

1.2 消毒副生成物、病原微生物、放射性物質等 (ver. 1)

- Q II-1.2-① 消毒副生成物及び消毒副生成物前駆物質とは何か。
- Q II-1.2-② 消毒副生成物の水質基準とは何か。
- Q II-1.2-③ 緩速ろ過で消毒副生成物前駆物質は除去されるのか。
- Q II-1.2-④ 水道水質に関係する病原体とは何か。
- Q II-1.2-⑤ 病原微生物の水道水質基準は、どのようなものか。
- Q II-1.2-⑥ 緩速ろ過で病原体は除去されるのか。
- Q II-1.2-⑦ 緩速ろ過でどの程度の病原体の除去率が必要となるか。
- Q II-1.2-⑧ 水道水質に関係する放射性物質とは何か。
- Q II-1.2-⑨ 放射性物質の水道水質基準とは何か。
- Q II-1.2-⑩ 緩速ろ過で放射性物質は除去されるのか。
- Q II-1.2-⑪ 緩速ろ過で PM2.5 は除去されるのか。

Q II-1.2-① 消毒副生成物及び消毒副生成物前駆物質とは何か。

A II-1.2-① 消毒副生成物とは、浄水処理で行われる消毒により生成される物質で、健康影響のあるものを対象としている。消毒剤と消毒副生成物の前駆物質が反応して消毒副生成物が作られる。代表的な消毒副生成物であるトリハロメタン類は、フミン質や藻体構成物質などの有機物質と消毒剤の塩素が反応して生成し、臭素が付加した消毒副生成物は、これらに加えて水中の臭化物イオンが反応に関与して生成する。生成量は、有機物濃度、塩素消費量、pH 値、水温、反応時間の影響を受け、これらの値が大きいほど生成量が多くなる。このため、トリハロメタン濃度は、浄水場の浄水より末端給水管水の方が高くなる傾向がある。また、塩素注入の前に消毒副生成物前駆物質を低減化することと、塩素注入率を可能な限り低減化することが重要である。

消毒剤としては、主として塩素消毒であるが、その他オゾンや二酸化塩素も含まれる。オゾンの消毒副生成物としてはホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、臭素酸や N-ニトロソジメチルアミン (NDMA)、二酸化塩素の消毒副生成物としては塩素酸や亜塩素酸がある。

Q II-1.2-② 消毒副生成物の水質基準とは何か。

A II-1.2-② 水道の水質基準に含まれる消毒副生成物は以下の通りである。

種類	分類	項目	基準値等 (mg/L)
水質基準項目	トリハロメタン類	クロロホルム	0.06
		ジブロモクロロメタン	0.1
		ブロモジクロロメタン	0.03
		ブロモホルム	0.09
		総トリハロメタン	0.1

水質基準項目	ハロ酢酸類	クロロ酢酸	0.02	
		ジクロロ酢酸	0.03	
		トリクロロ酢酸	0.03	
	その他の有機物質	ホルムアルデヒド	0.08	
		無機物質	シアン化物イオン及び塩化シアン	0.01
			塩素酸	0.6
臭素酸	0.01			
水質管理目標 設定項目	ハロアセトニトリル類	ジクロロアセトニトリル	0.01 (暫定)	
	その他の有機物質	抱水クロラール	0.02 (暫定)	
	無機物質	亜塩素酸	0.6	
		二酸化塩素	0.6	
要検討項目	ハロ酢酸類	ブromクロロ酢酸	-	
		ブromジクロロ酢酸	-	
		ジブromクロロ酢酸	-	
		ブrom酢酸	-	
		ジブrom酢酸	-	
		トリブrom酢酸	-	
	ハロアセトニトリル類	トリクロロアセトニトリル	-	
		ブromクロロアセトニトリル	-	
		ジブromアセトニトリル	0.06	
	その他の有機物質	アセトアルデヒド	-	
		MX	0.001	
		N-ニトロソジメチルアミン (NDMA)	0.0001	

消毒副生成物前駆物質には水質基準は設定されていない。しかし、トリハロメタン生成能 (THMFP) が前駆物質の指標として測定されることがある。また、全有機炭素 (TOC) や紫外吸光度 (UV254nm) が、原水や処理過程の前駆物質の動向を知るために測定されることもある。

平成 24 年 5 月に、利根川水系にヘキサメチレンテトラミンが流出し、浄水場での塩素消毒によりホルムアルデヒドが生成したことにより発生した断水を伴う事態を契機として、関連する物質の情報が整理された。これらは、「浄水処理対応困難物質」として、下表の物質がリストアップされている。これらの物質は、有機化合物については、オクタノール水分配係数やヘンリー定数が小さく除濁過程や水中からの揮散で減少しにくい。そのため、通常の浄水処理では低減化が難しいものである。無機物質の臭化物も浄水処理では低減化が難しい。このため、これらについて、事故時の迅速な対応とともにリスクの把握が求められる。

物質	生成する水質基準等物質
ヘキサメチレンテトラミン	ホルムアルデヒド (塩素処理により生成)
1,1-ジメチルヒドラジン	
N,N-ジメチルアニリン	
トリメチルアミン	
テトラメチルエチレンジアミン	
N,N-ジメチルエチルアミン	
ジメチルアミノエタノール	

アセトンジカルボン酸	クロロホルム (塩素処理により生成)
1,3-ジヒドロキシベンゼン (レゾルシノール)	
1,3,5-トリヒドロキシベンゼン	
アセチルアセトン	
2'-アミノアセトフェノン	
3'-アミノアセトフェノン	
臭化物 (臭化カリウム等)	臭素酸 (オゾン処理により生成)、ジブロモクロロメタン、プロモジクロロメタン、プロモホルム (塩素処理により生成)

Q II-1.2-③ 緩速ろ過で消毒副生成物前駆物質は除去されるのか。

A II-1.2-③ 消毒副生成物前駆物質の有機物質のうち、懸濁態のものは緩速ろ過の除濁プロセスにより除去される。溶存態で、藻体構成物質のような生物分解性のもも生物ろ過膜で除去される。その他、フミン質のような非分解性のもも、一部が生物ろ過膜及び砂層への付着により減少する。このため、除去率は原水中の有機物質の組成に影響され、生分解性有機物質の割合が大きい場合には、緩速ろ過による消毒副生成物の低減化効果が大きくなる。

「浄水処理対応困難物質」のうち、ヘキサメチレンテトラミンは環境中で加水分解又は生物分解で減少するとされているが、半減時間が100日オーダーと長く、緩速ろ過での低減化は期待できない。ただし、加水分解生成物のアンモニアとホルムアルデヒドは、硝化反応及び微生物分解による低減化が可能である。

Q II-1.2-④ 水道水質に関係する病原体とは何か。

A II-1.2-④ 水道水の安全性に係る病原体として、細菌、ウイルス、原虫があり、これらが水道水への水質リスクとなる。飲料水を介して伝播する可能性のある病原微生物には数多くの種類があり、それらの伝搬の経路と感染（飲用により胃腸へ感染、エアロゾルの吸入により呼吸器へ感染、入浴等の接触により皮膚、粘膜、傷、目への感染）、水供給過程での生残性、塩素消毒への抵抗力、感染力と病気の重篤度は様々である。これら进行评估するために、参照病原体が選定されている。例えば、細菌は大腸菌やカンピロバクター、ウイルスはロタウイルスやエンテロウイルス、原虫はクリプトスポリジウムやジアルジアがそれである。これらにより、定量的微生物リスク評価を行い、障害調整生存年数 (DALY) 指標を用いて、浄水処理性能上の目標の決定や水質改善効果の評価に活用されている。

また、個々の病原体の水中の存在量を測定することは難しいので、監視や運転管理の目的には指標が用いられている。例えば、大腸菌、大腸菌群、従属栄養細菌、嫌気性芽胞菌などの細菌、大腸菌ファージや腸管ウイルスのようなウイルスで、これらは必ずしも病原性があるものではないが、検査方法が容易であること、消毒剤への応答に代表性があるなどの利点がある。

Q II-1.2-⑤ 病原微生物の水道水質基準は、どのようなものか。

A II-1.2-⑤ 水質基準には、指標微生物が用いられる。日本の水質基準では、水質基準項目に大腸菌（基準値：検出されないこと）及び一般細菌（基準値：100 個/mL 以下）が定められている。これらは、糞便汚染の指標及び消毒効果の指標である。また、水質管理目標項目には従属栄養細菌（目標値：2000 個/mL 以下）があり、消毒効果及び配水施設の清浄度の指標とされている。さらに、クリプトスポリジウム等対策では、原水の汚染の指標として、大腸菌と嫌気性芽胞菌が用いられ、検出された場合クリプトスポリジウム等による汚染のおそれがあるとされ、ろ過設備や紫外線処理設備の予防対策が求められる。

WHO 飲料水水質ガイドラインでは、大腸菌または糞便性大腸菌群が 100mL 中に検出してはならないこととされている。アメリカ合衆国 USEPA の飲料水水質基準では、第 1 種飲料水規則の最大許容濃度 (MCL) として、クリプトスポリジウム（原水存在量に応じた除去率、例えば 3 個/L で 99.7%）、ジアルジア（除去/不活性化率 99.9%）、従属栄養細菌（500 個/mL 以下）、レジオネラ、大腸菌群：糞便性大腸菌群及び大腸菌を含む（大腸菌群の陽性試料の割合が月間 5%以下）、腸管ウイルス（除去/不活性化率 99.99%）について、それぞれ（ ）で示した処理技術要件が定められている。

Q II-1.2-⑥ 緩速ろ過で病原体は除去されるのか。

A II-1.2-⑥ 緩速ろ過法では、ろ過及び消毒により除去又は不活性化される。

ろ過では、生物ろ過膜への吸着を含む捕捉と原生動物等の摂食により除去される。WHO 飲料水水質ガイドラインでは、生物膜の形成の有無、ろ過砂の粒径、流量、運転条件（主に、温度、pH 値）によるが、以下のような除去率が示されている。

病原体	最小除去率	最大除去率
細菌	2 log (99%)	6 log (99.999%)
ウイルス	0.25 log (44%)	4 log (99.99%)
原虫	0.3 log (50%)	> 5 log (99.999%)

また、塩素消毒による 99%不活性化のための Ct 値（遊離残留塩素濃度と接触時間の積：mg/L・min）は以下の通りである。

病原体	Ct 値 (99%)
細菌	0.04~0.08 (5°C、pH6~7)
ウイルス	2~30 (0~10°C、pH7~9)
原虫	ジアルジア：25~245 (0~25°C、pH7~8) クリプトスポリジウム：1,600 (20°C、pH 7.0)

他の消毒方法による Ct 値、消毒効果は以下の通りである。オゾン塩素より消毒効果が高い。また、一般的に、ウイルスは細菌より耐性がある。Ct 値は温度の影響を受け、クリプトスポリジウムは特に温度により大きく異なる。紫外線照射の効果は、濁質や溶存物質の量、照射強度、曝露時間、紫外線の波長及び照射量に影響される。

病原体	二酸化塩素 (Ct 値)	オゾン (Ct 値)	紫外線照射 (99%)
細菌	0.03~0.3 (15-25°C、pH6.5-7)	0.02	0.65~230 mJ/cm ²
ウイルス	2~30 (0-10°C、pH7-9)	0.006~0.2	7~186 mJ/cm ²
原虫	100	0.5~40	<1~60 mJ/cm ²

Q II-1.2-⑦ 緩速ろ過でどの程度の病原体の除去率が必要となるか。

A II-1.2-⑦ 水質基準値による評価とは別に、定量的微生物リスク評価により除去率を評価することもできる。このリスク評価では、曝露、用量-反応関係、発生頻度、疾病の重篤度から、指標として障害調整生存年数 (DALY) を求め、その値が1人当たり年間 10⁻⁶ DALY となるように、原水濃度に応じた目標除去率を求めるものである。

厚生科学審議会生活環境部会水質管理専門委員会報告「水質基準の見直し等について」(平成 15 年 4 月 28 日)によれば、原水中のクリプトスポリジウムが1個/10Lの場合、ろ過による除去率は2log (99%)の必要がある。クリプトスポリジウムの場合は、塩素消毒に対する Ct 値が高く、通常の塩素消毒の濃度 (~1mg/L) 及び摂取されるまでの最小接触時間 (~1hr) では不活性化効果がなく、ろ過による除去が必要である。

一方、細菌やウイルスは残留塩素による不活性化効果が期待できる。給水栓水で残留塩素を維持することは、これらによるリスクを低減化することに繋がる。

Q II-1.2-⑧ 水道水質に関係する放射性物質とは何か。

A II-1.2-⑧ 水道水源を含む環境中に存在する可能性のある放射性物質としては、自然起源と人為起源のものがある。例えば、カリウム-40 など自然起源のものは、土壌粒子や水中に溶存した状態で存在する。セシウム-137 など人工の放射性物質は、原子力発電所の事故等で環境中に拡散したものである。

WHO飲料水水質ガイドラインでは、健康影響のないレベルとして年間線量が0.1ミリシーベルト (mSv) 以下という個人線量基準が設定されている。これは、世界の平均年間線量が約3mSvで、このうち80% (2.4mSv) がラドンなど自然起源のもの、19.6% (0.4mSv) が医療診断のための放射線の利用によるものであることから、飲料水中の放射性物質については低いレベルとされている。これを基に、全α線0.5ベクレル (Bq) /L 及び全β線1Bq/L がスクリーニングレベルとして定められている。この際、カリウムは溶存主成分として飲料水に含まれていることが多いため、全β線からカリウム-40の影響を除く操作 (カリウム1g当り27.9Bq) も行われる。

スクリーニングレベルを超過した場合には、原因となる放射性核種を同定し、個々の放射性物質濃度を測定する必要がある。測定結果をガイダンスレベルと比較し、必要に応じて飲用制限等の対応を実施する。ガイダンスレベルは、1年間毎日2L摂取した場合の実効線量が0.1mSv/年となる放射性核種の濃度である。複数に影響する場合、個々の放射性物質濃度をそれぞれのガイダンスレベルで除したものを総和して判断する必要

がある。

Q II-1.2-⑨ 放射性物質の水道水質基準とは何か。

A II-1.2-⑨ 日本においては、水質基準に放射性物質は含まれていない。

2011年3月11日の福島第一原子力発電所の事故により、放射性ヨウ素、放射性セシウムが広く環境中に拡散したため、2011年3月19日放射性ヨウ素 300Bq/kg（乳児100Bq/kg）、放射性セシウム 200Bq/kg の指標値が通知により示された。その後、2012年3月5日に放射性セシウム（セシウム-134 及びセシウム-137）の管理目標値として、10Bq/kg が通知で示され、4月1日より施行されている。放射性ヨウ素（ヨウ素-131）は半減期が8日で既に環境中に存在しないこと、ウランは放出量が極めて少ないこと、ストロンチウム-90 は検査が容易でないこととセシウム-137 との存在比から放射性セシウムの管理目標値に包含できることから、放射性セシウム（半減期は、セシウム-134:2年、セシウム-137:30年）についてのみ管理目標値が設定された。なお、10Bq/kg はWHO飲料水水質ガイドラインのガイダンスレベルに相当する。福島第一原子力発電所の事故以降、個別の核種が測定できるゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー装置が広く設置されたため、スクリーニングを経ずして個別の放射性核種のセシウム-134 とセシウム-137 の目標値が設定された。また、この管理目標値を超過した場合の対応として、セシウムがろ過操作により除去されることから、直ちに給水停止するのではなく、浄水処理の復旧、他水源への振替、摂取制限等の措置が求められる。

WHO飲料水水質ガイドラインでは、全 α 線 0.5Bq/L 及び全 β 線 1Bq/L のスクリーニングレベルと、各放射性核種のガイダンスレベルが示されている。アメリカ合衆国USEPAの飲料水水質基準では、第1種飲料水規則のMCLとして、 α 粒子（15pCi/L、0.555Bq/L に相当）、 β 粒子及び光子放射物質（4mrem/年、0.04mSv/年に相当）、ラジウム-226 及びラジウム-228（5pCi/L、0.189Bq/L に相当）、ウラン（30 μ g/L）が設定されている。ヨーロッパ連合の飲料水指令では、トリチウム（100Bq/L）、全放射性物質暴露量（0.1mSv/年）が示されている。

Q II-1.2-⑩ 緩速ろ過で放射性物質は除去されるのか。

A II-1.2-⑩ 放射性物質の除去は、その化学的形態に影響される。

管理目標値が設定されている放射性セシウムは粒子に吸着され易く、環境水中ではほとんどが懸濁態で存在し、一部が陽イオンとして溶存している。緩速ろ過では、粒子捕捉により懸濁態が、付着により溶存態の一部が除去されるので、濁度管理を適切に行えばほとんどが除去される。

放射性ヨウ素は、環境水中では、粒子状ヨウ素、有機態ヨウ素又はヨウ化物イオンの形で存在すると考えられる。このうち、粒子状ヨウ素はろ過により除去され、有機態ヨウ素は一部が付着により除去されるが、ヨウ化物イオンの除去は難しい。このため、原

水中の存在形態にもよるが、放射性ヨウ素が水道水中に残存する可能性は高い。また、水道水中の残留塩素によりヨウ素酸イオンとなり、これらは家庭用浄水器でも除去されにくい。

Q II-1.2-⑪ 緩速ろ過でPM2.5は除去されるのか。

A II-1.2-⑪ PM2.5とは、大気中に浮遊している $2.5\mu\text{m}$ 以下の小さな粒子で、非常に小さいため、吸入すると肺の奥深くまで入り易く、呼吸器系への影響に加え循環器系への影響が心配されている。PM2.5の原因として、物の燃焼などによって直接排出されるものと、硫黄酸化物(SO_x)、窒素酸化物(NO_x)、揮発性有機化合物(VOC)等のガス状大気汚染物質が、主として環境大気中での化学反応により粒子化したものがある。

表流水(川、ダム湖、湖)を水源としている浄水場では、降雨等に含まれるPM2.5が原水に混入することがあるが、このような $2.5\mu\text{m}$ 以下の粒子は、粘土粒子等元来原水に多く含まれており、緩速ろ過による粒子捕捉で除くことができるものである。このため、濁度管理(ろ過水濁度0.1度以下を維持)が適切であれば問題はない。また、硫黄酸化物(SO_x)、窒素酸化物(NO_x)も、たとえ原水に溶け込んでも、原水中に本来含まれている量に比べれば少なく問題はない。揮発性有機化合物(VOC)は、水中には溶け込みにくい。これらについては、水質基準の検査結果(硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素、ジクロロメタン、テトラクロロエチレン、トリクロロエチレン、ベンゼン、クロロホルム等)に異常がないことで確認できる。