

水の消毒副生成物について

はじめに

日本では水道の蛇口を開けると、当たり前のように安全でおいしい水を得ることができます。この安全な水道水を製造する過程において、消毒は欠かせないものです。昭和32年に制定された水道法の第22条には、『水道事業者は、厚生労働省令の定めるところにより、水道施設の管理及び運営に関し、消毒その他衛生上必要な措置を講じなければならない』とあります。また、水道法施行規則の第17条には、『給水栓における水が、遊離残留塩素を0.1 mg/L（結合残留塩素の場合は0.4 mg/L）以上保持するように塩素消毒をすること』とあります。塩素消毒には、強い殺菌力があり、水に残留し持続して殺菌できる次亜塩素酸ナトリウム、液化塩素、二酸化塩素などが用いられます（以下これらを総称し「有効塩素」と表記します）。また、高度浄水方式の一部として、におい除去や有機物の分解を目的としてオゾンを使用する方法があります。塩素消毒やオゾン処理をすることにより、消毒、脱臭効果などのメリットがありますが、デメリットとして新たな物質が生成してしまうことがあります。これらの物質は消毒副生成物と呼ばれています。消毒副生成物には人の健康上有害なものがあり、基準値や目標値が設定されています。

本稿では、水道等における消毒副生成物の生成要因や健康影響、消毒副生成物を低減させる取り組みなどをご紹介します。

水道水の浄水工程

以下に浄水場での浄水工程を示します。

①急速ろ過方式の場合（例）

現在用いられている一般的な方法であり、確実に塩素消毒を行えると同時に、経済性に優れています。



②高度浄水方式の場合（例）

急速ろ過方式に加えて、活性炭、オゾン、生物活性炭などによる処理を行います。かび臭などのおい物質の除去やトリハロメタンの低減化に効果があります。



消毒副生成物の生成要因と健康影響

消毒副生成物と聞いて真っ先に思い浮かぶのはトリハロメタンですが、消毒副生成物はそれ以外にも数多く存在します。表-1に主な消毒副生成物を示します。

表-1 消毒副生成物

物質名	分類*1	基準値等 (mg/L)	生成要因等 1), 2), 3)	健康影響 1), 2), 3)
塩化シアン	A*2 D*3	0.01 0.01	シアン+有効塩素 めっき工業, 金属精錬, 都市ガス製造工業等の排水に含有(シアン)	めまい, 頭痛, 意識喪失
塩素酸	A	0.6	二酸化塩素消毒 次亜塩素酸ナトリウムの劣化	メトヘモグロビン血症, 腎臓衰弱化
ハロ酢酸類	—	—	フミン質+有効塩素	体重減少, 肝臓の障害, 鼻粘膜の炎症 一部発がん性あり
クロロ酢酸	A	0.02	ジクロロアセトニトリルの分解	
ジクロロ酢酸	A	0.03	農薬, 防腐材に使用	
トリクロロ酢酸	A	0.03		
ブロモ酢酸	C	—		
ジブロモ酢酸	C	—		
ブロモクロロ酢酸	C	—		
トリハロメタン類	A*4	0.1	フミン質, アミノ酸, 下水処理水由来の高分子有機物, 植物プランクトン+有効塩素	一部発がん性あり
クロロホルム	A	0.06	水温及びpHが高い時に生成上昇	
ジブロモクロロメタン	A	0.1		
ブロモジクロロメタン	A	0.03		
ブロモホルム	A	0.09		
臭素酸	A	0.01		次亜塩素酸ナトリウムの不純物 臭素+オゾン
ホルムアルデヒド	A	0.08	アミン類(ヘキサメチレンテトラミン等)+有効塩素 フミン酸+オゾン 合成樹脂原料, 農薬, 消毒剤に使用	発がん性あり
亜塩素酸	B	0.6	二酸化塩素の分解	メトヘモグロビン血症, 貧血症
ハロアセトニトリル類	—	—	アミノ酸+有効塩素	—
ジクロロアセトニトリル	B	0.01*5	水温が高いと生成量が増加加水分解し一部ジクロロ酢酸となる (ジクロロアセトニトリル)	
トリクロロアセトニトリル	C	—		
ジブロモアセトニトリル	C	0.06		
抱水クロラール	B	0.02*5		アミノ酸+有効塩素 フミン質+有効塩素 鎮静剤, 睡眠薬, 農薬原料として使用
クロロフェノール類	A*6 D*6	0.005*7 0.005*7	フェノール+有効塩素	発がん性あり
モノクロロフェノール	—	—		
ジクロロフェノール	—	—		
トリクロロフェノール	—	—		

*1 分類

- A:水道法に基づく水質基準：水質基準に関する省令（平成 15 年 5 月 30 日厚生労働省令第 101 号）
- B:水道法に基づく水質管理目標設定項目：水道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について（平成 15 年 10 月 10 日健発第 1010004 号）
- C:水道法に基づく要検討項目
- D:食品衛生法に基づく食品製造用水：食品，添加物等の規格基準（昭和 34 年厚生省告示第 370 号）の第 1 食品 B 食品一般の製造，加工及び調理基準

*2 シアン化物イオン及び塩化シアンとして

*3 シアン（シアンイオン及び塩化シアン）として

*4 総トリハロメタン（クロロホルム，ジブロモクロロメタン，ブロモジクロロメタン及びブロモホルムのそれぞれの濃度の総和）として

*5 暫定値

*6 フェノール類として

*7 フェノールとして

消毒副生成物を低減させる取り組み

急速ろ過方式の中に前塩素という工程があります。これは鉄やマンガンを酸化し、沈澱を生成させて除去することを主な目的としていますが、有機物が多い状態で有効塩素を添加すると、消毒副生成物の生成量は多くなります。これを回避するために、沈でん池工程後に有効塩素を添加する“中塩素”という工程を、前塩素と並行して取り入れている浄水場もあります。この場合、前塩素工程では添加する有効塩素の量が減るため、消毒副生成物の生成を抑えることができますし、中塩素の工程でも有機物が少ない状態で有効塩素を添加することができるので消毒副生成物の生成を抑えることができます。さらに、中塩素後に粒状活性炭の工程を入れることでトリハロメタン類を吸着除去させる方法もあります。

オゾン処理においてはオゾンの強力な酸化力により、有機物を分解し、かび臭物質を除去することができます。さらに生物活性炭（微生物が付着した活性炭）処理を併用することによって、オゾン処理後に残った有機物が活性炭に吸着除去され、微生物により分解されます。これらの工程により有機物が減少するため、後塩素の工程における消毒副生成物の生成が低減されます。

浄水場から各家庭に配水される際には、浄水場から一番離れた給水栓でも有効塩素が保持されるように計算して有効塩素を添加する必要がありますが、高濃度の有効塩素と接している時間が長ければ、さらにトリハロメタンなどが生成してしまう可能性があります。給水栓に近い各地域の給水所で有効塩素を添加できる設備を導入することによって浄水場での有効塩素添加量を減らし、消毒副生成物の低減化を実現している自治体もあります。

また、消毒副生成物の前駆物質（反応して消毒副生成物になり得る物質）がなければ有効塩素やオゾンも添加しても消毒副生成物が生成することはないので、原水中の前駆物質の濃度を上げないことが重要です。平成 24 年に利根川水系の浄水過程でホルムアルデヒドが水質基準を上回って検出され、取水停止になったことがありました。これは、流域の事業者からヘキサメチレンテトラミンが十分に処理されないまま河川に排出され、下流にある浄水場内で有効塩素と反応して高濃度のホルムアルデヒドが生成したことが原因でした。この件をきっかけに、浄水処理により「水質基準又は水質管理目標設定項目に係る物質のうち人の健康の保護に関する項目に該当する物質」を高い比率で生成し、万一原水に流入した場合に通常処理では対応が困難な物質を対象に「浄水処理対応困難物質」の設定が通知されました⁴⁾。水道事業者だけではな

く、水道水源の上流でそれらの物質を排出する可能性がある事業者に対し注意を促す目的で、現在 14 物質が設定されています。

水管理と消毒の影響

食品の製造に使用する水は食品衛生法の「食品製造用水」に適合であるとともに、水道水以外の井戸水、自家用水道等を使用する場合は殺菌装置又は浄水装置が正常に作動しているかを定期的に確認し記録することが必要です⁵⁾。また、食堂などで大量の調理を行う場合も、貯水槽を設置している場合や井戸水等を殺菌・ろ過して使用する場合には、遊離残留塩素が 0.1 mg/L 以上であることを始業前及び調理作業終了後に毎日検査し、記録することが求められます⁶⁾。また、専用水道を設置している場合には塩素消毒が必要となります。これらの場合、次亜塩素酸ナトリウムによる消毒が一般的ですが、浄水場の浄水工程と同様に、消毒副生成物が生成する可能性があるため注意が必要です。次亜塩素酸ナトリウムは、薬品のグレードが低いと塩素酸や臭素酸が多く含まれ⁷⁾、長期間、高温状態で保管すると有効塩素濃度が減少し、塩素酸濃度が上昇します。従って、グレードの高いものを少量ずつ購入し、冷暗所に保管するなど対策が必要です⁸⁾。

一方、簡易専用水道の管理では、消毒そのものは必須ではありませんが、残留塩素の確認測定をすることが各自治体で推奨されています。貯水槽での滞留時間が長いと残留塩素が減少し、細菌類による汚染の可能性があるため、貯水量の調整、貯水槽やその周辺の定期的な清掃などの管理が必要になります。

おわりに

水を浄水する工程において消毒は必須であり、それに伴う消毒副生成物の生成をなくすことはできませんが、有効塩素を添加する工程を見直したり、オゾン処理などの高度浄水処理を導入したりすることで、消毒副生成物を減らす努力が各水道局でなされています。しかし、原水の水質が悪化すると、処理のための施設や薬品が必要になり、消毒副生成物の生成量も増加します。

また、井戸水を消毒して飲用水や食品製造用水として使用する場合においても、消毒による副生成物が生成し得るため、注意が必要です。次亜塩素酸ナトリウムの管理も必要になります。

弊センターでは水質管理や水道用薬品等の検査を行っております。お気軽にご相談ください。

参考文献

- 1) 日本水道協会：上水試験方法 解説編 2001 年度版
- 2) 国立保健医療科学院：WHO 飲料水水質ガイドライン第 4 版
- 3) 日本水道新聞社：水道水質事典
- 4) 「浄水処理対応困難物質」の設定について（平成 27 年健水発 0306 第 1 号）別紙「浄水処理対応困難物質」の設定について
- 5) 食品等事業者が実施すべき管理運営基準に関する指針（ガイドライン）の改正について（平成 26 年食安発 1014 第 1 号）
- 6) 「大量調理施設衛生管理マニュアル」の改正について（平成 29 年生食発 0616 第 1 号）
- 7) 日本水道協会：水道用次亜塩素酸ナトリウムの取扱いの手引き（Q&A）
- 8) 水質基準に関する省令の一部改正等における留意事項について（平成 19 年健水発第 1115002 号）