

〈論文〉

ハロ酢酸の低減に向けた浄水処理制御方法の設定と実運用

大 方 正 倫¹⁾, 西 川 智 士¹⁾, 門 野 薫¹⁾, 三 田 村 良 典¹⁾

¹⁾滋賀県企業庁浄水課 (〒524-0201 野洲市吉川 3382 E-mail: okata-masanori@pref.shiga.lg.jp)

概 要

消毒副生成物であるハロ酢酸の水道水質基準が平成27年4月から強化された。それに伴い水質基準超過が懸念される浄水場において、ハロ酢酸の低減化を目的とした浄水処理制御方法を設定し、実運用を行ってその効果を検証した。ハロ酢酸生成能を対象とした雨天時実態調査やジャーテストの結果から、原水の紫外線吸光度を指標とし、前塩素や粉末活性炭の注入制御を行うことが適当であると導き出した。その運転制御方法を実際に浄水処理に適用した結果、水道水のハロ酢酸濃度を独自の管理目標以下に概ね制御できており、ハロ酢酸の低減化達成を実証することができた。

キーワード：浄水処理, ハロ酢酸, 紫外線吸光度, 管理基準, 粉末活性炭

原稿受付 2016.5.9 原稿受理 2016.7.20

EICA: 21(2・3) 73-80

1. はじめに

1.1 水道水の水質管理

(1) 水道水質基準とその逐次改正

水道水の安全性を確保し、水道水として備えるべき性状を確保するために、水道水質基準が定められている。現在のところ、51項目が設定されている¹⁾が、水質基準は必要に応じて逐次改正されることとなっており²⁾、近年はほぼ毎年改正がなされている。直近では、平成27年4月に消毒副生成物であるジクロロ酢酸とトリクロロ酢酸の水質基準が改正され、いずれも「0.03 mg/L 以下」に強化された³⁾。特にトリクロロ酢酸の水質基準値については、改正前の0.2 mg/L から1桁低くなり、大幅な強化となった。この基準強化によりトリクロロ酢酸については、全国約6,000の浄水場のうち、0.5% (30箇所)程度で基準超過が懸念され、5% (300箇所)程度で基準の50%を超過する可能性がある⁴⁾。このような逐次改正に迅速に対応するために、水道事業体は日頃から最新の情報や知見を収集し、必要な調査検討に取り組むことが重要であると考えられる。

(2) 水安全計画の運用

水の安全性をより一層高めるためには、水源から給水栓までの統合的な水質管理が重要であり、厚生労働省により「水安全計画」の策定が推奨されている⁵⁾。水安全計画とは、水源から給水栓に至る各段階で危害評価と危害管理を行い、それに対する監視や対応計画をあらかじめ作成するというものである⁶⁾。滋賀県企業庁(以下、当庁という)でも、平成25年に水安全計画を策定し、運用している⁷⁾。

水安全計画の重要な構成要素の1つに「管理措置」(=運転管理の計画)の設定があり、管理措置が機能しているかどうかを判断するために、「管理基準」(=水質管理目標あるいは対応措置の発動要件)を設定する。実運用上は、水質基準を満足するために、余裕を持たせて(=水質基準よりも厳しく)管理基準を設定し、浄水処理の制御を行うこととなる。管理措置や管理基準は、実績データや経験的内容等も加味し、各浄水施設の実情に応じて「適切に」設定することとされ、具体的な設定方法が見えづらい。それゆえに、浄水処理にあたる現場では、管理措置や管理基準の設定が難点となっている⁸⁾。本取組みでは、浄水のハロ酢酸濃度を決定するパラメータとして「原水のハロ酢酸生成能」と「処理での生成能低減率」の2つに注目し、これらを実際の原水を用いて取得して管理基準を設定しているが、このように設定プロセスを明らかにし、管理基準に合理性を持たせることも必要であると考えられる。

1.2 消毒副生成物とその制御

飲用可能な水とするために消毒がなされるが、浄水処理過程で消毒剤の塩素と水中の有機物とが反応すると、消毒副生成物が生成する。代表的な消毒副生成物のグループとしては、トリハロメタンとハロ酢酸が挙げられる。ハロ酢酸のうち、クロロ酢酸、ジクロロ酢酸、トリクロロ酢酸の3項目が平成16年4月から水質基準項目となっている。

消毒副生成物の制御方法としては、生成抑制(前駆物質除去や塩素注入制御等)と生成物除去の2つがある⁹⁾。消毒副生成物の生成因子として、有機物(前駆物質)濃度、塩素との接触時間、水温等が挙げられ

る¹⁰⁾。したがって、消毒副生成物の生成抑制のための浄水処理制御上のポイントは、「水中の有機物濃度をできる限り下げた後から塩素注入する」ことであると考えられる。ハロ酢酸の生成抑制については、過去に（ハロ酢酸が水質基準に追加される直前の時期を中心として）調査研究がなされ、処理方法やその抑制効果についての知見は整理されている¹¹⁾。その一方で、それら処理技術を浄水施設に取り入れて実運用するにあたり、個々の原水や浄水施設の状況に応じた制御方法やその設定過程を具体的に報告した例は少ない。浄水でハロ酢酸の管理目標を定め、浄水のハロ酢酸濃度に応じて対策を講じている事例はある¹¹⁾ものの、処理の前段である原水の水質に応じて対策を講じている例はごく限られる¹²⁾。水質変動が比較的短時間（時間・日単位）で生じる場合には、原水水質に応じてより迅速に対応することが求められる。本取組みでは、原水水質変動により迅速に対応すべく、原水水質に応じた制御監視方法（代替指標の選定やその基準値設定）を検討した。

1.3 当庁が抱えるハロ酢酸の問題（水質現況の把握）

当庁の水道用水供給事業では、琵琶湖水または河川水を原水とする複数の浄水場から、市町に水道水を供給している。このうち河川水を原水とする A 浄水場では、特に「水温が高くなる夏期」に「降雨により原水水質が悪化する」と、水道水のジクロロ酢酸およびトリクロロ酢酸の濃度が一時的に水質基準程度まで高くなることがわかってきた（Fig. 1 に過去 5 年間の浄水（浄水場出口水）のハロ酢酸濃度の年間推移を示す）。なお、以下では、ジクロロ酢酸とトリクロロ酢酸の 2 項目を指してハロ酢酸という。

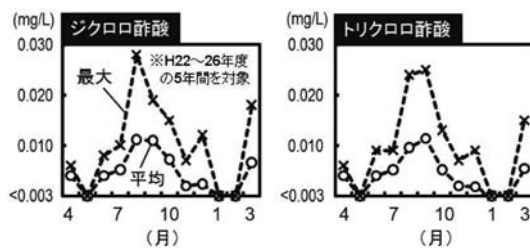


Fig. 1 The seasonal variation of haloacetic acid concentration in treated water at drinking water treatment plant (DWTP) A

(1) 濃度レベル

平成 24, 25 年の夏期の降雨時において、供給水（受水市町への受け渡し地点である配水池の水）のジクロロ酢酸が平成 27 年 4 月改正後の水質基準である 0.03 mg/L を超過しており、かつ、当該検出値はいずれも水道統計^{13,14)}において全国ワースト 1 桁である。

このため、早急にハロ酢酸の低減化を進める必要があった。なお、原水のハロ酢酸生成能は、晴天時の水質が安定している場合には、ハロ酢酸の水道水質基準 (0.03 mg/L) 未満であるが、降雨時には、ハロ酢酸の水道水質基準の 10 倍程度に達することもある (Fig. 2 および Fig. 6 参照)。

(2) 濃度上昇の期間

降雨時の原水水質悪化は概ね 1, 2 日程度で終息し、それに対応する形で水道水のハロ酢酸の濃度上昇も同様に終息する。Fig. 2 にその一例を示すが、日単位ではなく時間単位で濃度変動が生じる。浄水処理工程での水の滞留時間（約 11 時間）を考慮すると、浄水（浄水場出口水）のハロ酢酸あるいはその他の水質項目の濃度上昇を確認してから浄水処理上の対応を取っていたのでは遅い。したがって、浄水場の入口である原水の水質に応じた迅速な対応が重要であると考えられた。

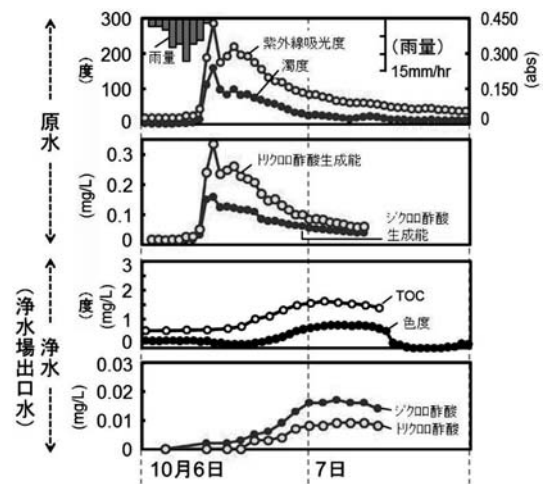


Fig. 2 The water quality variation in raw water and treated water of DWTP A at rainfall event (October 6th and 7th, 2014)

2. 本取組みの構成

平成 27 年 4 月からのハロ酢酸の水質基準強化に対応するため、当庁の A 浄水場ではそれまでにハロ酢酸低減化対策方針を決め、実行することが求められた。「降雨による原水水質悪化時のごく限られた期間（1, 2 日程度）のみ対策が必要」という A 浄水場の状況に応じた処理方法の選択とその適用タイミングの見極め、つまりは制御方法の確立が喫緊の課題であった。

そこで、A 浄水場においてハロ酢酸を低減化することを目的として、2 年間にわたり取組みを進めた。まず、1 年目（平成 26 年度）に浄水処理対策方法の検討を行い、原水水質に応じた浄水処理の運転制御方法を設定した。そして、2 年目（平成 27 年度）に A 浄水場で対策を実行し、その効果を検証した。以下に

その概要を示す。なお、この取組みでは、ハロ酢酸とともにトリハロメタンについても考慮した。

2.1 管理目標と制御方法の設定 (平成 26 年度)

(1) 管理目標の設定

他の浄水場の水質レベルや送配水過程での濃度上昇を考慮して、水道水のハロ酢酸濃度の管理目標を設定した。他の浄水場の水質レベルとは、国内のほとんどの浄水場で満足しているレベルとして、水道統計より全浄水場の給水栓水等の年間最大値で累積頻度 90% の値を参考にした¹⁵⁾。この管理目標は、水安全計画における管理基準としても位置付けることとした。

(2) 浄水処理制御方法の設定

まず、浄水処理対策については、前述の「水中の有機物濃度をできる限り下げた後から塩素注入する」という原則を鑑み、既存の浄水施設に大幅な変更を加えない方法として次の2つを採用することとした。

① 塩素注入点の変更

(前塩素から中間塩素処理への変更)

② 粉末活性炭処理

ハロ酢酸前駆物質を凝集沈殿処理でできる限り除去した後に、ろ過池流入前で塩素を注入することで、ハロ酢酸の生成を抑制することを目指した。凝集沈殿処理での前駆物質除去が不十分な場合には、原水に粉末活性炭を注入し、前駆物質を吸着除去しておくことで、生成抑制の効果をさらに高めることとした。

次に、それらの制御方法については、代替指標による制御を検討した。すなわち、原水の「どの水質項目」が「どれくらいの値」を超えたら「どうする (上記①②を実行する)」のかを設定することを試みた。Fig. 3 に浄水処理フローに沿って取組み内容を示した。なお、消毒副生成物前駆物質の代替指標としては過マンガン酸カリウム消費量、全有機炭素 (TOC)、紫外線吸光度等があるが、原水水質により相関の有無が異なるため、個々の原水を用いてこれら指標と消毒副生成物との関係を検証し、適切な指標を選択することが重要であるとされる¹⁶⁾。そこで、A 浄水場の原水を用いた調査検討により代替指標を選定した。

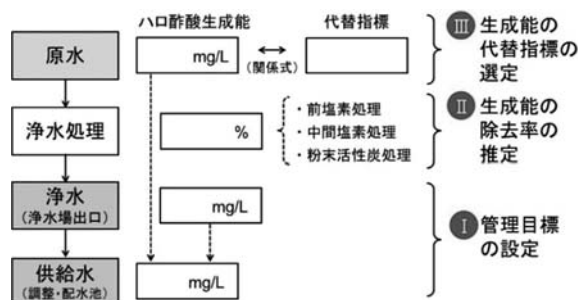


Fig. 3 Establishment procedure of the control measures for the reduction of haloacetic acid

2.2 実浄水場への適用とその効果検証 (平成 27 年度)

上記 2.1 で設定した浄水処理制御方法を A 浄水場に適用し、水道水のハロ酢酸を測定することで、その効果を検証し、設定条件の妥当性を評価した。

3. 方法

3.1 対象浄水場

河川水を原水とする当庁の A 浄水場を対象とした。A 浄水場の平均送水量は約 23,000 m³/日、処理方式は急速ろ過方式 (PAC による凝集沈殿) である。A 浄水場の処理フローを Fig. 4 に示す。導水施設において粉末活性炭を注入可能であり、農繁期 (4 月下旬から 6 月上旬) には臭気や農薬対策として連続注入している (3 mg-dry/L 程度、平常時は無注入)。塩素注入に関しては、平成 26 年度までは、平常時は中間塩素処理とし、原水濁度が 20 度を超過した場合のみ前塩素処理に切り替えていた (アンモニア対策としての残留塩素管理が目的)。水の滞留時間は導水 (導水施設～着水井) 約 4 時間、浄水 (着水井～浄水池) 約 11 時間、送水 (浄水池～最遠方の調整池兼配水池) 20 時間である (いずれも 6～10 月の平均値)。なお、緊急連絡管により当庁の他の浄水場から水道水の相互融通が可能である。

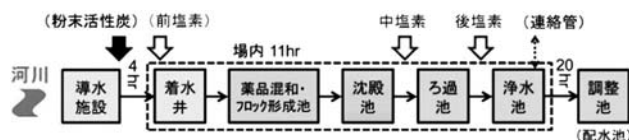


Fig. 4 The treatment process of DWTP A

3.2 対象物質および分析方法

ハロ酢酸とともに総トリハロメタンも分析対象とした。ハロ酢酸は溶媒抽出-誘導体化-ガスクロマトグラフィー質量分析計による一斉分析法または液体クロマトグラフィー質量分析計による一斉分析法、総トリハロメタンはパージ・トラップ-ガスクロマトグラフ質量分析計による一斉分析法によりそれぞれ測定した¹⁷⁾。ハロ酢酸および総トリハロメタンの生成能試験は基本的に上水試験方法¹⁸⁾に従った (試料の塩素処理の設定条件: pH7, 温度 20℃, 反応時間 24 時間)。

3.3 調査方法 (平成 26 年度)

(1) 生成能の除去率の推定 (ジャーテストによる)

前塩素処理, 中間塩素処理 (=前塩素注入停止), 粉末活性炭処理 (=粉末活性炭注入+中間塩素処理), の3種類の処理方法によりジャーテストを実施した。

中間塩素処理では、原水にPACを注入後、急速攪拌2分および緩速攪拌15分を行い、静置10分後の上澄み液を処理水とした。PAC注入率は原水採水時における浄水場での実際の注入率に設定した。前塩素処理では塩素注入率1.2 mg/Lで30分接触させ、粉末活性炭処理では粉末活性炭注入率20 mg-dry/Lで3.5時間接触させ、その後はともに中間塩素処理と同様の操作を行った。なお、前塩素処理における処理水の遊離残留塩素濃度は0.1 mg/L未満~0.3 mg/L程度であった。各処理において得られた処理水をガラス繊維ろ紙(孔径1 μm)でろ過したろ液および原水を生成能試験に供した。平成26年4月から10月の期間中、降雨の影響を受けた原水(濁度8.4~172度)を用いて計8回実施した。

(2) 生成能の代替指標の選定

(降雨時原水の生成能および有機物関連項目の調査)

降雨により原水水質が悪化した際に、原水および浄水(浄水場出口水)を一定の時間間隔(原則として原水1時間、浄水3時間)で採水し、原水の生成能(ハロ酢酸および総トリハロメタン)および浄水のハロ酢酸と総トリハロメタンを測定した。併せて、原水については濁度、色度、紫外線吸光度(濁度補正紫外線吸光度、すなわち紫外線と可視光線の吸光度の差(UV-VIS)(以下、単に紫外線吸光度と記載))、全有機炭素(TOC)、浄水については色度、TOCを測定した。平成26年3月から10月の期間中、計10回の降雨事象において実施した。

3.4 調査方法(平成27年度)

原水水質悪化時の前塩素停止と活性炭注入の効果を検証するため、浄水(浄水場出口水)のハロ酢酸のモニタリングを実施した。降雨により導水施設で濁度が50度を超過した場合に、その6時間後から45時間後まで浄水を3時間に1回の頻度で採水し、ハロ酢酸および総トリハロメタンを分析した。また、水温上昇の影響把握や年間を通じたハロ酢酸の低減化確認のため、毎月1回定期的に供給水(配水池の水)のハロ酢酸を測定した。

4. 原水水質に応じた運転方法の設定

4.1 管理目標の設定

(1) 供給水(配水池の水)のハロ酢酸

A 浄水場と同様に表流水を水源とする浄水場を対象として、給水栓水等のハロ酢酸の最高値を調べた(平成24,25年度の水道統計^{13,14)})。その結果、ジクロロ酢酸については、約9割の浄水場において0.012 mg/L以下であった。このデータを考慮して、当庁の供給水における管理目標値を、水質基準値(0.03 mg/L)

L)の50%である0.015 mg/Lに設定した。なお、この目標値設定に際しては、配水池(受水市町への受け渡し地点)から給水末端までの流達過程で濃度上昇することも加味した(流達時間は浄水場から配水池までと同等あるいはそれ以上)。総トリハロメタン(水質基準値0.1 mg/L)の管理目標値は0.030 mg/Lとした(当庁の水道ビジョンでの目標値)。

(2) 浄水(浄水場出口水)のハロ酢酸

簡易実験の結果、浄水場から配水池までの送水中に1.5倍程度の濃度上昇が推測されたため、浄水のハロ酢酸の管理目標値を、0.01 mg/L(=0.015÷1.5)に設定した。総トリハロメタンの管理目標値は、過去の実績を踏まえて0.024 mg/Lとした。

4.2 ハロ酢酸生成能除去率の推測

原水および処理水の生成能(それぞれFP_原およびFP_処とする)の測定結果から、原水の生成能の低減率(%)を次式により算出し、その平均値をFig.5に示した。

$$\text{原水生成能の低減率(\%)} = \frac{\text{FP}_{\text{原}} - \text{FP}_{\text{処}}}{\text{FP}_{\text{原}}} \times 100$$

例えば、ジクロロ酢酸生成能の低減率は、前塩素処理(35%)、中間塩素処理(76%)、粉末活性炭処理(20 mg-dry/L)(81%)であった。この順に処理を変更することで低減率が上昇しており、水道水のハロ酢酸をより低減できるものと考えられた。

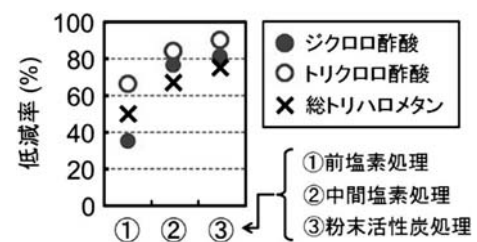


Fig. 5 The removal efficiency of haloacetic acid formation potential by different drinking water treatment processes

4.3 生成能の代替指標の選定

原水の各水質項目(濁度、色度、紫外線吸光度、全有機炭素(TOC))と生成能(ハロ酢酸および総トリハロメタン)との直線回帰式を描き、その決定係数を調べた。その結果、濁度、色度、紫外線吸光度、TOCのいずれも決定係数0.8以上と比較的高い値となった(Table 1)。原水とする野洲川の上流域では森林や水田が広がっており、人為汚濁の影響を受けづらく自然系由来の汚濁が優占すると考えられる。原水の汚濁要因が単一であるため、線形相関が得られたものと考えられる。

これら4つの水質項目のうち、ジクロロ酢酸、トリクロロ酢酸、総トリハロメタンのいずれの生成能についても決定係数が上位であり、かつ自動計測器で連続監視可能な紫外線吸光度が、原水の生成能を予測する上で有用であると考えられた。すなわち、原水のハロ酢酸生成能予測のための水質指標として、紫外線吸光度を選定した。ハロ酢酸や総トリハロメタンの前駆物質としては、自然系由来のフミン物質が想定され、これらをより選択的に検出できたものと考えられる。また、臭素イオンの影響が少なく臭素付加型のトリハロメタンやハロ酢酸が生成しづらい原水に関しては、生成能が紫外線吸光度と良好な相関関係を示すとされており¹⁹⁾、A浄水場の原水を対象とした本結果もその報告に矛盾しないものであった。

調査対象とした合計10の降雨事象における生成能と紫外線吸光度の関係を Fig. 6 に図示した。ハロ酢酸の生成能については、回帰直線 (Fig. 6 中の破線) からやや乖離する場合もあり、降雨事象によって有機物中の前駆物質の組成が異なった可能性が考えられるものの、同一の回帰直線からA浄水場原水のハロ酢酸や総トリハロメタンの生成能を予測することが可能であると考えられた。一連のデータは、降雨時の水質

変動幅が比較的大きい状況下で取得したものであり、既往研究¹⁶⁾よりも高濃度の範囲まで生成能と紫外線吸光度に線形相関があることが示された。

なお、各生成能 (mg/L) と紫外線吸光度 (UV-VIS 値) (abs) との関係式は次のとおりであった。

$$\begin{aligned} \text{ジクロロ酢酸生成能} &= 0.377 \times \text{UV-VIS 値} - 0.004 \\ \text{トリクロロ酢酸生成能} &= 0.748 \times \text{UV-VIS 値} - 0.012 \\ \text{総トリハロメタン生成能} &= 0.433 \times \text{UV-VIS 値} + 0.012 \end{aligned}$$

4.4 代替指標に応じた処理方法の設定

供給水 (配水池の水) においてハロ酢酸を 0.015 mg/L 以下に抑えることを目標とした浄水処理の制御方法を設定した。具体的には、4.3 で選定した原水の紫外線吸光度の値に応じて前塩素や粉末活性炭の注入制御を行うこととし、以下の手順で注入制御の発動要件 (= 原水の紫外線吸光度の管理基準値) を設定した。

(1) 3つの処理方法で対応可能な生成能の上限値の算出

まず、3つの水質項目 (ジクロロ酢酸、トリクロロ酢酸、総トリハロメタン) それぞれについて、3種類の処理方法 (前塩素処理、中間塩素処理、粉末活性炭処理) で対応可能な生成能の上限値を算出した。次式に 4.2 で求めた低減率 (9 個) を代入し、対応する原水の生成能 (mg/L) をそれぞれ算出し、各処理方法で対応可能な生成能の上限値とした。

$$\text{原水の生成能} \times \left(1 - \frac{\text{低減率}(\%) }{100}\right) = \text{供給水の管理目標値}$$

ここで、4.1 で設定したとおり、供給水の管理目標値は、ハロ酢酸 0.015 (mg/L)、総トリハロメタン 0.03 (mg/L) とした。

(2) 3つの処理方法で対応可能な紫外線吸光度の上限値の算出

次に、4.3 で求めた原水の生成能と紫外線吸光度の回帰式に、上記(1)で求めた生成能の値 (9 個) を代入し、対応する紫外線吸光度の値を求めた。その結果を Table 2 に示した。原水の紫外線吸光度が Table 2 の値以下であれば、供給水のハロ酢酸や総トリハロメタンを管理目標値以下に抑えられることを意味する。各処理方法について、安全側として3項目の最小値前後を紫外線吸光度の管理基準値として採用した。この管理基準値は、処理方法の切替えの発動要件となる。例えば Table 2 において、中間塩素処理で対応可能な原水は紫外線吸光度 0.140 までのものであり、0.140 を超過した場合はより上位の処理、すなわち粉末活性炭処理に切替える必要があることを意味する。した

Table 1 The determination coefficient between haloacetic acid formation potential and indicator of organic substances

| 水質項目 *1 | 回帰式の決定係数 (n: データ数) | | |
|-----------|--------------------|--------------|--------------|
| | ジクロロ酢酸 | トリクロロ酢酸 | 総トリハロメタン |
| 濁度 | 0.80 (n=127) | 0.87 (n=127) | 0.84 (n=133) |
| 色度 | 0.87 (n=125) | 0.93 (n=125) | 0.90 (n=131) |
| 紫外線吸光度 *2 | 0.89 (n=127) | 0.95 (n=127) | 0.97 (n=133) |
| TOC *3 | 0.94 (n=57) | 0.91 (n=57) | 0.83 (n=63) |

*1 濁度、紫外線吸光度は自動計測器、色度および TOC は手分析による
 *2 紫外線 (波長 253.7 nm) と可視光線 (波長 546.1 nm) の吸光度の差 (UV-VIS 値)。セル 10 mm 換算。
 *3 計 4 回の調査のみ対象

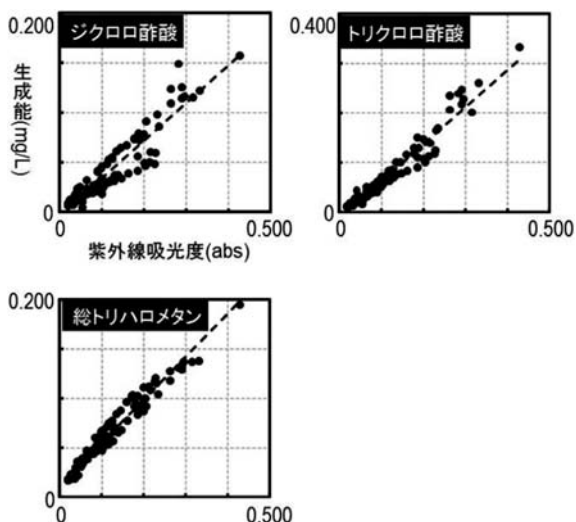


Fig. 6 The relationship between haloacetic acid formation potential and UV absorbance

がって **Table 2** より、原水の紫外線吸光度が 0.070 を超過した場合には前塩素注入を停止し（前塩素処理→中間塩素処理に切替え）、0.140 を超過した場合には粉末活性炭を注入し（中間塩素処理→粉末活性炭処理に切替え）、0.220 を超過した場合には粉末活性炭でも対応しきれないため、取水量を低減あるいは取水停止して、当庁の他の浄水場から連絡管により水道水の融通を受ける必要があることが示唆された。**Table 3** に導出された制御方法をまとめた。

Table 2 Operational limits on the UV absorbance of raw water at different drinking water treatment processes

| | 前塩素処理 | 中間塩素処理 | 粉末活性炭処理 |
|----------|-------|--------|---------|
| ジクロロ酢酸 | 0.072 | 0.177 | 0.219 |
| トリクロロ酢酸 | 0.075 | 0.142 | 0.218 |
| 総トリハロメタン | 0.111 | 0.183 | 0.251 |
| 管理基準値 | 0.070 | 0.140 | 0.220 |

Table 3 The established control measures for the reduction of haloacetic acid at DWTP A

| 原水の紫外線吸光度 (abs) | 対 応 |
|-----------------|-----------------------|
| 0.070 超過 | 前塩素注入停止 |
| 0.140 超過 | 粉末活性炭注入 (20 mg-dry/L) |
| 0.220 超過 | 取水停止または取水量低減 |

5. 対策の実運用とその効果検証

5.1 実運用にあたっての問題点と制御方法の調整

(1) 前塩素注入停止

4.4 の検討から、「原水の紫外線吸光度が 0.070 (abs) 以上」の場合には前塩素注入を停止すべきであることがわかった。一方で、本取組み（平成 26 年度）以前は、原水の濁度が 20 度未満の場合には中間塩素処理を行い、「原水の濁度が 20 度以上」の場合にだけ前塩素を注入していた。ここで、過去の原水水質データを解析したところ、「原水の濁度が 20 度以上」の場合には「原水の紫外線吸光度が 0.070 (abs) 以上」であり、4.4(2)の結果から前塩素は注入すべきでないと考えられた。このことから、原水濁度に関わらず常に前塩素注入を停止し、中間塩素処理とすることとした。

(2) 活性炭注入の発動要件の調整

4.4 の検討から、「原水の紫外線吸光度が 0.140 (abs) 以上」の場合には粉末活性炭を注入すべきであることがわかった。一方で、紫外線吸光度の連続測定計器が粉末活性炭注入点である導水施設ではなく浄水場入口にあり、浄水場入口で紫外線吸光度が 0.140 (abs) を超過した場合に導水施設で活性炭注入を開始しては対応遅れ（約 4 時間）になるという問題点があった（**Fig. 2** 参照）。そこで、過去の原水水質デー

タを解析したところ、「浄水場入口での紫外線吸光度 0.140 (abs)」と「導水施設での濁度 100 度」とが対応した。このため、「導水施設で濁度が 100 度以上」の場合に粉末活性炭注入を開始することとした。

(3) 粉末活性炭の種類の変更

4.4 の検討から、「原水紫外線吸光度が 0.220 (abs) 以上」の場合には粉末活性炭注入 (20 mg-dry/L) でも対応できず、一時的な取水停止または取水量低減をせざるを得ないことがわかった。しかしながら、降雨時には原水の紫外線吸光度 0.220 (abs) の超過継続時間が数時間以上になることもあり、現実的には実施困難と考えられた。取水停止または取水量低減をできる限り回避あるいは短時間にとどめるために、活性炭処理で対応可能な紫外線吸光度の上限値を引き上げる必要が生じた。ただし、施設負荷の観点から、粉末活性炭注入率を上げることは困難と考えられた。そこで、有機物除去性能のより高い、つまりハロ酢酸生成能の低減効果のより高い粉末活性炭（以下、高性能活性炭とする）を導入した。この高性能活性炭を用いて 4.2 および 4.4 と同様にして対応可能な原水の紫外線吸光度の上限値を算出したところ、0.660 (abs) 程度となった。したがって、取水停止または取水量低減は避けられるものと考えられた。

(4) 実運用における制御方法

上記(1)～(3)を踏まえ、平成 27 年度からは、①塩素注入点の変更（前塩素から中間塩素処理への変更）と②粉末活性炭処理の制御はそれぞれ次のとおり行うこととした。

- ① 原水水質にかかわらず、中間塩素処理とする
 - ② 取水濁度が 100 度を超えたら粉末活性炭処理（高性能活性炭）とする*
- ※夏期のみ

5.2 対策の効果検証（年間を通じたモニタリング）

(1) 降雨時における浄水（浄水場出口水）のハロ酢酸の測定結果

Fig. 7 に降雨による原水水質悪化時（取水濁度 50 度超過時）における浄水のハロ酢酸最高濃度を降雨事象ごとに示した。浄水のハロ酢酸濃度は最大で 0.011 mg/L（活性炭注入運用開始前）であり、概ね管理目標値の 0.010 mg/L 以下に制御できていた。過去には原水水質悪化時も含め 0.010 mg/L を超過することが複数回発生している（**Fig. 1** 参照）。これらのことから、原水水質悪化時の対策の効果が確認できたといえる。なお、浄水水温が 20℃ 以上の期間に濃度上昇傾向があることから、今後は浄水水温が 20℃ 以上の期間に取水濁度が 100 度を超えたら活性炭処理とすることとした。

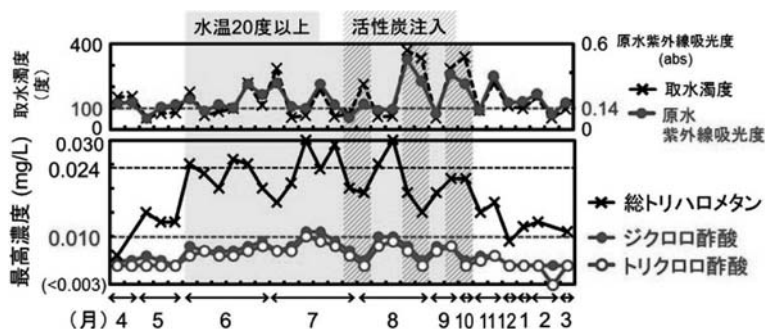


Fig.7 The concentration of haloacetic acid in treated water at rainfall event

(2) 年間を通じたハロ酢酸の測定結果

Fig.8 に毎月1回の定期検査時における供給水(配水池の水)のハロ酢酸濃度を示した。ハロ酢酸は、年間を通じて管理目標値の0.015 mg/Lを下回っており、過去5年間の結果と比較しても低かった。したがって、平成27年度の実運用の結果、昨年度までに比べてハロ酢酸の低減化を実現できていることが示された。

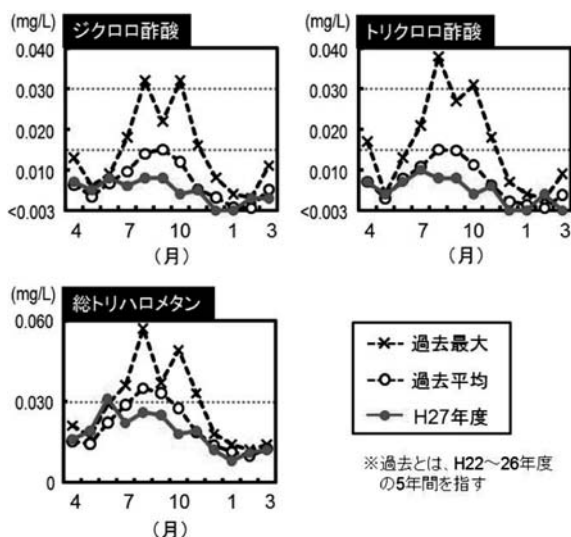


Fig.8 The seasonal variation of haloacetic acid concentration in distributing reservoir after the application of control measures

6. まとめと今後の課題

6.1 まとめ

本取組みでは、水道水のハロ酢酸を低減するため、実浄水場での運転制御方法を設定し、実運用を行ってその効果を検証した。得られた成果を以下に示す。

- ・降雨時の原水を用いてハロ酢酸生成能と有機物関連項目の関係を調べたところ、紫外線吸光度との相関が比較的強かった。このことから、原水の紫外線吸光度をハロ酢酸生成能の代替指標として選定した。
- ・ジャーテストによるハロ酢酸低減効果の推測結果を加味し、原水の紫外線吸光度に応じた前塩素や

粉末活性炭の注入制御を設定した。つまり、供給水でのハロ酢酸の管理目標値を0.015 mg/Lに設定すると、原水の紫外線吸光度が0.070, 0.140, 0.220 (abs)を超過した場合に、それぞれ前塩素注入停止、粉末活性炭注入、取水量低減を実施すべきとの結論を得た。

- ・実際に浄水場で前塩素注入停止や粉末活性炭注入を実施したところ、ハロ酢酸濃度を概ね管理目標値(浄水 0.01 mg/L, 供給水 0.015 mg/L)以下に抑えることができ、ハロ酢酸の低減化を達成できた。

6.2 今後の課題

中間塩素処理への切り替えについては、沈殿池での藻の繁殖への対策が課題である。今後、沈殿池の覆蓋による遮光や晴天時の前塩素間欠注入を行うことを検討している。

粉末活性炭注入については、コストの観点からも過不足のない適正な注入が重要であり、次のような課題がある。

- ・紫外線吸光度の連続測定計器を粉末活性炭注入点である導水施設に設置し、当初の制御案のとおり紫外線吸光度の値に応じて粉末活性炭注入制御を行うこと。
- ・粉末活性炭注入量を抑えるため、紫外線吸光度の値に応じたきめ細かな注入制御を行うこと。

なお、これまでの2年間の取組みの中では、あらかじめ「計画(P)」を立てたうえで実処理への「実行(D)」に移り、その結果を「評価(C)」してその後の「改善(A)」すべき点を見出した。今後も、このようなPDCAサイクルを確実に繰り返し運用することで、制御の最適化につなげる必要がある。

参考文献

1) 厚生労働省：水質基準に関する省令(平成15年5月30日厚生労働省令101号〔最終改正 平成27年3月2日厚生労働省令第29号〕)

- 2) 厚生科学審議会：水質基準の見直し等について（答申）（平成15年4月28日厚生科学審議会答申（厚科審第5号））
- 3) 厚生労働省：水質基準に関する省令等の一部を改正する省令（平成27年厚生労働省令第29号）
- 4) 厚生労働省：最近の水質基準項目等の検出状況について，平成25年度第2回水質基準逐次改正検討会資料（2013）
- 5) 厚生労働省：「水安全計画策定ガイドライン」の送付について（平成20年5月30日健水発第0530001号厚生労働省健康局水道課長通知）
- 6) 厚生労働省健康局水道課：水安全計画策定ガイドライン，平成20年5月
- 7) 滋賀県企業庁：滋賀県営水道水安全計画，平成25年3月制定〔最終改訂平成28年3月〕
- 8) 厚生労働省：水安全計画の策定状況，
http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000002yjsm-att/2r9852000002yjzc_1.pdf（最終アクセス：2016年5月5日）
- 9) 伊藤禎彦，越後信哉：水の消毒副生成物，技術堂出版，p.245（2008）
- 10) 金子光美：水質衛生学，技術堂出版，pp.406-407（1996）
- 11) 眞柄泰基：平成13～15年度厚生労働科学研究費補助金 がん予防等健康科学総合研究事業「WHO飲料水水質ガイドライン改訂等に対応する水道における化学物質等に関する研究」総合研究報告書，pp.240-283，平成16年3月（2004）
- 12) 渡橋健児，三枝慎一郎，加登優樹，高尾健一郎：フミン質を含む河川を水源とした緩速ろ過浄水場における消毒副生成物対策について，第13回日本水道協会中国四国地方支部水道事例発表会，平成25年
- 13) 公益社団法人日本水道協会：水道統計「平成24年度」（第95号）
- 14) 公益社団法人日本水道協会：水道統計「平成25年度」（第96号）
- 15) 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，p.21（2010）
- 16) 伊藤禎彦，相澤貴子，浅見真理，浅野雄三，上嶋善治：ハロ酢酸類低減化処理技術，水道協会雑誌，Vol.74, No.1, pp.28-44（2005）
- 17) 厚生労働省：水質基準に関する省令の規定に基づき厚生労働大臣が定める方法（平成15年7月22日厚生労働省告示第261号）
- 18) 公益社団法人日本水道協会：上水試験方法（2011年版），IV，有機物編，pp.126-127（2011）
- 19) 眞柄泰基：厚生労働科学研究費補助金 生活安全総合研究事業「WHO飲料水水質ガイドライン改訂等に対応する水道における化学物質等に関する研究」研究報告書，pp.356-358，平成13年度

Establishment and Application of the Control Measures for the Reduction of Haloacetic Acid at a Drinking Water Treatment Plant

Masanori Okata¹⁾, Satoshi Nishikawa¹⁾, Kaoru Kadono¹⁾ and Yoshinori Mitamura¹⁾

¹⁾ Water Purification Division, Public Enterprise Agency, Shiga Prefecture

† Correspondence should be addressed to Masanori Okata :
(Water Purification Division, Public Enterprise Agency, Shiga Prefecture
E-mail : okata-masanori@pref.shiga.lg.jp)

Abstract

The control measures to reduce haloacetic acid in drinking water were established and applied to a full-scale drinking water treatment plant. An on-site monitoring and lab-scale jar tests on haloacetic acid formation potential showed that it was effective to control the addition of pre-chlorine and powdered activated carbon with the raw water's UV absorbance as indicator. An application to the real drinking water treatment plant confirmed that haloacetic acid was successfully reduced below our management goal concentration.

Key words : drinking water treatment, haloacetic acid, UV absorbance, operational limits, powdered activated carbon