

水道事業体における生物・微生物の検査および
監視の実態把握

研究協力者	岸田	直裕
研究分担者	秋葉	道宏
研究代表者	小坂	浩司

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）
「水道における連続監視の最適化および浄水プロセスでの処理性能評価に関する研究」
分担研究報告書

研究課題：水道事業体における生物・微生物の検査および監視の実態把握

研究協力者 岸田 直裕 国立保健医療科学院
研究分担者 秋葉 道宏 国立保健医療科学院
研究代表者 小坂 浩司 国立保健医療科学院生活環境研究部水管理研究領域

研究要旨

水道システムにおける生物・微生物の管理に関する有益な情報を収集するため、全国の水道事業体を対象とした生物・微生物検査および監視に関するアンケート調査を実施した。その結果、障害生物以外の独自項目の検査を実施しているのは大規模事業体のみであり、その項目はノロウイルス等の病原微生物、腸球菌等の指標微生物、ヘプタジェナル等の異臭味指標物質であることがわかった。障害生物については、中規模事業体でも検査対象とされることがあるが、大規模事業体ほど検査対象とする割合が高まり、アナベナ属やシネドラ属等が主な検査対象となっていた。また、大規模事業体であればあるほど検査結果を浄水場等の管理へ利用する傾向にあることがわかった。検査結果は、浄水処理の強化、水質検査、監視強化等の様々な対応を開始する際の判断材料として利用されており、一部の検査項目・事業体では管理基準値が設定されていた。遺伝子検査法は全国的に見ると導入がそれほど進んではいないが、大規模事業体では導入割合が比較的高かった。

A. 研究目的

安全な水道水を供給する上で、水中の病原微生物の検査および監視は非常に重要である。また、病原性はないものの、飲料水の異臭味や着濁原因となる生物、浄水処理を阻害する生物等（以降、障害生物）も存在しており、水道システムを安定的に維持していく上では、これらの生物の監視も必要となる。

国内の水道事業体においては、水道法や「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針¹⁾」等に従い、生物・微生物の検査や監視を基本的には行っているが、より安全な水道水を安定的に供給するために、水道事業体内で独自の検査や監視体制が取られることもある。このような各水道事業体で独自に行っている対応方法は、他の事業体にとっても有用な情報であると考えられるが、その実態は十分に明らかとはなっていない。そこで本研究では、全国の水道事業体を対象とした生物・微生物検査および監視に関するアンケート調査を実施し、生物・微生物の管理に関する有益な情報の収集に努めた。

B. 研究方法

2015年8～10月にかけて主要な浄水場が急速ろ過方式である全国224の水道事業体に対して、日本水道協会と共同で電子メールにてアンケート調査票を送付し、154箇所より有効回答を得た。調査対象浄水場の選定に当たっては地域間に偏りがないように選定した。図1に示す通り、中規模から大規模の水道事業体が調査対象となっ

ている。

病原微生物、障害生物に加えて、病原微生物の汚染指標となる微生物（指標微生物）、同様に汚染指標として使用される濁度、障害生物が関与する異臭味関連項目（ジェオスミン、2-MIB、臭気強度等）の計5つの項目について、独自検査項目（水道水質基準項目、管理目標設定項目、「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針¹⁾」検査対象微生物、大腸菌検査の際に同時に検査可能な大腸菌群を除く水質項目）の有無とその種類、検査結果の浄水場や給配水過程等の管理への利用状況について調査した。具体的な質問項目は、「検査対象生物・微生物の種類」、「検査結果の浄水場等の管理への利用の有無」、「検査結果の具体的な利用方法」である。「浄水場等の管理への利用の有無」については、水道法や「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針¹⁾」に記載されている通りの対応については収集対象から除外した。「検査結果の具体的な利用方法」については自由記載の形式で回答していただいたが、記入例に監視地点や管理基準（行動開始の目安となる値）について記入していたため、多くの事業体からこれらの情報も回答された。障害生物については一部の事業体では検査対象生物の種類が膨大であると予想されたため、最大5種類まで回答していただいた（各事業体で最も警戒している5種）。加えて、遺伝子検査法の導入状況、利用方法についても調査した。

C. 研究結果およびD. 考察

1. 独自検査項目

障害生物を除く水質項目については、独自に設定した項目の検査を実施していたのは 8/154 事業体（約 0.5%）と僅かであった。また、図 2 に示す通り、大規模事業体でのみ独自項目の検査を実施していた。一方、障害生物については、必ず検査を実施しなくてはならない水質項目ではないにもかかわらず、多くの事業体（約 53%）で検査が実施されていた。比較的小規模の事業体においても検査は実施されていたが、図 3 に示す通り、規模が大きくなるほど検査をしている事業体の割合は高まった。

表 1 に示す通り、障害生物以外の自主検査項目は、ノロウイルス等の病原微生物、腸球菌等の指標微生物、ヘプタジェナール等の異臭味関連項目であった。各種ウイルスについては、水道水のウイルスに関する安全性の確認のために 1 事業体で検査が実施されていた。レジオネラについては、1 事業体にて生物接触ろ過池での挙動が過去に調査され、その指標としてアメーバも同時に測定されていた。糞便性大腸菌群、腸球菌、糞便性連鎖球菌は消化器系病原微生物の汚染指標として、好気性芽胞菌は消毒効果指標としてそれぞれ位置づけられており²⁾、腸球菌については 4 事業体で、その他の指標微生物については 1 事業体で検査が行われていた。ヘプタジェナール、デカジェナールは *Uroglena americana* が産生する生ぐさ臭の指標物質として利用できると報告されており³⁾、1 事業体で測定されていた。

障害生物については図 4 に示す通り、実に様々な生物が検査対象となっていた。アナベナ属やフォルミジウム属等のジェオスミンや 2-MIB（カビ臭原因物質）を産生する生物や、ろ過閉塞障害を引き起こすシネドラ属、凝集沈殿処理障害等を引き起こすミクロキスティス属等が水道事業体で主に警戒され、検査対象となっていることがわかった。複層ろ過の普及に伴い、近年は全国的にろ過閉塞障害の報告が減りつつあるが⁴⁾、以前としてシネドラ属に対して警戒が続けられていることが明らかとなった。

キンベラ属、スチココッカス属、ディモルフォコックス属は 1 事業体のみで検査対象とされている生物であったが、「上水試験方法」に検査対象生物として記載されておらず、障害生物として広く知られていない生物も一部で監視対象となっていることが明らかとなった。これらの生物が引き起こす障害については今後の調査等で明らかにしていく必要があると考えられる。

2. 検査結果の浄水場等の管理への利用

2.1 全体的な利用状況

図 5 に示す通り、病原微生物、指標微生物、濁

度、障害生物、異臭味関連項目の 5 項目の中では、最も異臭味関連項目の検査結果が浄水場等の管理等へ利用されていることがわかった。その他の項目についても比較的多くの事業体で利用が行われていた。

図 6 に事業体規模別の浄水場等管理への利用項目数を示す。大規模事業体であればあるほど、検査を実施しているだけではなく、検査結果を自主的に浄水場の運転管理等へ利用していた。

2.2 病原微生物

検査対象である病原微生物のうち、検査結果が浄水場等の管理に利用されていたのは耐塩素性病原微生物であるクリプトスポリジウムおよびジアルジアのみであった。図 7 に示す通り、原水の検査結果が浄水場等の管理に利用されることが多く、一部で浄水や水源の検査結果も利用されていた。

図 8 に示す通り、検査結果は、凝集剤注入率の増大等による浄水処理の強化や濁度管理に主に利用されていた。また、水質検査実施の際の判断材料としても広く利用されていることがわかった。クリプトスポリジウムおよびジアルジアは原水が検査対象となることが多いが、原水中で検出された際（一部の事業体では一定濃度以上検出された際）に、浄水も検査対象とする事業体が比較的多く存在することが明らかとなった（39/154 事業体）。一部の事業体では、送水停止や水源切り替え等の判断材料としても検査結果が利用されていた。

図 9 に示す通り、クリプトスポリジウムおよびジアルジアの場合、大半の事業体では検出有無（定性的な検出結果）を管理基準としていたが、一部の事業体では、定量値を管理基準として設定していた。原水 10L 中に 10（オー）シスト以上検出された場合に、凝集処理を強化したり、浄水の検査を実施したりする事業体が比較的多く見受けられた。1 事業体において 200（オー）シスト/原水 10L という高い濃度を管理基準として設定していたが、この事業体では高度処理を導入しており、オゾン処理による不活化や粒状活性炭による捕捉の効果を期待して、高めの基準値を設定しているものと思われた。

2.3 指標微生物

図 10 に示す通り、大腸菌、一般細菌、従属栄養細菌の検査結果が浄水場等の管理に比較的よく利用されていた。図 7 に示した通り、原水や浄水、給水栓水の検査結果が多く利用されていた。水道事業体によって異なるものの、糞便汚染指標である大腸菌、大腸菌群、嫌気性芽胞菌は原水の、消毒効果の指標となる一般細菌は浄水の、給配水

過程における汚染の指標となる従属栄養細菌は給水栓水の検査結果がそれぞれ浄水場等の管理に利用される傾向にあった。

図8に示した通り、指標微生物の検査結果は残留塩素濃度（消毒）の管理、浄水・給配水工程の監視、洗管の実施判断等の様々な用途で使用されていることがわかった。病原微生物同様、指標微生物についても検出有無を行動開始の判断材料としている事業者が多かったが、従属栄養細菌については、検出感度が高く定量値が得られやすいこともあり、管理基準値を設定している事業者も比較的多く見られた。図11に示す通り、水質管理目標値（2,000 CFU/mL）よりもかなり低い10 CFU/mLを管理基準として設定している事業者が多かった。

2.4 濁度

図7に示した通り、主にろ過水の検査結果が浄水場等の管理に使用されていた。これは、「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針¹⁾」において、ろ過池出口の濁度を0.1以下に維持することが求められているからであろう。一部の事業者では、沈殿処理水等の検査結果も管理に利用されていた。

図8に示した通り、濁度の検査結果は、凝集剤の注入率の増大や2段階凝集処理の実施判断等に利用されていた。表2に示す通り、ろ過水中の濁度が「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針¹⁾」において求められている濁度の半分の値（0.05）で凝集剤注入率の増大等の浄水処理の強化を始める事業者が多いことがわかった。一部の事業者では濁度を指標として取水・処理停止等の判断も行っていたが、浄水処理の強化の管理値よりは高い値（0.1前後）を設定していた。浄水処理の強化によっても対応しきれずに濁度が上昇してしまった際に、取水停止等の対応に移行すると決めている事業者が比較的多かった。

2.5 障害生物

図7に示した通り、水源や原水の検査結果が浄水場等の管理に主に利用されていた。図8に示した通り、凝集強化、粉末活性炭投入・増量、塩素注入点の変更等の、浄水処理強化の実施の際の判断材料として障害生物の検査結果は利用されていたが、一部の事業者では殺藻剤の投入等の水源対策、異臭味関連項目の監視強化等の実施の際の判断材料としても利用されていた。

図12に示す通り、生物の種類によって、検出時の浄水処理での対応方法が異なっていた。主にカビ臭原因物質を産生し、異臭味障害の原因となるアナベナ属、フォルミジウム属、オシラトリア属に対しては、カビ臭原因物質を吸着除去するた

めに粉末活性炭の投入や増量が主に実施されていた。カビ臭原因物質は生物体内に存在するケースもあり、生物体ごと原因物質を除去する目的で凝集強化も多く行われているようである。また、塩素処理によって生物体外へ放出されることもわかっているため、生物体ごと原因物質を除去する場合は前塩素処理を停止し、逆に塩素処理によって原因物質を放出させてから粉末活性炭によって吸着させる場合には前塩素（または前々塩素）を開始することになる。同じ微生物でも事業者によって前塩素を開始するか停止するか回答が分かっていたが、これは粉末活性炭との接触時間をどの程度確保できるか等によって、浄水場毎に選択する対応方法が異なるためであると考えられた。

主にろ過閉塞障害や凝集沈殿処理障害を引き起こすシネドラ属に対しては、凝集剤注入率の増大や前塩素処理の開始等による凝集処理の強化や、ろ過池洗浄時間の短縮等のろ過池での対策が主に回答された。

主に凝集沈殿処理障害の原因となるミクロキスティス属については、凝集剤注入率の増大や2段階凝集処理等による凝集処理の強化が主に実施されていた。前塩素処理は一般に藻類等の凝集強化に繋がるということが知られているが、ミクロキスティス属の場合、塩素処理によって群体がバラバラになり、ろ過漏出しやすくなることから⁵⁾、前塩素処理を停止すると回答した事業者も多く存在した。わずかではあるが、前塩素処理を開始すると回答した事業者も存在しており、この場合には、群体の崩壊によるマイナスの効果よりも前塩素による凝集強化のプラスの効果の方が高く働くと期待しているものと思われる。また、ミクロキスティス属は異臭障害の原因となることもあるため、粉末活性炭の投入も比較的多く実施されていた。

主にろ過漏出障害の原因となるピコプランクトンについては、凝集剤注入率の増大や2段階凝集の開始、前塩素処理の開始等の凝集処理対策によって対応が行われていることがわかった。

障害生物の検査結果を管理に利用している事業者のうち約30%が管理基準（指標）を設定し、定量値を管理へ利用していた。事業者・微生物毎に計数単位が異なっており（細胞数、糸状体、巻、群体等）、管理基準値の比較は困難と思われた。

2.6 異臭味関連項目

図7に示した通り、原水の検査結果が主に浄水場等の管理に利用されていたが、浄水の検査結果も比較的多くの事業者で利用されていた。図8に示した通り、検査結果は、主に粉末活性炭の投入・増量を実施する際の判断材料として利用され

ており、また一部の事業体では水源調査や監視強化を実施する際の判断材料としても利用されていた。

図 13 に示す通り、ジェオスミンの場合は水道水源または原水中の濃度で 5 ng/L を管理基準として設定している事業体が多かった。一方、2-MIB についてはジェオスミンよりもやや低い 3~5 ng/L を基準値として設定している事業体が多かった。2-MIB の方がジェオスミンよりも粉末活性炭に吸着されづらい特性を持っており⁵⁾、また臭気閾値もやや低いとの報告もあることから⁶⁾、2-MIB でより厳しい管理基準値を設定している事業体が多いものと推測された。この傾向は浄水における管理基準値の設定においても同様であり、ジェオスミンでは 3~5 ng/L の管理基準値を設定している事業体が多いのに対し、2-MIB では 3 ng/L に設定している事業体が多かった。臭気強度の管理基準値を設定している事業体は少なかったが、原水の場合は 3~7 ng/L、浄水の場合は 2~3 ng/L を管理基準値として設定していた。

3. 遺伝子検査法の導入状況

遺伝子検査法を導入している、導入を検討している、導入の見込みなし、と回答した事業体の割合は、それぞれ 11%、6%、83%であり、あまり導入が進んでいないことがわかった。一方、図 14 に示す通り、給水人口 100 万人以上の事業体では 40%以上の導入割合となっており、大規模事業体では導入が進みつつあることがわかる。遺伝子検査法は、平成 24 年度からクリプトスポリジウムおよびジアルジアの検査法として認められたことから⁷⁾、これらの原虫類の検査に利用されているとの回答が多かったが、一部の事業体ではウイルスや障害生物の検査にも利用されていた。また、導入されている機器は、リアルタイム PCR 装置が中心であったが、一部でリアルタイム LAMP 装置やサーマルサイクラー（通常の PCR 装置）も導入されているという回答があった。

E. 結論

本研究では、水道事業体における独自の生物・微生物の検査・監視に関する情報を広く入手するためにアンケート調査を実施した。得られた知見を以下に示す。

- ・障害生物以外の独自項目の検査を実施しているのは大規模事業体のみであった。独自項目は、ノロウイルス等の病原微生物、腸球菌等の指標微生物、ヘプタジェナール等の異臭味指標物質であった。

- ・障害生物については、中規模事業体でも検査対象とされることがあるが、大規模事業体ほど検査対象とされる割合が高まった。また、異臭味障害

やろ過漏出・閉塞障害等を引き起こすアナバノ属やシネドドラ属等の生物が多く、事業体において検査（警戒）対象となっていることがわかった。

- ・指標微生物、病原微生物、濁度、障害生物、異臭味関連項目の中では異臭味関連項目が最も浄水場等の管理に利用されていることがわかった。また大規模事業体であればあるほどこれらの項目の試験結果を浄水場等の管理へ利用する傾向にあることが明らかとなった。

- ・病原微生物（クリプトスポリジウム・ジアルジア）の検査結果は濁度管理や水質検査の実施判断等に利用されており、大半は検出有無を指標として利用されているが、一部の事業体では、定量値を管理基準としていた。原水で 10 (オー) シスト/10L を管理基準値として設定している事業体が多かった。

- ・指標微生物の検査結果は塩素消毒の管理等に利用されていることがわかった。大腸菌、一般細菌、従属栄養細菌が管理に利用される傾向にあり、大半は検出有無を指標として利用されているが、従属栄養細菌については定量値を管理基準とすることも多いことがわかった。給水栓等で 10 CFU/mL を管理基準として設定している事業体が多かった。

- ・濁度については、主にろ過水の検査結果を基に、凝集剤注入量の増減や 2 段凝集処理の開始等の浄水処理の管理に利用されていることが明らかとなった。0.05 程度を管理基準値として設定している事業体が多かった。

- ・障害生物については、主に水源や原水における検査結果を基に、凝集剤注入量の増減、粉末活性炭投入量の増減、塩素注入点の変更等の浄水処理の管理に利用されていることが明らかとなった。また、障害生物の検査結果を管理に利用している事業体のうち約 30%が管理基準（指標）を設定し、定量値を管理へ利用していた。

- ・異臭味関連項目については、主に水源や原水におけるカビ臭原因物質の検査結果を基に、粉末活性炭投入量の増減、水源調査・監視の開始判断等に利用されていることが明らかとなった。5 ng/L 程度を管理基準として設定している事業体が多かった。ジェオスミンより 2-MIB の管理基準値を低めに設定する傾向にあった。

- ・アンケート調査対象の事業体のうち約 11%が遺伝子検査手法を既に導入しており、また導入しているのは大規模な事業体のみであった。検査対象は主にクリプトスポリジウム、ジアルジアであったが、一部の事業体では、ノロウイルスや障害生物が対象とされていた。導入機器はリアルタイム PCR 装置が多かった。

F. 健康危険情報

該当なし。

G. 研究発表

1. 論文発表

該当なし。

2. 学会発表

該当なし。

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定も含む。）

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。

I. 参考文献

- 1) 厚生労働省健康局水道課：水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針，2007.
- 2) 日本水道協会：上水試験方法（2011年版），2011.
- 3) 細田耕，立野信也，勢川利治：水臭気モニタリ

ング装置による生ぐさ臭指標物質の測定条件の検討，第59回全国水道研究発表会講演集，2008，512-513.

- 4) 秋葉道宏：厚生労働省科学研究費補助金平成26年度総括・分担研究報告書「水道システムにおける生物障害の実態把握とその低減対策に関する研究」，2015.
- 5) 日本水道協会：生物障害を起こさないための重水処理の手引き，2006.
- 6) 日本水道協会：上水試験方法解説編（2001年版），2011.
- 7) 厚生労働省：水道に関するクリプトスポリジウム等の検出のための検査方法の見直し等について，健水発0302第2-4号通知，2012.

J. 謝辞

アンケート調査の実施にあたり、ご協力いただいた水道事業者、日本水道協会関係者の方々に深くお礼申し上げます。

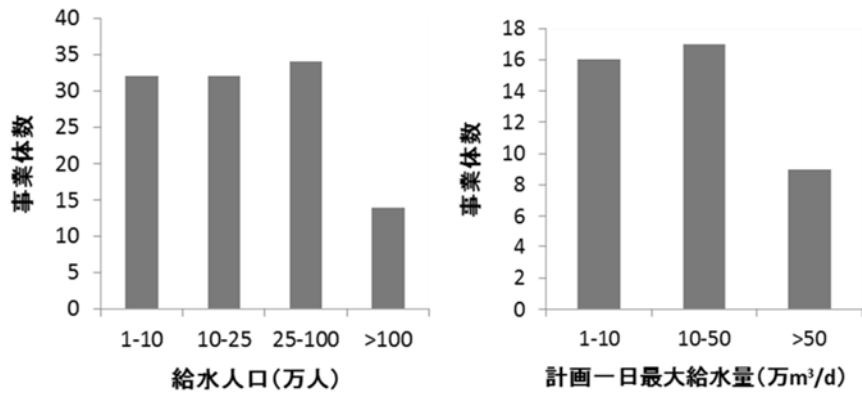


図1 給水人口、計画一日最大給水量別の回答事業体数（左：上水道事業体、右：水道用水供給事業体）

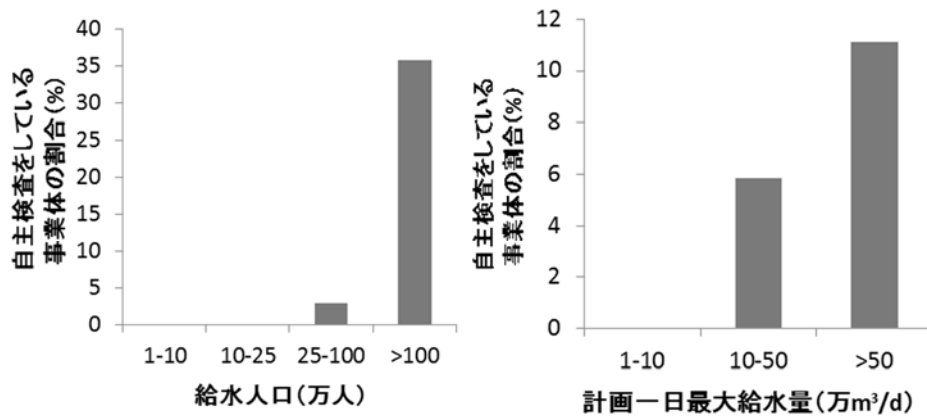


図2 給水人口、計画一日最大給水量別の障害生物以外の独自検査項目の検査割合（左：上水道事業体、右：水道用水供給事業体）

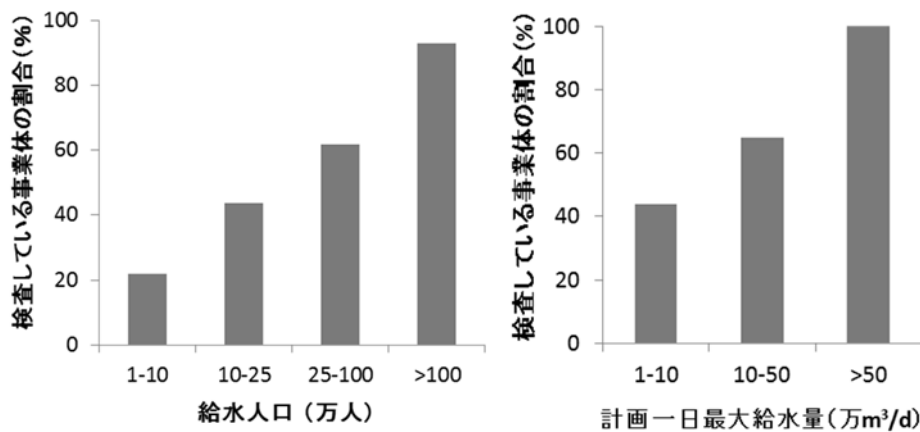


図3 給水人口、計画一日最大給水量別の障害生物の検査割合（左：上水道事業体、右：水道用水供給事業体）

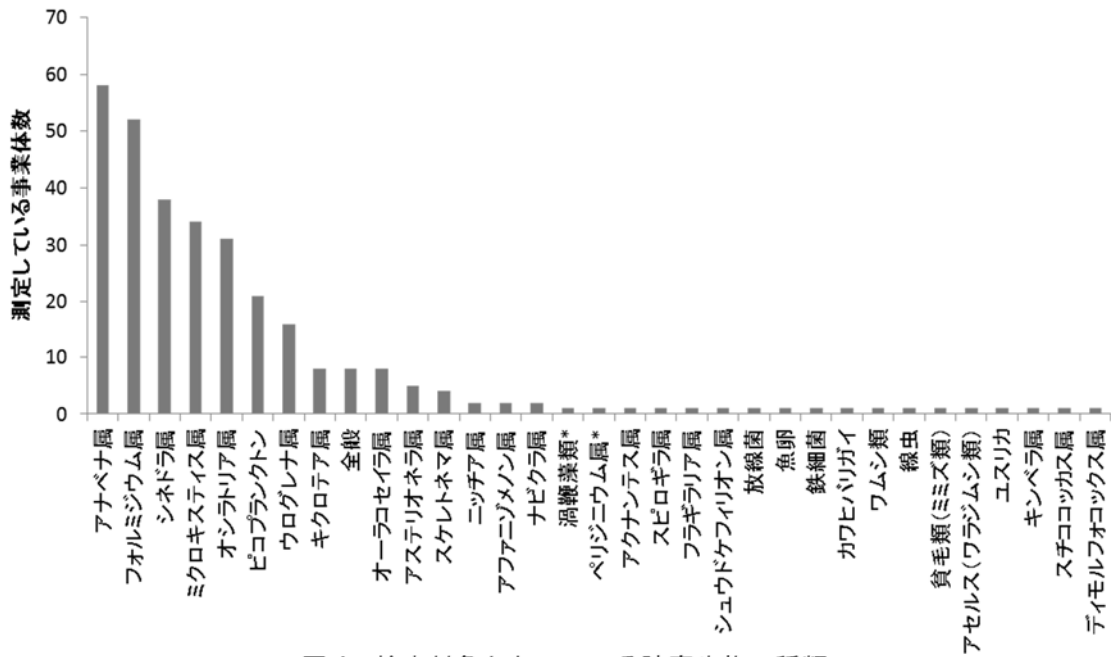


図4 検査対象となっている障害生物の種類
(1事業体あたり最大5種類を回答)
(*ペリジニウム属は渦鞭毛藻類に属する生物である。)

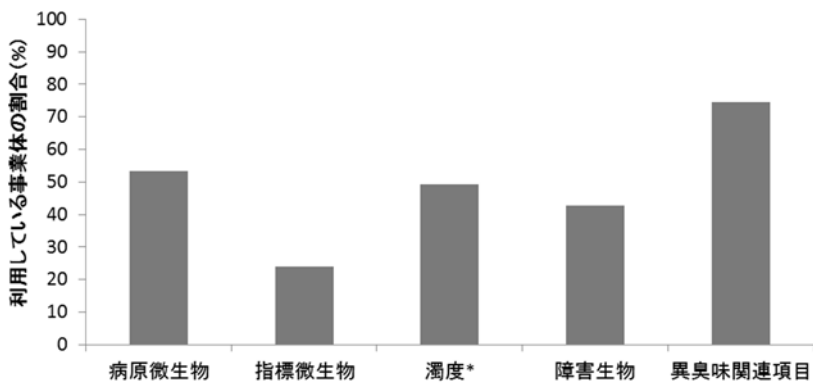


図5 項目別の検査結果の浄水場等管理への利用状況
(*原水濁度から凝集剤注入率を決定する等の通常の対応は除く。)

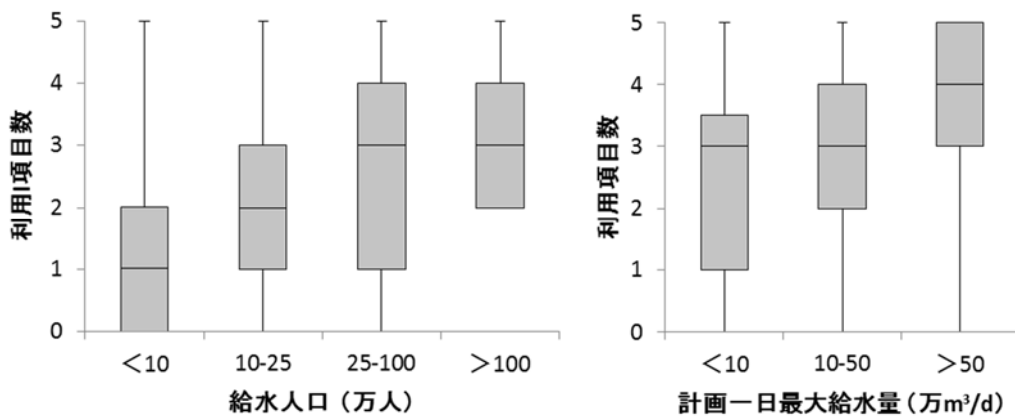


図6 給水人口、計画一日最大給水量別の浄水場等管理への利用項目数
(病原微生物、指標微生物、濁度、障害生物、異臭味関連項目の最大5項目)
(左：上水道事業体、右：水道用水供給事業体)

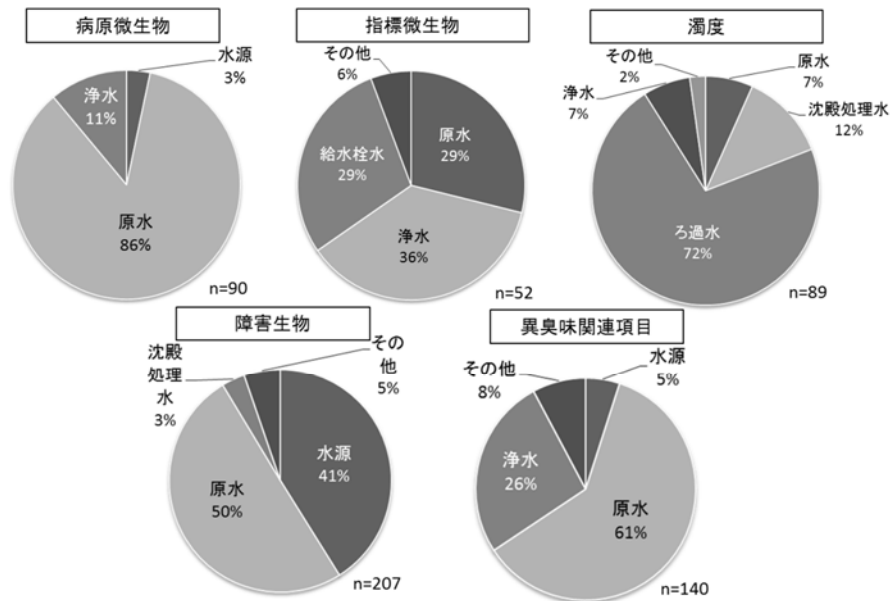
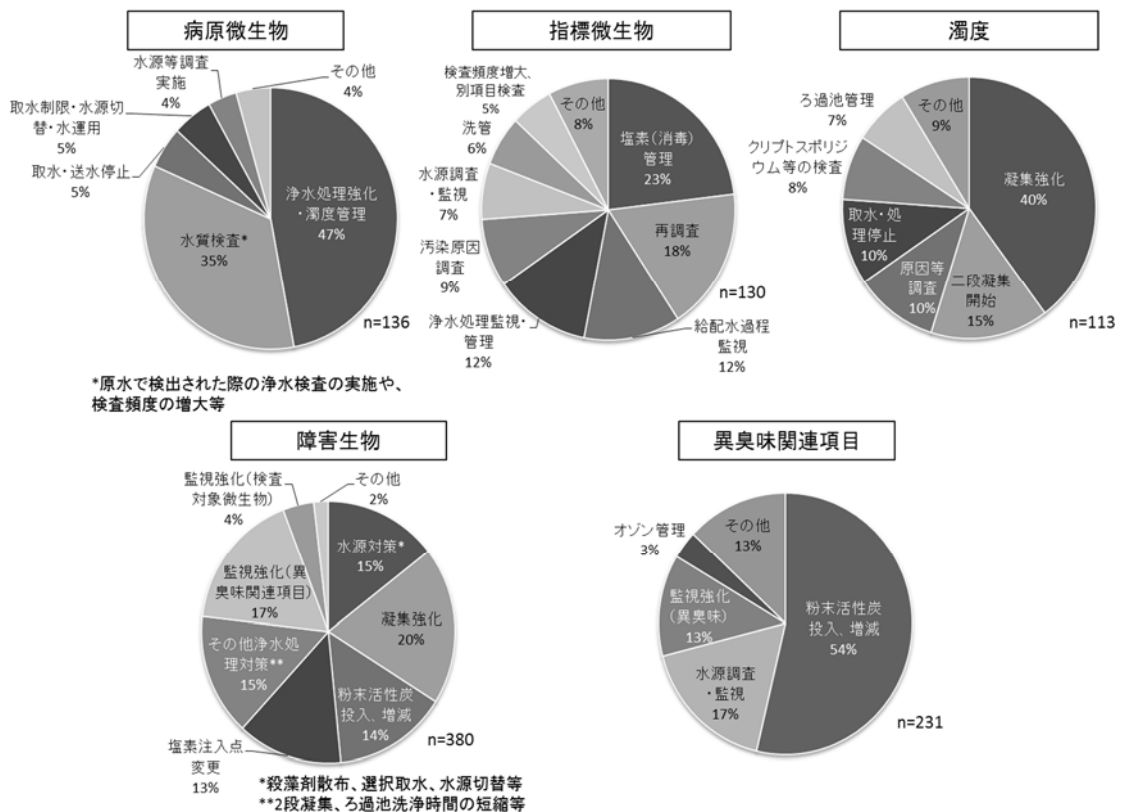


図7 項目別の監視地点（管理に使用している検査地点）
 （同一項目を複数の地点で監視している場合はすべて計数）
 （同一事業体で複数の水質項目を測定している場合もすべて計数）
 （監視地点が未記載の場合は集計から除いている。）



*原水で検出された際の浄水検査の実施や、検査頻度の増大等

*殺菌剤散布、選択取水、水源切替等
 **2段凝集、ろ過池洗浄時間の短縮等

図8 項目別の検査結果の利用方法
 （同一水質項目で複数回答があった場合はすべて計数）
 （同一事業体において複数の水質項目で同じ利用方法を回答している場合もすべて計数）
 （直ちに対応を開始するケースだけでなく検討を行った後に対応を開始するケースも含む。）
 （具体的な利用方法が未記載の場合は集計から除いている。）

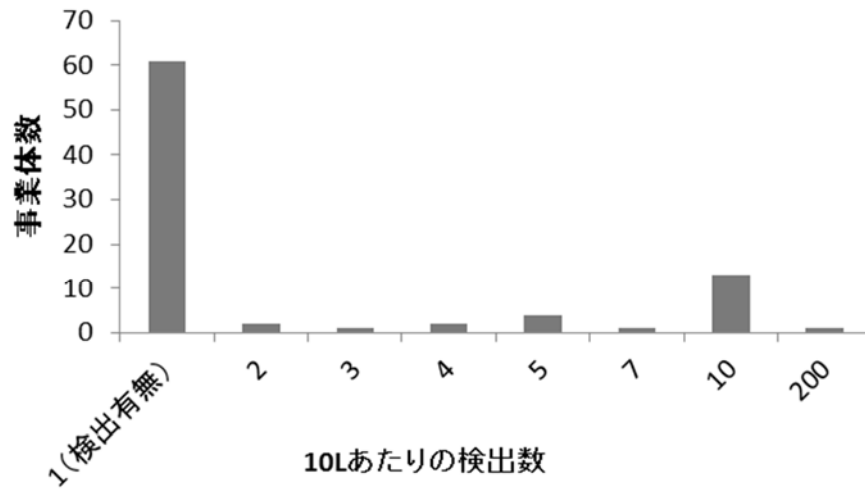


図9 クリプトスポリジウム・ジアルジアの管理（行動開始）基準の設定状況
 (*同一事業体で複数の管理基準を設定している場合はすべて計数)

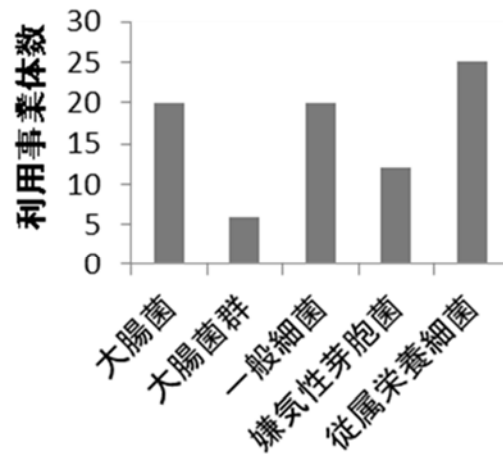


図10 指標微生物毎の検査結果の浄水場等管理への利用状況

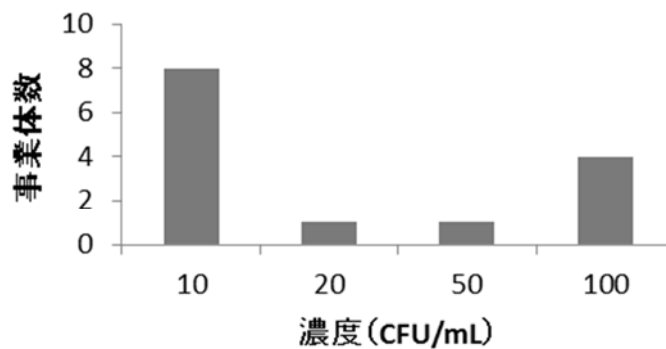


図11 従属栄養細菌の管理基準の設定状況（浄水または給水栓水）

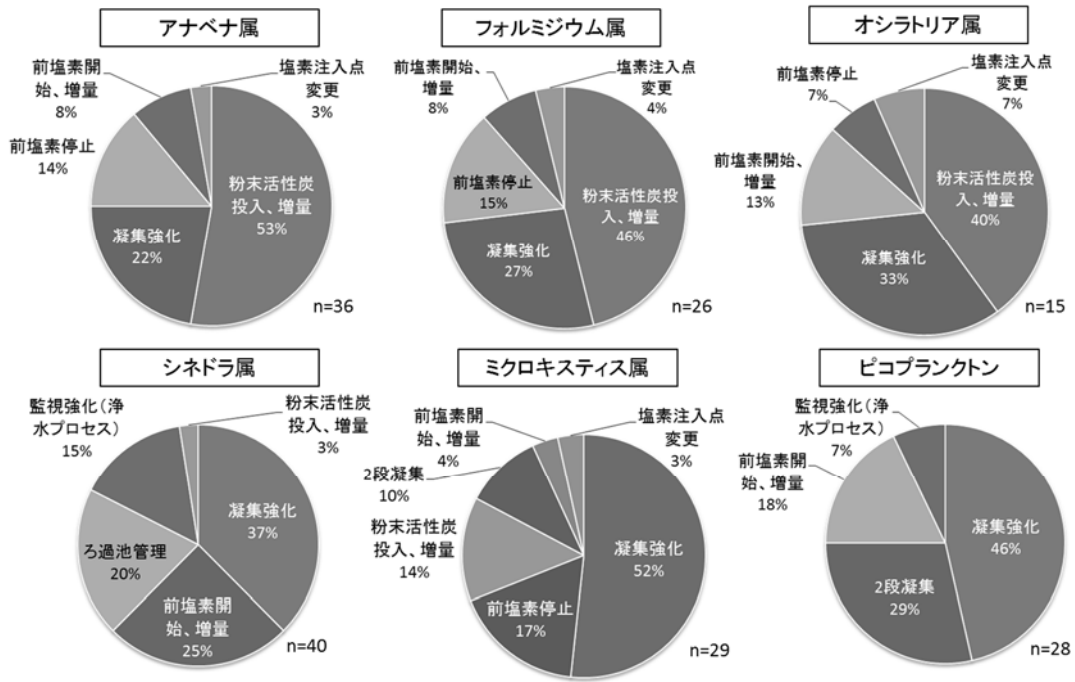


図 12 生物毎の浄水処理での対応方法（検査対象上位 6 生物、複数回答あり）
 (※塩素注入点変更：具体的な記載はなかったが、前塩素開始や停止である可能性がある。)

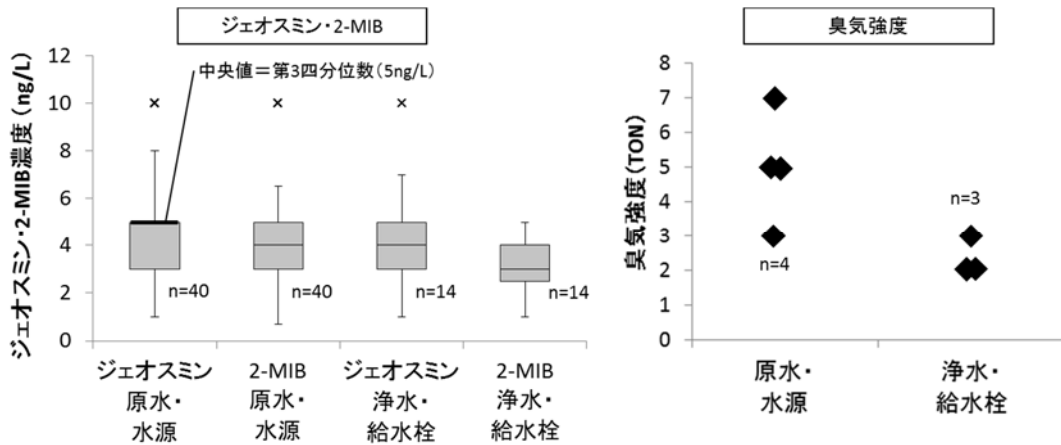


図 13 異臭味関連項目の管理基準値の設定状況

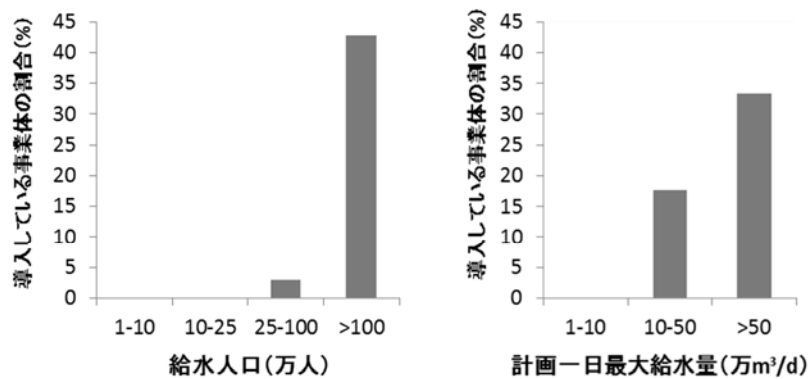


図 14 給水人口、計画一日最大給水量別の遺伝子検査法の導入状況
 (左：上水道事業者、右：水道用水供給事業者)

表 1 障害生物以外の独自検査項目

病原微生物	指標菌	その他
ノロウイルス	糞便性大腸菌群	ヘプタジェナール
アデノウイルス	腸球菌*	デカジェナール
エンテロウイルス	糞便性連鎖球菌*	
レジオネラ	好気性芽胞菌	
	アメーバ	

*腸球菌は糞便性連鎖球菌のサブグループの1つである²⁾。

表 2 利用方法別のろ過水濁度の管理基準値

利用方法	最小値	平均値	中央値	最大値	n
凝集強化	0.01	0.049	0.05	0.1	20
2 段凝集	0.01	0.047	0.05	0.1	13
クリプトスポリジウム等の検査	0.05	0.11	0.1	0.2	9
原因等調査	0.02	0.088	0.1	0.2	9
取水・処理停止	0.05	0.085	0.09	0.1	8
ろ過池管理	0.05	0.058	0.05	0.08	4

