

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

平成28年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 小坂浩司
(国立保健医療科学院)

平成29(2017)年 3月

目 次

研究班の構成

I. 総括研究報告書

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・・・・・・・・・・5

小坂 浩司

II. 分担研究報告書

1. 表流水を水源とする浄水場における

水安全計画を用いた代表的な危害対応方法の解析・・・・・・・・21

大野 浩一、小坂 浩司、秋葉 道宏、

江端 克明、和田 亮太、清水くるみ

2. 地下水を水源とする中小水道事業体を対象とした水安全計画を用いた

代表的な危害、監視方法、管理基準逸脱時対応方法の解析・・41

大野 浩一、小坂 浩司、秋葉 道宏、

清水くるみ、和田 亮太、江端 克明

3. 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・・・・57

岸田 直裕、秋葉 道宏、小坂 浩司

4. 水源水質事故対応のためのGISの活用・・・・・・・・・・71

金見 拓、長 健太

5. 淀川流域での危害発生地点と

監視地点等の図示化による監視体制の検討・・・・・・・・79

田川 克弘、大谷 真巳

6. 連続自動水質計器の設置、活用状況に関する調査・・・・・・・・89

小坂 浩司、浅見 真理、下ヶ橋 雅樹、

小池 友佳子、斎藤 健太、宮林 勇一、

佐藤 三郎

7. 水道水質管理における連続自動水質計器の役割と開発状況	115
山腰 修蔵、山口 太秀	
8. 水道原水及び処理水の連続監視データの変動解析	131
浅見 真理、朝野 正平、斎藤 健太、 小池 友佳子、宮林 勇一、小坂 浩司	
9. 連続自動水質計器を用いた処理性能評価手法の開発	147
水野 忠雄	
10. 水質異常時における摂取制限を伴う給水継続 ～不可避な場合のリスク管理～	157
浅見 真理、大野 浩一	
III. 研究成果の刊行に関する一覧表	179

研 究 班 の 構 成

研究代表者

国立保健医療科学院生活環境研究部主任研究官 小坂浩司

研究分担者

国立保健医療科学院統括主任研究官 秋葉道宏
国立保健医療科学院生活環境研究部上席主任研究官 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 大野浩一
京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻講師 水野忠雄

研究協力者

国立保健医療科学院生活環境研究部上席主任研究官 下ヶ橋雅樹
国立保健医療科学院生活環境研究部 岸田直裕
国立保健医療科学院生活環境研究部 朝野正平
公益社団法人日本水道協会工務部水質課水質専門官 佐藤三郎
公益社団法人日本水道協会工務部水質課水質専門官 山腰修蔵
東京都水道局水質センター企画調査課
統括課長代理（計画調整担当） 金見拓
大阪市水道局工務部柴島浄水場担当係長（技術調査） 田川克弘
阪神水道企業団技術部水質試験所調査係長 大谷真巳
メタウォーター（株）事業戦略本部R&Dセンター
環境技術開発部上水技術開発グループ担当部長 山口太秀
東京都水道局 長健太
宮崎県都城保健所 清水くるみ
横浜市水道局 和田亮太
神奈川県内広域水道企業団 江端克明
横浜市水道局 斎藤健太
八戸圏域水道企業団 小池友佳子
横須賀市上下水道局 宮林勇一

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

平成28年度 総括研究報告書

研究代表者 小坂浩司
(国立保健医療科学院)

平成29年3月

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）
総括研究報告書

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

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主任研究官

研究要旨

表流水を原水とし、浄水処理方式として急速ろ過方式を採用している 21 事業体 21 浄水場の策定済み水安全計画を用いて、リスク管理方法の解析を行った。各危害原因事象とそれに対応する危害因子の組み合わせについて、異常の検知方法、異常の事実確認方法、対応基準と対応方法の解析を行った。また、管理基準逸脱時の標準対応マニュアル例の作成を試みた。地下水を原水とし、塩素処理のみ及びUV と塩素処理を組み合わせている 6 事業体 12 浄水場の策定済み水安全計画について、平常時の運転管理に関連した優先度の高い危害因子を抽出した。これら、優先度の高い危害因子に対する監視方法、管理基準、その逸脱時の対応を解析し、さらに管理基準逸脱時の標準対応マニュアル例を作成した。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ところ、障害生物以外の独自項目（病原微生物、指標微生物、異臭味指標物質）の検査を実施しているのは大規模事業体のみであった。障害生物については、大規模事業体ほど検査対象とする割合が高まり、アナバ属やシネドラ属等が主な検査対象となっていた。東京都水道局ではPRTR 情報等を活用し、水源流域における水質事故発生のおそれの高い地点の把握を行った。化学物質を取り扱っている事業所数や化学物質の排出量、過去の事故発生数等について GIS ソフトを用いてリスクの高い地点を抽出した。顕在化している水質事故の多い区域として、利根中流域や江戸川下流が抽出され、事業所が多く存在し、潜在的に事故のリスクの高い地点として、多摩川左岸及び荒川支川入間川右岸が抽出された。ガスクロマトグラフ自動連続監視装置（VOC 計）による原水中油類の検知について検討した。油流出事故時のクロマトグラムを分析したところ、VOC 計による監視対象成分としては密度が高く、疎水性が低く、沸点が高い成分が望ましいと考えられた。VOC 計を用いた油類検知の確立により、淀川流域において発生ポテンシャルの高い VOC と事故発生件数の最も多い油類を同時に監視することが可能となり、水質汚染事故監視体制の更なる強化が期待できる。全国約 330 の水道事業体を対象に、連続自動水質計器（水質計器）の設置、活用状況について調査を行った。4 つ（急速ろ過方式、消毒のみ、緩速ろ過方式、膜ろ過方式）の処理方式によらず、本研究で対象とした浄水場の 98%以上で、1 種以上の水質計器を設置していた。処理方式によって違いあるものの、全体的に見ると、メンテナンスを行っている場合、自己メンテナンスは 1 ヶ月以内、委託メンテナンスは 1 年以内の割合が共通して高い傾向にあった。処理方式によらず、水質計器の活用方法は、管理基準や指標値を設定している場合が多い傾向にあった。新たに開発された水質計器について調査を行い、その情報を設置箇所ごとに整理した。全国 20 箇所の事業体の連続監視データのうち、原水の濁度・pH・電気伝導度・水温、沈殿水とろ過水の濁度、浄水の残留塩素について、水質計器のデータによる解析を行った。原水については、3 項目の 8 指標について解析を行い、それを基に 6 つの項目で主成分分析を行ったところ、累計寄与率は 3 項目で約 76%であった。今回解析した濁度・pH・電気伝導度は、多くの事業体で比較的入手可能な連続データであり、これらの変動の解析が、原水の水質全体の指標となる可能性が考えられた。ろ過水濁度 0.03 度以上となったデータは、原水濁度 10 度未満の場合に多く、原水低濁度時においても濁度管理が課題であることが分かった。浄水の残留塩素については、事業体ごとに設定値の管

理の違いがあるが、フィードバック制御における短い周期では着実に制御されており、残留塩素の中央値が大きい事業体ほどフィードバック制御のばらつきも大きい傾向が確認された。浄水場のオゾン接触槽/反応槽に、既設の1箇所に加え、新たにオゾン接触槽直後3箇所に溶存オゾン濃度モニターを設置し、溶存オゾン濃度の連続測定を行った。得られたデータを用いて、オゾンCt値を評価指標とするオゾン処理性能評価のための推定手法の構築を行った。オゾンCt値の推定値は、温度が高い時期ほどCt値は高く、温度が低い時期ほどCt値が低かった。実測値から得られるCt値と比べると若干高い値が得られたが、今後モデル設定の精度を上げることで改善は可能と考えられた。本研究では、『水質異常時における摂取制限を伴う給水継続の考え方について』の知見の理解を深めるために、周辺状況の整理を行った。また、海外の事例を元に、海外の公報の取り決め、水質事故時のフローチャートについて示した。

研究分担者

秋葉道宏 国立保健医療科学院
統括研究官
浅見真理 国立保健医療科学院
生活環境研究部水管理研究領域
上席主任研究官
大野浩一 国立保健医療科学院
生活環境研究部水管理研究領域
上席主任研究官
水野忠雄 京都大学大学院工学研究科
講師

報等を総合的に解析し、中小水道事業体にも適用可能な知見を提供する。監視では、連続性が重視されるため、連続自動水質計器（以下、水質計器）の連続データを解析し、既存の水質計器に加え、新たな水質計器の設置によりデータを取得し、監視手法を検討する。また、突発的水質事故時には、処理は不十分ではあるが、断水による生活用水不足への影響も考慮すると、摂取制限等をとまって給水継続を行う場合も想定され、その対応策を提示する。

A. 研究目的

我が国では、安全な水道水の供給はほぼ達成されているが、平成24年度に発生した利根川水系での水質事故のように、特に水道水源での危害が懸念される状況にある。しかし、水源から給水栓までの統合的リスク管理手法である水安全計画の策定率は、策定中も含め全国の水道事業者の約16%で、危害の把握は十分とは言えず、特に中小水道事業者では困難な状況にある。連続測定データの解析は海外では注目され、変動する原水の処理状況を監視し、水質事故・異常を検知するため、連続監視・制御の果たす役割は大きい。

本研究では、水道水源で優先度の高い危害を抽出し図示する方法を検討するとともに、監視体制の最適化を目指し、浄水プロセスでの処理状況の連続監視データを利用し、変動や処理性能の評価手法の最適化を行う。危害の場合、水安全計画や各統計情

B. 研究方法

1) 表流水を水源とする浄水場における水安全計画を用いた代表的な危害対応方法の解析

前年度までの研究でデータベース化した浄水場別水安全計画を基に、表流水を原水とし浄水処理方式として急速ろ過方式を実施している21事業体21浄水場の水安全計画を解析対象とした。前年度までの研究で選定した危害原因事象—主要因子の組み合わせについて、対応マニュアルから、検知方法、事実確認方法、各種対応を行う際の対応基準、具体的な対応内容を集計し、分析を行った。また、この解析結果をまとめて、管理基準逸脱時の標準対応マニュアル例の作成を試みた。

2) 地下水を水源とする中小水道事業体を対象とした水安全計画を用いた代表的な危害、監視方法、管理基準逸脱時対応方法の解析
原水が地下水で塩素消毒のみの浄水場、塩素消毒と紫外線照射（以下、UV）を組み合わせている浄水場のあわせて6事業体12

浄水場の水安全計画を解析した。対象とする危害因子は、全リスクレベル（1～5）を対象とした。

3) 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

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。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の計5つの項目について、独自検査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。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。

4) 水源水質事故対応のためのGISの活用

東京都が保有する平成18年4月から平成28年11月まで約10年間の東京都の水源での水質事故発生情報1996件、平成22年度末時点の利根川、荒川、多摩川水系の当局水源におけるPRTR制度届出事業所3,686件、平成23年度の産業廃棄物処分業の登録を受けている事業者1,590件についてGISソフト（Esri ArcGIS ver.10.2.2）を用いてマッピングを行った。

平成22年度PRTR制度届出情報を用い、当局の水源として、利根川、江戸川、荒川及び多摩川の各水系について河川における化学物質毎のリスクマップを作成した。

5) 淀川流域での危害発生地点と監視地点等の図示化による監視体制の検討

淀川水質協議会の構成事業体に聞き取りを行い、原水の臭気試験の事例を調査した。また、同協議会の資料や聞き取りにより、計器による油類の連続監視状況を調査した。以上の結果をもとに、平成15～25年度における油流出事故の発生地点とあわせ、淀川流域における油類監視体制を取りまとめた。

水道施設で油臭が確認された油流出事故のうち、平成26年9月の油流出事故時及び平成28年3月に発生した油臭事故時におけるVOC計のクロマトグラムを解析した。

6) 連続自動水質計器の設置、活用状況に関

する調査

2015年8～10月、4つ（急速ろ過方式、消毒のみ、緩速ろ過方式、膜ろ過方式）の処理方式別に全国の水道事業体から調査対象を選定し、それぞれの水道事業体に対し、該当する処理方式の代表的な1浄水場における水質計器の設置、活用状況について、電子メールでアンケート調査を行った。全調査対象事業体数は331であった。

回答は、急速ろ過方式、消毒のみ、緩速ろ過方式、膜ろ過方式でそれぞれ168、45、16、19の浄水場について得た。ただし、水道事業体によっては複数の浄水場の回答を行ったところがあったこと、依頼した処理方式と異なる処理方式の浄水場に対して回答された場合があったことから、この数は回収率とは異なる。

各水質計器の設置の有無、自己および委託メンテナンスの状況、活用状況、代替指標としての利用、そして一部の水質計器については測定原理についても質問した。また、設置している水質計器のうち、特に利用価値が高く、推奨できるもの、設置している（設置していた）水質計器のうち、利用において課題があると考えられるもの、このような機能を持った水質計器があると便利と考えられるもの、水質計器のデータの活用度を高める方法について質問した。

7) 水道水質管理における連続自動水質計器の役割と開発状況

日本国内の水質計製造メーカー各社に対して、比較的最近に製品化された水道向けの水質計器の仕様や適用例についてヒアリングを行った。なお、濁度（高感度濁度計を除く）、pH、色度などの一般水質計についての情報は比較的容易に得ることができるため、調査から除外した。

8) 水道原水及び処理水の連続監視データの変動解析

表流水を主な原水とする全国20浄水場を対象に、原水、凝集沈殿水（以下、沈殿水）、急速ろ過水（以下、ろ過水）、浄水の過去の水質計器の1時間毎のデータを入力し解析を行った（一部は原水のみ）。対象期

間は2014年4月1日1:00から2015年3月31日24:00までとした。入手したデータのうち、設置事業体数が多く解析に適している項目として、原水については濁度、pH、電気伝導度、水温を、沈殿水とろ過水においては濁度を、浄水においては残留塩素について変動に関する解析を行った。

9) 連続自動水質計器を用いた処理性能評価手法の開発

阪神水道企業団猪名川浄水場に、オゾン注入率制御のために設置されている既存の1箇所に加え、新たにオゾン接触槽直後3箇所に溶存オゾン濃度モニターを設置し、連続データの取得を行った。調査期間は、2016年1月18日～11月30日とした。

オゾン処理性能として評価する指標は、オゾンCt値とし、オゾンCt値算出のための推定パラメータ (k_a : オゾンガスの水中への総括物質移動容量係数、 k_f : 第一接触槽におけるオゾンの速い分解を表す反応速度定数、 k_s : オゾンの遅い分解を表す反応速度定数) を算出した。算出にあたり、処理水流量、供給オゾン流量、発生オゾン濃度、処理槽容積、排オゾン濃度、溶存オゾン濃度を用いた。

10) 水質異常時における摂取制限を伴う給水継続 ～不可避な場合のリスク管理～

関連の研究、水道事業体の検討事項等を中心に、研修、講演、業務等の機会を通じて情報収集を行った。また、国立保健医療科学院の水道工学研修の研修生の方々とも実際の現場を考慮した議論を重ね、日本における水質異常時の水道の対応について情報収集を行った。

C. 研究結果およびD. 考察

1) 表流水を水源とする浄水場における水安全計画を用いた代表的な危害対応方法の解析

危害発生箇所が水源、浄水プロセス、給水システムで、「危害原因事象/危害因子」の組み合わせについて、それぞれ6、1、2つ採り上げ、対応基準とその対応について整理した。

水源の場合、「降雨/原水濁度」、「降雨/

沈でん水濁度」、「車輛等事故・水上バイク/原水での油」、「(下水) 処理施設からの放流水/原水での耐塩素性病原生物」、「(下水) 処理施設からの放流水/ろ過水での耐塩素性病原生物」、「富栄養化/原水でのかび臭物質」を対象とした。このうち、集計マニュアル数が最も多かった「降雨/原水濁度」について見ると、対応基準には、原水濁度とろ過水濁度が設定され、原水濁度の対応基準値は、浄水場によって異なり、20～1500度まで幅があった。ろ過水濁度の対応基準値は0.05度と0.1度であった。対応基準値と超過時の対応の関係は、3つに分類された。①濁度上昇を検知では、対応方法は情報収集、原水監視、浄水処理適正化・強化、浄水処理状況の監視が主体となっていた。②原水濁度20～1000度、ろ過水濁度0.05度以上、では原水監視と浄水処理強化が主な対応となっていた。③原水濁度1500度超過、ろ過池濁度0.1度超過、処理困難では、取水停止・取水再開の対応が主体となっていた。

浄水プロセスの場合、「設定ミス等による塩素注入過不足/浄水での残留塩素」を対象とした。抽出された対応基準は23種類あったがすべて異なっており重複することはなかった。対応基準と対応内容の関係をみると、次のように分類された。①設定値± α 型の基準値逸脱、では対応方法は、対応協議や残塩監視という簡単なものであった。②運用範囲逸脱(未満・超過)では、逸脱時の対応としては、塩素注入の適正化、水質監視、注入状況確認、貯蔵改善など塩素注入に関する対応に集中していた。③対応基準値未満では、残留塩素の適正化よりも圧倒的に取水停止の対応が多かった。

給配水システムの場合、「管劣化・腐食/送配水での濁度」、「クロスコネクション/給水での残留塩素」が対象となった。このうち、「クロスコネクション/給水での残留塩素」について見ると、対応基準としては、クロスコネクションが発見された場合と影響程度が大きくクロスコネクションが解消されない場合の2通りで、主な対応は給水停止、改善指導、洗浄、通水であった。

さらに、「危害原因事象/危害因子」の組

み合わせについて、異常検知方法、異常の事実確認方法、対応基準と対応方法を対応マニュアルの形に落とし込み、管理基準逸脱時の標準的な対応マニュアル例を作成することを試みた。このとき、水源から「降雨／原水での濁度」を)、浄水プロセスから「設定ミス等による塩素注入過不足／浄水での残留塩素」を、給配水システムから「クロソコネクション／給水での残留塩素」を採り上げた。

2) 地下水を水源とする中小水道事業体を対象とした水安全計画を用いた代表的な危害、監視方法、管理基準逸脱時対応方法の解析

代表的な危害原因事象／危害因子として、水源では、①ケーシング破損／濁度、②肥料流出／硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素、③地質／マンガン、④畜舎排水の流出／耐塩素性病原微生物、の4つを抽出した。浄水プロセスでは、⑤薬品受け入れミス／残留塩素、⑥設定ミス、注入ポンプ等異常による次亜の注入不足、過剰注入／一般細菌、大腸菌、⑦貯留日数大／塩素酸の3つを抽出した。給配水システムでは、表流水の方の解析で行われている事象は選択せずに、⑧使用量不足による滞留時間大／残留塩素を抽出した。

これらの8つの組み合わせに対して監視方法、監視地点、管理基準を整理した。例えば、①水源の「ケーシング破損／濁度」の場合、「地下水」、「取水」での濁度監視・水質管理が主要であることが確認された。塩素消毒のみの処理では、濁度を除去できないため、浄水場に入る前に取水停止等の対応をとることを目的に管理しているためと考えられた。管理基準については、監視地点が「地下水」及び「取水」の場合、濁度を0.1度以下に設定している浄水場が多く、水質基準の2度以下よりも低く設定している傾向にあった。また、⑤浄水プロセスの「薬品受け入れミス／残留塩素」の場合、監視項目としては手分析（による残留塩素濃度の測定）、水質計器の残留塩素計が多く、主要な監視点は「浄水池等」であった。管理基準については、重要管理点である「浄水池等」の場合、残留塩素の管理基準値については、0.1～0.6mg/Lであった。

対応マニュアルについては、水源における濁度異常、浄水における残留塩素異常に

ついて作成した。前者の場合、事実確認方法は、計器異常の有無の確認、再検査、影響程度の判定、原因判断の4つに分類された。対応方法は、対応基準は異なるものの、取水停止が主要な対策であることが明らかとなった。

後者の場合、検知方法は、水質計器と水質検査の2つに、事実確認方法は、計器確認、注入設備確認、設備確認、現場確認、原因判断、影響程度の判断の6つに分類された。対応基準には浄水の残留塩素濃度が設定され、管理基準値は浄水場によって異なっていた。対応方法は、管理基準範囲を逸脱した場合または管理基準値を逸脱した場合と0.1mg/Lを下回った場合に分けて設定されていた。

3) 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

障害生物を除く水質項目について、独自に設定した項目の検査を実施していたのは約0.5%で、大規模事業体でのみであった。一方、障害生物については、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、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。

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。障害生物については、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マイ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た。

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。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。

4) 水源水質事故対応のためのGISの活用

水源水質事故は、本川、支川だけでなく、本川、支川に流入する可能性がある用水路等広範な事故が水源水質事故情報として寄せられるため、関東一円に分散している。特に、利根川中流域の主に左岸側及び江戸川中～下流域で事故発生件数及び密度が高くなっていた。PRTR制度届出事業所は、多摩川左岸及び荒川支川入間川右岸、埼玉県東南部、利根川中流域で数が多く、密度も高くなっている。水源水質事故ではないが、江戸川流域も事業所菅多い状況であった。産業廃棄物処分業の登録を受けている事業者は、利根川中流域の右岸に一部件数が多いところがあるが、左岸はそれほど多くはない。その他多摩川左岸及び荒川支川入間川右岸、江戸川流域の数が高くなっていた。

平成22年度PRTR制度届出情報を用い、利根川、江戸川、荒川及び多摩川の各水系について河川における化学物質毎のリスクマップを作成した。その結果、水源水質事故情報とPRTR情報のマッピングにおいて、リスクの高い地域の分布については、利根川中流域など、おおむね同様の傾向を持つ地点もあった。一方で、水源水質事故については江戸川流域など極端に高い部分もあった。

今回は、河川区間毎のリスクの把握のために、今回は事業場から同一流域から最短距離の河川地点に流入すると仮定し検討した。しかし、実際には、実際の河川への放流口の位置は、地形などの制約等から必ずしも最短距離地点ではないこと、また、事業所ごとに、どの河川区間に流入するかを入力作業に労力がかかったことが課題として挙げられた。

5) 淀川流域での危害発生地点と監視地点等の図示化による監視体制の検討

淀川流域における油流出事故の発生地点の総数は213箇所、淀川上流の桂川流域では21箇所、宇治川流域では75箇所、木津川流域では67箇所、これら三川の合流地点より下流側では50箇所であった。

定期検査における臭気検査の実施状況を見ると、淀川流域の水道事業体の9浄水場10取水系統において、一日1回以上の頻度で原水の臭気検査を実施していた。油の連

続監視体制を見ると、4箇所油膜検知器が設置され、3箇所に油分モニタを設置予定であった。油類検知可能性を検討するVOC計については、4箇所に設置されていた。

平成26年9月の油流出事故時のVOC計によるクロマトグラムを解析した結果、VOC計を用いることで、油臭が感じられるA重油の流出を検知できる可能性が示された。ただし、VOC計を用いた原水中油類検知のための監視対象VOCとしては、トリメチルベンゼンのように比較的密度が高く、疎水性が低く、かつ沸点が高い成分が望ましいと考えられた。平成28年3月の油臭事故時のクロマトグラムの結果からも、VOC計を用いることで臭気が感じられる油流出事故を検知できる可能性が示された。

油類の連続監視方法として、油膜検知器、油分モニタ、VOC計の特徴等を整理した。油膜検知器は、構造が簡単で維持管理性に優れているが、センサーの直下に油膜がないと検知できないというデメリットもある。油分モニタは油膜検知器に比べて構成する機器が多くコストも高いが、油膜にならない油分を検知できるというメリットがある。VOC計も油分モニタと同様、付属機器やコストが課題となるが、水中に溶解した油分を検知可能で、かつ淀川流域において発生ポテンシャルが高いと推測されるVOCの監視も可能であると考えられた。

6) 連続自動水質計器の設置、活用状況に関する調査

急速ろ過方式では、31種の水質計器が設置され、いずれかの設置箇所に1種以上の水質計器が設置されていた浄水場の割合（以下、設置率）は99%であった。設置率が50%以上であった水質計器は8種であった。自己メンテナンスの頻度は、1週間以内、あるいは1ヶ月以内の割合が高かった。委託メンテナンスの頻度別は、1年以内の割合が高かった。水質計器の設置箇所別の活用状況は、管理基準や指標値を設定している水質計器が多く、自動制御を行っている水質計器の数は、凝集沈殿水～浄水の残留塩素計、原水の濁度計が比較的多かった。消毒のみの場合、設置されていた水質計

器は 8 種で、設置率は 98%であった。自己メンテナンスの頻度は、生物センサー以外は、1 ヶ月以内という回答の割合が高く、委託メンテナンスの頻度は、生物センサー以外は、3 ヶ月以内、1 年以内という回答の割合が高かった。活用状況は、全体的に見ると管理基準や指標値を設定している水質計器が多かった。

緩速ろ過方式の場合、設置されていた水質計器は 13 種で、設置率は 100%であった。自己メンテナンスの頻度は、全体的には 1 ヶ月以内が高かった。委託メンテナンスの頻度は、全体的には 1 年以内、3 年以内、不定期の割合が高かった。活用状況は、全体的に見ると管理基準や指標値を設定している水質計器が多かった。

膜ろ過方式の場合、設置されていた水質計器は 17 種で、設置率は 100%であった。自己メンテナンスの頻度は、全体的には 1 週間以内と 1 ヶ月以内の割合が同程度であった。委託メンテナンスの頻度は、全体的には 1 年以内が高かった。水質計器の活用状況は全体的に見ると管理基準や指標値を設定している水質計器が多かった。

代替指標として利用していた水質計器は 13 種で、生物センサー、高感度濁度計、塩素要求量計、紫外吸光光度計、電気伝導度計を代替指標として利用しているところが多かった。測定原理について見ると、生物センサーは、そのほとんどは魚類監視装置を設置していた。残留塩素計は、回答を得た全てのところでポーラログラフ法を採用していた（複数設置を含む）。無試薬型が多かった。高感度濁度計は、粒子数計測法が多かった。

設置している水質計器のうち、特に利用価値が高くお勧めのものについて調査したところ、17 種類の計器について回答が得られた。これまでに設置した水質計器のうち、利用において課題があると考えられるものについて調査したところ、16 種について回答が得られ、メンテナンスが難しい、部品交換頻度が高いなどの理由が多かった。このような機能を持った水質計器があると便利と考えられるものについては、水質計器

によらず共通の機能（メンテナンスフリー、自動採水機能を有するもの、簡易的な測定データの遠隔監視）と、21 種の水質計器についての回答が得られた。水質計器のデータの活用度を高める方法について意見を求めたところ、水質計器の設置箇所、維持管理、機能に関するもの、測定データの利用に関するものが挙げられた。

7) 水道水質管理における連続自動水質計器の役割と開発状況

ヒアリングの結果、一般的な水質計を除いた連続自動水質計器は 56 機種あった。測定成分で分類すると 22 種となった。これら水質計器について、統一した様式で仕様を整理した。

8) 水道原水及び処理水の連続監視データの変動解析

原水の濁度、pH、電気伝導度について、そのトレンドから変動を解析する指標を採り上げ解析した。濁度の場合、突発性の視点から「ピーク数」を、年間変動の視点から「第 3 四分位－中央値」を指標とした。pH の場合、日内変動の視点から「1 日変動の中央値」を、日内変動のばらつきから「1 日変動の四分位範囲」を、年間変動の視点から「1 日最小値の四分位範囲」を指標とした。電気伝導度の場合、日内変動のばらつきから「1 日変動の四分位範囲」を、年間変動の視点から「相対四分位偏差」を指標とした。

これら 8 つの指標を用いて主成分分析を行ったところ、pH と電気伝導度に関する固有ベクトルのばらつきが少なく、濁度と電気伝導度も類似の固有ベクトルであった。pH の「1 日変動の四分位範囲」と電気伝導度の「中央値」を除き、6 つで再度主成分分析を行ったところ、累積寄与率は 3 項目で 75.97 %に達した。

この 6 つの指標を用いて、各事業体を対象にレーダーチャートを作成した。各事業体の濁度、pH、電気伝導度の変動特性や、限定的ではあるが原水安定性を視覚的に把握するためのグラフを作成できた。また、各事業体で各項目の値を求めることで、その浄水場がどのような変動を受けやすいか

把握し、同様の水系や水源を持つ事業体間での情報共有に有用であると考えられた。これらの項目は多くの事業体で入手可能な連続監視データであり、これらの変動の解析が原水水質全体の変動の代表となる可能性が考えられた。

次に、濁度を採り上げ、複数の地点での連続データを解析した。原水濁度と沈殿水濁度の関係を見ると、沈殿水濁度が高いのは、見かけ上、原水低濁度時に偏在しており、特定の場合を除き原水高濁度時には各浄水場とも着実に対応していることがわかった。また、沈殿水濁度が高いのは、見かけ上、原水低濁度時に偏在しているように見えたが、実際のデータ分布の比率では、必ずしも原水低濁度時に沈殿水濁度が高くなりやすいとは言えなかった。原水濁度とろ過水濁度の関係を見たところ、全国的に、原水濁度にはばらつきが見られたが、着実に処理を行うことでろ過水では濁度が安定していることが確認できた。しかしながら、ろ過水濁度が相対的に高くなるのは、原水低濁度時に多くなる傾向があり、共通の課題として原水低濁度時にも留意が必要な場合があるということがデータで示された。

浄水の残留塩素について、各事業体で比較した。年間の中央値は、事業体ごとでことなり残留塩素の管理の違いが確認できた。また、4時間変動の中央値はいずれも0.1 mg/L以下になっており、全国的にフィードバックにより着実に制御されていることが示された。残留塩素の年間の中央値が高い浄水場は、4時間変動の中央値も比較的高くなる傾向が見られ、次亜塩素酸ナトリウムの注入量が多い浄水場は、短時間における変動も大きくなりやすく、注入量が少ない浄水場に比べ、フィードバック制御のばらつきは安定しにくいと推察された。

9) 連続自動水質計器を用いた処理性能評価手法の開発

調査期間中、処理水流量は3030～6025 m³/hr、供給オゾン流量は557～657.5 m³/hrであった。オゾン注入率は0.63～3.32 mg/Lで、冬期に低く、夏期に高かった。

溶存オゾン濃度は、活性炭槽入口で通常は0.25 mg/Lに設定され、一定の期間、制

御値が0.20および0.30 mg/Lに設定されていた。第三接触槽後では、0.22～0.64 mg/Lの範囲で、夏季に活性炭槽入口の管理溶存オゾン濃度を低下させている期間について、その範囲は、0.35～0.56 mg/Lであり、管理値を低減しているにも関わらず、比較的高濃度であった。第二接触槽後では、0.08～0.32 mg/Lで、第三接触槽後の濃度に追随していた。第一接触槽後では、最大値は0.063 mg/Lで多くの日時で濃度は低かった。

推定パラメータを推定し、それを基にオゾン Ct 値を推定したところ、概ね3³~10 mg/L・min.程度の範囲であった。温度が高い時期ほど Ct 値は高く、温度が低い時期ほど Ct 値が低かった。これは、高水温期にオゾンの分解が速い一方、管理・制御はほぼ同じ値で活性炭前の溶存オゾン濃度を用いて行っているため、第三接触槽もしくは第三滞留槽での溶存オゾン濃度を高く保つためであると考えられた。

活性炭前溶存オゾン濃度とそのデータが得られた時の滞留時間とを用いて、積として計算したオゾン Ct 値と比較した。この値はオゾン処理槽内の溶存オゾン濃度分布がわからない場合には、適用しうる指標ではあるが、本研究で行ったように濃度分布を考慮した解析結果と比べて、低水温期は過大評価を、高水温期は過小評価している可能性があることが示された。

10) 水質異常時における摂取制限を伴う給水継続 ～不可避な場合のリスク管理～

水質事故が起こった場合を想定すると、少なくとも幾つかの場合分けがあると考えられる。一つには原水のみ異常の場合である。原水の異常はなるべく早く察知して、改善を図ることが望ましい。一方浄水処理過程に入ってしまった場合は、凝集強化や粉末活性炭の注入、塩素注入の強化など、取り得る手段は多くはない。事前の検討を行うことが必要である。

実際に水質事故が起こり、基準超過の可能性がある場合や判断に迷う場合は、通知にあるように「飲料水健康危機管理実施要領」に基づき厚生労働省に報告を行うことになる。それを踏まえ、厚生労働省、国立保健医療科学院、国立医薬品食品衛生研究

所等においても、できる限りのサポートを行うことが考えられる。

水源汚染の防止や、原水、工程水、給配水の各段階を含む危機管理マニュアルの策定、これらを総合する水安全計画の策定は非常に重要である。上流において用いられている化学物質を把握すること、水質監視体制の整備も重要である。加えて、より高感度な理化学的及び生物学的な監視等を行い、水質汚染の早期発見を確実にすることも今後の課題である。

実際に水質事故が起こった場合、問い合わせ対応には、多くの人員が必要となるため、素早くマニュアルを作成し、他部局の職員等でも回答できる体制を作ることが重要である。

E. 結論

1) 表流水を原水とし、浄水処理方式として急速ろ過方式を採用している浄水場の策定済み水安全計画を用いて、異常の検知方法、異常の事実確認方法、対応基準と対応方法を解析した。また、管理基準逸脱時の標準対応マニュアル例の作成を試みた。

2) 地下水を原水とし、塩素処理のみ及びUVと塩素処理を組み合わせている浄水場の策定済み水安全計画について、解析を行い、優先度の高い危害因子を抽出し、その監視方法、管理基準、対方法について整理、解析を行った。

3) 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者のみであった。障害生物については、大規模事業者ほど検査対象とされる割合が高まった。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。アンケート調査対象の事業者の約 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者のみであった。

4) 東京都の水源水質事故情報と水質汚濁防止法に基づく届出特定排出事業場情報等のマッピングの結果、水源における過去の水源水質事故発生地点を採水地点とした定期的監視の代表地点の設定にもマッピング情報を踏

まえて合理的な検討が行えるようになった。

また、水質事故時の情報連絡においても各関係者が共通の認識で情報のやり取りが図れ、化学物質を取り扱う水源の事業者に対する注意喚起に関しても、活用できると考えられた。

5) 淀川流域では、9 浄水場 10 取水系統で一日 1 回以上の頻度で原水の臭気検査が実施され、4 箇所油膜検知器と VOC 計が設置され、3 箇所油分モニタが設置予定であった。VOC 計は原水中の油類検知可能性があるが、監視対象 VOC としては、比較的密度が高く、疎水性が低く、かつ沸点が高い成分が望ましいと考えられた。

6) 4 つ（急速ろ過方式、消毒のみ、緩速ろ過方式、膜ろ過方式）の処理方式によらず、本研究で対象とした浄水場の 98%以上（処理方式別の割合）で、1 種以上の水質計器を設置していた。消毒のみの場合を除き、濁度計、残留塩素計、pH 計は複数地点で設置している割合が高かった。全体的に見ると、メンテナンスを行っている場合、自己メンテナンスは 1 ヶ月以内、委託メンテナンスは 1 年以内の割合が共通して高い傾向にあった。処理方式によらず、水質計器の活用方法は、管理基準や指標値を設定している場合が多い傾向にあった。生物センサー、高感度濁度計、塩素要求量計、紫外部吸光光度計、電気伝導度計を代替指標として利用しているところが多かった。水質計器に対する要望としては、メンテナンスフリーであること、コストが低いことが共通していた。水質計器に関する活用度向上としては、水質計器の設置箇所、維持管理、機能に関するもの、測定データの活用に関するものがあつた。

7) 22 測定成分の 56 種の水質計器について、統一した様式で仕様を整理した。

8) 全国 20 事業者の連続監視データのうち、設置事業者数が多い原水濁度、pH、電気伝導度の連続監視データについて、水質変動の比較解析を行った。これらの項目は多くの事業者で入手可能な連続監視データであり、これらの変動の解析が原水水質全体の変動の代表となる可能性が考えられた。原

水、沈殿水、ろ過水での濁度の変動も比較解析を行ったところ、原水では浄水場毎に濁度のばらつきが見られたが、多くの浄水場において、着実に処理をすることでろ過水では濁度が安定していた。浄水の残留塩素については、フィードバックにより、残留塩素の短時間の変動は 0.1 以下に着実に制御されていたが、残留塩素が高い浄水場は短時間の変動も比較的大きくなる傾向が確認できた

9) 構築したオゾン処理性能評価のための推定手法により、溶存オゾン濃度の実測値と推定値を比較したところ、良好な再現が可能であった。オゾン処理性能としてのオゾン Ct 値を推定したところ、温度が高い時期ほど Ct 値は高く、温度が低い時期ほど Ct 値が低かった。実測値から得られる Ct 値と比べると若干高い値が得られたが、今後モデル設定の精度を上げることで改善は可能と考えられた。

10) 事故対策では、事故が起こらないようにすることが最も重要であるが、一方で、起こった後の被害を出来るだけ軽減することも重要である。中でも『水質異常時における摂取制限を伴う給水継続』は、あくまでもやむを得ない場合のリスク管理として、考えておかなければならない事項である。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

1) 浅見真理, 大野浩一. 水質異常時における摂取制限を伴う給水継続 ～不可避な場合のリスク管理～. 水道. 2016, 61 (5), 16-29. (査読無し)

2. 学会発表

1) 佐々木賢史, 小川将司, 大野浩一, 小坂浩司, 秋葉道宏. 水安全計画を用いた優先度の高い危害の監視手法解析. 平成 28 年度全国会議(水道研究発表会)講演集. 2016, 796-797.
2) 北なつ海, 田中康夫, 橋本久志. VOC 計

を用いた原水中油類の連続監視に関する検討. 平成 28 年度全国会議(水道研究発表会)講演集, 2016, 676-677.

3) 小池友佳子, 宮林勇一, 斎藤健太, 小坂浩司, 浅見真理, 佐々木万紀子, 佐藤三郎, 秋葉道宏. 全国の浄水場を対象とした連続自動水質計器の設置, 活用状況に関する調査. 平成 28 年度全国会議(水道研究発表会)講演集. 2016, 670-671.

4) 斎藤健太, 朝野正平, 宮林勇一, 小池友佳子, 浅見真理, 小坂浩司. 連続監視データの解析による原水の水質管理に関する検討. 平成 28 年度全国会議(水道研究発表会)講演集. 2016, 672-673 .

5) 朝野正平, 斎藤健太, 宮林勇一, 小池友佳子, 浅見真理, 小坂浩司. 連続監視データの解析による浄水の水質管理に関する検討. 平成 28 年度全国会議(水道研究発表会)講演集. 2016, 674-675 .

3. その他

1) 浅見真理. 将来の水道におけるリスク管理のあり方. 首都大学東京水道システム研究センター主催公開セミナー. 平成 28 年 10 月 22 日. 東京.

2) 浅見真理. 水道水質管理の現状と課題. 簡易水道協議会水道実務者研修. 平成 28 年 10 月 25 日. 東京

3) 浅見真理. 水質異常時における摂取制限を伴う給水継続の考え方について. 北陸公衆衛生研究所環境講演会講師. 平成 28 年 11 月 11 日. 福井.

4) 浅見真理, 大野浩一. 水質異常時における摂取制限を伴う給水継続の考え方について. 関係者による情報交換会. 平成 29 年 1 月 26 日. 東京.

5) 浅見真理. 水質異常時における摂取制限を伴う給水継続の考え方について. 木曾川水系水質保全連絡協議会. 平成 29 年 2 月 1 日. 名古屋.

6) 浅見真理. 水道水質管理の現状と課題. 第 49 回水道実務指導者研究集会. 平成 29 年 2 月 23 日. 東京.

7) 大野浩一. 水質異常時における摂取制限を伴う給水継続の考え方について. 北千葉広域水道企業団水道関係研修会. 平成 29 年 2 月 23 日. 千葉.

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

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

平成28年度 分担研究報告書

平成29年3月

表流水を水源とする浄水場における
水安全計画を用いた代表的な危害対応方法の解析

研究分担者	大野	浩一
研究代表者	小坂	浩司
研究分担者	秋葉	道宏
研究協力者	江端	克明
研究協力者	和田	亮太
研究協力者	清水	くるみ

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：表流水を水源とする浄水場における水安全計画を用いた代表的な危害対応方法の解析

研究分担者	大野 浩一	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
研究分担者	秋葉 道宏	国立保健医療科学院	統括研究官
研究協力者	江端 克明	神奈川県内広域水道企業団	技術部設計課
研究協力者	和田 亮太	横浜市水道局	給水サービス部給水維持課
研究協力者	清水くるみ	宮崎県都城保健所	衛生環境課 監視指導担当

研究要旨

水源から給水栓までの統合的リスク管理手法である水安全計画において、優先度の高い危害原因事象、危害因子、それらへの対応方法を示すことは、水安全計画未策定の事業体に対して有益な知見となりうる。本研究では、表流水を原水とし、浄水処理方式として急速ろ過方式を採用している 21 事業体 21 浄水場の策定済み水安全計画を用いて、危害発生箇所を「水源」、「浄水プロセス」「給配水システム」に分類し、リスク管理方法の解析を行った。各危害原因事象とそれに対応する危害因子の組み合わせについて、異常の検知方法、異常の事実確認方法、さらには対応基準と対応方法の解析を行った結果、各危害に対するリスク管理方法の傾向と複数の浄水場に類似する特徴を抽出することができた。また、「水源」、「浄水プロセス」「給配水システム」について、それぞれ危害原因事象と危害因子の組み合わせを1つ採り上げ、管理基準逸脱時の標準対応マニュアル例の作成を試みた。本研究で提示した標準対応マニュアル例を含めた成果は、表流水を水源とし、浄水処理プロセスに急速砂ろ過システムを採用している水道事業体、特に中小規模の事業体において、水安全計画を策定するきっかけや参考資料として活用されることが期待される。

A. 研究目的

安全な水道水を供給する観点から、水道システム、特に水道水源での危害を同定し、水源あるいは浄水プロセスにおいて水質変動・異常を検知し、迅速に対応することが重要な課題の一つである。しかしながら、水源から給水栓までの統合的リスク管理手法である水安全計画の策定率は低く、特に中小水道事業体ではこれらの課題への十分な対応は取られていない。

そこで本研究では、既に水安全計画を策定している水道事業体の資料をもとに、水道システムにおいて優先度の高い危害原因事象、危害因子、また、それらへ監視と対応方法について抽出、解析を行う。このことで、水安全計画を未策定の事業体、特に中小事業体に対して、策定に有益となる知見を示すことを目的としている。

平成 26 年度においては、水道システムを水道水源、浄水プロセス、給配水システムの 3 要素に分け、原水種類および浄水処理方式等によって、どのような危害原因事象や危害を高リスクレベルに設定しているかについての抽出と検討を行った。平成 27 年度は、リスクレベルの高い危害を対象に、表流水を原水とし、急速ろ過方式の浄水場における監視方法の解析を行った。

本年度は、表流水を水源とする浄水場の優先度

の高い危害原因事象や危害因子について、リスク管理方法や管理基準逸脱時の対応等についての解析を行った。

B. 研究方法

前年度までの研究でデータベース化を行った浄水場別水安全計画を基に、表流水を原水とし浄水処理方式として急速ろ過方式を実施している 21 事業体 21 浄水場の水安全計画を解析対象とした。それぞれの水安全計画によって、様式や表記方法が異なるため、水安全計画策定ガイドライン¹⁾あるいは「水安全計画－危害分析用ファイル」の Excel ファイル²⁾様式に統一してある。

前年度までの研究で選定した危害原因事象－主要因子の組み合わせと、その危害因子を管理するために、事業体が管理点、重要管理点をどのように設定しているかを表 1 に示す。表 1 において、危害原因事象の区分と同じ処理プロセス上の管理点、重要管理点の対応マニュアルを選定することを基本とした。耐塩素性病原生物（クリプトスポリジウムなど）の因子については、「水源」「浄水」「給配水」で共通する部分が多いため、「水源」のみで管理点・重要管理点の選定を行った。選定した管理点、重要管理点（表 1 に網掛けで示す）について、対応マニュアルの集計を行った。

対応マニュアルから、検知方法、事実確認方法、各種対応を行う際の対応基準、具体的な対応内容を集計し、分析を行った。また、この解析結果をまとめて、管理基準逸脱時の標準対応マニュアル例の作成を試みた。

C. 研究結果およびD. 考察

1. 危害原因事象別の危害因子への対応基準とその対応方法

水源、浄水プロセス、給配水システムについて、優先度の高い危害原因事象と対応する危害因子の組合せ（「危害原因事象／危害因子（危害発生場所を含む場合あり）」の形で示す）の中から、それぞれ5、1、2つの組み合わせを採り上げ、整理・解析を行った。

1.1 危害発生箇所が水源である場合の対応方法

1) 降雨／原水濁度（集計マニュアル数 $n=11$ ）

a) 異常検知方法（表 2-1）

検知方法をグループ化すると（水質）計器、水質試験、巡視・目視、水源監視、関係部署からの情報、システム等の6つに分類された。集計した11すべての対応マニュアルで、濁度計（連続測定）が検知方法に挙げられていた。また、日常・定例の水質試験による検知を記載している浄水場が3つで、それ以外の方法は1浄水場ずつであった。

b) 事実確認方法（表 2-2）

事実確認方法をグループ化すると、計器異常の有無の確認、濁度発生等の確認、情報提供・収集を含む6つに分類された。計器異常の有無の確認は、集計した11すべての対応マニュアルで、実測値との比較による方法であった。それ以外の計器異常の確認方法として、他の水質計器のトレンドを比較するという方法があった。

c) 対応方法（表 2-3）

対応基準には、原水濁度とろ過水濁度が設定されていた。原水濁度の対応基準値は、浄水場によって異なり、20～1500度まで幅があった。ろ過水濁度の対応基準値は0.05度と0.1度であり、これらはクリプトスポリジウム等対策指針におけるろ過水濁度の指針値（0.1度）から設定したものであると考えられる。

対応基準値と超過時の対応の関係を以下の3つのグループに整理した。

①濁度上昇を検知：この段階では原水濁度がどの程度まで高くなるのかが不明であるため、情報収集、原水監視、浄水処理適正化・強化、浄水処理状況の監視が主体となっていると考えられる。

②原水濁度 20～1000 度、ろ過水濁度 0.05 度以上：原水濁度とそのときの対応は浄水場によって異なるが、この範囲では原水監視と浄水処理強化が主な対応となっている。場合により取水停止等

の対応の記載もあるが、浄水場の能力差によるばらつきと考えられる。ろ過水濁度 0.05 度以上という対応基準では、浄水処理強化と取水停止対応の両方の記載がある。

③原水濁度 1500 度超過、ろ過池濁度 0.1 度超過、処理困難：この対応基準では取水停止・取水再開の対応が主体となる。

2) 降雨／沈でん水濁度（ $n=8$ ）

a) 異常検知方法（表 3-1）

原水での濁度監視と同様に、集計した対応マニュアル8つ全てで、沈でん池出口に設置した濁度計（連続測定）で異常検知を行っていた。次に対応マニュアル数が多かったのは、原水濁度の場合と同様に、日常・定例の水質試験（2つ）と巡視目視（2つ）であった。

b) 事実確認方法（表 3-2）

原水の場合と同様に、水質計器の異常有無確認を挙げている浄水場が最も多かった（6つ）。また、沈でん池出口での濁度異常に対する確認であるため、関連する薬注設備、薬注状況の他、沈でん池内の密度流、沈降フロクの巻上げに関連する内容である気象、水温、掻き寄せ機の確認など、さまざまな内容の記載が見られた。各内容の記載数は1～2がほとんどであり、複数の浄水場で同じ記載となる内容はほとんどなかった。

c) 対応方法（表 3-3）

対応基準については沈でん池濁度とろ過池濁度、浄水濁度で設定されていた。沈でん池濁度は1～2度が対応基準として設定されており、逸脱した場合の対応としては水処理強化が主なものであった。ろ過池・浄水濁度の基準は0.05～0.1度であり、逸脱時は取水・浄水の停止が主な対応内容であった。

対応基準と対応内容の関係について、以下の3つに整理した。

①濁度異常検知～沈でん池濁度 0.8 度超過：初動的な対応であり、水処理状況確認、浄水監視強化、水処理強化の3つの対応が主体である。

②沈でん池濁度 1～2 度超、ろ過池濁度 0.05 度超：浄水処理強化のほか、沈でん池操作、排水や取水量減量、ろ過池運用、浄水処理停止の対応も記載されている。①よりも総合的な対応となる。

③浄水濁度 0.1 度超過・管理基準逸脱（基準不明）：取水量減量、浄水処理停止、広報と応急給水の対応が主体となる。

3) 車輛等事故・水上バイク／原水での油（ $n=7$ ）

a) 異常検知方法（表 4-1）

油分計、油膜検知器など水質計器によって検知している浄水場は5つあった。巡視点検は3つと多かったが、目視で比較的容易に油膜が確認でき

るためと思われる。また、関連部署等からの情報提供が6つと多かった。記載内容から、同じ流域にある複数事業体や河川関連部署と水質事故情報を共有できる取り組みを行っているものと推察された。

b) 事実確認方法 (表 4-2)

計器による検知を行っている浄水場の場合、事実確認方法として、計器指示値の確認や異常がないかの点検を挙げている。特に多いのが油膜・油分を検知した実際の現場で油膜、油臭を確認するという方法であった。

油種・油量・汚染状況などの情報から浄水場への影響を予測する、浄水処理工程での臭気試験により浄水場内にどの程度影響が広がっているかを判断する、といった内容の記載も多かった。油が浄水場内に入った場合に対応が大変となることや、わずかでも臭気が残ると給水が難しくなるといったことによるものと考えられる。また、関連部署に情報を提供するという記載も多かった。

c) 対応方法 (表 4-3)

油の場合は油膜や臭気による判断が主であるため、対応基準は定性的なものであった。3つのグループに整理した。

①原水で油膜や油臭(わずか)があり、浄水場内へは流入していない場合：水源監視や活性炭注入等の浄水処理強化、油が浄水場内に流入する前に取水を停止するという対応が主体である。

②原水中の油膜・油臭があり浄水場内に流入してしまった場合：浄水処理強化と取水停止等の両方で対応する。

③浄水場内に油が流入し処理困難となった場合：浄水処理での対応は困難であるため、取水・処理停止が主体の対応となる。給水停止といった項目がないのは、当該対応マニュアルが原水におけるものであるためと考えられる。

4) (下水) 処理施設からの放流水/原水での耐塩素性病原生物 ($n=5$)

a) 異常検知方法 (表 5-1)

ほとんどが定期的水質試験によるものであった。1つの浄水場で濁度計による常時監視を記載していた。

b) 事実確認方法 (表 5-2)

複数の浄水場で重複している記載が少なく、ばらついていた。記載内容をグループ化すると、計器異常・水質検査結果の間違ひの確認、水質検査の実施、水源等の確認、発生場所の特定、浄水場内影響等の確認、関係部署からの情報提供の6つに区分できた。

c) 対応方法 (表 5-3)

対応基準は、浄水処理による対応が可能な場合と不可能な場合、原水で検出された場合の3つで

あった。以下の2つの区分で整理した。

①原水で検出された場合：水源・原水監視、凝集処理の適正化等の浄水処理の強化や浄水処理工程の監視が主な対応であった。取水減量・停止対応の記載もあった。

②原水または浄水で検出(浄水処理対応不可)：実質的に浄水で検出された場合か、浄水処理能力を超えた数で検出された場合である。この場合は浄水処理の強化対応の記載はなく、水源監視と取水停止の対応が主体となっていた。煮沸勧告の広報についての記載もあった。

5) (下水) 処理施設からの放流水/ろ過水での耐塩素性病原生物 ($n=5$)

a) 異常検知方法 (表 6-1)

原水での対応マニュアルと異なり、ろ過池出口の濁度計で検知するという記載が4浄水場で確認された。定期水質検査による検知も記載方法は異なるが4浄水場で記載されている。ろ過抵抗・ろ過継続時間の異常による検知の記載が1浄水場であった。

b) 事実確認方法 (表 6-2)

水質計器異常・水質測定結果の異常有無の確認の記載が多かった。原水のとくと同様にそれ以外の項目では重複する記載がなく、ばらついていた。

c) 対応方法 (表 6-3)

対応基準としては、原水におけるクリプトスポリジウムの検出有無のほかに、ろ過水濁度による設定が見られた。それ以外には施設能力を超えた場合という基準もあった。対応の内容は原水に比べて多く、排水処理設備やろ過池運用に関する記載もあった。対応基準を4グループに整理した。

①原水にクリプトスポリジウム等を検出、ろ過池出口濁度 0.05 度超過：浄水場内にクリプトスポリジウムが流入していた場合、ろ過池からの流出の可能性が高まっている状態であり、水源やろ過水監視強化、浄水処理強化、ろ過池適正運用の対応が主体である。取水停止の記載があるが、これは浄水場内に極力侵入させないための対応と考えられる。

②ろ過水濁度 0.1 度超過：クリプトスポリジウム対策指針の指針値を超過した状態である。これを基準としている浄水場は多く、記載内容も多岐に亘っている。原水・浄水の監視強化、浄水処理強化、ろ過池適正運用といった浄水処理の対応と、取水・給水停止、再開の対応も混在して記載されている。取水停止や給水停止は安全をみた対応であると考えられる。クリプトスポリジウムによる汚染が疑われる場合の煮沸勧告等の広報対応の記載もあった。

③施設能力超過：基準は明確ではないが、内容から、ろ過池出口濁度 0.1 度以下を維持できない程

度の状況と考えられる。浄水処理強化や浄水処理停止と浄水施設内排水の対応の記載があった。

④ろ過水からクリプトスポリジウム検出：この場合は給水が不可能であるため、給水停止、浄水施設洗浄、煮沸勧告広報等の対応が主体であった。

6) 富栄養化／原水でのかび臭物質 (I=8)

a) 異常検知方法 (表 7-1)

原水の定期水質調査や臭気試験の記載が多かった。かび臭物質連続測定装置による検知も3浄水場で記載があった。関連機関からの情報提供による検知も比較的多く、3浄水場で記載があった。

b) 事実確認方法 (表 7-2)

水質計器・水質試験結果の異常の確認と原水・浄水の再試験の記載が多かった。

c) 対応方法 (表 7-3)

原水かび臭原因物質濃度で対応基準が設定されていたが、その値は浄水場により大きく異なっていた。浄水によるかび臭原因物質濃度の対応基準も設定されており、値としては2-MIBまたはジェオスミンの水質基準値の1/2の5ng/Lと水質基準値の10ng/Lの2つの値があった。対応基準をグループ化して以下の3つに整理した。

①原水及び浄水かび臭原因物質濃度5ng/L超過：対応としては浄水処理強化が主体の対応となる。水源確認・原水と浄水水質監視の記載もあった。

②原水かび臭原因物質濃度10～100ng/L超過：浄水場によって対応基準に設定している値が異なっており、浄水処理強化と取水停止対応が混在している。

③浄水かび臭原因物質濃度5ng/L超過(原因沈でん池以降)、浄水かび臭原因物質濃度10ng/L：浄水処理では十分に対応できない状態であるため、基本的には取水停止が主対応となる。

1.2 危害発生箇所が浄水プロセスである場合の対応方法

1) 設定ミス等による塩素注入過不足／浄水での残留塩素 (I=10)

a) 異常検知方法 (表 8-1)

異常検知の方法は少なく、水質計器、検査、通報の3種類で、すべての10浄水場で水質計器による検知を採用していた。通報については用水供給事業を行う浄水場1つのみで記載があった。

b) 事実確認方法 (表 8-2)

事実確認方法も3つのグループのみであった。実測との比較による計器異常の確認はすべての浄水場で記載があった。それ以外の項目は複数の浄水場に共通するものはなく、ばらついていた。

c) 対応方法 (表 8-3)

抽出された対応基準は23種類あったがすべて異なっており重複することはなかった。浄水の残

留塩素管理の方法は浄水場によって様々であり、原水水質、浄水池の容量、送配水管の滞留時間などの多くの因子によって影響されるためと考えられる。対応については、残留塩素計点検、水質監視強化、注入設備・状況確認、注入量適正化、取水停止など多岐に亘っていた。

対応基準と対応内容の関係については、残留塩素濃度でグルーピングを試みたがわかりやすい関係性を見出せなかったため、同じような対応がクロス集計上で固まるように対応基準を並べ替えたところ、基準設定の形式でグループ化ができることがわかった。これにより対応基準を4つに分類した。なお、対応基準のグループ化に用いた基準設定形式については表8-4のとおりである。

①設定値± α 型の基準値逸脱：この形で記載された基準値を逸脱した場合の対応は、対応協議や残塩監視という簡単なものであり、逸脱の影響度合いとしては非常に小さいと推定される。

②運用範囲逸脱(未満・超過)：例えば0.4～1.0mg/Lのようにある範囲で表現される対応基準であり、この逸脱時の対応としては、塩素注入の適正化、水質監視、注入状況確認、貯蔵改善など塩素注入に関する対応に集中していた。

③対応基準値未満：この形で設定された対応基準を逸脱した場合の対応は、残留塩素の適正化よりも圧倒的に取水停止の対応が多かった。

1.3 危害発生箇所が給配水システムである場合の対応方法

1) 管劣化・腐食／送配水での濁度 (I=5)

a) 異常検知方法 (表 9-1)

検知方法をグループ化すると、自動水質計器、定期的水質検査、外部から連絡・苦情の3つであった。ユーザーからの問い合わせ・苦情等による検知が多いのが特徴的である。送配水は浄水場など管理・監視拠点から離れた箇所に広く存在し、異常検知の方法が限られてしまうためと考えられる。

b) 事実確認方法 (表 9-2)

検知方法が単純であるのに対して、事実確認の方法にはさまざまな内容の記載があり、5つのグループに分類できた。それぞれのグループにおける記載数合計が4～6と多く、どの浄水場もこの5グループの内容の事実確認を行っているものと考えられる。

c) 対応方法 (表 9-3)

対応基準としてはほとんどが送配水における濁度が設定されており、値としては水質基準値(2度)を設定している対応マニュアルがほとんどであった。また、給水濁度の異常や、送配水濁度0.05度、0.1度を設定している対応マニュアルもあった。この対応基準は対応内容から濁度異常検知の

初動対応として設定されていると考えられる。

対応基準を、次の3つに整理した。

①給水濁度異常確認、送配水濁度0.1度超過：送配水における濁度異常検知後の初動的な対応であり、情報共有、工事等の作業有無確認、影響範囲推定、管損傷の確認の4項目である。

②送配水濁度 水質基準値(2度)超過の恐れ：被害の拡大を防ぐための対応が多く、送配水停止、配水管等の排水実施の対応が主体である。管劣化の可能性もあることから、管の更新検討を対応内容として記載している対応マニュアルもあった。

③送配水濁度 水質基準超過：送配水は不可能となるため、送配水停止、飲用停止、応急給水やバックアップ、排水作業の対応となる。

2) クロスコネクション／給水での残留塩素 ($IF=5$)

a) 異常検知方法 (表 10-1)

検知方法は全ての事業体で、ユーザーからの問い合わせのみであった。

b) 事実確認方法 (表 10-2)

複数の事実確認方法が記載されていたが、多くの事業体で類似の確認方法がとられていた。

c) 対応方法 (表 10-3)

対応基準としては、クロスコネクションが発見された場合と影響程度が大きくクロスコネクションが解消されない場合の2通りであった。当然ながらクロスコネクションが発見された場合の対応は5浄水場とも記載されており、内容もほとんど重複していた。主な対応としては給水停止、改善指導、洗浄、通水となっている。

2. 管理基準逸脱時の標準対応マニュアル例の作成

前項までの解析により、異常検知方法、異常の事実確認方法、対応基準と対応方法について、記載事項の傾向や共通した特徴などを明らかにすることができた。この結果を再び対応マニュアルの形に落とし込むことで、管理基準逸脱時の標準的な対応マニュアル例を作成することを試みた。危害発生箇所が水源である場合の例として「降雨／原水での濁度」(表 11)、危害発生箇所が浄水プロセスである場合の例として「設定ミス等による塩素注入過不足／浄水での残留塩素」(表 12)、危害発生箇所が給配水システムである場合の例として「クロスコネクション／給水での残留塩素」(表 13)、それぞれの標準対応マニュアル例を示す。

E. 結論

表流水を原水とし、浄水処理方式として急速ろ

過方式を採用している21事業体21浄水場の策定済み水安全計画を用いて、危害発生箇所が「水源」であるものを中心に、「浄水プロセス」「給配水システム」についてもリスク管理方法の解析を行った。異常の検知方法、異常の事実確認方法、さらには対応基準と対応方法について解析を行うことで、それぞれの危害に対するリスク管理方法についてその傾向と類似の特徴を抽出することができた。また、水源、浄水プロセス、給配水システムについて、それぞれ1つずつ、管理基準逸脱時の標準対応マニュアル例の作成を試みた。

本研究で提示した標準対応マニュアル例を含めた成果について、表流水を水源とし、浄水処理プロセスに急速砂ろ過システムを採用している水道事業体、特に中小規模の事業体において、水安全計画を策定するきっかけや参考資料に利用していただければ幸甚である。

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

1) 佐々木賢史, 小川将司, 大野浩一, 小坂浩司, 秋葉道宏. 水安全計画を用いた優先度の高い危害の監視手法解析. 平成28年度全国会議(水道研究発表会)講演集, 2016/11/9-11, 京都市, 796-797.

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) 厚生労働省水道課. 水安全計画策定ガイドライン (平成20年5月版)、2008.
- 2) 日本水道協会. 水安全計画－危害分析用ファイル (Excel ファイル)、水道課ウェブサイト内に掲載(平成28年4月確認)
<http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/suishitsu/07.html>

表1 危害因子ごとの管理点・重要管理点と集計対象とした対応マニュアル（網掛け部分）

区分	危害原因事象	因子	取水・原水	沈でん池	ろ過池	浄水	送配	給水
水源	降雨	濁度	●	●	○			
	車両等事故・水上バイク	油	○			●		
	テロ	シアン	●	●	●	●		
	下水処理水放流	クリプトスポリジウム	○		●	○		
	富栄養化	カビ臭	○			○	○	
浄水	設定ミス等による塩素注入過不足	残塩		○		●		
	テロ	シアン	●	●	●	●		
	ろ過池洗浄不足	クリプトスポリジウム	○		○	○		
給配水	管劣化・腐食	濁度					○	
	クロスコネクション	残塩						●
	テロ	シアン	●	●	●	●		

表 2-1 異常検知方法（降雨／原水濁度（*n*=11））

グループ	記載内容	記載数
計器	水質計器	11
水質試験	浄水場日常・定時測定	2
	水質試験所定期測定	1
巡視・目視	魚類監視水槽のにごり	1
	巡視点検	1
水源監視	水源監視員による現地確認	1
関係部署からの情報	ダム放流の情報	1
	関連部署からの情報	1
システム等	異常対策支援の予測通知	1

表 2-2 異常検知後の事実確認方法（降雨／原水濁度（*n*=11））

グループ	記載内容	記載数
計器異常有無の確認	計器の異常有無の確認(実測等)	11
	他の原水濁度計と同じトレンドを示す濁度計と比較	1
	原水において濁度計以外の水質計器トレンドの確認	1
採水設備異常有無の確認	原水脱泡槽の目視確認	1
	採水設備、濁度計の清掃・保守等の有無確認	1
水質試験結果の再確認	水質検査結果の確認	1
浄水場内影響範囲の確認	浄水処理工程水の濁度計器を確認(影響範囲)	2
濁度発生源等の確認	発生源調査・確認	2
	水源監視員による確認	1
情報提供・収集	関連部署からの情報提供・収集	2
	局内関連部署に連絡	2

表 2-3 対応基準と対応方法（降雨／原水濁度（*n*=11））

基準内容と記載マニュアル数		情報収集・予測	水源原水監視	浄水処理適正化・強化	浄水処理状況監視	設備運用	情報・連絡	取水減・停止・水運用	取水・処理再開	その他対応
濁度上昇を検知	1	3	1	1	1					
原水濁度20度超	1		1	1	1			2		
原水濁度30度超	1		1	1		1				2
原水濁度100度超	4	1	1	2		1	1			1
原水濁度200度超	3		1	2	1			1	3	
原水濁度500度超	2		2	3	1					
ろ過水濁度0.05度以上	2		1	2		1		2		
原水濁度1000度超	1		1	4	1	1	1	5	5	
原水濁度1500度超	1							3	4	
処理困難・限界	4		1				2	7	3	
ろ過水濁度0.1度超	2							7	6	

表 3-1 異常検知方法（降雨／沈でん水濁度（*n*=8））

グループ	記載内容	記載数
計器	水質計器(濁度計等)	8
水質試験	日常試験	2
巡視・巡回点検	巡視・巡回点検	2
モニターカメラ	モニターカメラ(フロック状況)	1
関連機関からの情報	関連機関等からの情報	1

表 3-2 異常検知後の事実確認方法（降雨／沈でん水濁度（*n*=8））

グループ	記載内容	記載数
計器・試験の異常有無確認	計器値と実測値の比較による計器異常有無の確認	6
	水質検査のミス・トラブル有無の確認	1
計器点検等作業有無確認	採水設備・濁度計の点検・作業中でないかを確認	1
	沈澱池設備清掃等の場内作業有無の確認	2
薬注状況・設備状況確認	浄水薬品注入率の確認	1
	薬注設備の異常有無の確認	1
現場状況・気象	現場状況・気象等	2
沈澱池内状況確認	モニターによるフロック形成状況の確認	1
	原水及び沈澱水の水温確認	1
	沈澱池内の水温測定(密度流疑いの場合)	1
	汚泥掻き寄せ機運転の確認	1
場内の影響範囲確認	浄水処理工程の濁度から影響範囲を確認	2
情報収集	インターネットによる情報収集	1

表 3-3 対応基準と対応方法（降雨／沈でん水濁度（*n*=8））

対応基準と記載マニュアル数	原水監視	水処理状況確認	浄水監視強化	水処理強化	沈澱池操作	沈澱池排水	ろ過池運用	停止・水運用等協議	取水水量減量	浄水処理停止	広報と応急給水	再開	水源原因究明・対策	その他異常
濁度異常～沈澱池濁度0.8度超	2	1	3	4										
沈澱池濁度1度超	4	1	5	3	6	1		1	1					
【長期継続の恐れ】	1									1				
沈澱池濁度1.5～2度超	2		2	3	2	1								
【ろ過水濁度が基準超過の恐れ】	1						1							
ろ過池濁度0.05度	1	1			2	1		1						
基準大幅逸脱（基準不明）	2								1	1			1	1
浄水濁度0.1度超	1								1		1	1	3	1

表 4-1 異常検知方法（車輛等事故・水上バイク／原水での油（*n*=7））

グループ	記載内容	記載数
計器値・試験	水質計器	5
	原水臭気試験	3
巡視・点検	巡視点検	3
	定期水源調査	3
その他監視	水源監視（監視員）	1
外部からの情報	関連部署等からの情報提供	6
	原因者からの通報	1

表 4-2 異常検知後の事実確認方法（車輛等事故・水上バイク／原水での油（*n*=7））

グループ	記載内容	記載数
計器異常確認 （実測値との比較等）	計器指示値の確認、点検（トレンド・実測による確認含む）	3
	原水、油分検出、油膜発見等の現場採水、臭気試験	3
油膜・油臭確認	油分検出、油膜発見等の現場確認	5
	臭気試験人数増員、油臭有無確認	3
水源調査・監視	発生源調査、発生箇所の特定	1
	水源等、臭気発生現場の再確認	1
	ITVIによる上流監視	1
影響の把握・予測	水源・河川の汚染状況、発生箇所、油種、油量、流達時間調査	5
	浄水処理工程水の臭気試験等実施し影響範囲判断	5
情報提供・収集	関係部署に事故等の事実確認	1
	関連部署に連絡、情報共有	5

表 4-3 対応基準と対応方法（車輛等事故・水上バイク／原水での油（*n*=7））

		影響予測	水源監視強化	汚染物質除去	浄水処理強化	処理状況等監視	連絡体制	取水・処理停止	取水等再開	再開後処理強化	広報	対策本部
対応基準とマニュアル掲載数												
原水中の油膜等確認 浄水場内への流入なし	7	1	5	8	4	1	2	6	2	1		
原水中の油膜等確認 浄水場内への流入あり	6			1	6	2	2	3	1			
浄水場内油流入 油臭除去不能	7							13	19		1	2

表 5-1 異常検知方法（（下水）処理施設からの放流水／原水での耐塩素性病原生物（*n*=5））

グループ	記載内容	記載数
計器（濁度計）	（濁質）浄水場水質計器によるろ過水・浄水濁度の常時監視	1
水質試験	水質試験所によるクリプトスポリジウム、ジアルジア、ウェルシュ菌（指標菌）、大腸菌（指標菌）の定期検査。	2
	手分析	2
	原水の定期水質検査により、クリプトスポリジウム等を検出	2
関係機関からの情報	関係機関からの情報提供（感染症の流行に関する情報により異常を検知 等）	2

表 5-2 異常検知後の事実確認方法（（下水）処理施設からの放流水／原水での耐塩素性病原生物（*n*=5））

グループ	記載内容	記載数
計器異常、水質試験結果の確認	（濁質）異常の有無の再確認。必要に応じて点検、修理。	1
	検査手順の確認、再検査	2
水質試験の実施	大腸菌及びウェルシュ菌検査の実施	1
水源・取水・導水施設の確認	水源監視員による状況の確認	1
	取水導水施設の確認	1
発生場所の特定	発生場所の特定	2
浄水場内影響等の確認	ろ過水の濁度が管理基準値以下であることを確認	2
	影響範囲・リスクレベルの判断	1
関係部署からの情報収集	関係団体からクリプトスポリジウム等に関する情報収集	1

表 5-3 対応基準と対応方法（（下水）処理施設からの放流水／原水での耐塩素性病原生物（*n*=5））

		水源監視	原水監視強化	浄水処理の強化	浄水処理工程監視	取水減量・停止	広報（煮沸勧告）	連絡・情報共有	別マニュアル
対応基準と記載マニュアル数									
原水または浄水で検出（浄水処理対応可）	1	1	2		4				
原水で検出	4	1		6	1	2		2	1
原水または浄水で検出（浄水処理対応不可）	1	2			1	1	1		

表 6-1 異常検知方法 ((下水) 処理施設からの放流水/ろ過水での耐塩素性病原生物 (r=5))

区分	記載内容	記載数
水質計器	水質計器による濁度監視	4
定期水質試験	水質試験所等による濁度の定期測定	2
	浄水場による濁度定時測定	1
	クリプトスポリジウム等の定期検査	1
水源監視	水源監視員による状況確認	1
ろ過池情報	ろ過抵抗・ろ過継続時間	1
関係機関情報	関係機関からの情報提供等	1

表 6-2 異常検知後の事実確認方法 ((下水) 処理施設からの放流水/ろ過水での耐塩素性病原生物 (r=5))

グループ	記載内容	記載数
計器異常、水質試験結果の確認	計器指示値の確認、点検	3
	保存試料での再測定	1
	原水・ろ過水を再度採水し検査実施	1
クリプトスポリジウム等試験	クリプトスポリジウム等の試験実施	1
水質試験による影響把握	水質検査回数を増やし水質変化を把握する	1
	浄水処理各工程での濁度確認し影響範囲の特定	1
水源監視・確認・調査	水源の監視・確認・調査	1
関係機関からの情報等	関係機関からの感染症の流行に関する情報	1
	関係機関への連絡	1

表 6-3 対応基準と対応方法 ((下水) 処理施設からの放流水/ろ過水での耐塩素性病原生物 (r=5))

対応基準と記載マニュアル数	水質試験 (原水・浄水)	原因究明	水源監視強化	浄水処理監視 (ろ過池)	排水処理監視強化	計装・設備点検	浄水処理強化・適正化	ろ過池適正運用	浄水場停止等の協議	処理量減・取水一時停止	浄水処理停止	施設洗浄・排水	広報 (煮沸勧告等)	関係機関連絡・調整	緊急事態対応	給水停止	給水再開 (制限)	給水再開	広報 (安全宣言)	その他マニュアル	設備復旧等
原水にクリプト・大腸菌等検出	1		2				2	2		2											4
ろ過水濁度0.05度超	1			1			1	2													
ろ過水濁度0.1度超	4	1	2	2	2	1	2	3	4	1	2					1		1		1	2
【クリプト汚染が考えられる場合】	1												1								
施設能力超過	1						1			1	1									1	
ろ過水クリプト検出	1	1						1				1	1	1		1	1	1	2	1	
【水道原因で発症疑い】	1														1						

表 7-1 異常検知方法（富栄養化／原水でのかび臭物質（*r*=8））

グループ	記載内容	記載数
水質計器	取水場・接合井カビ臭物質連続測定装置による検出	3
水質試験	原水の定期水質検査又は水源の水質調査の測定値から異常を検知	7
	原水の定時臭気試験から異常を検知	3
外部その他の情報	他機関（ダム管理者、水道事業者等）、関連部署から水質異常を確認	3
	上流域で浄水場に影響を与える降雨を確認	1

表 7-2 異常検知後の事実確認方法（富栄養化／原水でのかび臭物質（*r*=8））

グループ	記載内容	記載数
計器・試験結果の異常確認	原水かび臭測定装置について、測定値と水質検査結果の比較等から正常動作を確認	2
	原水の水質試験結果の異常確認、再確認	3
原水・浄水の再測定	複数人による原水・浄水の臭気試験を実施し、異常の再確認	3
	原水を再採水し、ジェオスミン及び2-MIBの水質検査を実施	2
水源確認・影響推定	原因の水源によっては、現地調査を実施	1
	臭気の原因物質（種類）を推定	1
	河川本川と支川の流量比、関係機関の情報などから原水への影響濃度を推定する	1
浄水の測定・影響範囲把握	浄水臭気の確認	1
	浄水のかび臭物質濃度の試験	1
	浄水処理工程水の臭気試験及び水質検査を実施し、影響範囲を確認	2
浄水処理の確認	前塩素注入状況確認	1
関係機関との連絡	関係機関との情報連絡	3

表 7-3 対応基準と対応方法（富栄養化／原水でのかび臭物質（*r*=8））

基準内容と記載マニュアル数		水源確認と予測	原水・浄水水質監視	浄水処理強化	連絡・情報収集	ユーザー対応	被害想定・広報等	取水停止等の協議・調整	取水停止等の実施	浄水場排水作業検討・実施	取水再開の準備	取水再開
原水カビ臭	～5ng/L超	4	3	2	4	2						
浄水カビ臭	～5ng/L	1		1								
【カビ臭原因が沈澱池以前】		1		1								
原水カビ臭	10～100ng/L超	8	3	2	11	3	3	7	6	1	3	8
浄水カビ臭	5ng/L超・原因沈澱池以後	1							1			
浄水カビ臭	10ng/L超・処理限界	3		1			1	2	4	1	3	3

表 8-1 異常検知方法（設定ミス等による塩素注入過不足／浄水での残留塩素（ $r=10$ ））

グループ	記載内容	記載数
水質計器	浄水場残塩計	10
検査	浄水場日常検査	4
通報	受水者からの連絡(用水供給)	1

表 8-2 異常検知後の事実確認方法（設定ミス等による塩素注入過不足／浄水での残留塩素（ $r=10$ ））

グループ	記載内容	記載数
計器異常の確認	計器値実測と確認、点検	10
	残留塩素計のトレンドを確認	1
	残塩計、採水ポンプの点検作業等の有無確認	1
	各処理工程の残留塩素濃度を確認(手分析値と計器値の比較)	1
設備異常の確認	薬品注入設備の異常有無確認(トレンド等)	1
	浄水薬品の注入率の確認	1
影響程度の判定	処理工程中の残塩値から影響範囲確認	1

表 8-3 対応基準と対応方法（設定ミス等による塩素注入過不足／浄水での残留塩素（ $r=10$ ））

		受水者からの情報収集	残塩計点検	残塩監視	浄水工程確認	注入設備確認	注入確認	注入設備操作	注入適正化	注入減	注入増(追塩含む)	貯蔵改善	流達時間調整	取水調整	取水停止	再開対応	次亜直投協議	局内関連部署連絡・協議	受水者協議	別途緊急対策
設定値± α 型	5	1	2															2		
運用範囲未満(逸脱)	8		4	3	2	7	4	2	2		4	4								
運用範囲超過	3			3						2		1								
運用範囲逸脱(長期)	1													1						
基準値未満	3			1		1			1						8	6	1	2		
給水地点0.1未満	2										1		1							1
浄水等0.1未満	1																			1

表 8-4 対応基準の設定形式(表 8-3 参照)

基準設定の形式	基準の例
設定値± α	設定値±0.3逸脱
運用範囲未満・逸脱	浄水池0.5-0.75逸脱
	浄水0.4-1.0未満
運用範囲超過	浄水0.4-1.0超過
運用範囲逸脱(長期)	設定値±0.1逸脱(長期)
基準値未満	配水0.6未満

表 9-1 異常検知方法（管劣化・腐食／送配水での濁度（*n*=5））

グループ	記載内容	記載数
水質計器	自動水質計器	3
水質試験	定期・日常水質検査	2
	給水栓水の定期、毎日検査	1
外部からの連絡・苦情	ユーザー（受水団体）問い合わせ等・連絡・苦情	3
	関連部署からの情報	1

表 9-2 異常検知後の事実確認方法（管劣化・腐食／送配水での濁度（*n*=5））

グループ	記載内容	記載数
計器・水質検査の異常有無の確認	自動水質計器の誤差、採水設備異常等を確認	5
	水質検査に異常がなかったかを再確認	1
水質の再確認	異常検出箇所・その周辺で採水、水質検査	3
	保存同一試料で再検査	2
管路破損以外の原因確認	浄水場出口、配水場出口の濁度の確認	1
	工事等が行われていないか確認	3
原因箇所・影響範囲の把握	工事・事故であれば原因箇所、影響範囲特定	1
	原因箇所特定	2
	水質検査結果から異常波及範囲を確認	2
情報提供・収集	管路部署から情報収集	1
	受水団体からの連絡は状況を詳しく確認	1
	関係部署へ連絡	2

表 9-3 対応基準と対応方法（管劣化・腐食／送配水での濁度（*n*=5））

対応基準と記載マニュアル数	情報共有・措置協議	工事等作業有無確認	水質から影響範囲推定	管破損確認・対応	発生原因解消	飲用停止	配水・送水停止	応急給水	バックアップ	臨時の水質検査	排水・復旧方法の検討	排水作業と再開	管の更新検討
給水濁度の異常確認	1	2	1	1									
送配水濁度 0.05~0.1度超	2	1		1									
送配水濁度 水質基準超過 恐れ	3				1		1			1	1	2	1
送配水濁度 水質基準超過	4	2				1	2	2	2			4	
送配水濁度 水質基準を大きく超過	1						2	1	2			2	

表 10-1 異常検知方法（クロスコネクション／給水での残留塩素（*n*=5））

グループ	記載内容	記載数
通報	お客さまからの問い合わせ(味、臭気、濁水、色等の水質異常)	5

表 10-2 異常検知後の事実確認方法（クロスコネクション／給水での残留塩素（*n*=5））

グループ	記載内容	記載数
検査・計器・状況による確認	お客さまからの問い合わせの内容と異常発生前後における工事・漏水等の有無から、対応方針を整理	5
	上流部における自動水質計器又は水質検査によるを確認	3
	必要に応じて、お客さま宅の給水栓及び周辺の給水栓で採水して、水質検査を実施	5
原因個所特定	クロスコネクションの原因個所を特定	4
影響範囲確認	影響範囲の確認	3

表 10-3 対応基準と対応方法（クロスコネクション／給水での残留塩素（*n*=5））

対応基準とマニュアル数		給水停止	改善指導	情報提供	排水、洗浄（給水管）	排水、洗浄（貯水槽以下）	排水、洗浄（配水管）	排水、洗浄（配水管）	強制対応（給水停止）	通水
クロスコネクションが発見された場合	5	4	5	5	3	4	4	4		5
影響程度が大きく、クロスコネクションが解消されない場合	1								1	

表 11 管理基準逸脱時の標準対応マニュアル例 1
(降雨／原水での濁度)

原水における濁度の異常

表流水系（急速ろ過）の解析より

工程	原水	
危害要因	濁度	
発生要因	降雨	
監視方法	手分析 計器による連続分析	
管理基準 (CL)	原水での濁度を〇〇度以下（※1） ※1 任意の管理基準値	
改善措置	事実確認	計器異常か水質異常かの確認
		<ul style="list-style-type: none"> ○計器異常有無の確認 例：手分析で計器指示値を確認。 濁度計の点検。 警報発生地点の濁度トレンドを確認。 ○再検査 例：水質試験結果の再確認
	対応	原水で濁度〇〇度（※1）を超過した場合
		<ul style="list-style-type: none"> ○監視強化 ○浄水処理適正化・強化 例：ジャーテストによるPAC注入率の把握・適正注入実施。 ○情報・連絡
		浄水処理困難な濁度発生の場合
		<ul style="list-style-type: none"> ○取水減・停止・水運用 例：取水減量、取水停止、原水系統変更・流量比率調整の実施。 ○取水・処理再開 例：濁度が低下、管理基準等に適合したら取水再開。

表 12 管理基準逸脱時の標準対応マニュアル例 2
 (設定ミス等による塩素注入過不足/浄水での残留塩素)

浄水における残留塩素の異常

表流水系（急速ろ過）の解析より

工程	浄水	
危害要因	残留塩素	
発生要因	設定ミス等による塩素注入過不足	
監視方法	水質計器 検査	
管理基準 (CL)	浄水場出口を〇〇mg/L～〇〇mg/L (※1) に設定 ※1 任意の管理基準値	
改善措置	事実確認	計器異常か水質異常かの確認
		○計器異常有無の確認 例：点検作業等の有無の確認。 手分析値と計器値の比較。 残留塩素計のトレンドを確認。
	対応	浄水場出口で〇mg/L～〇mg/L (※1) を逸脱した場合
		○監視強化 ○注入設備確認、適正化 例：次亜注入率設定値、注入状況の確認 塩素注入の適正化 ○薬品管理 例：次亜有効塩素濃度の確認 貯蔵方法の改善 ○連絡・協議 ○緊急対策 例：浄水場停止・バックアップの実施 ○再開対応 例：浄水水質検査で安全確認後浄水場再開

表 13 管理基準逸脱時の標準対応マニュアル例 3
(クロスコネクション/給水での残留塩素)

給配水におけるクロスコネクションの発生

表流水系（急速ろ過）の解析より

工程	給配水	
危害要因	残留塩素	
発生要因	クロスコネクション	
監視方法	お客さまからの問い合わせ	
管理基準 (CL)	クロスコネクションが発見された場合	
改善措置	事実確認	<p>クロスコネクション発生有無の確認</p> <ul style="list-style-type: none"> ○状況確認 例：問い合わせの内容と水質異常発生前後における、工事・漏水等の有無。 ○計器異常有無の確認 例：上流部における自動水質計器又は水質検査で残留塩素、味、臭気、濁度及び色度等を確認。 ○水質検査 例：お客さま宅の給水栓及び周辺の給水栓で残留塩素、味、臭気、濁度及び色度等の水質検査を実施。
	対応	<p>クロスコネクションが発見された場合</p> <ul style="list-style-type: none"> ○給水停止 例：飲用の停止を知らせ、給水停止を実施。 必要に応じて応急給水を実施。 ○指導 例：速やかにクロスコネクションを解消することを指導。 ○情報連絡 例：対応及び経過等を関連部署及び関係機関へ連絡。 ○排水・洗浄 例：メータ及び各戸の給水栓から排水・洗浄作業の実施・推奨。 貯水槽から排水・洗浄作業を実施・推奨。 管網図等で現場状況を確認し、排水設備又は消火栓から配水管の排水作業を実施。 ○通水 例：クロスコネクション改善後、通水開始。

地下水を水源とする中小水道事業体を対象とした
水安全計画を用いた代表的な危害、監視方法、
管理基準逸脱時対応方法の解析

研究分担者	大野 浩一
研究代表者	小坂 浩司
研究分担者	秋葉 道宏
研究協力者	清水くるみ
研究協力者	和田 亮太
研究協力者	江端 克明

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：地下水を水源とする中小水道事業体を対象とした水安全計画を用いた
代表的な危害、監視方法、管理基準逸脱時対応方法の解析

研究分担者	大野 浩一	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
研究分担者	秋葉 道宏	国立保健医療科学院	統括研究官
研究協力者	清水くるみ	宮崎県都城保健所	衛生環境課 監視指導担当
研究協力者	和田 亮太	横浜市水道局	給水サービス部給水維持課
研究協力者	江端 克明	神奈川県内広域水道企業団	技術部設計課

研究要旨

水源から給水栓までの統合的リスク管理手法である水安全計画の策定率は低く、特に中小水道事業体では十分な対応が取られていない。本研究においては、優先度の高い危害原因事象、危害因子、それらへの対応方法について抽出・解析を行うことで、水安全計画未策定の事業体に対して有益となる知見を示すことを目的とし、策定済の水安全計画データを用いた解析を行った。本年度の研究では、地下水を原水とし、塩素処理のみ及びUVと塩素処理を組み合わせている6事業体12浄水場の策定済み水安全計画について、解析を行った。危害解析においては、高リスクレベルの危害因子だけではなく、全リスクレベルの因子を抽出することで、平常時の運転管理に関連した優先度の高い危害因子を抽出することができた。また、優先度の高い危害因子に対する監視方法と監視地点の解析を行い、管理基準について整理することができた。さらに、2つの危害因子に対する対応マニュアルを集計・解析することで水安全計画における管理基準逸脱時の検知方法、事実確認方法、対応基準、対応措置を分析することができた。まとめとして、原水における濁度異常、浄水における残留塩素濃度の異常に関する管理基準逸脱時の標準対応マニュアル例を作成した。この標準対応マニュアル例を含めた本研究の成果により、塩素処理のみを浄水処理プロセスとしている中小の水道事業体において、水安全計画を策定するきっかけや参考資料として活用されることが期待できる。

A. 研究目的

安全な水道水を供給する観点から、水道システム、特に水道水源での危害を同定し、水源あるいは浄水プロセスにおいて水質変動・異常を検知し、迅速に対応することが重要な課題の一つである。しかしながら、水源から給水栓までの統合的リスク管理手法である水安全計画の策定率は低く、特に中小水道事業体ではこれらの課題への十分な対応は取られていない。

本研究では、地下水を水道水源とし、浄水処理方法が消毒のみの浄水場における代表的な危害への対応方法について解析をおこなった。このことで、水安全計画を未策定の事業体、特に消毒のみの浄水処理を行う中小事業体に対して、策定に有益となる知見を示すことを目的とした。

B. 研究方法

1. 危害発生箇所別の危害解析

解析対象とする策定済み水安全計画は、原水が地下水で塩素消毒のみの浄水場、塩素消毒と紫外

線照射（以下、UV）を組み合わせている浄水場のあわせて6事業体12浄水場のものである。これら12浄水場の水安全計画を前年度までと同様、水安全計画策定ガイドライン¹⁾あるいは「水安全計画－危害分析用ファイル」のExcelファイル²⁾様式に統一、表計算ソフトの形式にてデータベース化し、集計・解析を行った。

平成26年度の研究において、地下水を水源とし、消毒のみの浄水場に対して、リスクレベルが3～5の危害因子に関する解析を行っている。本年度の解析では、全リスクレベル（1～5）の危害因子を対象として解析を行った。これは、消毒のみの浄水場の場合、危害原因事象別危害因子のうち、リスクレベルが低い危害因子がほとんどであり、平常時の運転管理がより重要であると考えたためである。

2. 危害因子の監視項目及び管理基準の整理

平成27年度の研究と同様の方法で、監視項目、監視地点と管理基準に関する整理と解析を行った。代表的な危害原因事象／危害因子として、危

害解析の結果より、水源で4つ、浄水プロセスで3つ、給配水システムに対して1つ、計8つの組合せに対して解析を行った。

3. 危害因子への対応方法の解析

本研究で対象としている地下水を原水とする浄水場では、管理基準逸脱時対応マニュアルを策定している事業者が少なかったことから、対応マニュアル数の多い危害原因事象とその危害因子を対象として解析を行った。3事業者7浄水場が策定していた「原水での濁度異常」、4事業者8浄水場が策定していた「浄水での残留塩素濃度異常」の2つを対象とし、地下水を原水とし消毒のみを行うような浄水場での代表的な事象への対応方法について解析した。また、解析結果をまとめて、管理基準逸脱時の標準対応マニュアル例の作成を試みた。

C. 研究結果およびD. 考察

1. 危害発生箇所別の危害原因事象数及び危害因子

危害発生箇所（水源、浄水プロセス、給配水システム）ごとに主要な危害原因事象について整理を行った。

1) 水源

危害原因事象別のリスクレベル別危害因子数について整理を行った(表1)。水源における危害原因事象としては、ケーシング破損、肥料流出、落雷などによる取水ポンプ故障の順で採用浄水場数が多かった。全体的にリスクレベル1及び2が多く、特に地質という危害原因事象については、リスクレベル1が全因子数34のうち29であった。一方、畜舎排水の流出、処理施設からの放流水という事象においてはリスクレベルを5に設定している浄水場の割合が高かった。

2) 浄水プロセス

浄水プロセスに対して、危害原因事象別のリスクレベル別危害因子数について整理を行った結果を表2に示す。次亜塩素酸ナトリウム（次亜）に関連した危害原因事象を挙げている浄水場が多かった。特に、「設定ミス、注入ポンプ等異常による次亜の注入不足、過剰注入」は、リスクレベル別の危害因子数が多いだけでなく、高いリスクレベル（3～5）に設定されている場合もあり、重要な危害原因事象であることが分かった。

3) 給配水システム

給配水システムに対して、危害原因事象別のリスクレベル別危害因子数について整理を行った結果を表3に示す。水源及び浄水プロセスの場合と比較して、列挙した危害原因事象の危害因子数

は全体的に多い傾向があった。危害因子数が多い理由としては、給配における危害原因事象は需要者への直接的な影響が大きいことが考えられた。また、地下水を原水とし消毒プロセスのみの浄水場の場合は、原水水質も良い場合が多く、水源と浄水プロセスの危害を多く想定する必要がないのに対して、給配については他の浄水場と状況が変わらないため、危害因子数が大きくなる傾向があることも考えられた。

2. 代表的な危害原因事象における危害因子

前項の結果より、優先度の高い危害原因事象を抽出し、危害因子について解析した。なお、類似危害原因事象、該当する浄水場数、危害因子等が少ない場合は解析の対象外とした。水源から5つ、浄水プロセスから4つ、給配水システムから3つの危害原因事象を優先度の高いものとして選択し、各事象において危害因子としてあげている浄水場数が多かった上位3位までを表4に示す。

傾向として、水源においては原水に含まれる可能性のある汚染物質、浄水プロセスでは、次亜に関連する危害因子が多かった。給配では、残留塩素不足及びそれに起因する大腸菌に加え、消毒副生成物も懸念されていた。以上より、危害発生箇所により、優先度の高い危害因子に一定の傾向が見られた。

3. 危害因子の監視項目及び管理基準の整理

代表的な危害原因事象／危害因子として、以下の組合せを選択した。水源においては、1) ケーシング破損／濁度、2) 肥料流出／硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素、3) 地質／マンガン、4) 畜舎排水の流出／耐塩素性病原微生物、4つを抽出した。浄水プロセスにおいては、5) 薬品受け入れミス／残留塩素、6) 設定ミス、注入ポンプ等異常による次亜の注入不足、過剰注入／一般細菌、大腸菌、7) 貯留日数大／塩素酸の3つを抽出した。給配水システムにおいては、表流水の方の解析で行われている事象は選択せずに、8) 使用量不足による滞留時間大／残留塩素を抽出した。

以下に、それぞれの組合せに対する監視項目、監視地点と管理基準について示す。

1) 水源の「ケーシング破損／濁度」(表5-1、5-2)

監視項目は手分析が最も多く、主要監視地点は「取水」であった。また、全ての浄水場において「浄水池等」以前の工程で濁度計による連続監視及び手分析による水質管理を実施していた。濁度計よりも手分析による監視が多い理由としては、地下水は河川水と比較して急激な濁度変動が起きにくく、連続測定による監視を行う必要性が少ないためであると考えられる。

以上、「地下水」及び「取水」での濁度監視・水質管理が主要であることが確認された。塩素消毒のみの処理では、濁度を除去できないため、浄水場に入る前に取水停止等の対応をとることを目的に管理しているためと考えられる。

管理基準については、監視地点が「地下水」及び「取水」の場合、濁度を0.1度以下に設定している浄水場が多く、水質基準の2度以下よりも低く設定している傾向にあった。これらの浄水場では、原水での濁度の管理基準を水質基準より低く設定することで、浄水池等に2度を超えた原水が流入しないようにしていると推察された。なお、ここで抽出された浄水場には紫外線照射設備を設置したものは含まれていなかった。

2) 水源の「肥料流出（窒素、リン）／硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素」（表 6-1、6-2）

監視方法としては、手分析が最も多く、主要な監視点は「地下水」、「取水」、「浄水池等」であった。このとき「地下水」または「取水」と「浄水池等」の2箇所監視点を設けている浄水場が多かった。さらに全ての浄水場で、「浄水池等」より前の工程で調査や現場確認による監視を実施していた。

以上、原水及び浄水の2箇所の手分析による水質管理と、原水の調査や現場確認による監視が主要であることが確認された。

管理基準は、水質基準値（10mg/L以下）よりも低く設定している浄水場と、水質基準値で設定している浄水場が同程度あった。硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素値は原水周辺の環境が大きく影響するため、あらかじめ把握している地下水周辺の環境で浄水場ごとの管理基準値が異なることが考えられる。

3) 水源の「地質／マンガン」（表 7-1、7-2）

監視項目としては手分析が最も多く、主要な監視点は「地下水」、「取水」、「浄水池等」であった。また、全4浄水場で「取水」において、手分析による監視を実施していた。

管理基準については、マンガン濃度を管理基準に設定している場合、全ての管理基準は水質基準値（0.05mg/L以下）よりも低く設定していた。また、No2の浄水場ではマンガン濃度でなく、「取水」及び「給水栓」における濁度と異物の有無を管理基準にしていた。

4) 水源の「畜舎排水の流出／耐塩素性病原微生物」（表 8-1、8-2）

監視項目は、計器による連続監視ではなく手分析による耐塩素性病原微生物が最も多かった。このとき、手分析は水源から給水栓まで幅広く実施

されていた。さらに、全ての浄水場において、原水に影響すると考えられる周辺環境（「流域」）での調査や現場確認を実施していた。

以上の結果から、原水の調査や現場確認と、原水から給水までの手分析の管理が主要であることが確認された。

管理基準については、濁度計等の計器による連続監視項目がなかったことから、手分析のみの管理基準を示した。管理基準として、取水において「試料20L中に検出されないこと」と設定している浄水場が多かった。なお、No1の浄水場は紫外線照射設備を有していたため、耐塩素性病原生物の管理基準の解析には含めなかった。

5) 浄水プロセスの「薬品受け入れミス／残留塩素」（表 9-1、9-2）

監視項目としては手分析が最も多く、続いて水質計器の残留塩素計が多かった。これら方法による主要な監視点は「浄水池等」であった。また、監視項目が「記録」、「点検」、「設備保全」の場合、監視地点は「浄水薬品関連設備」が最も多かった。

管理基準については、重要管理点である「浄水池等」の場合、残留塩素の管理基準値については、0.1~0.6mg/Lであった。浄水場送水の管理基準値を0.1mg/Lとしているものについては、給水末端での規制値（0.1mg/L）と同じ値であることから「浄水池等」設定値としては低い可能性がある。

6) 浄水プロセスの「設定ミス、注入ポンプ等異常による次亜の注入不足、過剰注入／一般細菌、大腸菌」（表 10-1、10-2）

監視項目としては手分析が最も多く、続いて水質計器の残留塩素計が多かった。これら方法による主要な監視地点は「浄水池等」であった。また、全ての浄水場で、浄水プロセスにおいて、残留塩素計による監視を実施していた。手分析では、一般細菌による水質管理が主であり、大腸菌は監視されていなかった。

管理基準は、一般細菌の水質基準値（100個/mL以下）と同じ値を設定していた。また、残留塩素を管理基準に用いている場合、その値は0.1~0.7mg/Lの範囲であった。

7) 浄水プロセスの「貯留日数大／塩素酸」（表 11-1、11-2）

監視項目としては、手分析が最も多く、全ての浄水場で、「浄水池等」において手分析による水質管理が実施されていた。その他の監視方法として、水質計器の残留塩素計による監視を実施している浄水場もあった。また、何らかの監視を最も多く行っていた地点は「浄水薬品関連設備」で、監視項目の種類として多かったのは記録、点検で

あった。

塩素酸濃度を管理基準に用いている場合、「浄水場送水」及び「給水栓」における管理基準値は0.1～0.6mg/Lの範囲で、これは塩素酸水質基準値(0.6 mg/L)の1/6～1倍の範囲であった。また、残留塩素濃度を管理基準に用いている場合、その管理基準値は0.1～0.5mg/Lの範囲であった。

また、監視地点が浄水薬品関連設備の場合は、次亜中の塩素濃度に対して管理基準に設定しており、このとき管理基準としては9.0%以上～10.3%以上としている浄水場(手分析による濃度の確認)と、「仕様書のとおり」としている浄水場があった。

8) 給配水システムの「使用量不足による滞留時間大/残留塩素」(表12-1、12-2)

監視方法としては、手分析(による残留塩素濃度の測定)が最も多く、続いて調査、情報提供を選択している浄水場が多かった。これら監視方法の監視点は「貯水槽水道」が最も多かった。「貯水槽水道」は施設管理者による管理が義務付けられていることから、全ての浄水場で、手分析に加えて事実確認となる調査や情報提供等が監視方法として設定されていたためと考えられた。

管理基準は、「給水栓」における残留塩素濃度を設定している浄水場が多く、このとき管理基準値は0.1～0.4mg/Lの範囲であり、浄水場によってばらつきが見られた。

4. 危害因子への対応方法の解析

1) 水源における濁度異常への対応方法

水源における濁度異常に関する対応マニュアルについて、7浄水場分を集計・分析した。

検知方法についてグループ化すると、水質計器(掲載内容数4)、水質試験(7)、通報(2)の3つに分類された。

次に、事実確認方法についてグループ化すると、計器異常の有無の確認(掲載内容数6)、再検査(4)、影響程度の判定(2)、原因判断(2)の4つに分類された。

対応マニュアル中の管理基準値と、それぞれの基準逸脱時にどのような対応が記載されていたかを整理したものを表13に示す。原水濁度における管理基準値は、浄水場によって0.1度から1.0度までの範囲で設定されていた。①原水濁度が0.1度を超過したときと②濁度0.1度を大きく超過～1.0度超過の2つに分けて対応方法について整理する。①の0.1度超過の際は、対象浄水場2つのどちらも取水停止の検討を行う。UVと塩素処理のみの処理であり濁度処理ができないためと考えられた。②の場合も、いずれも一時的あるいは複数取水井戸がある場合は高濁度取水井戸の

取水停止を検討している。

以上より、対応基準は異なるものの、取水停止が主要な対策であることが明らかとなった。濁度処理ができないことによる対応だと考えられる。本研究で解析はできなかったが、対応基準を超える頻度と取水停止時間をどの程度想定しているのか、また、想定取水停止時間に対して配水池水量が不足することがないか、ということが重要である。これらは、個々の浄水場で検討すべき課題である。

2) 浄水における残留塩素異常への対応方法

浄水における残留塩素異常に関する対応マニュアルについて、8浄水場分を集計・分析した。

検知方法は、水質計器(記載内容数9)と水質検査(4)の2つにグループ化できた。また、事実確認方法をグループ化すると、計器確認(記載内容数12)、注入設備確認(14)、設備確認(2)、現場確認(1)、原因判断(2)、影響程度の判断(2)の6つに分けることができた。

対応マニュアル中の対応基準とそれぞれの基準逸脱時にどのような対応が記載されていたかを整理したものを表14に示す。

対応基準には浄水の残塩濃度が設定されていた。管理基準値は浄水場によって異なり、0.1～0.9 mg/Lまでの範囲で設定されていた。以下、2つの場合にわけて対応方法の解析結果を示す。

①管理基準範囲を逸脱した場合または管理基準値を逸脱した場合：塩素注入に関する調整、薬品確認、設備調整、設備点検のための浄水一時停止、原因調査、取水停止検討などの対応となっている。②0.1 mg/Lを下回った場合：取水停止あるいは送配水停止を行う対応となっている。水道法施行規則(第17条)により給水栓での遊離残留塩素濃度を0.1 mg/L以上保持することとなっていることから、このような比較的厳しい対応を取っていると考えられる。

本研究で検討した内容は、宮崎県都城保健所が実施している管内の水道事業体を対象とした研修会で活用されるなど、実務に役立つ有用な成果となった。

E. 結論

地下水を原水とし、塩素処理のみ及びUVと塩素処理を組み合わせている6事業体12浄水場の策定済み水安全計画について、解析を行った。危害解析においては、高リスクレベルの危害因子だけではなく、全リスクレベルの因子を抽出することで、平常時の運転管理に関連した優先度の高い危害因子を抽出することができた。

優先度の高い危害因子に対する監視方法と監視地点の解析を行い、管理基準について整理する

ことができた。

さらに、2つの危害因子に対する対応マニュアルを集計・解析することで水安全計画における管理基準逸脱時の検知方法、事実確認方法、対応基準、対応措置を分析することができた。この解析のまとめとして、原水における濁度異常(表15)、浄水における残留塩素濃度の異常(表16)に関する管理基準逸脱時の標準対応マニュアル例を作成した。

この標準対応マニュアル例を含めた本研究の成果について、塩素処理のみを浄水処理プロセスとしている中小の水道事業者において、水安全計画を策定するきっかけや参考資料に利用していただければ幸甚である。

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

1) 佐々木賢史, 小川将司, 大野浩一, 小坂浩司, 秋葉道宏. 水安全計画を用いた優先度の高い危害の監視手法解析. 平成28年度全国会議(水道研究発表会)講演集, 2016/11/9-11, 京都市, 796-797.

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) 厚生労働省水道課. 水安全計画策定ガイドライン(平成20年5月版)、2008.
- 2) 日本水道協会. 水安全計画－危害分析用ファイル(Excelファイル)、水道課ウェブサイト内に掲載(平成28年4月確認)
<http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/suisuitsu/07.html>

表1 水源における主要な危害原因事象とリスクレベル別因子数
(浄水場数5以上のもの、降順)

危害原因事象	リスクレベル別危害因子数							浄水場数	
	1	2	3	4	5	総計	3~5総計	計	12
ケーシング破損	11	14			5	30	5		10
肥料流出(窒素、リン)	13	1	1	2		17	3		9
落雷などによる取水ポンプ故障	5	3				8	0		8
地質	29	4			1	34	1		7
畜舎排水の流出	4	1			6	11	6		6
テロ	2	5			3	10	3		6
処理施設からの放流水	5				8	13	8		5
湧水、ポンプ異常などによる水位低下	2	3				5	0		5
暖房燃料等の油流出	5					5	0		5

表2 浄水処理プロセスにおける主要な危害原因事象とリスクレベル別因子数
(浄水場数が10以上のもの、降順)

危害原因事象	リスクレベル別危害因子数							浄水場数	
	1	2	3	4	5	総計	3~5総計	計	12
薬品受入れミス(薬品まちがひ、仕様外)	9	11				20	0		12
設定ミス、注入ポンプ等異常による次亜の注入不足、過剰注入	17	16	3		4	40	7		11
貯留日数大	14	12	4	1		31	5		10
注入管の目詰り(エアロック、スケール)	5	14				19	0		10
流量変動による沈積物流出	10	4	2			16	2		10
長期使用による劣化	11	4				15	0		10
劣化による内面塗装剥離	10	4				14	0		10

表3 給配水システムにおける主要な危害原因事象とリスクレベル別因子数
(浄水場数が10以上のもの、降順)

危害原因事象	リスクレベル別危害因子数							浄水場数	
	1	2	3	4	5	総計	3~5総計	計	12
クロスコネクション	2	8	8		25	43	33		11
清掃不足	3	8	8		8	27	16		11
使用量不足による滞留時間大	10	3	10		2	25	12		11
送配水管劣化、腐食	12		8	2	2	24	12		11
テロ	1				12	13	12		11
残留塩素不足による再増殖	32	7			11	50	11		10
給水管の劣化	22	6	12	2	2	44	16		10
モルタルからの溶出	7	1		2		10	2		10

表 4 危害原因事象と主要危害因子

発生箇所	危害原因事象	第1位	採用数	浄水場数	第2位	採用数	浄水場数	第3位	採用数	浄水場数
水源	ケーシング破損	一般細菌、大腸菌	10	10	耐塩素性病原生物 濁度 (同数)	7	7	鉄 マンガン (同数)	2	2
	肥料流出(窒素、リン)	硝酸態窒素及び 亜硝酸態窒素	12	9	アンモニア態窒素	5	5	—		
	地質	フッ素 マンガン 硬度 鉄 (同数)	4	4	農薬など8因子	2	2	遊離炭酸	1	1
	畜舎排水の流出	耐塩素性病原生物	6	6	アンモニア態窒素	5	5	—		
	テロ	シアン、 その他毒性物質	8	6	放射性物質	2	2	—		
浄水 プロセス	薬品受入れミス (薬品まちがい、仕様外)	残留塩素	9	9	塩素酸 臭素酸 (同数)	2	2	pHなど6因子	1	1
	設定ミス、注入ポンプ等異常 による 次亜の注入不足、過剰注入	一般細菌、大腸菌	13	11	残留塩素	17	10	マンガン	3	3
	貯留日数大	塩素酸 残留塩素 (同数)	10	10	臭素酸	9	9	一般細菌、大腸菌 従属栄養細菌 (同数)	1	1
給配	クロスコネクション	残留塩素	19	6	一般細菌、大腸菌 臭気 (同数)	5	3	色度 濁度 味 (同数)	4	2
	テロ	シアン、 その他毒性物質	11	11	ダイオキシン	2	2	—		
	使用量不足による 滞留時間大	残留塩素	18	11	ハロ酢酸 ホルムアルデヒド 総トリハロメタン (同数)	2	2	鉄	1	1

表 5-1 ケーシング破損／濁度（水源）の監視項目表

監視項目	流域	地下水	取水	浄水池等	浄水薬品 関連設備	給水管	貯水槽水道	計
手分析			6	5		7		18
調査		2	3	3		3		11
濁度計 T		1	3	2				6
現場確認等		2						2
設備保全			1					1
計	0	5	13	10	0	10	0	38

浄水場数7

表 5-2 管理基準表 手分析（濁度）

浄水場No	地下水	取水	浄水池等	給水栓
1		0.5度以下※1		1度以下
2		1度以下	1度以下	2度以下
3		0.1度以下	1度以下※1	2度以下
4		0.1度以下※1	1度以下	2度以下
5		2度以下	2度以下	2度以下
6	0.1度以下			0.1度以下
7	0.1度以下			0.1度以下

※1 濁度計

水質基準:2度以下

表 6-1 肥料流出（窒素、リン）／硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素（水源）の監視項目表

監視項目	流域	地下水	取水	浄水池等	浄水薬品 関連設備	給水管	貯水槽水道	計
手分析		8	9	11		10		38
現場確認等 調査	6	2	1					9
計	12	10	11	11	0	10	0	54

浄水場数 10

表 6-2 管理基準表 手分析（硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素）

浄水場No	地下水	取水	浄水場送水	給水栓
1		7.5mg/L以下		7.5mg/L以下
2		7.5mg/L以下		7.5mg/L以下
3	5mg/L以下		5mg/L以下 異常なし※1	
4		2mg/L以下	2mg/L以下 異常なし※1	
5		10mg/L以下	10mg/L以下	10mg/L以下
6		10mg/L以下		10mg/L以下
8		10mg/L以下	10mg/L以下	10mg/L以下
9		10mg/L以下	10mg/L以下	10mg/L以下
10		10mg/L以下	10mg/L以下	10mg/L以下

※1 生物検定手分析

水質基準:10mg/L以下

表 7-1 地質／マンガン（水源）の監視項目表

監視項目	流域	地下水	取水	浄水池等	浄水薬品 関連設備	給水管	貯水槽水道	計
手分析		1	4	1		2	2	10
調査		3	1	1		1		6
残塩計 R				3				3
確認		2						2
計	0	6	5	5	0	3	2	21

浄水場数 4

表 7-2 管理基準表 手分析（マンガン）

浄水場No	地下水	取水	浄水場送水	給水栓
1		0.01mg/L以下	0.01mg/L以下	0.01mg/L以下
2		2度以下※1 異物なし※3		2度以下※2 異物なし※3
3	0.005mg/L以下		0.005mg/L以下	0.025mg/L以下
4	0.005mg/L以下		0.005mg/L以下	0.025mg/L以下

※1 濁度計

※2 携行濁時計

※3 目視確認

水質基準:0.05mg/L以下

表 8-1 畜舎排水の流出／耐塩素性病原微生物（水源）の監視項目表

監視項目	流域	地下水	取水	浄水池等	浄水薬品 関連設備	給水管	貯水槽水道	計
手分析		4	6	4	5	5		24
調査	6							6
現場確認等	5							5
計	11	4	6	4	5	5	0	35

浄水場数 6

表 8-2 管理基準表 手分析（耐塩素性病原微生物）

浄水場No	取水	浄水場送水	給水栓
1	検出されないこと		
2	20L中に検出されないこと	20L中に検出されないこと	20L中に検出されないこと
3	20L中に検出されないこと		
4	20L中に検出されないこと	20L中に検出されないこと	20L中に検出されないこと
5	20L中に検出されないこと	20L中に検出されないこと	20L中に検出されないこと
6	20L中に検出されないこと	20L中に検出されないこと	20L中に検出されないこと

表 9-1 薬品受け入れミス／残留塩素（浄水プロセス）の監視項目表

監視項目	流域	地下水	取水	浄水池等	浄水薬品 関連設備	給水管	貯水槽水道	計
手分析				5		7	2	14
残塩計 R			4	8				12
点検			4	1	5			10
調査				3	1	5		9
記録				1	7			8
設備保全					3			3
現場確認等					2			2
計	0	0	8	18	18	12	2	58

浄水場数 9

表 9-2 管理基準表 手分析（残留塩素）、残留塩素計

浄水場No	浄水場送水	給水栓
1	0.2mg/L以上※1	0.1mg/L以上
2	0.2mg/L以上※1	0.1mg/L以上
3	0.3～0.4mg/L※1・手分析	0.2～0.4mg/L
4	0.1mg/L以上※1	0.1mg/L以上※2
5	0.4～0.5mg/L※1・手分析	0.2～0.4mg/L
6	浄水場出口：0.4～0.6mg/L※1 配水池出口：0.3～0.45mg/L※1	0.2～0.4mg/L
7	0.3～0.4mg/L※1・手分析	0.2～0.4mg/L
8	0.3～0.5mg/L※1	0.2mg/L以上
9	0.3～0.5mg/L※1	0.2mg/L以上

※1 残留塩素計(R)

※2 携帯型残留塩素計

表 10-1 設定ミス、注入ポンプ等異常による次亜の注入不足、過剰注入／一般細菌、大腸菌（浄水プロセス）の監視項目表

監視項目	流域	地下水	取水	浄水池等	浄水薬品 関連設備	給水管	貯水槽水道	計
手分析			4	8		11		23
残塩計 R			4	11				15
調査			4	4	1	5		14
現場確認等				2				2
点検					2			2
記録					2			2
計	0	0	12	25	5	16	0	58

浄水場数 11

表 10-2 管理基準表 手分析（一般細菌（個/mL）または残留塩素（mg/L））、残留塩素計

浄水場No	取水	浄水場送水	給水柱
1		0.2mg/L以上※1	0.1mg/L以上※1
2		0.2mg/L以上※1	0.1mg/L以上※1
3		0.5～0.7mg/L以上※2	
4		0.3mg/L以上※2	
5	著しく多い	100個/mL以下	100個/mL以下
6		0.1mg/L以上※2	0.1mg/L以上※3
7	著しく多い	100個/mL以下	100個/mL以下
8	著しく多い	100個/mL以下	100個/mL以下
9	著しく多い	100個/mL以下	100個/mL以下
10		0.3～0.5mg/L※2	0.2mg/L以上※2
11		0.3～0.5mg/L※2	0.2mg/L以上※2

※1 残留塩素測定（手分析）

※2 残留塩素計

※3 携帯型残留塩素計

水質基準：100個/mL以下

表 11-1 貯留日数大／塩素酸（浄水プロセス）の監視項目表

監視項目	流域	地下水	取水	浄水池等	浄水薬品 関連設備	給水管	貯水槽水道	計
手分析				10	1	9		20
記録				1	8			9
調査					1	5		6
点検					6			6
残塩計 R				4				4
設備保全					2			2
計	0	0	0	15	18	14	0	47

浄水場数 10

表 11-2 管理基準表 手分析（塩素酸または次亜塩素酸ナトリウム）

浄水場No	浄水場送水	浄水薬品関連設備	給水栓
1	0.3mg/L以下	9.0%以上※3 仕様書のとおり※4	0.3mg/L以下
2	0.3mg/L以下	10.3%以上※3 仕様書のとおり※4	0.3mg/L以下
3	0.6mg/L以下		0.6mg/L以下
4	0.1mg/L以上※1		0.1mg/L以上※2
5	0.6mg/L以下		
6	0.6mg/L以下		0.6mg/L以下
7	0.6mg/L以下		0.6mg/L以下
8	0.6mg/L以下		0.6mg/L以下
9		基準なし※3	0.3mg/L以下
10	0.3～0.5mg/L※1		0.3mg/L以下

- ※1 残留塩素計
 ※2 携行残留塩素計
 ※3 次亜塩素酸ナトリウム手分析
 ※4 確認
 水質基準:0.6mg/L以下

表 12-1 使用量不足による滞留時間大／残留塩素（給配水システム）の監視項目表

監視項目	流域	地下水	取水	浄水池等	浄水薬品 関連設備	給水管	貯水槽水道	計
手分析						6	6	12
調査						4	6	10
情報提供						2	2	4
現場確認等						1	1	2
指導監督							2	2
計	0	0	0	0	0	13	17	30

浄水場数 11

表 12-2 管理基準表 手分析（残留塩素）

浄水場No	給水栓
1	0.1mg/L以上
2	0.1mg/L以上
3	0.2～0.4mg/L
4	0.2～0.4mg/L
5	0.1mg/L以上※2
6	0.1mg/L以上
7	0.2～0.4mg/L
8	0.2～0.4mg/L
9	0.2～0.4mg/L
10	0.2mg/L以上※1
11	0.2mg/L以上※1

- ※1 残留塩素計
 ※2 携行残留塩素計

表 13 原水濁度異常時の対応基準と対応方法 (n=7)

基準内容と記載マニュアル数		取水停止の検討	原因調査	浄水場の停止について協議	取水一時停止	高濁度取水井戸の取水停止	取水停止	浄水場再開へ向け監視強化	水質試験を実施	改善措置の実施	浄水場の再開
0.1度超過	2	2									
0.1度を大きく超過	1						1			1	
0.5度超過	1			1	1			1	1		1
1.0度超過	4		4			4					

表 14 浄水残留塩素異常時の対応基準と対応方法 (n=8)

基準内容と記載マニュアル数			塩素注入機、注入管、注入率の調整	薬品確認	設備調整	設備点検のための浄水一時停止	原因調査	取水停止検討	取水停止について関係部署へ連絡	取水停止	送配水停止	取水再開
管理基準を逸脱した場合	0.40~0.90mg/Lを逸脱した場合	2	2									
	0.40~0.60mg/Lを下回った場合	1	1	1		1	1					
	0.30~0.50mg/Lを逸脱した場合	1	1		1			1				
	0.30~0.40mg/Lを逸脱した場合	3	3	3			3					
	0.30~0.40mg/Lを下回った場合	2				2						
	0.1~0.4mg/Lを逸脱した場合	1	1									
0.1mg/Lを下回った場合	残留塩素が0.1mg/L未満	1								1	1	1
	0.10mg/Lを下回った場合	3									3	

表 15 管理基準逸脱時の標準対応マニュアル例 1
(原水：地下水、浄水処理プロセス：消毒のみ、UV)

原水における濁度の異常

地下水系（消毒のみ、紫外線処理）の解析より

工程	原水	
危害要因	濁度	
発生要因	ケーシング破損、降雨、地震等	
監視方法	手分析 計器による連続分析	
管理基準 (CL)	原水での濁度を〇〇度以下（※1）に保つ ※1 任意の管理基準値	
	管理基準値参考（設定している浄水場数） 0.1度：3浄水場 1.0度：4浄水場 (0.5度：1浄水場 塩素＋紫外線照射)	
改善措置	事実確認	計器異常か水質異常かの確認 <input type="checkbox"/> 計器異常有無の確認 例：手分析で計器指示値を確認。 濁度計の点検。 警報発生地点の濁度トレンドを確認。 <input type="checkbox"/> 再検査 例：原水を再採水し、水質検査を実施。 高濁度の取水井戸を確認。
		原水で濁度〇〇度（※1）を超過した場合 <input type="checkbox"/> 原因調査 例：取水井戸水位等を確認。 水源への汚水混入が疑われる場合は、臭気、細菌、耐塩素性病原生物等の水質試験を実施。 <input type="checkbox"/> 取水への対応 例：取水停止を検討。 取水停止。 原水水質が回復するまで取水を一時停止。 <input type="checkbox"/> 浄配水への対応 例：浄水場停止、バックアップ検討、協議。 浄水場再開へ向けた対応（原水の監視強化等）。 原水の水質検査を実施して安全を確認した後、浄水場を再開。 切替後は、排水作業により正常復帰させ、通水を再開。

表 16 管理基準逸脱時の標準対応マニュアル例 2
 (原水：地下水、浄水処理プロセス：消毒のみ、UV)
 浄水プロセスにおける残留塩素の異常

地下水系（消毒のみ、紫外線処理）の解析より

工程	浄水プロセス	
危害要因	残留塩素	
発生要因	設定ミス・注入管等の異常、次亜塩素酸ナトリウム貯留日数大	
監視方法	手分析 計器による連続分析	
管理基準 (CL)	残留塩素濃度を〇〇～〇〇mg/L (※1) に保つ ※1 任意の管理基準値	
	管理基準値参考 (設定している浄水場数) 下限値・・・0.3mg/L：3浄水場、0.4mg/L：3浄水場 (0.1mg/L：2浄水場) 上限値・・・0.4mg/L：3浄水場、0.5mg/L：1浄水場、0.6mg/L：1浄水場、 0.9mg/L：2浄水場、上限値なし：1浄水場	
改善措置	事実確認	計器異常か水質異常かの確認 ○計器異常有無の確認 例：残留塩素計の点検・修正。 異常地点の残留塩素トレンドを確認。 手分析で計器指示値を確認。 ○注入設備の確認 例：次亜塩素酸ナトリウム注入率設定値を確認。 次亜塩素酸ナトリウム注入機、注入管の点検。 薬注設定値と薬注トレンドを確認。 ○設備確認 例：取水ポンプの運転状況確認。 浄水池の破損等の確認。
		残留塩素濃度〇〇～〇〇mg/L (※1) を逸脱した場合【管理基準値】 ○原因調査 ○注入設備の修正・切り替え 例：注入量の適正化。 注入設備の調整・修復。 予備機への切り替え。 手動注入への切り替え。 ○次亜塩素酸ナトリウムの確認 例：有効塩素濃度の確認。 適正有効塩素濃度の次亜塩素酸ナトリウムに変更。 ○取水への対応 例：取水停止検討。 取水一時停止後の取水再開に向けた点検。 ○浄配水への対応 例：設備点検のための浄水一時停止。 配水池での影響確認。 浄水池への不足分の補給。
	対応	残留塩素濃度0.1mg/Lを下回った場合【水質基準値】 ○取水への対応 例：取水停止検討。 取水停止/取水一時停止。 取水停止について関係部署へ連絡。 取水一時停止後の取水再開に向けた点検。 取水再開。 ○浄配水への対応 例：設備点検のための一時送配水停止。

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体、日本水道協会関係者の方々に深くお礼申し上げます。

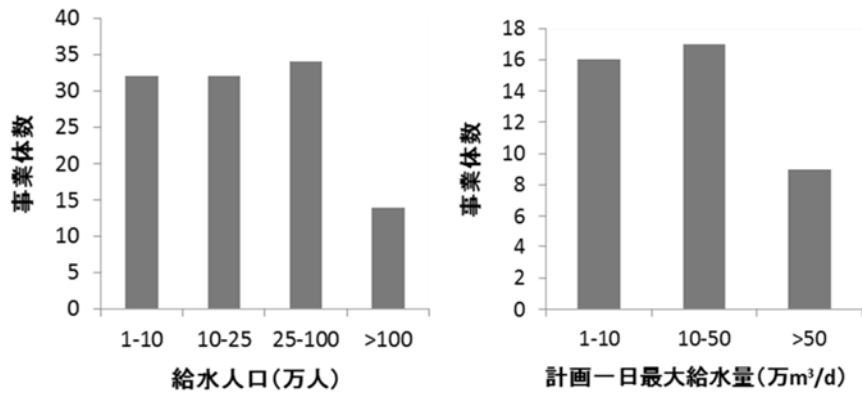


図1 給水人口、計画一日最大給水量別の回答事業体数（左：上水道事業体、右：水道用水供給事業体）

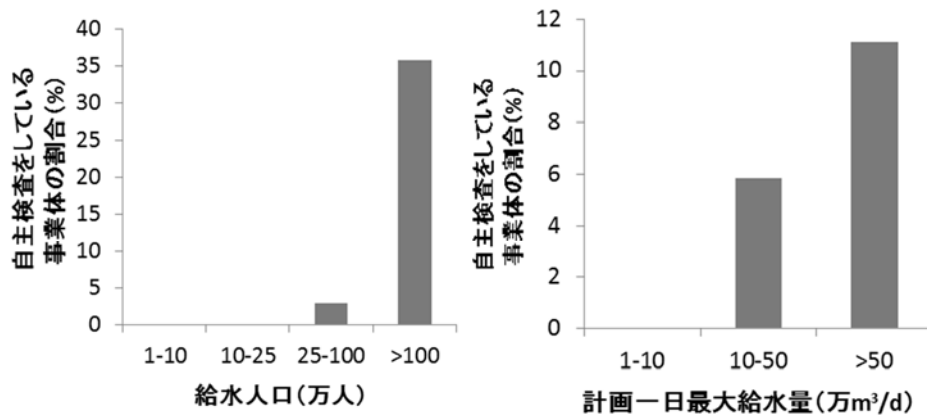


図2 給水人口、計画一日最大給水量別の障害生物以外の独自検査項目の検査割合（左：上水道事業体、右：水道用水供給事業体）

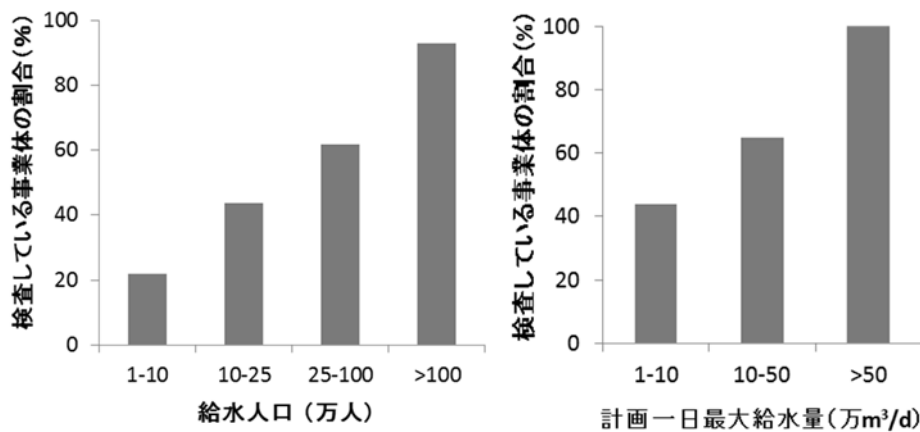


図3 給水人口、計画一日最大給水量別の障害生物の検査割合（左：上水道事業体、右：水道用水供給事業体）

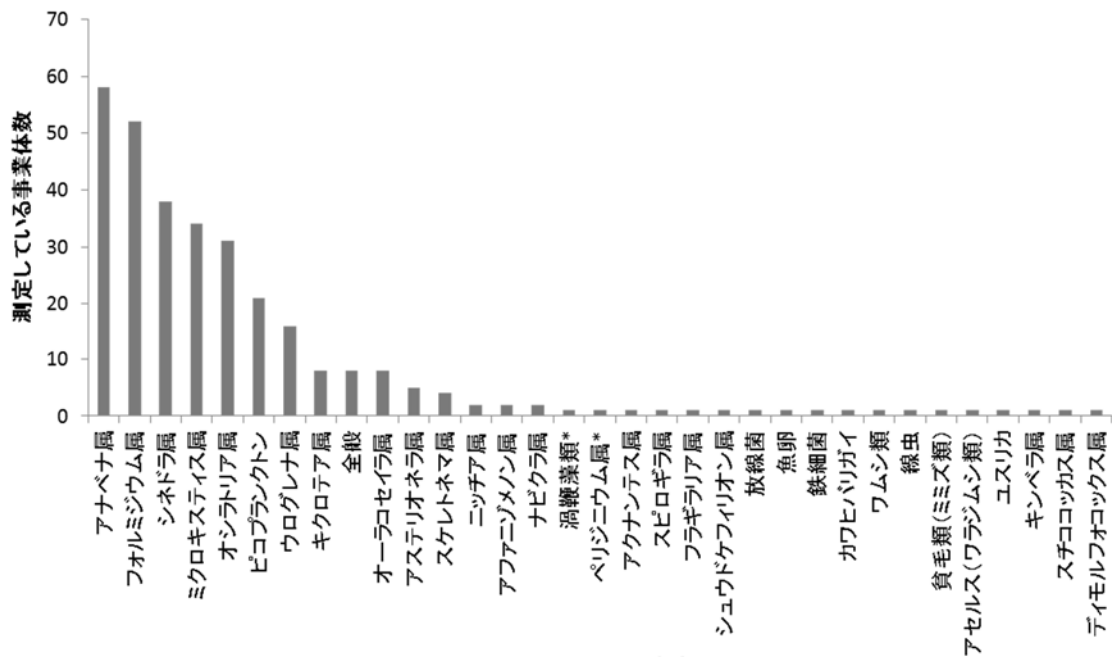


図4 検査対象となっている障害生物の種類
(1事業体あたり最大5種類を回答)
(*ペリジニウム属は渦鞭毛藻類に属する生物である。)

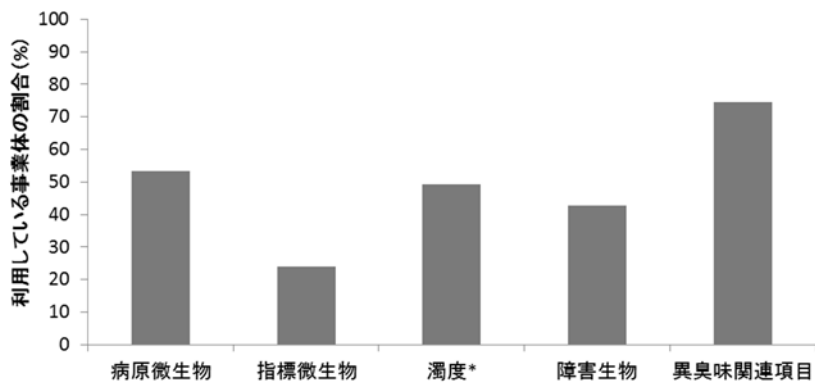


図5 項目別の検査結果の浄水場等管理への利用状況
(*原水濁度から凝集剤注入率を決定する等の通常の対応は除く。)

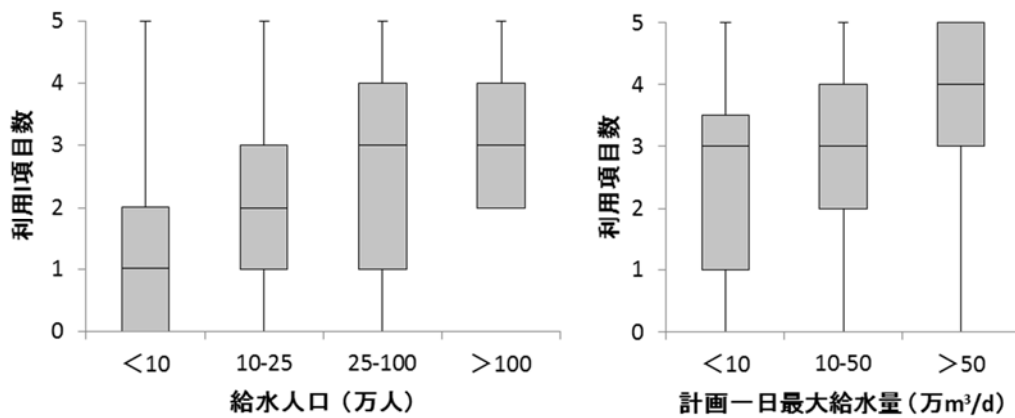


図6 給水人口、計画一日最大給水量別の浄水場等管理への利用項目数
(病原微生物、指標微生物、濁度、障害生物、異臭味関連項目の最大5項目)
(左：上水道事業体、右：水道用水供給事業体)

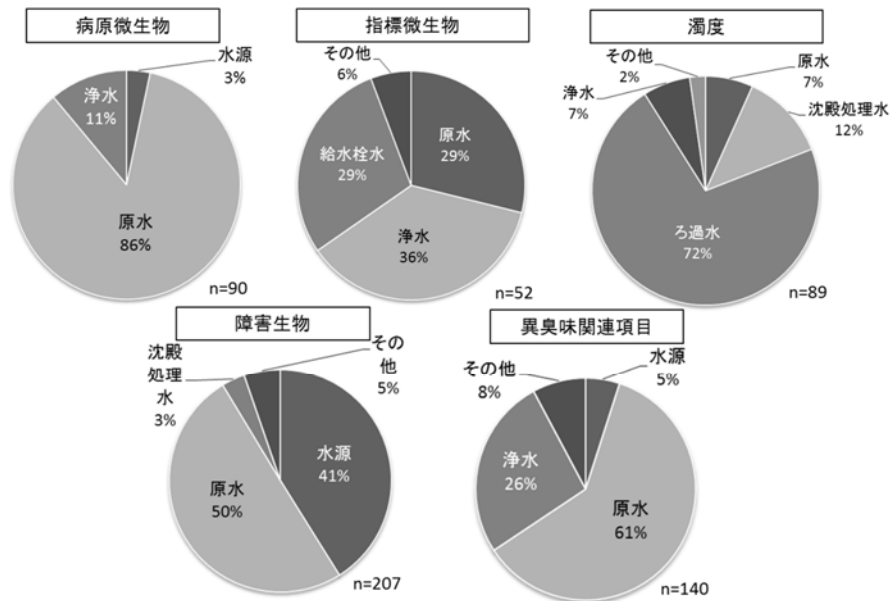


図7 項目別の監視地点（管理に使用している検査地点）
 （同一項目を複数の地点で監視している場合はすべて計数）
 （同一事業体で複数の水質項目を測定している場合もすべて計数）
 （監視地点が未記載の場合は集計から除いている。）

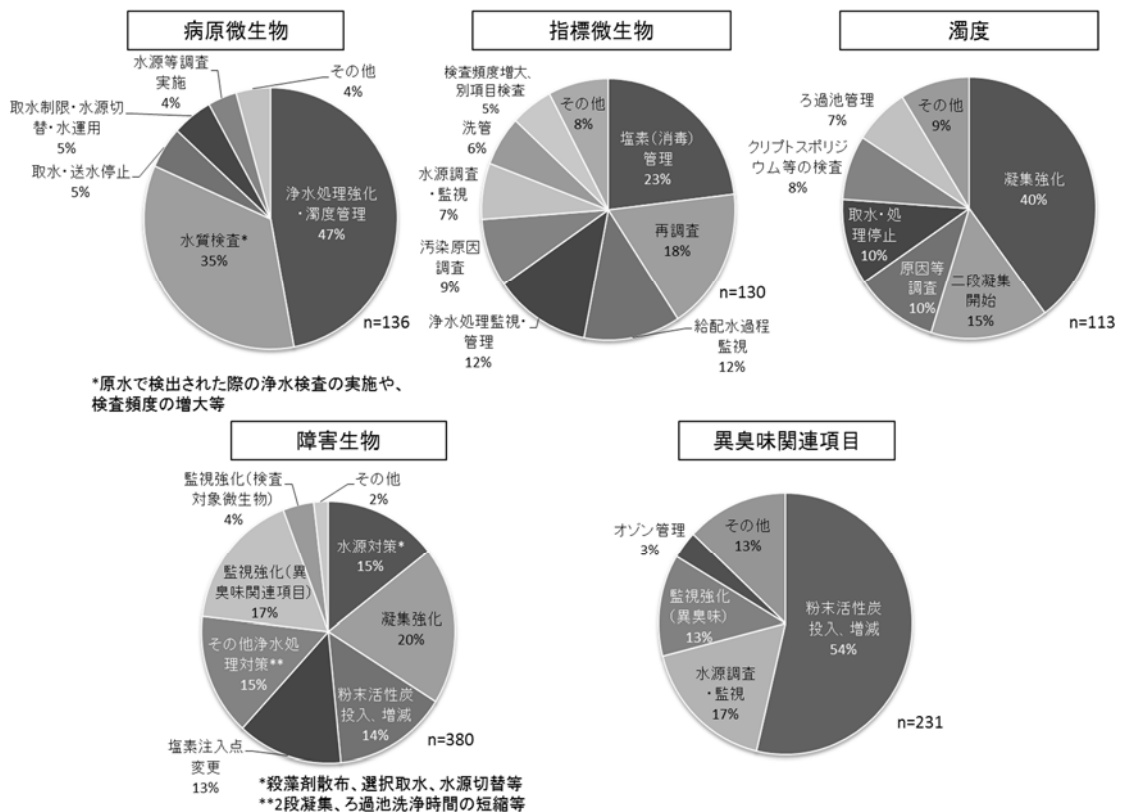


図8 項目別の検査結果の利用方法
 （同一水質項目で複数回答があった場合はすべて計数）
 （同一事業体において複数の水質項目で同じ利用方法を回答している場合もすべて計数）
 （直ちに対応を開始するケースだけでなく検討を行った後に対応を開始するケースも含む。）
 （具体的な利用方法が未記載の場合は集計から除いている。）

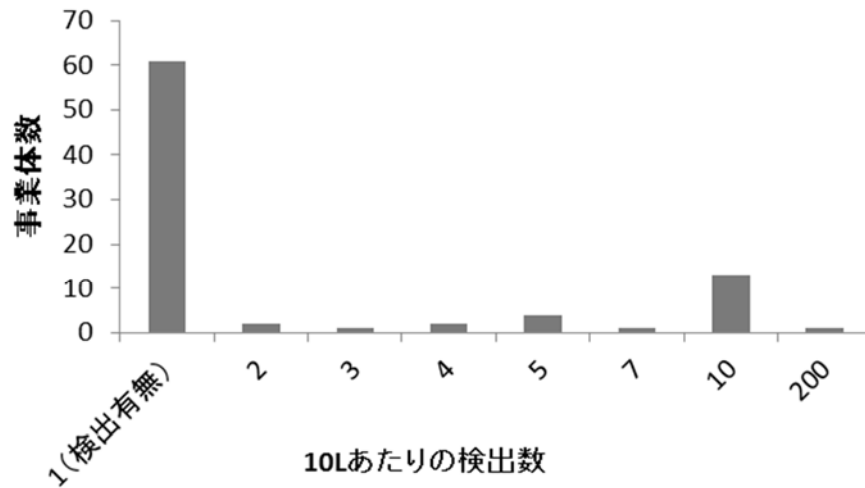


図9 クリプトスポリジウム・ジアルジアの管理（行動開始）基準の設定状況
 (*同一事業体で複数の管理基準を設定している場合はすべて計数)

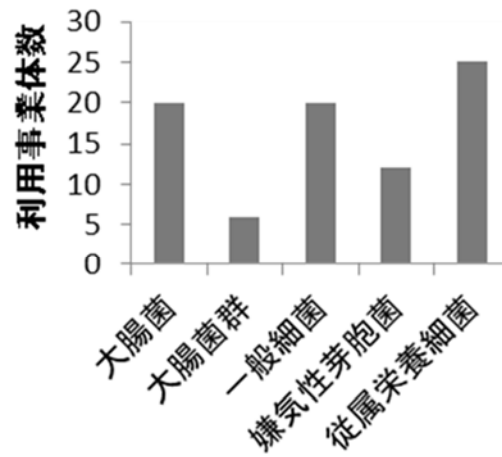


図10 指標微生物毎の検査結果の浄水場等管理への利用状況

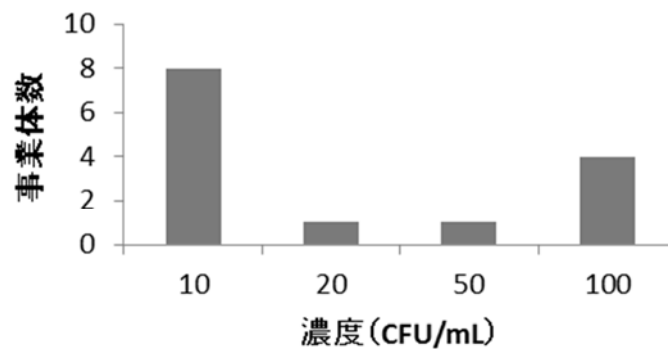


図11 従属栄養細菌の管理基準の設定状況（浄水または給水栓水）

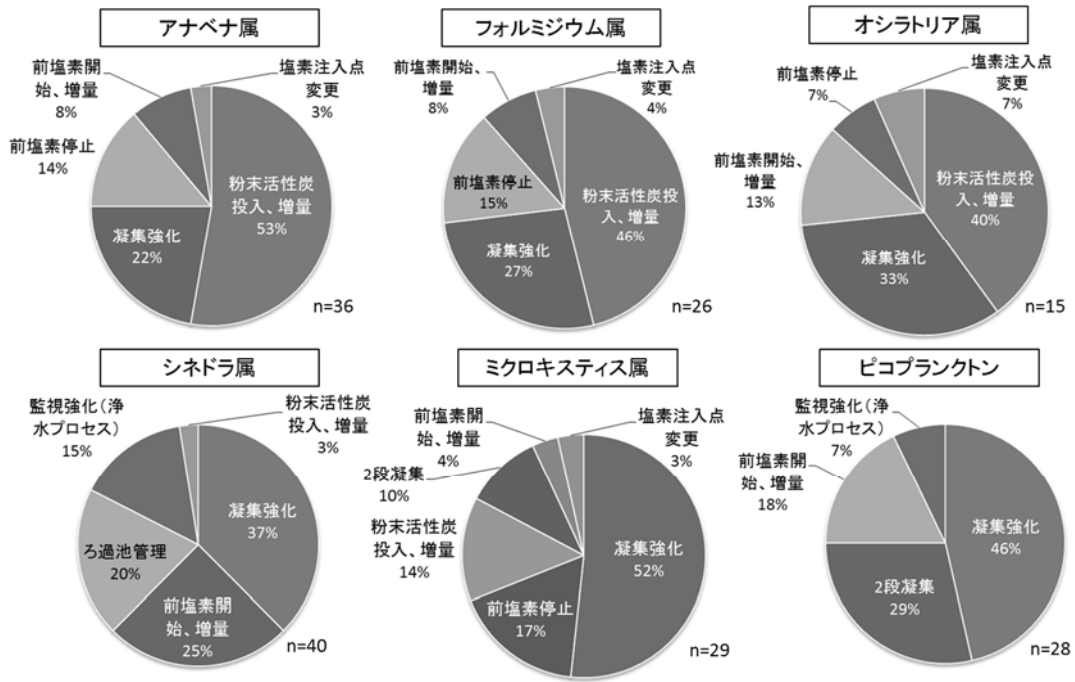


図 12 生物毎の浄水処理での対応方法（検査対象上位 6 生物、複数回答あり）
 (※塩素注入点変更：具体的な記載はなかったが、前塩素開始や停止である可能性がある。)

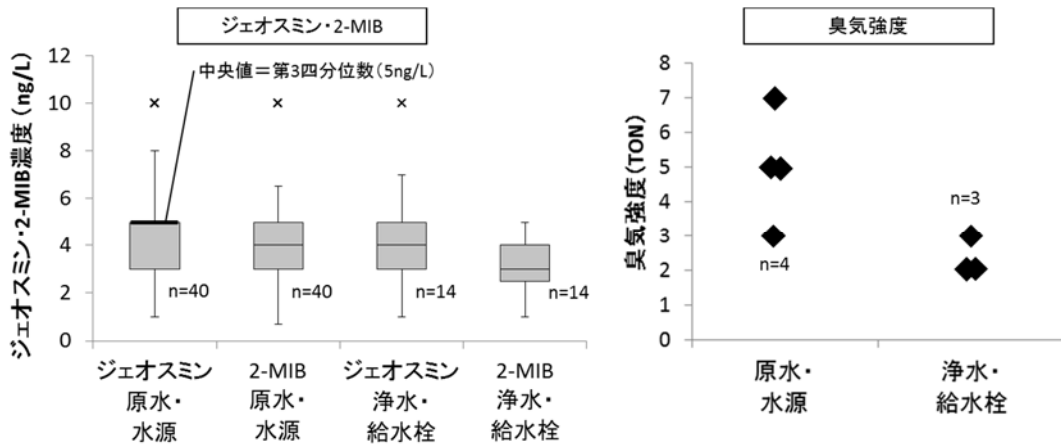


図 13 異臭味関連項目の管理基準値の設定状況

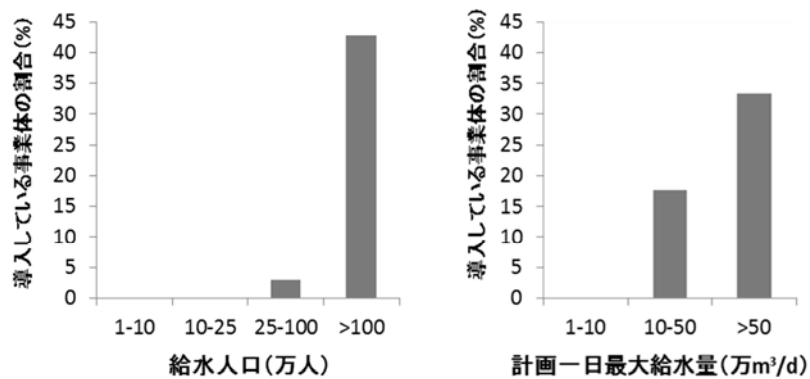


図 14 給水人口、計画一日最大給水量別の遺伝子検査法の導入状況
 (左：上水道事業者、右：水道用水供給事業者)

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

分担研究報告書 4

水源水質事故対応のためのGISの活用

研究協力者 金見 拓
研究協力者 長 健太

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：水源水質事故対応のためのGISの活用

研究協力者 金見 拓 東京都水道局
研究協力者 長 健太 東京都水道局

研究要旨

平成24年5月に発生した利根川流域の浄水場浄水におけるホルムアルデヒド検出事故の経験を踏まえ、流域の水道事業体では水源の水質異常への対応強化を図っている。対応の一つとして、東京都水道局ではPRTR情報等を活用し、水源流域における水質事故発生のおそれの高い地点の把握を行った。化学物質を取り扱っている事業所数や化学物質の排出量、過去の事故発生数等についてGISソフトを用いてリスクの高い地点を抽出した。地点抽出のための地図情報へのデータの落とし込み方法として、流域のメッシュ化、流域界別、事業所排水が流入する河川区間毎のパターンについて検討した。顕在化している水質事故の多い区域として、利根中流域や江戸川下流が抽出され、事業所が多く存在し、潜在的に事故のリスクの高い地点として、多摩川左岸及び荒川支川入間川右岸が抽出された。また、河川区間毎集計は採水地点の選定等では力を発揮するものの、大きな流域を把握するためには、事業所と排出先河川への関連づけ等の労力がかかる。それに比較して、流域界毎に位置情報を落としこむのはデータ更新が容易であり、現状では各水道事業体や関係機関間での情報共有する上で利便性が高い。今後は、流域界毎の集計を共通フォーマットとした連携や対応の在り方について検討を行っていく。

A. 研究目的

東京都水道局では、水源河川と浄水場の取水点や橋梁、水質汚濁防止法特定施設の事業場等を地図に落とし込んだ紙ベースの水道水源流域環境図（以下、「環境図」）を作成し、5～10年毎にデータの更新を行っている。作成した環境図は、流域の事業体や環境部局に配布し、水源の水質事故時にはこの地図を用い事故発生場所や橋梁の位置等について共通認識のもと事故対応が図られるようにしている。

平成24年5月に利根川水系で発生したホルムアルデヒド事故は、利根川水系の浄水場に対して近年にない大きな影響を与え、さらなる水質事故等へ対応の強化が求められた。

東京都では、地理情報システム（以下「GIS」という）を用いて水源水質事故や工場等の事業場について集計・解析を行い、水質事故対応や水道水源におけるリスク把握を行っている。

B. 研究方法 及び C. 研究結果

（1）水源水質事故情報のマッピング

東京都が保有する平成18年4月から平成28年11月まで約10年間の東京都の水源での水質事故発生情報1996件について、GISソフト（Esri ArcGIS ver. 10.2.2）を用いてマッピングを行った。その後、対象エリアを5km四方にメッシュを区切り、各メッシュ内にプロットされた事故件数をカウントし、5段階で行ったものが、図1。国

土交通省の流域界情報データを用い、流域界毎に事故件数をカウントしたものが、図2、流域界毎に一定面積（上記メッシュ面積に合わせ25km²）当たりの件数を示したものが、図3である。

水源水質事故情報は、東京都と、事故の通報を受けた河川管理者である国土交通省や水源地域を管轄する行政機関及び関係する水道事業体が情報を相互交換する中で、蓄積したものである。水源水質事故は、本川、支川だけでなく、本川、支川に流入する可能性がある用水路等広範な事故が水源水質事故情報として寄せられるため、関東一円に分散している。特に、利根川中流域の主に左岸側及び江戸川中～下流域で事故発生件数及び密度が高くなっている。

（2）PRTR制度届出事業所情報のマッピング

平成22年度末時点（上記、事故集計のほぼ中間年度）の利根川、荒川、多摩川水系の当局水源におけるPRTR制度届出事業所、3,686件について上記と同様、GISソフトを用いてマッピング用い、メッシュ化（図4）、流域界毎の事業所数（図5）及び流域界毎25km²当たりの件数（図6）を表している。

多摩川左岸及び荒川支川入間川右岸、埼玉県東南部、利根川中流域の事業所数が多く、密度も高くなっている。水源水質事故ではないが、江戸川流域も事業所数多い状況であった。また、メッシュ化に当たっては、東京都の水源全体かつ対象件

数を表現する場合、5km×5kmのメッシュが一番表現しやすかった。

(3) 産業廃棄物処分業者の分布

平成23年度の産業廃棄物処分業の登録を受けている事業者1,590件について同様にマッピングを行った。流域界毎の事業所数を表したのが図7である。利根川中流域の右岸に一部件数が多いところがあるが、左岸はそれほど多くはない。その他多摩川左岸及び荒川支川入間川右岸、江戸川流域の数が多くなっている。

(4) 河川区間毎の汚染リスクに関する検討

事業場からの化学物質の河川への負荷がどの程度か、あるいは事故発生リスクの高さがどの程度かを表現する方法として、河川の区間毎に排水している事業所数や化学物質の排出量を地図上に表現する方法について検討した。

平成22年度PRTR制度届出情報を用い、当局の水源として、利根川、江戸川、荒川及び多摩川の各水系について河川における化学物質毎のリスクマップを作成した。

現状では、事業所の河川への排水流出地点や、事業所内で化学物質の漏えい事故が発生した場合、河川のどの地点に流出するかという情報はどの機関でも整理されていない。そのため、今回の検討では、事業所が所在する流域界の中で、河川の最近接地点に化学物質が流出すると仮定した。

河川を河口または河川の分岐地点から2km毎に区切り、河川区画とし、各事業所からどの区画に排出されるかを整理した。

各区画におけるPRTR届出情報の水域への排出量単独と、廃棄物・下水・水域・大気への移動・排出量の総和について、河川区画毎に集計し、レベル分けを行った。

例として荒川流域におけるジクロロメタンの集計結果を図8に示す。レベル分けして図示する河川区間を、上記の二区画分の4km毎とし、移動・排出量の総和について示した。

水域への排出量単独でも検討を行ったが、移動・排出量に占める水域への排出量は2%程度であるため、水域への排出量の場合、多くの物質で、区画毎のレベル分けできる程の事業所数がない状況であった。また、水質事故を想定すれば普段水域へ排出していない化学物質が、工場における漏えい事故等により化学物質が河川へ流出することも想定されることから、移動・排出量の総和で評価した。

D. 考察

(1) マッピング結果の比較と活用

水源水質事故情報とPRTR情報のマッピングにおいて、リスクの高い地域の分布については、利根川中流域など、おおむね同様の傾向を持つ地点もあった。一方で、水源水質事故については江戸川流域など極端に高い部分もある。

事業所は多いが、水源水質事故件数が少ない、あるいはその逆の傾向にある地点については、下水道の整備状況や河川監視巡視の地点や頻度なども関係してくるものと考えられる。

過去にも、事業所が排出した化学物質が下水道で処理できずに、河川へ流出した事故もあったため各事業所から、どの下水処理場に流入し、処理場からの放流がどこになされるのかの情報も水系ごとに整理され、共有が図られることも必要と考える。

流域毎の件数によるレベル分けの場合、流域面積が大きくなるほど、当然ながら件数が増え、レベルが上がる。流域毎の一定面積当たりの件数の場合、流域面積が小さい方がレベルが高くなる傾向があった。

水質事故を想定した場合流域の一事業所でトラブルがあったとしても事故につながるため、流域ごとの件数のレベル分けが合理的で、降雨の集水面積により流域の大小が、河川流量に比例すると考えれば、流域の一定面積当たりのレベル分けにより、その流域における常時の汚染レベルと関連付けることが想定される。

(2) 河川区間毎の汚染リスクに関する検討

ある事業所から、流入する河川地点の把握ができると、河川監視等の優先順位付けの他に、事業所から化学物質流出事故が発生したとの一報があった時に、どの地点の採水を行えばよいか迅速に把握することが可能となり、水質事故対応の向上が図られる。

河川区間毎のリスクの把握のために、今回は事業場から同一流域から最短距離の河川地点に流入すると仮定し検討したが、主に2点の課題があげられた。

一つは、実際の河川への放流口の位置は、地形などの制約等から必ずしも最短距離地点ではないこと、もう一つは、事業所ごとに、どの河川区間に流入するかを入力作業に労力がかかったことである。後者については、データの更新時にも流域界やメッシュごとにリスクを評価する手法よりも、多くの労力が必要となる。

これらの課題への対応策としては、水質汚濁防止法やPRTRの届出すべき情報に放流先の河川名だけでなく、放流地点の位置情報(緯度経度情報、河口からの距離等)を追加する、また、河川へ放流していない事業場については、場内で化学物質漏えい事故があった時、河川のどの地点に流出す

るかの位置情報を合わせて報告することとすることが考えられる。これらの情報を環境部局がとりまとめ水道事業者と情報共有することで、水源河川単位でのリスク把握が精緻化かつ容易となる。

また、水源地域で化学物質が流出した場合、地盤高や水路等を考慮して河川のどの地点に流入するかを、区間単位ごと（例えば今回の2km毎等）に整理する。そのデータをもとに流域界を分割したGISデータを作成すれば、事業所の位置情報をGISソフトに落とし込むだけで、容易に事業所から河川のどこの位置に流入するかを地図上に表現することが可能となる。このような流域界の分割情報データの作成を河川管理者等と協力して作成し、データに関係者で共有することができれば、リスク管理の強化につながる。

E. 結論

位置情報を地図上に容易に表現できるGISは、今後の水源水質事故リスクを把握する重要なツールとなる。

これまで行ってきた、水源における過去の水源水質事故発生地点を採水地点とした定期的監視の代表地点の設定にもマッピング情報を踏まえて合理的な検討が行えるようになった。

また、水質事故時の情報連絡においてもマッピングされた事業者情報や橋梁の位置情報などについて、各関係者が共通の認識で情報のやり取りが図れ、誤解などの発生を抑制する。

また、化学物質を取り扱う水源の事業者に対する注意喚起に関しては、現在、利根川・荒川水道事業者連絡協議会として、利根川・荒川水系の工場等の事業者、多摩川流域においては川崎市と合同で、毎年年末に化学物質の取り扱いに関する注

意喚起の要請文を送っている（平成28年度は、2,911件、1,025件へ12月発送）。この活動を引き続き行いながら、マッピングから得られたリスクの高い地域の事業者については、別途訪問して水道事業者としての問題となる物質等について伝える情報交換するなど更なる発生抑制の実施なども検討すべきと考える。

今後は、当面流域界毎の集計を同水系の水道事業者や関係機関との共通フォーマットとして用い、将来的に事業場の河川への排出地点情報などが整理されれば、取り込んでいくことを検討したい。

東京都水道局では、GISの活用の他に水質事故強化の取り組みとして、これ以外にも、水源で使用されている化学物質の水質分析方法の確立や、化学物質の浄水処理による処理性把握、自動連続測定による異常検知機器の開発、事故原因物質を迅速に特定する手法の確立なども行っており、これらの情報も併せて関係機関と共有することで、さらなる水質に関する危機管理の強化が図られることが期待される。

F. 健康危険情報

該当なし。

G. 研究発表

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。

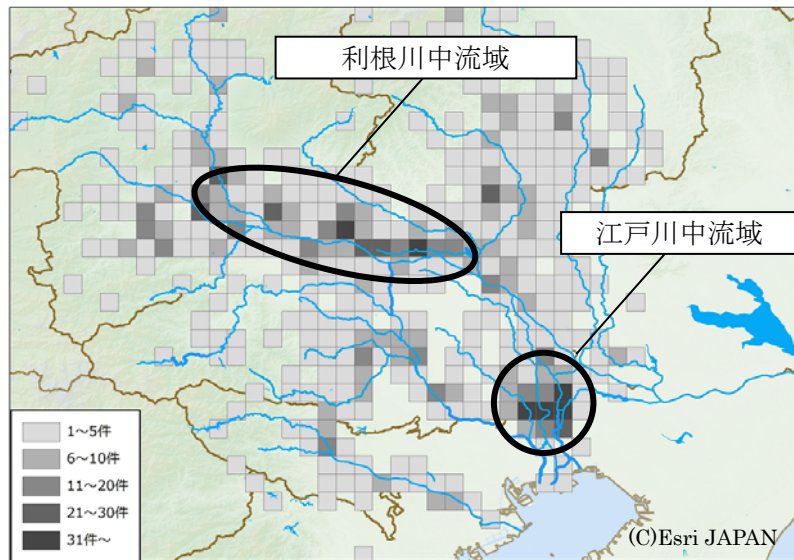


図1 水源水質事故情報・メッシュ表示（平成18年4月から平成28年11月）（N=1,996）

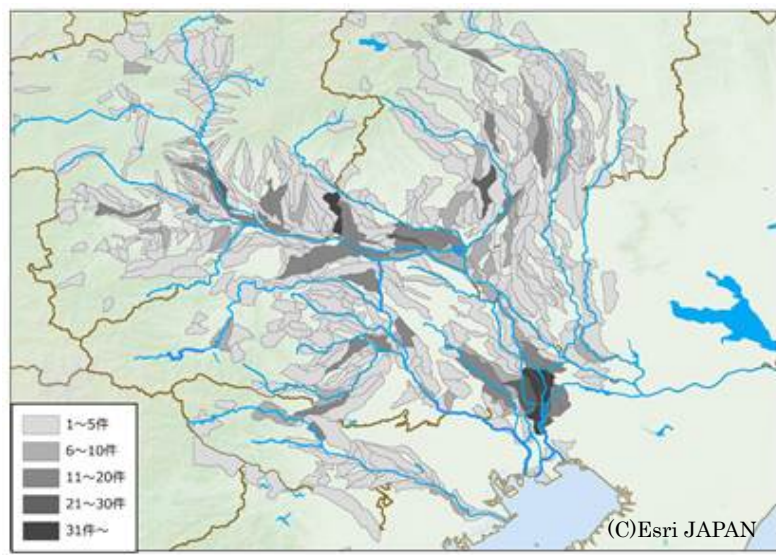


図2 水源水質事故情報・流域界毎の件数（平成18年4月から平成28年11月）（N=1,996）

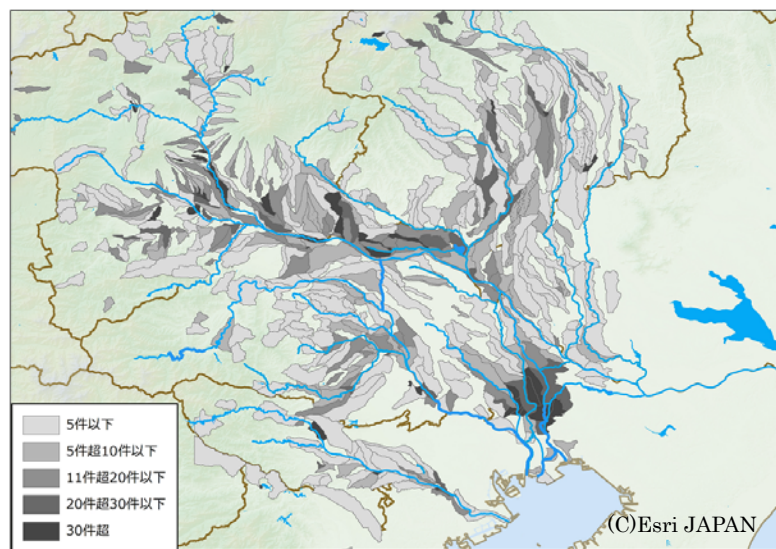


図3 水源水質事故情報・流域界毎の25km²当りの件数（平成18年4月から平成28年11月）（N=1,996）

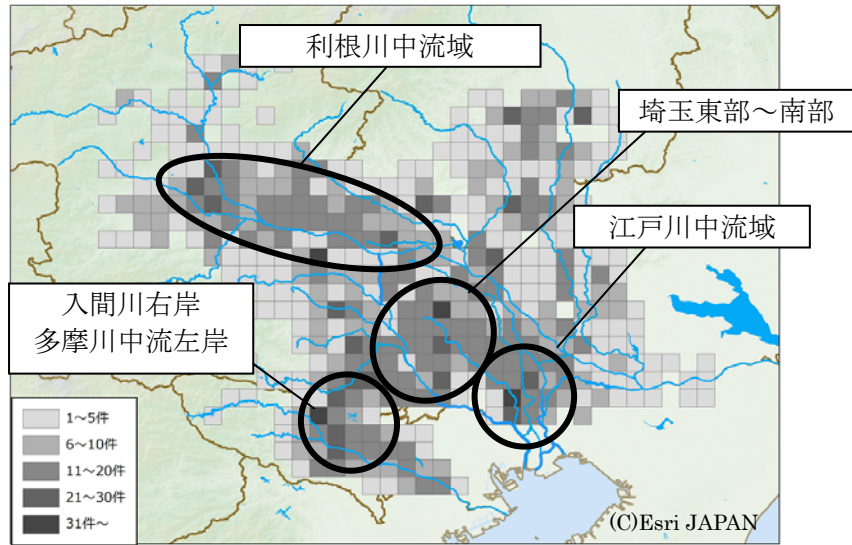


図4 PRTR届出事業所数・メッシュ表示（平成22年分データ）(N=3,686)

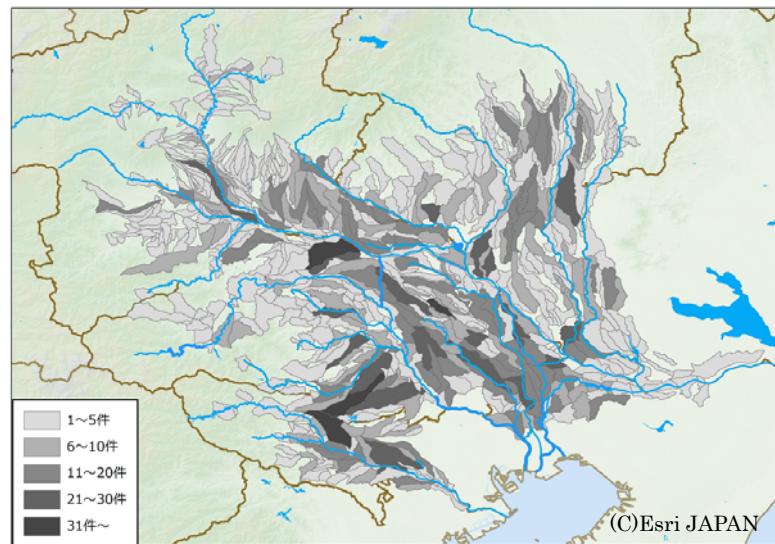


図5 PRTR届出事業所数・流域界毎の件数（平成22年分データ）(N=3,686)

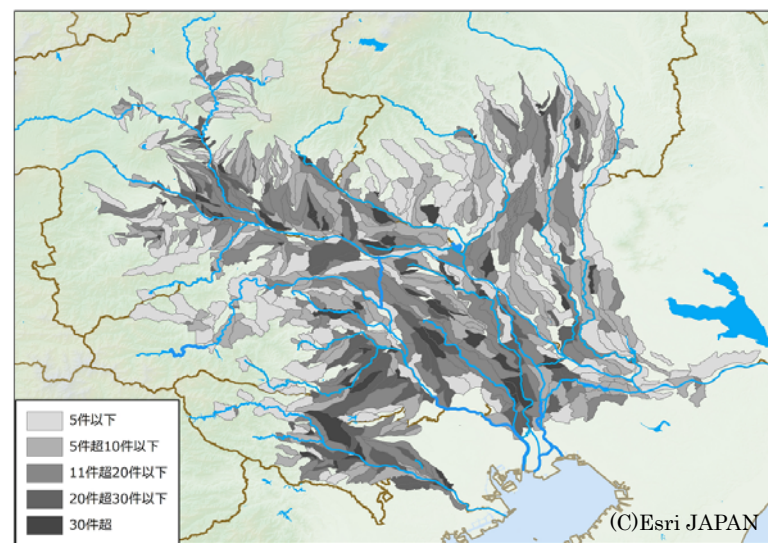


図6 PRTR届出事業所数・流域界毎の25km²当りの件数(平成22年分データ)(N=3,686)

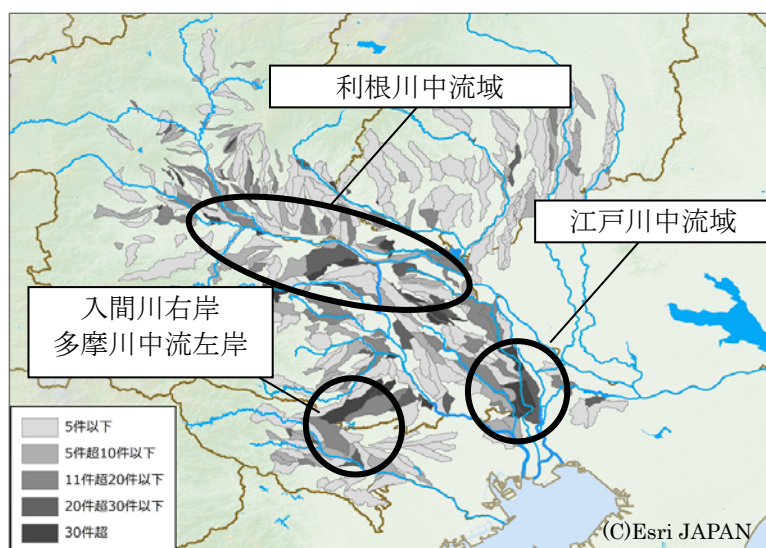


図7 産業廃棄物処分業事業所・流域界毎の件数(平成23年分データ)(N=1,590)

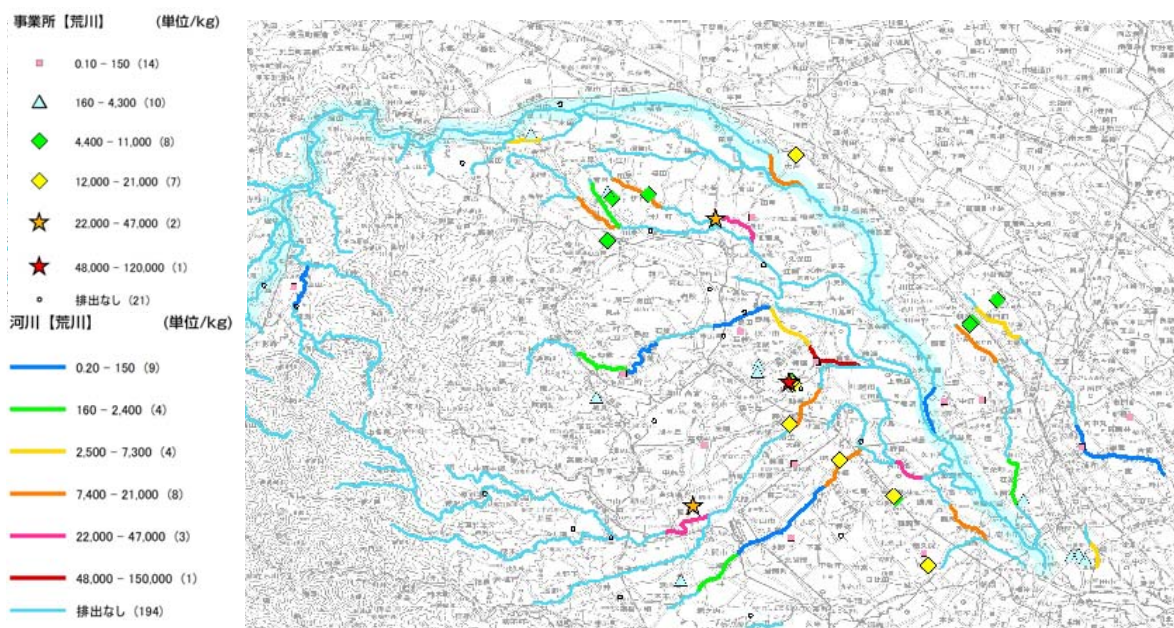


図8 河川区間毎のPRTR届出事業所・排出・移動量総数(平成22年分データ)(N=3,686)

淀川流域での危害発生地点と
監視地点等の図示化による監視体制の検討

研究協力者 田川 克弘
研究協力者 大谷 真巳

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：淀川流域での危害発生地点と監視地点等の図示化による監視体制の検討

研究協力者 田川 克弘 大阪市水道局工務部柴島浄水場
研究協力者 大谷 真巳 阪神水道企業団技術部水質試験所

研究要旨

ガスクロマトグラフ自動連続監視装置 (VOC 計) による原水中油類の検知について検討した。油流出事故時のクロマトグラムを分析したところ、トリメチルベンゼン等が検出されており VOC 計による油類検知可能性が示された一方、密度が低く疎水性が高いアルカン類は検出されなかった。また、沸点が低い VOC は流下過程等で揮発する可能性もあることから、VOC 計による監視対象成分としては密度が高く、疎水性が低く、沸点が高い成分が望ましいと考えられた。VOC 計を用いた油類検知の確立により、淀川流域において発生ポテンシャルの高い VOC と事故発生件数の最も多い油類を同時に監視することが可能となり、水質汚染事故監視体制の更なる強化が期待できる。

A. 研究目的

河川水を水道水源とする水道事業体は、上流域で有害物質が流入する水質汚染事故や降雨等による原水水質の急激な変動により、安全で良質な水道水を安定的に供給することが困難となる危機に常に晒されている。このような危機に対応するためには、取水口上流域に存在する水質汚染リスクを把握あるいは想定し、原水水質が突発的に著しく変化した場合に備えた水質監視を行い、水質異常の内容や規模に応じた適切かつ迅速な対応が行える体制を整える必要がある。

これまでの調査で、淀川流域では水源水質事故の約 7 割が油の流出であること、及び油以外の水質汚染事故が発生するリスクとしては揮発性有機化合物 (VOC) 流出のポテンシャルが高いことが明らかとなっている。ところで油類には VOC が含まれている。阪神水道企業団 (阪神水道) では、原水中の VOC を速やかに検知する目的で、取水場にガスクロマトグラフ自動連続監視装置 (VOC 計) を設置しており、この VOC 計を活用することで原水中に溶解した油類を連続的に監視できる可能性がある。そこで水質汚染リスクとして油類に着目し、VOC 計を用いた油類の連続監視について検討を行った。本稿ではまず、淀川流域における油類の監視状況を取りまとめた。次に、油流出事故時における VOC 計での油類中 VOC の検出状況をもとに、VOC 計を用いた油類検知可能を検証した。

B. 研究方法

B1 VOC 計の概要

VOC 計のシステム構成図を図 1 に示す。取水場沈砂池の水深数 m 付近より採取した試料水を砂ろ過装置でろ過し懸濁物質を除去した後、スパー

ージャー内で窒素ガスによりパージし、パージされた気体をガスクロマトグラフィーで測定する。検出器は水素炎イオン化検出器 (FID) で、分析周期は 1 時間である。現在監視している VOC (以下「監視対象 VOC」という。) とその警戒体制濃度を表 1 に示す。監視対象 VOC は計 21 種で、水道水質基準項目、水質管理目標設定項目、要検討項目及び臭気を有する成分を監視している。

B2 淀川流域における油類の監視状況

油流出事故の検知方法の一つとして、臭気試験が挙げられる。そこで、淀川から取水する水道事業体で構成される淀川水質協議会の構成事業体の水質検査計画の確認や事業体への聞き取りを行い、原水の臭気試験を一日一回以上の頻度で実施している事例を調査した。また、淀川水質協議会の資料²⁾や聞き取りにより、計器を用いた油類の連続監視状況を調査した。以上の結果をもとに、平成 15~25 年度における油流出事故の発生地点¹⁾とあわせ、臭気試験及び油類の連続監視の実施箇所をプロットし、淀川流域における油類監視体制を取りまとめた。

B3 VOC 計による油類検知可能性

水道施設で油臭が確認された油流出事故のうち、平成 26 年 9 月の油流出事故時及び平成 28 年 3 月に発生した油臭事故時における VOC 計のクロマトグラムを調査した。

C. 研究結果および D. 考察

C1 淀川における油類監視体制

油類事故発生地点、淀川から取水する水道事業体の取水口、臭気検査地点及び油類監視装置の設置箇所を図 2 に示す。油流出事故の発生地点の総

数は 213 箇所、その内訳をみると、淀川上流の桂川流域では 21 箇所、宇治川流域では 75 箇所、木津川流域では 67 箇所、これら三川の合流地点より下流側では 50 箇所であった。

淀川から取水する水道事業者の取水口は、最上流の大阪市楠葉取水地点から最下流の阪神水道柴島取水地点までの約 23km の間に計 12 箇所存在する。両取水地点間の滞留時間は、淀川水質協議会が作成した淀川流達時間表示システム³⁾によれば、河川流量が淀川の平水流量に相当する 180m³/s であれば約 30 時間と見積もられている。定期検査における臭気検査の実施状況を見ると、大阪市水道局の豊野浄水場、庭窪浄水場及び柴島浄水場、尼崎市水道局の神崎浄水場(2 取水系統)、大阪広域水道企業団の村野浄水場、庭窪浄水場及び三島浄水場、阪神水道の猪名川浄水場及び尼崎浄水場の 9 浄水場 10 取水系統において、月 1 回以上の臭気検査に加え、一日 1 回以上の頻度で原水の臭気検査を実施している。油の連続監視体制を見ると、大阪広域水道企業団磯島取水場及び一津屋取水場、阪神水道大道取水場及び淀川取水場の 4 箇所に油膜検知器が設置されている。また、大阪市水道局においては、平成 29 年 3 月に楠葉取水場、庭窪第二地点及び柴島地点の 3 箇所に油分モニタを設置予定である。

本稿で油類検知可能性を検討する VOC 計については、大阪広域水道企業団磯島取水場、庭窪浄水場及び一津屋取水場、阪神水道大道取水場の計 4 箇所に設置されている。VOC 計を用いた油類検知の確立により、淀川流域において発生ポテンシャルの高い VOC と事故発生件数の最も多い油類を同時に監視することが可能となり、水質汚染事故監視体制の更なる強化が期待できる。

G2 VOC 計による油類検知可能性

平成 26 年 9 月の油流出事故時の VOC 計によるクロマトグラムを図 3 に示す。事故発生地点は、大道取水場の上流約 10km に位置する。図 3 には VOC 計による監視対象 VOC、エチルトルエン(σ -m-、p-)、トリメチルベンゼン(1,2,3-、1,2,4-、1,3,5-) 及びアルカン類のクロマトグラムもあわせて示した。複数の箇所でピークが見られ、キシレン及びトリメチルベンゼンや、エチルトルエンのものと思われるピークが確認できた。すなわち、VOC 計を用いることで、油臭が感じられる A 重油の流出を検知できる可能性が示された。なお外山らは、本油流出事故時の原水中重油濃度を 0.85ppm と推測している⁴⁾。また千葉らは、油類を精製水に添加して臭気試験を行い、A 重油については 0.5mg/L の濃度で約 90%の被験者が臭気を感じ、1mg/L の濃度では全ての被験者が臭気を感じたと報告している⁵⁾。

ところで図 3 において、A 重油中に含まれるアルカン類のピークを識別することができなかった。そこで、さらに、事故時の原水のマススペクトルをガスクロマトグラフ質量分析計で測定し、ライブラリ検索を行うことで含有する VOC を調査した。その結果、A 重油に含まれている成分のうち、トリメチルベンゼン等は確かに検出されたものの、アルカン類を検出することはできなかった。この理由として、アルカン類は他の VOC に比べ密度が低く、オクタノール/水分配係数が高いすなわち疎水性が高いことから、水に溶解しにくかったためであると考えられる。また、山中らが指摘しているように、鉱物油が環境中に流出した場合には低沸点成分が揮散する可能性があり⁶⁾、トルエンやキシレン、炭素数の少ないアルカン類といった沸点が比較的低い VOC は、河川等の流下過程等で揮発してしまい VOC 計で検出できない恐れがある。以上のことから、VOC 計を用いた原水中油類検知のための監視対象 VOC としては、トリメチルベンゼンのように比較的密度が高く、疎水性が低く、かつ沸点が高い成分が望ましいと考えられる。また伊藤らは、VOC 計のろ過装置にエンジンオイルを数滴垂らしてその影響を調べたが、オイル由来のピークは検出されなかったことを報告している⁷⁾。この原因は明らかにされていないが、以下に考察を試みる。エンジンオイルのような機械油は、その用途からして燃料油に比べ高い粘度を有する。そのため、機械油に含まれる VOC は燃料油より分子量が大きい、すなわち疎水性及び沸点がより高い傾向にあるものと考えられる。したがって、伊藤らの調査においては、エンジンオイル中の VOC が VOC 計の砂ろ過装置に吸着した、または調査時のカラム昇温条件では揮発しなかった、のいずれかの理由によりピークが検出されなかったものと推測される。本稿では、燃料油、すなわちガソリン、灯油、軽油及び A 重油を調査対象としたが、機械油等、油種によっては VOC 計で検出できない可能性があることに注意が必要である。

平成 28 年 3 月の油臭事故時のクロマトグラムも図 2 に示した。本事故の原因油種は不明であったが、平成 26 年 9 月の油流出事故時と同様、ピーク強度は弱いものの複数の箇所でピークが見られ、キシレン及びトリメチルベンゼンと思われるピークが検出された。本事故時の検出事例からも、VOC 計を用いることで臭気を感じられる油流出事故を検知できる可能性が示された。

本調査の最終目標は、VOC 計を用いて原水中油類を連続監視し、油類流入時には警報を発報させ速やかな対応を可能にすることである。本稿で示したように、VOC 計は油類に含まれる VOC を検出できるものの、油類流出事故時における油類

中 VOC の一部は、河川流下過程での揮発等の影響により VOC 計で検出できるとは限らない。したがって、VOC 計による油類検知手法を確立するにあたっては、油類を用いた調査ではなく、油流出事故時における調査を積み重ね、知見を蓄積していく必要があると考える。

具体的には、取水場への油類の流入が確認された場合、流入水に含まれる VOC をガスクロマトグラフ質量分析計により同定するとともに、VOC 計でのそれら成分の検知状況を確認する。また、油膜や原水着臭の規模と VOC 計による油類検知状況との関連性も検証する。以上の作業を複数回の油類流出事故で繰り返し、事故時に VOC 計で検知する油類中 VOC とその保持時間を見出すと同時に、VOC 計による油類検知の限界も明らかにする。

最終的には、油類中 VOC を VOC 計の監視対象として組み込む予定である。その際、ピークの分離性も考慮し、現監視対象 VOC も含め保持時間範囲を設定する。また、一部の現監視対象 VOC については、油類検知の観点から警戒体制濃度も見直す。なお、VOC 計による油類検知手法を確立できるまでの間は、上流域からの事故情報、取水場の油膜検知器または毎日の臭気試験によって油の流入を検知したうえで VOC 計のクロマトグラムも確認することで、取水場への油類流入をより確実に判定していく考えである。

C3 油類連続監視方法の比較

聞き取り調査や阪神水道における実績により、油類の連続監視方法として、油膜検知器、油分モニタ及び本稿で検知可能性を検討した VOC 計の特徴等を表 2 に整理した。油膜検知器は、構造が簡単で維持管理性に優れているが、センサーの直下に油膜がないと検出できないというデメリットもある。油分モニタは油膜検知器に比べて構成する機器が多くコストも高いが、油膜にならない油分を検出できるというメリットがある。VOC 計も油分モニタと同様、付属機器やコストが課題となるが、水中に溶解した油分を検出可能で、かつ淀川流域において発生ポテンシャルが高いと推測される VOC の監視も可能である。

一方、本稿で指摘したように、油類中 VOC のうち、密度が低く、疎水性が高く、沸点が低い成分は VOC 計で検出できない可能性がある。また機械油のように疎水性及び沸点が高い VOC となる油類も検出できない可能性がある。これらは、気化した VOC をにおいセンサーで測定する油分モニタについても当てはまるものと考えられる。

E. 結論

- ・淀川流域では計 4 台の VOC 計が設置されてい

ることから、VOC 計を用いた油類検知手法を確立することで、事故流出リスクの高い油及び VOC を同時に監視することが可能となり、水質汚染事故の監視体制が更に強化されるものと考えられる。

- ・油流出事故時において、VOC 計でキシレンやトリメチルベンゼン等のものと思われる複数のピークが検出された。すなわち、VOC 計による油類検知可能性が示された。
- ・一方で、他の VOC に比べ密度が低く疎水性が高いアルカン類は、水に溶解しにくかったためか検出されなかった。また、沸点が比較的低い VOC は、河川等の流下過程等で揮発する可能性がある。以上のことから、VOC 計を用いた原水中油類検知のための監視対象 VOC としては、比較的密度が高く、疎水性が低く、かつ沸点が高い成分が望ましいと考えられる。

本調査は、VOC 計による原水中油類の連続監視手法の確立を最終目標としている。油流出事故時において知見を蓄積したうえで、実用化していく考えである。

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

- 1) 北なつ海、田中康夫、橋本久志、VOC 計を用いた原水中油類の連続監視に関する検討、平成 28 年度全国会議（水道研究発表会）講演集、pp.676-677、2016.

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) 渚上知弘、大谷真巳、淀川流域での危害発生地点と監視地点等の図示化による監視体制の検討、平成 26 年度厚生労働科学研究費補助金「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、pp.39-44、2015.

2) 淀川水質協議会、琵琶湖・淀川水系の水質調査報告書.

3) 石本知子、水源汚染時の淀川水質協議会の連絡体制、水環境学会誌、第 38 巻 (A) 第 3 号、pp.100-103、2015.

4) 外山義隆、春田知昭、益崎大輔、田中航也、瀧上知弘：油流出事故による原水水質への影響及び着臭成分の処理性、第 58 回日本水道協会関西地方支部研究発表会概要集、pp.177-180、2015.

5) 千葉真弘、泉敏彦、伊藤八十男：モデル実験による鉱物油混入水の臭気及び有害成分濃度、北海道立衛生研究所報、第 56 集、pp.27-30、2006.

6) 山中栄美、松原英隆、鉱物油の成分及びその水溶性成分の GC/MS による分析、福岡市衛生試験所報、21 号、pp.87-92、1995.

7) 伊藤保、尾谷正彦、山崎良明、藤好紘一郎：水道原水監視用のガスクロマトグラフ自動連続監視装置の開発と水質事故対応について、水道協会雑誌、第 69 巻第 10 号、pp.17-25、2000.

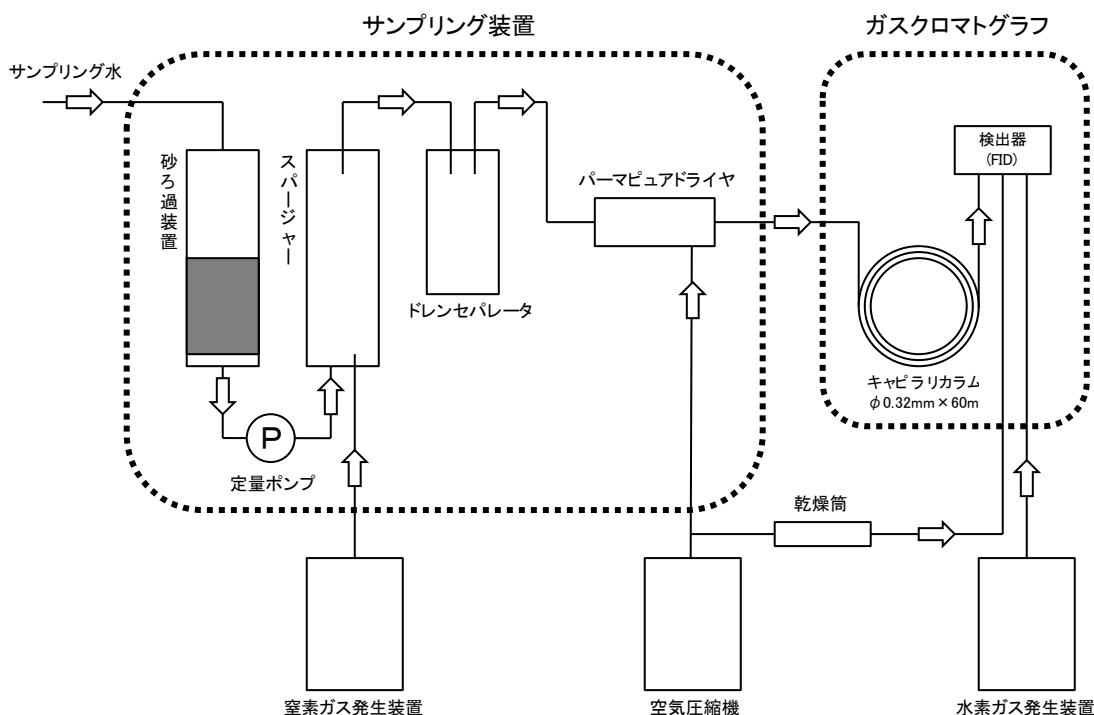


図1 VOC計のシステム構成図

表1 VOC計の監視対象項目

項目名	基準値等 (mg/L)	警戒体制濃度 (mg/L)	保持時間範囲 ^{※4} (秒)
1,1-ジクロロエチレン	0.1	0.05	約420~450
ジクロロメタン	0.02	0.01	約460~490
trans-1,2-ジクロロエチレン	0.04 ^{※1}	0.02	約490~520
cis-1,2-ジクロロエチレン	0.04 ^{※1}	0.02	約580~600
クロロホルム	0.06	0.03	約600~620
1,1,1-トリクロロエタン	0.3	0.15	約630~660
四塩化炭素	0.002	0.004	約670~680
1,2-ジクロロエタン	0.004	0.004	約680~710
ベンゼン	0.01	0.004	約680~710
トリクロロエチレン	0.01	0.005	約740~760
ブロモジクロロメタン	0.03	0.015	約790~810
cis-1,3-ジクロロプロペン	0.05 ^{※2}	0.004	約840~860
トルエン	0.4	0.2	約870~890
trans-1,3-ジクロロプロペン	0.05 ^{※2}	0.004	約890~910
テトラクロロエチレン	0.01	0.005	約940~960
ジブロモクロロメタン	0.1	0.05	約970~990
m-キシレン	0.4 ^{※3}	0.01	約1040~1070
p-キシレン	0.4 ^{※3}	0.01	約1040~1070
o-キシレン	0.4 ^{※3}	0.01	約1080~1110
ブロモホルム	0.09	0.045	約1130~1150
p-ジクロロベンゼン	-	0.006	約1270~1300

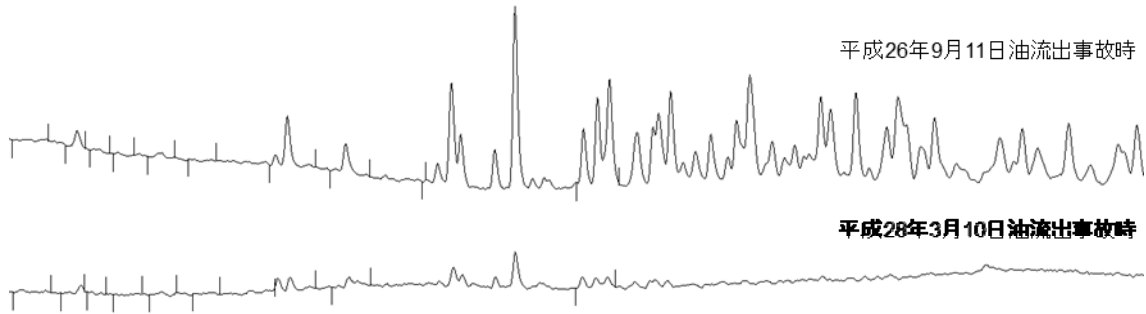
※1 cis-及びtrans-1,2-ジクロロエチレンの濃度の合計値に対する基準値

※2 cis-及びtrans-1,3-ジクロロプロペンの濃度の合計値に対する目標値

※3 o-, m-及びp-キシレンの濃度の合計値に対する目標値

※4 カラムの劣化等によりVOCの保持時間が変化するため、VOC計の分解点検(年2回)の際に標準物質の保持時間をもとに設定

【油流出事故時クロマトグラム】



【標準物質添加時クロマトグラム】

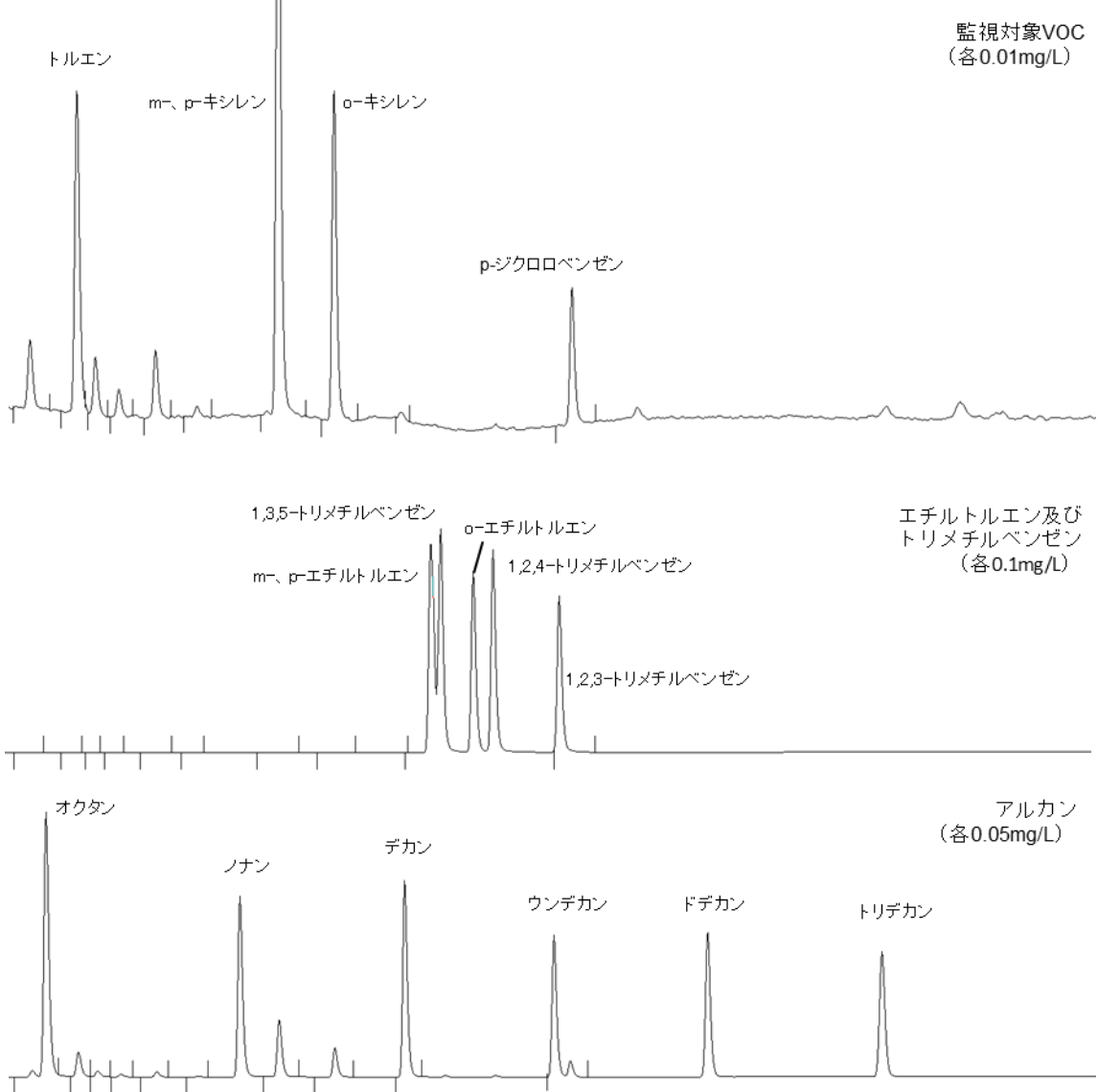


図3 油流出事故時におけるVOC計によるVOC成分の検出状況

表 2 油類連続監視方法の特徴等

	油膜検知器	油分モニタ	VOC計
原理	・水面上に浮いた油膜を光学的に検出	・油分を気化させて、においセンサーで測定	・油分中のVOC成分をGC-FID法で検出
測定対象	・水面上の油膜	・揮発性有機化合物(VOC)	・揮発性有機化合物(VOC)
設置場所	・開放水面への現場設置	・水質計器室	・水質計器室
特徴	・油膜を迅速に検知可能 ・構造が簡単で故障しにくい	・油膜にならない油分を検知可能	・油膜にならない油分を検知可能 ・油分由来でないVOCも検知可能
	・センサーの真下に油膜がないと検知できない ・ゴミ等でも反応する ・油膜にならない油分は検知できない	・構成する機器が多い ・分析に15分程度かかる ・油類中VOCのうち、比重が軽く、疎水性が高く、沸点が低い成分は検出できない可能性がある ・機械油のように疎水性及び沸点が高いVOCからなる油類は検出できない可能性がある	・構成する機器が多い ・分析に1時間程度かかる ・油類中VOCのうち、比重が軽く、疎水性が高く、沸点が低い成分は検出できない可能性がある ・機械油のように疎水性及び沸点が高いVOCからなる油類は検出できない可能性がある
維持管理性	・メンテナンスが少ない	・年4回程度のセンサー取替が必要	・月1回のメンテナンス及び年2回の分解点検が必要
イニシャルコスト	・<1000万円	・>1000万円	・≫1000万円
ランニングコスト	・<100万円/年	・>100万円/年	・>100万円/年

連続自動水質計器の設置、活用状況に関する調査

研究代表者	小坂 浩司
研究分担者	浅見 真理
研究協力者	下ヶ橋 雅樹
研究協力者	小池 友佳子
研究協力者	斎藤 健太
研究協力者	宮林 勇一
研究協力者	佐藤 三郎

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：連続自動水質計器の設置、活用状況に関する調査

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
研究分担者	浅見 真理	国立保健医療科学院生活環境研究部水管理研究領域
研究協力者	下ヶ橋 雅樹	国立保健医療科学院生活環境研究部水管理研究領域
研究協力者	小池 友佳子	八戸圏域水道企業団
研究協力者	斎藤 健太	横浜市水道局
研究協力者	宮林 勇一	横須賀市上下水道局
研究協力者	佐藤 三郎	(公社) 日本水道協会

研究要旨

全国約 330 の水道事業体を対象に、自動水質計器の設置、活用状況について調査を行った。4 つ（急速ろ過方式、消毒のみ、緩速ろ過方式、膜ろ過方式）の処理方式によらず、本研究で対象とした浄水場の 98%以上で、1 種以上の水質計器を設置していた。消毒のみの場合を除き、濁度計、残留塩素計、pH 計は複数地点で設置している割合が高かった。処理方式によって違いあるものの、全体的に見ると、メンテナンスを行っている場合、自己メンテナンスは 1 ヶ月以内、委託メンテナンスは 1 年以内の割合が共通して高い傾向にあった。処理方式によらず、水質計器の活用方法は、管理基準や指標値を設定している場合が多い傾向にあった。水質計器の原理として、生物センサーの場合は魚類監視装置が、残留塩素計の場合はポーログラフ法が、高感度濁度計の場合は粒子数計測法が多かった。水質計器に対する要望としては、メンテナンスフリー（点検、試薬、部品の交換等）であること、コストが低いことが共通していた。

A. 研究目的

原水の水質変動・水質異常を検知し、速やかに対応し安全な水道水の継続的な供給に対し、各プロセスで設置されている連続自動水質計器の果たす役割は非常に大きい。しかし、これまでのところどのような水質計器がどの地点に設置され、どのように活用されているかについて、その現状はほとんど整理されていない。また、その設置状況は、当然ながら処理方式によっても大きく異なると考えられる。

本研究では、全国の水道事業体を対象にアンケート調査を行い、連続自動水質計器の設置、活用状況について整理、解析を行った。このとき、処理方式別に集計した。

B. 研究方法

1. アンケート調査

2015 年 8～10 月、4 つ（急速ろ過方式、消毒のみ、緩速ろ過方式、膜ろ過方式）の処理方式別に全国の水道事業体から調査対象を選定し、それぞれの水道事業体に対し、該当する処理方式の代表的な 1 浄水場について電子メールでアンケート調査を行った（代表浄水場は、水道事業体側が選定）。上記 4 つの処理方式には、高度浄水処理を行っている場合も含まれている。このとき、各処理方式の調査事業体数は、それぞれ 224、58、29

および 20 であった（表 1）。1 水道事業体については、異なる 2 つの処理方式について調査依頼を行ったため、全調査事業体数は延べ 331 であった。

回答は、急速ろ過方式、消毒のみ、緩速ろ過方式、膜ろ過方式でそれぞれ 177、46、16、19 の浄水場について得た。膜ろ過方式の場合、19 浄水場のうち 1 つは海水淡水化の浄水場であった。水道事業体によっては複数の浄水場の回答を行ったところがあったこと、依頼した処理方式と異なる処理方式の浄水場に対して回答された場合があったことから、この数を用いて回収率の算出は行わなかった。

回答いただいた対象浄水場について、図 1 に地方区分の内訳を、図 2 に浄水場の施設能力の内訳を示す。地方区分によって対象浄水場数は 10～50 程度で、関東、中部、近畿、九州地方が多かった。また、緩速ろ過方式を除きいずれの処理方式でも全ての地方区分から回答を得た。施設能力については 1 万～5 万 $\text{m}^3/\text{日}$ のところが最も多かった。緩速ろ過、膜ろ過で >10 万 $\text{m}^3/\text{日}$ の浄水場の回答はなかったが、それ以外については処理方式によらず各施設能力の分類から回答を得た。

2. 質問内容

質問は、以下に示す 5 つの項目について行った（質問票は Excel ファイルで作成）。質問 1 の各

水質計器の設置、活用、メンテナンス状況は処理方式別に集計を行った。高度処理の浄水場は区別せずに集計した。質問 1 の代替指標および 5 種の水質計器の原理に関する質問、質問 2~5 は処理方式に分類せず集計した。

(1) 質問 1

設置箇所ごとに、以下の 5 点について選択式または自由記載で質問を行った。

- 各水質計器の設置の有無
- 各水質計器の自己メンテナンスの状況
- 各水質計器の委託メンテナンスの状況
- 各水質計器の活用状況
- 各水質計器の項目を何らかの項目の代替指標としている場合、その代替とされている指標

水質計器の設置箇所は、水道システムを、水源、浄水プロセス、給配水に分類し、浄水プロセスは処理方式ごとに設置箇所をさらに細分化した（原水の種類が地下水の場合、水源は無しとした）。これ以外の浄水プロセスがあった場合は、追加で記載してもらった。回答結果は、原水や浄水等に置き換えることができると考えられた場合は、修正した（例えば、着水井を原水に、配水池を浄水に変換）。浄水場によっては、プロセスをより細分化している場合があったが、本研究では、その一部は統合して取り扱った（例：フロック形成池～凝集沈殿池の結果は、凝集沈殿水とみなした）。このため、統合して取り扱ったプロセスそれぞれに同一の連続計器を設置していた場合、実際よりも設置箇所数は少なく見積もっていることになる。各処理方式の設置箇所は表 2 のように統一化された。いずれの処理方式も基本プロセス（水源、対象浄水場数が多かった浄水プロセス、給配水）と追加プロセス（浄水プロセスのうち対象浄水場数が少なかったプロセス）に分類した。本調査では、追加プロセスの設置順による違いについては区別せずに集計、解析した。

水質計器の設置の有無のみを対象としたため、同一箇所に測定原理の異なる同一種の水質計器が設置してあった場合、設置数は 1 とした（例えば、急速ろ過水に測定原理の異なる高感度濁度計が設置されていた場合）。また、給配水では、複数地点に同一の水質計器を設置している場合があったが、同様に設置数は 1 とした。

水質計器の活用状況は、自動制御、管理基準や指標、参考データからの選択とした。回答結果を統合して取り扱ったことで、ある設置箇所において、同一水質計器の複数の回答結果から、いずれかの回答を選択することになった場合、活用状況が自動制御、管理基準や指標、参考データの順に優先度を高めた。

水質計器は、表 3 に示す 23 種の水質計器を挙

げた。給配水等で利用されている多項目水質計器を設置していた場合、測定対象としている水質項目を挙げてもらった。その他の水質計器を設置している場合には、追加で記載してもらった（表 4）。追加で挙げられた 11 種の水質計器のうち、酸化還元電位（ORP）計、シルト密度指数（SDI）計、ホウ素計を除く 8 種は急速ろ過方式のみで設置、ORP 計は急速ろ過方式と膜ろ過方式で設置、SDI 計とホウ素計は膜ろ過方式のみで設置であった。生物センサー、残留塩素計、高感度濁度計、揮発性有機物（VOC）計、かび臭センサーの 5 種については、設置している場合、その測定原理を自由記載で質問を行った。

(2) 質問 2

設置している水質計器のうち、特に利用価値が高く、推奨できるものがある場合、その水質計器名と理由について、自由記載で質問を行った。

(3) 質問 3

設置している（設置していた）水質計器のうち、利用において課題があると考えられる場合、その水質計器名と理由について、自由記載で質問を行った。

(4) 質問 4

このような機能を持った水質計器があると便利と考えられるものがある場合、その水質計器名と理由について、自由記載で質問を行った。

(5) 質問 5

水質計器のデータの活用度を高める方法について、意見等があれば自由記載で質問を行った。

C. 研究結果および D. 考察

1. 各水質計器の設置、活用、メンテナンス状況

1.1 急速ろ過方式

急速ろ過方式では、対象とした 23 種のいずれかの水質計器（表 3）がいずれかの浄水場に設置されていた。それ以外の水質計器として 8 種（浄水処理モニター、連続臭気発生装置、蛍光光度計、トリクロロアミン計、溶存マンガン計、COD 計、全りん計、ORP 計、クロロフィル計）の水質計器が挙げられ、計 31 種の水質計器が設置されていた。いずれかの設置箇所に 1 種以上の水質計器が設置されていた浄水場の割合は 99%であった。図 3 に、設置されていた水質計器の設置地点数による分類を示す。設置率が 50%以上であった水質計器は、生物センサー、残留塩素計、濁度計、高感度濁度計、pH 計、アルカリ度計、電気伝導度計、水温計の 8 種で、残留塩素計の設置率が最も高かった（98%）。また、水質計器の設置地点数は、残留塩素計、濁度計、pH 計、水温計は複数箇所で設置している割合が高かった。

表 5 に、水質計器の設置箇所別の設置率を示す。

特に、設置率が高かった 8 種について、図 4 に、基本プロセスでの設置箇所別の設置率を示す。各設置箇所の対象数は、設置箇所によって回答が無かった場合があったため異なっている（他の処理方式でも同様）。濁度計は取水～給配水のいずれも設置率は約 30%以上あったが、特に原水、凝集沈殿水で高かった。一方、高感度濁度計はろ過水で設置率が高かった。残留塩素計は、凝集沈殿水以降のプロセスで高かった。pH 計は、取水～浄水で高い傾向にあり、特に、原水、凝集沈殿水、浄水で高かった。

表 6 に、水質計器の自己メンテナンスの頻度別の割合を示す。同一の水質計器を複数箇所に設置している場合、別々に回答を得ているため、回答数 (n) は回答があった水質計器数としている（委託メンテナンス、他の処理方式の結果についても同様）。水質計器によって n は異なるが、自己メンテナンスの頻度は、水質計器によらず、1 週間以内、あるいは 1 ヶ月以内（2 週間～1 ヶ月）の割合が高かった。不定期の実施、これまで未実施と回答したところも多く、水質計器で認められた（その割合は水質計器によって異なった）。

表 7 に、水質計器の委託メンテナンスの頻度別の割合を示す。全体的に見ると、委託メンテナンスの頻度は、1 年以内（6 ヶ月～1 年）の割合が高く、水質計器によっては 6 ヶ月以内（3～6 ヶ月）、1 ヶ月以内（2 週間～1 ヶ月）の割合が比較的高い場合もあった。ただし、生物センサーは、これまで未実施の割合が高かった。

表 8 に、水質計器の設置箇所別の活用状況を示す。全体的に見ると管理基準や指標値を設定している水質計器が多かった。自動制御を行っている水質計器の数は、凝集沈殿水～浄水の残留塩素計、原水の濁度計が比較的多かった。続いて、原水～浄水で pH 計の自動制御を行っているところが多かった。

1.2 消毒のみ

消毒のみの場合、いずれかの設置箇所に 1 種以上の水質計器が設置されていた浄水場の割合は 98%であった。設置されていた水質計器は 8 種であった。図 5 に、設置されていた水質計器の設置地点数による分類を示す。設置率が 50%以上であった水質計器は、残留塩素計、濁度計、pH 計の 3 種で、残留塩素計の設置率が最も高かった（98%）。また、水質計器の設置地点数は、水質計器によらず 1 地点の割合が高かった。

表 9 に、水質計器の設置箇所別の設置率を示す。原水の種類は、地下水と湧水があったが、湧水の場合のみ、水源があるとした。消毒のみの場合、

生物センサー以外の水質計器は、浄水、給配水への設置率が高いことが示された。

表 10 に、水質計器の自己メンテナンスの頻度別の割合を示す。自己メンテナンスの頻度は、生物センサー以外は、1 ヶ月以内（2 週間～1 ヶ月）という回答の割合が高く、続いて 1 週間以内の割合が高かった。これは、急速ろ過システムの場合と逆であった。水質計器によって対象数は異なるが、生物センサー、高感度濁度計、水温計は、不定期に実施の割合も比較的高かった。また、これまで実施していない、という浄水場もあった。

表 11 に、水質計器の委託メンテナンスの頻度別の割合を示す。委託メンテナンスの頻度は、自己メンテナンス同様、生物センサー以外は、3 ヶ月以内（2～3 ヶ月）、1 年以内（6 ヶ月～1 年）という回答の割合が高かった。また、3 年以内（1～3 年）、不定期、これまで実施していない、という浄水場も認められた。

表 12 に、水質計器の設置箇所別の活用状況を示す。全体的に見ると管理基準や指標値を設定している水質計器が多かった。自動制御を行っている水質計器の数は、浄水の残留塩素が比較的多かった。しかし、浄水に残留塩素計を設置しており回答があったうち、自動制御の割合は 23%であり、急速ろ過方式に比べると低い値であった。

1.3 緩速ろ過方式

緩速ろ過方式の場合、いずれかの設置箇所に 1 種以上の水質計器が設置されていた浄水場の割合は 100%であった。設置されていた水質計器は 13 種であった。図 6 に、水質計器の設置地点数による分類を示す。設置率が 50%以上であった水質計器は、残留塩素計、濁度計、高感度濁度計、pH 計の 4 種で、残留塩素計の設置率が最も高かった（94%）。また、水質計器の設置地点数は、残留塩素計と濁度計は複数箇所設置の割合が高かった。設置されていたのが 1 浄水場であった 5 種の水質計器は、紫外部吸光光度計、油分計、油膜計、アルカリ度計、溶存酸素計で、油分計を除き設置地点は 1 つであった（油分計は 2）。

表 13 に、水質計器の設置箇所別の設置率を示す。全体的には、原水、浄水での設置率が高い傾向にあった。濁度計は原水と凝集沈殿水（凝集沈殿を行っている場合）、高感度濁度計は緩速ろ過水と浄水での設置率が高かった。

表 14 に、水質計器の自己メンテナンスの頻度別の割合を示す。 n が 10 以上のところについて見ると、全体的には、自己メンテナンスの頻度の割合は、1 ヶ月以内（2 週間～1 ヶ月）が高く、2 週間以内（1～2 週間）、1 週間以内、不定期の割合が同程度の傾向にあった。

表 15 に、水質計器の委託メンテナンスの頻度別の割合を示す。 n が 10 以上のところについて見ると、全体的には、委託メンテナンスの頻度は、1 年以内 (6 ヶ月～1 年)、3 年以内 (1～3 年)、不定期の割合が高かった。これまで実施していない、という浄水場も認められた。

表 16 に、水質計器の設置箇所別の活用状況を示す。全体的に見ると管理基準や指標値を設定している水質計器が多かった。自動制御を行っている水質計器の数は、浄水での残留塩素計が多く、その割合は浄水で残留塩素計を設置していた浄水場の 53%であった。

1.4 膜ろ過方式

膜ろ過方式の場合、いずれかの設置箇所に 1 種以上の水質計器が設置されていた浄水場の割合は 100%であった。設置されていた水質計器は 17 種であった。このうち、3 種 (ORP 計、SDI 計、ホウ素計) は表 3 にある 23 種の水質計器以外であった。

図 7 に、水質計器の設置地点数による分類を示す。設置率が 50%以上であった水質計器は、残留塩素計、濁度計、高感度濁度計、pH 計、水温計の 5 種であった。残留塩素計、高感度濁度計、pH 計、は設置率が 80%を超え、特に残留塩素計の設置率は 100%であった。また、この 5 種は複数箇所設置の割合が高かった。設置されていたのが 1 浄水場であった 6 種の水質計器は、紫外部吸光光度計、油膜計、かび臭センサー、ORP 計、SDI 計、ホウ素計で、このうち、ORP 計、SDI 計、ホウ素計は海水淡水化施設への設置であった。かび臭センサー、ORP 計、SDI 計、ホウ素計の 4 種は複数地点に設置されていた。

表 17 に、水質計器の設置箇所別の設置率を示す。 n が 10 以上のところを見ると、全体的に原水、膜ろ過水、浄水において水質計器の設置率が高かった。

表 18 に、水質計器の自己メンテナンスの頻度別の割合を示す。 n が 10 以上のところについて見ると、全体的には、自己メンテナンスの頻度は、1 週間以内と 1 ヶ月以内 (2 週間～1 ヶ月) の割合が同程度であった。1 年以内 (6 ヶ月～1 年) と不定期のところも 10～20%程度認められた。

表 19 に、水質計器の委託メンテナンスの頻度別の割合を示す。 n が 10 以上のところについて見ると、全体的には、1 年以内 (6 ヶ月～1 年) が高かった。1 週間以内と不定期のところも 10～20%程度認められた。

表 20 に、水質計器の設置箇所別の活用状況を示す。全体的に見ると管理基準や指標値を設定している水質計器が多かった。他の処理方式と同様の傾向であった。自動制御を行っている水質計器

の数は、浄水の残留塩素計、原水の濁度計が比較的多かった。また、膜ろ過水の高感度濁度計、浄水の pH 計でも自動制御を行っているところがあった。

2. 水質計器の測定項目の代替指標としての利用

水質計器を他の項目の代替指標として利用している浄水場は 37 で、14 箇所に設置されていた 13 種の水質計器が該当した。表 21 に、水質計器を代替指標として利用している設置箇所別の浄水場数を示す 1 浄水場で複数の水質計器を代替指標として用いていた場合が多かったため、上記の浄水場数と表 21 の浄水場数の合計は一致していない。また、表 22 に、各水質計器が何の項目の代替指標として利用されているか、設置箇所別の浄水場数として示す。

13 種の水質計器のうち、生物センサー、高感度濁度計、塩素要求量計、紫外部吸光光度計、電気伝導度計を代替指標として利用しているところが多かった。このとき、生物センサーは毒物等 (毒性物質、有害物質、毒物等)、高感度濁度計はクリプトスポリジウム等、塩素要求量計はアンモニア態窒素、紫外部吸光光度計は有機物 (TOC やトリハロメタン (THM) 前駆物質を含む)、電気伝導度は毒物等、塩分 (塩化物、海水遡上を含む)、アルカリ度の代替指標として利用されていた。

また、代替指標以外に幾つかの水質計器については、以下に示すように活用方法も回答があった。

- 残留塩素計：塩素注入管理 (注入量の設定)、送水時の残留塩素の維持・管理、藻類対策
- 濁度計：活性炭注入 (量)、凝集剤注入量、取水の濁度から原水の濁度の推測
- 高感度濁度計：ろ過池の管理、凝集剤注入量
- pH 計：アルカリ剤注入量、凝集剤注入量、酸注入量
- アンモニア計：塩素注入量
- 紫外部吸光光度計：凝集剤注入量
- アルカリ度計：凝集剤注入量、アルカリ剤注入

3. 設置している水質計器の原理

生物センサー、残留塩素計、高感度濁度計、かび臭センサー、VOC 計の 5 種について、原理等の調査を行った。処理方式に分類せずに集計している。

①生物センサー

回答を得た 106 件のうち、設置していた生物センサーの原理は、魚類監視装置が 92%、魚類監視装置と微生物の両方が 3%、微生物が 6%であった。したがって、95%は魚類監視装置を設置していたことが示された。図 8 に、設置していた魚類監視

装置における魚類の種類を示す。複数回答有りの結果であるが、メダカ類（メダカ、ヒメダカ）、金魚が、それぞれ 42、32 と多いことがわかった。評価の仕方では、目視、光電スイッチ方式、赤外線センサー、活動電位方式、画像解析、忌避行動等が挙げられた。

②残留塩素計

回答を得た 204 件のうち、設置していた残留塩素計の原理は、全てのところでポーラログラフ法を採用していた。複数箇所を設置していた浄水場のうち、3 箇所では DPD 法による水質計器も設置していた（同一メーカーのもの）。ポーラログラフ法について、さらに有試薬方式か無試薬方式かを聞いたところ、56%が無試薬方式のみ、7%が有試薬方式のみ、22%が無試薬方式と有試薬方式の両方、16%が不明であり、その多くが無試薬方式を設置していることが示された（少なくとも約 80%）（図 9）。この傾向は、処理方式によらず同様であった。設置箇所によって無試薬と有試薬を使い分けている浄水場は急速ろ過方式がほとんどであった。

③高感度濁度計

回答を得た 171 件のうち、設置していた高感度濁度計の原理は、粒子数計測方式が最も多く 105 件、続いて透過散乱方式が 63 件であった（図 10）。それ以外として、表面散乱方式が 10 件、微粒子カウンタが 4 件、散乱光方式が 3 件、積分球式が 2 件、透過光方式が 1 件であった。複数台設置していた浄水場もあるため、回答数と各方式の高感度濁度計の合計は一致していない。また、本調査では濁度 0.1 以下を判定できるものを高感度濁度計として取り扱っており、濁度計ではないが微粒子カウンタも対象とした。粒子数計測方式の高感度濁度計について、より詳細な測定原理で分類した（図 11）。56 件は詳細な原理は不明であったが、原理がわかった 49 件のうちの多くが微粒子カウント方式であった（37 件）。

④かび臭センサー

回答を得た 10 件のうち、設置していたかび臭センサーの原理は、全てガスクロマトグラフ質量分析法（GC-MS 法）で、そのうち、2 件はパージトラップ・GC-MS 法との記載があった。残り 8 件については前処理方法はパージトラップかヘッドスペースのいずれかが推察された。

⑤VOC 計

回答を得た 2 件のうち、設置していた VOC 計の原理は、いずれも GC-水素炎イオン化検出（FID）法であった。前処理方法はパージトラップかヘッドスペースのいずれかが推察された。

4. 利用する水質計器の推奨、注意点、要望

4.1 推奨する水質計器

設置している水質計器のうち、特に利用価値が高くお勧めのものについて調査したところ、17 種類の計器について回答が得られた（表 23）。浄水処理を行う上で得られたデータの利用価値が高いこと、メンテナンスが容易であることが理由として多く挙げられた。

以下に、各水質計器について挙げられた推奨理由等を示す。回答内容は、同一の回答者が複数回答を行った場合がある（回答が 1 つであっても、その内容から複数にわけた方がいいと考えられた場合も、複数にした）。また、類似の内容のものは統合した。同一事業体が複数の浄水場について回答し、このとき回答者が同一で、内容が同じであった場合は、浄水場数は 1 つとして扱った。同様に、同一の水質計器でも設置箇所別に、同じ内容の回答を行っていた場合も、1 つとして扱った。これら集計方法は、3. 4. 1～3. 4. 4 で同様に行った。

①残留塩素計

- 水質による制限があるが、無試薬型の場合は管理が楽で使いやすいため。
- 校正の操作が容易であるため。

②高感度濁度計

- 濁度上昇時に数の多い粒子の大小で対応を変えることができるため。
- 微粒子数の監視で、ピコプランクトン等によるろ過漏出障害等の発生を把握しやすいため。
- 膜浸漬槽の膜ろ過処理水を管理する上で、小さな膜破断も検知することができるため。
- 微粒子カウント方式は、散乱光方式に比べ粒径ごとの微粒子個数の計測が可能で、クリプトスポリジウム対策に有効である。
- ろ過水濁度の管理には、レーザー光を使用した微粒子カウント方式が適している。

③濁度計

- 表流水の濁度変化に対し、自動制御による凝集剤の適正注入が可能のため。
- 表面散乱型は、検出部に検水が接触しないため汚れにくく、指示値のずれが発生しにくい。

④油分計

- 濃度のほか、臭気にも反応するため。

⑤pH 計

- 沈殿池入口に設置すると、凝集剤・凝集補助剤の注入が適正に行われているか確認できるため。
- マニュアル校正ができる（指示値を入力できる）ものが便利。

⑥紫外部吸光光度計

- THM 前駆物質除去のための粉末活性炭注入率

を適切に管理できるため。

- 沈殿水を監視することで、供給点の残塩管理が安定的に行えるため。
- 生物活性炭の状況を把握するために有効であるため。
- メンテナンスがほとんど不要であるため。

⑦アルカリ度計

- 凝集沈殿処理を行う場合は、苛性ソーダ等凝集補助剤の注入・停止の判断に必要であるため。また、複数の水源やダムへの流入水の増加時など、水質の変化に早期に対応可能となる。
- 凝集補助としての消石灰の注入量を調整できるため。
- 大きな故障も少なく、消耗部品の交換で、適正な数値を示してくれるため。

⑧アンモニア計

- 降雨による水質急変時、濁度計より早く反応するため。
- アンモニア濃度の上昇を早期に検出でき、薬注量の変更等浄水処理の対応が迅速にできるため。

⑨電気伝導度計

- 降雨による水質急変時、濁度計より早く反応するため。

⑩生物センサー

- (魚類監視装置は) 目視確認が即座に可能となるため。

⑪塩素要求量計

- 塩素注入率の変更など浄水場運転に速やかに反映させることができるため。
- アンモニア等によって消費される塩素量を知ることが出来るため。

⑫連続臭気発生装置

- 原水と浄水の過熱蒸気を連続的に発生させる装置である。いつでも迅速かつ容易に臭気確認を行うことができ、大変便利であるため。

⑬TOC 計

- 降雨による水質急変時、濁度計より早く反応するため。

⑭VOC 計

- 原水中の揮発性有機物質 (ベンゼンなど 21 項目) を自動水質測定し、一定の値を超えると警報を発し、水質異常を早期に検知することができるため。

⑮かび臭センサー

- 取水時のジェオスミンや 2-MIB の濃度を把握し、必要に応じて粉末活性炭を投入することができるため。

⑯浄水処理モニター

- 1 m³/日程度の凝集沈殿、ろ過機能を有する小型浄水処理装置 (処理水の濁度を自動水質測

定) である。薬注条件を実機に合わせて連続運転することで、浄水場の処理水質の変化を早期に把握することができるため。

⑰毒物監視装置

- 取水口上流における毒物の投込みや危険物運搬車の事故による流出事故等への備えとなるため。

4.2 利用における課題

これまでに設置した水質計器 (現在は使用していないものを含む) のうち、利用において課題があると考えられるものについて調査したところ、16 種について回答が得られた (表 24)。メンテナンスが難しい、部品交換頻度が高いなどの理由が多く挙げられていた。また、安定した結果が得られず、運転管理の判断基準として利用できないという回答もあった。

以下に、各水質計器について挙げられた利用時の注意点等を示す。類似の回答は統合した。なお、集計した記載内容に関する対応方法、改善方法の有無等は、水質計器のメーカーに確認は取っていない。

①残留塩素計

- 温度補償付きだと外気温の影響を受けやすい。外気温の影響を受けにくいサンプル流路やセル形状の改良が必要と考えられる。
- 回転電極式ポーラログラフ法の残塩計 (無試薬) において、電極の変形、表面の荒れによる測定値変化がありメンテナンスを多く要する。
- 高額なランニングコスト (消耗品が高額)。
- クロラミンの影響で、有試薬ポーラログラフ法による遊離残留塩素の測定値に、DPD 法による遊離残留塩素測定値との乖離が見られる。
- 無試薬ポーラログラフ法は、電気伝導率の変動により測定値に影響あり、手分析値との合わせ込みが必要。
- スパン校正を、現場へ行き手動で行わなければならない、その省力化が課題。
- 濁りがあると測定誤差が大きくなる。
- 試薬チューブ配管の閉塞が起こることがある。
- 原水での使用は汚れ等もあり、前塩素処理の効果を把握すべき沈殿処理水の測定精度が悪い (低濃度が検出されない)。

②濁度計

- 試料水が原水の場合、汚れ易いため清掃頻度が多く要する。
- 沈殿処理水測定用として、0~5 度でスパン較

正ができない。

- レンジが大きいものは、精度が低くなってしまふ。
- 測定槽内に気泡が発生すると高濁度として測定する。

③pH 計

- 試料水が原水の場合、汚れ易いため清掃頻度が多く要する。
- 計測値を出力することができないため、活用することができない。
- 鉄やマンガンによる色の沈着があるため、消耗品の寿命が短く、また測定値が安定しにくい
- 急激な水質の変化に対応できない場合がある。
- 塩化カリウム (KCl) 溶液の補給チューブ内に結晶が詰まることがある。
- 電極の内部液 (KCl 溶液) 流出部に不具合を持つ場合があり、季節 (水温) によって測定精度や安定性が変動する (ジェル内蔵式に多かった)。

④生物センサー

- アラームの誤報を防ぐために、魚体 (タナゴ) の大きさ、数等を常に同状態に保つ必要がある。
- 高濁時 (200 度以下で運用) に使用できない。
- メダカの個体死亡に関する水質異常の有無判断に苦慮している。
- 固定化微生物膜が短期間で使用不可能になる。
- 画像処理装置式の生物センサーが設置されているが、水質とは関係なくメダカが死滅するなど信頼性がなく運用が出来ていない。

⑤塩素要求量計

- 必要な測定値に対し、測定レンジが大きく精度が悪い。また、運用に手間がかかり、メーカー等への保守、修理の手配においてもが困難である。
- 状況 (河川水質) によって実測との差の変動が大きく安定しない。
- 原水を試料水とした場合、汚れによって測定値が安定せず、点検というより清掃に追われる。
- 原水に設置されている塩素要求量計の配管が細く、詰まることがある。

⑥アンモニア計

- イオンクロマトグラフ法のため分離カラム等の交換部品が多く、水温の変化により保持時間が変化すると不正確になる。
- センサー方式は 1 年程度でセンサー部の交換が必要になる。
- 原水温度が変化するたびに設定温度を変更

しなければならず手間が煩わしい。

⑦高感度濁度計

- レーザーの交換や精密校正を工場で作業するため、作業の際は代品の検出部を手配しなければならず、代品の有無や工場の空きによって作業完了までに時間がかかる
- 半導体レーザー前方散乱光干渉縞カウント方式の高感度濁度計は、アナログ出力が 1 点しかないため、遠方での監視を複数選択できない。
- 10 年前後で寿命を迎えるため維持費がかかる。
- レーザー式だとユーザーではメンテナンスができないので業者まかせになる。
- 色度に影響を受け、数値が高く出ることがある。

⑧多項目水質計

- 多項目一体型の水質計器は、多機能が複合されていてコンパクトであるが、コンパクトである分、管理には手間がかかり、部品代も割高。
- 濁度・色度・残留塩素・pH の 4 項目の多項目水質計器を設置しているが、数ヶ月で指示値がずれることが多い。また、メーカーによっては、電極などの計測部品の交換周期が早い。小型すぎるが故に内部が錯綜しており、直営での調整を行いづらい。
- コンパクトタイプの場合、試料水流路、測定セルとも小さく、流量も少量のため、気泡の影響を受けやすく、測定値の安定性に欠ける。また、セルまでの到達時間がかかり長くなるため、リアルタイムの水質監視に用いるには捨て水量を上げる必要がある。

⑨油分計

- 降雨等の水質変動時に応答する場合がある。
- 高濁時 (200 度以下で運用) に使用できない。
- 一度でも油分を検知するとセンサー交換が必要。
- センサーが高価で寿命が短く、交換の手間が煩雑で難しい。

⑩アルカリ度計

- 原水での使用で汚れるため pH 計、測定水ノズル等の保守が煩雑になる。
- バッチ式のため、測定値のばらつきが大きい。
- 有試薬型は試薬の追加が手間で、試薬チューブ配管の閉塞が起こることがある。

⑪紫外外部吸光度計

- 高濁度時 (濁質による吸光度が大) に濁度補正機能が有効に機能せず、実測値との差が大きくなる。
- 測定感度が低い為、高濃度の紫外線吸光度は測定できるが、水源河川や浄水処理工程水な

どの低濃度の紫外部吸光光度は測定できない。

⑫かび臭センサー

- 取扱いが難しく、メンテナンスできる者が限られる。
- メンテナンス周期が早く、費用も高額となる。
- 測定時間が1時間と長く、計測不良があれば復旧に長時間測定不可となる。
- 汚れの付着やリテンションタイムのズレ等による計測値の変動や高濁度の影響による配管類の目詰まり等の問題が発生する。

⑬油膜計

- 機器の感度調整が難しく、油膜以外にも反応する場合がある。

⑭TOC計

- サンプル水の濁質分の除去性が課題、ろ過フィルターのメンテナンスが重要。

⑮色度計

- セルの窓ガラスが茶色く曇り、定期的な分解清掃を要する。
- 測定方式の違いによって、大きな差がある。

⑯シアン計

- 誤作動があると影響が大きい。感度にも限界があり有効性に疑問が残る。
- 校正にシアンが必要となるため、標準物質の管理が必要となる。

4.3 水質計器に関する要望

このような機能を持った水質計器があると便利と考えられるものについて調査した。水質計器によらず共通の機能と、21種の水質計器についての回答が得られた(表25)。既存の装置に追加してほしい機能の他、現在は販売されていない計器について、今後、新たに開発されることを要望する内容も見られた。機能以外にも、便利と考えられる理由や価格についての内容もあった。

以下に、その内容について示す。類似の回答は統合している。

(1) 水質計器の種類によらず共通の機能

①メンテナンスフリーのもの

②自動採水機能を有するもの

③簡易的な測定データの遠隔監視

- 追加導入した際、監視システムに組み込めない場合に、監視室に無線等で動作する表示器が設置出来るもの。

(2) 個別の水質計器

①かび臭センサー

- 維持管理やメンテナンスが容易なもの。
- 研究が進められている分子膜等を用いたセ

ンサー。

● 安価なもの。

②残留塩素計

- 管末水の水質自動測定装置は各メーカーから出されているが、設置場所の用地確保の問題や価格面から導入が難しい面がある。残留塩素測定用に特化し、収納盤が電気引込柱等に取り付けできるようにコンパクト化され、かつ、安価なものが開発されれば、設置場所の制約が少なくなることから需要があると考えられる。
- 無試薬であっても導電率変動を自動補正できるような計器。
- スパン校正を、遠隔・自動でできる計器。
- 鉄・マンガン成分を多く含む水質測定器の測定槽に汚れの付着しにくい材質を使用したもの。
- 結合残留塩素を無試薬で測定できるもの。

③臭気センサー

- 通常時の臭いのトレンドのようなものを持っておき、通常時との違いを把握できるようなセンサー。
- オペレータの臭気監視業務の負担軽減に繋がるため。
- 現在、管能法により測定している臭気強度について、臭気センサーの感度特性から自動・連続で行う機器が存在しないため、臭気強度計が存在すれば臭気強度に変わる指標として利用できるため。
- 臭気の種類やその強度を機械的に判定する装置。人の嗅覚は個人差が大きく、種類の判定には経験も必要であるなど、一律に判定できるものがあると助かる。
- かび臭だけでなく藻臭や下水臭などの割合も判定できると活性炭注入量の決定にすぐに活かせる。

④アンモニア計

- 普段の河川水の濃度が0.05 mg/L以下であるため、低濃度(0.1 mg/L未満)が精度よく測定できるもの。
- 分析スパンの短いもの。分析方法上、1時間スパンでの測定値表示の機器が多いように考えられる。

⑤凝集確認装置

- 凝集剤の使用状況、凝集状況、pHが同時に確認でき、凝集の状況が確認できるため凝集剤の使用量が削減できるため。
- 凝集剤注入については、原水水質によるフィードフォワード制御を行っているが、凝集沈澱効果の水質計器による確認は、時間遅れの大きい沈澱水を試料水として行うこととなる。混和水等の時間遅れの小さい試料水にて

フィードバック制御を行うことが可能となれば、高濁度原水等の対応が効率的に行えるため。

- レーザーにて粒子をカウントする機器はあるが、測定原理上清浄な水しか測定できない。たとえば、凝集剤を注入し攪拌した後、どの程度の大きさがどの程度あるかによって、凝集状態を把握したい。
- ⑥油分計
- 高感度かつ長寿命の検出器を持つもの。油流出事故対策のため。
 - 原水中の油分量や油種が判別できるもの。
- ⑦pH計
- 試薬の補充頻度が少ないもの（最低でも1年程度）。
- ⑧アルカリ度計
- 無試薬のもの。
- ⑨蛍光光度計
- 溶存オゾン濃度と相関性のある蛍光強度を用いた注入制御を行うことで、1年を通じて過不足のないオゾン注入を行うことが期待できるため。
 - 水源から配水に至るフミン物質や蛍光増白剤など、選択波長によって有機物の幅広い監視に活用できると考えられる。TOCや紫外部吸光光度より感度が高く、水質の変化を捉えやすいと考えられ、消毒副生成物の予測にも活用できる。
- ⑩ピコプランクトン計
- 原水モニタリングに対応可能な自動ろ過機能を備えたもの。
 - クリプトスポリジウム等対策指針のとおり、ろ過池処理水の濁度を0.1度で管理しているが、夏場においてはピコプランクトンの影響により0.1度での管理が難しい場面がある。ピコプランクトンによる濁度の影響を確認し、より適切な濁度管理が可能と考えられるため。
- ⑪有害物質、薬物検知器
- テロ等への備えがより一層重要となってきたため。
 - ドローン等の普及による薬物テロ対策等、薬物検知は重要度を増すものと考えている。
- ⑫病原微生物等（細菌、ウイルス）センサー
- 短時間で健康に被害を与える病原微生物に関する水質計器。
 - テロ等への備えがより一層重要となってきたため。
- ⑬原水水質分析装置（複数項目同時測定）
- TOCやかび臭など色々な項目を一度に計測できるような機器。どの薬品をどれだけ注入すればよいのか目標にできるもの。

⑭塩素酸計

- 夏場は浄水で塩素酸の濃度が高くなるので、監視できれば便利。

⑮塩素消費有機物計

- 塩素要求量とその中に含まれる有機物量、消毒副生成物の予想量などが測定できれば運転方法の変更に活用できる。

⑯活性炭要求量計

- 安全面を考慮して多めに注入する傾向にあるため。

⑰クリプトスポリジウム等センサー

- クリプトスポリジウム等をより簡便に検知するセンサー。現状の検査は、手間と時間がかかるだけでなく、操作に練度を要する。

⑱クロラミン計

- カルキ臭対策（水道水中のカルキ臭低減のため）。

⑲鉄・マンガン計

- 現状、マンガン等は除去用設備が無く、基準値を超えた際に早急に対策をとる必要があるため。

⑳フローサイトメーター

- 原水のプランクトンが判定できるもの。凝集剤や運転方法などの変更に活用できる。

㉑味覚計

- 他の測定機器の結果ではまったく異常がない（鉄が検出下限値など）水でも、飲んでみると甘い・苦い・溶剤のような味・鉄味など、明らかな異臭味を感じることもあるため。

4.4 水質計器のデータの活用度向上

自動水質計器のデータの活用度を高める方法について意見を求めたところ、17箇所から回答が得られた。その内容を分類したところ、連続水質計器の設置箇所、維持管理、機能に関するもの、データの共有やトレンドグラフ化など測定データの利用に関するものが挙げられた。主な内容を以下に示す。

①管路末端の監視への活用

- 末端給水栓に設置し、残塩・圧力等の一定管理制御に活用する。
- 管路の末端において、給水栓毎日検査の代替として活用できる。

②データから導出した薬品注入率計算式の利用

- pH計やアルカリ度計などのデータをもとに、凝集剤の注入量を自動的に算出できるようになればよいと思う。
- 式による薬品注入量の導出（例えば、濁度 Δ 度に対して、式によりPAC注入量を 〇〇 mg/L と算出）。

③データのデータベース化

- 市民からの問い合わせ等に対しても参考になり、迅速に対応できる。
- 原水水質と浄水工程水との水質相関をデータベース化することにより、浄水工程における各種不具合はもとより時期的な原水質の変遷、水質事故に至るまでの多様なケースに対応できる危機管理体制を構築できるものと期待している。
- 水質計器で計測したデータを情報系端末等に保存し、職員が利用できることが望ましいと考える。

④外部とのデータ共有

- ダム管理所の管理している水源の水質計器の測定データを浄水場に自動転送している。
- 同一の水系を水源とする浄水場や事業体間で多くの水質データをリアルタイムで共有できれば、より活用度は高まる。

⑤管理基準値の設定

- 水安全計画における管理基準等を監視する手段として、水質計器を的確に位置付ける。
- 水質計器の測定値に（管理基準に応じた）上下限警報を設定するとともに、逸脱時の対応方法を手順化する。

⑥データのトレンドグラフ化

- 残留塩素のみならず、水温、pH、電気伝導率、色度、濁度、圧力などの連続監視とともに、浄水場配水と管路の末端の各データをトレンドグラフにすることによって視覚化でき、より活用度が高まる。
- 各水質計器のデータをCRTなどでトレンド表示することで、計器異常の早期発見をすることができる。
- データのトレンドグラフ化により水質変化の推移が把握しやすい。
- トレンドを見ることにより下記のことが確認できる。

残留塩素計：注入割合に対する、残留塩素の量が把握できる。

濁度計：降雨時に何時間後に濁水が到達するか、おおむね推定できる。

高感度濁度計：逆洗後に完全に濁質が除去できたことを確認できる。

⑦水質計器の適切なメンテナンスの実施

- 何れの機器においても運用にあたり、適切な維持管理を行い正確な計測が行われていることが前提であることから、自動水質計器とは別途に定期的な水質監視を実施し、随時校正し利用することが必要。

⑧安価で簡便な水質計器の開発による導入率の向上

- 河川水を原水とする浄水場において、かび臭

物質濃度の上昇と油分の流入事故は大きな脅威であり、迅速な危機対応のためにも水質の連続測定は有効であると考えている。しかし、現在、広く採用されている計器類は維持管理の煩雑さやコスト高により容易に導入できるものではない。今後、センサー技術の進歩により比較的安価で簡便な水質計器が開発されることを希望する。

⑨通信機能を活用した管理方法

- アナログやステータス信号だけでなく、LAN接続も可能で自己サーバー機能があり、Wi-Fi 通信やBluetooth 通信機能でタブレットアプリと連携し、トレンド表示、メンテナンス履歴などが管理できると良いと考える。

⑩自動制御へ利用するための計器の異常値判断性の向上

- 水質計器のデータ（生物センサー、濁度の警報）により浄水場の自動停止の制御を組み込んでいるが、瞬時的な異常数値の発生があるため現在運用していない。水質データを制御に反映させる場合は、異常値の継続時間や複数の測定項目の結果を季節変動や水温の変化も考慮して取り込むシステムが必要。複数の水質データから現在の状況や今後の見通しを判断できる浄水場運転員の知識が必要。

⑪水質計器に関する情報の整理と解析

- 各事業体における、浄水処理や水質管理上の課題や留意事項を整理し、連続監視の必要性の有無を評価する。

E. 結論

- 1) 4 つ（急速ろ過方式、消毒のみ、緩速ろ過方式、膜ろ過方式）の処理方式によらず、本研究で対象とした浄水場の 98%以上（処理方式別の割合）で、1 種以上の水質計器を設置していた。消毒のみの場合を除き、濁度計、残留塩素計、pH 計は複数地点で設置している割合が高かった。処理方式によらず、全体的に原水と浄水での水質計器の設置率が高かった（消毒のみでは浄水のみ）。
- 2) 処理方式によって違いあるものの、全体的に見ると、メンテナンスを行っている場合、自己メンテナンスは1ヶ月以内、委託メンテナンスは1年以内の割合が共通して高い傾向にあった。
- 3) 処理方式によらず、水質計器の活用方法は、管理基準や指標値を設定している場合が多い傾向にあった。自動制御を行っている水質計器は、浄水での残留塩素計が多い傾向にあった。処理方式によっては、濁度計や pH 計の自動制御の割合が比較的高い場合もあった。

- 4) 代替指標として利用されていた水質計器は13種で、生物センサー、高感度濁度計、塩素要求量計、紫外吸光度計、電気伝導度計を代替指標として利用しているところが多かった。このうち、生物センサーは毒物等、高感度濁度計はクリプトスポリジウム等の代替指標として利用されていた。
- 5) 水質計器の原理として、生物センサーの場合、そのほとんどが魚類監視装置を設置し、魚類の種類としてメダカ類(メダカ、ヒメダカ)、金魚が多かった。残留塩素計の場合、原理について回答があった全ての浄水場で少なくともポーラログラフ法を採用し、そのうち無試薬方式が多かった。高感度濁度計の場合、回答があった中で、粒子数計測法式を採用している浄水場が最も多かった。
- 6) 使用を推奨する水質計器として、残留塩素計、高感度濁度計、濁度計が特に高く、これらは設置率も高い水質計器であった。
- 7) 水質計器に対する要望としては、メンテナンスフリー(点検、試薬、部品の交換等)であること、コストが低いことが共通していた。
- 8) 水質計器に関する活用度向上としては、連続水質計器の設置箇所、維持管理、機能に関するもの、データの共有やトレンドグラフ化など測定データの利用に関するものがあった。

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

- 1) 小池友佳子, 宮林勇一, 斎藤健太, 小坂浩司, 浅見真理, 佐々木万紀子, 佐藤三郎, 秋葉道宏. 全国の浄水場を対象とした連続自動水質計器の設置, 活用状況に関する調査. 平成 28 年度全国会議(水道研究発表会)講演集. 2016, 670-671.

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。

表 1 調査対象事業体

浄水処理方式	対象事業体延べ数	回答浄水場数
急速ろ過	224	177
消毒のみ	58	46
緩速ろ過	29	16
膜ろ過	20	19
合計	331	258

表 2 各処理方式での水質計器の設置箇所

設置箇所	急速ろ過	消毒のみ	緩速ろ過	膜ろ過
水源	○	○	○	○
取水	○	○	○	○
原水	○	○	○	○
凝集沈殿水	○	—	△	△
急速ろ過水	○	—	—	△
緩速ろ過水	—	—	○	—
膜ろ過水	—	—	—	○
浄水	○	○	○	○
給配水	○	○	○	○
紫外線処理水	△	△	—	—
オゾン処理水	△	—	—	—
粒状活性炭処理水	△	—	—	△
曝気処理水	△	—	—	△
生物処理水	△	—	△	—
除鉄・除マンガン	—	△	—	△
原水調整槽	—	—	—	△
RO 膜ろ過調整槽	—	—	—	△
RO 膜ろ過水	—	—	—	△

RO：逆浸透、基本プロセス：○、追加プロセス：△

表 3 調査対象の水質計器

生物センサー	紫外外部吸光光度計	塩素要求量計	溶存酸素計
残留塩素計	TOC 計	アルカリ度計	溶存オゾン計
濁度計	油分計	電気伝導度計	色度計
高感度濁度計	油膜計	水温計	クロム計
pH 計	VOC 計	シアン計	フェノール計
アンモニア計	かび臭センサー	トリハロメタン計	

TOC：全有機炭素、VOC：揮発性有機物

表 4 追加で挙げられた水質計器

浄水処理モニター	トリクロロミン計	全りん計	SDI 計
連続臭気発生装置	溶存マンガン計	ORP 計	ハウ素計
蛍光光度計	COD 計	クロロフィル計	

浄水処理モニター：小型浄水処理装置、COD：化学的酸素要求量、ORP：酸化還元電位、SDI：シルト密度指数

表5 水質計器の設置箇所別の設置率 (%) (急速ろ過方式)

水質計器	水源	取水	原水	凝集沈殿水	急速ろ過水	浄水	給配水	紫外線処理水	オゾン処理水	粒状活性炭処理水	曝気処理水	生物処理水
<i>n</i>	166	177	177	173	177	177	169	2	12	22	2	4
生物センサー	2	22	34	3	11	11	1	0	0	5	0	0
残留塩素計	0	0	3	64	76	94	79	0	8	36	0	0
濁度計	8	47	88	79	30	38	41	0	8	27	0	75
高感度濁度計	0	1	1	2	76	35	8	0	0	32	0	0
pH計	5	39	88	72	49	76	25	0	8	45	50	50
アンモニア計	1	8	5	1	0	0	0	0	17	14	0	0
紫外外部吸光度計	1	5	5	5	5	2	0	50	0	45	0	25
TOC計	0	0	3	2	1	2	1	0	8	5	0	0
油分計	2	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
油膜計	1	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VOC計	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
かび臭センサー	0	3	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0
塩素要求量計	1	4	12	2	1	1	0	0	0	18	0	0
アルカリ度計	0	10	45	12	2	11	0	0	0	0	0	25
電気伝導度計	5	28	39	5	2	13	14	0	0	0	0	25
水温計	4	21	58	9	8	22	20	0	17	5	0	25
シアン計	1	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
トリハロメタン計	0	0	0	0	1	2	0	0	0	5	0	0
溶存酸素計	2	3	2	0	0	0	0	0	17	14	0	25
溶存オゾン計	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0
色度計	0	1	4	4	7	21	39	0	8	14	0	0
クロム計	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
フェノール計	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
浄水処理モニター	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
連続臭気発生装置	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0
蛍光光度計	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
トリクロロミン計	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
溶存マンガン計	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
COD計	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
全りん計	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ORP計	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
クロロフィル計	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表6 水質計器の自己メンテナンスの頻度別の割合 (%) (急速ろ過方式)

水質計器	<i>n</i>	1週間以内	2週間以内	1ヶ月以内	2ヶ月以内	3ヶ月以内	6ヶ月以内	1年以内	3年以内	3年超	不定期	これまで未実施
生物センサー	147	37	10	22	1	1	1	2	0	0	14	11
残留塩素計	556	30	6	32	2	3	2	1	0	0	19	6
濁度計	587	32	7	32	1	2	2	0	0	0	19	5
高感度濁度計	220	28	4	30	3	3	2	1	0	0	25	5
pH計	634	32	7	28	2	2	2	1	0	0	20	6
アンモニア計	30	20	3	17	0	3	0	0	0	0	27	30
紫外外部吸光度計	48	27	2	29	4	0	2	0	0	0	19	17
TOC計	11	18	9	9	0	0	0	0	0	0	18	45
油分計	32	25	6	28	0	3	0	0	0	0	16	22
油膜計	21	38	5	19	5	0	0	5	0	0	5	24
VOC計	2	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
かび臭センサー	10	30	20	0	0	0	0	0	0	0	10	40
塩素要求量計	39	31	0	33	0	0	0	0	0	0	15	21
アルカリ度計	141	32	5	27	1	2	0	0	0	0	21	12
電気伝導度計	182	26	7	26	1	1	1	1	0	0	22	16
水温計	247	19	3	23	0	2	2	3	0	0	23	25
シアン計	14	14	0	43	0	0	0	0	0	0	21	21
トリハロメタン計	6	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
溶存酸素計	17	35	18	6	0	0	0	0	0	0	12	29
溶存オゾン計	12	33	8	0	8	0	0	8	0	0	17	25
色度計	137	15	7	29	4	4	4	1	0	0	22	13
クロム計	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
フェノール計	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
浄水処理モニター	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
連続臭気発生装置	6	33	0	33	0	0	0	0	0	0	0	33
蛍光光度計	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
トリクロロミン計	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
溶存マンガン計	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COD計	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0
全りん計	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0
ORP計	1	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
クロロフィル計	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表7 水質計器の委託メンテナンスの頻度別の割合 (%) (急速ろ過方式)

水質計器	n	1週間 以内	2週間 以内	1ヶ月 以内	2ヶ月 以内	3ヶ月 以内	6ヶ月 以内	1年 以内	3年 以内	3年 超	不定期	これまで 未実施
生物センサー	145	5	2	6	1	1	5	24	1	1	16	38
残留塩素計	558	3	2	3	4	4	12	43	6	3	12	8
濁度計	590	4	2	5	3	3	13	43	4	3	11	9
高感度濁度計	223	2	0	7	2	7	13	41	9	5	10	4
pH計	637	3	2	4	3	4	13	42	5	2	12	10
アンモニア計	31	16	13	29	0	3	6	23	0	3	3	3
紫外吸光度計	49	8	4	8	6	0	18	41	2	0	6	6
TOC計	16	0	0	31	0	25	38	6	0	0	0	0
油分計	33	9	3	18	3	21	15	27	0	0	0	3
油膜計	21	0	0	0	0	0	29	48	10	0	10	5
VOC計	2	0	50	0	0	0	50	0	0	0	0	0
かび臭センサー	10	10	10	60	0	10	0	10	0	0	0	0
塩素要求量計	39	8	13	8	0	13	5	46	0	3	0	5
アルカリ度計	141	8	3	5	6	6	11	39	6	6	8	4
電気伝導度計	186	5	3	9	3	6	10	42	4	2	6	10
水温計	251	4	4	7	4	5	8	35	5	2	10	18
シアン計	15	33	20	0	0	7	0	33	0	7	0	0
トリハロメタン計	6	17	0	33	50	0	0	0	0	0	0	0
溶存酸素計	18	22	0	22	0	0	11	28	0	0	6	11
溶存オゾン計	12	0	0	25	0	0	17	50	0	0	0	8
色度計	137	1	3	11	4	5	8	45	7	3	9	5
クロム計	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
フェノール計	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
浄水処理モニター	1	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
連続臭気発生装置	6	0	33	0	0	0	0	0	33	0	33	0
蛍光光度計	1	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
トリクロロアミン計	1	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
溶存マンガン計	1	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
GOD計	1	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
全りん計	1	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
ORP計	1	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0
クロロフィル計	1	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0

表 8 水質計器の設置箇所別の活用状況（数値は浄水場数）（急速ろ過方式）

水質計器	活用状況	水源	取水	原水	凝集 沈殿水	急速 ろ過水	浄水	給配水	紫外線 処理水	オゾン 処理水	粒状 活性炭 処理水	曝気 処理水	生物 処理水
生物センサー	自動制御	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	2	24	32	3	8	12	1	0	0	0	0	0
	参考データ	1	9	27	3	11	7	0	0	0	1	0	0
残留塩素計	自動制御	0	0	1	31	54	50	9	0	0	4	0	0
	管理基準や指標値	0	0	4	63	73	113	117	0	1	3	0	0
	参考データ	0	0	1	11	5	3	7	0	0	1	0	0
濁度計	自動制御	0	7	57	9	3	5	1	0	0	0	0	1
	管理基準や指標値	6	58	86	118	45	57	63	0	1	4	0	2
	参考データ	7	19	12	9	4	5	5	0	0	2	0	0
高感度濁度計	自動制御	0	0	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	1	1	2	125	58	13	0	0	6	0	0
	参考データ	0	0	0	2	4	2	0	0	0	1	0	0
pH計	自動制御	0	2	28	23	13	14	1	0	0	1	0	0
	管理基準や指標値	4	47	103	86	62	111	38	0	1	6	1	2
	参考データ	5	20	23	15	12	8	4	0	0	3	0	0
アンモニア計	自動制御	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	管理基準や指標値	2	9	6	1	0	0	0	0	1	2	0	0
	参考データ	0	4	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0
紫外外部吸光度計	自動制御	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	5	3	6	3	2	0	1	0	8	0	1
	参考データ	1	3	4	2	4	1	0	0	0	2	0	0
TOC計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	0	2	2	1	2	1	0	1	1	0	0
	参考データ	0	0	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0
油分計	自動制御	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	2	16	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	1	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
油膜計	自動制御	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	1	12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VOC計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
かび臭センサー	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	6	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
塩素要求量計	自動制御	0	0	5	0	1	0	0	0	0	1	0	0
	管理基準や指標値	0	4	9	1	0	0	0	0	0	2	0	0
	参考データ	1	3	7	3	0	1	0	0	0	1	0	0
アルカリ度計	自動制御	0	2	15	5	0	1	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	7	48	13	3	9	0	0	0	0	0	1
	参考データ	0	9	15	2	0	10	0	0	0	0	0	0
電気伝導度計	自動制御	1	0	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	2	27	37	6	3	11	12	0	0	0	0	1
	参考データ	5	23	29	1	0	12	11	0	0	0	0	0
水温計	自動制御	0	1	7	1	1	2	1	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	1	14	29	4	3	11	14	0	0	1	0	1
	参考データ	6	23	64	9	10	25	18	0	2	0	0	0
シアン計	自動制御	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	1	8	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
トリハロメタン計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0
	参考データ	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0
溶存酸素計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	1	1	1	0	0	0	0	0	1	2	0	0
	参考データ	2	5	2	0	0	0	0	0	1	1	0	1
溶存オゾン計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0
	管理基準や指標値	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0
	参考データ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
色度計	自動制御	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	1	5	5	10	35	60	0	0	1	0	0
	参考データ	0	1	1	2	3	3	5	0	1	2	0	0
クロム計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
フェノール計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
浄水処理モニター	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
連続臭気発生装置	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0
蛍光光度計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
トリクロロミン計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
溶存マンガン計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COD計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
全りん計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ORP計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
クロロフィル計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表9 水質計器の設置箇所別の設置率 (%) (消毒のみ)

水質計器	水源	取水	原水	浄水	給配水	除鉄・ 除マンガン	紫外線 処理水
<i>n</i>	5	46	46	46	40	6	1
生物センサー	0	0	9	2	0	0	0
残留塩素計	0	0	9	93	48	50	0
濁度計	20	13	15	37	30	17	0
高感度濁度計	0	9	11	22	3	0	0
pH計	0	4	15	43	15	17	0
電気伝導度計	0	0	2	11	13	0	0
水温計	0	4	2	24	15	0	0
色度計	0	4	2	22	25	0	0

表10 水質計器の自己メンテナンスの頻度別の割合 (%) (消毒のみ)

水質計器	<i>n</i>	1週間 以内	2週間 以内	1ヶ月 以内	2ヶ月 以内	3ヶ月 以内	6ヶ月 以内	1年 以内	3年 以内	3年 超	不定期	これまで 未実施
生物センサー	5	0	0	40	0	0	0	0	0	0	60	0
残留塩素計	68	25	3	41	1	6	1	4	0	0	13	4
濁度計	43	23	7	37	0	5	0	0	0	0	14	14
高感度濁度計	20	10	5	30	0	15	0	0	0	0	40	0
pH計	35	17	9	29	0	6	0	0	0	0	26	14
電気伝導度計	10	30	10	20	0	10	0	0	0	0	10	20
水温計	20	15	5	20	0	5	0	5	0	0	35	15
色度計	23	17	0	43	0	9	0	0	0	0	13	17

表11 水質計器の委託メンテナンスの頻度別の割合 (%) (消毒のみ)

水質計器	<i>n</i>	1週間 以内	2週間 以内	1ヶ月 以内	2ヶ月 以内	3ヶ月 以内	6ヶ月 以内	1年 以内	3年 以内	3年 超	不定期	これまで 未実施
生物センサー	5	0	20	0	0	0	0	0	0	0	40	40
残留塩素計	69	0	0	0	1	13	9	39	12	1	12	13
濁度計	44	0	0	0	0	18	11	25	11	5	5	25
高感度濁度計	20	0	0	0	0	20	5	25	20	0	20	10
pH計	36	0	0	0	0	22	8	28	14	11	0	17
電気伝導度計	11	0	0	0	0	36	9	18	9	18	0	9
水温計	20	0	0	0	0	15	10	25	15	0	10	25
色度計	23	0	0	0	0	30	9	22	9	0	9	22

表12 水質計器の設置箇所別の活用状況 (数値は浄水場数) (消毒のみ)

水質計器	活用状況	水源	取水	原水	浄水	給配水	除鉄・ 除マンガン	紫外線 処理水
生物センサー	自動制御	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	0	1	1	0	0	0
	参考データ	0	0	3	0	0	0	0
残留塩素計	自動制御	0	0	1	9	1	1	0
	管理基準や指標値	0	0	3	29	16	2	0
	参考データ	0	0	0	5	2	0	0
濁度計	自動制御	0	2	1	3	0	0	0
	管理基準や指標値	1	4	6	13	11	1	0
	参考データ	0	0	0	1	1	0	0
高感度濁度計	自動制御	0	1	1	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	3	4	9	1	0	0
	参考データ	0	0	0	1	0	0	0
pH計	自動制御	0	0	1	2	0	0	0
	管理基準や指標値	0	2	4	16	4	1	0
	参考データ	0	0	2	2	2	0	0
電気伝導度計	自動制御	0	0	0	1	0	0	0
	管理基準や指標値	0	0	0	2	2	0	0
	参考データ	0	0	1	2	3	0	0
水温計	自動制御	0	0	0	1	0	0	0
	管理基準や指標値	0	1	0	4	4	0	0
	参考データ	0	1	1	6	2	0	0
色度計	自動制御	0	1	0	2	0	0	0
	管理基準や指標値	0	1	1	6	9	0	0
	参考データ	0	0	0	2	1	0	0

表 13 水質計器の設置箇所別の設置率 (%) (緩速ろ過方式)

水質計器	水源	取水	原水	緩速ろ過水	浄水	給配水	生物処理水	凝集沈殿水
<i>n</i>	12	16	16	16	16	16	1	7
生物センサー	8	0	13	0	0	0	0	0
残留塩素計	0	0	0	0	94	63	0	0
濁度計	33	13	50	13	25	19	0	57
高感度濁度計	0	0	0	44	50	0	0	0
pH計	17	0	31	0	50	13	0	14
紫外外部吸光光度計	8	0	0	0	0	0	0	0
油分計	8	6	0	0	0	0	0	0
油膜計	8	0	0	0	0	0	0	0
アルカリ度計	0	0	0	0	0	0	0	14
電気伝導度計	17	6	6	0	6	0	0	0
水温計	17	6	19	0	19	0	0	0
溶存酸素計	0	0	6	0	0	0	0	0
色度計	0	0	0	6	6	13	0	0

表 14 水質計器の自己メンテナンスの頻度別の割合 (%) (緩速ろ過方式)

水質計器	<i>n</i>	1週間以内	2週間以内	1ヶ月以内	2ヶ月以内	3ヶ月以内	6ヶ月以内	1年以内	3年以内	3年超	不定期	これまで未実施
生物センサー	3	33	0	67	0	0	0	0	0	0	0	0
残留塩素計	25	8	16	44	8	0	0	0	0	0	16	8
濁度計	27	26	19	26	0	0	15	0	0	0	7	7
高感度濁度計	15	13	13	47	0	0	0	7	0	0	13	7
pH計	18	6	17	17	0	11	22	0	0	0	22	6
紫外外部吸光光度計	1	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
油分計	2	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0
油膜計	1	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
アルカリ度計	1	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
電気伝導度計	5	0	0	40	0	0	20	40	0	0	0	0
水温計	9	0	11	22	0	0	11	22	0	0	22	11
溶存酸素計	1	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
色度計	4	0	25	75	0	0	0	0	0	0	0	0

表 15 水質計器の委託メンテナンスの頻度別の割合 (%) (緩速ろ過方式)

水質計器	<i>n</i>	1週間以内	2週間以内	1ヶ月以内	2ヶ月以内	3ヶ月以内	6ヶ月以内	1年以内	3年以内	3年超	不定期	これまで未実施
生物センサー	3	0	0	0	0	33	0	0	0	0	33	33
残留塩素計	25	0	0	0	0	0	4	28	28	8	24	8
濁度計	27	0	0	0	0	0	7	41	22	11	19	0
高感度濁度計	15	0	0	0	0	0	0	20	40	0	20	20
pH計	18	0	0	0	0	0	0	33	33	6	11	17
紫外外部吸光光度計	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
油分計	2	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0
油膜計	1	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0
アルカリ度計	1	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
電気伝導度計	5	0	0	0	0	0	0	40	0	20	20	20
水温計	9	0	0	0	0	0	0	33	22	0	44	0
溶存酸素計	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0
色度計	4	0	0	0	0	0	0	25	50	25	0	0

表 16 水質計器の設置箇所別の活用状況（数値は浄水場数）（緩速ろ過方式）

水質計器	活用状況	水源	取水	原水	緩速ろ過水	浄水	給配水	凝集沈殿水
生物センサー	自動制御	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	1	0	1	0	0	0	0
	参考データ	0	0	1	0	0	0	0
残留塩素計	自動制御	0	0	0	0	8	2	0
	管理基準や指標値	0	0	0	0	7	8	0
	参考データ	0	0	0	0	0	0	0
濁度計	自動制御	0	2	2	0	0	0	0
	管理基準や指標値	4	0	4	2	4	3	3
	参考データ	0	0	2	0	0	0	1
高感度濁度計	自動制御	0	0	0	0	1	0	0
	管理基準や指標値	0	0	0	7	7	0	0
	参考データ	0	0	0	0	0	0	0
pH計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	2	0	5	0	7	2	1
	参考データ	0	0	0	0	1	0	0
紫外部吸光光度計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	1	0	0	0	0	0	0
油分計	自動制御	1	1	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	1	1	0	0	0	0	0
	参考データ	0	0	0	0	0	0	0
油膜計	自動制御	1	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	1	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	0	0	0	0	0	0
アルカリ度計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	0	0	0	0	0	1
電気伝導度計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	2	1	0	0	1	0	0
	参考データ	0	0	1	0	0	0	0
水温計	自動制御	0	0	0	0	1	0	0
	管理基準や指標値	2	1	0	0	1	0	0
	参考データ	0	0	3	0	1	0	0
溶存酸素計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	0	1	0	0	0	0
	参考データ	0	0	0	0	0	0	0
色度計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	0	0	1	1	2	0
	参考データ	0	0	0	0	0	0	0

表 17 水質計器の設置箇所別の設置率（%）（膜ろ過方式）

水質計器	水源	取水	原水	緩速ろ過水	浄水	給配水	原水調整槽	曝気処理水	凝集沈殿水	粒状活性炭処理水	除鉄・除マンガン	急速ろ過水	RO膜ろ過調整槽	RO膜ろ過水
<i>n</i>	12	19	19	19	19	17	3	1	6	1	5	2	1	1
生物センサー	0	16	37	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
残留塩素計	0	0	5	37	84	53	100	0	17	0	100	50	0	0
濁度計	0	26	63	21	26	12	67	0	33	0	40	50	0	0
高感度濁度計	0	0	16	74	47	6	0	0	0	0	0	0	0	0
pH計	0	21	63	21	74	0	67	0	33	0	40	0	100	100
アンモニア計	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
紫外部吸光光度計	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
油分計	0	11	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
油膜計	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
かび臭センサー	0	0	0	0	5	0	33	0	0	0	0	0	0	0
アルカリ度計	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0
電気伝導度計	0	11	11	0	16	0	0	0	0	0	0	0	100	100
水温計	0	16	42	32	42	12	67	0	17	0	0	0	100	100
色度計	0	5	11	11	11	12	0	0	0	0	20	0	0	0
ORP計	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100
SDI計	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ホウ素計	0	0	0	0	5	6	0	0	0	0	0	0	0	100

表 18 水質計器の自己メンテナンスの頻度別の割合（%）（膜ろ過方式）

水質計器	<i>n</i>	1週間以内	2週間以内	1ヶ月以内	2ヶ月以内	3ヶ月以内	6ヶ月以内	1年以内	3年以内	3年超	不定期	これまで未実施
生物センサー	11	45	9	9	0	0	0	0	27	0	0	9
残留塩素計	43	37	5	26	0	0	0	21	0	0	9	2
濁度計	35	29	9	26	6	0	0	17	0	0	11	3
高感度濁度計	25	24	0	36	0	4	0	12	0	0	16	8
pH計	42	24	17	24	0	5	0	17	0	0	12	2
アンモニア計	2	50	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0
紫外部吸光光度計	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
油分計	3	33	0	33	0	0	0	0	33	0	0	0
油膜計	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
かび臭センサー	2	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
アルカリ度計	2	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0	0
電気伝導度計	9	22	0	67	0	0	0	0	11	0	0	0
水温計	30	33	0	0	0	7	0	3	0	0	13	43
色度計	10	30	0	30	0	0	0	40	0	0	0	0
ORP計	2	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SDI計	2	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ホウ素計	3	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 19 水質計器の委託メンテナンスの頻度別の割合 (%) (膜ろ過方式)

水質計器	n	1週間以内	2週間以内	1ヶ月以内	2ヶ月以内	3ヶ月以内	6ヶ月以内	1年以内	3年以内	3年超	不定期	これまで未実施
生物センサー	11	0	18	0	9	0	0	18	9	0	27	18
残留塩素計	43	12	0	7	0	2	7	53	5	2	12	0
濁度計	35	17	0	6	0	3	9	49	0	3	11	3
高感度濁度計	27	11	0	11	0	7	7	37	0	4	15	4
pH計	42	12	0	5	0	5	7	50	2	5	14	0
アンモニア計	2	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0	0
紫外部吸光度計	1	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0
油分計	3	0	0	33	0	0	0	33	0	33	0	0
油膜計	1	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
かび臭センサー	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0
アルカリ度計	2	50	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0
電気伝導度計	9	11	0	0	0	0	0	78	0	0	11	0
水温計	32	3	0	0	0	3	3	38	3	0	22	25
色度計	10	30	0	10	0	0	0	50	0	0	10	0
ORP計	2	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
SDI計	2	50	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0
ホウ素計	3	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0

表 20 水質計器の設置箇所別の活用状況 (数値は浄水場数) (膜ろ過方式)

水質計器	活用状況	取水	原水	膜ろ過水	浄水	給配水	原水調整槽	凝集沈殿水	除鉄・除マンガン	急速ろ過水	RO膜ろ過調整槽	RO膜ろ過水
生物センサー	自動制御	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	2	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
残留塩素計	自動制御	0	1	1	8	2	2	0	2	0	0	0
	管理基準や指標値	0	0	6	7	6	1	1	3	0	0	0
	参考データ	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
濁度計	自動制御	0	5	0	1	0	1	0	1	0	0	0
	管理基準や指標値	5	3	4	4	2	1	2	1	0	0	0
	参考データ	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
高感度濁度計	自動制御	0	1	4	1	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	2	9	6	1	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
pH計	自動制御	0	1	1	4	0	1	1	1	0	1	0
	管理基準や指標値	4	6	3	5	0	1	1	1	0	0	1
	参考データ	0	4	0	3	0	0	0	0	0	0	0
アンモニア計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
紫外部吸光度計	自動制御	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
油分計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
油膜計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
かび臭センサー	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
アルカリ度計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	参考データ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
電気伝導度計	自動制御	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	2	2	0	1	0	0	0	0	0	1	1
	参考データ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
水温計	自動制御	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1
	管理基準や指標値	2	3	0	2	1	1	0	0	0	0	0
	参考データ	1	4	4	4	0	0	1	0	0	0	0
色度計	自動制御	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	1	2	2	1	2	0	0	1	0	0	0
	参考データ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ORP計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	管理基準や指標値	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SDI計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	参考データ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ホウ素計	自動制御	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管理基準や指標値	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
	参考データ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 21 水質計器を代替指標として利用している設置箇所別の浄水場数（複数回答有り）

水質計器	取水	原水	凝集沈殿水	急速ろ過水	浄水	給配水	粒状活性炭処理水	オゾン処理水	生物処理水	原水調整池	膜ろ過水	緩速ろ過水	除鉄・除マンガン	RO膜ろ過調整槽
生物センサー	6	11	1	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
残留塩素計	0	1	3	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0
濁度計	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
高感度濁度計	0	0	0	8	1	0	0	0	0	0	2	1	0	0
pH計	2	2	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
アンモニア計	1	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0
紫外部吸光度計	2	2	2	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0
塩素要求量計	1	6	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
電気伝導度計	3	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
水温計	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
色度計	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
ORP計	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
SDI計	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

表 22 水質計器の設置箇所別の代替指標（括弧内の数値は浄水場数）（複数回答有り）

水質計器	取水	原水	凝集沈殿水	急速ろ過水	浄水	給配水	粒状活性炭処理水	オゾン処理水	生物処理水	原水調整池	膜ろ過水	緩速ろ過水	除鉄・除マンガン	RO膜ろ過調整槽
生物センサー	毒物等(8)	毒物等(9) 水質汚濁(3)	毒物等(1)	毒物等(1)	毒物等(4)									
残留塩素計		NH3(1)	NH3(1) 有機物(1) マンガン(1) 塩素消費(1) 臭気(1)	塩素消費(1)	NH3(1) NO2(1)					NH3(1) 酢酸類(1) THM(1) 鉄(1)	THM(1) マンガン(1)		マンガン(1)	
濁度計	藻類(1)	藻類(1)	藻類(1)											
高感度濁度計				クリプト等(8) 藻類(1)	クリプト等(1)						クリプト等(2)	クリプト等(1)		
pH計	藻類(1) 濁度(1) 毒物等(1)	藻類(1) 濁度(1) アルミ(1)	藻類(1) 濁度(1)	藻類(1)						アルミ(1)				
アンモニア計	臭気(1)	臭気(1)					臭気(1) 塩素消費(1)	塩素消費(1)						
紫外部吸光度計	有機物(2)	有機物(2) 塩素消費(1)	有機物(2) 塩素消費(1)		有機物(2)		有機物(1)		有機物(1)					
塩素要求量計	NH3(1)	NH3(6) 有機物(1) 魚卵(1)					NH3(2)							
電気伝導度計	毒物等(1) 塩分(3) アルカリ度(1)	毒物等(1) 塩分(2) アルカリ度(1)			アルカリ度(1)									塩分(1)
水温計										NH3(1) 酢酸類(1) THM(1)				
色度計					有機物(1) 塩素消費(1)	有機物(1) 塩素消費(1)								
ORP計		濁質(1)									濁質(1)			塩素(1)
SDI計		濁質(1)									濁質(1)			

毒物等：毒性物質、有害物質（農薬、化学物質含む）および毒物等、NH3：アンモニア態窒素、有機物：TOCおよびトリハロメタン（THM）前駆物質を含む、NO2：亜硝酸態窒素、クリプト等：クリプトスポリジウム等、アルミ：アルミニウム、塩分：塩化物および海水滲上を含む

表 23 利用を推奨する水質計器

残留塩素計 (16)	紫外部吸光度計 (4)	塩素要求量計 (2)	浄水処理モニター (1)
高感度濁度計 (11)	アルカリ度計 (4)	連続臭気発生装置 (2)	毒物監視装置 (1)
濁度計 (9)	アンモニア計 (4)	TOC計 (1)	
油分計 (7)	電気伝導度計 (3)	VOC計 (1)	
pH計 (5)	生物センサー (2)	かび臭センサー (1)	

括弧内の数値は回答浄水場数

表 24 利用において課題があると回答があった水質計器

残留塩素計 (19)	塩素要求量計 (9)	油分計 (5)	油膜計 (3)
濁度計 (11)	アンモニア計 (8)	アルカリ度計 (4)	TOC計 (2)
pH計 (10)	高感度濁度計 (7)	紫外部吸光度計 (4)	色度計 (2)
生物センサー (9)	多項目水質計 (5)	かび臭センサー (4)	シアン計 (1)

表 25 あると便利と考えられる水質計器（既存の水質計器への機能の追加も含む）

かび臭センサー (8)	pH計 (2)	原水水質分析装置 (複数項目同時測定) (2)	鉄・マンガン計 (1)
残留塩素計 (7)	アルカリ度計 (2)	塩素酸計 (1)	フローサイトメーター (1)
臭気センサー (6)	蛍光光度計 (2)	塩素消費有機物計 (1)	味覚計 (1)
アンモニア計 (5)	ピコプランクトン計 (2)	活性炭要求量計 (1)	
凝集確認装置 (3)	有害物質・薬物検知器 (2)	クリプトスポリジウム 等センサー (1)	
油分計 (3)	病原微生物等（細菌、 ウイルス）センサー (2)	クロラミン計 (1)	

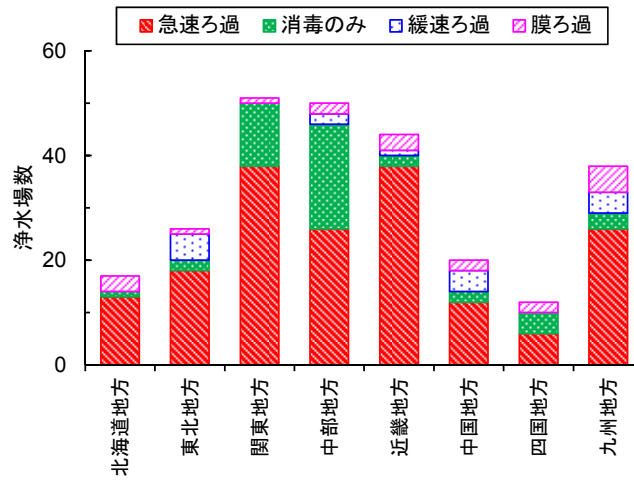


図1 対象浄水場の地方区分による内訳

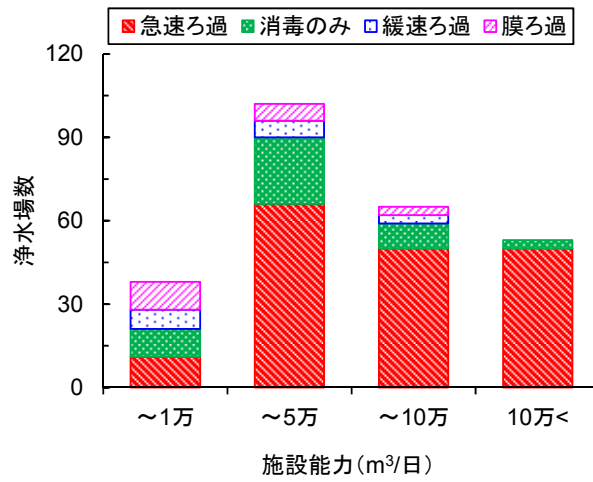


図2 対象浄水場の施設能力による内訳

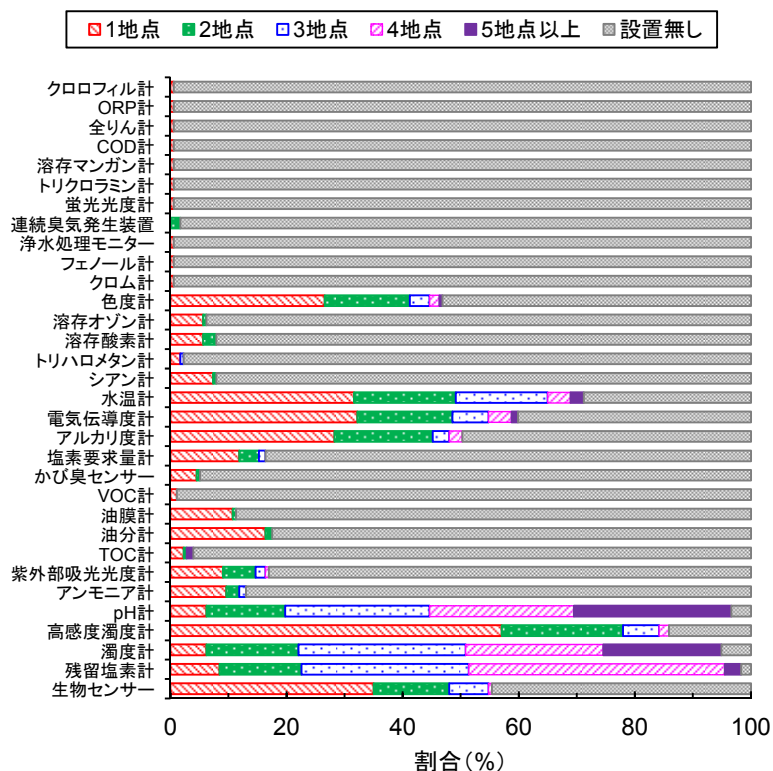


図3 水質計器の設置地点数別の設置率の割合（急速ろ過方式）

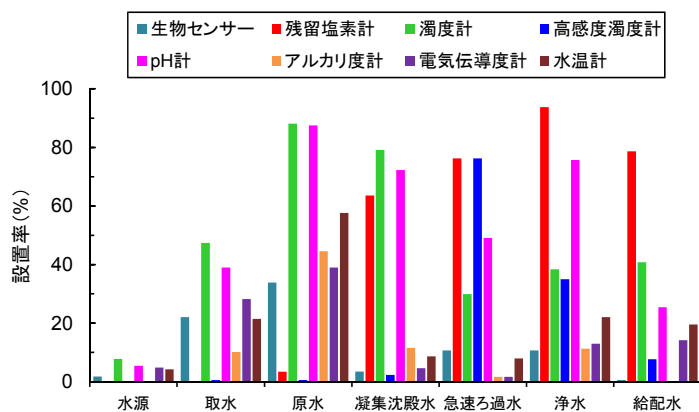


図4 設置率が高かった水質計器の基本プロセスでの設置箇所別の設置率（%）（急速ろ過方式）

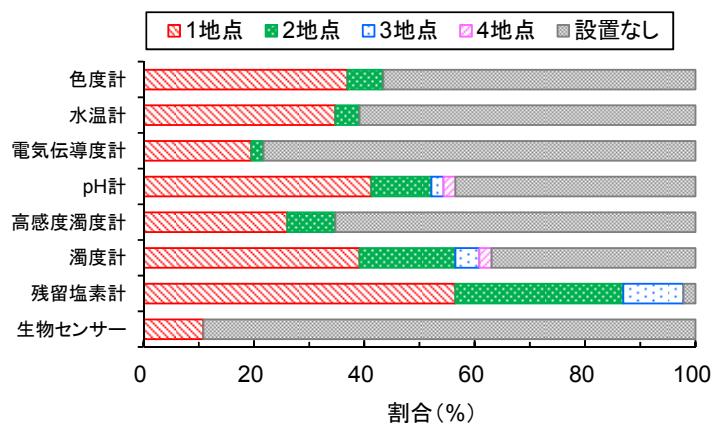


図5 水質計器の設置地点数別の設置率の割合（消毒のみ）

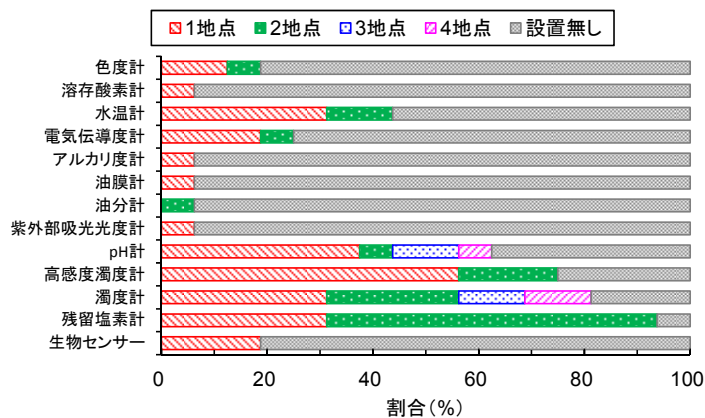


図6 水質計器の設置地点数別の設置率の割合 (緩速ろ過方式)

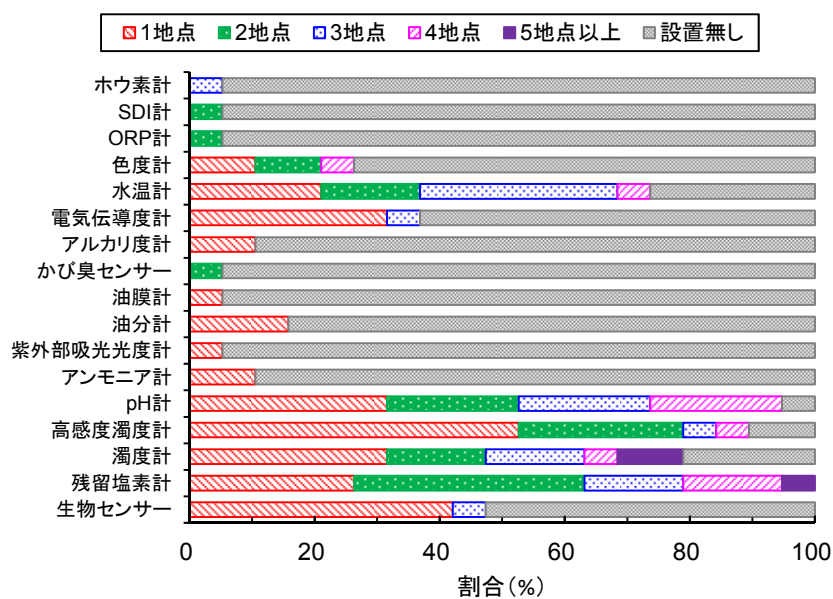


図7 水質計器の設置地点数別の設置率の割合 (膜ろ過方式)

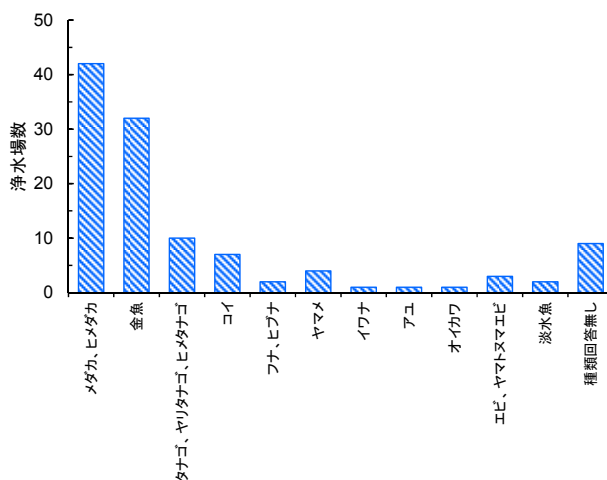


図8 設置していた魚類監視装置に用いた魚類の種類 (複数回答有り)

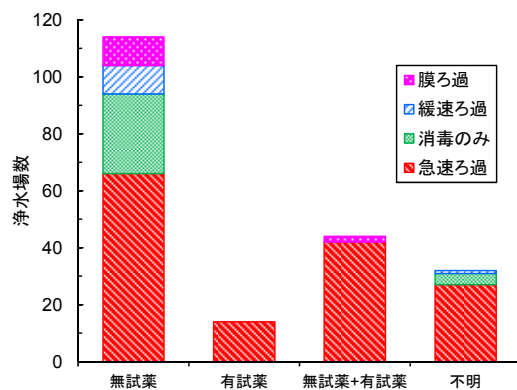


図9 設置していた残留塩素計のポーラログラフ法の方式

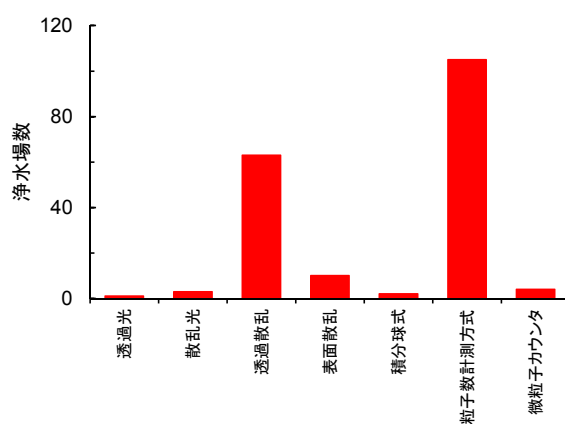


図10 設置していた高感度濁度計の測定原理（複数回答有り）

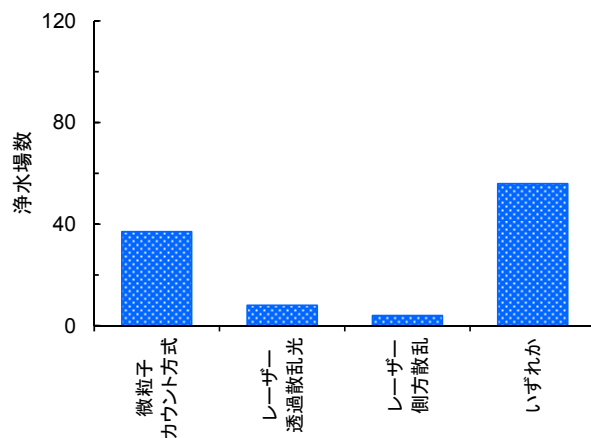


図11 設置していた粒子数計測方式の高感度濁度計の測定原理（複数回答有り）

分担研究報告書 7

水道水質管理における連続自動水質計器の役割と開発状況

研究協力者 山腰 修蔵
研究協力者 山口 太秀

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：水道水質管理における連続自動水質計器の役割と開発状況

研究協力者 山腰 修蔵 公益社団法人 日本水道協会
山口 太秀 メタウォーター（株）

研究要旨

我が国では、近年のゲリラ降雨による原水水質の急変や熟年技術者不足がさらに進行しており、連続自動水質計器を利用した水質管理は必須な状況にある。このことから、現状の使用状況を踏まえ、「水安全計画」に基づいた連続自動水質計器の活用について提案した。

また、新たに開発された連続自動水質計器を中心として調査を行い、水道事業体や維持管理会社における運転管理の高度化の一助とするべく、水質計器の情報を整理した。

A. 研究目的

近年のゲリラ降雨による原水水質の急変や熟年技術者不足への対策は、我が国の水道にとって重要な課題である。そのような状況の中で、連続自動水質計器を利用した水質管理は、益々重要になってきている。そこで、水道事業体の運転管理の一助とするべく、「水安全計画」¹⁾、²⁾、³⁾に基づいた水質計器の活用について提案した。また、水道水源や水道施設で使用されている連続自動水質計器とその測定項目について、比較的調査が容易である濁度、pH、残留塩素等の基本となる水質は除外し、新たに開発された計器を中心として調査した。

B. 研究方法、C. 研究結果およびD. 考察

1. 水安全計画に基づいた水質計器の活用

(1) 水質管理の重要性(水安全計画の考え方)

水道における国際的な水質基準は、1958年WHO（世界保健機構）が「飲料水水質基準」として策定したのが始まりである。その後、1984年には「WHO加盟各国がそれぞれの国の実情に応じて国内の水質基準を制定する際の参考となるガイドライン」という位置づけに改め、「飲料水水質ガイドライン」の初版が発表されている。

また、この「飲料水水質ガイドライン」は、1993年（Vol.2）、2004年（Vol.3）とほぼ10年毎に見直しがなされたが、この第3版以降は最新の科学的知見に基づき常に見直す“Rolling Revision（逐次改正方式）”となった。

第3版では、ガイドライン値のみを記述するのみならず、水の安全を確保するための計画全般について水道版 HACCP（Hazard Analysis and Critical Control Point）、すなわち、Water Safety Plans（水安全計画）を策定することを強

く推奨する内容となっている。

具体的には、“水源から給水栓までの水供給の全ての工程を網羅する包括的なリスク評価”と“リスク管理”を行うことで、このようなアプローチを「水安全計画」という。2011年（Vol.4）が刊行された現在の第4版は、気候変動等の影響や災害対策が強化されている。

(2) 連続自動水質計器の開発状況

最近の連続自動水質計器の開発状況を見ると、従来型の濁度計、pH計、電気導電率計、アルカリ度計、残留塩素計、塩素要求量計といったプロセス制御用の水質計器に加え、油膜・油分計や生物センサーによる毒物監視装置、有機物を対象とした揮発性有機化合物計（VOC計）、カビ臭センサー、紫外部吸光度計（UV計）、全有機炭素計（TOC計）、及び色・濁り・残留塩素を含む多項目同時分析装置などの水質異常に対する監視用計器が使用されるようになってきている。

濁度計では、クリプトスポリジウム対応を背景として高感度化が進み、レーザー光源を使用したものや微粒子数を濁度換算する方式のものが多くみられる。

また、凝集処理の異常を監視する計器として、フロックセンサや残留凝集剤量と高い相関がある吸引ろ過時間比（STR）測定装置、ろ過池からの生物漏洩を感知する生物粒子計数器なども実用化されている。

(3) 浄水処理プロセスと給・配水における水質計器の設置場所⁴⁾

1) 導水施設

導水施設は、取水施設により取水された原水を浄水施設に導水する施設で、導水管、導水渠、

原水調整池、接合井、ポンプ設備等がある。

原水調整池は、水質事故時の取水停止や濁水時の取水制限等に備え、水量・水質の両面から安全性を高める貯留施設である。

接合井は、導水渠の分岐点、合流点、屈曲点などの構造の変化点や圧力管から導水渠に変化する地点等に、水圧調整、水面変動の吸収及び円滑な導水を目的に設置される。

2) 着水井

着水井は、導水施設から流入する原水の水位変動の安定化、原水量の測定、処理系統が複数となる場合の原水の混合や配分、浄水薬品の注入、ろ過池洗浄排水を主とする返送水の受け入れ等の機能を有する。

3) 凝集沈澱池

凝集沈澱池は凝集池と沈澱池から成り、凝集池は、急速攪拌により原水に注入した凝集剤を拡散させるとともに微小フロックを形成させる混和池と、緩速攪拌により微小フロックを集塊成長させて大きなフロックにするフロック形成池で構成されている。

4) 沈澱池

沈澱池は、凝集剤の注入、混和、フロック形成を経て成長したフロックの大部分を重力沈降作用により分離除去する施設である。

5) 急速ろ過池

急速ろ過池は、ろ材への吸着とろ層での篩分け作用により、濁質を除去する施設である。

6) 浄水池

浄水池は、ろ過水量と送水量との間で生じる水量の不均衡を調整・緩和するとともに、事故時の対応などに備えて浄水を貯留して時間的な猶予を確保する、浄水施設としては最終段階の施設で貯水量を大きくして配水池を兼ねる場合もある。

7) 配水池

配水池は、送水量と配水量との時間的変動を吸収・調製し、需要の均衡を図る機能を有する。

このため、水位計や流量計の他に残留塩素計やpH計、電気伝導率計等の水質計器により水質変動を把握するとともに、急激な残留塩素の減少に対応して“追加塩素”の注入を行う場合には、その拠点となる。

(4) 水質計器の配置（急速ろ過法の事例）

1) 代表的な水質計器

油分計（油膜センサーを含む）、生物センサー（シアンセンサー、毒物検知装置、魚類監視装置等）、水温計、濁度計、色度計、pH計、電気伝導率計、アルカリ度計、アンモニア計、塩素要求量計（アンモニア計との併設も有り）、

カビ臭センサー（試料の加温・噴霧による連続臭気検知装置を含む）、VOC計、TOC計、UV計、蛍光光度計、残留塩素計、高感度濁度計など。

2) 検水設備

検水設備は、浄水場の各処理工程の水を監視場所（水質計器室）に送水し、水質計器で水質を測定するために使用する検水と、運転管理員が直接処理水を目で確認するための設備である。

各地点の水を検査する場合、現場まで検水を取りに行かなくても済み、水質状態を監視員が直接目で確認できる等の利便性があり、水質計器の設置場所を集中化や、計器の保守メンテナンスに便利で、水質計器に良好な環境が得られることなどの利点がある。

この設備を利用することで、浄水処理において各段階での水処理の良否を決定すると同時に時系列に変化する処理水から、将来の水質変化を予測でき、適切な薬品注入管理が可能となる。

利用に当たっては、次のような短所も有るので注意を要す。

- ・採水現場からの距離による検水の時間遅れがあること。
- ・原水等経年により配管内部に不純物が蓄積し、送水中に濁度や水質が変化する可能性があること。
- ・ポンプの回転力や配管途中の流速により、生成されたフロック等が破壊され、水質が変化することもある。
- ・原水など、水処理の前段階の水はごみ等の不純物が多いことから、経年と共に配管が詰まるなどの障害が発生し、送水不能となることがある。時々、逆洗洗浄や送水量を増加させるなどして、配管内の清掃を実施する事が必要である。

3) 検水の特性と水質計器の配置

①原水（取水点・沈砂池～着水井間）

原水水質を計測する場合、河川への水質計器の設置は河川管理者の許可が必要となるため、沈砂池や原水調整池、接合井等が設置対象地点となる。

原則として、薬品等が注入されていない浄水処理をする前の状態の水を言い、河川などの現状そのままの水。また処理過程で後段の処理水に対し前段を原水と呼ぶ場合もある。

処理前の状態の把握（水温、濁度、アルカリ度、pH値、塩素要求量、アンモニア態窒素、電気伝導率、臭気、毒物検知等）と変化に対応した水処理を行うために重要であり、活性炭や

前アルカリ剤の注入の適否を確認する。

また、設置においては計器の測定原理等を考慮し、設置環境に留意する必要がある。

例えば、取水地点でのトリハロメタン計の設置は、塩素が注入されていないため検出できない。このため、代替計器としてトリハロメタン生成能 (THMFP) と相関の高い UV 計や蛍光光度計、TOC 計、色度計等が使用されている。これらの計器は、大なり小なり濁度の影響を受けるため、除濁装置 (砂ろ過、ストレーナ等) の設置が必要となる場合がある。また、魚類監視装置以外の生物センサーも、測定原理によっては濁度の影響が大きく同様な措置が必要である。

②着水井の検水

着水井は、返送水 (残留塩素) の影響を受けることや、浄水薬品の注入点となっており、設置場所によっては原水の水質を正確に測定できない場合がある。測定水質の目的や計器の設置環境に配慮・留意が必要である。

着水井はその機能からの適否を判断するうえで必要な水質計器 (濁度計、pH 計) を配置する。

濁度は、原水の混合状態や処理系統別に配分される水の状態を把握する指標であり、pH 値は、返送水の水質異常を感知するうえで活用される。

③凝集水 (フロック形成池)

凝集剤 (PAC、硫酸ばんど等) が注入された後の状態の検水 (前塩素処理では凝集剤と塩素注入後) は、凝集沈澱処理の良否を確認 (注入量) するために重要である。

原水水質の急変時や凝集不良時には、ジャーテストで凝集沈澱の良否や適正注入率を求める。

前塩素処理の場合には、後段での残留塩素の測定が適正な前塩素注入を行うために特に重要である。日射により沈澱池の塩素分が分解されるため、塩素要求量に比べて多めの注入率となる。

アルカリ度、pH、濁度、残留塩素は、凝集剤注入率の適否を判断する重要な指標である。例えば、アルカリ度の原水との差分は凝集剤注入量の確認に、アルカリ度と pH 値のトレンドは日周変動の把握や降雨時の前苛性注入の判断指標に、残留塩素は沈澱池の差分で前塩素注入率を制御することでろ過池での除鉄・除マンガン処理の安定に寄与している。

④沈澱水 (沈澱池出口)

沈澱池で凝集・沈澱が行われた後の上澄水と言う。沈澱処理効果の良否確認 (濁度、アルカ

リ度、pH、塩素要求量など、前塩素処理の場合には遊離残留塩素も) と、ろ過前段の薬品注入量の推定に重要である。

⑤未ろ過水 (ろ過池流入水又はろ過池表層水)

沈澱水に中塩素や後 PAC が注入された後のろ過前の状態の検水と言う。

中塩素処理では、遊離残留塩素が 0.5 mg/L 以上 (除鉄、除マンガン処理の場合) 確保するように注入量を制御する。

また、中塩素や後凝集剤注入後の沈澱水渠に計器を配置した場合には、未ろ過水の測定値は沈澱水として扱うことができる。

⑥ろ過水 (ろ過池出口又はろ過水管、ろ過水渠)

ろ過後の検水で、ろ過池毎の出口水やろ過水渠の集合水で後塩素や後苛性の注入前の水と言う。

⑦浄水 (浄水池又は配水池出口)

一般的には、後塩素や後苛性注入後のろ過水のことで、浄水場より送・配水される水の最終確認をする。

⑧高度浄水処理水

・オゾン接触池入口水

沈澱池から除塵機を経て (前段ろ過池 : なし)、若しくは前段ろ過後に導水管によりオゾンを接触池に流入した沈澱水。

・オゾン接触池出口水

オゾン接触池でオゾン接触後の水。

・活性炭吸着池出口水

生物活性炭ろ過池 (BAC ろ過池) で吸着処理した水。

・高度浄水ポンプ井出口水

生物活性炭ろ過池でろ過後中塩素を注入した水。

⑨返送水

ろ過池を洗浄した水、浄水スラッジを濃縮した上澄水や薬品注入設備の洗浄水 (薄い PAC、苛性ソーダ) 及び検水ポンプの戻り水が一時洗浄排水池に貯留され、洗浄排水ポンプにより着水井等に返送されることで、原水と混合し再び水処理される水。

洗浄水が主なので原水とは水質が異なるため、返送水の混合原水を処理する時間帯は薬品注入 (塩素、凝集剤) に注意を要する。

⑩給水栓水

送・配水管・給水管を經由して蛇口から供給される水道水。

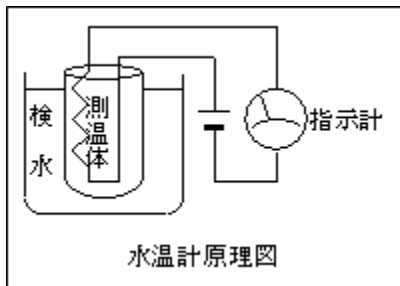
(5) 主な水質計器の原理と特徴

1) 水温計

水の温度を測定して凝集剤注入率を予測する重要な指標の一つである。一般的に、気体は

水温が高いほど水に溶解することから、高度処理におけるオゾンの注入には重要な指標となる。

- ✓ 測定箇所：原水及び浄水
- ✓ 測定原理：水の温度を電気（抵抗値又は起電力）に変換して表示したもの。
- ✓ 測定範囲：0～35℃



2) 濁度計（高感度濁度計を含む）

水の濁りの程度を測定するもので、その測定方式により透過光、散乱光、透過散乱光、表面散乱光、積分球式、レーザー散乱光、レーザー透過光、微粒子カウンタなどがある。

- ✓ 測定箇所：原水、沈澱水、ろ過水、浄水及び給水栓水
- ✓ 測定原理
透過散乱光

光源から試料水に光を当てると、水の濁りの程度により透過及び散乱する光の量は変化する。これを光電池で受け、発生する起電力により濁度を求めるもの。

表面散乱光

試料水に光源からの光を当て、そこから発生する表面散乱光を検出・増幅することで濁度を求めるもの。

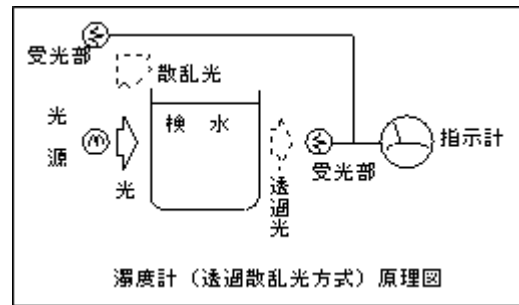
透過散乱光・レーザー方式(高感度濁度計)

半導体レーザーを一点に集中させ試料液に当てると、液中の微粒子からの透過光や散乱光による干渉縞が生じる。この強度分布をフォトセルなどにより測定して、濁度を求めるもの。

微粒子カウント方式（高感度濁度計）

試料水にレーザー光を当て、粒子により遮断される影をフォトダイオードによって粒子径別の粒子数を計測するもの

- ✓ 測定範囲
原水：0～100/1000/2000 度（レンジ切り替え）
浄水：0～3 度（高感度濁度計：0～0.2/1/2 度）
- ✓ 精度：2～3%（フルスケール）



3) アルカリ度計

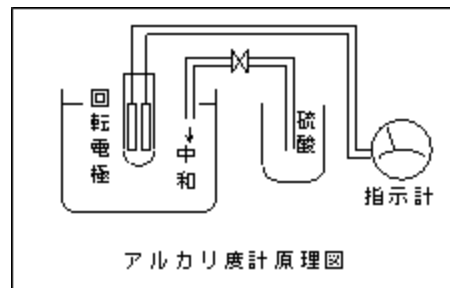
水中に含まれる炭酸水素塩、炭酸塩又は水酸化物などのアルカリ分を、これに相当する炭酸カルシウムの量で表したもの。

水処理の凝集反応には欠くことのできない要素であり、酸性の薬品（塩素、PAC 等）を注入するとアルカリ度は減少し、アルカリ性の場合には増加する。雪解け水や雨水が多いとアルカリ度は低くなり、都市下水や汚濁された水が多いとアルカリ度は高くなる。

- ✓ 測定箇所：原水、沈澱水及びろ過水
- ✓ 測定原理：硫酸による中和滴定法により、連続自動間欠測定を行う。

pH 計の入った反応槽に pH4.8 を終点として、試薬（硫酸で中和滴定し、これに要した硫酸の量）からアルカリ度を求める。試薬濃度を変えると測定範囲が変わる。

- ✓ 測定範囲：0～50、0～100mg/L

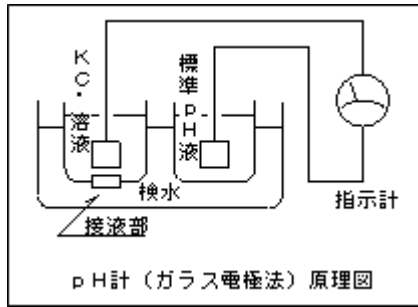


4) pH 計

水の水素イオン濃度の指標で、水の酸性、アルカリ性を示す。

0 ← 酸性 ← 7 (中性) → アルカリ性 → 14
前述したアルカリ度と関係するが、緩衝作用等によって一定の関係は成立しない。

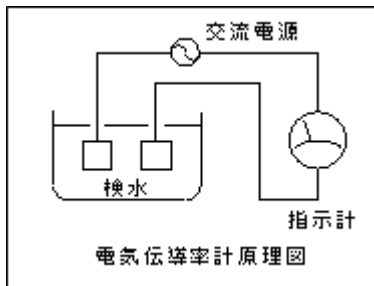
- ✓ 測定箇所：原水、沈澱水、ろ過水及び浄水
- ✓ 測定原理：ガラス薄膜電極の両側に異なった2種の溶液があると、pH の差に比例した起電力が発生することを利用したものである。
- ✓ 測定範囲：4～10（単位：－）



5) 電気伝導率計

水中の無機物質の溶解量を表す指標となるものである。

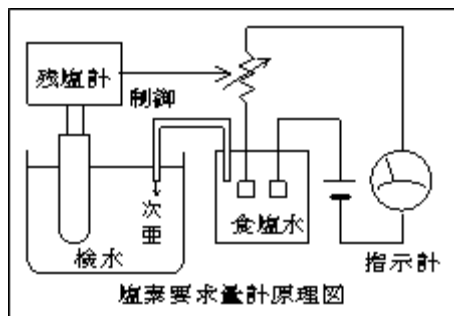
- ✓ 測定箇所：原水、浄水及び給水栓水
- ✓ 測定原理：一對の電極を使用し、その電極間の溶液抵抗を測定することで、電気伝導率を求めるものである。
- ✓ 測定範囲：0～500 μS/cm



6) 塩素要求量計

水中に含まれる全ての塩素消費物質の総量を測定することができ、ほぼ実際の塩素処理と同じ結果が得られ、塩素注入の重要な指標となる。実際の塩素注入では、残留塩素分を考慮して注入する。

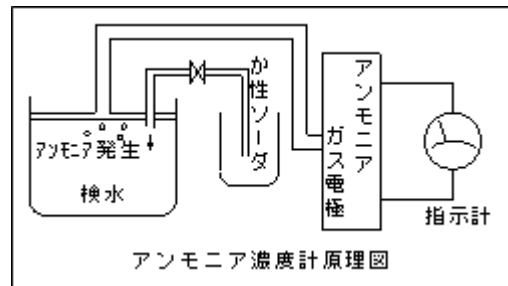
- ✓ 測定箇所：原水及び沈澱水
- ✓ 測定原理：食塩水を電気分解し次亜塩素酸ナトリウムを生成して、検水に注入する。所定の時間接触後の残留塩素が一定となるように、電解電流を調節する。この電流を変換したものが塩素要求量となる。
- ✓ 測定範囲：0～10、0～20、0～40 mg/L



7) アンモニア濃度計

水中に含まれるアンモニウムイオン中の窒素は、塩素及び生物処理を行う時の大きな指標となる。

- ✓ 測定箇所：原水及び沈澱水（中間塩素処理の場合）
- ✓ 測定原理：検水中のアンモニウムイオンは、pHを11以上に高めることで98%アンモニア(NH₃)として存在する。これを角膜式アンモニア電極により検出し、検水中のアンモニア態窒素濃度を算出する。
- ✓ 測定範囲：0～3、0～5 mg/L



8) 残留塩素計

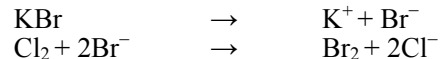
水中の残留塩素を測定し、塩素処理やろ過池のマンガン砂を保持するための指標とする。

一般的には遊離形の残留塩素を測定するが、結合形と遊離形双方の残留塩素を測定することもある。

- ✓ 測定箇所：凝集水、沈でん水、ろ過水、浄水及び給水栓水
- ✓ 測定原理

試薬式：回転電極式ポーラログラフ法
〔遊離残留塩素〕

試薬（臭化カリウム [KBr]）は検水中で電離し、さらに遊離残留塩素と次のように反応する。

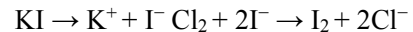


この反応で遊離した臭素を電極により電解還元することで、このときに流れる電流を利用して遊離残留塩素濃度を測定する。

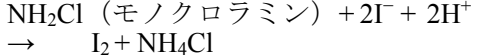
〔全残留塩素（遊離+結合残留塩素）〕

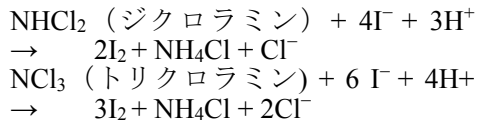
試薬（ヨウ化カリウム [KI]）は検水中で電離し、さらに遊離及び結合残留塩素と次のように反応する。

（遊離残留塩素）



（結合残留塩素）



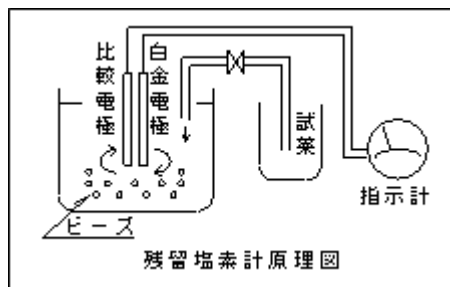


無試薬式：固定電極式ポーラログラフ方式

回転白金電極と対極（銀電極）間に電圧を印可し、試料中の遊離残留塩素のイオン化電流を測定することで遊離残留塩素濃度を求める。

無試薬式は、遊離残留塩素だけを測定する計器であり、pH 及び電気伝導率の値が一定の範囲にあることが必要である。このため、主としてろ過水又は浄水の測定に用いられている。

- ✓ 測定範囲：0～3、0～6、0～10mg/L

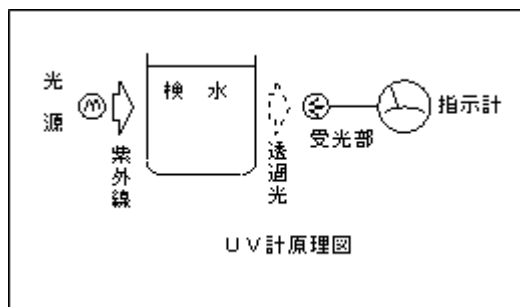


9) UV 計

水中にある有機物の多くが紫外部に吸収を持つという特徴があることを利用して、紫外部波長の吸収量から有機物量を求めるものである。

高度浄水プロセスでは波長 260 nm における紫外部吸光度 (E₂₆₀) を利用して、オゾン処理や活性炭吸着処理での処理効果を評価する指標として活用されている。

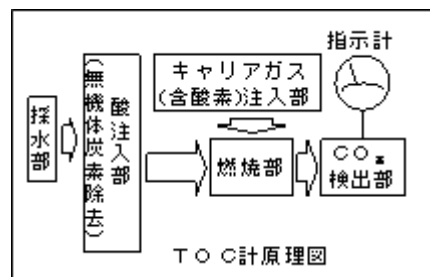
- ✓ 測定箇所：高度浄水プロセス（オゾン接触池入口及び出口、活性炭吸着池出口）
- ✓ 測定原理：低圧水銀ランプから出る波長 254 nm の紫外線光を検水の流れる石英製の槽（セル）に透過させ、吸収される紫外線の度合いを吸光度で表したものである。
- ✓ 測定範囲：0～1 (Abs/Cell)



10) TOC 計

炭素は有機物の主要構成成分であるので、これを測定することで有機汚濁物質の量を直接的にすることができる。E₂₆₀ と同様に、高度浄水プロセスではこの測定結果を用いて、オゾン処理、生物活性炭吸着処理における評価指標としている。

- ✓ 測定箇所：高度浄水プロセス（オゾン接触池入口及び出口、活性炭吸着池出口）
- ✓ 測定原理：検水の有機物を燃焼（燃焼法）させ、生成した二酸化炭素を測定する。他に、酸化剤と紫外線を用い発生した二酸化炭素を測定する湿式法がある。
- ✓ 測定範囲：0～1、0～2 mg/L

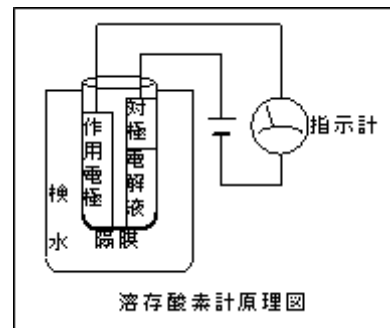


11) 溶存酸素計 (DO メータ)

水中に溶解している酸素分子を測定対象とする。有機性汚濁が著しいと溶存酸素は少ない。

高度浄水プロセスでは、オゾン接触池で溶存酸素により分解生成した溶存酸素が、生物活性炭吸着池に生息した好気性微生物によってどの程度消費されるかを測定している。

- ✓ 測定箇所：高度浄水プロセス（オゾン接触池入口及び出口、活性炭吸着池出口）
- ✓ 測定原理：電気分解による酸素の還元電流が、水の酸素分圧に比例すること利用したものである。
- ✓ 測定範囲：0～10、0～20 mg/L

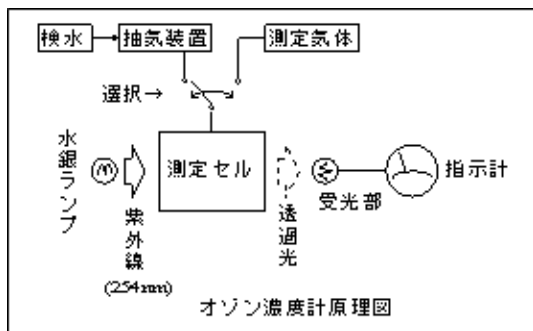


12) オゾン濃度計

高度浄水プロセスにおけるオゾン処理では、関連するそれぞれの施設毎にオゾン濃度を測

定し、適正かつ安全にオゾンの注入管理をしなければならない。そこで、発生オゾン濃度、水の溶存オゾン濃度、気体の排オゾン濃度及び環境オゾン濃度を連続的に測定し、オゾン注入制御や安全性の監視を行っている。

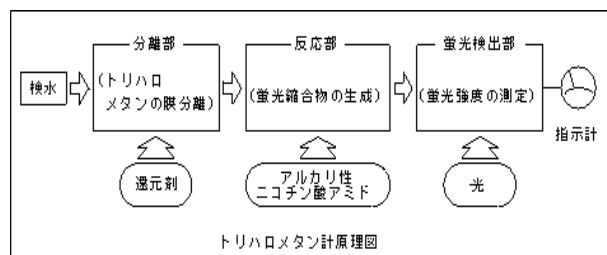
- ✓ 測定箇所：高度浄水プロセス（オゾン接触池入口及び出口）
- ✓ 測定原理：紫外線の吸収量からオゾン濃度を求めるものである。
- ✓ 測定範囲：0～1、0～2 mg/m³、0～10、0～40 g/m³



13) トリハロメタン計

塩素処理後に生成する消毒副生成物であるトリハロメタンを測定するものである。

- ✓ 測定箇所：浄水
- ✓ 測定原理：検水中の残留塩素を還元剤で分解後、分離部でトリハロメタンを分離し、アルカリ性ニコチン酸アミドと反応させる。この反応により蛍光縮合物質が生成され、蛍光強度を測定することで、総トリハロメタンの濃度を得るものである。
- ✓ 測定範囲：0～200 µg/L



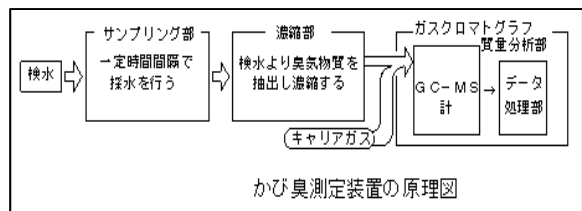
14) 連続カビ臭測定装置（カビ臭センサー）

藻類の繁殖の結果生成した臭気原因物質である2-メチルイソボルネオール（2-MIB）やジエオスミンを測定するものである。

- ✓ 測定箇所：原水及び浄水
- ✓ 測定原理：原水又は浄水を自動的に定時採水し、気化した検水中のカビ臭原因物質を濃縮する。これをガスクロマトグラフ質量分析計（GC-MS 計）に導入し、測定する

ものである。

- ✓ 測定範囲：0～1000 ng/L



15) 多項目水質測定装置（給水水質モニタ）

水道法 20 条に定める定期及び臨時の水質検査に係る毎日検査（色及び濁り並びに消毒の残留効果）について、給水栓水の濁度・色度・残留塩素の3項目を基本に、電気伝導率・pH・水温・水圧を加えた、最大7項目の水質を定時に測定するものである。測定原理については、これまで述べたものの他、各社独自に開発したものも採用されている。

(6) 自動水質計器の活用と水質管理

自動水質計器は、水源・取水点（原水）・浄水プロセス・給配水の各地点に設置され、①自動制御（濁度、pH、残留塩素など）や②項目（指標値を含む）毎の管理水準による運転管理と③参考データ（代替指標）による監視業務に活用されている。

また、アナログやステータス信号だけでなく、ICT 技術を活用したトレンド表示、計測データの解析、遠隔監視、タブレット端末によるメンテナンス履歴の管理などへの利用が高まって来ている。

1) 水質計器による正確な測定のために

自動水質計器は、その測定値がある変動幅の範囲内で正確な値を示すように管理しなければならない。そのためには、日常の機器校正や点検、メンテナンスが適切に行われなければならない。また、機器の校正や点検の頻度は、使用目的を踏まえ機器ごとに設定することが重要である。

例えば、塩素処理や凝集処理の要となる残留塩素計やアルカリ度計・pH 計は、残留塩素濃度の変化や凝集フロックの生成状に直接影響し、計器の誤作動は浄水処理そのものを危うくする可能性がある。こうしたリスクをできるだけ低減する方法として、手分析による測定値と計器値のクロスチェックや日常の施設の目視点検（五感：水色・フロック粒径・におい・音・触感）と計器値との相関等の記憶は非常に有効で、異常の早期発見（“何かいつもと違う？”という感覚など）につながることが多い。

2) 水質計器の異常値の判断

水質計器の異常値の判断は、対応する定時の手分析とのクロスチェックデータを用いて、統計処理により得られた“判断基準”を設定するのが良い。この場合、計器による測定値(同日、同時刻のトレンドから読み取った計器値)と相対する手分析値(実測値)の差分(絶対値)を用いて行うことが基本である。

表1に、沈澱水の濁度計とpH計の“異常値”設定の実施例を示す。

3) 浄水プロセス毎の管理水準の設定と運転管理

水安全計画は、食品衛生管理手法であるHACCPの考え方を取り入れた、“水源から消費者への供給までの水供給の全ての工程を網羅する包括的なリスク評価と体系的な水質管理(≒「体系的な工程管理」)を実現するリスクマネジメント手法”といえる。

水安全計画に自動水質計器を組み入れて浄水プロセスの運転管理を行う場合、それぞれのプロセス毎に水質の管理水準を設定し、フィード・フォワード及びフィードバック制御と組み合わせ合わせて運転を行う必要がある。

管理水準(又は管理目標値)とは、その水準を超過(又は確実に超過すると判断できる濃度レベル)した場合に、対応措置を講ずるためのアクションレベル(行動を起こす必要がある)をいう。

管理水準は、原水水質の変動により起こりうる危害に対して、過去の計測データを解析した上でそれぞれの工程別に設定すると同時に、その対応をマニュアル化しておく必要がある。

具体的な例として沈澱池における凝集不良を考えた場合、その発生原因として、水源では台風や局地的な集中豪雨と橋梁又は河川工事などが考えられ、浄水場では薬品注入設備の故障等や攪拌機の故障等による攪拌不足、生物由来の凝集不良、浄水薬品、水質計器異常などが挙げられる。

こうした状況の変化は、いち早く水質計器の測定値トレンドに現れることから、「原因—確認事項—対応措置」を整理するとともに、判断基準を明確化しておくことが求められる。

表2に、沈澱水濁度の管理水準を1度とした時の“沈澱水の濁度異常”に対する管理対応マニュアルの一例を示した。こうしたマニュアルにより、迅速で確実な対応が可能となるだけでなく、自動水質計器の日常点検やクロスチェックの重要性を認識しておかなければならない。

2. 連続自動水質計器に関する調査と分類

(1) 調査方法

日本国内の水質計販売会社に対して、比較的最近に製品化された水道向けの連続自動水質計器の仕様や適用例についてヒアリングを行った。なお、濁度、pH、残留塩素などの一般水質計についての情報は比較的容易に得ることができるため、調査から除外した(高感度濁度計は調査対象とした)。

(2) 調査した企業数

日本国内の水質計販売企業26社に対してヒアリングを実施し、20社から回答を得た。回収率は77%であった。

(3) 調査結果

各社からの回答を整理した結果、一般的な水質計を除いた連続自動水質計器は56機種であった。それらの連続自動水質計器を測定項目毎に整理した結果を表3に示す。また、測定項目毎の機種数を以下に示す。低濃度濁度/微粒子数が15機種で最も多く、クリプトスポリジウム対策指針に基づく0.1度以下の低濃度濁度測定に高いニーズがあるものと推察された。

その他としては、アンモニアや有害物質(バイオアッセイによる検知)などの原水水質異常の監視計器や給水末端の毎日検査を自動で管理するための給水水質モニタが多かった。

シアン	: 1
アンモニア態窒素	: 4
生物(藻類、細菌)	: 3
油膜	: 2
油分	: 1
有害物質	: 4
VOC	: 2
TOC	: 2
活性炭スラリー	: 1
塩素要求量	: 2
UV	: 2
溶存オゾン	: 1
溶存マンガン	: 1
低濃度濁度/微粒子数	: 15
トリハロメタン	: 2
カビ臭	: 1
汚泥界面	: 2
給水水質	: 5
多項目(UV、TOC等)	: 2
フロック	: 1
STR	: 1

浄水処理 : 2

最近開発された計測器としては、藻類・細菌などの生物計数器、フロック粒径、STR など、浄水プロセスの運転管理の高度化やリスク低減を目的としたものが見られた。また、計測器ではないが、滞留時間を浄水場より短くした小型水処理装置により、浄水場の水処理プロセスを模擬する装置も製品化されている。

図 1 に各測定項目の浄水プロセスにおける採水場所を示す。取水・着水井では、有害物質（毒物）、油膜・油分、シアンなど、主に事故等により原水が汚染されたことを検知する目的とした項目が多い。また、アンモニア態窒素は、塩素要求量を大きく変化させるため、アンモニアが急変した場合には、残留塩素の不足や、塩素の過注入による異臭味などの水質事故を起こしてしまう場合がある。したがって、原水がアンモニアで汚染される可能性がある浄水場では、アンモニア計が設置されることがある。

その他に、今回は調査対象として挙げなかったが、後段の薬注制御で重要な指標である原水濁度、pH やアルカリ度が取水・着水井で測定される。

凝集沈澱池からろ過池では、浄水処理の状況を把握するため、基本的な水質である pH や濁度の他に、微粒子数、生物数、UV、TOC、フロック粒径、STR などが測定される。

浄水池から配水池、給水においては、浄水が水質基準を満たしているかどうかを確認する必要がある。また、毎日検査では、濁度、色度、残留塩素の測定が必要なため、多項目の水質を測定できる給水水質モニタを利用する事例が増えている。

なお、今回のヒアリングでは調査回答がなかったため示さなかったが、原水の蛍光強度（蛍光性有機物）を測定し、オゾン注入率や凝集剤の注入率に反映させる試みがある。また、海外では蛍光強度を連続測定できる製品も複数の企業で開発されている。それらについての調査は今後の課題とする。

E. 結論

水安全計画に基づいた連続自動水質計器の活用について提案した。また、新たに開発された連続自動水質計器を中心とした調査を行った結果、以下の測定器が複数の企業から販売されており、水道事業者からのニーズが高いことが推察された。

- 1) クリプトスポリジウム対策指針に基づく 0.1 度以下の低濃度濁度測定機器
- 2) 原水の有害物質を検知する水質計器（バ

イオアッセイ)

- 3) 原水のアンモニア態窒素の測定機器
- 4) 毎日検査を自動化する給水水質モニタ

なお、参考のため、今回調査した連続水質計器の仕様を参考資料として添付した。

本調査結果、及び参考資料が、水道事業者や維持管理会社における運転管理の高度化の一助となり、我が国の課題となっている、ゲリラ降雨による原水水質の急変や熟年技術者不足対策に繋がることを期待する。

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：水道ビジョン、2004.
- 2) 倉谷英和：水安全計画による水道のリスク管理について、衛生工学シンポジウム論文集 13、p.43-46、2005.
- 3) WHO：Guidelines for drinking-water quality, 4th ed., 2011.
- 4) 日本水道協会：水道維持管理指針（2016 年版）、2016.
- 5) 東京都水道局 HP.
https://www.waterworks.metro.tokyo.jp/suigen/s_unyo.html

表1 沈澱水の濁度計“異常値”設定の実施例

	濁度	計算方法
	沈澱水	
t検定	0.00	※t検定の結果:5%以下→有意差があると判定する。 ○有意差検定 ・毎日9時のトレンドと手分析値を並べる。 ・トレンドと手分析値の有意差検定をする。 (トレンドと実測値は同日の9時の値であり対応があるデータと考えられるため、F検定は行わず(F検定の結果:5%以上一分散が異なるときのt検定)対応のあるデータのt検定を行った。) ○信頼区間 ・トレンドと手分析値の差の絶対値を求める。 差の絶対値について基本統計量を求める。 95%又は99%信頼区間を求める。 既存の計器値データチェック表の「異常の基準」を参考に、「異常の基準」となる値を決める。
有意差	あり	
平均	0.26	
標準誤差	0.01	
中央値(メジアン)	0.24	
最頻値(モード)	0.24	
標準偏差	0.19	
分散	0.04	
尖度	33.70	
歪度	4.16	
範囲	2.20	
最小	0.00	
最大	2.20	
合計	93.39	
標本数	363	
信頼区間(95.0%)	0.02	
95%信頼区間	0.24 ~ 0.28	
信頼区間(99.0%)	0.03	
99%信頼区間	0.23 ~ 0.28	
既存の異常の基準値(参考)	0.2(未ろ過水)	
異常の基準	±0.4	

H〇〇.04.01~H△△.03.31 トレンド(計器値)と実測値(手分析)の差の信頼区間

表2 沈澱水の濁度異常に対する管理対応 マニュアル（事例）

発生原因	水源	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 台風、集中豪雨 ✓ 橋梁又は河川工事に伴う水質悪化 							
	浄水場	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 薬品注入設備の故障等による凝集剤の注入異常（前凝集処理） ✓ 攪拌機の故障等によるかくはん不足 ✓ 原水生物に起因する凝集不良などによる沈澱水濁度の上昇 ✓ 規格外の浄水薬品の受入 ✓ 浄水場の設置計器の故障 							
事実確認	監視計器：沈澱水の濁度計								
	<p>(1) 異常の検知及び発生箇所の確認</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 水質計器から濁度の異常を検知し、異常の発生箇所を確認 <p>(2) 沈澱水の計器誤差の確認</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 沈澱水等を採取して、水質検査で濁度を測定 <input type="checkbox"/> 計器測定値と水質検査の結果とを比較 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> 水質検査で測定した濁度が管理水準より低い値で、計器誤差が異常の原因であれば、濁度計を調整して様子を見る。 </div> <p>(3) 沈澱水の濁度の異常が確認された場合、危害レベルの判断</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 浄水処理工程の水質計器で濁度を確認 <input type="checkbox"/> 濁度が管理水準を超過している場合には、危害レベル△と判断 								
管理対応措置	危害レベル△ 【管理水準 沈澱水：1.0 度）を超過した場合】								
	<p>原水への PAC, 前酸, 前苛性, 前塩素注入の最適化</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> PAC, 前酸, 前苛性, 前塩素の注入状況, 原水の pH 値, アルカリ度等を計器と水質検査で確認 <input type="checkbox"/> 原水の濁度に応じた PAC の注入の強化 <input type="checkbox"/> 原水の水質 (pH 値やアルカリ度など) に応じて, 前酸, 前苛性, 前塩素の注入を実施 <input type="checkbox"/> 濁度の原因が, 原水中の藻類 (群体) の場合には, 前塩素の注入を停止 <input type="checkbox"/> 適宜, ジャーテストを実施して, 最適な薬品注入率を確認 <input type="checkbox"/> 沈澱水の濁度計の確認頻度を上げ, 経時変化を監視 <input type="checkbox"/> 沈澱水の濁度が改善されなければ, 注入設備, 攪拌機及び浄水薬品についても確認 <input type="checkbox"/> 処理水量の減量 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p>(参考) 原因別の薬品注入の対応例</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">・ 台風や集中豪雨による原水濁度の上昇</td> <td>PAC 注入の強化</td> </tr> <tr> <td>・ 夏季の炭酸同化作用による原水 pH 値の上昇</td> <td>前酸注入</td> </tr> <tr> <td>・ 大量の降雨によるアルカリ度の低下</td> <td>前苛性注入</td> </tr> <tr> <td>・ 原水に含まれる生物による凝集性の低下</td> <td>前酸注入</td> </tr> </table> </div>		・ 台風や集中豪雨による原水濁度の上昇	PAC 注入の強化	・ 夏季の炭酸同化作用による原水 pH 値の上昇	前酸注入	・ 大量の降雨によるアルカリ度の低下	前苛性注入	・ 原水に含まれる生物による凝集性の低下
・ 台風や集中豪雨による原水濁度の上昇	PAC 注入の強化								
・ 夏季の炭酸同化作用による原水 pH 値の上昇	前酸注入								
・ 大量の降雨によるアルカリ度の低下	前苛性注入								
・ 原水に含まれる生物による凝集性の低下	前酸注入								

TOKYO高度品質プログラム（東京都版水安全計画詳細版）⁵⁾より一部加筆修正

表3 測定成分ごとの連続自動水質計器一覧

測定成分	装置名	設置場所	型式
シアン	シアン化物イオン測定装置	取水、着水井	CNMS-4
アンモニア	アンモニア自動連続測定装置	取水、着水井	AT-3000
	アンモニア態窒素計	取水、着水井	HC-200NH
	アンモニウムイオン測定装置	取水、着水井	NHMS-4
	アンモライザ	取水、着水井	ammo:lyser
生物	生物粒子計数器(藻類検出仕様)	取水、着水井	XL-10A
		沈澱池、ろ過池 配水池	
	生物粒子計数器(細菌検出仕様)	配水池	XL-10B
	生物粒子計測システム	ろ過池	PC-01
油膜	油膜検知器	取水、着水井	LO-300
	油膜検知器	取水、着水井	ODL-1600A
油分	微量水中油分モニタ	取水、着水井	QS1000
有害物質	水質安全モニタ	取水、着水井	MW-SK301
	水質監視装置	取水、着水井	SNBD07-E01
		配水池	
	水質自動監視装置	取水、着水井	NBA-03
	配水池		
生物センサ	生物センサ	取水、着水井	Miznoco Cube
		配水池	
VOC	VOC測定装置	取水、着水井	GC8000
	水中VOC連続モニター	取水、着水井	EVM-11
TOC	TOC分析計	取水、着水井	M5310C
		沈澱池、ろ過池	
	オンラインTOC計	取水、着水井	TOC-4200
活性炭スラリー 塩素要求量	活性炭スラリー濃度計(*開発中)	取水、着水井	HU-200SL
	塩素要求量計	取水、着水井	CLD-7M
		ろ過池	
	塩素要求量計	取水、着水井	-
UV	高感度UV計	沈澱池	CW-150
		オゾン処理槽	
		配水池	
	上水用吸光光度計	配水池	COL-1600
溶存オゾン	溶存オゾン濃度計	オゾン処理槽	EL-603S
溶存マンガ	自動溶存マンガ	ろ過池	MNR-001
低濃度濁度/ 微粒子数	高感度透過散乱形濁度計	ろ過池、浄水池	TB700H
	高感度濁度計	ろ過池、浄水池	TUH-1600
	低濁度チェッカー	ろ過池、浄水池	TC-MI-A、TC-MI-D
	高感度濁度計	ろ過池、浄水池	HU-200TB-H
	レーザー濁度計	ろ過池、浄水池	HU-200TB-EH
	レーザー微粒子濁度計	ろ過池、浄水池	HU-200LT、HU-200LP
	高感度濁度計	ろ過池、浄水池	AN455A、AN455AR
	高感度濁度計	ろ過池、浄水池	MW-SK132
	ハイブリッド形微粒子カウンタ	ろ過池、浄水池	MW-SK112
	高感度濁度計	ろ過池、浄水池	NP6000V
	微粒子カウンタ	ろ過池、浄水池	DMP-110、DMP-400
トリハロメタン/ カビ臭	トリハロメタン計	浄水池	MW-SK201
		配水池	
	カビ臭/ トリハロメタンモニタリングシステム	取水、着水井 沈澱池、ろ過池 オゾン処理槽	搬送ロボット: MS-Z16018TKTMS HSサンプラー: MS-62070STRAP GC/MS: JMS-Q1500GC
汚泥界面	界面レベルセンサ	沈澱池	IFL700IQ
	界面計	沈澱池	SL-200A
給水水質	配水水質モニタ	配水池	AN700A
	水道水用水質自動測定装置	配水池	MWB4-72
	自動水質測定装置	配水池	TW-100
	自動水質監視装置	配水池	WM400
	水質監視モニタ	配水池	WQA7000TCC
多項目	スペクトロライザ	取水、着水井 沈澱池、ろ過池	spectro:lyser
		配水池	
	アイスキャン	取水、着水井 沈澱池、ろ過池	i:scan
配水池			
その他	フロックセンサ	フロック形成池	MW-SK901
	STR測定装置	沈澱池	STRM01
	浄水処理モニター	着水井	-
	浄水処理連続監視装置	着水井	フローライト

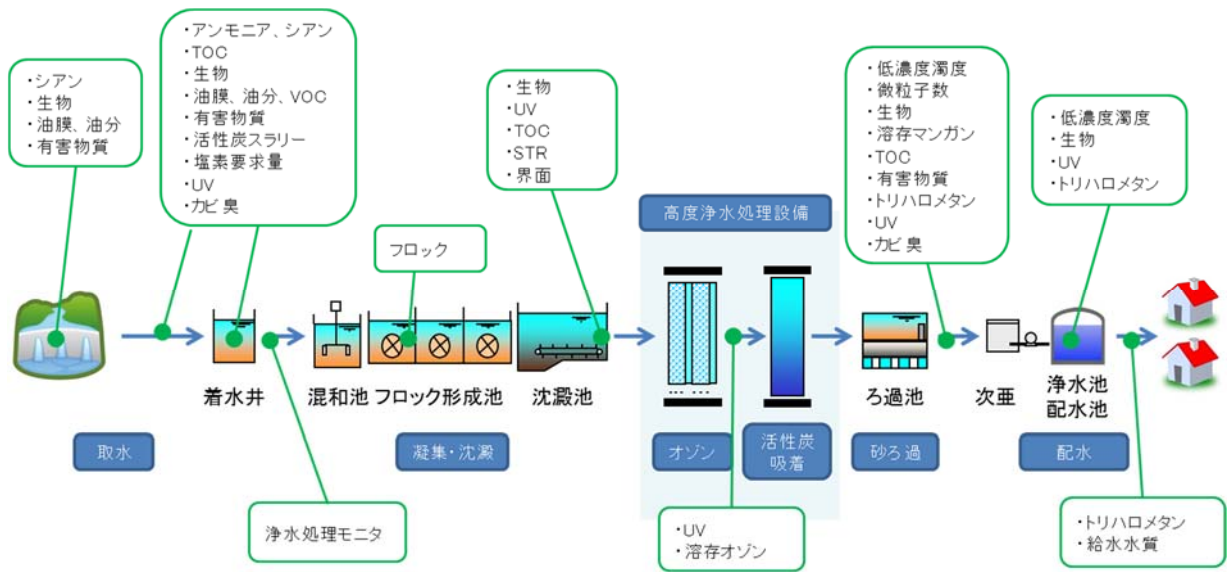


図1 浄水フローにおける測定成分の分布
 ※濁度、pHなどの基本水質項目は除く

水道原水及び処理水の連続監視データの変動解析

研究分担者	浅見	真理
研究協力者	朝野	正平
研究協力者	斎藤	健太
研究協力者	小池	友佳子
研究協力者	宮林	勇一
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：水道原水及び処理水の連続監視データの変動解析

研究分担者	浅見 真理	国立保健医療科学院生活環境研究部水管理研究領域
研究協力者	朝野 正平	国立保健医療科学院生活環境研究部水管理研究領域
研究協力者	斎藤 健太	横浜市水道局
研究協力者	小池 友佳子	八戸圏域水道企業団
研究協力者	宮林 勇一	横須賀市上下水道局
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

水道原水の監視を行い、浄水水質の向上を図るため、1年間の1時間毎の連続監視データの変動を解析し、原水や処理水の水質の変動の傾向と要因を把握した。全国20箇所の事業体の連続監視データのうち、原水の濁度・pH・電気伝導度・水温、沈殿水とろ過水の濁度、浄水の残留塩素について、連続自動水質計器のデータによる解析を行った。

原水濁度については雨等の突発的な影響による濁度の「ピーク数」と水源域の雪解け等の季節変動（年間変動）を表す「第3四分位－中央値」、pHは水源や取水口近くの日内変動である光合成（炭酸同化作用）の影響を表す「1日変動の中央値」と水源域の季節変動（年間変動）を表す「1日最小値の四分位範囲」、電気伝導度ではダム放流等の人為的な影響（日内変動のばらつき）を表す「1日変動の四分位範囲」と水源域の汚染原因の季節変動（年間変動）を表す「相対四分位偏差」が指標となることが示唆された。

6つの項目で主成分分析を行ったところ、累計寄与率は3項目で約76%であった。今回解析した濁度・pH・電気伝導度は、多くの事業体で比較的入手可能な連続データであり、これらの変動の解析が、原水の水質全体の指標となる可能性が考えられた。

また、ろ過水濁度0.03度以上となったデータは、原水濁度10度未満の場合に多く、原水低濁度時においても濁度管理が課題であることが分かった。

浄水の残留塩素については、事業体毎に設定値の管理の違いがあるが、フィードバック制御における短い周期では着実に制御されており、残留塩素の中央値が大きい事業体ほどフィードバック制御のばらつきも大きい傾向が確認された。

水温が低い時だけでなく高温時にも、沈殿水濁度とろ過水濁度の処理状況が悪化している場合があることが確認された。

A. 研究目的

浄水場では、連続監視データを用いて監視や自動制御等を行っており、連続自動水質計器の果たす役割は大きい。しかし、連続監視データを用いた研究は、これまで各事業体等において個々に行われており、それらは単一の項目について1浄水場の1地点、あるいは数地点を対象とした研究が多く、異なる水源の複数の浄水場のデータの比較は少ない。

本研究では、水源の状況が異なる全国の20事業体の浄水場を対象に、原水の複数項目の連続監

視データを解析し、各項目の水質の安定性や変動特性の把握、及び複数項目の結果を踏まえた原水の水質全体の安定性やそのパターンの評価を試みた。また、同様に、全国の浄水場の複数地点における同一項目あるいは異なる項目の変動の比較、解析を行い、対象項目について浄水場の処理工程における変動に、全国的な共通の効果や課題を把握するために、浄水処理性能の変動特性も検討した。

B. 解析方法

1. 対象データ

表流水を主な原水とする全国浄水場を対象に、原水、凝集沈殿水（以下、沈殿水）、急速ろ過水（以下、ろ過水）、浄水の過去の自動水質計器の1時間毎のデータを入力し、Excel（表計算・解析ソフト、Microsoft社製）やOrigin（作図・解析ソフト、OriginLab社製）を用いたグラフ作図、主成分分析等の解析を行った。原水については一部取水のデータを使用した。対象期間は2014年4月1日1:00から2015年3月31日24:00までとした。多くの事業体では高度処理（異常時のみ粉末活性炭使用も含む）を導入していたが、事業体MとRでは高度処理は導入していなかった。

表1に、調査対象事業体数内訳を示す。本研究では、入手したデータのうち、設置事業体数が多く解析に適している項目として、原水については濁度、pH、電気伝導度、水温を、沈殿水とろ過水においては濁度を、浄水においては残留塩素について変動に関する解析を行った。

なお、各データの前後のデータと著しく異なる場合には異常値として解析から除外し、濁度でマイナスの値を記録したものについては濁度0度として処理した。

表1 調査対象事業体数内訳

種類	項目	事業体																				合計数
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
原水	濁度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20
	pH	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20
	電気伝導度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	18
	アルカリ度																					7
	水温		○																			12
沈殿水	UV	○																				2
	アンモニア																					3
	塩素要求量																					2
	濁度																					7
	残留塩素																					2
ろ過水	pH																					4
	色度	○																				1
	濁度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	19
	残留塩素	○																				16
	pH	○																				8
浄水	色度																					2
	粒子数																					2
	濁度																					11
	残留塩素	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20
	pH	○																				12
アルカリ度																						1
トリハロメタン																						2
水温																						5
色度																						6
電気伝導度																						2
その他																						5

2. 原水水質の安定性の評価に関する検討

原水水質の安定性（以下、原水安定性）を評価することで、処理等において留意すべき変動が把握できる。また、同じような変動を示している事業体とも対応策等の情報共有が可能となる。

原水安定性を評価するにあたり、評価する水質項目を選定した。表1より原水では自動水質計器

にて計測している項目は8項目あったが、20事業体において原水での設置事業体数が多く、解析に適するため、濁度、pH、電気伝導度の3項目を対象に解析を行った。このうち、電気伝導度は処理対応が必要な項目ではないが、代替指標として用いられる場合もあり、評価項目とした。

3項目の変動する要因としては、大きさ、突発性、日内変動、日内変動のばらつき、月間変動、月間変動のばらつき、年間変動、年内変動のばらつき、といった指標が考えられたが、より少ない指標で評価できるよう月間変動、月間変動のばらつき、年間変動のばらつきは除外した。残りの5つの中から各水質項目の指標として適しているものを検討・選定した。各項目に対する指標については後述するが、各項目は以下の指標を用いることとした。

ア 濁度

「ピーク数」（突発性）

「第3四分位－中央値」（年間変動）

イ pH

「1日変動の中央値」（日内変動）

「1日変動の四分位範囲」（日内変動のばらつき）

「1日最小値の四分位範囲」（年間変動）

ウ 電気伝導度

「中央値」（大きさ）

「1日変動の四分位範囲」（日内変動のばらつき）

「相対四分位偏差=四分位偏差/（第1四分位と第3四分位の平均値）」（年間変動）

3. 原水及び浄水の濁度挙動に関する検討

本検討では全国複数の浄水場において原水、沈殿水、ろ過水における同一項目の変動の解析を行った。同一項目については、原水、沈殿水、ろ過水において共通して設置事業体数が比較的多い濁度を対象に解析を行った。

本検討では、原水濁度10度未満を低濁度、10度以上を高濁度とし、原水低濁度及び高濁度時における沈殿水とろ過水濁度の挙動を検討した。

3.1 原水及び沈殿水濁度の挙動

本研究で対象とした20事業体のうち、原水濁度と沈殿水濁度の連続監視データがともにある7事

業体の、原水低濁度及び高濁度時において、沈殿水濁度 1.0 度以上のときのデータ数に、5 %有意確率における有意差があるかどうか Pearson の χ^2 検定を用いて確認するとともにオッズ比（以下、OR）及び 95 %信頼区間（以下、95 %CI）を算出した。

3.2 原水及びろ過水濁度の挙動

ろ過水においても沈殿水と同様に、本研究で対象とした 20 事業体のうち、原水濁度とろ過水濁度の連続監視データがともにある 19 事業体の、原水低濁度及び高濁度時において、ろ過水濁度 0.03 度以上のときのデータ数に、5 %有意確率における有意差があるかどうか Pearson の χ^2 検定を用いて確認するとともに OR 及び 95 %CI を算出した。

4. 浄水残留塩素の比較

全国複数の浄水場における浄水の残留塩素の連続監視データを比較し、残留塩素の管理設定に浄水場毎による違いがあるのかどうか確認した。

また、年間の残留塩素の大きさとフィードバック制御等における短時間の変動の大きさの関係を調べるため、年間の中央値と 4 時間変動（4 時間最大値－最小値）の中央値を比較した。

5. 原水水温と濁度処理状況の比較

複数箇所における原水水温と沈殿水濁度及びろ過水濁度の関係を比較した。それにより、実際の水処理において水温による処理状況を確認した。

C. 研究結果および D. 考察

1. 原水における各項目の挙動

1.1 濁度

濁度は、流域の自然的、人為的な状況に影響され、降雨、融雪等により変化が著しく¹⁾、地域特性や気象特性により濁度の大きさは異なっている。

濁度の測定方式には、透過散乱法、散乱光測定法、積分球式光電光度法等がある。各測定方式には長所短所があるが、本研究では連続データを使用しているため、測定方式による違いは考慮しないこととした。

全国的な傾向として、梅雨の影響や集中豪雨や

台風が発生しやすい 6 月から 10 月にかけて濁度が上昇している傾向が見られた。

濁度平均別の分布を、全国における表流水を原水とした水道事業体（1104 事業体）²⁾ と、今回対象とした 20 事業体を割合で算出し、図 1 に示す。全国分布においては 2.1 度から 5.0 度までの分布割合が多かったが、20 事業体分布においては 5.1 度から 10.0 度まで、10.1 度から 20.0 度までに多く分布されており、全国より濁度平均の高い事業体が多かった。

連続監視データを使用する利点の一つにピークの検出に有用である点が挙げられる。そこで、突発的な高濁度の頻度や雨の影響の受けやすさを確認するため、Origin のピークアナライザ機能を使用し、原水濁度 20 度、30 度、50 度、100 度をピークトップの極値最大と設定（以下、設定ピーク濁度）した。各設定ピーク濁度におけるピーク数の統計解析結果を表 2 に、ボックスチャートを図 2 に示す。なお、ピークアナライザ機能の設定については、例として原水濁度 50 度の場合の設定を表 3 に示す。その他の設定ピーク濁度については、基線モードの Y 軸の値及びピーク検索設定のローカルポイントの値を各設定ピーク濁度の値とした。

設定ピーク濁度 20 度及び 30 度についてはピーク数が 30 回を超える事業体もあり、四分位範囲も大きく、解析に適さなかった。また、設定ピーク濁度 100 度については 0 回を記録する事業体が 7 事業体もあり、解析に適さなかった。設定ピーク濁度 50 度については、原水濁度 50 度以上を高濁度障害としている事業体等もあり、濁度解析を行うにあたり、比較的濁度が高く、かつ多くの事業体でピーク数の計測ができるため、原水濁度 50 度を超えるものをピークと設定した。

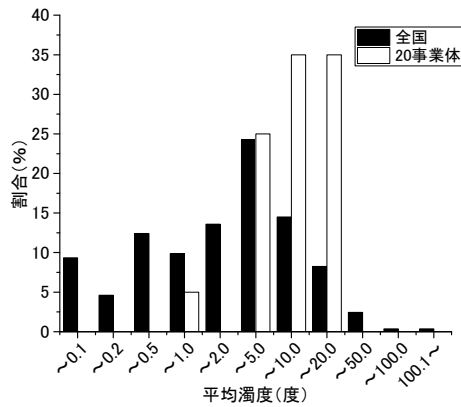


図1 濁度平均分布

表2 設定ピーク濁度別ピーク数解析結果

設定ピーク濁度	N 合計	ピーク数平均	ピーク数標準偏差	合計	最小
20度	20	21.25	17.95279	425	4
30度	20	11.75	8.58931	235	2
50度	20	6.05	4.82837	121	0
100度	20	2.55	2.58488	51	0
設定ピーク濁度	第1四分位 (Q1)	ピーク数中央値	第3四分位 (Q3)	最大	四分位間範囲 (Q3-Q1)
20度	9.5	13	34.5	66	25
30度	6	8	18.5	33	12.5
50度	3	5	8	20	5
100度	0	2	5	8	5

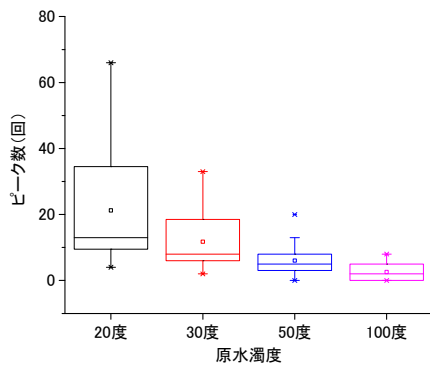


図2 設定ピーク濁度別分布 (ボックスチャート)

表3 Origin 濁度ピーク抽出条件例

モード	項目	設定
ピーク検索設定	モード	基線モード
	定数	Y = 50
	方向	正
ピーク検索設定	手法	局所最大
	ローカルポイント	50
ピークフィット	フィルタリング手法	高さに基づく
	しきい値高さ (%)	1

降雨による濁度変動は気象特性によって違ってくるため、日内変動ではなく水源域の降雨や融雪等の季節変動（年間変動）や濁度分布のばらつきを算出した。極端値及び定量下限値の設定による隔たりの影響を除くため、「第3四分位-中央値」にて評価した。「第3四分位-中央値」は標準偏差に近い考え方であるが、濁度のような突発的に変化する項目において、極端的な値の影響を受けにくい指標と考えられた。

Origin のピークアナライザ機能を使用し、原水濁度 50 度以上の「ピーク数」を解析すると、事業体 I が 20 回、次いで事業体 C が 13 回となった。事業体 R や事業体 T は濁度の最大値が 50 度を超えなかったため、ピーク数は 0 回となった。最大回数を記録した事業体 I と最小回数を記録した事業体 R の連続監視データを図 3 に示す。その年の降雨強度や降雨範囲に依存するものと推察される。ピーク数 0 回となった事業体 R においては、水源として表流水と伏流水をブレンドしており、事業体 T においては、複数の水源を切り替えて運用しているため、降雨等の影響を受けにくかったのだと考えられる。

濁度分布のばらつきを算出するにあたり、極端値及び定量下限値の設定による隔たりの影響を除くため、濁度分布の「第3四分位 (Q3) - 中央値」を算出した。事業体 C が最大で 7.0、事業体 R が最小で 0.2 となった。雪解け等の水源域の季節変動や降雨の特性、河川の特性（流域面積や河床材料等）に依存するものと推察される。

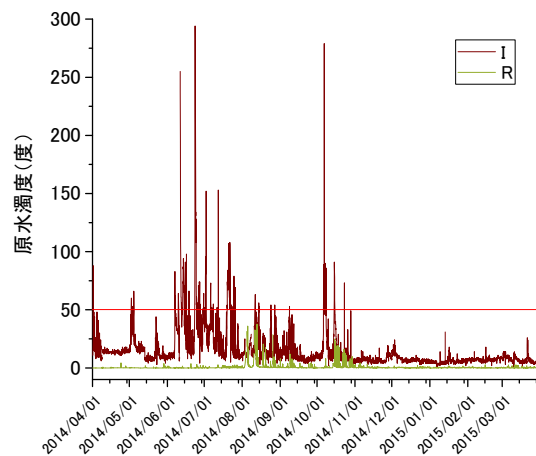


図3 原水濁度連続監視データ

1.2 pH

凝集処理において、pH の値には適正条件があり、条件から逸脱すると、凝集不良が生じる。そのため、pH の変動の監視は重要である³⁾。

pH の測定方式にはガラス電極法、アンチモン電極法、キンヒドロン電極法などがあるが、JIS Z 8802 にて pH 測定方法としてガラス電極法について規定されている。

水が停滞しているダムや湖等の表層では藻類の光合成等の炭酸同化作用により pH の変動が大きいと考えられる。日中は炭酸同化作用により pH が上昇し、夜間には酸素呼吸作用が卓越するため、pH は通常の状態に戻る日周変化をとる⁴⁾。藻類による影響の以外には、地下水においては地質的な影響や、河川においては流域の土壌や温泉等の影響や産業排水等による汚染も考えられる⁵⁾ が、pH の4月から6月までの時系列データを示した図4を見ると、今回対象とした浄水場においては、pH の変動は昼間に上昇し、夜間には減少する傾向が繰り返されていることが多く、藻類による炭酸同化作用の影響を強く受けている浄水場が多いと推察される。

pH 平均値別の分布を、全国における表流水を原水とした水道事業体(1104 事業体)²⁾と、今回対象とした20 事業体を割合で算出し、図5に示す。全国分布においては pH 7.21 から 7.5 までの分布割合が多く、20 事業体分布においても pH 7.21 から 7.5 までに多く分布されている。全国と比べ、今回対象とした 20 事業体は概ね近い分布を示していた。

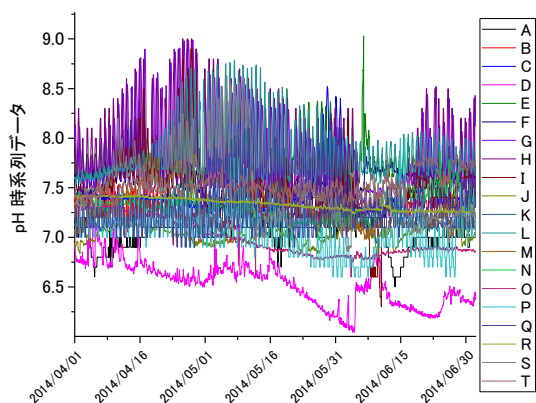


図4 pH 時系列データ (4~6月)

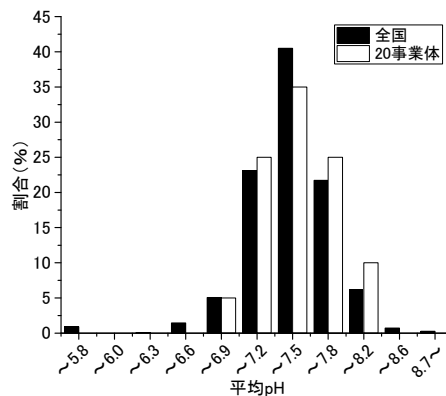


図5 pH 平均分布

藻類及び地質的要因による変動においても絶対値の変動や突発的変動は小さいと考えられる。そこで、水源や取水口近くにおける炭酸同化作用の短い周期(日内変動)での変動を求めため、1日毎の変動幅(1日の最大値-最小値)を算出し、「1日変動の中央値」及び「1日変動の四分位範囲」にて評価した。

また、日内変動だけでなく、季節的な変動幅を求めため、1日の代表値として1日毎の最小値を算出し「1日最小値の四分位範囲」にて評価した。

1日毎の変動幅(1日の最大値-最小値)を算出し、そのボックスチャートを図6に、いくつかの事業体を抽出した連続データを図7に示す。「1日変動の中央値(pH)」及び「1日変動の四分位範囲(pH)」を解析すると、中央値は事業体Hが最大で0.80、次いで事業体Gが0.43となった。四分位範囲も、事業体Hが最大で0.40、次いで事業体Gが0.37となった。河川では水の流れによって基本的には藻類が発生しにくく、水が停滞しているダムや湖等の表層で藻類等による炭酸同化作用が起きやすいが、事業体G及びHの原水は、共通の湖・河川を水源の一つとしており、藻類による炭酸同化作用の影響を受けやすい水源や、取水地点(河川流速、河床深さ等)であると推察される。

中央値及び四分位範囲が小さいのは、ともに事業体Oや事業体Rで、事業体Rについては水源として表流水と伏流水をブレンドした水を取水しているため、大きな変動がなく安定していた。事業体Oは原水をダムから取水しているが、取水する

水深を選択しており、比較的深い位置から取水することで、ダムの上層で起こる炭酸同化作用による pH 変動の影響を受けにくく、日内変動は小さくなっている。

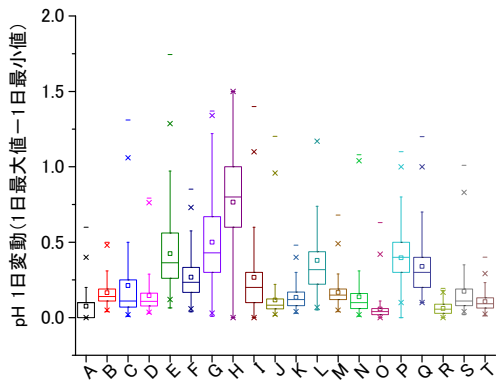


図6 pH 1日変動 (1日最大値-1日最小値) 分布 (ボックスチャート)

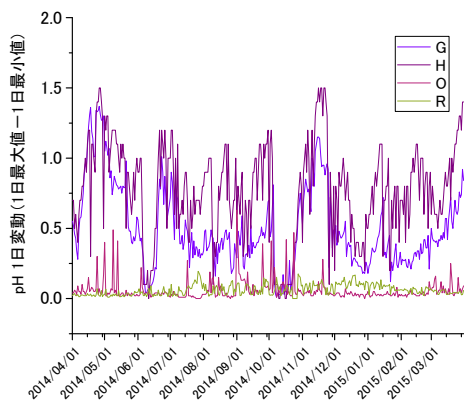


図7 pH 1日変動 (1日最大値-1日最小値) 連続データ

1 日毎の最小値を算出し、そのボックスチャートを図8に、いくつかの事業体を抽出した連続データを図9に示す。「1日最小値の四分位範囲(pH)」を解析すると、値が小さい事業体では0.1程度であるが、事業体D、事業体I、事業体O、事業体Sなどはそれぞれ0.46、0.40、0.40、0.42となっており、事業体D、事業体Oは、日内変動は小さかったが、年内変動は大きくなっていった。事業体Dと事業体Oは原水をダムから取水しており、ダムの表層では炭酸同化作用による pH 変動が大きいが、両事業体は取水位置が比較的深いため、炭酸同化作用の影響を受けにくく、日内変動は小さくなっている。年内変動が大きくなっていったのは、

取水位置の変更や、曝気装置によるダム湖水の循環の影響によって、季節的な水質の変動幅が大きくなったと推察される。

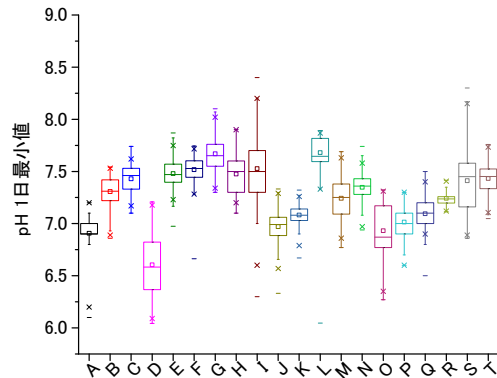


図8 pH 1日最小値分布 (ボックスチャート)

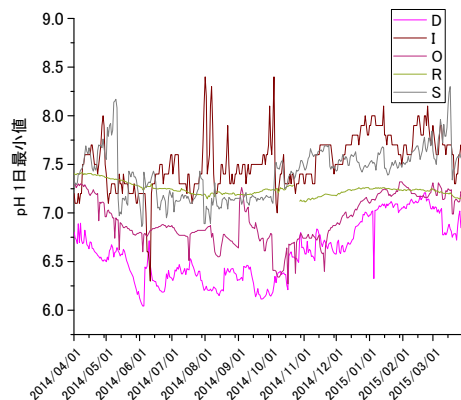


図9 pH 1日最小値 連続データ

1.3 電気伝導度

電気伝導度は、水の電流の通りやすさをいい、水溶性の無機物の多くは水に溶解するとイオンとなる電解質で、電解質の濃度が高い水は、電気伝導度も高くなる。また、迅速に測定できるので、原水への下水、産業排水、海水の混入の推察等の指標としても用いられる¹⁾。

取水口が海に近い場合には、潮汐等により海水の影響や、上流の温泉地の排水の影響等を受け、電気伝導度が高くなる場合がある。

日本の平均的な河川の電気伝導度は $110 \mu\text{S}/\text{cm}$ である⁶⁾ のに対し、今回対象とした 17 事業体の電気伝導度平均は $136.45 \mu\text{S}/\text{cm}$ と高かったが、17 事業体の電気伝導度の標準偏差は 66.03 であり、事業体によるばらつきが大きかった。なお、今回対象とした中には、ダム湖や伏流水とブレンドさ

れた原水もあり、河川のみデータではない。

電気伝導度の測定方法には交流2電極法、交流4電極法、電磁誘導法などがある。

凝集剤によってアルカリが消費されるが、アルカリ度の把握には、アルカリ度を測定する自動水質計器は高価で維持管理が煩雑といった課題がある。そこで、アルカリ度とある程度相関関係が認められ、簡便かつ比較的安価な機器により測定できるため、アルカリ度を監視する指標として電気伝導度を用いることも示唆されている³⁾。

電気伝導度においては、有害物質の混入等による突発的変動は考えられるが、そのような異常の検知以外において、特に地質的に影響を受けやすい場合には絶対値での比較の意義について考慮する必要がある。

そこで、通常時における汚染度や海水比の指標として電気伝導度の大きさを見るため、「中央値」を、水源域の汚染原因の季節変動を求めるため、「相対四分位偏差=四分位偏差/(第1四分位と第3四分位の平均値)」を算出した。

年間データのボックスチャートを図10に、いくつかの事業体を抽出した連続データを図11に示す。「中央値(電気伝導度)」及び「相対四分位偏差(電気伝導度)」を解析すると、電気伝導度の大きさの指標としての中央値については、事業体F、事業体I、事業体Tがそれぞれ223.2、238.0、290.3と高く、事業体Tにおいては、複数の水源から取水しており、そのうち1つの水源付近の土壌が炭酸カルシウムを多く含んでいることから、水源の切り替えによって変動が大きく出たものと推察された。水源域の汚染原因の季節変動の指標としての相対四分位偏差については、事業体B、事業体Kがそれぞれ0.203、0.212と高く、事業体Rが0.046と低くなっていた。

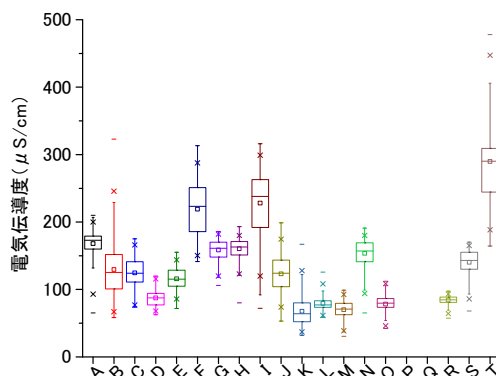


図10 電気伝導度分布(ボックスチャート)

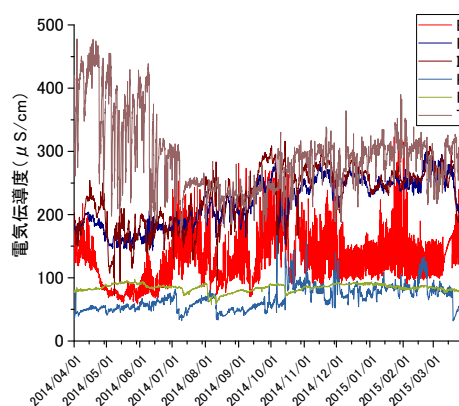


図11 電気伝導度連続データ

次に、ダムの放流などの影響による短い周期のばらつきを求めるため、1日毎の変動幅(1日の最大値-最小値)を算出し「1日変動の四分位範囲」にて評価した。

日内変動のような短い周期の変動値を求めるため、1日毎の変動幅(1日の最大値-最小値)のボックスチャートを図12に、いくつかの事業体を抽出した連続データを図13に示す。なお、事業体Gにおいては、1時間毎のデータがなかったため、解析対象から除外した。「1日変動の四分位範囲(電気伝導度)」を解析すると、事業体Bが最大で52.50、次いで事業体Tが42.53となった。その他の事業体については、ほぼ一桁となっており、事業体Bと事業体Tの特異性が際立つ結果となった。事業体Bについてはダムの放流頻度による影響、事業体Tについては複数の水源を切り替えて運用していることによる影響と推察される。

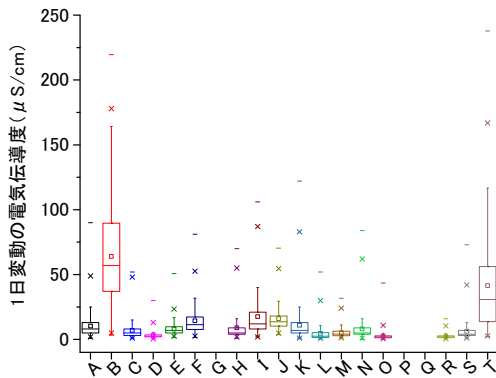


図12 電気伝導度1日変動 分布
(1日最大値-1日最小値) (ボックスチャート)

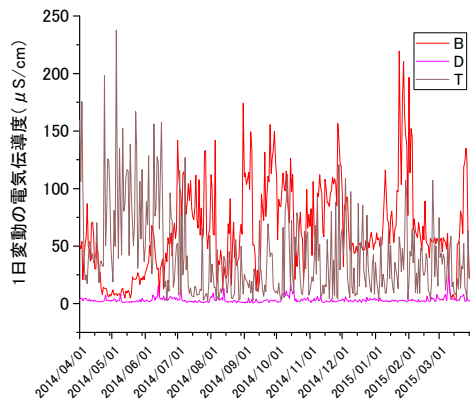


図13 電気伝導度1日変動
(1日最大値-1日最小値) 連続データ

2. 原水安定性の評価

2.1 主成分分析

1.1から1.3までの解析結果のまとめを表4に、原水の安定性に影響する因子について、大きさ、突発性、日内変動、日内変動のばらつき、年間変動に分類し、まとめたものを表5に示す。総合的な原水の安定性を評価するにあたり、表4のデータを用いて主成分分析を行った。

表4 各項目の解析結果まとめ

事業体	濁度		pH			電気伝導度		
	ピーク数	第3四分位-中央値	1日変動の中央値	1日変動の四分位範囲	1日最小値の四分位範囲	中央値	相対四分位偏差	1日変動の四分位範囲
A	7	2.0	0.10	0.10	0.10	173.0	0.056	8.00
B	11	5.2	0.14	0.08	0.20	125.3	0.203	52.50
C	13	7.0	0.11	0.18	0.20	124.0	0.119	5.00
D	1	0.9	0.11	0.08	0.46	87.6	0.099	1.50
E	5	2.2	0.36	0.30	0.17	115.3	0.102	4.85
F	9	3.4	0.23	0.17	0.16	223.2	0.149	9.65
G	4	2.3	0.43	0.37	0.21	161.0	0.069	
H	3	1.3	0.80	0.40	0.30	163.0	0.062	5.00
I	20	6.0	0.20	0.20	0.40	238.0	0.156	13.00
J	6	4.6	0.08	0.07	0.17	124.0	0.159	7.78
K	7	1.3	0.12	0.09	0.11	64.0	0.212	8.00
L	10	1.2	0.32	0.22	0.22	76.9	0.062	3.74
M	2	2.0	0.15	0.07	0.29	70.9	0.119	3.50
N	7	2.0	0.10	0.10	0.15	157.0	0.090	5.00
O	3	4.0	0.04	0.04	0.40	79.7	0.081	1.40
P	4	2.0	0.40	0.20	0.20			
Q	5	1.2	0.30	0.20	0.20			
R	0	0.2	0.06	0.06	0.06	84.7	0.046	1.40
S	4	2.2	0.11	0.11	0.42	143.0	0.088	4.00
T	0	1.2	0.09	0.07	0.19	290.3	0.117	42.53

表5 安定性に影響する因子と主な変動要因

設置項目	原水の安定性に影響する因子				
	大きさ	突発性	日内変動	日内変動のばらつき	年間変動
濁度	地域・気象特性によって濁度の大きさは異なる	雨の影響の受けやすさ → ピーク数	日変動しにくい	日変動しにくい (気象特性による)	水源域の季節変動 (雪解け等) → 第3四分位-中央値
pH	絶対値の変動は小さい	突発的変動は少ない	水源・取水口近くの光合成 (炭酸同化作用) → 1日変動の中央値	水源・取水口近くの光合成の変動 → 1日変動の四分位範囲	水源域の季節変動 → 1日最小値の四分位範囲
電気伝導度	汚染度・海水比 → 中央値	突発的変動は少ない (有害物質の混入等による突発的変動の可能性あり)	突発的変動は少ない (潮汐の影響がある地域では日内変動の可能性あり)	ダムの放流等の影響 → 1日変動の四分位範囲	水源域の汚染原因の季節変動 → 相対四分位偏差

主成分分析は多次元のデータを低次元のデータに集約・視覚化し、データの特徴を掴むのに有用であるため、主成分分析により第1第2主成分に寄与する因子を固有ベクトルで表し、パイプロット図を作成した。

8項目の主成分分析においてはpHと電気伝導度に関する固有ベクトルのばらつきが少なく、濁度と電気伝導度も類似の固有ベクトルであったため、より少ないパラメータで総合評価ができるよう、pH及び電気伝導度について、似た固有ベクトルを持つパラメータを1つずつ除くこととした。「1日変動の四分位範囲(pH)」と「中央値(電気伝導度)」を除き、6つの項目で再度主成分分析を行った。

6項目主成分分析成分の固有値と寄与率を表6に、6項目主成分分析の結果から得られたパイプロット図を図14に示す。累積寄与率は3項目で75.97%に達した。

第1主成分については、濁度変動の影響が強く、第2主成分のプラス側がpHの変動の大きさ、マイナス側が電気伝導度の変動の大きさに影響を受けていることが分かった。第2主成分の因子としては、自然的変動(藻類等による生物由来)、人為的変動(ダム放流や取水の切替え等)が想定されるが、その特定にあたっては今後も引き続き検討が必要である。

図14のパイプロット図を見ると、第1象限(第1主成分プラス側、第2主成分プラス側)に分布する事業体Iは、濁度とpHの影響が大きく、電気伝導度の影響は小さい。第2象限(第1主成分プラス側、第2主成分マイナス側)に分布する事業体Bは、濁度と電気伝導度の影響が大きく、pHの影響は小さい。第3象限(第1主成分マイナス側、第2主成分マイナス側)に分布する事業体Tは電気伝導度の影響が大きく、濁度とpHの影響は小さい。第4象限(第1主成分マイナス側、第2主成分プラス側)に分布される事業体Hは、pHの影響が大きく、濁度と電気伝導度の影響は小さい。第4象限に分布する事業体が比較的多く、濁度や電気伝導度よりもpHの変動の影響が大きい原水が多いことが推察される。

表6 6項目主成分分析成分の固有値と寄与率

	固有値	寄与率	累積寄与率
1	2.33076	38.85%	38.85%
2	1.28673	21.45%	60.29%
3	0.94079	15.68%	75.97%
4	0.81339	13.56%	89.53%
5	0.41359	6.89%	96.42%
6	0.21474	3.58%	100.00%

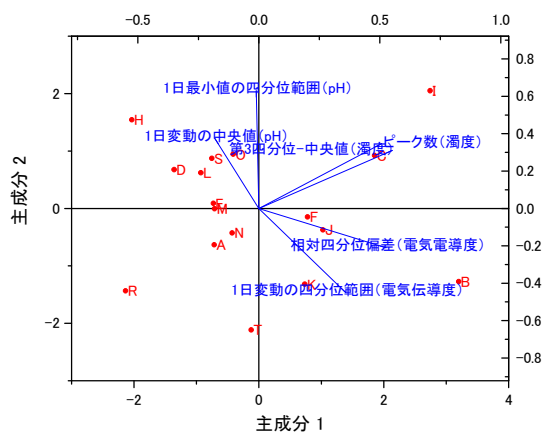


図14 6項目主成分分析 パイプロット図

2.2 レーダーチャート

主成分分析で最終的に選択した6つの項目について、各項目の最大値を1として作成したレーダーチャートを図15に示す。各項目のプロット間を結んだ範囲の大きさにより、各事業体の原水における各項目の総合的な変動の大きさを表すことができた。

事業体Rは6項目において変動が小さく、比較的安定した原水であることがわかる。安定した原水であれば変動への対応も少なくなるため、安定した浄水処理が可能となる。事業体Iは年間変動に関する各項目や濁度のピーク数が大きく、総合的に変動の大きい事業体であり、pHや電気伝導度に関しては日内変動よりも年間変動の方が大きい原水特徴があることがわかる。

事業体Kは電気伝導度の相対四分位偏差の変動が大きく、その他の指標は比較の変動が小さい。電気伝導度の中央値は低く、絶対値は小さいが10月頃から電気伝導度の変動が大きくなっている傾向が見られ、季節的な変動があることに留意が必要である。

このように各事業体の濁度、pH、電気伝導度の

変動特性や、限定的ではあるが原水安定性を視覚的に把握するためのグラフを作成できた。また、各事業体で各項目の値を求めることで、その浄水場がどのような変動を受けやすいか把握し、同様の水系や水源を持つ事業体間での情報共有に有用であると考えられる。これらの項目は多くの事業体で入手可能な連続監視データであり、これらの変動の解析が原水水質全体の変動の代表となる可能性が考えられた。

しかしながら、今回作成したレーダーチャートは相対的なものであり、すべての変動パターンを補っているとは言えず、注意が必要である。また、レーダーチャート作成にあたり、各項目の最大値を1としているが、項目ごとに処理における重要度が違うことも推察され、項目によって重み付けを行って原水の安定性を評価することも考えられた。

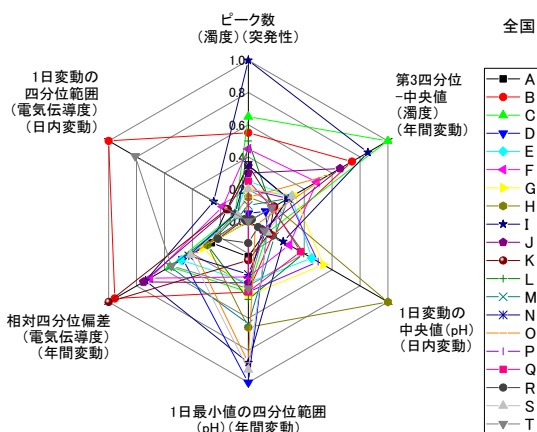


図 15 6項目レーダーチャート

3. 原水及び浄水の濁度挙動に関する検討

3.1 原水及び沈殿水濁度の挙動

7事業体における原水濁度と沈殿水濁度の関係を図16に示す。図16を見ると、沈殿水濁度が高いのは、見かけ上、原水低濁度時に偏在しており、特定の場合を除き原水高濁度時には各浄水場とも着実に対応していることがわかる。沈殿水濁度が高いのは、豪雨時の突発的な原水高濁度時であり、豪雨災害以外の高濁度時の沈殿水濁度は比較的強く抑えられていた。事業体へヒアリングした範囲では、水質計器の値に合わせ自動制御により凝集剤注入量が定められ、かつ、急激な濁度上昇時に

はジャーテスト等で確認して注入率を決定しているため、原水高濁度時でも沈殿水濁度が強く抑えられているところが多かったと推察される。

原水濁度を10度、沈殿水濁度を1.0度で区切り、原水濁度10度以上及び10度未満、沈殿水濁度1.0度以上及び1.0度未満のデータ数の分布を表7に示す。沈殿水濁度1.0度以上のデータは7事業体のうち、6事業体で記録しており、6事業体合計で1391個である。その中で原水濁度10度未満のデータは80.3%に当たる1117個である。しかし、原水濁度10度以上及び10度未満における、沈殿水濁度1.0度以上及び1.0度未満の割合を同じく表7に示す。沈殿水濁度1.0度以上となっている割合は、原水濁度10度以上で2.08%、原水濁度10度未満で2.33%となっており、 χ^2 検定の結果 χ^2 値= 2.89、OR= 1.1 (95%CI: 1.0 - 1.3)となった。自由度1有意確率5%のときの χ^2 値= 3.84であり、2.89 < 3.84のため、有意差なしという結果になった。

図16では沈殿水濁度が高いのは、見かけ上、原水低濁度時に偏在しているように見えたが、実際のデータ分布の比率では、必ずしも原水低濁度時に沈殿水濁度が高くなりやすいとは言えなかった。

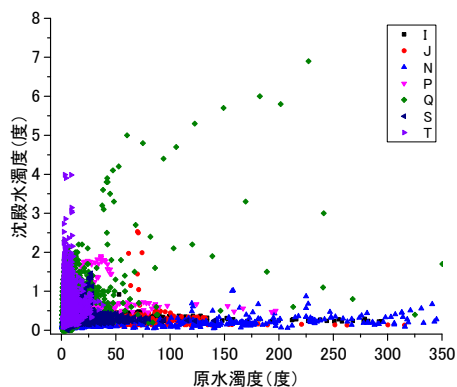


図 16 7事業体における原水濁度と沈殿水濁度の関係

表 7 原水・沈殿水濁度データ数及び割合

原水 \ 沈殿水	10度未満	10度以上	計
1.0度以上	1117 2.33%	274 2.08%	1391
1.0度未満	46911 97.67%	12921 97.92%	59832
計	48028 100.00%	13195 100.00%	61223
χ^2 検定	χ^2 値= 2.89 < 3.84・・・有意差なし		

3.2 原水及びろ過水濁度の挙動

19 事業体における原水濁度とろ過水濁度の関係を図 17 に示す。図 17 を見ると、ろ過水濁度が高いのは図 16 と同様、原水低濁度時に偏在しているように見え、豪雨災害による沈殿水濁度上昇時においても、ろ過池では着実に対応していることがわかる。

原水濁度を 10 度、ろ過水濁度を 0.03 度で区切り、原水濁度 10 度以上及び 10 度未満、ろ過水濁度 0.03 度以上及び 0.03 度未満のデータ数の分布を表 8 に示す。ろ過水濁度 0.03 度以上のデータは 19 事業体のうち 15 事業体で記録しており、15 事業体合計で 679 個ある。その中で原水濁度が 10 度未満のデータは 92.3 % に当たる 627 個である。原水濁度 10 度以上及び 10 度未満における、ろ過水濁度 0.03 度以上及び 0.03 度未満のデータの割合を同じく表 8 に示す。表 8 を見ると、非常に小さい割合だが、ろ過水濁度 0.03 度以上となっている割合は、原水濁度 10 度以上の 0.18 % に比べ、原水濁度 10 度未満では 0.46 % となっている。ろ過水濁度における χ^2 検定の結果、 χ^2 値 = 48.6、OR = 2.6 (95 %CI : 2.0 - 3.5) となった。自由度 1 有意確率 5 % のとき χ^2 値 = 3.84 であり、48.6 > 3.84 のため、有意差ありという結果になった。

全国的に、原水濁度にはばらつきが見られたが、着実に処理を行うことでろ過水では濁度が安定していることが確認できた。しかしながら、ろ過水濁度が相対的に高くなるのは、原水低濁度時に多くなる傾向があり、共通の課題として原水低濁度時にも留意が必要な場合があるということがデータで示された。原水低濁度時には凝集されるフロックが十分になく、微細なフロックがろ過池等に漏出したことが、ろ過水濁度が高くなっている原因の一つとして考えられる。

低濁度原水への対応策についても今後検討していく必要がある。

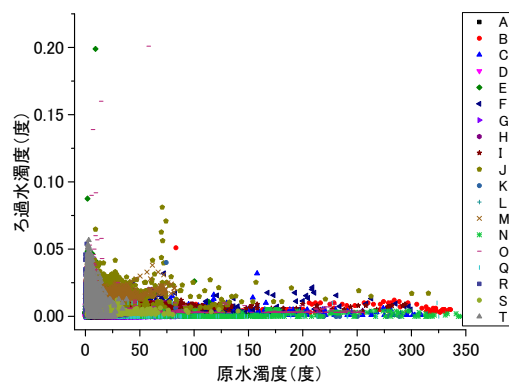


図 17 19 事業体における原水濁度とろ過水濁度の関係

表 8 原水・ろ過水濁度データ数及び割合

ろ過水 \ 原水	原水		計
	10 度未満	10 度以上	
0.03 度以上	627 0.46%	52 0.18%	679
0.03 度未満	135677 99.54%	29639 99.82%	165316
計	136304 100.00%	29691 100.00%	165995
χ^2 検定	χ^2 値 = 48.6 > 3.84 ∴ 有意差あり		

4. 浄水残留塩素の比較

残留塩素はろ過池より前に次亜塩素酸ナトリウムを注入している浄水場や、ろ過池後に注入している浄水場、ろ過池前後どちらでも注入している浄水場等があったため、浄水場出口前である浄水における残留塩素の比較を行った。各浄水場の浄水における残留塩素の連続監視データを図 18 に、ボックスチャートを図 19 に、年間の中央値と 4 時間変動 (4 時間毎最大値 - 最小値) の中央値の関係を図 20 に示す。

図 18 と図 19 を見ると、事業体 D や事業体 T は年間通して高く設定しており、中央値はそれぞれ 1.05、1.05 で、四分位範囲は 0.07、0.06 となっている。事業体 R は年間通して低く設定しており、中央値は 0.36 で、四分位範囲は 0.06 となっている。事業体 P は夏場に高く設定しており、中央値は 0.76 で、四分位範囲は 0.19 となっている。このように事業体毎の残留塩素の管理の違いが確認できた。

図 20 を見ると、20 事業体において 4 時間変動の中央値は 0.1 以下になっており、全国的にフィードバックにより着実に制御されていることが確認された。残留塩素の年間の中央値が高い浄水場は、4 時間変動の中央値も比較的高くなる傾向が見られ、次亜塩素酸ナトリウムの注入量が多い浄水場は、短時間における変動も大きくなりやすく、

注入量が少ない浄水場に比べ、フィードバック制御のばらつきは安定しにくいと推察された。なお、5時間変動においても同様の傾向が見られた。

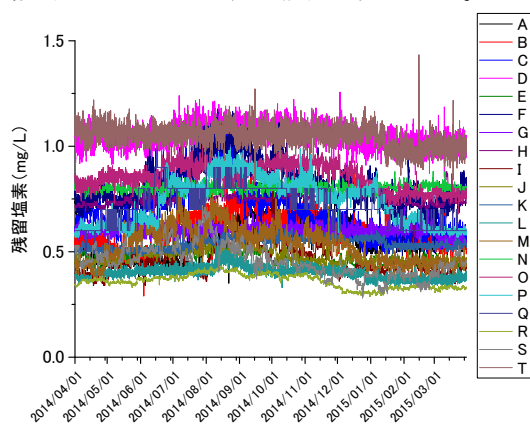


図 18 浄水における残留塩素 連続データ

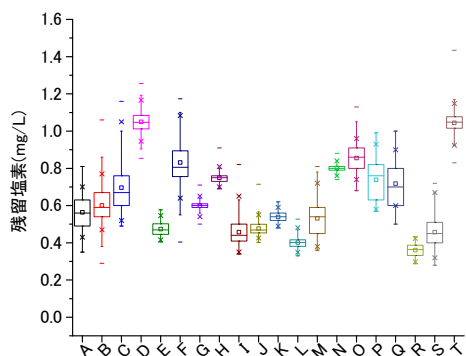


図 19 浄水における残留塩素分布 (ボックスチャート)

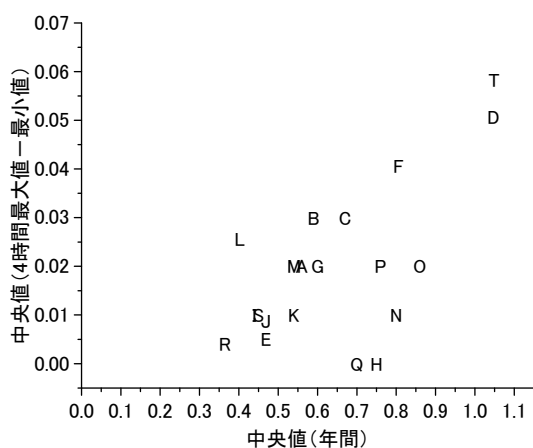


図 20 浄水における残留塩素の年間中央値と4時間変動の中央値の関係

5. 原水水温と濁度処理状況の比較

実際の水処理における水温による処理状況を確認するために、原水水温と沈殿水濁度及びろ過水濁度の関係を調査した。

5.1 原水水温と沈殿水濁度の関係

図 21 に原水水温と沈殿水濁度のグラフを示す。なお、図 21 は代表的な4事業体を抽出した。

図 21 を見ると、事業体PやQのように低温時に沈殿水濁度が上昇している事業体もあるが、事業体Tのように高温時においても沈殿水濁度の上昇が確認された。

なお、事業体Qにおける高温時に沈殿水濁度が上昇しているのは豪雨災害のあった1日での変動であったが、ろ過水濁度では基準値内に適切に処理されていた。

高温時には生物障害等濁質の違いも推察されるが、低温時だけでなく高温時にも沈殿水処理状況が悪化している状況を確認できた。

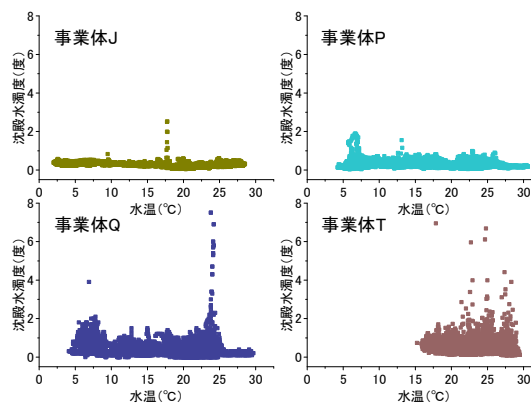


図 21 原水水温と沈殿水濁度

5.2 原水水温とろ過水濁度の関係

図 22 に原水水温とろ過水濁度のグラフを示す。なお、図 22 においても代表的な4事業体を抽出した。

図 22 を見ると、事業体Bのように低温時にろ過水濁度が上昇している事業体もあるが、事業体SやTのように高温時においてもろ過水濁度の上昇が確認された。

沈殿水同様、濁度上昇原因の違いも考えられるが、沈殿水に続くろ過水においても低温時だけでなく高温時にもろ過水処理状況が悪化している状況を確認できた。

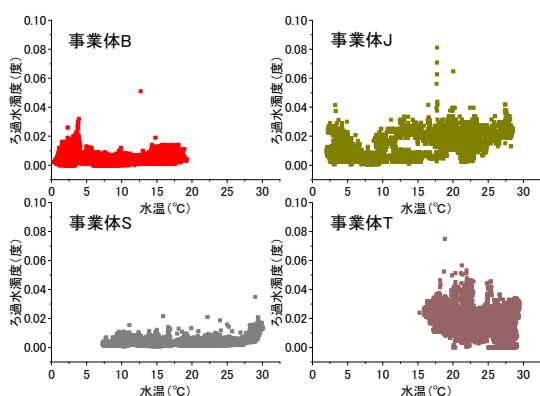


図 22 原水水温とろ過水濁度

なお、本研究における解析は1時間毎のデータで行った。10分毎で取得したデータについてピーク数等の解析を行ったところ、ピーク数は2倍以上に増えるデータもあったが、データ数が多く取り扱いが困難となる上、変動が激しくノイズとの区別が難しかったため、今回は1時間毎のデータを用いた。

このようなデータ間隔に関する考察は、データ解析上重要な役割を占めているが、事業体毎に取得データや保存データの間隔や期間が異なるため、今回は1時間毎のデータ1年間で解析を行った。より詳細な検討は今後の課題である。

E. 結論

- 総合的な解析を行った例は少ないと考えられる自動水質計器のデータについて、収集を行った。全国20事業体の連続監視データのうち、設置事業体数が多い原水濁度、pH、電気伝導度の連続監視データについて、水質変動の比較解析を行った。
- その変動の特性把握のため、濁度については「ピーク数」「第3四分位-中央値」、pHについては「1日変動の中央値」「1日変動の四分位範囲」「1日最小値の四分位範囲」、電気伝導度については「中央値」「相対四分位偏差」「1日変動の四分位範囲」が重要であることを示した。
- 結果について、最終的に濁度の「ピーク数」「第3四分位-中央値」、pHの「1日変動の中央値」「1日最小値の四分位範囲」、電気伝導度の「相対四分位偏差」「1日変動の四分位範囲」の6項目について主成分分析を行ったところ累積寄与率は3項目で75.97%であった。レーダーチャートを作成することにより、各事業体の原水における濁度、pH、電気伝導度の変動特性や、限定的ではあるが視覚的に把握できた。

- 原水濁度の「ピーク数」は降雨等の影響を強く受けていると見られ、「第3四分位-中央値」は水源域の雪解け等の季節変動を表すと考えられ、濁度の変動は流域の特性や気象特性などと関連すると考えられた。
- 原水pHの「1日変動の中央値」は水源や取水口近くの光合成(炭酸同化作用)を表し、「1日最小値の四分位範囲」は水源域の季節変動を表すと考えられ、特に藻類等による炭酸同化作用を受けやすい場合の変動が顕著に見られ、炭酸同化作用の影響の受けやすさにより左右されるものと推察された。
- 原水電気伝導度の「1日変動の四分位範囲」はダム放流等の人為的な影響の日内変動を表し、「相対四分位偏差」は水源域の汚染原因の季節変動を表すと考えられた。原因は必ずしも明らかでないが、上流の温泉地の排水の流入や水源の切り替え等、人為的な要因により変動していることが推察された。
- これらの項目は多くの事業体で入手可能な連続監視データであり、これらの変動の解析が原水水質全体の変動の代表となる可能性が考えられた。
- 全国複数浄水場における、原水、沈殿水、ろ過水での濁度の変動も比較解析を行った。原水では浄水場毎に濁度のばらつきが見られたが、多くの浄水場において、着実に処理をすることでろ過水では濁度が安定していた。
- 全国的に多くの浄水場で、原水低濁度時にろ過水濁度が相対的に高くなる傾向が見られ、原水低濁度時に、微細なフロック等によりろ過水濁度が高くなるという共通の課題が示された。
- 事業体毎の残留塩素の管理の違いが確認できた。20事業体の浄水場は、フィードバックにより、残留塩素の短時間の変動は0.1以下に着実に制御されていたが、残留塩素が高い浄水場は短時間の変動も比較的大きくなる傾向が確認できた。
- 原水低温時だけでなく、高温時においても沈殿水濁度及びろ過水濁度が上昇している事業体が確認できた。

F. 健康危険情報

該当なし。

G. 研究発表

1. 論文発表
投稿中。

2. 学会発表

- 1) 斎藤健太、朝野正平、宮林勇一、小池友佳子、浅見真理、小坂浩司. 連続監視データの解析による原水の水質管理に関する検討. 平成 28 年度全国会議（水道研究発表会）講演集. 2016/11/9～11、京都市、pp. 672-673 .
- 2) 朝野正平、斎藤健太、宮林勇一、小池友佳子、浅見真理、小坂浩司. 連続監視データの解析による浄水の水質管理に関する検討. 平成 28 年度全国会議（水道研究発表会）講演集. 2016/11/9～11、京都市、pp. 674-675 .

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) 眞柄泰基、赤澤寛、橋本徳蔵、森田亮吉、大澤英治：水道水質辞典、株式会社日本水道新聞社（2002）
- 2) 公益財団法人日本水道協会：水道水質データベース、
<http://www.jwwa.or.jp/mizu/list.html>（2017年1月時点）
- 3) 公益財団法人水道技術研究センター：高濁度原水への対応の手引き、
http://www.jwrc-net.or.jp/chousa-kenkyuu/handbook_koudakudo.html（2017年1月時点）（2014）
- 4) 公益財団法人水道技術研究センター：浄水技術ガイドライン 2010、公益財団法人水道技術研究センター、pp. 40-43（2010）
- 5) 国土交通省：河川水質試験方法（案）、
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guide_line/kasen/suishitsu/houhou.html（2017年1月時点）
- 6) 国土交通省関東地方整備局霞ヶ浦河川事務所：霞ヶ浦の水質調査データ水質用語集、
<http://www.ktr.mlit.go.jp/kasumi/kasumi001012.html>（2017年1月時点）

分担研究報告書 9

連続自動水質計器を用いた処理性能評価手法の開発

研究分担者 水野 忠雄

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：連続自動水質計器を用いた処理性能評価手法の開発

研究分担者 水野 忠雄 京都大学大学院工学研究科

研究要旨

選定したオゾン接触槽について、新たに最大3か所に溶存オゾン濃度モニターを設置し、溶存オゾン濃度の連続測定を行った。得られた溶存オゾン濃度の連続監視データ、および処理場において常時監視されている水質項目および水温などのデータについて整理を行い、現状のオゾン処理槽の運転状況を評価した。さらに、得られたデータを用いて、オゾン Ct 値を評価指標とするオゾン処理性能評価のための逆推定手法の構築を行った。

現状のオゾン処理槽は、調査期間においては、処理水流量は最大で2倍程度の変動がある一方、供給オゾン流量は狭い範囲で運転されていた。オゾン注入率の範囲は、0.63~3.22 mg/L であり、冬期に注入率は低く、夏期に注入率が高かった。75%の日時でオゾン注入率は 1.59 mg/L 以下であり、設計値とされる 3 mg/L に比べて低い注入率で運転されていることがわかった。

溶存オゾン濃度については、活性炭前は制御値通りに管理されていた。第三接触槽後は、0.22~0.64 mg/L であり、夏季には、管理溶存オゾン濃度を低下させているにも関わらず、比較的高濃度であった。第二接触槽後は、概ね第三接触槽後の濃度を追従していた。第一接触槽後は、最大でも 0.063 mg/L であり、66%の日時で 0.01 mg/L 未満であった。

構築したオゾン処理性能評価のための逆推定手法により、溶存オゾン濃度の良好な再現が可能であった。また、推定された物質移動容量係数およびオゾンの分解速度定数も、概ね報告値と同程度であり、理論的な立式に基づき、実測値を活用した制約条件下で合わせて推定する本手法の有効性が示されたと考えられた。オゾン処理性能としてのオゾン Ct 値を推定したところ、温度が高い時期ほど Ct 値は高く、温度が低い時期ほど Ct 値が低かった。実測値から得られる Ct 値と比べると若干高い値が得られたが、今後モデル設定の精度を上げることで改善は可能と考えられた。

A. 研究目的

安全な水道水を供給する観点から、水道システム、特に水道水源での危害を同定し、浄水プロセスで水質変動・異常を検知し、迅速に対応することが重要な課題の一つである。浄水プロセスについては、各水道事業体の運用開始時の実証試験およびその後蓄積される経験に基づいて、適切な運転管理指標およびその数値が設定され、かつ安定的に運転が行われているものの、必ずしも処理槽内の反応や流動に関する科学的な知見に基づくものばかりではなく、水道水源の水質変動や異常時への対応として十分とは言えない。そこで、連続自動計器を用いた水質監視により得られる定量的な数値と、処理槽内の反応および流動を含む処理性能との関連を明らかにし、その可視化などを通じて、平時の安定的な処理を達成するとともに、異常時にも対応しうる、処理プロセスの運転管理に資する処理性能評価手法の開発を目的とした。本年度は、以下の2つの評価および開発を行った。

1. オゾン処理槽の運転状況評価

オゾン処理槽内の溶存オゾン濃度分布の詳細を明らかにするために、昨年度よりオゾン接触槽

直後に最大3台の溶存オゾン濃度モニターを設置している。これに既設の1台を加えた溶存オゾン濃度の監視結果および浄水場において常時監視されている水質項目および水温などのデータについて、時系列変化として表すとともに、統計的に処理を行い、現状のオゾン処理槽の運転状況を評価した。統計的処理を行った際には、外れ値などの検出をはじめとした統計解析上のデータの抽出と、続く逆推定手法を適用することが可能なデータセットの抽出を兼ねて行った。

2. オゾン処理性能評価のための逆推定手法の構築

本研究では、オゾン処理性能を評価する指標としてオゾン Ct 値（溶存オゾン濃度と時間の積）と定義し、連続監視データを活用することで、時系列的にオゾン Ct 値を算出できることを目的とした。

B. 研究方法

1. オゾン処理槽の運転状況評価

(1)連続データの取得

阪神水道企業団猪名川浄水場 II 系 3 系列の 1

つに、オゾン注入率制御のために設置されている既存の1か所に加え、新たにオゾン接触槽直後3か所に溶存オゾン濃度モニター(PL-603、荏原実業株式会社)を設置し、連続データの取得を行った。なお使用したオゾンモニターは既設のモニターと同じ測定原理である。対象としたオゾン接触槽/反応槽の概要とオゾンモニターの設置位置を図1に示す。上下迂流三段向流式と呼ばれるオゾン接触槽である。オゾンモニターは既設の配管より採取した水を通水した。配管の採水位置は、水の流れ方向には図1に示す通りで、奥行方向は、ほぼ壁際の地点である。オゾンモニターからの出力は、データロガー(GL-220、グラフテック株式会社)にて1分ごとに採取した。調査期間は、2016年1月18日~11月30日とした。

(2) オゾン処理槽の運転状況評価

1) 評価対象項目

評価対象項目は以下の通りである。

設定値・管理値

○処理水流量 (m³/hr)

○供給オゾン流量 (m³/hr)

●発生オゾンガス濃度 (g/Nm³、もしくはmg/L)

○オゾン注入率 (mg/L)

○溶存オゾン濃度 (mg/L)

●排出オゾンガス濃度 (g/Nm³、もしくはmg/L)

●オゾンガス溶解効率 (%)

●水温 (°C)

※○については、結果を示す。

2) データの評価 (抽出)

時系列データは、正時一時間間隔を対象とした。評価方法としては、以下の手順とした。

- ① それぞれの監視項目について、生データを用いて時系列変化を経時変化として整理する。
- ② 目視により、明らかに異常値であると考えられる日時を抽出する。
- ③ 明らかに異常値と思われるデータを含むすべてのデータを対象に、データの分布、ばらつきおよび外れ値の検出を目的として、第三四分位数に四分位範囲の1.5倍を加えた値を上限値、第一四分位数から四分位範囲の1.5倍を減じた値を下限値として、この範囲外にあるものを外れ値と認定した。
- ④ ③において、統計解析上、外れ値と認定された値でも、運用上あり得る値であると考えられるような場合には、別途その値前後での変化率などを参考として、最終的に異常値の判断を行った。
- ⑤ 異常値を排除した上で、再度統計解析を行い、その結果を提示するとともに、以降の逆推定手法へ適用可能なデータセットとして採用した。

2. オゾン処理性能評価のための逆推定手法の構築

(1) 設定事項

連続監視や代表的な条件下における流動特性の結果から、以下のような設定を行った。

- ・接触槽の流動は完全混合
- ・滞留槽の流動は押し出し流れ
- ・第一接触槽におけるオゾンの分解は非常に速い
- ・第一滞留槽以降におけるオゾン分解は遅い反応のみで、その速度定数は変わらない
- ・オゾンの分解は速い反応、遅い反応ともに、オゾンの一次反応として評価できる

(2) 性能評価指標と推定パラメータ

オゾン処理性能として評価する指標は、オゾンCt値とした。また、オゾンCt値算出のための推定パラメータを以下の通り定義した。

- ・オゾンガスの水中への総括物質移動容量係数 (K_La)
- ・第一接触槽におけるオゾンの速い分解を表す反応速度定数 (k_f)
- ・オゾンの遅い分解を表す反応速度定数 (k_s)

(3) 評価に用いる定数および変数

逆推定手法に必要な定数および変数は以下の通りである。

- ・処理水流量
- ・供給オゾン流量
- ・発生オゾン濃度
- ・処理槽容積
- ・排オゾン濃度
- ・溶存オゾン濃度

(4) 逆推定手法

図2に本逆推定手法の設定事項や推定パラメータを記載した逆推定手法の概念図を示す。本手法で用いた各槽の容積も示した。溶存オゾン濃度が常時監視されている活性炭槽手前までを記載した。接触槽には総括物質移動容量係数 K_La が、定義され、オゾンの分解については、第一接触槽のみ速いオゾンの分解を表す k_f が、すべての槽には、遅い分解を表す k_s が定義される。

図3に評価に用いる定数および変数を記載した逆推定手法の概念図を示す。処理水量 Q 、供給オゾンガス流量 Q_o 、および発生オゾン濃度 G_0 は、計算対象とする時刻の運転条件としての値を用いる。また、その運転条件下における処理の結果として、溶存オゾン濃度 $G_1 \sim G_4$ および排オゾンガス濃度 $G_1 \sim G_3$ が得られる。ただし、排オゾンガス濃度については、すべてが合わさった後の濃度が監視されていることから、本検討でも $G_1 \sim G_3$ の3つの平均値として扱うこととした。

以上の設定に基づき、それぞれの槽について物質収支式を立式し、定常状態として連立方程式を導いた。そして、推定パラメータである K_La 、 k_f 、および k_s を、溶存オゾン濃度および排オゾンガス濃度の平均値の実測データと推定値との間の最

小二乗解として算出した。また、この時得られる溶存オゾン濃度の推定結果を用いて、オゾン Ct 値を算出した。なお最小二乗法の適用にあたっては、本研究では、第三接触槽後および活性炭前の溶存オゾン濃度に対して、第一および第二接触槽後の溶存オゾン濃度に比べて2倍の重みづけを行った。

C. 研究結果およびD. 考察

1. オゾン処理槽の運転状況評価

(1) 処理水流量および供給オゾン流量

処理水流量および供給オゾン流量の経時変化を図4に示す。処理水流量については、運用上の変更があった期間を除くと、その範囲は、3030~5035 m³/hr、平均値は3975 m³/hr、標準偏差は379 m³/hrであり、中央値である3960 m³/hrを中心としたほぼ左右対称の分布を示していた。また、運用上の変更があった期間の最大処理水流量は、6025 m³/hrであった。

供給オゾン流量については、その範囲は、557~657.5 m³/hr、平均値は603 m³/hr、標準偏差は19 m³/hrであり、中央値である602 m³/hrを中心としたほぼ左右対称の分布を示していた。空気原料のオゾン発生器では、発生器側の制約からガス流量は一定とされるため、非常に狭い幅の間で運転されていた。

(2) オゾン注入率

オゾン注入率の経時変化を図5に示す。合わせて、活性炭前の管理溶存オゾン濃度の値の経時変化も示す。冬期に注入率は低く、夏期に注入率が高いことがわかる。これは、オゾン注入がオゾン処理後の溶存オゾン濃度で管理されているため、オゾンの分解が速いと注入率が高くなること、また温度が高くなるとガスの吸収効率が低下することによると考えられ、監視データとしてもそのような結果を得ている。ただし、オゾンの分解が速くなる理由は、水温のみによるのか、水質（濃度のみならず、有機物においてはその質など）が異なることによるのかはわからない。オゾン注入率の範囲は0.63~3.32 mg/L、中央値は1.29 mg/L、平均値は1.35 mg/Lであった。また、75%の日時でオゾン注入率は1.59 mg/L以下であった。水源水質の改善、臭素酸問題を反映してか、設計とされる3 mg/Lに比べて低い注入率で運転されていることがわかった。

(3) 溶存オゾン濃度

溶存オゾン濃度の経時変化を図6に示す。

1) 活性炭前

一定の期間、制御値が0.20および0.30 mg/Lに設定されているが、通常は0.25 mg/Lに設定されており、実測値からもほぼそのように管理されていたことがわかる。

2) 第三接触槽後

全期間を通じて、その範囲は、0.22~0.64 mg/Lであった。夏季に管理溶存オゾン濃度を低下させている期間について、その範囲は、0.35~0.56 mg/Lであり、管理値を低減しているにも関わらず、比較的高濃度であった。夏期は、溶存オゾン濃度の分解が非常に速いことが推察された。

3) 第二接触槽後

全期間を通じて、その範囲は、0.08~0.32 mg/Lであった。第三接触槽後の濃度に追随している様子がわかる。

4) 第一接触槽後

全期間を通じて、最大値としては、0.063 mg/Lが検出されているものの、多くの日時でその濃度は低く、66%の日時で監視濃度0.01 mg/L未満であった。

2. オゾン処理性能評価のための逆推定手法の構築

(1) 実測値と推定値の比較

実測値と推定値の比較として、溶存オゾン濃度について図7に示す。解析はすべてのデータについて行い、図には実測値が存在する比較可能なデータについて示している。比較的良好な再現が可能であったと考えられる。

(2) 推定パラメータ

推定パラメータの経時変化を図8に示す。ここでは、得られたデータの精査は行っていない。 $k_L a$ については、吹込み率との関係から報告されている範囲¹⁾であり、 k_s についても報告値²⁾と同程度であった。それぞれ実験による直接的な評価ではないものの、理論的な立式に基づき、実測値を活用した制約条件下で合わせて推定する本手法は、妥当な評価を与えており、有効性が示されたと考えられる。

(3) 推定オゾン Ct 値

推定オゾン Ct 値の経時変化を図9に示す。温度が高い時期ほど Ct 値は高く、温度が低い時期ほど Ct 値が低いことがわかる。これは、高水温期にオゾンの分解が速い一方、管理・制御はほぼ同じ値で活性炭前の溶存オゾン濃度を用いているため、第三接触槽もしくは第三滞留槽での溶存オゾン濃度を高く保つためであると考えられる。

ここでは、推定パラメータと同様、データの精査は行っていないが、概ね3~10 mg/L·min.程度の範囲であった。ただし、すべての溶存オゾン濃度のデータがそろっているデータセットを用いて計算される Ct 値と比較すると、その近似曲線は、 $y=1.00x+0.88$ mg/L·min.と切片が若干高かったため、その適用・解釈には注意を要する。この点については、モデル設定の精度を上げることで

改善は可能と考えられる。

図中には、活性炭前溶存オゾン濃度とそのデータが得られた時の滞留時間とを用いて、積として計算したオゾン Ct 値を合わせて示した。オゾン処理槽内の溶存オゾン濃度分布がわからない場合には、適用しうる指標ではあるが、本研究で行ったように濃度分布を考慮した解析結果と比べて、低水温期は過大評価を、高水温期は過小評価している可能性がある。

E. 結論

現状のオゾン処理槽の運転状況評価として以下の結論が得られた。

処理水流量は、最大で2倍程度の変動がある一方、供給オゾン流量は狭い範囲で運転されていた。オゾン注入率の範囲は、0.63～3.22 mg/L であり、冬期に注入率は低く、夏期に注入率が高かった。75%の日時でオゾン注入率は 1.59 mg/L 以下であり、設計値とされる 3 mg/L に比べて低い注入率で運転されていることがわかった。

溶存オゾン濃度については、活性炭前は制御値通りに管理されていた。第三接触槽後は、0.22～0.64 mg/L であり、夏季には、管理溶存オゾン濃度を低下させているにも関わらず、比較的高濃度であった。第二接触槽後は、概ね第三接触槽後の濃度を追隨していた。第一接触槽後は、最大でも 0.063 mg/L であり、66%の日時で 0.01 mg/L 未満であった。

構築したオゾン処理性能評価のための逆推定手法により、溶存オゾン濃度の実測値と推定値を比較したところ、良好な再現が可能であった。本手法によって推定された物質移動容量係数およびオゾンの分解速度定数は、概ね報告値と同程度であった。それぞれの直接的な評価ではないものの、理論的な立式に基づき、実測値を活用した制約条件下で合わせて推定する本手法は、妥当な評価を与えており、有効性が示されたと考えられた。オゾン処理性能としてのオゾン Ct 値を推定した

ところ、温度が高い時期ほど Ct 値は高く、温度が低い時期ほど Ct 値が低かった。実測値から得られる Ct 値と比べると若干高い値が得られたが、今後モデル設定の精度を上げることで改善は可能と考えられた。

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) 特定非営利活動法人日本オゾン協会：オゾンハンドブック，サンユー書房，2004
- 2) Kaiser, H.-P., Köster, O., Gresch, M., Périsset, P.M.J., Jäggi, P., Salhi, E., and von Gunten, U.,: Process control for ozonation systems: A novel real-time approach, *Ozone Science & Engineering*, 35, 168-185, 2013

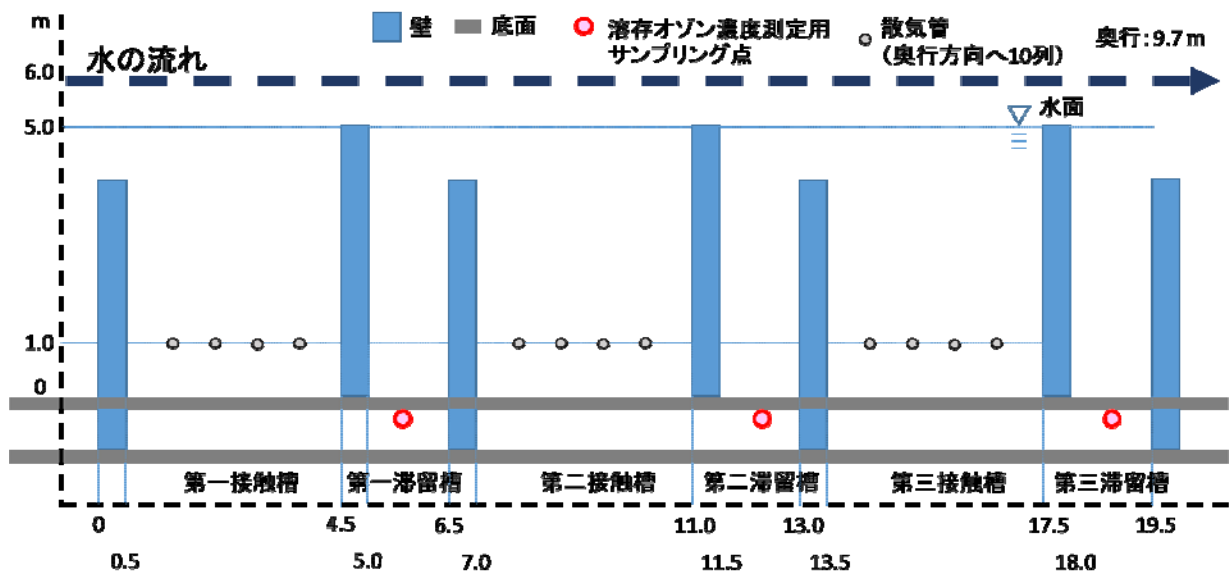


図1 オゾン接触槽の概要と溶存オゾン濃度モニターの設置位置

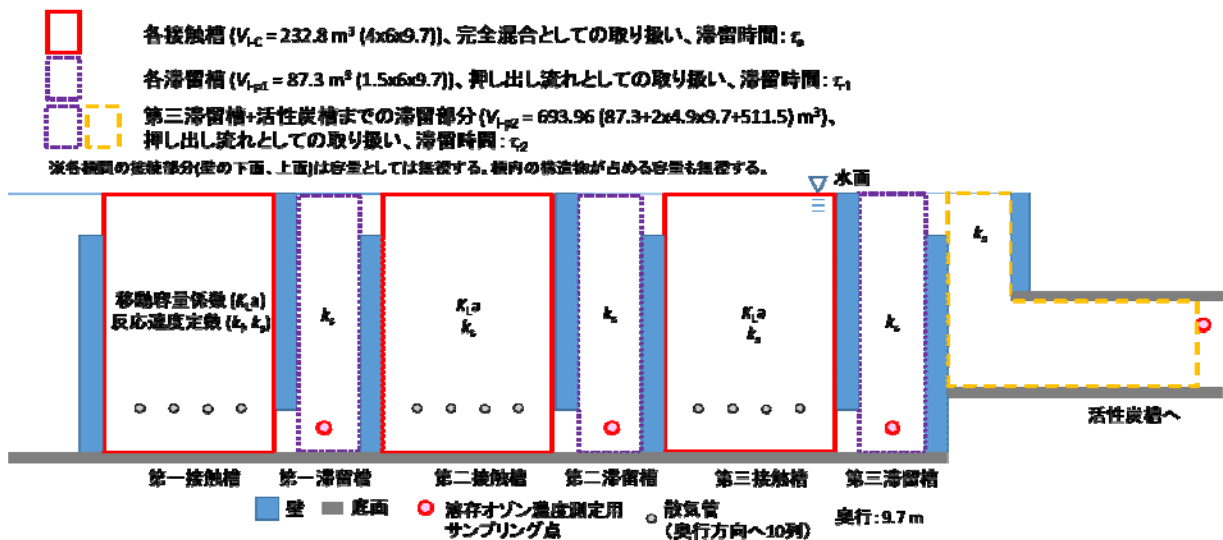


図2 逆推定手法の概念図①（設定事項および推定パラメータ）

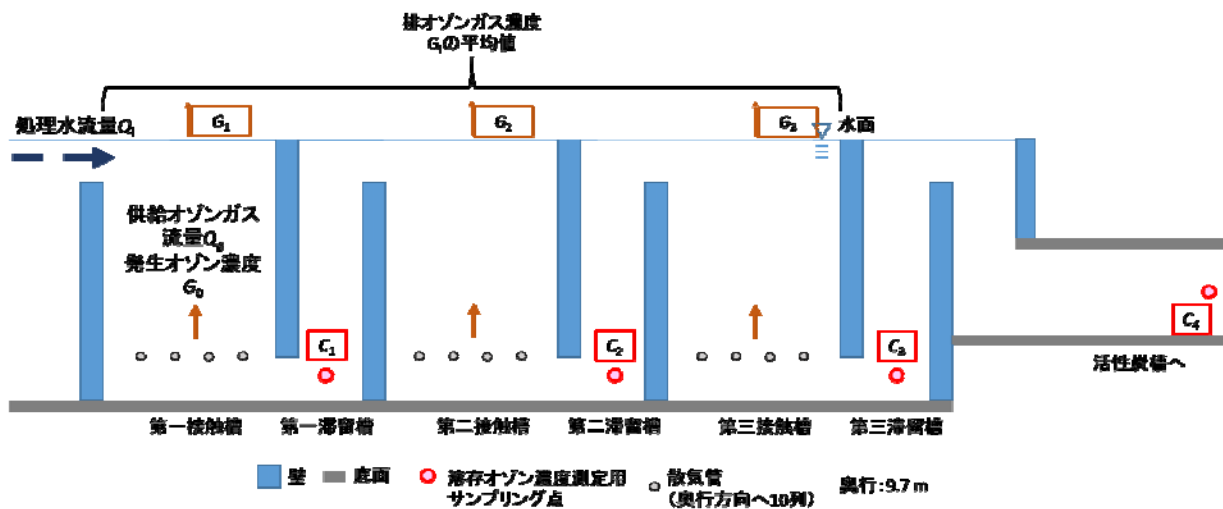


図3 逆推定手法の概念図②（評価に用いる定数および変数）

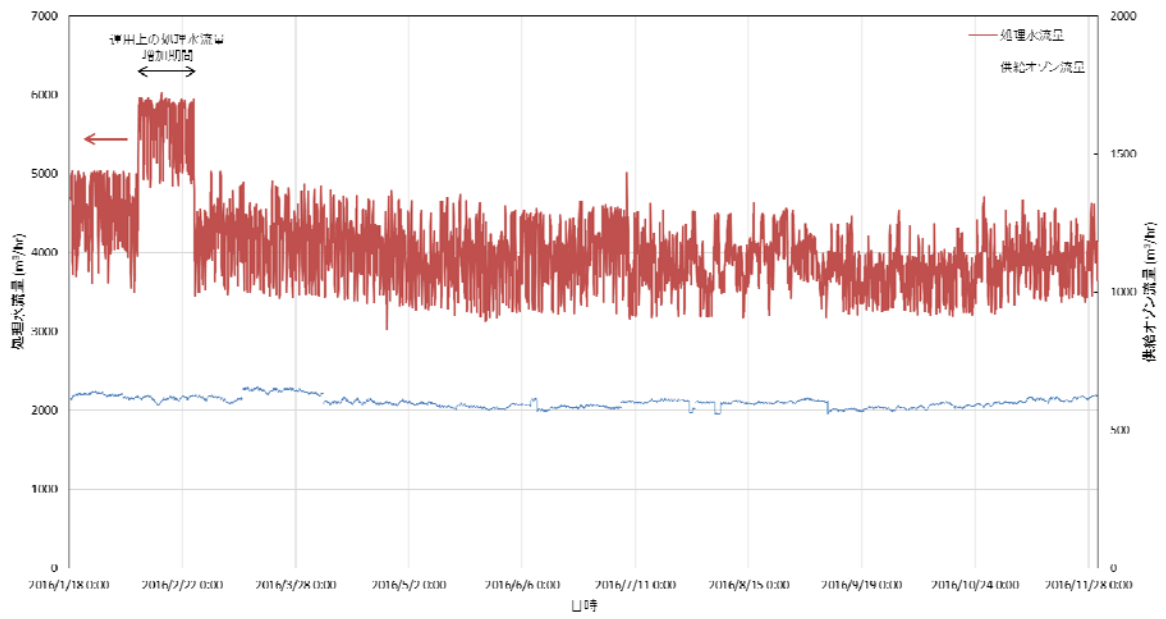


図4 処理水流量および供給オゾン流量の経時変化

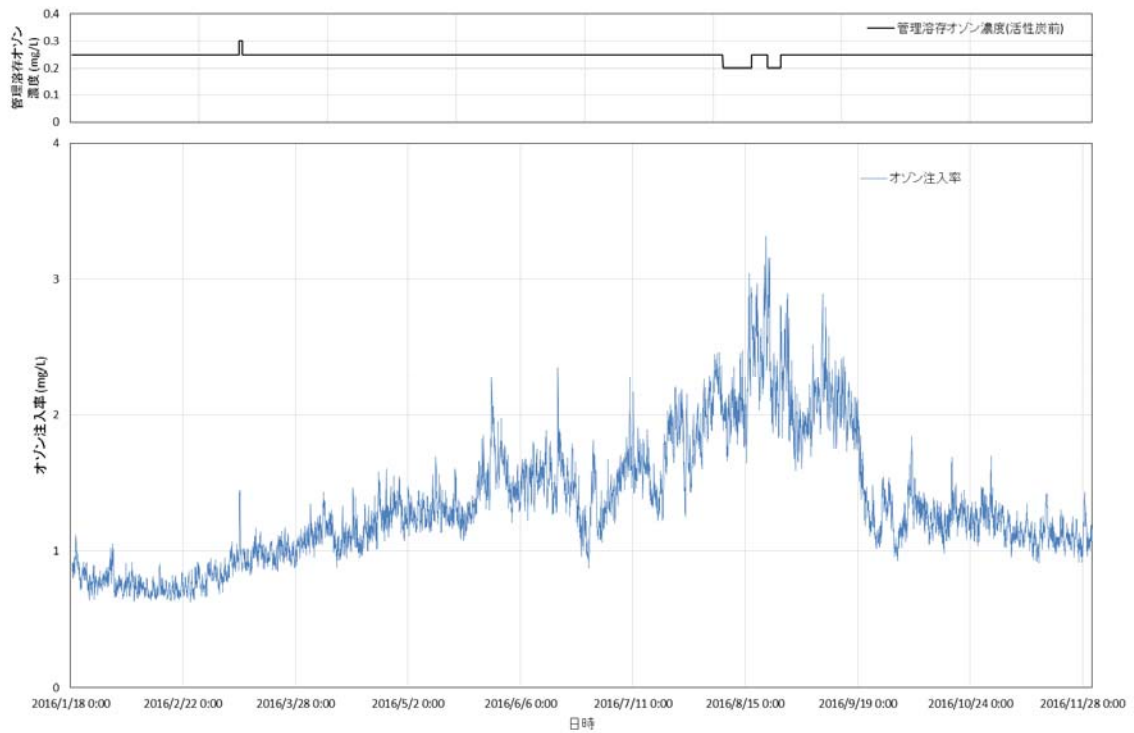


図5 オゾン注入率の経時変化

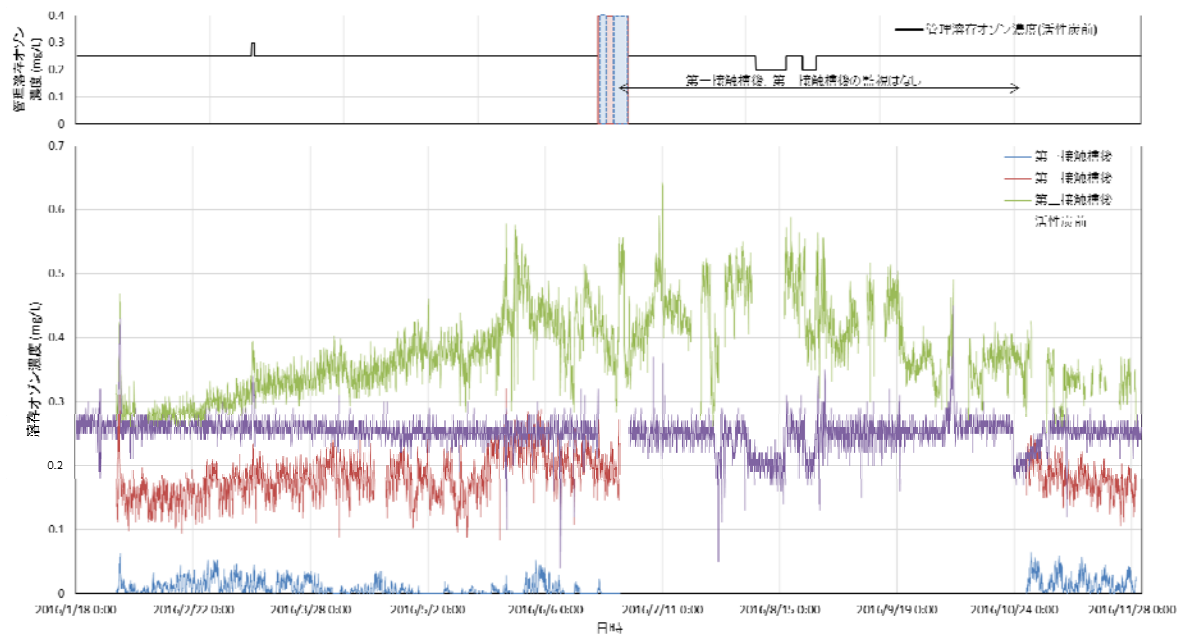


図6 溶存オゾン濃度の経時変化
(下から、第一接触槽後、第二接触槽後、活性炭前(一定値)、第三接触槽後)

	近似曲線	R ²
第一接触槽後	$y=0.792x+0.004$	0.978
第二接触槽後	$y=0.652x+0.125$	0.350
第三接触槽後	$y=0.993x+0.061$	0.773
活性炭前	$y=0.882x+0.011$	0.630

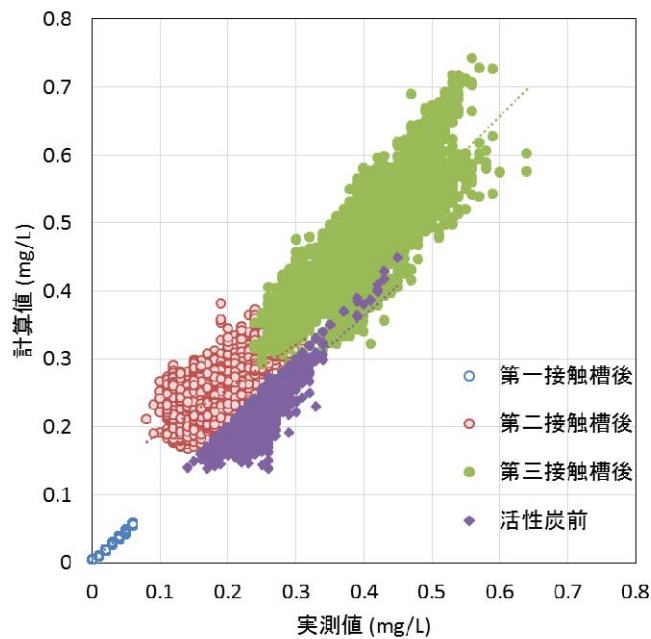


図7 溶存オゾン濃度の比較

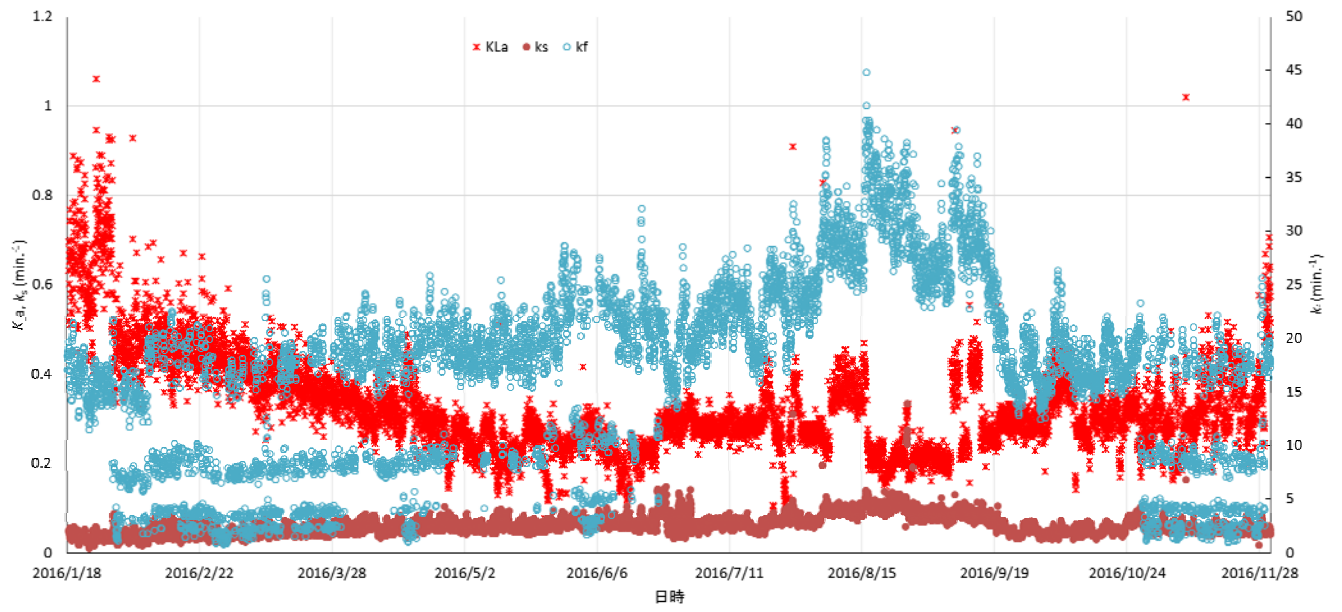


図8 推定パラメータの経時変化

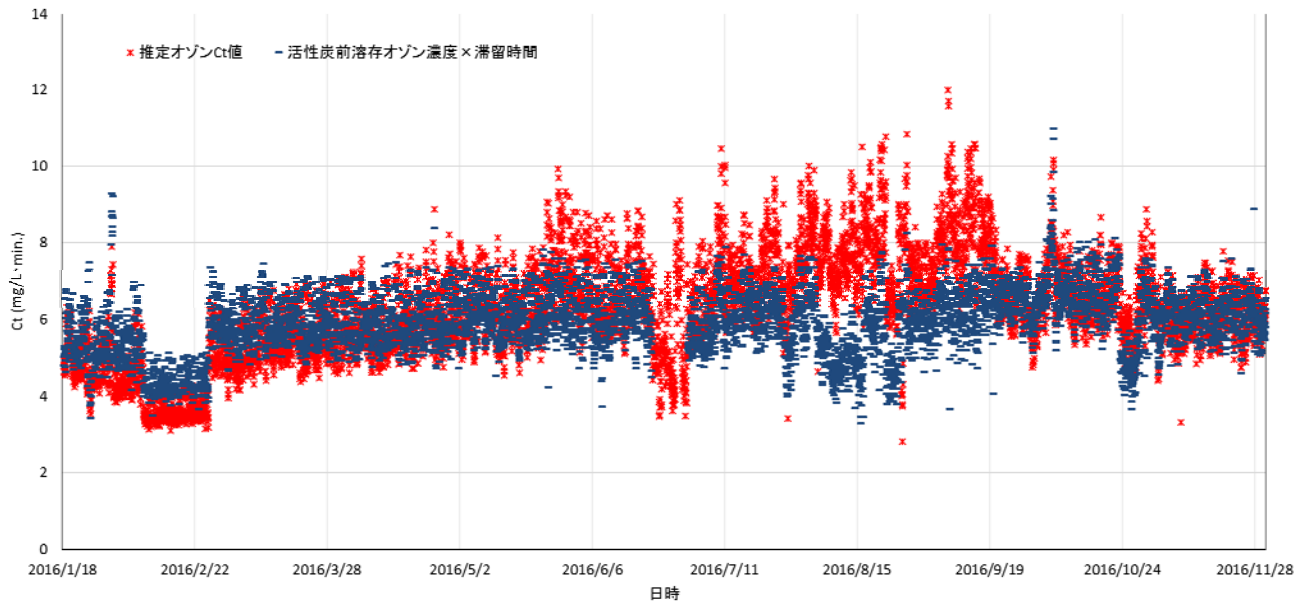


図9 推定オゾン Ct 値

水質異常時における摂取制限を伴う給水継続
～不可避な場合のリスク管理～

研究分担者 浅見 真理
研究分担者 大野 浩一

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：水質異常時における摂取制限を伴う給水継続 ～不可避な場合のリスク管理～

研究分担者 浅見 真理 国立保健医療科学院生活環境研究部水管理研究領域
研究分担者 大野 浩一 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

水質異常時に給水停止となれば、都市機能は麻痺し、衛生状態の確保や消防活動に支障を来すこととなる。また、給配水管の圧力が下がれば、水質を保つことが難しくなる。水道水は生活用水としても、都市維持用水としても必要不可欠で、断水は避けるべきであるが、一方で、水道は水質基準を遵守する水を供給するために高度処理や配水池容量の増加などの施設整備を行うべきであり、水質基準を超えるようなことがあってはならない。しかしながら、国内外を通じて見ると、地域毎には想定し得ない事象が発生することは事実であり、これらの知見を総合して共有すると共に、日頃からある程度の備えを行っておくことが極めて重要である。このような議論と検討を経て、平成 28 年 3 月に『水質異常時における摂取制限を伴う給水継続の考え方について』という課長通知が出された。加えて、平成 28 年 8 月にはそれを補足する亜急性毒性値について水道水質基準逐次改正検討会で議論された。本研究では、それらの知見の理解を深めるために、周辺状況を補足する。また、海外の事例を元に、海外の公報の取り決め、水質事故時のフローチャートについて示す。ぜひ日頃から地元の備えを考えていただくと共に、周辺状況のご理解とご参考になれば幸いである。

A. 研究目的

平成 23 年 3 月の東京電力福島第一原子力発電所の事故に関連した水道水中の放射性物質への対応や平成 24 年 5 月の利根川水系のホルムアルデヒド前駆物質による水質事故のあと、水道関係者らの間では、水質汚染事故等における水道の給水停止に関する考え方の整理が求められていた。その後海外でも、米国で大統領の緊急事態宣言が出されるような大きな水質事故が起こるなど様々な水質事故があった。

水質異常時に給水停止となれば、都市機能は麻痺し、衛生状態の確保や消防活動に支障を来すこととなる。また、給配水管の圧力が下がれば、水質を保つことが難しくなる。厚生労働科学研究の研究班等において、水道事業者の方々や外部の研究者の方々と、このような事態を回避するためにどのような点に留意すべきか、海外ではどのように対応しているか、それらの事例を収集し、検討を行ってきた。

厚生労働省でも種々の関係者や関係機関、市民団体等にヒアリング等を行った。その中で、水道水は生活用水としても、都市維持用水としても必要不可欠で断水は避けるべきと言う意見が大勢を占めた。しかしながら、一方で、水道は水質基準を遵守する水を供給するために高度処理や配水池容量の増加などの施設整備を行うべきであり、水質基準を超えるようなことがあってはならない、もともと平成 15 年の通知においても水質異常時の対応については概要が出ており改めて通知等を出す必要はないのではないか、水質異常時の給水継続といった検討自体が水道水の信頼性を失わせるものではないか、といったご意見も聞かれた。また、水質異常時に給水を継続するか否かを行った判断は水道事業者が行うべきではないのではないか、というご意見があったことも事実である。しかしながら、国内外を通じて見ると、地域毎には想定し得ない事象があちこちで発生することは事実であり、これらの知見を総合して共有すると

共に、日頃からある程度の備えを行っておくことが極めて重要であると考えられた。

このような議論と検討を経て、平成28年3月に『水質異常時における摂取制限を伴う給水継続の考え方について』という課長通知が出された¹⁾。加えて、平成28年8月にはそれを補足する亜急性毒性値について水道水質基準逐次改正検討会で議論された²⁾。本研究では、それらの知見を広くお知らせし、理解を深めるために、周辺状況を補足する。ぜひ日頃から地元の備えを考えていただくと共に、周辺状況のご理解とご参考になれば幸いである。

B. 研究方法

本研究では、関連の研究、水道事業体の検討事項等を中心に、研修、講演、業務等の機会を通じて情報収集を行った。具体的には、厚生労働科学研究『水道における水質リスク評価および管理に関する総合研究－リスク評価管理分科会－』の突発的水質事故等による水質異常時の対応に関する検討報告³⁾を参考とし、東京都、大阪市、名古屋市、新潟市、埼玉県、福岡市、千葉県、北千葉広域水道企業団、阪神水道企業団等、及び、公益社団法人日本水道協会の方々から、相談等を通じ、様々な議論を行った。また、国立保健医療科学院の水道工学研修の研修生の方々とも実際の現場を考慮した議論を重ね、日本における水質異常時の水道の対応について情報収集を行った。

平成15年通知⁴⁾では、健康影響を考慮して設定された水質基準項目の水質異常時においては、基準値超過が継続すると見込まれ、人の健康を害するおそれがある場合には、取水及び給水の緊急停止を講じることとされている。この中には、ホルムアルデヒドのように長期的な健康影響（慢性毒性）を考慮して設定された項目も含まれる。現行の対応においては、(1)慢性毒性を考慮して設定された項目が基準値を超えた際に「人の健康を害するおそれ」があるかどうかを水道事業体自身が判断することが難しい、(2)摂取制限を行いながら給水継続をすることで給水停止を回避するというような柔軟な対応が取りにくい、という課題があることが示された。

摂取制限を伴う給水継続を仮定した場合の対応について検討する場合、まずは取水停止を行うことやその他の代替案と比較して検討を行うことが重要であると考えられた。また、取水停止期間が長期化した場合、水供給が停止するおそれがあり市民生活への影響が非常に大きくなる。一方で、水質基準を超える水を供給した場合、施設洗浄や水替えが必要となることで影響時間が長くなる可能性もあり、短期間であれば供給停止を選択した方が影響時間は短くなることも考えられた。影響が長期間に及ぶ場合は、生活用水としての取水再開を検討することなどの案も提案された。

特にこのような場合には、十分な公報や健康・公衆衛生部局との緊密な連携が重要である。健康・公衆衛生部局などとの緊密な連携が重要な点については、東日本大震災時の放射性ヨウ素暫定指針値超過による乳児への摂取制限時の広報に際しても指摘されている。米国の公衆通知ハンドブック⁵⁾においても、一般公衆への情報提供の充実が強調されており、そのひな形が参考となると考えられるので、例を図1に示す。

C. 研究結果およびD. 考察

1. 水質事故における実際の対応

これらの情報を踏まえ、水質事故が起こった場合を想定すると、少なくとも幾つかの場合分けがあると考えられる。一つには原水のみ異常の場合である。原水の異常はなるべく早く察知して、改善を図ることが望ましい。特に、オイル流出などの事故的な汚染の場合には、オイルフェンスやマットの設置や取水停止などで対応が出来れば、後段の処理が容易になる。

一方浄水処理過程に入ってしまった場合は、凝集強化や粉末活性炭の注入、塩素注入の強化など、取り得る手段は多くはない。あくまでも例であるが、図2のような対応となることが考えられる。通知¹⁾や会議資料²⁾の例等を踏まえ、事前の検討を行うことが必要である。

実際に水質事故が起こり、基準超過の可能性がある場合や判断に迷う場合は、通知にあるように「飲料水健康危機管理実施要領」に基づき厚生労働省に報告を行うことになる。それを踏まえ、厚生労働省、国立保健医療科学院、国立医薬品食品衛生研究所等に

においても、できる限りのサポートを行うことが考えられる。また本通知とは直接は関係しないが、病原微生物関連やクリプトスポリジウム・ジアルジアの同定の場合は、国立感染症研究所も同様である。

言うまでもなく、特に事故の多い表流水や藻類が発生しやすいダム湖の水を原水として用いている場合は、高度処理を導入するなど根本的な対策はもちろんであるが、水源汚染の防止や、原水、工程水、給配水の各段階を含む危機管理マニュアルの策定、これらを総合する水安全計画の策定は非常に重要である。

また、上流において用いられている化学物質を把握すること、水質監視体制の整備も重要である。巡視や水質調査の折に通常の検査項目以外の油や色素、土砂など目視、匂いで分かる物質の流出事故以外の水質汚染事故を発見することは困難でもあるが、より高感度な理化学的及び生物学的な監視等を行い、水質汚染の早期発見を確実にすることも今後の課題である。

今回の対象とした水質事故とは本質的に異なるものの、東日本大震災の折には、津波を受けた地下水源の塩化物イオンが、また、熊本大震災の折は濁度がなかなか下がらず、しかしながら生活用水としての水道の必要性が極めて高く、飲用不可(摂取制限)としながらの給水が行われる場合もあった。このような生活関連項目の場合にも周知は重要である。

実際に水質事故が起こった場合は、市民やマスコミからの問い合わせに加え、他部署や関連機関からの電話やメールが殺到し、大混乱が起きる。問い合わせ対応には、多くの人員が必要となるため、素早くマニュアルを作成し、他部局の職員等でも回答できる体制を作ることが重要である。また、応急給水等で他の事業体と連携する必要がある場合は、緊急用の携帯電話で連絡を取り合う必要がある場合もある。お互いの顔が思い浮かぶ関係も非常に重要である。ぜひ日頃から情報伝達手段等についてもご検討をいただきたい。

E. 結論

事故対策では、事故が起こらないようにすることが最も重要であるが、一方で、起こった後の被害を出来るだけ軽減することも重要である。中で

も『水質異常時における摂取制限を伴う給水継続』は、あくまでもやむを得ない場合のリスク管理として、考えておかなければならない事項である。これらの内容が、日頃からの備えの参考になれば幸いである。なお、章末別添に、講習会等で用いたパワーポイントを掲載する。ご参考にしていただきたい。

F. 健康危険情報

該当なし。

G. 研究発表

1. 論文発表

1) 浅見真理, 大野浩一. 水質異常時における摂取制限を伴う給水継続 ～不可避な場合のリスク管理～. 水道. 2016, 61(5), 16-29. <査読無し>

2. 学会発表

該当なし。

3. その他

- 1) 浅見真理. 「将来の水道におけるリスク管理のあり方」. 首都大学東京水道システム研究センター主催公開セミナー. 平成 28 年 10 月 22 日. 東京.
- 2) 浅見真理. 「水道水質管理の現状と課題」. 簡易水道協議会水道実務者研修. 平成 28 年 10 月 25 日. 東京
- 3) 浅見真理. 「水質異常時における摂取制限を伴う給水継続の考え方について」. 北陸公衆衛生研究所環境講演会講師. 平成 28 年 11 月 11 日. 福井.
- 4) 浅見真理, 大野浩一. 「水質異常時における摂取制限を伴う給水継続の考え方について」. 関係者による情報交換会. 平成 29 年 1 月 26 日. 東京.
- 5) 浅見真理. 「水質異常時における摂取制限を伴う給水継続の考え方について」. 木曾川水系水質保全連絡協議会. 平成 29 年 2 月 1 日. 名古屋.
- 6) 浅見真理. 「水道水質管理の現状と課題」. 第 49 回水道実務指導者研究集会. 平成 29 年 2 月 23 日. 東京.
- 7) 大野浩一. 「水質異常時における摂取制限を伴う給水継続の考え方について」. 北千葉広域水道企業団水道関係研修会. 平成 29 年 2 月 23 日. 千葉.

I. 参考文献

- 1) 厚生労働省医薬・生活衛生局 生活衛生・食品安全部水道課長通知. 『水質異常時における撰

- 取制限を伴う給水継続の考え方について』生食水発0331 第2号,平成28年3月31日.2016.
<http://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-10900000-Kenkoukyoku/0000120322.pdf>
- 2) 平成28年度第1回水質基準逐次改正検討会.資料2.亜急性参照値について(平成28年8月12日)2016.(修正中)
 - 3) 松井佳彦,大野浩一,浅見真理他.厚生労働科学研究『水道における水質リスク評価および管理に関する総合研究』平成27年度リスク評価管理分科会総合分担研究報告書.2016
 - 4) 厚生労働省健康局水道課長通知.『水質基準に関する省令の制定及び水道法施行規則の一部改正等並びに水道水質管理における留意事項について』健水発第101001号,平成15年10月10日.(最近改正平成28年3月30日生食水発0330第1号),2016.
<http://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-10900000-Kenkoukyoku/0000055184.pdf>
 - 5) EPA, “Revised Public Notification Handbook, 2nd Revision of Document”, EPA 816-R-09-013, March 2010
http://www.dep.state.fl.us/central/Home/DrinkingWater/Reporting/PublicNotice/EPA_PNrevisedPNHandbookMarch2010.pdf
(ホームページは2017年3月確認)

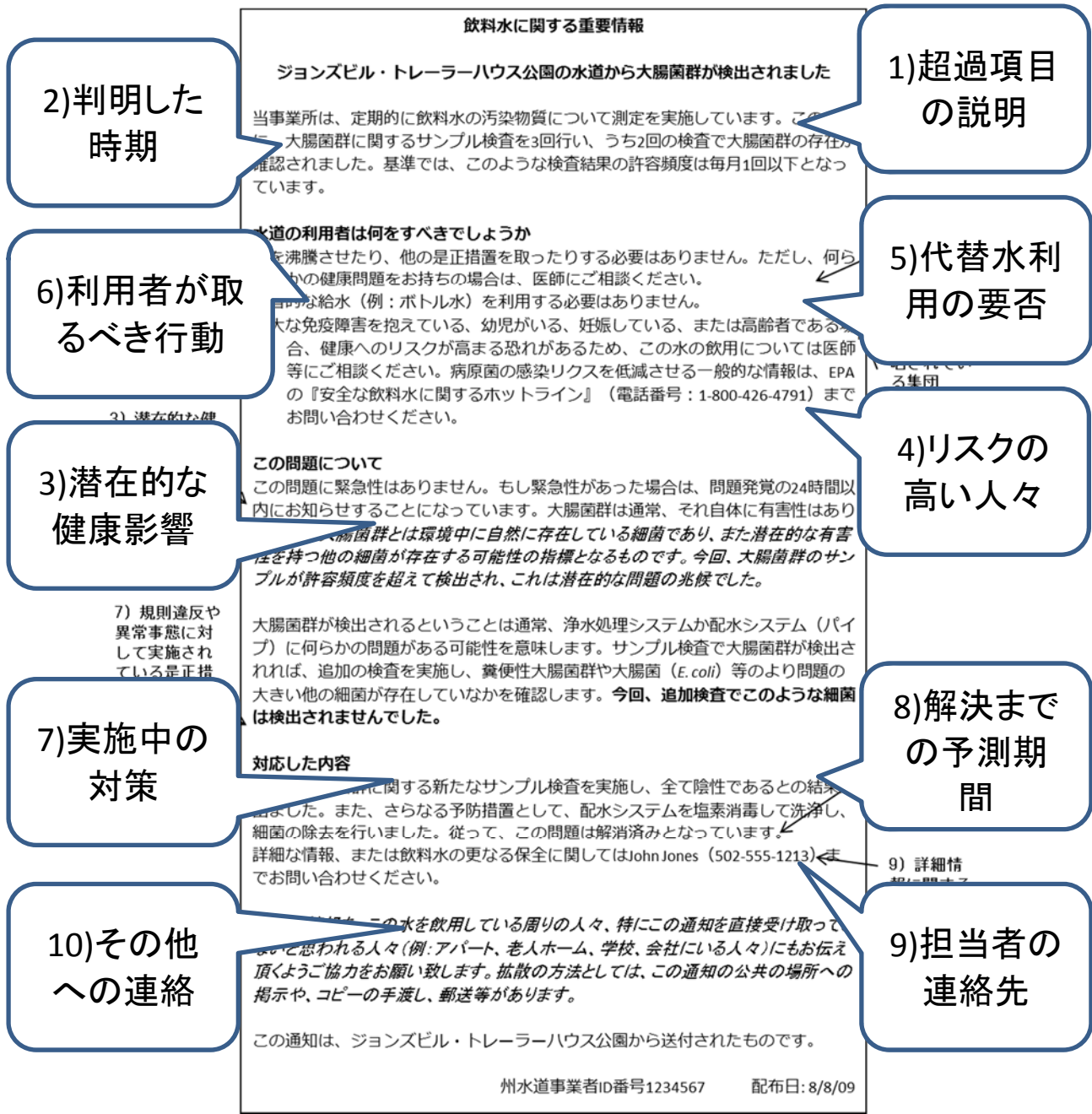


図1 米国の公衆通知ハンドブック⁵⁾におけるお知らせの必須構成要素

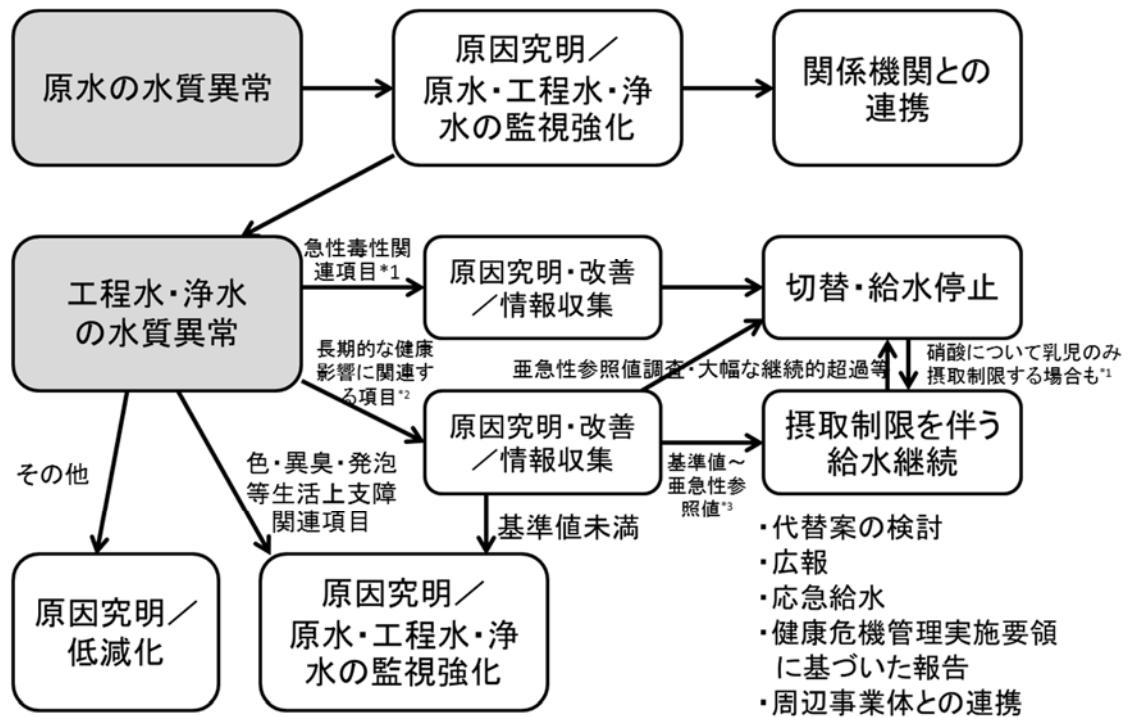


図2 水質事故時の対応スキーム（例）
下記資料等を参考に著者らが作成

- *1 急性毒性関連項目の部分で、硝酸態窒素の基準超過の場合には、乳児への摂取制限に限定する選択肢もあり得る。
- *2 厚生労働省医薬・生活衛生局 生活衛生・食品安全部水道課長通知。『水質異常時における摂取制限を伴う給水継続の考え方について』生食水発 0331 第2号, 平成28年3月31日。
- *3 平成28年度第1回水質基準逐次改正検討会. 資料2. 亜急性参照値について. 平成28年8月12日。

水質異常時における摂取制限を伴う 給水継続の考え方について

2017.3

国立保健医療科学院生活環境研究部
浅見真理・大野浩一


プレゼン等で利用の場合はasami.m.aa@nipih.go.jpまでに事前にご一報下さい。

National Institute of Public Health

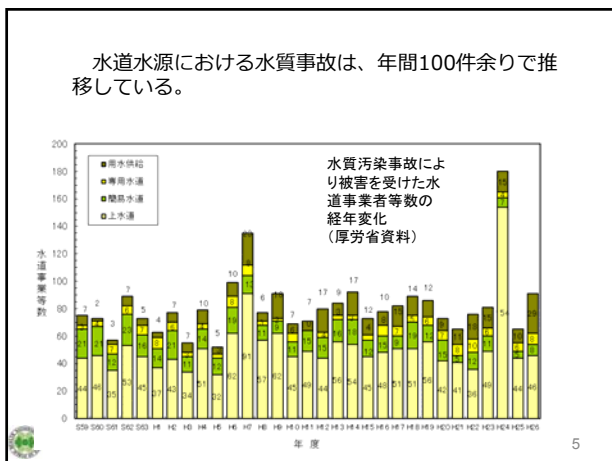
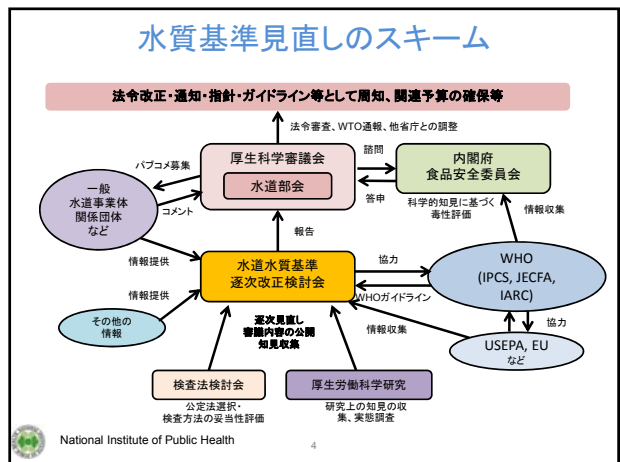
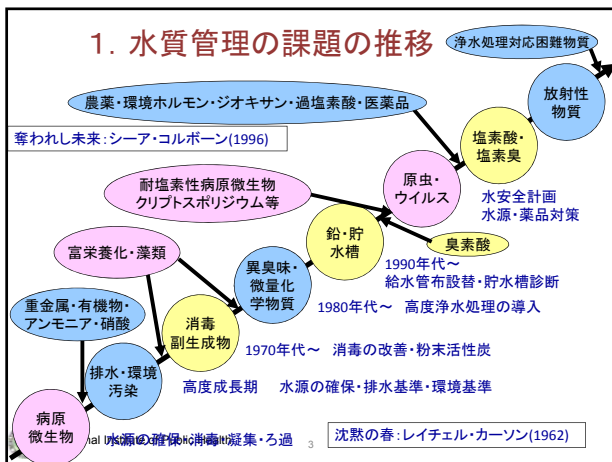


内 容

1. 水質管理の課題の推移
2. 水道等における水質事故の発生傾向
3. 水質異常時における摂取制限を伴う給水継続の考え方について
4. 東日本大震災時の放射性物質の放出事故
5. 今後に向けて
6. おわりに



National Institute of Public Health



2. 水道等における 水質事故の発生傾向



National Institute of Public Health

【背景・目的】近年においても低頻度ではあるものの健康被害を伴う水質汚染事故は発生している。そこで、本研究では、過去に国内の水道施設等(飲用井戸等を含む)で発生した水質事故情報を収集し、その発生傾向を明らかにすることを目的とした。

【方法】1983年1月から2012年12月までの30年間を対象期間とし、期間中に発生した水質事故事例(健康被害が発生した、もしくは発生するおそれがあったものに限る)を収集した。事例収集には以下のソースを用いた。

→サーベイランスシステム(監視・報告システム) ※東日本大震災による事故を除く。

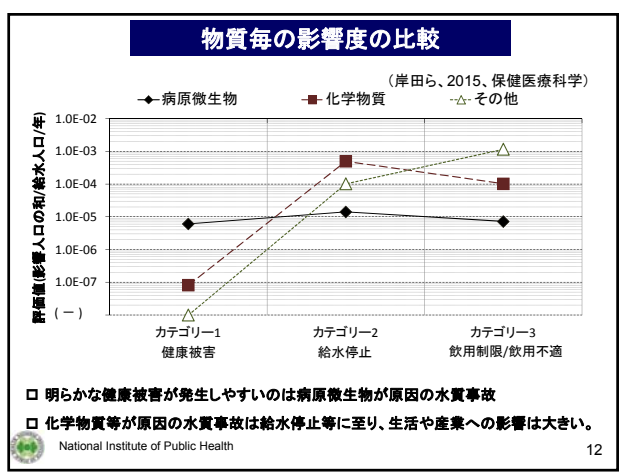
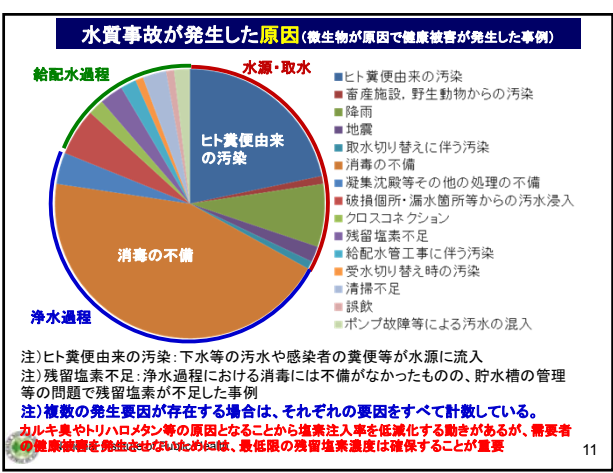
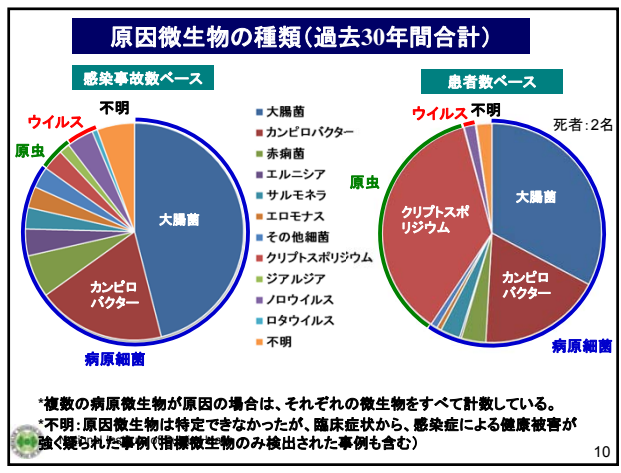
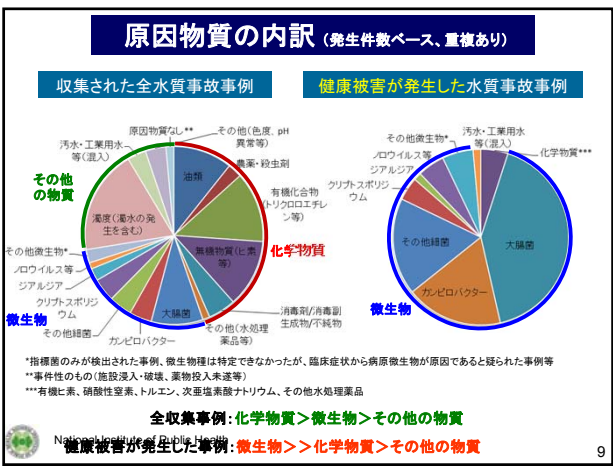
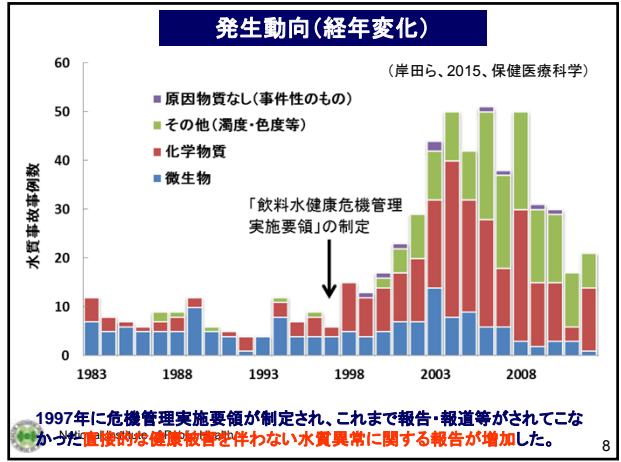
- 厚生労働省水道課 飲料水危機管理実施要領(1997以降)
- 国立感染症研究所 病原微生物検出情報(IASR)

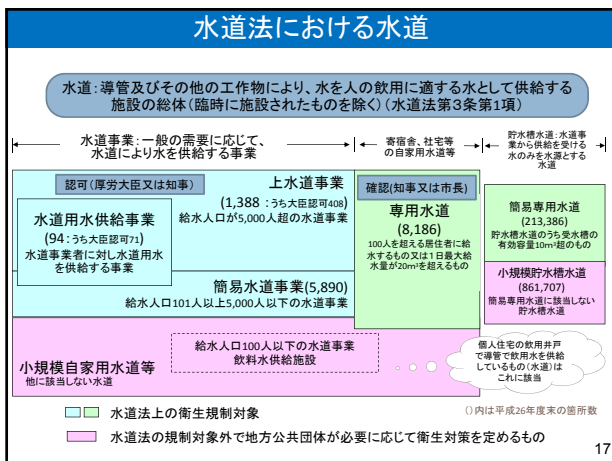
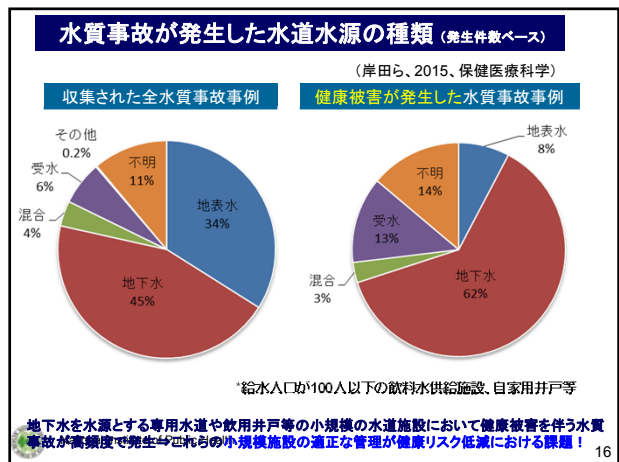
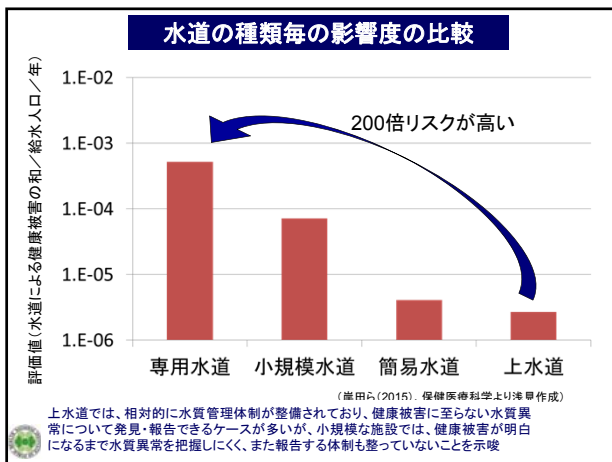
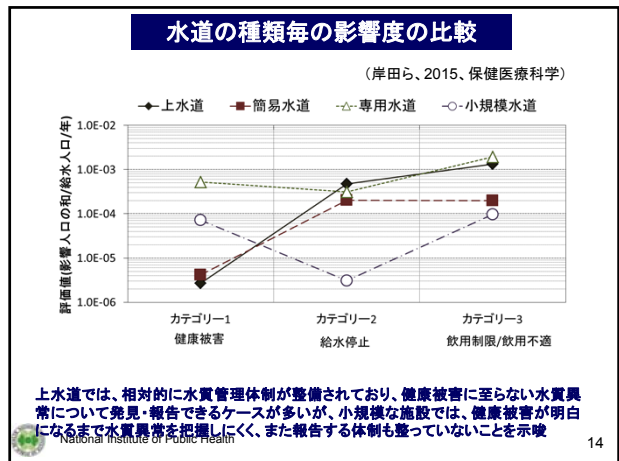
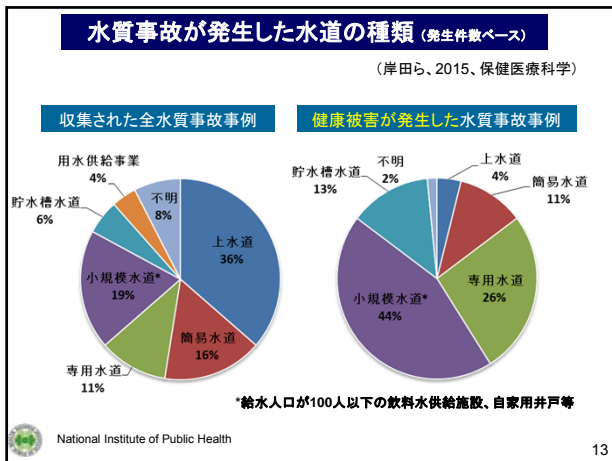
→データベース、検索サイト

- 「J-DreamⅢ」、「J-STAGE」、「ヨミダス歴史館」、「google」
- 地方衛生研究所ネットワーク内の健康危機事例集や地方衛生研究所研究報告集、保健所ネットワークを通して収集した事例集、等

→先行研究(過去に発生した水質事故事例をまとめた資料)

- ◆宇字ら(2006)、山田ら(2007)、等 (岸田ら、2015、保健医療科学) 7





参考～米国、EUとの比較

(岸田ら、2015、保健医療科学)

国・地域	日本	米国	EU
対象期間	1990-2010*	1990-2010*	1990-2005
事例収集方法	データベース等による検索+サーベイランスシステム(1997年度以降)	サーベイランスシステム	データベース検索
発生頻度 (事例数/総人口/年)	2.8×10^{-8}	4.3×10^{-8}	1.5×10^{-8}
影響度 (被害者数/総人口/年)	6.8×10^{-6}	6.9×10^{-5}	9.5×10^{-6}
死者数	2	24**	1

*EUの報告に合わせて、我が国および米国は1990年以降の事例を対象とした。また米国の報告は2010年までしか公開されていないことから、我が国についても2010年までの事例を対象とした。
 **Milwaukee市で発生したクリプトスポリジウム菌の集団感染事例による死者を含んでいない(50人以上の死者が発生したと推測されている)。
 注)米国の報告に合わせて、感染者が2名以上発生した事例に絞っている。

出典: CDC. Surveillance reports for drinking water-associated disease & outbreaks. <http://www.cdc.gov/healthywater/surveillance/drinking-water-surveillance-reports.html>
 出典: Riebrohl HL, Doran MF, Andersson Y, Madema G, Osborn K, Schlosser O, Hunter PR. Fault tree analysis of the causes of waterborne outbreaks. J Water Health. 2007;9 Suppl 1:1-16.

National Institute of Public Health 18

3. 水質異常時における摂取制限を伴う給水継続の考え方について



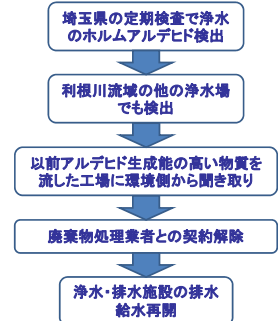
ホルムアルデヒドに係る水質事故

産業廃棄物処理業者と、影響のあった浄水場の位置関係



- 茨城、群馬、埼玉、千葉、東京の5都県の浄水場で取水を停止
- 千葉県内で5月19日～20日にかけて**6市(36万戸、87万人)で断水・減水**が発生

利根川水系ホルムアルデヒド前駆物質水質汚染事故の流れ



“Do Not Use”

2014年1月 水源に化学薬品流出、非常事態宣言 米ウェストバージニア州



米国:川に化学薬品流出 30万人、水道使えず 毎日新聞 2014年01月12日 22時
エルク川の化学薬品汚染を受けて、水の配給活動が行われている＝米ウェストバージニア州チャールストンで 2014年1月10日、AP

水源に化学薬品流出、非常事態宣言 米ウェストバージニア州

米東部ウェストバージニア州カナワ郡のエルク川沿いにある工場のタンクから化学薬品が漏れ川に流出した事態を受け、州当局は11日までに、同郡を含む9つの郡で非常事態を宣言し、住民に水道水を飲んだり入浴に用いたりしないように警告した。
カナワ郡の当局者によると、警告の発表後緊急通報が相次ぎ、病院に搬送された人もいるという。
同郡消防局と州環境保護局は9日、住民から異臭がするとの通報を受け調査を開始。エルク川沿いにあるタンクから化学薬品が漏れ出しているのを発見した。同日午後、川が汚染されたと確認し、ブーン、キャベル、クレー、ジャクソン、カナワ、リンカーン、ローガン、パットナム、ローンの各郡に水道の使用中止の警告を出した。
(2014年1月12日 CNN)

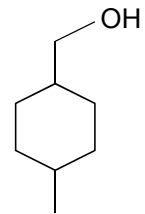


4-メチル-1-シクロヘキサノール

石炭の洗浄などに利用される物質。1mg/L以下で、異臭、吐き気、皮膚刺激などがあつたとされる。

今のところ日本で使用されているという情報は無い。

この物質の他にも類似の用途の物質が含まれていたとされる。



米国の公報マニュアルにおける「お知らせ」の必須構成要素

2) 判明した時期	2) 判明した時期 判明した時期は、公報に特記事項がある場合は、最初に記載してください。この場合、大規模なサンプリング検査を計画し、うち一部の検査で大規模な汚染が確認された場合、最早では、このような検査結果が許容範囲を超えて発生している可能性があります。	1) 超過項目の説明	1) 超過項目の説明 1) 超過項目の説明 2) 超過項目の説明
6) 利用者が取るべき行動	6) 利用者が取るべき行動 6) 利用者が取るべき行動 7) 潜在的な健康影響	5) 代替水利用の要否	5) 代替水利用の要否 5) 代替水利用の要否 6) リスクの高い人々
3) 潜在的な健康影響	3) 潜在的な健康影響 3) 潜在的な健康影響 7) 実施中の対策	4) リスクの高い人々	4) リスクの高い人々 4) リスクの高い人々 8) 解決までの予測期間
7) 実施中の対策	7) 実施中の対策 7) 実施中の対策 10) その他への連絡	8) 解決までの予測期間	8) 解決までの予測期間 8) 解決までの予測期間 9) 担当者の連絡先
10) その他への連絡	10) その他への連絡 10) その他への連絡	9) 担当者の連絡先	9) 担当者の連絡先 9) 担当者の連絡先

飲料水に関する重要情報
ジョージア・トレローノス飲用水の供給が大幅に減少しました。この通知は、公報に特記事項がある場合は、最初に記載してください。この場合、大規模なサンプリング検査を計画し、うち一部の検査で大規模な汚染が確認された場合、最早では、このような検査結果が許容範囲を超えて発生している可能性があります。

この水は飲用に用いてはなりません。もし緊急があった場合は、公報の24時間以内にお知らせください。大規模なサンプリング検査を実施し、うち一部の検査で大規模な汚染が確認された場合、最早では、このような検査結果が許容範囲を超えて発生している可能性があります。

この通知は、ジョージア・トレローノス公報から送付されたものです。

チャールストンの化学物質流出による水道の汚染

2014年1月9日に、エルク川沿いチャールストンの化学物質流出が生じ、カノワ・ヴァリー水道の汚染が起こっています。カノワ・ヴァリー水道全体がバトナムの郡のカノワ、ブーンおよび部分を含めて影響を受けており、水道水が汚染されている可能性が高いと考えられます。水質検査により、水中の汚染の存在が否定できない状況です。

何を行わなければならないですか。
水を使用しないでください。汚染の性質により、水をあらゆる目的に使用することが安全ではありません。すべての目的に水道水以外の水を使用してください。飲用、水作り、歯みがき、血洗い、入浴、調理および赤ちゃん用ミルク準備、その他のすべての目的にボトル水、あるいは別の安全な出所からの水を使用して下さい。現在の水道水利用目的は、水洗トイレおよび消防のみに制限されています。この制限は、エルク川沿いチャールストンの化学物質4-メチルシクロヘキサンメタノールの流出によります。アメリカンウォーターHPより仮訳(1/2)

National Institute of Public Health 26

何が行われていますか。

水質専門家が、原水・水道水の両方を監視しております。また、水道技術者が施設の洗浄を行っております。ウェストバージニアアメリカンウォーターは、水が安全に使用できる状態に戻ったと判断した際に通知します。より詳細には、1-800-685-****のカスタマーサービスにお問い合わせください。健康影響を低減させるガイドラインは1-800-426-****のEPA飲料水ホットラインで利用できます。

この水を飲用に用いているすべての人々にこの情報をお伝えください。特にこの通知を直接受け取りにくい人々、例えばアパート居住者、老人ホーム、学校および職場の方々にお伝えください。よく見える場所にこの通知を掲げたり、直接手渡しまたはメールによりコピーを配布してください。この通知はウェストバージニアアメリカンウォーターによって送られています。

ローラ・ジョーダン
Laura.Jordan@****.com
オフィス:304-340-****
携帯:304-932-**** www.westvirginiaamwater.com

アメリカンウォーターHPより仮訳(2/2)

National Institute of Public Health 27

水回りのしくみと水の流し方解説<抜粋>

下記について洗浄方法解説

- 製氷機...
- 作った飲料・ミルク...
- 食洗機...
- 流し...
- 洗濯機...
- 加湿器...
- 吸入器など...
- 風呂場...
- トイレ...
- 温水器...
- 浄水器...
- 軟水器...
- 海水淡水化ユニット...

アメリカンウォーターHPより

National Institute of Public Health 28

水を届ける際の圧力と施設 解説<抜粋>

PRESSURE ZONES: THE PROCESS OF LIFTING THE WATER BAN

科学院 大野氏提供
アメリカンウォーターHPより

National Institute of Public Health 29

給水再開 一カナワバレー 安全な給水エリア地図

January 14-15, 2014
アメリカンウォーター ホームページより抜粋

科学院 大野氏提供

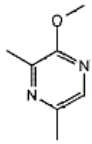
National Institute of Public Health 30

阿賀野川流域における異臭発生事例

H28年1~8月 阿賀野川を水源とする水道で異臭が発生し、新潟市、阿賀野市、新発田市、聖籠町、阿賀町で約100件苦情があり、長期間活性炭の注入を行い対応した。

流域の関係機関の連携により、福島県喜多方市の電気機械器具製造工場の排水中の2-メトキシ-3,5-ジメチルピラジン(MDMP)が原因と特定された。

MDMPは、2008年にスペインの水道水で異臭があった際の原因物質、2015年には米国CDCが航空機射出座席工場の異臭原因物質としている。野菜、ワイン、コーヒー等に含まれ、食品添加物でもあるが、主たる原因としては、加工液中の微生物により生成するとされ、金属加工等に意図的に利用される化学物質ではない。



2-メトキシ-3,5-ジメチルピラジン (MDMP)

水道水の臭いと味に関するお知らせ(例)

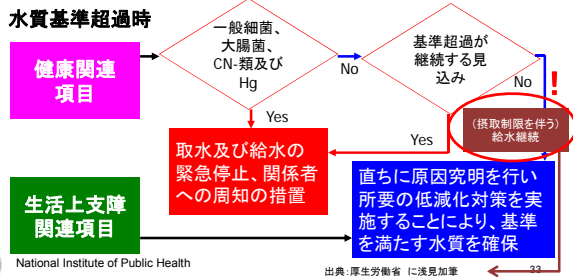
2月に入り、阿賀野川を水源とする区域(安田地区を除く阿賀野市全域および新発田市の一部)のお客様から「水道水がいつもと違う臭いや味がする。」とのお問い合わせをいただいています。原因は、阿賀野川上流域の水質変化によるもので、河川の水質が改善するまで続く可能性があります。現在、浄水場で臭いや味を取り除く浄水処理を強化して対応しています。なお、水道水は水質基準を満たしていますので、飲んでも安全です。(こは注意)

《阿賀野川を水源とする区域は地図のとおりです。》

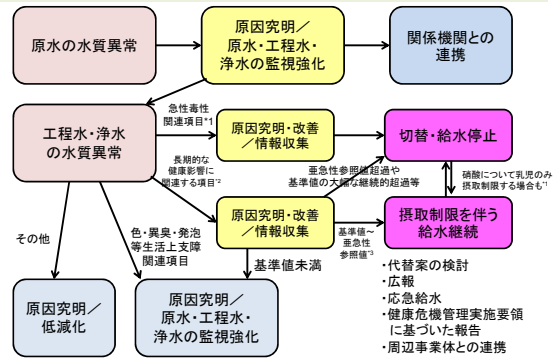


水質異常時の対応

水質検査の結果、水質基準を超えた値が検出された場合には、直ちに原因究明を行い、基準を満たすための必要な対策を講じること。なお、水質検査結果に異常が認められた場合に、確認のため直ちに再検査を行うこと。(H15.10水道課長通知)



水質事故時の対応スキーム(例)



亜急性参照値について

摂取制限を伴う給水継続を行う対象となる物質等としては、健康影響評価上の観点から、**長期的な健康影響をもとに基準値が設定されている物質(25物質)**について、一時的に基準値超過が見込まれる場合に行うことが可能。

しかし、これらの物質についても様々な状況を元に判断することが原則なので、一律の基準を設定するのは困難。一方で、**亜急性参照値**は、判断の際に有用な資料となりうることも考えられることから、平成25-27年度の厚生労働科学研究費補助金の研究課題である「水道における水質リスク評価および管理に関する総合研究」において、**短期的に基準値を少し上回った場合の参考となる指標値**として、亜急性曝露による健康影響評価値に相当する亜急性参照値を導出を試行。

平成28年度第1回水質基準逐次改正検討会(平成28年8月12日開催)

資料2: 亜急性参照値について(国立医薬品食品衛生研究所)より

亜急性参照用量とその設定根拠(抜粋)

項目	saRfD (µg/kg/day)	試験法(動物種)	エンドポイント	Point of Departure (mg/kg/day)	UF	
ホウ素及びその化合物	96	発癌毒性試験(ラット)	胎児重量低下、骨格変異増加	NOAEL	9.6	100
四塩化炭素	7.1	12週間強制経口投与試験(ラット)	肝臓:小葉中心性空胞変性等	NOAEL	0.71	100
1,4-ジオキサン	22*	2年間飲水投与試験(ラット)	肝細胞腫瘍	-	-	-
シス-1,2-ジクロロエチレン及びトランス-1,2-ジクロロエチレン	170	90日間飲水投与試験(マウス)	血清中ALP上昇	NOAEL	17	100
ジクロロメタン	60	104週間飲水投与試験(ラット)	変異肝細胞巣	NOAEL	6	100
テトラクロロエチレン**	4*	78週間強制経口投与試験(マウス)	肝細胞癌	-	-	-
トリクロロエチレン	1.46	生殖発生毒性試験(ラット)	胎児の心臓異常	BMDL ₁₀	0.146	100

亜急性参照値

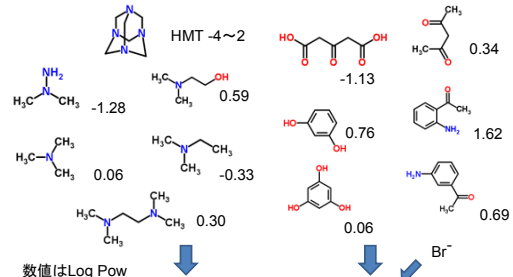
項目	基準値 (mg/L)	参照値 (mg/L)	
		成人	小児*
ホウ素及びその化合物	1	2 (2倍)	1 (1倍)
四塩化炭素	0.002	0.2 (100倍)	0.07 (35倍)
1,4-ジオキサン	0.05	0.5 (10倍)	0.2 (4倍)
シス-1,2-ジクロロエチレン及びトランス-1,2-ジクロロエチレン	0.04	4 (100倍)	2 (50倍)
ジクロロメタン	0.02	2 (100倍)	0.6 (30倍)
テトラクロロエチレン	0.01	0.1 (10倍)	0.04 (4倍)
トリクロロエチレン	0.01	0.04 (4倍)	0.01 (1倍)
ベンゼン	0.01	0.1 (10倍)	0.04 (4倍)
塩素酸	0.6	8 (13倍)	3 (5倍)
クロロ酢酸	0.02	1 (50倍)	0.4 (20倍)
クロホルム	0.06	2 (33倍)	0.7 (12倍)
ジクロロ酢酸	0.03	0.3 (10倍)	0.1 (3倍)
ジブロモクロロメタン	0.1	4 (40倍)	2 (20倍)
臭素酸	0.01	0.09 (9倍)	0.04 (4倍)
トリクロロ酢酸	0.03	0.2 (7倍)	0.06 (2倍)
ブロモジクロロメタン	0.03	1 (33倍)	0.4 (13倍)
ブロモホルム	0.09	5 (56倍)	2 (22倍)
ホルムアルデヒド	0.08	13 (163倍)	5 (63倍)

この表は括弧内の数値は基準値に対する比率（参照値÷基準値）
ここに示した亜急性参照値は、研究結果に基づいた公的な指標値等に相当するものではない。この参照値は現
場において使用可能な指標値として活用し、今後、リスク評価に関する新たな知見により変更する可能性がある。また、
実際の運用にあたっては、化学物質の物理化学的性状が利水に及ぼす影響や他法令による指標値との整合性を考慮して参照する
ことが必要である。



37

浄水処理対応困難物質の構造と物性



ホルムアルデヒドを生成

トリハロメタンを生成



National Institute of Public Health

<国立保健医療科学院> 38

過去に水質事故の原因となった物質等

物質等	浄水処理における障害等
テタン酸バリウム	白濁の可能性
アクリルアミド(モノマー)	要検討項目の目標値超過
ステレン	要検討項目の目標値超過
有機すず化合物	要検討項目の目標値超過
過塩素酸類	要検討項目の目標値超過
パーフルオロオクタンスルホン酸(PFOS)	発泡に伴い検出
パーフルオロオクタン酸(PFOA)	毒性の懸念
ナフタレン	臭気
フェニルメチルエーテル	
イソ吉草酸メチル	
エチルアルコール	塩素と反応し強い臭気
3,5-ジメチルピラゾール	
シクロヘキシルアミン	



39

過去に水質事故の原因となった物質等

物質等	浄水処理における障害等
アクリル酸2-エチルヘキシル	臭気、油膜等を形成する可能性
ポリアクリル酸ブチル	表面膜等を形成する可能性
アンモニア類	塩素消費量増加
アミン類	
チオ硫酸ナトリウム	
スルファミン酸	
硫酸アルミニウム(硫酸バンド、LAS)	pHや凝集条件変化の可能性
水酸化ナトリウム	pH上昇
硫酸ピッチ(硫酸、タール、油分、強アルカリ)	臭気、油膜等を形成する可能性、臭
ポリプロピレングリコール(プロピレングリコール重合体)	発泡
セメント灰汁	pH異常
蛍光染料、染料	色度超過
油類	臭気異常
香料	臭気異常



40

留意点 1



- 単に基準を超過した水を給水してもよいという観念の通知ではない。
- 水質異常が発生した場合、その原因、影響範囲、影響期間を考慮して対応を判断しなくてはならないので、検出濃度で一律に線引きすることは困難。
- 亜急性参照値を大きく超えるようなことがあれば、給水は停止せざるを得ないのでは。
- 多少不確定でも、厚生労働省に一報いただいた方がいいのでは。（他からも協力できる）
- これまで発生した事象例では、当初原因が分からず、原因究明が必要であった。
- 厚生労働省から環境省に協力要請し、原因究明を実施した例もいくつかある。環境部局には立ち入り権限。



National Institute of Public Health

41

留意点 2



- ボトムアップで情報を上げていく間は間に合わない場合もあるため、トップだけの意思決定も想定が必要。
- 継続、停止だけでなく使用量抑制も考えられる。
- 水道局単独での水質事故対応は難しく、衛生部局や健康部局、環境部局に素早く連絡が届く体制が重要。特に衛生・健康部局とは、早期に情報交換を行い、連携体制を構築しておいた方がよい。
- 市民が特に興味があるのは、「健康影響」と「どのくらいで終息するのか」→わかりやすい広報が重要。
- マスコミへのプレスリリースよりHP、関係部局への連絡。
- 安全宣言は慎重に。
- 水質検査において、原因調査は迅速性が最優先。



National Institute of Public Health

42

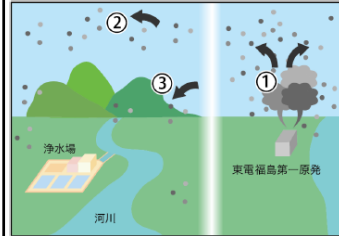
4. 東日本大震災時の放射性物質の放出事故



National Institute of Public Health

43

東電福島第一原発の事故発生直後の影響メカニズムの概念図①～③



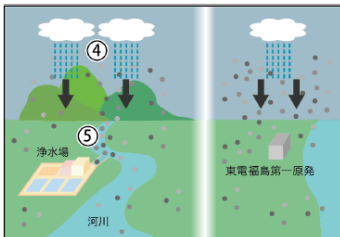
- ①事故発生直後から10日間程度の比較的短期間に、東電福島第一原発から大気中へ放射性物質が大量に放出。
- ②大気中に放出された放射性物質が、揮発性の高い物質を中心に、風により大気中を移流・拡散。福島県内や関東地方に飛来。
- ③大気中へ拡散した放射性物質の一部が地面表層へ降下（乾性沈着）。

水道水における放射性物質対策中間取りまとめ、平成23年6月。
 水道水における放射性物質対策検討会（厚生労働省水道課ホームページ）



44

東電福島第一原発の事故発生直後の影響メカニズムの概念図④～⑤



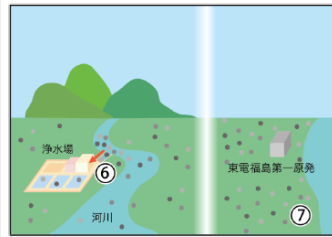
- ④事故発生から10日間程度の期間内の降雨により、大気中の放射性物質が地面表層に大量に降下（湿性沈着）。
- ⑤降雨前の乾性沈着及び降雨時の湿性沈着により地面表層に降下した放射性物質が、雨水とともに短期間に河川に流出。

水道水における放射性物質対策中間取りまとめ、平成23年6月。
 水道水における放射性物質対策検討会（厚生労働省水道課ホームページ）



45

東電福島第一原発の事故発生直後の影響メカニズムの概念図⑥～⑦



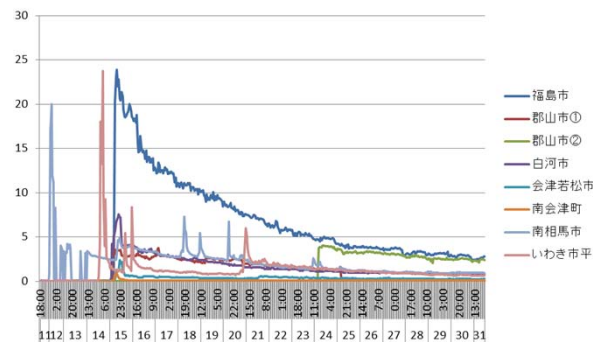
- ⑥放射性物質を含む河水が水道原水の取水口に入流。一部の水道事業者等の浄水場や給水栓から放射性物質が検出。
- ⑦地面表層に降下した放射性物質が土壌等に吸着し残留。放射性セシウムは地下に容易には浸透せず地面表層に残留。

水道水における放射性物質対策中間取りまとめ、平成23年6月。
 水道水における放射性物質対策検討会（厚生労働省水道課ホームページ）



46

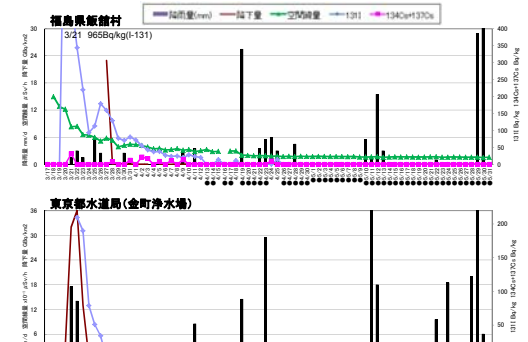
福島県内7方部 環境放射能測定結果

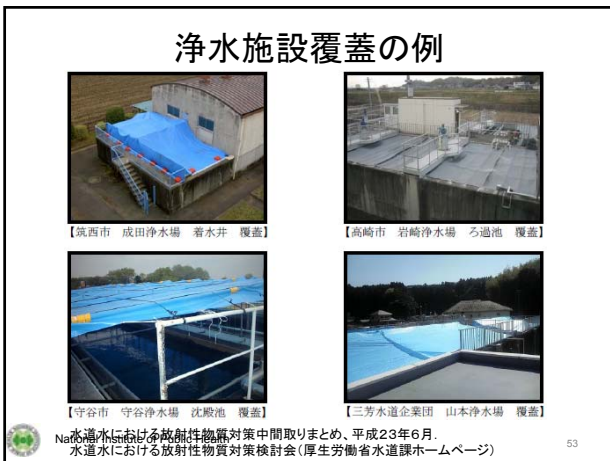
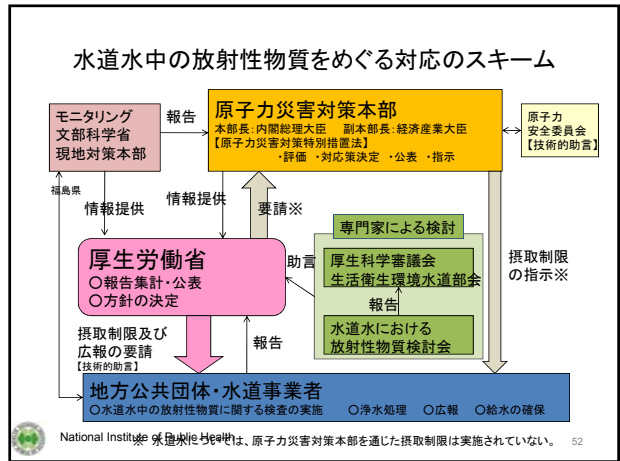
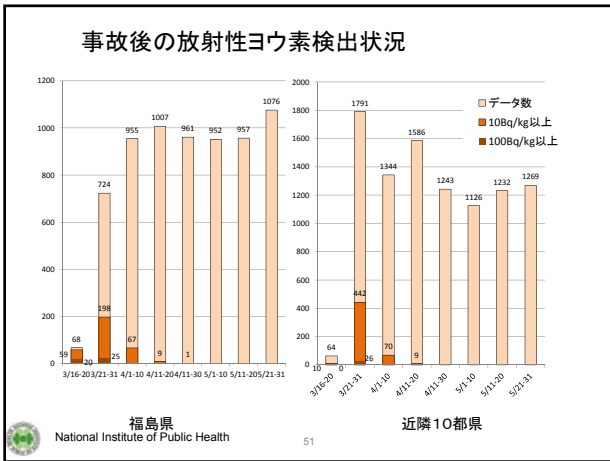
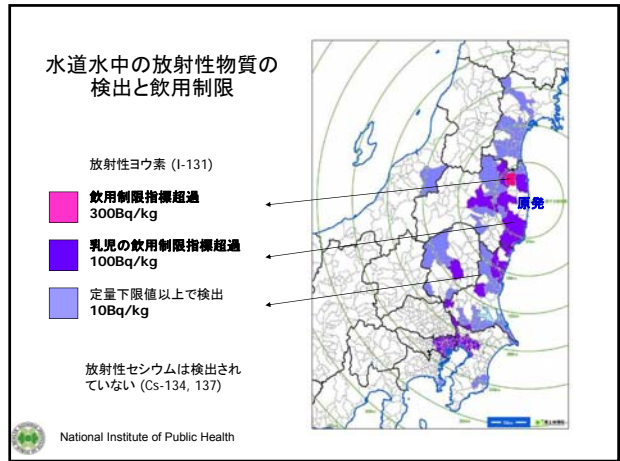
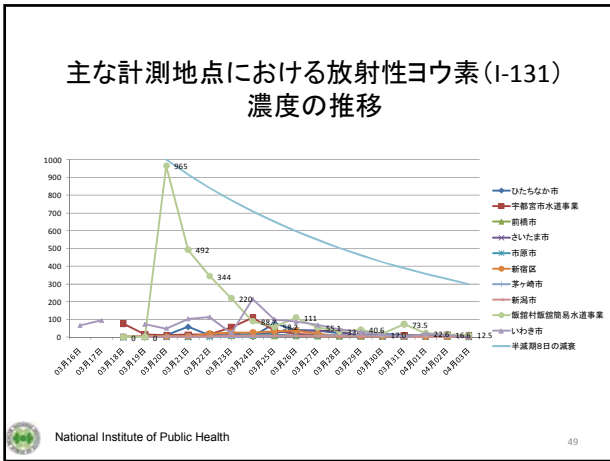


環境放射能測定結果の作成日（測定日） 単位: $\mu\text{C}/\text{h} = \mu\text{Sv}/\text{h}$ (マイクロレ/時間 = マイクロシーベルト/時間)



摂取制限が行われた水道事業者等の検査結果



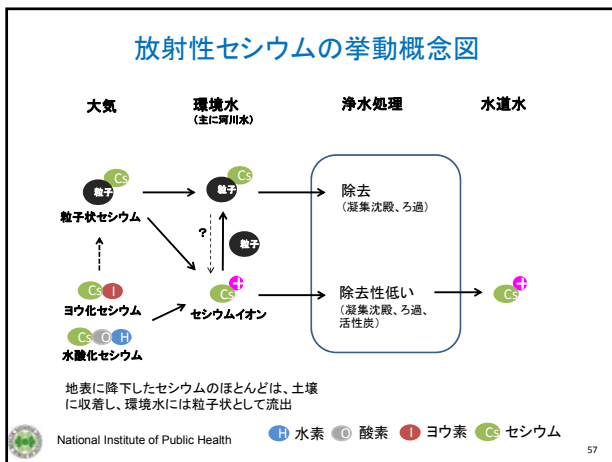
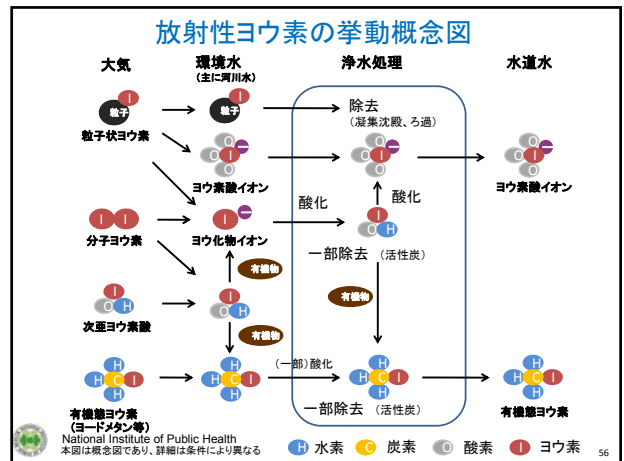
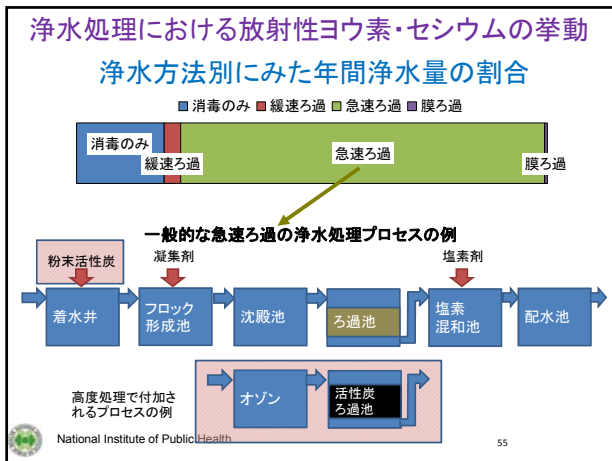


各浄水プロセスにおける放射性物質の除去性の概要

原水の条件、実験条件により大きく差が生じるため、表の適用には十分注意のこと。

元素	水道の浄水処理で適用されている技術				浄水器や限定的な条件で適用される場合がある技術			
	凝集沈殿	砂ろ過 (急速・標準)	精密ろ過 限外ろ過	活性炭 (多くの場合ろ過を含む)	ゼオライト (粘土成分)	イオン交換 (混合媒体)	ナノろ過	逆浸透
ヨウ素* (I)	++	++	*	~*	++	+++	**	++++
セシウム* (Cs)	++	++	**	~*	+	+	+	++

+ = 0~10%
 ++ = 10~40%
 +++ = 40~70%
 ++++ = 70%以上
 * = 除去が困難か (水中の存在形態・物性による推測 筆者ら追加)
 ~ = 溶解性の元素で実験が行われていない
 + = 溶解性の元素で実験が行われていないが、浄水器等の浄水処理で条件が揃えば除去される可能性がある

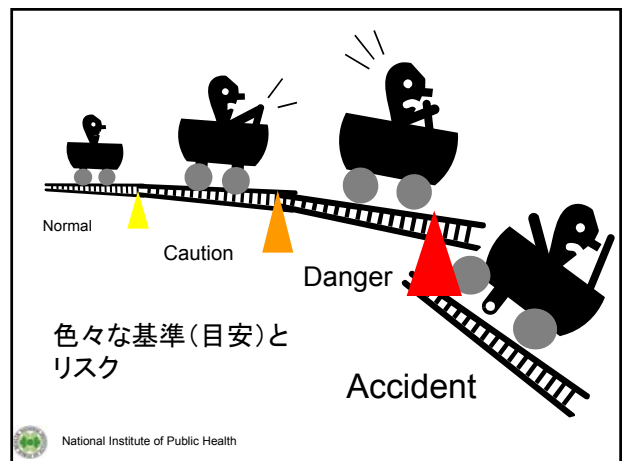
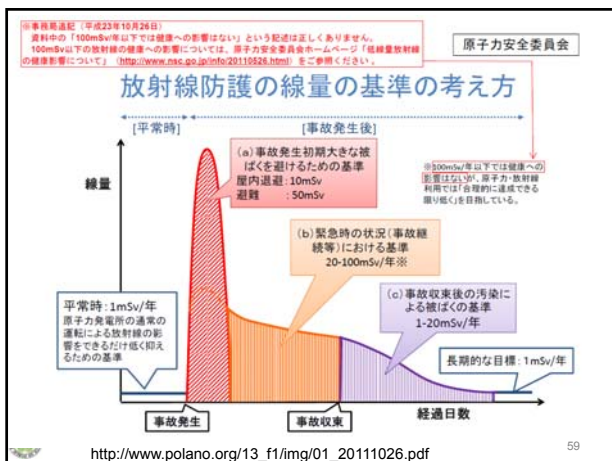


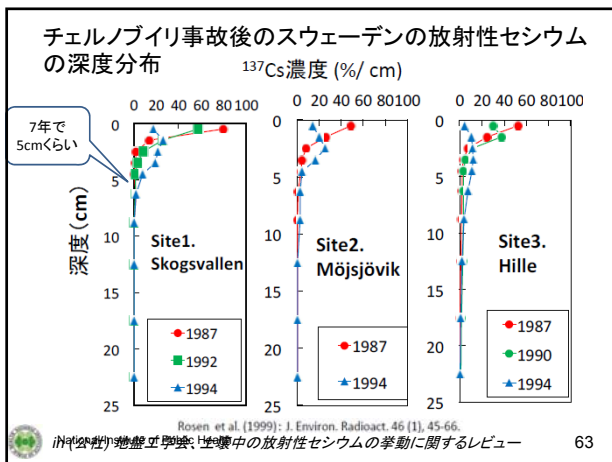
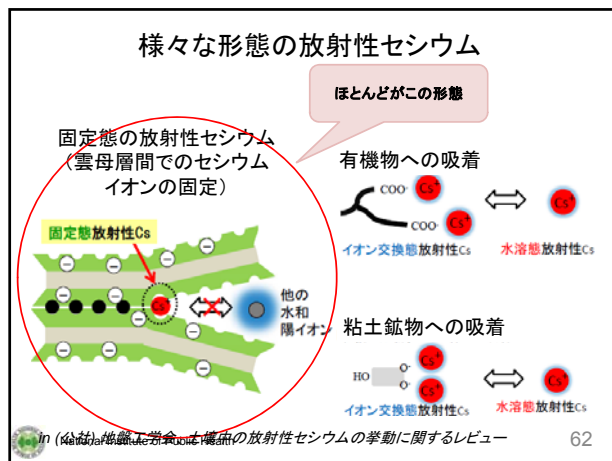
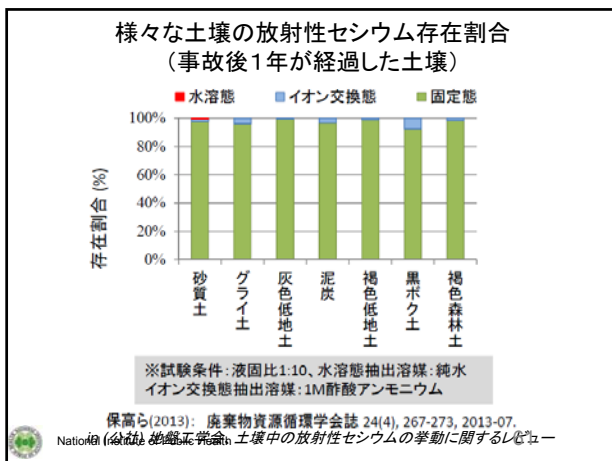
飲料水における放射性ヨウ素131のガイドラインのレベル

ガイドライン名	水中における最大放射能 勧告レベル (ベクレル/リットル)
WHO飲料水水質ガイドライン	10
日本の暫定(非常時)指標値 (乳児)	100
日本の暫定(非常時)指標値 (大人)	300

http://www.polano.org/13_f1/img/01_20111026.pdf から抜粋

58





放射性セシウム 画期的吸着剤開発!!

放射性セシウムを99%以上吸着し、ほとんど離しません!!

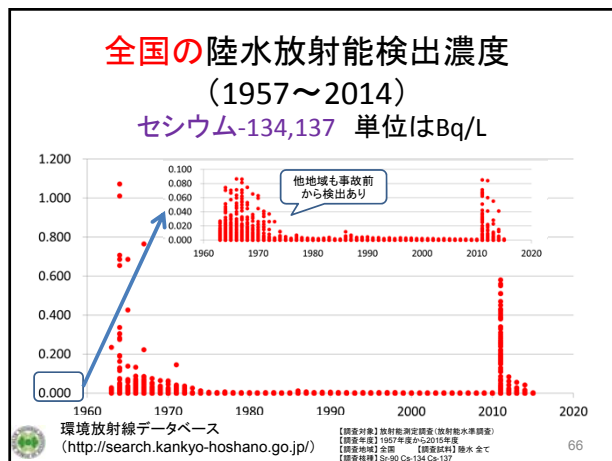
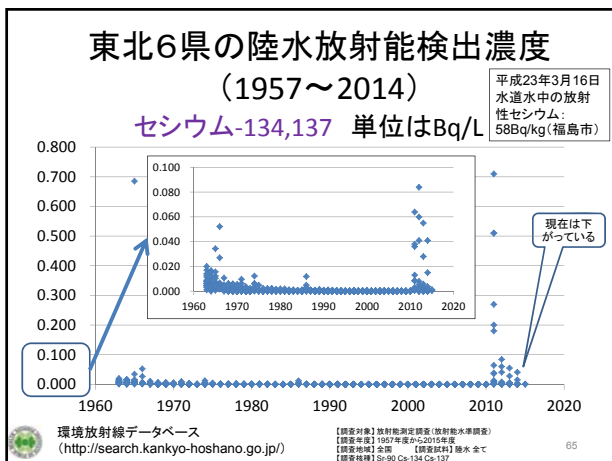
環境への影響が極めて少ない天然素材。

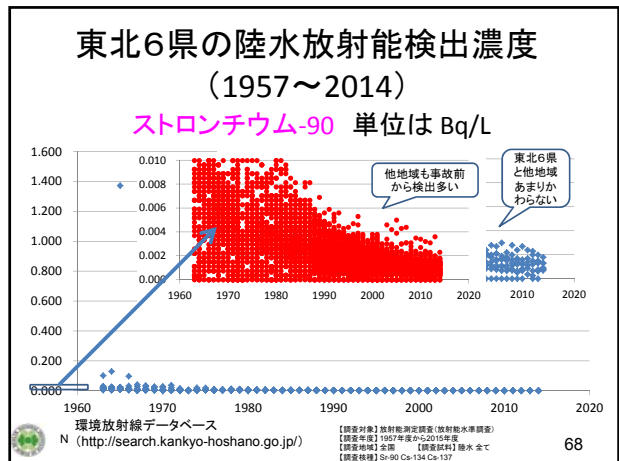
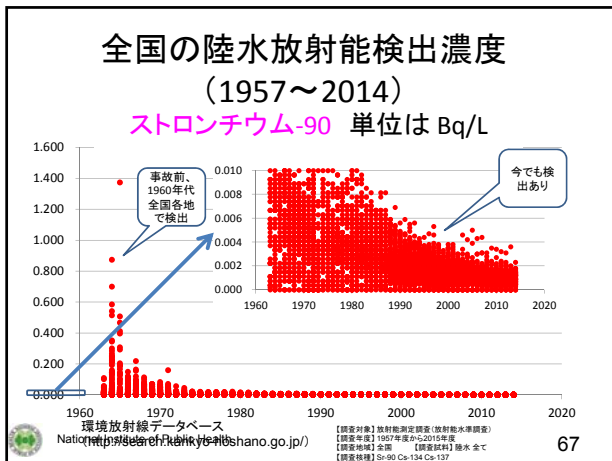
森林やダムにも散布可能で、生態系も壊しません。

浸透も年間1cm程度に!! お手頃価格で提供いたします。

実はもともとの土がその役割を果たします!!

National Institute of Public Health 64





リスク認知: 客観的リスクvs主観的リスクのずれ

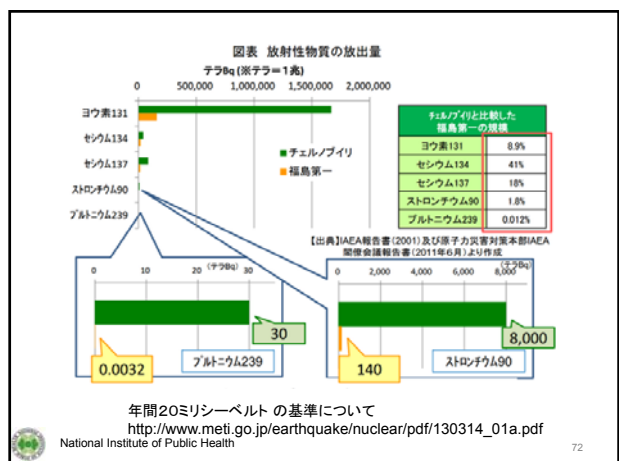
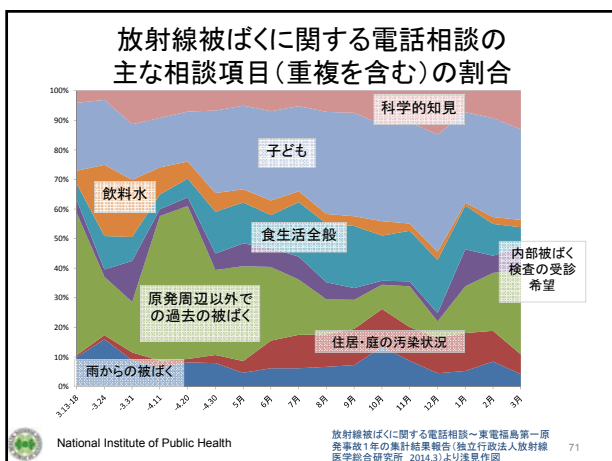
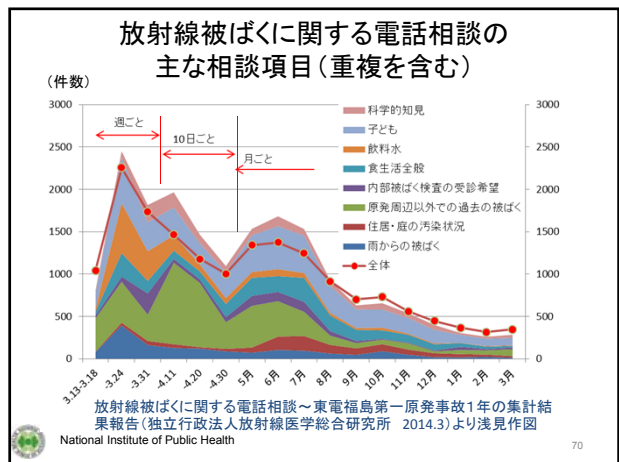
リスクが実際より大きく見積られる傾向があるできごと

- リスクの負担が不公平
- 非自発的(自分からやろうとしたことではない)
- 悪い影響の及ぶ範囲が広い
- 一度に多くの被害者が出る(規模が大きい)
- 次世代に影響を及ぼす
- 人為的
- 新しいタイプ
- リスクがどうやって発現するかが見えにくい

そのずれは、未知なもの、子孫への影響が及ぶもの、負担が不公平なものなどにより顕著に表れる。また受動的なものに比べ、自ら選んだもの場合には、1000倍もの大きいリスクを受け入れるとも言われる。

内閣府原子力安全委員会・安全目標専門部会「原子力は、どのくらい安全なら十分なのか」平成14年7月 69

国立保健医療科学院 National Institute of Public Health



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

雑誌（査読無し）

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
浅見真理, 大野浩一	水質異常時における摂取制限を伴う給水継続 ～ 不可避な場合のリスク管理～	水道	61 (5)	16～29	2016

