

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、水道事業者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、水道事業者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いることがあり、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違うため、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。

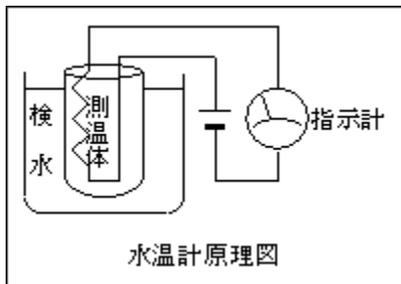
(5) 主な水質計器の原理と特徴

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。

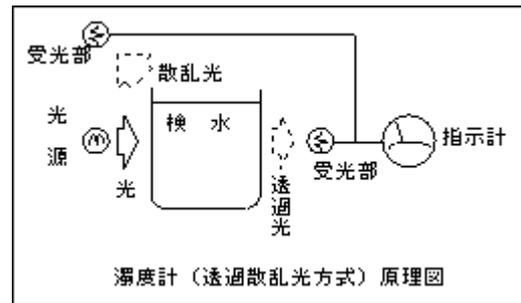
透過散乱光・レーザー方式(高感度濁度計)

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

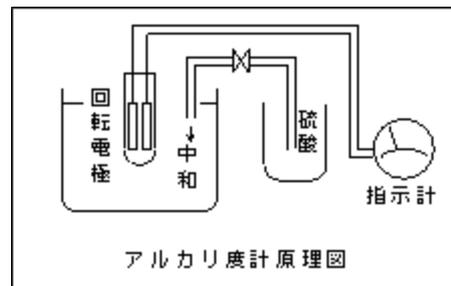
水中に含まれる炭酸水素塩、炭酸塩又は水酸化物などのアルカリ分を、これに相当する炭酸カルシウムの量で表したもの。

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

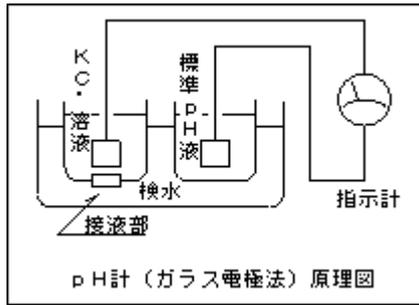


4) pH 計

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。

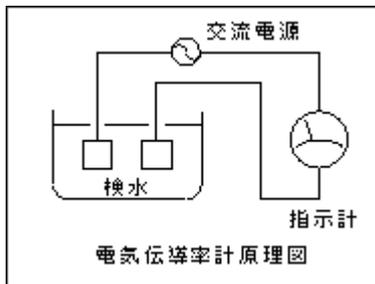
- ✓ 測定箇所：原水、沈澱水、ろ過水及び浄水
- ✓ 測定原理：ガラス薄膜電極の両側に異なった2種の溶液があると、pH の差に比例した起電力が発生することを利用したものである。
- ✓ 測定範囲：4～10（単位：－）



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。

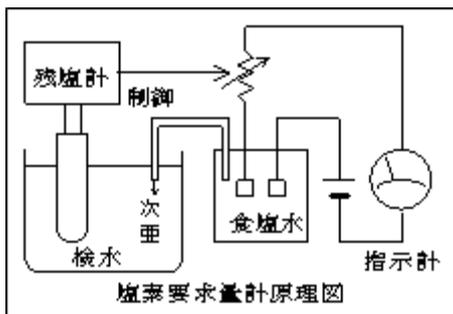
- ✓ 測定箇所：原水、浄水及び給水栓水
- ✓ 測定原理：一对の電極を使用し、その電極間の溶液抵抗を測定することで、電気伝導率を求めるものである。
- ✓ 測定範囲：0～500 $\mu\text{S}/\text{cm}$



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。

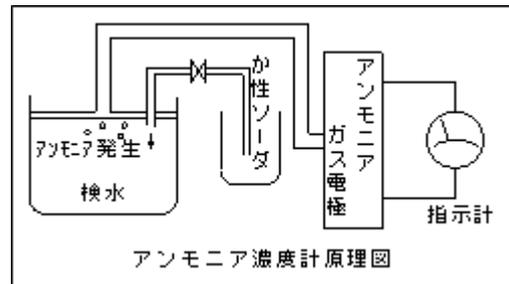
- ✓ 測定箇所：原水及び沈澱水
- ✓ 測定原理：食塩水を電気分解し次亜塩素酸ナトリウムを生成して、検水に注入する。所定の時間接触後の残留塩素が一定となるように、電解電流を調節する。この電流を変換したものが塩素要求量となる。
- ✓ 測定範囲：0～10、0～20、0～40 mg/L



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 (NH_3) 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

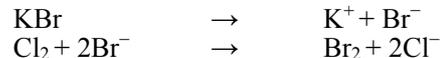
水中の残留塩素を測定し、塩素処理やろ過池のマンガン砂を保持するための指標とする。

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。

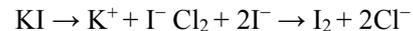


この反応で遊離した臭素を電極により電解還元することで、このときに流れる電流を利用して遊離残留塩素濃度を測定する。

〔全残留塩素（遊離＋結合残留塩素）〕

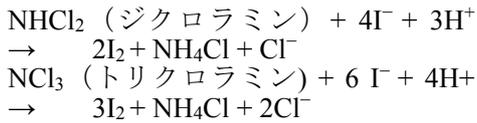
試薬（ヨウ化カリウム [KI]）は検水中で電離し、さらに遊離及び結合残留塩素と次のように反応する。

（遊離残留塩素）



（結合残留塩素）



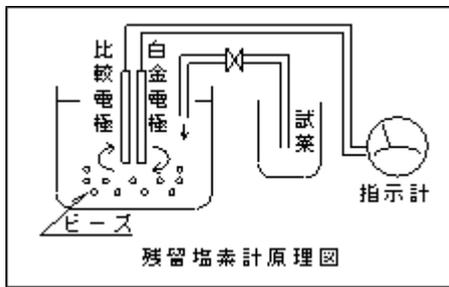


無試薬式：固定電極式ポーラログラフ方式

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

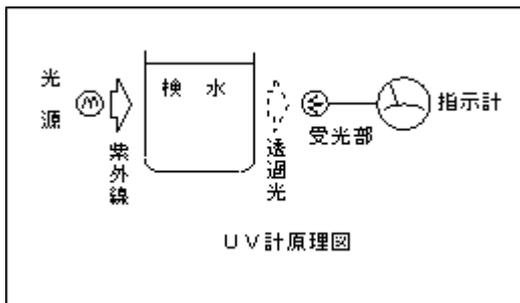


9) UV 計

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。

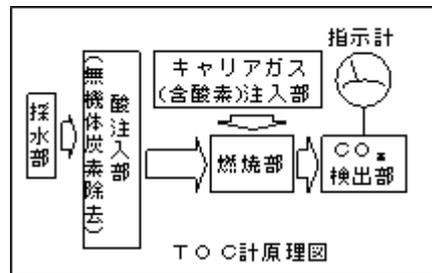
- ✓ 測定箇所：高度浄水プロセス（オゾン接触池入口及び出口、活性炭吸着池出口）
- ✓ 測定原理：低圧水銀ランプから出る波長 254 nm の紫外線光を検水の流れる石英製の槽（セル）に透過させ、吸収される紫外線の度合いを吸光度で表したものである。
- ✓ 測定範囲：0～1 (Abs/Cell)



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

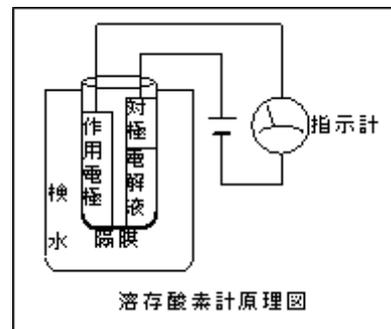


11) 溶存酸素計 (DO メータ)

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

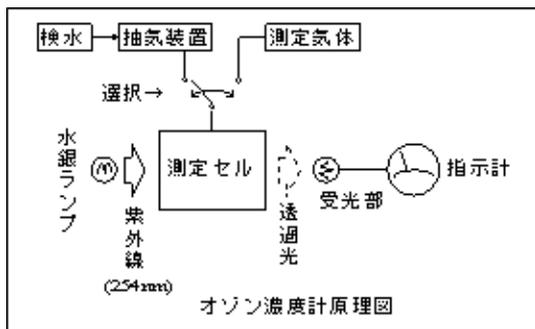


12) オゾン濃度計

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。

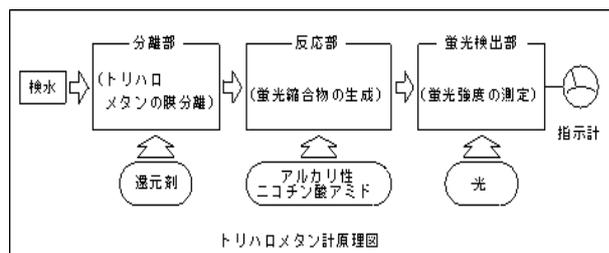
- ✓ 測定箇所：高度浄水プロセス（オゾン接触池入口及び出口）
- ✓ 測定原理：紫外線の吸収量からオゾン濃度を求めるものである。
- ✓ 測定範囲：0～1、0～2 mg/m³、0～10、0～40 g/m³



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解し、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



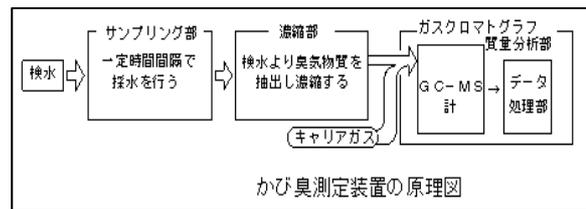
14) 連続カビ臭測定装置（カビ臭センサー）

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のもも採用されている。

(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	: 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 →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	-
		ろ過池	
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

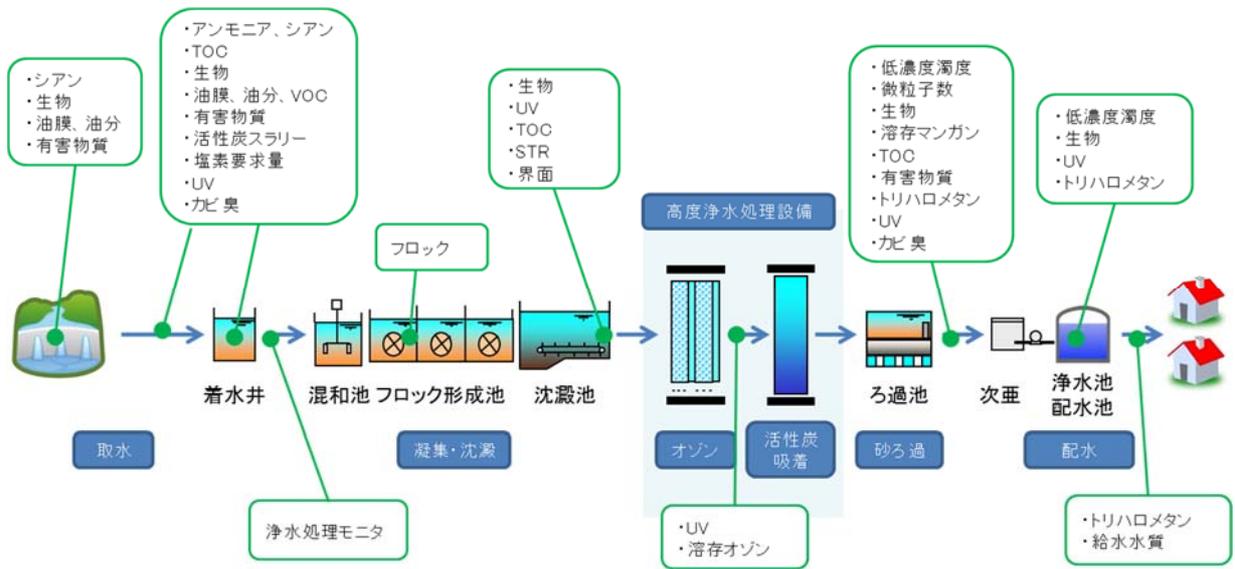


図1 浄水フローにおける測定成分の分布
 ※濁度、pHなどの基本水質項目は除く

