智宏	京都大学大学院工学研究科
鎌田 智子	神奈川県内広域水道企業団浄水部
北沢 和	川崎市上下水道局
古川 紗耶香	青森市企業局水道部
安原 雄作	九十九里地域水道企業団浄水課
橋本 温	県立広島大学生命環境学部
黒木 俊郎	岡山理科大学獣医学科
井上 亘	神戸大学大学院農学研究科
武藤 千恵子	東京都健康安全研究センター薬事環境科学部
梅津 萌子	東京都健康安全研究センター薬事環境科学部
瀧野 博之	国立保健医療科学院生活環境研究部
小久保 敦啓	(株)江東微生物研究所
小澤 克行	(一財)千葉県薬剤師会検査センター

<無機物分科会>

山田 俊郎	北海学園大学 工学部 社会環境工学科
森川 武弘	札幌市水道局給水部水質管理センター
倉本 洋光	札幌市水道局給水部水質管理センター
油川 一紀	青森市企業局水道部横内浄水課
松原 冬彦	新潟市水道局 技術部水質管理課
寺中 郁夫	埼玉県水質管理センター 監視・支援担当
広木 孝行	東京都水道局 水質センター 検査課検査調整担当
小平 哲広	川崎市上下水道局 水道水質課
林 幸範	川崎市上下水道局 水道水質課
田辺 茂徳	横須賀市上下水道局 技術部 浄水課
吉村 誠司	大阪市水道局 工務部 水質試験所

<化学物質・農薬分科会>

相澤 貴子	関東学院大学工学総合研究所
鎌田 素之	関東学院大学理工学部理工学科
中沢 禎文	国立保健医療科学院生活環境研究部水管理研究領域
上條 宏滋	八戸圏域水道企業団水質管理課
寺嶋 誠	仙台市水道局浄水部水質管理課
神谷 航一	茨城県企業局水質管理センター
岡崎 悠佳	茨城県企業局水質管理センター
金敷 毅	千葉県企業局水質センター
山田 恵子	千葉県企業局水質センター
荒井 活人	東京都水道局水質センター
小舘 一雅	神奈川県内広域水道企業

	団浄水部広域水質管理センター
金子 透	神奈川県内広域水道企業団浄水部綾瀬浄水場
高橋 英司	新潟市水道局技術部水質管理課
平林 達也	大阪市水道局工務部水質試験所
高林 泰斗	奈良県水道局広域水道センター水質管理センター
山口 敏彦	神戸市水道局事業部水質試験所
木村 英雄	広島市水道局技術部水質管理課
尾濱 明子	広島市水道局技術部水質管理課
佐藤 卓郎	福岡県南広域水道企業団施設部浄水管理課水質センター
仲宗根 卓志	沖縄県企業局水質管理事務所
兼城 貴司	沖縄県企業局水質管理事務所
佐藤 学	神奈川県衛生研究所理化学部生活化学・放射能グループ
成田 健太郎	株式会社 NJS 東部支社東京総合事務所水道部

<消毒副生成物分科会>

田子 大幹	茨城県企業局
荘司 浩史	茨城県企業局
渡邊 みどり	北千葉広域水道企業団
黒木 隆	北千葉広域水道企業団
広木 孝行	東京都水道局
石田 直洋	東京都水道局
新井 和也	川崎市上下水道局
岸本 由紀子	神奈川県企業庁
岩谷 健斗	京都市上下水道局
生野 愛	京都市上下水道局
今中 壮一	大阪市水道局
杉野 学	大阪広域水道企業団
片木 孝徳	阪神水道企業団
打上 恭平	阪神水道企業団
山中 俊弥	奈良県水道局
平良 和代	沖縄県企業局
比嘉 元紀	沖縄県企業局
小牧 裕佳子	静岡県立大学

<臭気分科会>

今井 美江	東京都水道局
渡辺 崇一	東京都水道局
岩谷 健斗	京都市上下水道局
生野 愛	京都市上下水道局
古賀 舞香	福岡市水道局
清宮 佳幸	千葉県企業局
庭山 秀一	新潟市水道局
伊藤 義隆	新潟市水道局

<リスク評価管理分科会>

鈴木 俊也	東京都健康安全研究センター・薬事環境科学部 医薬品研究科長
西村 哲治	帝京平成大学・薬学部・薬学科
小林 憲弘	国立医薬品食品衛生研究所・生活衛生化学部・第3室長
井上 薫	国立医薬品食品衛生研究所・安全性予測評価部・第1室長
山田 隆志	国立医薬品食品衛生研究所・安全性予測評価部・第4室長
小野 敦	国立医薬品食品衛生研究所・安全性予測評価部・客員研究員
江馬 眞	国立医薬品食品衛生研究所・安全性予測評価部・客員研究員
山口 治子	国立医薬品食品衛生研究所・安全性予測評価部・協力研究員
馬野 高昭	国立医薬品食品衛生研究所・安全性予測評価部・第3室
磯 貴子	国立医薬品食品衛生研究所・安全性予測評価部・第3室
重田 善之	国立医薬品食品衛生研究所・安全性予測評価部・第3室
村田 康允	国立医薬品食品衛生研究所・安全性予測評価部・第3室
広瀬 望	国立医薬品食品衛生研究

	所・安全性予測評価部・第3室
川村 智子	国立医薬品食品衛生研究所・安全性予測評価部・第4室
赤堀 有美	一般財団法人化学物質評価研究機構・安全性評価技術研究所
福島 麻子	一般財団法人化学物質評価研究機構・安全性評価技術研究所
城島 光司	一般財団法人化学物質評価研究機構・安全性評価技術研究所

上村 仁	神奈川県衛生研究所 理化学部
仲野 富美	神奈川県衛生研究所 理化学部
橋本 博之	千葉県衛生研究所
神力 絢子	千葉県衛生研究所
小倉 裕子	千葉県衛生研究所
大西 健太	埼玉県衛生研究所
峯岸 俊貴	埼玉県衛生研究所
大窪 かおり	佐賀県衛生薬業センター
坂本 晃子	佐賀県衛生薬業センター
山本 梓	佐賀県衛生薬業センター
金子 丈志	佐賀県衛生薬業センター
北原 健一	佐賀県衛生薬業センター
小嶋 隼	埼玉県水質管理センター
森口 知彦	埼玉県水質管理センター
竹内 謙太郎	埼玉県水質管理センター
金井 正和	川崎市上下水道局
古口 健太郎	川崎市上下水道局
金井 正和	川崎市上下水道局
川崎 光一	川崎市上下水道局
林 幸範	横須賀市上下水道局
中嶋 京介	横須賀市上下水道局
平林 達也	大阪市水道局
山本 剛	米子市水道局
粕谷 智浩	一財) 千葉県薬剤師会検査センター 技術検査部
松澤 悠	一財) 千葉県薬剤師会検査センター 技術検査部
山口 和彦	一財) 千葉県薬剤師会検査センター 技術検査部
中村 弘揮	一財) 岐阜県公衆衛生検査センター 検査分析部
岩間 紀知	一財) 岐阜県公衆衛生検査センター 検査分析部
古川 浩司	一財) 三重県環境保全事業団 調査部
門上 希和夫	北九州市立大学

<水質分析法分科会>

五十嵐 良明	国立医薬品食品衛生研究所 生活衛生化学部
内山奈穂子	国立医薬品食品衛生研究所 生活衛生化学部
土屋 裕子	国立医薬品食品衛生研究所 生活衛生化学部
吉田 仁	地独) 大阪健康安全基盤研究所 衛生化学部
安達 史恵	地独) 大阪健康安全基盤研究所 衛生化学部
小池 真生子	地独) 大阪健康安全基盤研究所 衛生化学部
赤木 航	地独) 大阪健康安全基盤研究所 衛生化学部
鈴木 俊也	東京都健康安全研究センター 薬事環境科学部
木下 輝昭	東京都健康安全研究センター 薬事環境科学部
栗田 翔	東京都健康安全研究センター 薬事環境科学部
山崎 貴子	東京都健康安全研究センター 薬事環境科学部
小田 智子	東京都健康安全研究センター 薬事環境科学部