

1.1 微量有機化学物質および無機化学物質 (ver. 1)

- Q II-1.1-① 緩速ろ過により微量有機化学物質は除去されるのか。
- Q II-1.1-② 微量有機化学物質の水道水質基準は、どのようなものか。
- Q II-1.1-③ 緩速ろ過で除去される又は減少する微量有機化学物質はどのようなものか。
- Q II-1.1-④ 緩速ろ過により無機化学物質は除去されるのか。
- Q II-1.1-⑤ 無機化学物質の水道水質基準は、どのようなものか。
- Q II-1.1-⑥ 緩速ろ過で除去される又は変化する無機化学物質はどのようなものか。

Q II-1.1-① 緩速ろ過により微量有機化学物質は除去されるのか。

A II-1.1-① 微量有機化学物質とは、土壌起源のフミン質等の主成分有機物とは異なり、水中に  $\mu\text{g/L}$  レベル等の微量に存在する有機化学物質である。主に人為起源であるが藻類が産生するかび臭物質等天然のものも含まれる。緩速ろ過では、生物ろ過膜による懸濁態成分の粒子除去、溶存成分の付着と生物分解、大気中への揮散による有機化学物質の除去機能がある。緩速ろ過による個々の微量有機化学物質の除去効果は、原水の水質、前処理方法、生物分解に寄与する微生物、水温等の条件等に影響されるため、浄水場に特有のものとなることが多い。このため、蓄積された水質データの処理やパイロット実験で得られる情報から除去率を得るのが望ましいが、微量有機化学物質が極めて多種に亘っていることや原水の過去データが全て不検出など、必ずしも十分でないことも多い。そこで、物質の性質により除去可能性を推定することも行われている。

なお、個別の物質の情報があっても、生物ろ過膜の複合的な除去機能により、多くの微量有機化学物質に対応できる可能性があり、これが防御装置（バリアー）としての緩速ろ過の利点となっている。

除去機構	有機化学物質の性質との関係												
粒子除去	<p>有機化学物質が水源で混入した後、粒子に吸着し原水中で懸濁物として含まれる程度は、疎水性の尺度であるオクタノール-水分配係数 <math>Pow</math> が目安となる。原水中の懸濁物は、粒子捕捉等の除濁機構により除去される。<math>Pow</math> を用いた有機化学物質の懸濁態の割合の推定例として、以下がある。</p> <table border="1" data-bbox="691 1615 1168 1843"> <thead> <tr> <th>logPow</th> <th>懸濁態割合 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>~3</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>3~5</td> <td>0~5</td> </tr> <tr> <td>5~6</td> <td>5~30</td> </tr> <tr> <td>6~7</td> <td>30~80</td> </tr> <tr> <td>7~</td> <td>80~</td> </tr> </tbody> </table> <p>平衡状態で懸濁態となる割合は、<math>Pow</math> の他、水中の懸濁物質量 (SS)、その有機物含有量 (<math>OC_{SS}</math>) に影響される。  <math>(0.41Pow \times SS \times OC_{SS}) / (1 + 0.41Pow \times SS \times OC_{SS})</math>                      上記の表は、<math>SS=10\text{mg/L}</math>、<math>OC_{SS}=0.1</math> として計算している。</p>	logPow	懸濁態割合 (%)	~3	0	3~5	0~5	5~6	5~30	6~7	30~80	7~	80~
	logPow	懸濁態割合 (%)											
	~3	0											
	3~5	0~5											
	5~6	5~30											
	6~7	30~80											
7~	80~												

<p>溶存物質の付着</p>	<p>溶存状態で原水に含まれる有機化合物で、疎水性のものは生物ろ過膜および砂層の有機物に付着し易いので、それにより水中から除去される。生物ろ過膜及び砂層に付着により保持された有機化学物質は、生物分解性であればそこで生物分解を受ける。保持されることで、生物分解の反応時間が長くなるという利点がある。オクタノール-水分配係数を用いた有機化学物質のろ過層への移行割合の推定例として、以下がある。</p> <table border="1" data-bbox="651 555 1206 707"> <thead> <tr> <th>logPow</th> <th>ろ過層への移行割合 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>98</td> </tr> </tbody> </table> <p>平衡状態でろ過層へ移行する割合は、Pow の他、ろ過層の密度 (Den)、有機物含有量 (OCss)、間隙率(φ)に影響される。  <math display="block">\frac{((1-\phi) \times 0.41Pow \times Den \times OCss)}{(\phi + (1-\phi) \times 0.41Pow \times Den \times OCss)}</math> 上記の表は、Den=2.0 g/cm<sup>3</sup>、OCss=0.2、φ=0.4 として計算している。ただし、この値は平衡状態に達した場合で、実際のろ過池においては平衡に達する前に流出するので、この1部が付着すると考えられ、その程度はろ過速度に影響される。</p>	logPow	ろ過層への移行割合 (%)	1	30	2	80	3	98
logPow	ろ過層への移行割合 (%)								
1	30								
2	80								
3	98								
<p>生物分解</p>	<p>生物分解は、対象化学物質の分解に寄与する微生物が生物ろ過膜に存在することで起こるため、微生物の馴養が必要となる。このため、比較的長期間暴露されている物質の除去率は高くなるが、人工の有機化学物質などの突発的な汚染の場合生物分解は起こり難い。微量有機化学物質の生物分解による濃度変化は、濃度の一次式に従うことが知られている。</p> $C_t = C_0 \exp(-kmt)$ <p>C<sub>t</sub> : 時間 t における微量有機化学物質の濃度  C<sub>0</sub> : 初期の微量有機化学物質の濃度  k : 反応速度定数 (微量有機化学物質、水温により異なる)  m : 生物分解に寄与する微生物濃度  t : 接触時間</p> <p>微量有機化学物質ごとの k 値の情報は容易に得られるわけではないので、生物分解性の有無や表流水中における生物分解半減期 T<sub>1/2</sub> (= ln2/km) のデータを参考にする。緩速ろ過池ではろ過池水から砂層を含めて半日程度の滞留時間があるので、半減期が時間単位のもの減少が期待できる。また、付着により生物ろ過膜に保持され易いものは、半減期が長くても除去される可能性がある。</p>								
<p>大気中への揮散</p>	<p>揮発性の有機化合物が原水中に混入した場合、ろ過池水から大気中への揮散により減少する可能性がある。揮散の速度定数 kwa は、ヘンリー定数 He により、以下の式で計算される。</p> $kwa = 1 / (1 / (U1 \times He / RT) + 1 / U2) / Dw$ <p>U1 : 大気-水境界面の大气側の物質移動係数  U2 : 大気-水境界面の水側の物質移動係数  R : 気体定数  T : 絶対温度  Dw : 水深</p>								

また、半減期  $T_{1/2}$  は、 $T_{1/2} = \ln 2 / k_{wa}$  で計算できる。  
 例として  $U_1$  が 3m/hr、 $U_2$  が 0.03m/hr、水温 20℃、水深 0.5 m のモデルでの半減期は次のようになる。

ヘンリー定数 : Pa・m <sup>3</sup> /mol (25℃)	半減期 : hr
1000	12
100	14
10	40

微量有機化学物質のオクタノール-水分配係数、生物分解性の有無（半減期）、ヘンリー定数は、「化学物質の初期リスク評価書」（独立行政法人 製品評価技術基盤機構）等を参考にすることができ、これらにより緩速ろ過による除去可能性を推定する。

Q II-1.1-② 微量有機化学物質の水道水質基準は、どのようなものか。

A II-1.1-② 水道の水質基準に含まれる微量有機化学物質は以下の通りである。

分類	種類	項目	基準値等 (mg/L)	分類	種類	項目	基準値等 (mg/L)
水質基準項目	工業用化学薬品	四塩化炭素	0.002	要検討項目		1,2,3-トリクロロベンゼン	0.02
		1,4-ジオキサン	0.05			ニトリロ三酢酸(NTA)	0.2
		シス-1,2-ジクロロエチレン及びトランス-1,2-ジクロロエチレン	0.04		藻類	ミクロキスチン-LR	0.0008(暫定)
		ジクロロメタン	0.02		水道用資機材・浄水薬品	アクリルアミド	0.0005
		テトラクロロエチレン	0.01			アクリル酸	-
		トリクロロエチレン	0.01			エチレンジアミン四酢酸(EDTA)	0.5
		ベンゼン	0.01			エピクロロヒドリン	0.0004(暫定)
		フェノール類	0.005			塩化ビニル	0.002
	洗剤	陰イオン界面活性剤	0.2			酢酸ビニル	-
		非イオン界面活性剤	0.02			2,4-ジアミノトルエン	-
藻産類生	ジェオスミン	0.00001	2,6-ジアミノトルエン	-			
	2-メチルイソボルネオール	0.00001	N,N-ジメチルアニリン	-			
水質設定管理目標	工業用化学薬品	1,2-ジクロロエタン	0.004	スチレン	0.02		
		トルエン	0.4	トリエチレンテトラミン	-		
		フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	0.08	ヒドラジン	-		
		1,1,1-トリクロロエタン	0.3	1,2-ブタジエン	-		
		メチル-t-ブチルエーテル	0.02	1,3-ブタジエン	-		
		1,1-ジクロロエチレン	0.1	内分秘攪乱	17-β-エストラジオール	0.00008(暫定)	
		1,1,1-トリクロロエタン	0.3		エチニル-エストラジオール	0.00002(暫定)	
要検討項目	工業用化学薬品	フタル酸ジ-n-ブチル	0.01	ノニルフェノール	0.3(暫定)		
		フタル酸ブチルベンジル	0.5(暫定)	ビスフェノール A	0.1(暫定)		
		有機すざ化合物	0.0006(暫定)	その他	ダイオキシン類 (pgTEQ/L)	1(暫定)	
		キシレン	0.4				
		パーフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS)	-				
		パーフルオロオクタン酸 (PFOA)	-				
		アニリン	0.02				
		キノリン	0.0001				

分類	種類	項目	基準値等 (mg/L)	分類	種類	項目	基準値等 (mg/L)
水質管理目標設定項目	農薬類	1, 3-ジクロロプロペン (D-D)	0.05	水質管理目標設定項目	農薬類	チアジニル	0.1
		2,2-DPA (ダラボン)	0.08			チウラム	0.02
		2,4-D (2,4-PA)	0.03			チオジカルブ	0.08
		EPN	0.004			チオファネートメチル	0.3
		MCPA	0.005			チオベンカルブ	0.02
		アシュラム	0.9			テルブカルブ (MBPMC)	0.02
		アセフェート	0.006			トリクロピル	0.006
		アトラジン	0.01			トリクロルホン (DEP)	0.005
		アニコホス	0.003			トリシクラゾール	0.1
		アミトラズ	0.006			トリフルラリン	0.06
		アラクロール	0.03			ナプロバミド	0.03
		イソキサチオン	0.008			パラコート	0.005
		イソフェンホス	0.001			ピペロホス	0.0009
		イソプロカルブ (MIPC)	0.01			ピラクロニル	0.01
		イソプロチオラン (IPT)	0.3			ピラゾキシフェン	0.004
		イプロベンホス (IBP)	0.09			ピラゾリネート (ピラゾレート)	0.02
		イミノクタジン	0.006			ピリダフェンチオン	0.002
		インダノファン	0.009			ピリプチカルブ	0.02
		エスプロカルブ	0.03			ピロキロン	0.04
		エディフェンホス (EDDP)	0.006			フィプロニル	0.0005
		エトフェンブロックス	0.08			フェントロチオン (MEP)	0.01
		エトリジアゾール (エクロメゾール)	0.004			フェノブカルブ (BPMC)	0.03
		エンドスルファン (ベンゾエピン)	0.01			フェリムゾン	0.05
		オキサジクロメホン	0.02			フェンチオン (MPP)	0.006
		オキシ銅 (有機銅)	0.03			フェントエート (PAP)	0.007
		オリサストロビン	0.1			フェントラザミド	0.01
		カズサホス	0.0006			フサライド	0.1
		カフェンストール	0.008			ブタクロール	0.03
		カルタップ	0.3			ブタミホス	0.02
		カルバリル (NAC)	0.05			ブプロフェジン	0.02
		カルプロバミド	0.04			フルアジナム	0.03
		カルボフラン	0.005			プレチラクロール	0.05
		キノクラミン (ACN)	0.005			プロシミドン	0.09
		キャブタン	0.3			プロチオホス	0.004
		クミルロン	0.03			プロピコナゾール	0.05
		グリホサート	2			プロピザミド	0.05
		グルホシネート	0.02			プロベナゾール	0.05
		クロメプロップ	0.02			プロモブチド	0.1
		クロルニトロフェン (CNP)	0.0001			ベノミル	0.02
		クロルピリホス	0.003			ペンシクロン	0.1
		クロロタロニル (TPN)	0.05			ベンゾビシクロン	0.09
		シアナジン	0.004			ベンゾフェナップ	0.004
		シアノホス (CYAP)	0.003			ベンタジン	0.2
		ジウロン (DCMU)	0.02			ベンディメタリン	0.3
		ジクロベニル (DBN)	0.03			ベンフラカルブ	0.04
		ジクロルボス (DDVP)	0.008			ベンフルラリン (ベスロジン)	0.01
		ジクワット	0.005			ベンフレセート	0.07
		ジスルホトン (エチルチオメトン)	0.004			ホスチアゼート	0.003
		ジチアノン	0.03			マラチオン (マラソン)	0.7
		ジチオカルバメート系農薬	0.005			メコプロップ (MCPPE)	0.05
ジチオピル	0.009	メソミル	0.03				
シハロホップブチル	0.006	メタム (カーバム)	0.01				
シマジン (CAT)	0.003	メタラキシル	0.06				
ジメタメリン	0.02	メチダチオン (DMTP)	0.004				
ジメトエート	0.05	メチルダイムロン	0.03				
シメトリン	0.03	メミノストロビン	0.04				
ジメピペート	0.003	メトリブジン	0.03				
ダイアジン	0.003	メフェナセート	0.02				
ダイムロン	0.8	メプロニル	0.1				
ダブメット	0.006	モリネート	0.005				

なお、医薬品類については、基準は設定されていない。

Q II-1.1-③ 緩速ろ過で除去される又は減少する微量有機化学物質はどのようなものがあるか。

A II-1.1-③ 物質情報から緩速ろ過により除去される又は減少する可能性のある物質の例とその除去機構は以下の通りである。

除去機構	除去される又は減少する可能性のある有機化学物質の例
粒子除去 溶存物質の付着 (logPow)	<ul style="list-style-type: none"> <li>工業用化学薬品 (フタル酸ジ-2-エチルヘキシル;4.89、フタル酸ジ-n-ブチル;4.9、フタル酸ブチルベンジル;4.77)</li> <li>ダイオキシン類 (2,3,7,8-TCDD;6.07、OCDD;7.08)</li> <li>内分泌攪乱化学物質 (ノニルフェノール;5.76)</li> <li>農薬類 (EPN;5.02、アミトラズ;5.50、エスプロカルブ;4.60、エトフェンプロックス;6.90、クロルピリホス;4.70、トリフルラリン;5.07、ピリブチカルブ;5.18、ブタミホス;4.62、ブプロフェジン;4.80、プロチオホス;5.67、ベンゾフェナップ 4.69、ペンディメタリン;5.18)</li> </ul>
生物分解	<ul style="list-style-type: none"> <li>藻類産生物質 (ジェオスミン、2-メチルイソボルネオール、マイクロキスチン)</li> <li>内分泌かく乱化学物質 (エチニルエストラジオール、17β-エストラジオール、ビスフェノールAなど)</li> <li>工業用化学薬品 (フェノール、ブromoフェノールなど)</li> <li>農薬類 (モリネート、2,4-D など)</li> <li>医薬品 (ジクロフェナク、ナプロキセン、イブプロフェンなど)</li> <li>洗剤 (陰イオン界面活性剤、非イオン界面活性剤)</li> </ul>
大気中への揮散 (ヘンリー定数: Pa・m <sup>3</sup> /mol, 25°C)	<ul style="list-style-type: none"> <li>工業用化学薬品 (四塩化炭素;2800、ジクロロメタン;329、トリクロロエチレン;998、テトラクロロエチレン;1790、ベンゼン;562、トルエン;673、1,1,1-トリクロロエタン;998、1,1-ジクロロエチレン;2640、キシレン;524~727)</li> <li>農薬類 (1,3-ジクロロプロペン;2480)</li> </ul>

Q II-1.2-① 緩速ろ過により無機化学物質は除去されるのか。

A II-1.2-① 無機化学物質には、カルシウム、マグネシウム、ナトリウム、カリウム、重碳酸イオン、塩化物イオン、硫酸イオン、溶性ケイ酸などの溶存主成分の他、微量の無機イオンや重金属が含まれる。また、粘土やシルトなどケイ酸塩構造に含まれる懸濁態成分もある。緩速ろ過では、粒子除去、付着、生物酸化、水酸化物形成による無機化学物質の除去機能がある他、ろ過膜藻類の光合成に起因する日周変動が起こる物質がある。また、変化の起きない物質もある。

除去効果については、蓄積された水質データの処理やパイロット実験で得られた値の情報から得るのが望ましいが、データ等が十分でない場合は、物質の性質により除去可

能性を推定することも行われている。また、有機化学物質と同様に、無機化学物質についても、緩速ろ過については防御装置（バリアー）としての機能がある。

Q II-1.2-② 無機化学物質の水道水質基準は、どのようなものか。

A II-1.2-② 水道の水質基準に含まれる無機化学物質は以下の通りである。

分類	種類	項目	基準値等 (mg/L)
水質基準項目	重金属	カドミウム及びその化合物	0.003
		水銀及びその化合物	0.0005
		セレン及びその化合物	0.01
		鉛及びその化合物	0.02
		ヒ素及びその化合物	0.01
		六価クロム化合物	0.05
		亜鉛及びその化合物	1.0
		アルミニウム及びその化合物	0.2
		鉄及びその化合物	0.3
		銅及びその化合物	1.0
		マンガン及びその化合物	0.05
	無機イオン	亜硝酸態窒素	0.004
		シアン化物イオン及び塩化シアン	0.01
		硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素	10
		フッ素及びその化合物	0.08
		ホウ素及びその化合物	1.0
		ナトリウム及びその化合物	200
		塩化物イオン	200
		カルシウム、マグネシウム等（硬度）	300
水質管理目標 設定項目	重金属	アンチモン及びその化合物	0.02
		ウラン及びその化合物	0.002
		ニッケル及びその化合物	0.02
要検討項目	重金属	銀及びその化合物	-
		バリウム及びその化合物	0.7
		ビスマス及びその化合物	-
		モリブデン及びその化合物	0.07
	無機イオン	過塩素酸	0.025

Q II-1.2-③ 緩速ろ過で除去される又は変化する無機化学物質はどのようなものか。

A II-1.2-③ 物質の特性から緩速ろ過により除去される又は変化する可能性のある物質とその除去機構は以下の通りである。



除去機構	除去される又は変化する可能性のある無機化学物質の例
粒子除去	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原水中の粒子に含まれる成分は粒子捕捉等の除去機構で除去される。 (シルト、粘土の構成成分の例：ケイ酸、ナトリウム、カリウム)</li> <li>・粘土粒子への付着や不溶性炭酸塩の形成により、原水で懸濁態となり易い物質は、粒子の除去機構で除去される可能性がある。 (粘土粒子への付着の例：水銀、不溶性炭酸塩の形成の例：鉛)</li> </ul>
溶存物質の付着	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フミン質等有機物とのキレート錯体及び微細なコロイドを形成する物質は、付着により減少する。 (有機物とのキレート錯体の例：鉄、微細なコロイドを形成する例：アルミニウム)</li> </ul>
生物酸化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・還元イオン状態のものが、生物酸化により不溶性となり除去される。 (例：マンガン、鉄)</li> <li>・硝化により、アンモニア態窒素と亜硝酸態窒素が酸化され、硝酸態窒素となる。</li> </ul>
水酸化物形成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・重金属のうち、負のオキソ酸イオンを作るものは、除去されにくい。 (例：ヒ素、六価クロム、モリブデン、セレン)</li> <li>・両性金属は、pH 値の変動を大きく受ける。 (例：亜鉛、アルミニウム)</li> <li>・不溶性水酸化物を形成するものは、藻類の光合成による pH 値上昇がある場合、不溶性となり除去される。 (例：銅)</li> </ul>
光合成に起因する日周変動	<ul style="list-style-type: none"> <li>・栄養塩として藻類に取り込まれる物質 (例：硝酸態窒素、リン酸、ケイ素)</li> <li>・炭酸塩の沈殿で起こる物質 (例：カルシウム、マグネシウム、ストロンチウム、バリウム、重炭酸イオン)</li> </ul>

この他、アルカリ金属の陽イオン類 (ナトリウム、カリウム、リチウム)、陰イオン類 (塩化物イオン、硫酸イオン、フッ化物イオン、臭化物イオン、塩素酸、臭素酸) は、ろ過砂など資機材からの溶出がない限り、ほとんど変化しない。