

## 専用水道浄化処理における塩素酸濃度

辻本雄次<sup>§</sup>、山本敦史<sup>§</sup>、張野宏也<sup>§,\*</sup>、中川恵理<sup>\*\*</sup>、池内宏彰<sup>\*\*</sup>、北野雅昭<sup>§</sup>

## Determination of Chlorate Levels in Drinking Water Treated by Private Suppliers

Yuji TSUJIMOTO<sup>§</sup>, Atsushi YAMAMOTO<sup>§</sup>, Hiroya HARINO<sup>§,\*</sup>,  
Eri NAKAGAWA<sup>\*\*</sup>, Hiroaki IKEUCHI<sup>\*\*</sup> and Masaaki KITANO

## Abstract

Between August and September 2008, we investigated the fate of chlorate in drinking water at 9 facilities in Osaka City when water treatment was carried out by private suppliers. The 9 facilities had installed their own drinking water production systems that utilize groundwater, and countermeasures were not taken at the final stage of the treatment process to adequately reduce the chlorate level.

Among the various stages of the treatment processes, only treatment by reverse osmosis (RO) was successful in the removal of chlorate, whereas other processes showed little or no effect on the removal of chlorate, including activated charcoal filtration and ultra-filtration membrane treatment.

The chlorate concentration in pre-chlorinated water was found to be similar to the estimated concentration, which was derived from the chlorate content in the injected sodium hypochlorite solution and the approximate injection ratio derived in 3 of 4 facilities. This finding supports the importance of evaluating and/or carefully handling a sodium hypochlorite solution. However, in pre-chlorinated water sample obtained from 1 facility, there was a large difference between the observed and calculated chlorate concentrations: this was tentatively ascribed to the moderate concentration of hypochlorite that may have induced additional chlorate formation and/or the high concentration of iron and manganese that may have caused transition metal-catalyzed oxidation of hypochlorite to chlorate.

**Key words:** chlorate, drinking water treatment, private supplier

## I はじめに

ホテル、病院、レジャー施設等で、地下水等を原水として独自の浄化処理を行い飲料水として利用を行っているところがある(以下、専用水道施設という)。平成20年8月時点で、本市では35の専用水道施設が認可され、浄化処理を行っている。そして専用水道施設での浄化処理が適切に実施されているか、本市では保健所が定期的に専用水道施設に立ち入って採水を行い、

環境科学研究所で水質分析を実施している。平成20年4月1日から塩素酸が新たに水道法基準項目となったので(基準値:0.6mg/L、[1])、保健所が塩素酸抑制対策について専用水道施設を指導することに役立たせることを目的として、専用水道施設の浄化処理における塩素酸について実態調査を行うこととした。

専用水道施設での塩素酸については、原水と最終の浄化処理後の浄水での検出について報告[2]がなされているが、処理段階でどのような挙動をとるのか明らか

§ 大阪市立環境科学研究所、〒543-0026 大阪市天王寺区東上町 8-34

Osaka City Institute of Public Health and Environmental Sciences,  
8-34 Tojo-cho, Tennoji-ku, Osaka 543-0026, Japan

\* 現: 神戸女学院大学人間科学部、〒662-8505 兵庫県西宮市岡田山 4-1  
Kobe College, School of Human Sciences,  
4-1 Okadayama, Nishinomiya, Hyogo 662

\*\* 大阪市保健所、〒551-0051 大阪市阿倍野区旭町 1-2-7-1000

Department of the Public Health Office, Public Health and Welfare Bureau, the Osaka Municipal Government,  
2-7-1000, Asahimachi 1-chome, Abeno-ku, Osaka 551

かではない。塩素酸は水道浄化処理の消毒剤として用いられる、次亜塩素酸ナトリウム等の分解により生成する(消毒副生成物)。塩素酸生成の抑制のためには、次亜塩素酸ナトリウム等の適正な管理が求められており[3-5]、その取り扱いについて注意事項を記した手引き[4]も出されている。そこで今回の調査では、1)さまざまな浄化処理段階での塩素酸濃度変化、ならびに2)浄化処理で塩素酸が高濃度になる要因の2点について検討を行うことにした。

## II 方法

### 1) 調査対象施設及び採水時期

浄水で塩素酸が未検出(<0.06mg/L)となっている施設を除き、塩素酸対策が行われていない施設としてピックアップした9施設を調査対象とした。なお塩素酸対策とは、ここでは塩素酸の生成抑制や浄化処理での除去に寄与すると考えられる対策のことである。具体的には、次亜塩素酸ナトリウム溶液濃度を12%から6%に変更(次亜塩素酸からの生成を抑制)すること、あるいは、原水のアンモニア性窒素除去のため、イオン交換装置を導入(使用する次亜塩素酸量を減少することで、次亜塩素酸からの生成を抑制)すること、あるいはRO膜/MF膜併用処理からRO膜単独処理に変更(塩素酸の効率的な除去)するといったような対策である。

対象施設での採水は、大阪市保健所と共同して、平成20年8月28日～9月16日に実施した(施設A～G、I、J:表1)。各施設では、原水を含め可能な限り各処理段階ごとに採水を行った。また、前塩素処理で使われていた次亜塩素酸ナトリウム溶液(有効塩素:12%または6%)を採取した(4施設のみ)。試料水と採取した次亜塩素酸ナトリウム溶液は、ただちにクーラーボックスに入れて研究所に持ち帰り、速やかに分析を行った。塩素酸測定用の試料水には、次亜塩素酸からの塩素酸生成を抑制するため、採水後直ちにエチレンジアミン溶液(50mg/L)を添加した(添加量:試料水 1Lあたり1mL)。調査対象施設の概略を表1に掲げる。

表1 調査対象専用水道施設

	業種	処理装置構成	処理能力 (m <sup>3</sup> /hr)
A	ショッピングセンター	除鉄・除マンガンろ過 ⇒ 膜ろ過	20
B	製造業	除鉄・除マンガンろ過 ⇒ 活性炭ろ過⇒膜ろ過	16(1系) 6.5(2系)
C	病院	除鉄・除マンガンろ過 ⇒ 活性炭ろ過	6
D	スーパーマーケット	除鉄・除マンガンろ過 ⇒ 活性炭ろ過 ⇒ 膜ろ過	12～15
E	ホテル		12
F	ホテル		9
G	結婚式場等		10
I	病院		6
J	病院		9

### 2) 塩素酸等の分析[6,7]

塩素酸は、厚生労働省告示[6]の方法に準拠してイオンクロマト法で分析を行った。試料水の場合は直ちに0.2μmのフィルターでろ過を行った。また次亜塩素酸ナトリウム溶液の場合は100倍希釈してからエチレンジアミン溶液を添加し、その後適宜希釈した後、同様にフィルターでろ過を行った。標準溶液は1000mg/L(関東化学製)の標準原液を精製水で適宜希釈し、0, 0.06, 0.2, 0.4, 0.6, 1.0, 2.0 mg/Lの濃度をそれぞれ調製した。検量線は原点を通る1次回帰直線であり(R<sup>2</sup>= 0.9996)、検量線の最低濃度(0.06 mg/L)を定量下限値とした。分析条件は以下のとおりである。

イオンクロマトグラフ: Waters イオンクロマトグラフシステム  
 カラム: IonPac AS23、4.0×250mm (Dionex社製)  
 溶離液: 4.5mM炭酸ナトリウム/0.8mM炭酸水素ナトリウム  
 流速: 1.0mL/min  
 温度: 30℃  
 サプレッサー: オートサプレッサーASRS-ULTRA  
 4mm (Dionex社製)  
 検出器: 電気伝導度計  
 注入量: 50μL

鉄、マンガンは、試料水10mLに6%硝酸を0.5mL添加し、よく混合して1昼夜放置後、フレイムレス原子吸光度計(パーキンエルマー Analyst 600 OESLシステム)にて測定を行った。TOCは、試料水を0.45μmメンブランフィルターでろ過して測定した(島津 TOV-U CSH)。

試料水の温度、pH、電気伝導度は水質チェッカー(堀場 U-22-XD-10)で、また残留塩素はポータブル計器(HANNA instruments HI 93711:DPD法)で、いずれも現場にて測定を行った。

### 3) 前塩素処理後の塩素酸計算濃度

4施設で採取した次亜塩素酸ナトリウム溶液中の塩素酸を、試料水と同様に分析を行った。また、注入される次亜塩素酸ナトリウム溶液(有効塩素:12%または6%)が前塩素処理でどの程度の濃度になるように注入しているかについて、浄化処理装置維持管理業者から聞きとりを行った(表2)。前塩素処理後の塩素酸は、注

表2 4施設での前塩素処理

	次亜塩素酸ナトリウム溶液 塩素濃度 R <sub>1</sub> (%)	注入での設定 塩素濃度 R <sub>2</sub> (mg/L)	次亜塩素酸ナトリウム溶液中の 塩素酸(mg/L)
B	6	23	251
C	6	7.9	1690
E	12	49	5700
G	12	10	2560

注: R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub> のデータは各施設の維持管理業者からの聞きとりによるものである。

入された次亜塩素酸ナトリウム溶液中に含まれる塩素酸にのみ由来していると仮定して、塩素酸計算濃度を算出した。算出式は以下ようになる((1)式)。ただし次亜塩素酸ナトリウム溶液の比重を1とした。

$$C_{cal} = C_{rea} \times R_2 / R_1 \times 10^{-4} \dots (1)$$

$C_{cal}$ : 塩素酸計算濃度(mg/L)

$C_{rea}$ : 次亜塩素酸ナトリウム溶液中の塩素酸含有量(mg/L)

$R_1$ : 次亜塩素酸ナトリウム溶液の有効塩素濃度(%)

$R_2$ : 前塩素処理での設定塩素濃度(mg/L)

### III 結果と考察

#### 1) 浄化処理段階での塩素酸濃度変化について

9施設での処理装置の構成の概略はすべて同じであった。すなわち、除鉄・除マンガンろ過装置の後に活性炭ろ過装置があり、その後で膜ろ過装置という構成である。ただし、施設Cでは膜ろ過装置はなく、施設Aでは調査時点で活性炭ろ過装置に通水をしていなかった。また除鉄・除マンガンろ過装置や膜ろ過装置は、施設によっては異なるタイプのものが複数基備えられ

表3 処理段階での塩素酸濃度の推移 (mg/L)

A	除鉄・除マンガンろ過 入口	除鉄・除マンガンろ過 出口	膜ろ過 出口	浄水			
	4.22	4.33	0.38	0.33			
B	1系						
	除鉄・除マンガンろ過 入口	除鉄・除マンガンろ過(1 段目) 出口	除鉄・除マンガンろ過(2 段目) 出口	活性炭ろ過 出口	膜ろ過 出口		
	<0.06	0.089	0.091	0.087	0.095		
	2系						
	除鉄・除マンガンろ過 入口	除鉄・除マンガンろ過 出口	活性炭ろ過 出口	膜ろ過 出口	浄水		
	<0.06	0.099	0.12	0.11	0.13		
C	除鉄・除マンガンろ過 入口	除鉄・除マンガンろ過(1 段目) 出口	除鉄・除マンガンろ過(2 段目) 出口	除鉄・除マンガンろ過(3 段目) 出口	活性炭ろ過 出口	浄水	
	<0.06	<0.06	0.35	0.37	0.36	0.42	
D	除鉄・除マンガンろ過 入口	除鉄・除マンガンろ過 出口	活性炭ろ過 出口	膜ろ過 出口	浄水		
	0.81	0.81	0.28	0.31	0.31		
E	除鉄・除マンガンろ過 入口	除鉄・除マンガンろ過 出口	活性炭ろ過 出口	1系 膜ろ過 出口	2系 膜ろ過(1 段目) 出口	2系 膜ろ過(2 段目) 出口	浄水
	<0.06	2.58	2.57	2.84	5.57	0.35	0.62
F	除鉄・除マンガンろ過 入口	除鉄・除マンガンろ過 出口	活性炭ろ過 出口	膜ろ過 出口	浄水		
	0.27	0.30	0.19	0.25	0.25		
G	除鉄・除マンガンろ過 入口	除鉄・除マンガンろ過 出口	活性炭ろ過 出口	膜ろ過(1 段目) 出口	膜ろ過(2 段目) 出口	浄水	
	1.89	2.06	1.55	1.51	0.061	0.075	
I	除鉄・除マンガンろ過 入口	除鉄・除マンガンろ過 出口	活性炭ろ過 出口	膜ろ過(1 段目) 出口	膜ろ過(2 段目) 入口	膜ろ過(2 段目) 出口	
	<0.06	3.11	2.85	3.06	2.84	0.19	
J	除鉄・除マンガンろ過 入口	除鉄・除マンガンろ過 出口	活性炭ろ過 出口	膜ろ過 出口	浄水		
	0.17	0.18	0.13	0.13	0.13		

注1: 施設 A は活性炭ろ過装置を付けているが、調査時点では運転していなかった。

注2: 施設 B では膜ろ過処理まで2系統あり、その後ろ過水が混合されていた。

注3: 施設 E では膜ろ過のみ2系統処理となっていた。

ていた。9施設での浄化処理段階ごとの塩素酸濃度の推移を表3に示す。この表で浄水とは、各施設での処理末端の水である。なお施設Cでは膜ろ過後の採水はできなかった。また施設Iでは膜ろ過後、直ちに市水(水道水)との混合を行う受水槽に送られるので、浄水中の塩素酸濃度は膜ろ過後の値と同じとなる。

ところで表3の塩素酸濃度の推移を見ると、「除鉄・除マンガンろ過入口」で塩素酸濃度が高い施設(A, D, G)、「除鉄・除マンガンろ過出口」で塩素酸濃度が高い施設(E, I)、すべての処理プロセスで塩素酸濃度がそれほど高くない施設(B, C, F, J)の3つのパターンが認められる。塩素酸濃度が高い施設では、後述するように前塩素処理で用いた次亜塩素酸ナトリウム溶液の影響(次亜塩素酸ナトリウム溶液中の不純物としての塩素酸:後述)を強く受けていると思われる。その意味では、「除鉄・除マンガンろ過入口」で塩素酸濃度が高い施設だけでなく、「除鉄・除マンガンろ過出口」で高い施設でも次亜塩素酸ナトリウム溶液の影響がでていると考えられる。というのは、今回の調査では、一部の施設(B, C, E, I)で「除鉄・除マンガンろ過出口」でしか前塩素処理後の採水ができなかったからである。一方、すべての処理プロセスで塩素酸濃度がそれほど高くなかった施設では、逆に次亜塩素酸ナトリウム溶液の品質、その適正な使用や管理[3-5]に配慮がなされていたも

のと思われる。

浄水(処理末端)中の塩素酸は施設Eで基準値をわずかに超過したが、他の8施設では基準値(0.6 mg/L)以内であった。ただし施設A, C, Dでは基準値の50%を超える濃度で塩素酸が検出されている。施設A, D, Eでは前塩素処理での塩素酸高濃度の影響が浄水中の濃度にも影響を与えていると思われる。なお施設Eでは膜ろ過を2系統で行っており、そのうち1系統は膜ろ過後でも塩素酸が高濃度となっていた。この施設では高濃度となる膜ろ過系統からの処理水の合流をできるだけ少なくしていたが、最終的に浄水の濃度が高くなることにつながったと考えられる。また施設Cでは浄化処理で塩素酸濃度にほとんど変化が認められない。

今回調査した9ヶ所の専用水道施設の浄化処理装置の構成はほぼ同じであるが、表3のデータを見ると、除鉄・除マンガンろ過では、塩素酸濃度にそれほどの変化は見られない。そこで活性炭ろ過や膜ろ過での塩素酸濃度変化をまとめたものを図1~4に示す。活性炭ろ過の場合、施設Dでのみかなり塩素酸の除去が行われているが(除去率:65%)、全体としては除去が難しいようであった。塩素酸は極性が大きいので当然の結果である。また膜ろ過でも、MF膜(Micro-filtration membrane: 精密ろ過膜)やUF膜(Ultra-filtration membrane: 限外ろ過膜)では除去がおきておらず、RO膜(Reverse osmosis

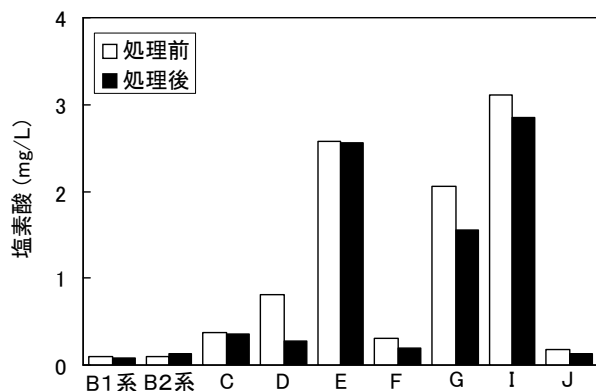


図1 活性炭ろ過での塩素酸濃度変化

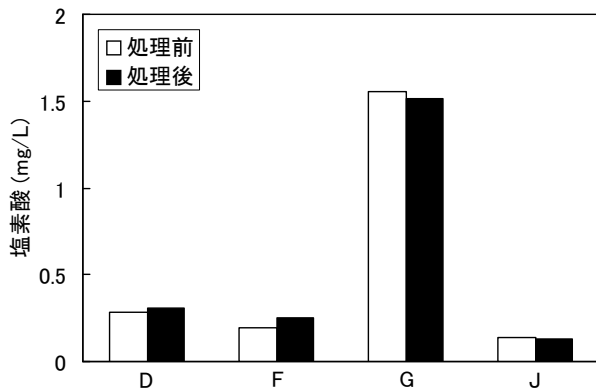


図2 MF膜ろ過での塩素酸濃度変化

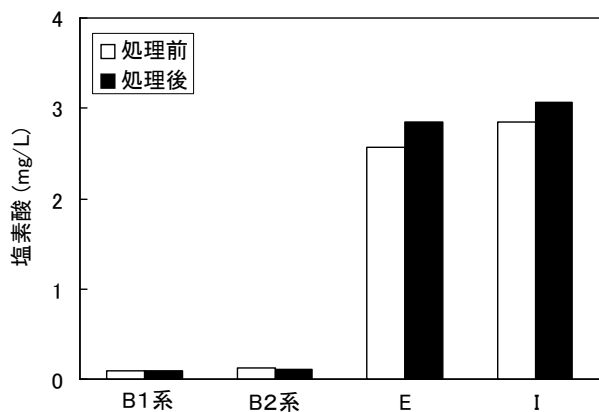


図3 UF膜ろ過での塩素酸濃度変化

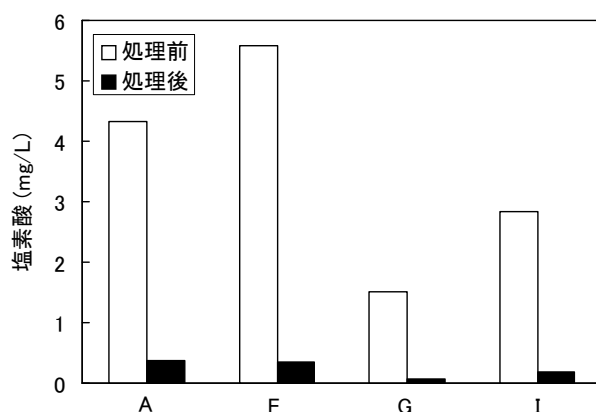


図4 RO膜ろ過での塩素酸濃度変化

membrane: 逆浸透膜)でのみ塩素酸が非常に効果的に除去されている。MF膜やUF膜で除去できる粒子サイズは、それぞれ0.1μm~1μm、及び2nm~0.1μm程度とされており、水に溶解した分子やイオンはたいてい1nmより小さいことが[8]、RO膜のみが除去可能な理由である。ただし膜処理の前の濃度が非常に高いと、処理後の濃度が基準内とはいえ、比較的高い濃度になることがあるので(施設A、E)、それまでの浄化処理であまり塩素酸濃度が高くならないように留意すべきと考えられる。なお、膜ろ過の過程で活性炭ろ過後より一時的に塩素酸濃度が上昇する施設が認められた(施設E、I)。

## 2) 浄化処理で塩素酸が高濃度になる要因について

### (1) 次亜塩素酸ナトリウム溶液中の塩素酸含有量と前塩素処理後の塩素酸濃度

表3の塩素酸濃度データから明らかなように、9施設のうち5施設で除鉄・除マンガンろ過出口の塩素酸濃度は基準値をかなり超えるレベルであった。今回調査した多くの施設で原水(地下水)中のアンモニア性窒素除去や鉄・マンガンの酸化除去のため、次亜塩素酸ナトリウム溶液の注入が行われていた(前塩素処理)。次亜塩素酸ナトリウムを水道浄化処理に使用するにあたっては、塩素酸含有量の少ないものを用いることや薬液タンク内での貯留等に細かな配慮をすること等が、浄化処理水中の塩素酸濃度を抑制するうえで重要であることが指摘されている[3-5]。

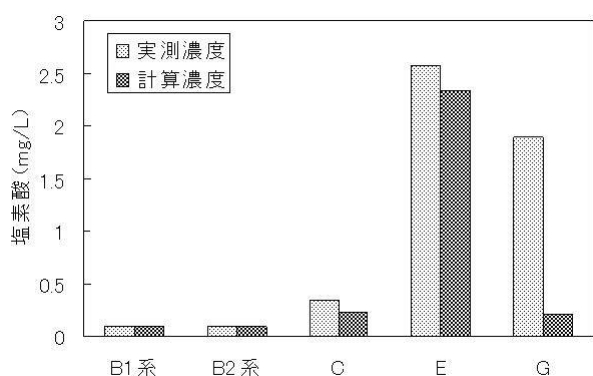
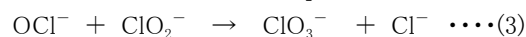


図5 前塩素処理水の塩素酸実測濃度と計算濃度

そこで今回前塩素処理で用いられていた次亜塩素酸ナトリウム溶液を4施設で採取し、その中の塩素酸含有量が前塩素処理水中の塩素酸濃度に与える影響を検討した。次亜塩素酸ナトリウム溶液中の塩素酸含有量を表2に示した。施設Eで用いられた次亜塩素酸ナトリウム溶液中の塩素酸含有量が最も高く、最も低かった施設Bと比較すると20倍以上の含有量であった。次にこれらの含有量データを用いて、(1)式(方法3)から塩素酸計算濃度を算出し、前塩素処理直後の塩素酸実測濃度との比較を行った(図5)。その結果、施設BとEでは両者の濃度はほぼ同じとなったが(|(実測濃度-計算濃度)|/(計算濃度)≤0.1)、施設Cでは実測濃度は計算濃度の1.5倍の値であった(|(実測濃度-計算濃度)|/(計算濃度)=0.57)。したがって施設B、C、Eでは、用いた次亜塩素酸ナトリウム溶液中の不純物としての塩素酸量が前塩素処理後の塩素酸濃度をほぼ決定している。前塩素処理での塩素酸濃度を抑制するためには、次亜塩素酸ナトリウム溶液の品質、薬液タンク内での貯留などに留意することが必要であることが再認識される。しかし施設Gでは塩素酸の実測濃度は計算濃度の10倍近い値になっている。実測濃度と計算濃度に大きな乖離があるということは、少なくとも施設Gでは、次亜塩素酸ナトリウム溶液が注入されてから、採水ポイントまでの間で、塩素酸が新たに生成したことを意味する。この新たな生成の要因について以下で考察を行う。

### (2) 次亜塩素酸から塩素酸生成のメカニズムと、塩素酸生成促進因子

次亜塩素酸イオンの分解による塩素酸イオンの生成は、以下のように進行するとされている[9]。



反応式(2)、(3)は厳密には次亜塩素酸イオン濃度が水素イオン濃度よりはるかに大きい場合に(例えばpHがアルカリ性のとき)、成立するとされている[9]。4施設での前塩素処理後のpHは6.8~7.1とほぼ中性である

表4 前塩素処理に伴う電気伝導度、鉄、マンガンの推移

施設	水温(°C)	pH	残留塩素(mg/L)		TOC(mg/l)	電気伝導度(mS/m)		鉄(mg/L)		マンガン(mg/L)	
			遊離塩素	総塩素		注入前	注入後	注入前	注入後	注入前	注入後
B(1系)	21.0	6.8	0.27	0.93	0.54	47	48	1.7	0.012	0.15	0.016
B(2系)	21.6	7.1	0.45	0.57	0.63	46	46	2.7	0.014	0.16	0.028
C	20.1	7.0	4.1	4.9	2.0	32	35	0.024	<0.01	0.12	0.097
E	19.7	7.0	2.8	3.8	2.0	68	77	0.031	<0.01	0.15	0.010
G	22.3	6.9	6.2	9.6	6.9	49	64	0.93	0.70	0.27	0.29

注1:水温、pH、残留塩素は前塩素処理後の測定値である。

注2:注入後の採水ポイントは、B・C・Eが除鉄/除マンガンろ過後である。

ので(表4)、これ以外の反応メカニズムが作動している可能性がある。しかしこのメカニズムとすれば、(2)式の反応は遅く(3)式の反応はかなり速いとされている。したがって亜塩素酸イオン濃度は比較的low濃度となる。今回の調査でも、すべての施設からの試料水で亜塩素酸は検出されなかった(定量下限0.06mg/L)。また(2)式が塩素酸生成の律速段階になるので、次亜塩素酸イオン濃度(塩素濃度)が高くなると、塩素酸生成がおきやすいと考えられる。

(2)、(3)式の反応の進行にpH、温度、イオン強度、遷移金属(イオン)、UV光等いくつかの要因が塩素酸生成に影響を与えると指摘されている[4,9,10]。例えば温度が25℃から45℃に上がると、次亜塩素酸イオンの分解反応の速度定数は15倍も大きくなるとの報告がある[9]。イオン強度やpHについても報告されているが、次亜塩素酸濃度が非常に高濃度(例えば有効塩素が10%程度)の場合に限られている[4,9]。実際の水処理で、これらの要因により、どの程度の塩素酸生成促進がおきるのか、あまり検討が行われていない。なお、水道の高度浄化処理でよく使われるようになったオゾンが、次亜塩素酸から塩素酸への酸化を引き起こす[11]ことはよく知られている。UV光による塩素酸生成は、オゾンと同様、酸化剤である反応性に富む活性酸素原子が次亜塩素酸から発生することによる、とされている[10]。

### (3) 前塩素処理後の塩素酸濃度に影響する要因

すでに述べたように、次亜塩素酸ナトリウム溶液中の不純物としての塩素酸含有量は前塩素処理後の塩素酸濃度に非常に大きな影響を与えている。しかし施設Cでは計算濃度より50%程度高い濃度が観察され、施設Gでは実に計算濃度の9倍の実測濃度となっていた。データ数が少ないが、4施設(B、C、E、G)での前塩素処理後の水質データ(表4)から塩素酸生成促進の要因について考察する。

#### ① 採水ポイントまでの処理水の次亜塩素酸濃度

前塩素処理での次亜塩素酸濃度が高いほうが、塩素酸生成は促進される。注入時点での塩素濃度はE>B>G>Cとなっている(表2参照)。注入時点での塩素濃度(表2の設定濃度R2)は初期塩素濃度と考えられる。一方表4から、前塩素処理後の残留塩素濃度はG>C>E>Bとなっている。施設EやBでは初期の塩素濃度が非常に高いが、前塩素処理後では塩素濃度は1/10~1/20と塩素濃度は大きく低下している。おそらく施設BやEでは原水のアンモニア性窒素や還元性物質との反応にかなりの塩素が消費されたために塩素濃度は低下したが、施設Gではこれらの反応に使われる塩素が少なかったと思われる。次亜塩素酸濃度は塩素濃度に比例するので、次亜塩素酸ナトリウム溶液の注入から採水ポイントまでの時間経過で塩素濃度は比較的高く維持されたと思われる。このことが施設Gでの塩素酸

生成促進に関与している可能性がある。この点は今後検討が必要である。

#### ② pH、水温、電気伝導度、遷移金属の影響

4施設でのpH、水温は施設間で大きな違いは見られないので、施設Gで著明であった塩素酸生成促進に影響を与えていないと考えられる。

次に電気伝導度は、施設B、Cでは塩素処理の前後で変わらないが、施設EやGで塩素処理後に値の上昇が見られる。この上昇が実際にどの程度のイオン強度の変化になるのかは不明であるが、今回施設Gでの塩素酸生成促進に寄与した可能性は除外できない。

一方遷移金属のデータは顕著な違いを見せている。次亜塩素酸ナトリウム溶液が注入される前に比べ注入後に鉄、マンガンの両者の濃度に変化がないのは、施設Gのみである。施設Gではタンク内に原水を入れて次亜塩素酸ナトリウム溶液の注入を行っており、前塩素処理水として採水したポイントはこのタンク出口である。これに対しB、C、Eの3施設では処理水導管内に注入しており、採水ポイント(前塩素処理後)は除鉄・除マンガンろ過出口である。したがってこれら3施設で前塩素処理水の鉄、マンガン濃度が低くなっているのは当然である(表4、ただしCでは採水ポイントでマンガン濃度は変化していない)。おそらく3施設では、次亜塩素酸ナトリウム溶液が注入されてから採水ポイントまでの間で鉄やマンガンの効率的な除去が行われたため、これら金属による塩素酸への触媒的な酸化があまりおきなかったと考えられる。これに対し、施設Gでは前塩素処理水に高濃度の鉄、マンガンが存在していたため、塩素酸生成促進を引き起こした可能性が高い。しかしこの点についてもさらに詳細な検討の必要がある。

## IV まとめ

今回調査した専用水道施設での浄化処理に伴う塩素酸濃度変化についての検討から、以下のことが明らかとなった。

1. 処理装置ごとの塩素酸濃度の推移を検討したところ、膜ろ過のうち、RO膜のみ塩素酸の除去に有効であった。ただしRO膜を用いる場合でも、その手前の浄化処理であまり高濃度にならないよう注意すべきである。

2. 次亜塩素酸ナトリウム溶液中に不純物として含まれる塩素酸含有量から求めた塩素酸濃度(計算濃度)と、前塩素処理後の塩素酸実測濃度は4施設中3施設で概ね一致した。塩素酸抑制には塩素酸含有量の少ない次亜塩素酸ナトリウム溶液の使用が有効であることが確認された。しかし、1施設で計算濃度より実測濃度が9倍も高い値となった。この施設での塩素酸生成促進要因として、前塩素処理での塩素濃度(次亜塩素酸濃度)変化が小さく塩素濃度が比較的高い濃度で維持された可能性や、鉄やマンガン等の遷移金属イオン

が次亜塩素酸イオンから塩素酸イオンへの酸化分解の触媒となっている可能性等が考えられた。

**謝辞** 本研究にあたり、調査当日の採水にお力添えを賜りました大阪市健康福祉局生活衛生担当係長 柳田博史氏はじめ大阪市保健所の皆様に厚くお礼申し上げます。また塩素酸分析でご指導いただきました大阪市立環境科学研究所 藁科宗博博士に感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 厚生労働省令第135号、水質基準に関する省令の一部を改正する省令、平19年11月14日。
- 2) 鈴木俊也, 岡本寛, 稲葉美佐子, 宇佐美美穂子, 永山敏廣. 地下水を原水とする専用水道における管理目標設定項目の調査. 東京健安研セ年報 2005; 56: 299-303.
- 3) 淵上和弘, 宮田雅典. 貯蔵時における次亜塩素酸ナトリウムの品質管理. 水道協会雑誌 2006; 75: 10-24.
- 4) 水道用次亜塩素酸ナトリウムの取扱い等の手引き (Q&A)、平成19年度厚生労働省委託「水道用薬品等基準」に関する調査」、(社)日本水道協会、平成20年3月。
- 5) 次亜塩素酸ナトリウム等水道用薬品の使用に当た
- 6) 厚生労働省告示第386号、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年厚生労働省告示第261号)の一部改正, 平成19年11月14日。
- 7) 厚生労働省告示第261号、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。
- 8) (独)国立環境研究所, 環境技術ライブラリ, 環境技術解説, 水処理膜, <http://ecotech.nies.go.jp/library/description/detail.php?id=44>, (2009/6/16)。
- 9) Adam L C and Gordon G. Hypochlorite ion decomposition: Effects of temperature, ionic strength, and chloride ion. Inorganic Chemistry 1999; 38: 1299-1304.
- 10) Leitner N K V, Laat J D, and Dore M. Photodecomposition of chlorine dioxide and chlorite by UV-irradiation. Water Research 1992; 26: 1655-1664.
- 11) Siddiqui M S. Chlorine-ozone interactions: Formation of chlorate. Water Research 1996; 30: 2160-2170