

## [9] セレン及びその化合物

### 1. 物質に関する基本的事項

#### (1) 分子式・分子量・構造式

##### 1) セレン

物質名：セレン
CAS 番号：7782-49-2
化審法官報公示整理番号：
化管法政令番号：1-242
RTECS 番号：VS7700000
元素記号：Se
原子量：78.96
換算係数：1ppm= 3.23 mg/m <sup>3</sup> (気体、25°C)

主なセレン化合物は以下のとおりである。

No	物質名	CAS 番号	化審法官報 公示整理番号	RTECS 番号	分子量	化学式
2)	亜セレン酸 (IV)	7783-00-8	1-431	VS7175000	128.97	H <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
3)	亜セレン酸ナトリウム (IV)	10102-18-8	1-507	VS7350000	172.94	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
4)	亜セレン酸バリウム (IV)	13718-59-7	1-91	—	264.29	BaSeO <sub>3</sub>
5)	セレン化水素 (II)	7783-07-5	1-1246	MX1050000	80.98	H <sub>2</sub> Se
6)	セレン酸ナトリウム (VI)	13410-01-0	1-1212	VS6650000	188.94	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>
7)	二酸化セレン (IV)	7446-08-4	1-546	VS8575000	110.96	SeO <sub>2</sub>
8)	二硫化セレン (IV)	7488-56-4	1-568 (硫化セレン)	VS8925000	143.09	SeS <sub>2</sub>
9)	六フッ化セレン (VI)	7783-79-1	—	VS9450000	192.95	SeF <sub>6</sub>
10)	硫化セレン	7446-34-6	1-568	VT0525000	111.03	SeS

(注) 物質名に併記したローマ数字は、酸化数を示す。

#### (2) 物理化学的性状

セレン化合物の性状は以下のとおりである。

No	化学式	性状
1)	Se	常温で赤褐色から暗灰色の固体 <sup>1)</sup>
2)	H <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	常温で無色または白色の固体 <sup>1)</sup>

No	化学式	性状
3)	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	常温で白色の固体で、吸湿性がある <sup>1)</sup>
4)	BaSeO <sub>3</sub>	無色の結晶 <sup>2)</sup>
5)	H <sub>2</sub> Se	常温で無色の気体 <sup>1)</sup>
6)	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>	無色の斜方晶系晶 <sup>3)</sup> 、無色の単斜晶系晶(十水和物) <sup>3)</sup>
7)	SeO <sub>2</sub>	無色の針状晶 <sup>3)</sup> 、青黄色(液体) <sup>3)</sup> 、緑色(気体) <sup>3)</sup>
8)	SeS <sub>2</sub>	常温で赤黄色の固体 <sup>1)</sup>
9)	SeF <sub>6</sub>	常温で無色の気体 <sup>1)</sup>
10)	SeS	橙黄色の小片または粉末結晶 <sup>4)</sup>

No	化学式	融点	沸点	密度
1)	Se (灰色セレン)	220.8°C <sup>5)</sup> 、217°C <sup>6)</sup>	685°C(760 mmHg) <sup>5)</sup>	4.809 g/cm <sup>3</sup> <sup>5)</sup>
	Se (赤色セレン)	>120°C(灰色セレンとなる) <sup>5)</sup> 、 <200°C <sup>6)</sup>	685°C(760 mmHg) <sup>5)</sup>	4.39 g/cm <sup>3</sup> <sup>5)</sup> 、4.46 g/cm <sup>3</sup> (α型) <sup>6)</sup>
	Se (黒色セレン)	180°C(灰色セレンとなる) <sup>5)</sup>	685°C(760 mmHg) <sup>5)</sup>	4.28 g/cm <sup>3</sup> <sup>5)</sup> 、4.26 <sup>6)</sup>
2)	H <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	70°C(分解する) <sup>5)</sup> 、 <sup>7)</sup> 、 <sup>8)</sup>		3.0 g/cm <sup>3</sup> <sup>5)</sup> 、 <sup>8)</sup> 、3.004 g/cm <sup>3</sup> <sup>7)</sup>
3)	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	分解する <sup>7)</sup>		
4)	BaSeO <sub>3</sub>			
5)	H <sub>2</sub> Se	-65.73°C <sup>5)</sup> 、 <sup>6)</sup> 、 <sup>7)</sup>	-41.25°C(760 mmHg) <sup>5)</sup> 、-41.3°C <sup>6)</sup> 、 <sup>7)</sup>	0.003310 g/cm <sup>3</sup> <sup>5)</sup> 、 3.553g/L <sup>7)</sup>
6)	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>			3.213 g/cm <sup>3</sup> <sup>7)</sup>
7)	SeO <sub>2</sub>	360°C <sup>5)</sup> 、340°C <sup>6)</sup> 、 <sup>7)</sup>	315°C(760 mmHg) (昇華点) <sup>5)</sup> 、315°C (昇華) <sup>7)</sup>	3.95 g/cm <sup>3</sup> <sup>5)</sup> 、3.954 g/cm <sup>3</sup> <sup>7)</sup>
8)	SeS <sub>2</sub>	100°C <sup>5)</sup> 、<100°C <sup>7)</sup>	分解する <sup>7)</sup>	
9)	SeF <sub>6</sub>	-34.6°C(三重点) <sup>5)</sup> 、 -50.8°C <sup>6)</sup>	-46.6°C(760 mmHg) (昇華点) <sup>5)</sup> 、-63.8°C(昇華) <sup>6)</sup>	0.007887 g/cm <sup>3</sup> <sup>5)</sup>
10)	SeS	118~119°C(分解する) <sup>7)</sup>		3.056 g/cm <sup>3</sup> <sup>7)</sup> 、3.056 g/cm <sup>3</sup> (0°C) <sup>9)</sup>

No	化学式	蒸気圧	log Kow	解離定数
1)	Se			
2)	H <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	2.00mmHg(=266Pa)(15°C) <sup>8)</sup>		pKa <sub>1</sub> =2.62(25°C) <sup>5)</sup> 、 pKa <sub>2</sub> =8.32(25°C) <sup>5)</sup>
3)	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>			
4)	BaSeO <sub>3</sub>			

No	化学式	蒸気圧	log Kow	解離定数
5)	H <sub>2</sub> Se	9.1 × 10 <sup>3</sup> mmHg(=1.2 × 10 <sup>6</sup> Pa)(30.8°C) <sup>6)</sup>		pKa <sub>1</sub> =3.89(25°C) <sup>5), 6)</sup> 、 pKa <sub>2</sub> =11.0(25°C) <sup>5), 6)</sup>
6)	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>			
7)	SeO <sub>2</sub>	12.5 mmHg(=1.67 × 10 <sup>3</sup> Pa)(70°C) <sup>6)</sup>		
8)	SeS <sub>2</sub>			
9)	SeF <sub>6</sub>	651.2 mmHg(=8.692 × 10 <sup>4</sup> Pa)(-48.7°C) <sup>6)</sup>		
10)	SeS			

No	化学式	水溶性(水溶解度)
1)	Se	1.1 µg/L(21.1°C、pH 8)、1.5 µg/L(21.2°C、pH 8)、3.8 µg/L(21.2°C、pH 8) <sup>10)</sup> 、不溶(灰色セレン <sup>5), 6), 7)</sup> 、赤色セレン <sup>5), 7)</sup> 、黒色セレン <sup>5), 7)</sup> )
2)	H <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	1.667 × 10 <sup>6</sup> mg/1000g (20°C) <sup>7)</sup> 、1.67 × 10 <sup>6</sup> mg/1000g (20°C) <sup>8)</sup>
3)	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	8.98 × 10 <sup>5</sup> mg/1000g (25°C) <sup>5)</sup> 、4.728 × 10 <sup>5</sup> mg/1000g (24.4°C) <sup>7)</sup>
4)	BaSeO <sub>3</sub>	不溶 <sup>5)</sup> 、50 mg/1000g (25°C) <sup>7)</sup>
5)	H <sub>2</sub> Se	2.7 × 10 <sup>3</sup> ml/1000ml (22.5°C) <sup>6)</sup> 、2.7 × 10 <sup>6</sup> mg/1000g (22.5°C) <sup>7)</sup> 、2.89 × 10 <sup>6</sup> mg/1000g (20°C) <sup>7)</sup>
6)	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>	5.85 × 10 <sup>5</sup> mg/1000g (25°C) <sup>5)</sup> 、3.691 × 10 <sup>5</sup> mg/1000g (25.2°C) <sup>7)</sup>
7)	SeO <sub>2</sub>	2.64 × 10 <sup>5</sup> mg/1000g (22°C) <sup>5)</sup> 、2.57 × 10 <sup>6</sup> mg/1000g (20°C) <sup>7)</sup>
8)	SeS <sub>2</sub>	不溶 <sup>5), 6), 7)</sup>
9)	SeF <sub>6</sub>	不溶 <sup>5)</sup>
10)	SeS	不溶 <sup>4), 9)</sup>

### (3) 環境運命に関する基礎的事項

亜セレン酸ナトリウムの分解性及び濃縮性は次のとおりである。

生物分解性・生物濃縮性（難分解性であるが高濃縮性ではないと判断される物質<sup>11)</sup>）

生物濃縮係数 (BCF) :

8.1~10（試験生物：コイ、試験期間：4週間、試験濃度：10 µg/L）<sup>12)</sup>

< 85（試験生物：コイ、試験期間：4週間、試験濃度：1 µg/L）<sup>12)</sup>

セレンは+6、+4、0及び-2の価数を取り、0価のセレンには結晶構造をもつ灰色のいわゆる金属セレン、非結晶構造で赤色セレンなどの同素体が存在するが、金属セレンが最も安定である<sup>13)</sup>。自然界に存在する0価以外の分子種は、セレン酸、亜セレン酸、セレン化物、及び含硫アミノ酸のセレンアナログであるセレノメチオニン (SeMet)、セレノシステイン (SeCys) などが代表的である<sup>13)</sup>。

水中では亜セレン酸イオン (SeO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)、セレン酸イオン (SeO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) の形で存在する<sup>14)</sup>。亜セレン酸イオンは水酸化鉄とともに沈殿（不溶化）するので、自然水中ではセレン酸イオンが多い<sup>14)</sup>。

化石燃料の燃焼により大気へ排出された二酸化セレンの大部分は、燃焼により生成した二酸化硫黄によりセレンに還元されるとの報告や、二酸化セレンは大気中の水分と反応し、セレン酸のエアロゾルを生成するとの報告がある。ジメチルセレンやメチルセレンは、大気中に残留する<sup>15)</sup>。

#### (4) 製造輸入量及び用途

##### ① 生産量・輸入量等

セレンは銅精錬やコピー機感光ドラムのスクラップ精錬に伴って生産される<sup>1)</sup>。  
セレンのマテリアルフローを図1に示す<sup>16)</sup>。

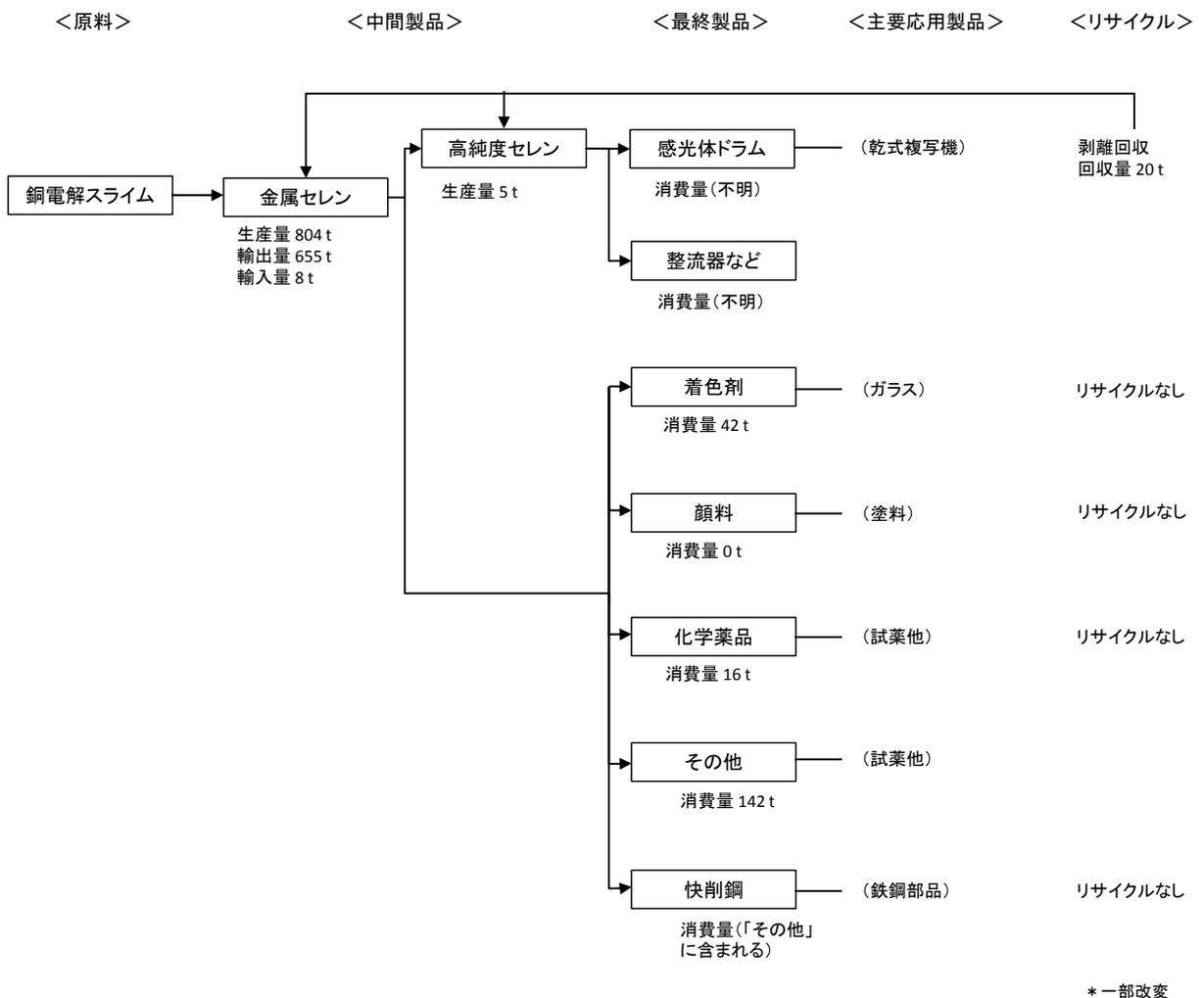


図1 セレンのマテリアルフロー(2010)

化審法に基づき公表されたセレン化合物の製造・輸入数量の推移を表1.1に示す<sup>17),18),19)</sup>。

表 1.1 製造・輸入数量の推移

平成（年度）	22	23	24	25
セレン化銀	X	X	X	X
亜セレン酸	— <sup>c)</sup>	X	X	X
亜セレン酸ナトリウム	— <sup>c)</sup>	X	X	X
二酸化セレン	X	X	X	X
セレン酸ナトリウム	— <sup>c)</sup>	X	X	X
セレン化水素	X	1,000 未満	1,000 未満	1,000 未満

注： a) 製造数量は出荷量を意味し、同一事業者内での自家消費分を含んでいない値を示す。

b) 「X」は届出事業者が2社以下のため、製造・輸入数量は公表されていないもの。

c) 公表されていない。

セレン化合物の生産量の推移を表 1.2 に示す<sup>20)</sup>。

表 1.2 生産量の推移 (t)

平成（年度）	16	17	18	19	20
亜セレン酸バリウム	— <sup>a)</sup>	— <sup>a)</sup>	0.2	2	2
亜セレン酸ナトリウム	— <sup>a)</sup>	50	50	50	50
二酸化セレン	— <sup>a)</sup>	— <sup>a)</sup>	10	10	10
二硫化セレン	— <sup>a)</sup>	— <sup>a)</sup>	0.2	0.2	0.2
セレン酸ナトリウム	— <sup>a)</sup>	— <sup>a)</sup>	2	2	2
平成（年度）	21	22	23	24	25
亜セレン酸バリウム	2	0.5	0.5	0.5	0.5
亜セレン酸ナトリウム	50	1	1	1	1
二酸化セレン	10	10	10	10	10
二硫化セレン	0.2	0.05	0.05	0.05	0.05
セレン酸ナトリウム	2	2	2	2	2

注： a) 公表されていない。

セレンの生産量の推移を表 1.3 に示す<sup>21)</sup>。

表 1.3 生産量の推移 (t)

平成（年）	16	17	18	19	20
セレン	615	644	757	830	786
平成（年）	21	22	23	24	25
セレン	740	804	809	820	739

セレンの輸出量<sup>22)</sup>、輸入量<sup>22)</sup>の推移を表 1.4 に示す。

表 1.4 輸出量・輸入量の推移

平成 (年)	17	18	19	20	21
輸出量 (t)	436	540	668	573	665
輸入量 (t)	13	23	6	8	1
平成 (年)	22	23	24	25	26
輸出量 (t)	655	573	587	585	592
輸入量 (t)	8	13	12	4	6

注：a) 普通貿易統計[少額貨物(1品目が20万円以下)、見本品等を除く]品別国別表より。

セレン及びその化合物の化学物質排出把握管理促進法（化管法）における製造・輸入量区分は 100 t 以上である<sup>23)</sup>。

## ② 用途

セレンは、コピー機の感光ドラムや太陽電池に使われている<sup>1)</sup>。また、ガラスや陶磁器などの赤、ピンク、橙黄色の着色剤や顔料、ガラスに含まれる不純物の色を吸収する消色剤、合金の添加剤として用いられるほか、セレンが欠乏している地域の土壌改良剤にも使われている<sup>1)</sup>。

亜セレン酸は、試薬、酸化剤や顔料などに使われている<sup>1)</sup>。

亜セレン酸ナトリウムは、ガラスの着色剤や消色剤、顔料、軽金属のメッキ処理剤や動物用飼料などに使われている<sup>1)</sup>。

セレン化水素は、半導体を製造する工程で使われている<sup>1)</sup>。

六フッ化セレンは、電気絶縁体や半導体に使われている<sup>1)</sup>。

二硫化セレンは、動物用医薬品の有効成分としてふけ取り用シャンプーに配合されて使用されている<sup>24)</sup>。

このほかのセレン化合物の主な用途は、表 1.5 のとおりとされている。

表 1.5 セレン化合物の主な用途<sup>25)</sup>

化合物名	主な用途
亜セレン酸バリウム	硝子の着色および脱色剤
セレン酸ナトリウム	硝子の着色および脱色剤、陶磁器の着色剤、銅メッキ光沢剤

## (5) 環境施策上の位置付け

セレン及びその化合物は、化学物質排出把握管理促進法第一種指定化学物質（政令番号：242）に指定されている。

セレンは、有害大気汚染物質に該当する可能性がある物質に選定されている。

セレンは、環境基準（水質、地下水、土壌）が設定されている。セレン及びその化合物は、水道水質基準、排水基準が設定されている。セレンは、水生生物保全に係る水質目標を優先的に検討すべき物質に選定されている。

## 2. 曝露評価

環境リスクの初期評価のため、わが国の一般的な国民の健康や水生生物の生存・生育を確保する観点から、実測データをもとに基本的には化学物質の環境からの曝露を中心に評価することとし、データの信頼性を確認した上で安全側に立った評価の観点から原則として最大濃度により評価を行っている。

### (1) 環境中への排出量

本物質は化管法の第一種指定化学物質である。同法に基づき公表された平成 25 年度の届出排出量<sup>1)</sup>、届出外排出量対象業種・非対象業種・家庭・移動体<sup>2),3)</sup>から集計した排出量等を表 2.1 に示す。なお、届出外排出量非対象業種・家庭・移動体の推計はなされていなかった。

表 2.1 化管法に基づく排出量及び移動量（PRTR データ）の集計結果（平成 25 年度）

	届出						届出外（国による推計）				総排出量（kg/年）		
	排出量（kg/年）				移動量（kg/年）		排出量（kg/年）				届出排出量	届出外排出量	合計
	大気	公共用水域	土壌	埋立	下水道	廃棄物移動	対象業種	非対象業種	家庭	移動体			
全排出・移動量	1,620	6,373	0.5	8,437	4	31,074	4,427	-	-	-	16,430	4,427	20,857

業種別排出量(割合)							総排出量の構成比(%)						
	大気	公共用水域	土壌	埋立	下水道	廃棄物移動	届出	届出外					
非鉄金属製造業	175 (10.8%)	3,449 (54.1%)	0	8,437 (100%)	0	321 (1.0%)	4,427 (100%)						
低含有率物質													
下水道業	0	2,433 (38.2%)	0	0	0	0	0.0 (0.0007%)						
窯業・土石製品製造業	1,401 (86.5%)	5 (0.08%)	0	0	0	486 (1.6%)							
パルプ・紙・紙加工品製造業	0	212 (3.3%)	0	0	0	0							
産業廃棄物処分業	0	147 (2.3%)	0	0	0	0							
一般廃棄物処理業（ごみ処分量に限る。）	0	58 (0.9%)	0.5 (100%)	0	0	0.6 (0.002%)							
鉄鋼業	0	58 (0.9%)	0	0	0	2,500 (8.0%)							
電気機械器具製造業	44 (2.7%)	0	0	0	0	24,970 (80.4%)							
化学工業	0.3 (0.02%)	8 (0.1%)	0	0	4 (100%)	2,457 (7.9%)							
金属鉱業	0	2 (0.04%)	0	0	0	0							
石油製品・石炭製品製造業	0	0.2 (0.003%)	0	0	0	0							
一般機械器具製造業	0	0	0	0	0	340 (1.1%)							

本物質の平成 25 年度における環境中への総排出量は、約 21 t となり、そのうち届出排出量は約 16 t で全体の 79% であった。届出排出量のうち約 1.6 t が大気、約 6.4 t が公共用水域へ排出されるとしており、公共用水域への排出量が多い。この他に埋立処分が約 8 t、下水道への移動量が 0.004 t、廃棄物への移動量が 31 t であった。届出排出量の主な排出源は、大気への排出が多い業種は窯業・土石製品製造業（87%）であり、公共用水域への排出が多い業種は非鉄金属製造業（54%）、下水道業（38%）であった。

しかし、特別要件施設（金属鉱業、一般廃棄物処分業、産業廃棄物処分業、下水道業、等）の排出量は定量下限値をもとに排出量を算出している場合があるため、過剰評価している場合があることに留意する必要がある。

表 2.1 に示したように PRTR データでは、届出排出量は媒体別に報告されているが、届出外排出量の推定は媒体別には行われていないため、届出外排出量対象業種の媒体別配分を届出排出

量の割合をもとに行った。届出排出量と届出外排出量を媒体別に合計したものを表 2.2 に示す。

表 2.2 環境中への推定排出量

媒体	推定排出量(kg)
大気	5,088
水域	7,333
土壌	1

### (2) 媒体別分配割合の予測

セレン及びその化合物の化学形態は環境中で様々に変化するため、媒体別分配割合の予測を行うことは適切ではない。したがって、セレン及びその化合物の媒体別分配割合の予測は行わなかった。

### (3) 各媒体中の存在量の概要

本物質の環境中等の濃度について情報の整理を行った。媒体ごとにデータの信頼性が確認された調査例のうち、より広範囲の地域で調査が実施されたものを抽出した結果を表 2.3 に示す。なお、得られた環境中濃度は化学形態別の濃度ではなく、全セレンの濃度である。

表 2.3 各媒体中の存在状況

媒体	幾何 平均値 <sup>a)</sup>	算術 平均値	最小値	最大値 <sup>a)</sup>	検出 下限値 <sup>b)</sup>	検出率	調査地域	測定年 度	文 献	
一般環境大気	µg Se/m <sup>3</sup>	<b>0.00045</b>	0.00063	0.000095	0.0015	— <sup>c)</sup>	13/13	全国	2013	4)
		0.00039	0.00059	0.00011	<b>0.002</b>	— <sup>c)</sup>	13/13	全国	2012	5)
		0.00043	0.00051	0.00016	0.00093	— <sup>c)</sup>	13/13	全国	2011	6)
		0.00067	0.00068	0.00054	0.00082	— <sup>c)</sup>	7/7	東京都、 大阪府	2010	7)
		0.0009	0.0009	0.00083	0.001	— <sup>c)</sup>	3/3	東京都	2009	8)
		0.00087	0.00093	0.00052	0.0013	— <sup>c)</sup>	7/7	東京都、 大阪府	2008	9)
		0.00077	0.0008	0.00054	0.0013	— <sup>c)</sup>	12/12	全国	2007	10)
		0.00096	0.001	0.00049	0.0015	— <sup>c)</sup>	9/9	全国	2006	11)
室内空気	µg Se/m <sup>3</sup>									
食物 <sup>d)</sup>	µg Se/g									
飲料水	µg Se/L	<1	<1	<1	<1	1	0/23	全国	2012	12)
		<10	<10	<1	10	1~10	178/5574	全国	2012	13)
		<10	<10	<1	10	1~10	147/5536	全国	2011	14)
		<10	<10	<1	10	1~10	162/5628	全国	2010	15)
		<10	<10	<1	2 <sup>e)</sup>	1~10	126/5345	全国	2009	16)
		<10	<10	<1	10	1~10	73/5184	全国	2008	17)
		<10	<10	<1	10	1~10	162/5554	全国	2007	18)
		<10	<10	<1	10	1~10	169/5369	全国	2006	19)
		<10	<10	<1	3 <sup>e)</sup>	1~10	165/5143	全国	2005	20)
		<10	<10	<1	3 <sup>e)</sup>	1~10	218/5374	全国	2004	21)
地下水	µg Se/L	<5	<5	<1	9	1~5	33/2720	全国	2013	22)

媒体	幾何 平均値 <sup>a)</sup>	算術 平均値	最小値	最大値 <sup>a)</sup>	検出 下限値 <sup>b)</sup>	検出率	調査地域	測定年 度	文 献
土壌 <sup>d)</sup> µg Se/g	<5	<5	<1	4 <sup>e)</sup>	1~5	21/2725	全国	2012	23)
	<5	<5	<1	3 <sup>e)</sup>	1~5	25/2738	全国	2011	24)
	<2	<2	<1	6	1~2	53/2818	全国	2010	25)
	<5	<5	<1	3 <sup>e)</sup>	1~5	25/2965	全国	2009	26)
	<10	<10	<1	6	1~10	31/2624	全国	2008	27)
	<2	<2	<1	6	1~2	19/2830	全国	2007	28)
	<5	<5	<1	9	1~5	16/2713	全国	2006	29)
	<2	<2	<1	13	1~2	29/2599	全国	2005	30)
	<5	<5	<1	50	1~5	26/2698	全国	2004	31)
公共用水域・淡水 µg Se/L	≦5	<5	<1	<b>6.8</b>	1~5	16/2893	全国	2013	32)
	<10	<10	<1	6.2 <sup>e)</sup>	1~10	20/2821	全国	2012	33)
	<5	<5	<1	5.5	1~5	27/2867	全国	2011	34)
	<5	<5	<1	8	1~5	28/2898	全国	2010	35)
	<5	<5	<1	6	1~5	21/2910	全国	2009	36)
	<5	<5	<1	15	1~5	32/2920	全国	2008	37)
	<5	<5	<1	8	1~5	32/2919	全国	2007	38)
	<5	<5	<1	8	1~5	11/2976	全国	2006	39)
	<5	<5	<1	9	1~5	22/2965	全国	2005	40)
	<5	<5	<1	7	1~5	20/2984	全国	2004	41)
公共用水域・海水 µg Se/L	<5	<5	<1	2 <sup>e)</sup>	1~5	25/565	全国	2013	32)
	≦5	<5	<1	2 <sup>e)</sup>	1~5	8/559	全国	2012	33)
	<5	<5	<1	2 <sup>e)</sup>	1~5	5/588	全国	2011	34)
	<20	<20	<1	3 <sup>e)</sup>	1~20	4/584	全国	2010	35)
	<5	<5	<1	1 <sup>e)</sup>	1~5	1/586	全国	2009	36)
	<5	<5	<1	<5	1~5	0/590	全国	2008	37)
	<5	<5	<1	5	1~5	11/664	全国	2007	38)
	<5	<5	<1	9	1~5	1/661	全国	2006	39)
	<5	<5	<1	<5	1~5	0/642	全国	2005	40)
	<5	<5	<1	2 <sup>e)</sup>	1~5	3/677	全国	2004	41)
底質(公共用水域・淡水) µg Se/g	0.40	0.46	0.2	0.87	—	5/5	岩手県	2012	42)
	0.68	0.68	0.68	0.68	—	1/1	岩手県	2010	43)
	0.74	0.75	0.69	0.80	—	2/2	岩手県	2009	44)
	0.17	0.24	<0.1	0.7	0.1	5/6	船橋市	2010	45)
	0.31	0.54	<0.1	1.6	0.1	5/6	船橋市	2005	46)
	<0.5	<0.5	0.29	1.3	—	2/12	高知県	2011	47)
	<0.5	<0.5	0.05	1.2	—	2/12	高知県	2010	48)
	<0.5	<0.5	<0.5	1.3	0.5	2/12	高知県	2009	49)
	<0.5	<0.5	<0.01	1.5	0.01~0.5	2/12	高知県	2008	50)
	<0.5	<0.5	<0.03	0.49 <sup>e)</sup>	0.03~0.5	1/12	高知県	2007	51)
0.38	0.96	0.03	5.19	—	15/15	名古屋市	2008	52)	
底質(公共用水域・海水) µg Se/g	0.24	0.38	<0.1	0.7	0.1	2/3	船橋市	2010	45)
	0.25	0.38	<0.1	0.6	0.1	2/3	船橋市	2005	46)
	0.45	1.1	0.03	6.92	—	13/13	名古屋市	2008	52)
魚類(公共用水域・淡水) µg Se/g	0.24	0.24	0.24	0.24	0.01	1/1	滋賀県	1979	53)
魚類(公共用水域・海水) µg Se/g	0.39	0.44	0.22	1.1	0.01	7/7	全国	1979	53)
	0.38	0.41	0.25	0.74	0.01	6/6	全国	1978	54)
貝類(公共用水域・淡水) µg Se/g									
貝類(公共用水域・海水) µg Se/g	0.37	0.39	0.25	0.52	0.01	3/3	神奈川県、 岩手県、	1979	53)

媒体	幾何 平均値 <sup>a)</sup>	算術 平均値	最小値	最大値 <sup>a)</sup>	検出 下限値 <sup>b)</sup>	検出率	調査地域	測定年 度	文 献
	0.4	0.4	0.34	0.47	0.01	2/2	徳島県 神奈川県、 岩手県	1978	54)

注：a) 最大値または幾何平均値の欄の太字で示した数字は、曝露の推定に用いた値を示す。

b) 検出下限値の欄の斜体で示されている値は、定量下限値として報告されている値を示す。

c) 報告されていない。

d) 一日摂取量76.9  $\mu\text{g Se/day}$  (マーケットバスケット方式、2000年調査)<sup>55)</sup>、68.7  $\mu\text{g Se/day}$  (陰膳方式、1992年調査)<sup>56)</sup>、168.4  $\mu\text{g Se/day}$  (モデル献立試料、1988年調査)<sup>57)</sup>、67  $\mu\text{g Se/day}$  (陰膳方式、1987年調査)<sup>58)</sup>、77.4  $\mu\text{g Se/day}$  (陰膳方式、1986年調査)<sup>59)</sup>、104.2  $\mu\text{g Se/day}$  (1985年調査)<sup>60)</sup>、の報告がある。

e) 最大濃度を上回る下限値による不検出データが報告されているため、最大濃度よりも高濃度の地点が存在する可能性がある。

f) 1983年の調査において精錬所付近を除いた最大値は1.68  $\mu\text{g Se/g-dw}$ の報告がある<sup>61)</sup>。

#### (4) 人に対する曝露量の推定 (一日曝露量の予測最大量)

本物質については、吸入曝露による健康リスク初期評価を行うため、大気の実測値を用いて、人に対する曝露の推定を行った (表 2.4)。化学物質の人による一日曝露量の算出に際しては、人の一日の呼吸量を  $15 \text{ m}^3$ 、体重を  $50 \text{ kg}$  と仮定している。

表 2.4 各媒体中の濃度と一日曝露量

	媒体	濃 度	一 日 曝 露 量
平均	大気		
	一般環境大気	0.00045 $\mu\text{g Se/m}^3$ 程度 (2013)	0.00014 $\mu\text{g Se/kg/day}$ 程度
	室内空気	データは得られなかった	データは得られなかった
最大 値	大気		
	一般環境大気	0.002 $\mu\text{g Se/m}^3$ 程度 (2012)	0.0006 $\mu\text{g Se/kg/day}$ 程度
	室内空気	データは得られなかった	データは得られなかった

人の一日曝露量の集計結果を表 2.5 に示す。

吸入曝露の予測最大曝露濃度は、一般環境大気から  $0.002 \mu\text{g Se/m}^3$  程度となった。一方、化管法に基づく平成 25 年度の大気への届出排出量をもとに、プルーム・パフモデル<sup>62)</sup>を用いて推定した大気中濃度の年平均値は、最大で  $0.48 \mu\text{g Se/m}^3$  となった。

表 2.5 人の一日曝露量

媒体		平均曝露量 ( $\mu\text{g Se/kg/day}$ )	予測最大曝露量 ( $\mu\text{g Se/kg/day}$ )
大気	一般環境大気	0.00014	0.0006
	室内空気		

#### (5) 水生生物に対する曝露の推定 (水質に係る予測環境中濃度 : PEC)

本物質の水生生物に対する曝露の推定の観点から、水質中濃度を表 2.6 のように整理した。水質について安全側の評価値として予測環境中濃度 (PEC) を人為由来の可能性が高いデータから設定すると、公共用水域の淡水域では  $6.8 \mu\text{g Se/L}$ 、同海水域では  $2 \mu\text{g Se/L}$  となった。化管法に基づく平成 25 年度の公共用水域・淡水への届出排出量を全国河道構造データベース<sup>63)</sup>の平

水流量で除し、希釈のみを考慮した河川中濃度を推定すると、最大で 9.7 µg Se/L となった

表 2.6 公共用水域濃度

水 域	平 均	最 大 値
淡 水	5 µg Se/L 未満 (2013)	6.8 µg Se/L (2013)
海 水	5 µg Se/L 未満 (2012)	2 µg Se/L (2012)

注：1) ( ) 内の数値は測定年度を示す。

2) 淡水は河川河口域を含む。

### 3. 健康リスクの初期評価

健康リスクの初期評価として、ヒトに対する化学物質の影響についてのリスク評価を行った。

なお、本物質については、既に公共用水域及び地下水の水質汚濁に係る環境基準が設定されていることから、経口曝露の初期評価については対象外とした。

#### (1) 体内動態、代謝

セレンは必須微量元素であり、セレン含有タンパク質として、抗酸化系や免疫系、酸化還元シグナル伝達、甲状腺ホルモン代謝等に重要な役割を果たしている<sup>1)</sup>。

ヒトを含む動物が摂取するセレンには、セレン酸塩や亜セレン酸塩などの無機態と食物由来の有機態（セレノメチオニンやセレノシステインなど）がある。食事の中のセレンの中では、セレノメチオニンが最も速やかに吸収され、小腸からナトリウム依存性輸送体によって能動輸送され、血液中ではヘモグロビンに結合した形で存在し、その後肝臓と筋肉に蓄積する。セレノシステインもまた小腸から吸収されるが、その効率はセレノメチオニンよりもやや低く、赤血球に取り込まれて肝臓に運ばれる。無機態の吸収は有機態より劣り、受動的に吸収されて貯蔵される。セレン酸よりも亜セレン酸の方が吸収されやすく、亜セレン酸はグルタチオンの還元作用を受けてセレニド（セレン化物）に代謝され、アルブミン又はヘモグロビンに結合して肝臓に運ばれ、セレノシステインに代謝される。セレン酸は代謝を受けずに血漿に取り込まれ、肝臓に運ばれて代謝されるか、尿中に排泄される<sup>1)</sup>。また、セレノメチオニンはセレノシステインへと代謝され、セレン酸は亜セレン酸へと還元され、セレニドに代謝された後にセレン含有タンパク質の合成に利用される<sup>2)</sup>。

体内に吸収されたセレンの主要な排泄経路は尿中であり、通常のセレン摂取状況では主にセレン糖として排泄されるが、摂取量が増加するとトリメチルセレンウムの排泄が増加する<sup>2)</sup>。さらに過剰のセレンを摂取した場合には、トリメチル化を受ける前にジメチルセレニドとして呼気中に排泄され<sup>3)</sup>、これがニンニク臭の原因となっている<sup>3,4)</sup>。

ラットに<sup>75</sup>Seでラベルした亜セレン酸又は金属セレンのエアロゾル 2.6 mg/m<sup>3</sup>（空気動力的質量中央粒径 MMAD 0.6 μm）を 10 分間吸入させた結果、肺に沈着した亜セレン酸の 94%、金属セレンの 57%が 4 時間で吸収され、4 日後の肺には亜セレン酸の 0.3%、金属セレンの 11%の残留がみられた。しかし、体外排泄には化学種による差はみられず、24 時間で尿中に 20~28%、糞中に 6~8%が排泄された<sup>5)</sup>。また、イヌに亜セレン酸又は金属セレンのエアロゾルを吸入させた場合にも、類似した結果であった<sup>6)</sup>。

世界各地におけるヒトのセレン摂取量（μg/day）と尿中排泄量（μg/day）の報告値を集めて解析すると、セレンの尿中排泄量が 20~200 μg/day の範囲ではセレンの欠乏や毒性が問題となることはなかった。また、セレンの摂取量と尿中排泄量には有意な関連があり、セレンの恒常性維持には腎臓の役割（尿中排泄）が重要であることを示している<sup>7)</sup>。

## (2) 一般毒性及び生殖・発生毒性

## ① 急性毒性

表 3.1 急性毒性<sup>8)</sup>

【セレン】			
動物種	経路		致死量、中毒量等
ラット	経口	LD <sub>50</sub>	6,700 mg/kg
ラット	吸入	LCLo	33 mg/m <sup>3</sup> (8 hr)
ラット	吸入	LCLo	30 mg/m <sup>3</sup>

注：( ) 内の時間は曝露時間を示す。

【亜セレン酸】			
動物種	経路		致死量、中毒量等
ラット	経口	LDLo	25 mg/kg
ウサギ	経皮	LD <sub>50</sub>	4 mg/kg

【亜セレン酸ナトリウム】			
動物種	経路		致死量、中毒量等
ラット	経口	LD <sub>50</sub>	7 mg/kg
マウス	経口	LD <sub>50</sub>	7.08 mg/kg
モルモット	経口	LD <sub>50</sub>	5.06 mg/kg
ウサギ	経口	LD <sub>50</sub>	2.25 mg/kg
ブタ	経口	LDLo	13 mg/kg
ウマ、ロバ	経口	LD <sub>50</sub>	13 mg/kg
ウシ	経口	LDLo	9.9 mg/kg

【セレン化水素】			
動物種	経路		致死量、中毒量等
ラット	吸入	LCLo	20 mg/m <sup>3</sup> (1 hr)
マウス	吸入	LC <sub>50</sub>	20 mg/m <sup>3</sup> (2 hr)
マウス	吸入	LC <sub>50</sub>	6.04 ppm[20 mg/m <sup>3</sup> ](2 hr)
モルモット	吸入	LC <sub>50</sub>	0.3 ppm[0.99 mg/m <sup>3</sup> ](8 hr)
モルモット	吸入	LCLo	1 mg/m <sup>3</sup> (8 hr)
モルモット	吸入	LCLo	20 mg/m <sup>3</sup> (60 min)
モルモット	吸入	LCLo	43 mg/m <sup>3</sup> (30 min)
モルモット	吸入	LCLo	570 mg/m <sup>3</sup> (10 min)

注：( ) 内の時間は曝露時間を示す。

【セレン酸ナトリウム】			
動物種	経路		致死量、中毒量等
ラット	経口	LD <sub>50</sub>	1.6 mg/kg
ウサギ	経口	LD <sub>50</sub>	2.25 mg/kg

【二酸化セレン】			
動物種	経路		致死量、中毒量等
ラット	経口	LD <sub>50</sub>	68.1 mg/kg
ラット	吸入	LCLo	60 mg/m <sup>3</sup>
ラット	吸入	LCLo	150 mg/m <sup>3</sup>
マウス	経口	LD <sub>50</sub>	23.3 mg/kg

## 【硫化セレン】

動物種	経路		致死量、中毒量等
ラット	経口	LD <sub>50</sub>	38 mg/kg
マウス	経口	LD <sub>50</sub>	3,700 mg/kg
ウサギ	経口	LDLo	55 mg/kg

## 【二硫化セレン】

動物種	経路		致死量、中毒量等
ラット	経口	LD <sub>50</sub>	138 mg/kg
ラット	経口	LDLo	138 mg/kg

## 【六フッ化セレン】

動物種	経路		致死量、中毒量等
ラット	吸入	LCLo	10 ppm[79 mg/m <sup>3</sup> ](1 hr)
マウス	吸入	LCLo	10 ppm[79 mg/m <sup>3</sup> ](1 hr)
モルモット	吸入	LCLo	10 ppm[79 mg/m <sup>3</sup> ](1 hr)
ウサギ	吸入	LCLo	10 ppm[79 mg/m <sup>3</sup> ](4 hr)

注：( ) 内の時間は曝露時間を示す。

セレンは気道を刺激し、吸入すると咽頭痛、咳、鼻汁、嗅覚損失、頭痛を生じる。経口摂取すると呼気のニンニク臭や下痢を生じる。皮膚に付いたり、眼に入ると発赤を生じる。胃腸管や神経系に影響を与えることがある<sup>9)</sup>。

セレン化水素は気道を刺激し、吸入すると灼熱感、咳、息苦しさ、吐き気、咽頭痛、脱力感を生じ、肺炎を起こすことがあり、高濃度の曝露では死に至ることがある。眼を刺激し、発赤、痛みを生じる。液体との皮膚接触は凍傷を生じる<sup>10)</sup>。

亜セレン酸や二酸化セレン、三酸化セレンは眼、皮膚、気道に対して腐食性を示し、吸入すると灼熱感、咳、息苦しさ、咽頭痛、息切れを生じ、肺水腫を引き起こすことがある。経口摂取すると腹痛、灼熱感、咽頭痛、下痢、吐き気、嘔吐、ショック又は虚脱を生じる。眼に入ると発赤、痛み、重度の熱傷を生じ、まぶたのアレルギー反応を生じることがある。皮膚に付くと発赤、痛み、水疱、皮膚熱傷を生じる<sup>11,12,13)</sup>。

亜セレン酸ナトリウムは眼、皮膚、気道を刺激し、吸入すると胃痙攣、咳、下痢、眩暈、頭痛、息苦しさ、吐き気、咽頭痛、嘔吐、脱毛を生じ、経口摂取すると胃痙攣、嘔吐を生じる。皮膚に付いたり、眼に入ると発赤、痛みを生じる。肝臓、心臓、神経系、胃腸管に影響を与えることがある<sup>14)</sup>。

## ② 中・長期毒性

ア) ラット（系統等不明）に3～5、6～9、10～30 mg/m<sup>3</sup>の二酸化セレンを1ヶ月間（6時間/日で隔日）吸入させた結果、3～5 mg/m<sup>3</sup>群では死亡はなく、体重や血液にも影響はなかったが、組織検査では肝臓及び尿細管の変性、心筋症、脾髄のうっ血と肥大がみられた。6～9 mg/m<sup>3</sup>群では2週間を経過した頃から体重減少がみられ、27～33日に1匹を除いた全数が死亡し、肝臓及び心筋の多発性壊死と変性、尿細管の病変がみられた。10～30 mg/m<sup>3</sup>群では呼吸困難、体重減少がみられ、3匹では貧血もみられ、8～18日に全数が死亡した。肝

臓、腎臓、心筋、脾臓ではより重度の影響がみられ、さらに急性毒性試験時に認めたような肺水腫もみられた<sup>15)</sup>。なお、具体的な組織変化の結果は不明であった。

イ) ウサギ(系統等不明) 5匹に  $20 \text{ mg/m}^3$  の二酸化セレン及び  $40 \text{ mg/m}^3$  の金属セレンを1週間(2時間/日)吸入させた結果、血液中のカタラーゼ活性の低下がみられた。また、 $10 \text{ mg/m}^3$  の二酸化セレン及び  $20 \text{ mg/m}^3$  の金属セレンを12週間(2時間/日)吸入させた結果、肝臓で総グルタチオン及び還元型グルタチオンの減少がみられたが、酸化型グルタチオンに変化はなかった<sup>16)</sup>。

### ③ 生殖・発生毒性

ア) 吸入曝露による実験動物の生殖・発生毒性について、知見は得られなかった。

なお、ラットに亜セレン酸ナトリウムやセレン酸ナトリウムを経口投与した試験で体重増加の抑制や発情周期の延長、黄体数や着床数、生存胎仔数、出生仔数の減少、仔の低体重などが報告されている<sup>17,18)</sup>。

### ④ ヒトへの影響

ア) アメリカのセレン整流器製造工場で発生した火災事故により、二酸化セレンを含む煙に最長で20分間曝露された28人の労働者では、初期の急性症状として気管支痙攣と窒息が起こり、2~12時間内に全身の悪寒、吐き気、嘔吐、下痢、倦怠感、呼吸困難、頭痛の訴えがあった。4日後の検査では、労働者の計37人に気管支炎を認めたが、1週間以内に全員が回復した<sup>19)</sup>。

イ) アメリカのセレン精錬所で50年間勤務していた71歳の労働者が胸部痛で来院し、急性心筋梗塞と診断された症例では、胸部X線検査でうっ血性心不全と合致する胸膜直下かつ両側性に広がる浸潤がみられ、入院して治療を受けたが、8日後に心原性ショックで死亡した。剖検では、左心室の前外側壁で広範囲な急性心筋梗塞を認め、冠状動脈硬化は全体にわたってみられた。また、重度の受動性うっ血が肺、脾臓、肝臓でみられ、さらに肺では多くの血管の周囲で非乾酪性肉芽腫がみられ、線維化している部位もあった。組織中のセレン濃度は正常値に比べて気管支周囲リンパ節、肺、髪、爪で数百倍以上、腎臓及び甲状腺で数倍高かったが、肝臓を含むその他の臓器では正常範囲にあった<sup>20)</sup>。

ウ) ドイツのセレン整流器製造工場の調査では、労働者の62人中35人が不眠や軽度のイライラ、神経性動悸、食欲不振、吐き気、胸焼けを訴え、さらに26人が頭痛、3人が痙攣性の腹痛を訴えており、診察では9人に結膜炎と軽度の気管支炎がみられた。また、セレンとの皮膚接触が不可避であった2人では、1人の前腕部に湿疹様の外傷、他の1人に青みがあったじん麻疹様の発疹があった。セレンの気中濃度は  $0.007 \sim 0.05 \text{ mg Se/m}^3$  未満であったが、血液中及び尿中のセレン濃度を考慮すると、実際の曝露濃度はもっと高かったと考えられた<sup>21,22)</sup>。

エ) カナダの銅製錬所で許容濃度を超えるセレン ( $0.2 \text{ mg Se/m}^3$ ) とテルル ( $0.1 \text{ mg Te/m}^3$ ) に曝露されていた労働者40人の調査では、鼻や眼の刺激、消化不良、胃痛、疲労感の訴えが有意に多かったが、肺機能や血液生化学の検査で異常はなかった。また労働者の半数以上がニンニク臭の口臭に悩んでいたが、2週間程度曝露から遠ざかると口臭は消失した<sup>23)</sup>。

オ) 化学工場でセレン化水素を充填したボンベの取り扱い時に誤って曝露した24歳の白人男性の症例では、直ちに眼と喉の灼熱感を感じ、続いて咳と喘鳴が生じた。酸素吸入によって改善したものの、18時間後に咳を繰り返すようになって呼吸困難となり、入院した。臨床検査値は正常範囲にあったが、胸部X線検査で縦隔気腫と皮下気腫を認め、肺機能検査で拘束性及び閉塞性の気道疾患と診断された。酸素吸入等の治療によって肺機能は5日間で大きく改善したが、完全に回復するまでには3年を要した<sup>24)</sup>。

カ) 我が国の食事摂取基準では、食品のセレン濃度が高い中国湖北省恩施地域における脱毛や爪の形態変化を伴ったセレン中毒の報告<sup>25)</sup>から、最低健康障害非発現量(13.3 µg Se/kg/day)に不確実因子2を適用した6.7 µg Se/kg/dayを参照値とし、これに性別及び年齢階級ごとの参照体重を乗じて、男性で80~460 µg Se/day、女性で70~350 µg Se/dayをセレン摂取の耐容上限量としている<sup>26)</sup>。

また、水道水質基準では、食品のセレン濃度が高いアメリカの2地域で142人を2年間追跡したところ、セレンの摂取量は0.068~0.724 mg Se/day(平均0.24 mg Se/day)であったが、セレンの毒性はみられなかったとした報告<sup>27)</sup>から、NOAELを0.24 mg Se/day(0.004 mg Se/kg/dayに相当)と推定し、飲料水への寄与率10%、体重50 kg、飲水量2 L/dayを仮定して求めた0.01 mg Se/Lを水質基準値に設定している<sup>28)</sup>。

### (3) 発がん性

#### ① 主要な機関による発がんの可能性の分類

国際的に主要な機関での評価に基づく本物質の発がんの可能性の分類については、表3.2に示すとおりである。

表3.2 主要な機関による発がんの可能性の分類

機 関 (年)		分 類
WHO	IARC (1987)	3 ヒトに対する発がん性については分類できない
EU	EU	—
USA	EPA (1993)	D ヒト発がん物質として分類できない 硫化セレン: B2 (動物での発がん性の十分な証拠に基づき、恐らくヒト発がん性物質)
	ACGIH	—
	NTP (1983)	硫化セレン: 合理的にヒトに対して発がん性のあることが懸念される物質
日本	日本産業衛生学会	—
ドイツ	DFG (2010)	3B ヒトの発がん性物質としての証拠は不十分であり、現行の許容濃度との関係も不明な物質

#### ② 発がん性の知見

##### ○ 遺伝子傷害性に関する知見

*in vitro* 試験系では、亜セレン酸ナトリウム、セレン酸ナトリウム、二酸化セレンは代謝活性化系(S9)無添加のネズミチフス菌で遺伝子突然変異を誘発したが<sup>29,30,31)</sup>、誘発しな

かった結果も報告されており<sup>29,30)</sup>、S9無添加の枯草菌ではDNA傷害を誘発したが<sup>29,32)</sup>、細胞形質転換の誘発は二酸化セレンでみられたものの、亜セレン酸ナトリウム、セレン酸ナトリウムではみられなかった<sup>33)</sup>。S9無添加で亜セレン酸ナトリウムはマウス乳腺癌細胞(MOD)でDNA鎖切断を誘発したが<sup>34)</sup>、チャイニーズハムスター肺細胞(V79)で4倍体を誘発しなかった<sup>35)</sup>。S9無添加で亜セレン酸ナトリウムはチャイニーズハムスター卵巣細胞(CHO)<sup>36)</sup>、ラットリンパ球<sup>37)</sup>、ヒト線維芽細胞(継代培養)<sup>38)</sup>、ヒト白血球<sup>33)</sup>、ヒトリンパ球<sup>39,40)</sup>、セレン酸ナトリウムはチャイニーズハムスター卵巣細胞(CHO)<sup>36)</sup>、ヒトリンパ球<sup>39)</sup>、二酸化セレンはヒト白血球<sup>33)</sup>、セレノメチオニン<sup>34)</sup>はヒトリンパ球<sup>40)</sup>で染色体異常を誘発したが、セレン酸ナトリウムがヒト線維芽細胞(継代培養)<sup>38)</sup>、ヒト白血球<sup>33)</sup>で染色体異常を誘発しなかった報告もあった。亜セレン酸ナトリウム、セレン酸ナトリウムはS9無添加のチャイニーズハムスター卵巣細胞(CHO)で不定期DNA合成を誘発した<sup>36)</sup>。S9無添加で亜セレン酸ナトリウムはチャイニーズハムスター肺細胞(V79)<sup>41)</sup>及びヒト全血<sup>42)</sup>、セレノシステインはヒトリンパ球<sup>43)</sup>で姉妹染色分体交換を誘発したが、セレン酸ナトリウムはチャイニーズハムスター肺細胞(V79)<sup>41)</sup>で姉妹染色分体交換を誘発しなかった。

*in vivo* 試験系では、亜セレン酸ナトリウムは腹腔内投与したチャイニーズハムスターの骨髄細胞<sup>44)</sup>、静脈内投与したラットの骨髄細胞<sup>37)</sup>、経口投与したマウスの骨髄細胞<sup>45,46)</sup>、セレン酸ナトリウムは経口投与したマウスの骨髄細胞<sup>45,46)</sup>で染色体異常を誘発したが、亜セレン酸ナトリウムは静脈内投与したラットのリンパ球<sup>37)</sup>、硫化セレンは経口投与したラットの骨髄細胞、脾臓細胞<sup>47)</sup>で染色体異常を誘発しなかった。亜セレン酸ナトリウムは腹腔内投与したチャイニーズハムスターの骨髄細胞で姉妹染色分体交換を誘発した<sup>44)</sup>。腹腔内投与したチャイニーズハムスターの骨髄細胞で亜セレン酸は小核を誘発したが、セレン酸ナトリウムは誘発しなかった<sup>48)</sup>。硫化セレンは経口投与したラットの骨髄細胞で小核を誘発したが、脾臓細胞では誘発しなかった<sup>47)</sup>。

## ○ 実験動物に関する発がん性の知見

吸入曝露による実験動物の発がん性について、知見は得られなかった。

なお、高用量の硫化セレンを2年間強制経口投与したラットの肝臓、マウスの肝臓及び肺胞/細気管支で腫瘍の発生率に有意な増加が認められている<sup>49)</sup>。

## ○ ヒトに関する発がん性の知見

疫学的にはセレンがヒトで発がんを起こす証拠はないとされている<sup>50,51)</sup>。なお、実験動物では硫化セレンによる腫瘍発生率の増加が認められているが<sup>49)</sup>、硫化セレンは食品中にはなく、水に不溶であること、皮膚から吸収されないことから、硫化セレンの曝露が問題となる可能性はほとんどないと考えられている<sup>52)</sup>。

一方、推奨量を大きく超えるセレンを付加的に投与することによって、がんを予防しようとする研究が行われているが、がん発生率とセレンとの関連は対象者におけるセレンの栄養状態によって異なることから、現状では、がんの予防に必要なセレン摂取量を明確に定めることはできない<sup>53)</sup>。

#### (4) 健康リスクの評価

##### ① 評価に用いる指標の設定

非発がん影響については一般毒性及び生殖・発生毒性等に関する知見が得られている。発がん性については動物実験で発がん性を示唆する結果が得られているものの、ヒトでの知見は十分でなく、ヒトに対する発がん性の有無については判断できない。このため、閾値の存在を前提とする有害性について、非発がん影響に関する知見に基づき無毒性量等を設定することとする。

経口曝露については、評価の対象としなかった。

吸入曝露については、無毒性量等の設定ができなかった。

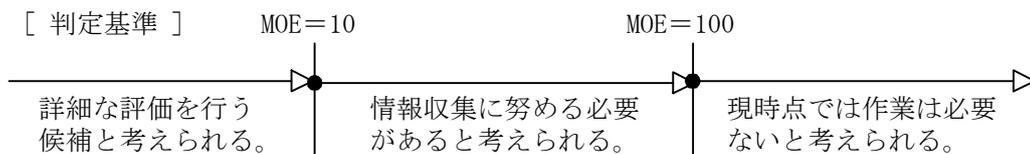
##### ② 健康リスクの初期評価結果

表 3.3 吸入曝露による健康リスク (MOE の算定)

曝露経路・媒体		平均曝露濃度	予測最大曝露濃度	無毒性量等	MOE
吸入	環境大気	0.00045 $\mu\text{g Se}/\text{m}^3$ 程度	0.002 $\mu\text{g Se}/\text{m}^3$ 程度	—	—
	室内空気	—	—		—

吸入曝露については、無毒性量等が設定できず、健康リスクの判定はできなかった。

なお、吸収率を 100%と仮定し、ヒトへの影響力) で示した経口曝露の NOAEL 0.004 mg Se/kg/day を吸入曝露に換算すると 0.013 mg Se/m<sup>3</sup> となるが、参考としてこれと予測最大曝露濃度 0.002  $\mu\text{g Se}/\text{m}^3$  程度から算出した MOE (Margin of Exposure) は 6,500 となる。一方、化管法に基づく平成 25 年度の大気への届出排出量をもとに推定した高排出事業所近傍の大気中濃度 (年平均値) の最大値は 0.48  $\mu\text{g Se}/\text{m}^3$  であったが、参考としてこれから算出した MOE は 27 となる。このため、本物質の一般環境大気の吸入曝露については、健康リスクの評価に向けて吸入曝露の情報収集等を行う必要があると考えられる。



## 4. 生態リスクの初期評価

水生生物の生態リスクに関する初期評価を、4 価及び 6 価のセレンに着目して行った。

## (1) 水生生物に対する毒性値の概要

本物質の水生生物に対する毒性値に関する知見を収集し、その信頼性及び採用の可能性を確認したものを生物群(藻類、甲殻類、魚類及びその他)ごとに整理すると、4 価セレンは表 4.1.1、6 価セレンは表 4.1.2 のとおりとなった。

表 4.1.1 水生生物に対する毒性値の概要

## 【4 価セレン】

分類	急性	慢性	毒性値 [µg Se/L]	硬度 [mg/L] /塩分	生物名	生物分類 /和名	エンドポイント /影響内容	曝露期間 [日]	試験 の 信 頼 性	採用 の 可 能 性	文献 No.	対象 物質
藻類	○		80	—	<i>Scenedesmus acutus acutus</i>	緑藻類	EC <sub>50</sub> GRO	3	D	C	1)-14372	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
	○		100	—	<i>Scenedesmus acutus acutus</i>	緑藻類	EC <sub>50</sub> GRO	3	D	C	1)-14372	SeO <sub>2</sub>
	○		300	—	<i>Monoraphidium convolutum</i>	緑藻類	EC <sub>50</sub> GRO	3	D	C	1)-14372	SeO <sub>2</sub>
	○		560	—	<i>Monoraphidium griffithii</i>	緑藻類	EC <sub>50</sub> GRO	3	D	C	1)-14372	SeO <sub>2</sub>
	○		690	—	<i>Monoraphidium griffithii</i>	緑藻類	EC <sub>50</sub> GRO	3	D	C	1)-14372	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
		○	790	—	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	緑藻類	NOEC GRO	4	C	C	1)-80817	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
	○		800	—	<i>Chlorella</i> sp.	緑藻類	EC <sub>50</sub> GRO	3	D	C	1)-14372	SeO <sub>2</sub>
	○		900	—	<i>Monoraphidium contortum</i>	緑藻類	EC <sub>50</sub> GRO	3	D	C	1)-14372	SeO <sub>2</sub>
	○		1,100	—	<i>Oscillatoria agardhii</i>	藍藻類	EC <sub>50</sub> GRO	3	D	C	1)-14372	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
	○		1,200	—	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	緑藻類	EC <sub>50</sub> GRO	3	D	C	1)-14372	SeO <sub>2</sub>
	○		1,500	—	<i>Oscillatoria agardhii</i>	藍藻類	EC <sub>50</sub> GRO	3	D	C	1)-14372	SeO <sub>2</sub>
	○		2,000	—	<i>Chlorella</i> sp.	緑藻類	EC <sub>50</sub> GRO	3	D	C	1)-14372	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
	○		<b>2,900</b>	—	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	緑藻類	EC <sub>50</sub> GRO (biomass)	4	B	B	1)-14312	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
	○		3,300	—	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	緑藻類	EC <sub>50</sub> GRO	3	D	C	1)-14372	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
	○		3,800	—	<i>Monoraphidium convolutum</i>	緑藻類	EC <sub>50</sub> GRO	3	D	C	1)-14372	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
	○	<b>4,570</b>	24	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	緑藻類	NOEC GRO(RATE)	3	B	B	3)-1	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	

## 9 セレン及びその化合物

分類	急性	慢性	毒性値 [µg Se/L]	硬度 [mg /L] ／塩分	生物名	生物分類 ／和名	エンドポイント ／影響内容	曝露期間 [日]	試験 の 信頼 性	採用 の 可能 性	文献 No.	対象 物質
	○		4,800	—	<i>Anabaena flos-aquae</i>	藍藻類	EC <sub>50</sub> GRO	3	D	C	1)-14372	SeO <sub>2</sub>
	○		5,000	—	<i>Anabaena flos-aquae</i>	藍藻類	EC <sub>50</sub> GRO	3	D	C	1)-14372	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
	○		6,090	海水	<i>Skeletonema costatum</i>	珪藻類	EC <sub>50</sub> GRO	3	D	C	1)-83925	Se (IV)
	○		6,320	—	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	緑藻類	EC <sub>50</sub> GRO	4	C	C	1)-80817	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
	○		6,400	—	<i>Microcystis aeruginosa</i>	藍藻類	EC <sub>50</sub> GRO	3	D	C	1)-14372	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
	○		7,200	—	<i>Microcystis aeruginosa</i>	藍藻類	EC <sub>50</sub> GRO	3	D	C	1)-14372	SeO <sub>2</sub>
	○		44,240	24	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	緑藻類	EC <sub>50</sub> GRO(RATE)	3	B	B	3)-1	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
甲殻類	○		6	138	<i>Daphnia pulex</i>	ミジンコ属 (成体)	LC <sub>50</sub> MOR	2	D	C	1)-11939	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
		○	44	塩分 32~35	<i>Allorchestes compressa</i>	ヘッピー モクズ属	NOEC GRO / MOR	28	D	C	1)-11305	H <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
		○	<b>70</b>	硬水	<i>Daphnia magna</i>	オオミジンコ	NOEC REP	28	B	B	3)-2	H <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
	○		71	—	<i>Daphnia pulex</i>	ミジンコ (成体)	LC <sub>50</sub> MOR	4	D	C	1)-5278	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
		○	100	133	<i>Hyalella azteca</i>	ヨコエビ亜目	NOEC REP	24	B	B	1)-6697	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
	○		450	138	<i>Daphnia magna</i>	オオミジンコ (成体)	LC <sub>50</sub> MOR	2	D	C	1)-11939	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
	○		<b>676</b>	133	<i>Hyalella azteca</i>	ヨコエビ亜目	LC <sub>50</sub> MOR	4	B	B	1)-6697	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
魚類		○	<b>21.0</b>	272	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	ニジマス (sac-fry)	NOEC MOR	90	B	B	1)-12333	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
		○	83	硬水	<i>Pimephales promelas</i>	ファットヘッド ドミノ	NOEC MOR / GRO	28	B	B	3)-3	H <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
	○		599	塩分 30	<i>Melanogrammus aeglefinus</i>	マダラ属	LC <sub>50</sub> MOR	4	D	C	1)-78755	H <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
	○		<b>1,325</b>	40	<i>Morone saxatilis</i>	スズキ科	LC <sub>50</sub> MOR	4	B	B	1)-11334	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
	○		1,800	272	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	ニジマス (sac-fry)	LC <sub>50</sub> MOR	4	D	C	1)-12333	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
	○		2,060	151	<i>Pimephales promelas</i>	ファットヘッド ドミノ (sac-fry)	LC <sub>50</sub> MOR	4	B	B	1)-2149	SeO <sub>2</sub>
その他	○		255	塩分 25	<i>Argopecten irradians</i>	イタヤガイ科	LC <sub>50</sub> MOR	4	C	C	1)-15056	SeO <sub>2</sub>
		○	800	—	<i>Lemna minor</i>	コウキクサ	NOEC GRO (RATE)	14	D	C	1)-16698	Se (IV)

分類	急性	慢性	毒性値 [µg Se/L]	硬度 [mg/L] /塩分	生物名	生物分類 /和名	エンドポイント /影響内容	曝露期間 [日]	試験 の 信頼 性	採用 の 可能 性	文献 No.	対象 物質
	○		1,700	54	<i>Hydra</i> sp.	ヒドラ属	EC <sub>50</sub> movement	2	D	C	1)-20295	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
	○		1,900	塩分 25	<i>Spisula solidissima</i>	バカガイ科	LC <sub>50</sub> MOR	4	C	C	1)-15056	SeO <sub>2</sub>
	○		2,880	塩分 36	<i>Notocallista</i> sp.	マルスダレガイ科	LC <sub>50</sub> MOR	4	D	C	1)-5261	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
	○		3,500	—	<i>Lemna minor</i>	コウキクサ	EC <sub>50</sub> GRO (RATE)	14	D	C	1)-16698	Se (IV)

**毒性値** (太字) : PNEC 導出の際に参照した知見として本文で言及したもの

**毒性値** (太字下線) : PNEC 導出の根拠として採用されたもの

試験の信頼性: 本初期評価における信頼性ランク

A: 試験は信頼できる、B: 試験は条件付きで信頼できる、C: 試験の信頼性は低い、D: 信頼性の判定不可

E: 信頼性は低くないと考えられるが、原著にあたって確認したものではない

採用の可能性: PNEC 導出への採用の可能性ランク

A: 毒性値は採用できる、B: 毒性値は条件付きで採用できる、C: 毒性値は採用できない

エンドポイント

EC<sub>50</sub> (Median Effective Concentration): 半数影響濃度、LC<sub>50</sub> (Median Lethal Concentration): 半数致死濃度、

NOEC (No Observed Effect Concentration): 無影響濃度

影響内容

GRO (Growth): 生長 (植物)、成長 (動物)、MOR (Mortality): 死亡、REP (Reproduction): 繁殖、再生産

movement: 運動 (ここでは足盤による吸着)

毒性値の算出方法

RATE: 生長速度より求める方法 (速度法)

biomass: 曝露終了時の生物量により求める方法

4 価セレンについて、評価の結果、採用可能とされた知見のうち、生物群ごとに急性毒性値及び慢性毒性値のそれぞれについて最も小さい毒性値を予測無影響濃度 (PNEC) 導出のために採用した。その知見の概要は以下のとおりである。

## 1) 藻類

Richter<sup>1)-14312</sup> は、米国 EPA の試験法 (EPA 660/9-78-018, 1978) を若干改変した方法に従って、緑藻類 *Pseudokirchneriella subcapitata* (旧名 *Selenastrum capricornutum*) の生長阻害試験を実施した。被験物質には亜セレン酸ナトリウムが用いられ、設定試験濃度区は対照区及び 3 濃度区であった。試験培地には AAP 培地が用いられた。96 時間半数影響濃度 (EC<sub>50</sub>) は、初期実測濃度に基づき 2,900 µg Se/L であった。

また、OECD テストガイドライン No.201(1984)に準拠し、緑藻類 *Pseudokirchneriella subcapitata* (旧名 *Selenastrum capricornutum*) の生長阻害試験が実施された。被験物質には亜セレン酸ナトリウムが用いられ、設定試験濃度は 0 (対照区)、10、18、32、58、100 mg/L (公比 1.8) であった。速度法による 72 時間半数影響濃度 (EC<sub>50</sub>) は、設定濃度に基づき 44,240 µg/L であった。速度法による 72 時間無影響濃度 (NOEC) は、設定濃度に基づき 4,570 µg Se/L であった<sup>2)-1</sup>。

## 2) 甲殻類

Brasher と Ogle<sup>1)-6697</sup> は、ヨコエビ亜目 *Hyalella azteca* の急性毒性試験を実施した。被験物質に

は亜セレン酸ナトリウムが用いられた。試験は半止水式 (48 時間後換水) で行われ、設定試験濃度は 0 (対照区)、250、500、1,000、1,500、2,500  $\mu\text{g Se/L}$  であった。試験用水には、硬度 132  $\text{mg/L}$  ( $\text{CaCO}_3$  換算) の地下水が用いられた。96 時間半数致死濃度 ( $\text{LC}_{50}$ ) は、設定濃度に基づき 676  $\mu\text{g Se/L}$  であった。

また、OECD テストガイドライン No.211 (1998) と同等の試験法に従って、オオミジンコ *Daphnia magna* の繁殖試験が実施された。被験物質には亜セレン酸が用いられた。試験は半止水式 (週 3 回換水) で行われ、設定試験濃度区は対照区及び 6 濃度区であった。試験用水には地下水 (硬水) が用いられた。被験物質の実測濃度は 0 (対照区)、0.07、0.12、0.19、0.30、0.48、0.92  $\text{mg Se/L}$  あった。繁殖阻害に関する 28 日間無影響濃度 (NOEC) は、実測濃度に基づき 70  $\mu\text{g Se/L}$  であった<sup>2)-2</sup>。

### 3) 魚類

Palawski ら<sup>1)-11334</sup> は、米国 ASTM の試験方法 (E729-80, 1980) に従って、スズキ科 *Morone saxatilis* の急性毒性試験を実施した。被験物質には亜セレン酸ナトリウムが用いられた。試験は止水式で行われ、硬度 40 $\text{mg/L}$  ( $\text{CaCO}_3$  換算) の軟水が用いられた。96 時間半数致死濃度 ( $\text{LC}_{50}$ ) は設定濃度に基づき、1,325  $\mu\text{gSe/L}$  であった。

また、Hunn ら<sup>1)-12333</sup> は、ニジマス *Oncorhynchus mykiss* (= *Salmo gairdneri*) のふ化仔魚を用いて、90 日間毒性試験を実施した。被験物質には亜セレン酸ナトリウムが用いられた。試験は流水式で行われ、試験用水には、硬度 272  $\text{mg/L}$  ( $\text{CaCO}_3$  換算) の地下水が用いられた。設定試験濃度区は対照区及び 5 濃度区 (0~100  $\mu\text{g Se/L}$ 、公比 2) であった。被験物質の実測濃度は、n.d. (対照区)、7.8 $\pm$ 0.9、12.4 $\pm$ 1.0、21.0 $\pm$ 1.6、47.2 $\pm$ 1.7、99.5 $\pm$ 3.0  $\text{mg Se/L}$  であった。死亡に関する 90 日間無毒性濃度 (NOEC) は、実測濃度に基づき 21.0  $\mu\text{gSe/L}$  であった。

表 4.1.2 水生生物に対する毒性値の概要

#### 【6 価セレン】

分類	急性	慢性	毒性値 [ $\mu\text{g Se/L}$ ]	硬度 [ $\text{mg/L}$ ] /塩分	生物名	生物分類 /和名	エンドポイント /影響内容	曝露期間 [日]	試験 の 信 頼 性	採用 の 可 能 性	文献 No.	対象 物質
藻類		○	<190	—	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	緑藻類	NOEC GRO	4	C	C	1)-91785	$\text{Na}_2\text{SeO}_4$
	○		<b>199</b>	—	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	緑藻類	$\text{EC}_{50}$ GRO	4	B	B	1)-14312	$\text{Na}_2\text{SeO}_4$
	○		355	—	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	緑藻類	$\text{EC}_{50}$ GRO	4	C	C	1)-91785	$\text{Na}_2\text{SeO}_4$
		○	11,000	塩分 80-102	<i>Dunaliella viridis</i>	緑藻類	NOEC GRO(RATE)	4	B	C	1)-83077	$\text{Na}_2\text{SeO}_4$
	○		45,000	塩分 80-102	<i>Dunaliella viridis</i>	緑藻類	$\text{EC}_{50}$ GRO(RATE)	4	B	C	1)-83077	$\text{Na}_2\text{SeO}_4$
甲殻類		○	<b>50</b>	138	<i>Daphnia pulex</i>	ミジンコ属	NOEC REP	28	B	B	1)-11939	$\text{Na}_2\text{SeO}_4$
	○		<b>57</b>	51	<i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	ヨコエビ属	$\text{LC}_{50}$ MOR	4	B	B	1)-58078	$\text{Na}_2\text{SeO}_4$

分類	急性	慢性	毒性値 [µg Se/L]	硬度 [mg/L] /塩分	生物名	生物分類 /和名	エンドポイント /影響内容	曝露期間 [日]	試験 の 信頼 性	採用 の 可能 性	文献 No.	対象 物質
	○		75	46	<i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	ヨコエビ属	LC <sub>50</sub> MOR	4	B	B	1)-20295	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>
		○	100	138	<i>Daphnia magna</i>	オオミジンコ	NOEC REP	28	B	B	1)-11939	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>
	○		246	138	<i>Daphnia pulicaria</i>	ミジンコ属 (成体)	LC <sub>50</sub> MOR	2	D	C	1)-11939	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>
	○		570	48	<i>Daphnia magna</i>	オオミジンコ	EC <sub>50</sub> IMM	2	B	B	1)-20295	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>
		○	>700	133	<i>Hyalella azteca</i>	ヨコエビ科	NOEC REP	24	B	B	1)-6697	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>
	○		1,010	138	<i>Daphnia magna</i>	オオミジンコ (成体)	LC <sub>50</sub> MOR	2	D	C	1)-11939	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>
		○	1,500	129.5	<i>Daphnia magna</i>	オオミジンコ	NOEC REP	32	B	B	1)-10836	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>
	○		1,868	133	<i>Hyalella azteca</i>	ヨコエビ科	LC <sub>50</sub> MOR	4	B	B	1)-6697	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>
魚類		○	<b>390</b>	45~47	<i>Pimephales promelas</i>	ファットヘッド ミノー	NOEC GRO	32	B	B	1)-56474	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>
	○		690	44~49	<i>Pimephales promelas</i>	ファットヘッド ミノー	LC <sub>50</sub> MOR	4	D	C	1)-5313	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>
		○	2,200	45	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	ニジマス	NOEC GRO	90	B	B	1)-56474	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>
	○		<b>2,300</b>	51.0	<i>Pimephales promelas</i>	ファットヘッド ミノー	LC <sub>50</sub> MOR	4	B	B	1)-20295	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>
	○		5,500	46	<i>Pimephales promelas</i>	ファットヘッド ミノー	LC <sub>50</sub> MOR	4	B	B	1)-56474	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>
	○		47,000	46	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	ニジマス	LC <sub>50</sub> MOR	4	B	B	1)-56474	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>
その他			90	195	<i>Gastrophryne carolinensis</i>	ジムグリガエル 科(胚)	LC <sub>50</sub> MOR	7	B	C	1)-5305	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>
		○	>2,400	—	<i>Lemna minor</i>	コウキクサ	NOEC GRO	14	D	C	1)-16698	Se(VI)
	○		7,300	53.6	<i>Hydra sp.</i>	ヒドラ属	EC <sub>50</sub> movement	2	D	C	1)-20295	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>
	○		<b>10,500</b>	45.5	<i>Chironomus riparius</i>	ドブユスリカ	LC <sub>50</sub> MOR	2	B	B	1)-956	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>
	○		11,500	—	<i>Lemna minor</i>	コウキクサ	EC <sub>50</sub> GRO	14	D	C	1)-16698	Se(VI)
	○		23,700	85.0	<i>Chironomus decorus</i>	ホクベイユスリ カ	LC <sub>50</sub> MOR	2	B	B	1)-8158	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>

**毒性値** (太字) : PNEC 導出の際に参照した知見として本文で言及したもの

**毒性値** (太字下線) : PNEC 導出の根拠として採用されたもの

試験の信頼性: 本初期評価における信頼性ランク

A: 試験は信頼できる、B: 試験は条件付きで信頼できる、C: 試験の信頼性は低い、D: 信頼性の判定不可

E: 信頼性は低くないと考えられるが、原著にあたって確認したものではない

採用の可能性: PNEC 導出への採用の可能性ランク

A：毒性値は採用できる、B：毒性値は条件付きで採用できる、C：毒性値は採用できない

エンドポイント

EC<sub>50</sub> (Median Effective Concentration)：半数影響濃度、LC<sub>50</sub> (Median Lethal Concentration)：半数致死濃度、

NOEC (No Observed Effect Concentration)：無影響濃度

影響内容

GRO (Growth)：生長（植物）、成長（動物）、MOR (Mortality)：死亡、REP (Reproduction)：繁殖、再生産

movement：運動（ここでは足盤による吸着）

毒性値の算出方法

RATE：生長速度より求める方法（速度法）

6 価セレンについて、評価の結果、採用可能とされた知見のうち、生物群ごとに急性毒性値及び慢性毒性値のそれぞれについて最も小さい毒性値を予測無影響濃度 (PNEC) 導出のために採用した。その知見の概要は以下のとおりである。

### 1) 藻類

Richter<sup>1)-14312</sup> は、米国 EPA の試験法(EPA 660/9-78-018, 1978)を若干改変した方法に従って、緑藻類 *Pseudokirchneriella subcapitata* (旧名 *Selenastrum capricornutum*) の生長阻害試験を実施した。被験物質にはセレン酸ナトリウムが用いられ、設定試験濃度区は対照区及び 3 濃度区であった。試験培地には AAP 培地が用いられた。96 時間半数影響濃度 (EC<sub>50</sub>) は、初期実測濃度に基づき 199 µg Se/L であった。

### 2) 甲殻類

Brook<sup>1)-58078</sup> は、ヨコエビ属 *Gammarus pseudolimnaeus* の急性毒性試験を実施した。被験物質にはセレン酸ナトリウムが用いられた。試験は止水式で行われ、設定試験濃度は 0 (対照区)、12.5、25、50、100、200 µgSe/L (公比 2) であった。試験用水には、硬度 51.0 mg/L (CaCO<sub>3</sub> 換算) の脱塩素水道水が用いられた。被験物質の実測濃度は、<8 (対照区)、25±8、55±8、82±1、220±30、560±30 µg Se/L であった。96 時間半数致死濃度 (LC<sub>50</sub>) は、実測濃度に基づき 57 µg Se/L であった。

また、Boyum<sup>1)-11939</sup> はミジンコ属 *Daphnia pulicaria* の 28 日間繁殖試験を実施した。被験物質にはセレン酸ナトリウムが用いられた。試験は半止水式 (週 2 回換水) で行われ、設定試験濃度は、0 (対照区)、50、100、500、1,000 µg Se/L (公比 2 又は 5) であった。試験用水には硬度 138 mg/L (CaCO<sub>3</sub> 換算) のミシガン湖水が用いられた。累積産仔数に関する 28 日間無影響濃度 (NOEC) は、設定濃度に基づき 50 µg Se/L であった。

### 3) 魚類

Brooke ら<sup>1)-20295</sup> は米国 ASTM の試験方法 (E729-80, 1980) に従って、ファットヘッドミノー *Pimephales promelas* の急性毒性試験を実施した。被験物質にはセレン酸ナトリウムが用いられた。試験は止水式 (緩やかな曝気あり) で行われ、設定試験濃度区は対照区及び 5 濃度区であった。試験用水には硬度 51.0 mg/L の脱塩素水道水が用いられた。被験物質の実測濃度は、0 (対照区)、0.8±0.04、1.8±0.1、2.9±0.1、6.0±0.1、12.0±0.0 mg/L であった。96 時間半数致死濃度 (LC<sub>50</sub>) は、実測濃度に基づき 2,300 µg Se/L であった。

また、米国 ASTM の試験方法 (E1241, 1985) に従って、ファットヘッドミノー *Pimephales promelas* の胚を用いて初期生活段階毒性試験が実施された<sup>1)-56474</sup>。被験物質にはセレン酸ナトリ

ウムが用いられた。試験は流水式で行われ、試験用水には硬度 45~47 mg/L (CaCO<sub>3</sub> 換算) の砂濾過及び UV 殺菌したスペリオール湖水が用いられた。被験物質の実測濃度は、<1.0 (対照区)、230、390、820、1,520、2,900 µg Se/L であった。成長阻害(体重)に関する 90 日間無影響濃度 (NOEC) は 390 µg Se/L であった。

#### 4) その他の生物

Ingersoll ら<sup>1)-956</sup> は、ドブユスリカ *Chironomus riparius* の急性毒性試験を実施した。被験物質にはセレン酸ナトリウムが用いられた。試験は流水式で行われ、設定試験濃度区は対照区及び 7 濃度区 (公比約 1.6) であった。試験用水には米国 ASTM の試験方法 (E729-80, 1980) に従った軟水 (硬度 45.5 mg/L、CaCO<sub>3</sub> 換算) が用いられた。48 時間半数致死濃度 (LC<sub>50</sub>) は、初期実測濃度に基づき 10,500 µg Se/L であった。

#### (2) 予測無影響濃度 (PNEC) の設定

4 価セレンと 6 価セレンのそれぞれを対象として、急性毒性値及び慢性毒性値のそれぞれについて、信頼できる知見のうち生物群ごとに値の最も低いものを整理し、そのうち最も低い値に対して情報量に応じたアセスメント係数を適用することにより、予測無影響濃度 (PNEC) を求めた。

#### 【4 価セレン】

##### 急性毒性値

藻類	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	96 時間 EC <sub>50</sub> (生長阻害)	2,900 µg Se/L
甲殻類	<i>Hyalella azteca</i>	96 時間 LC <sub>50</sub>	676 µg Se/L
魚類	<i>Morone saxatilis</i>	96 時間 LC <sub>50</sub>	1,325 µg Se/L

アセスメント係数 : 100 [3 生物群 (藻類、甲殻類及び魚類) について信頼できる知見が得られたため]

これらの毒性値のうち、最も小さい値 (甲殻類の 676 µg Se/L) をアセスメント係数 100 で除することにより、急性毒性値に基づく PNEC 値 6.7 µg Se/L が得られた。

##### 慢性毒性値

藻類	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	72 時間 NOEC (生長阻害)	4,570 µg Se/L
甲殻類	<i>Daphnia magna</i>	28 日間 NOEC (繁殖阻害)	70 µg Se/L
魚類	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	90 日間 NOEC (死亡)	21.0 µg Se/L

アセスメント係数 : 10 [3 生物群 (藻類、甲殻類及び魚類) について信頼できる知見が得られたため]

これらの毒性値のうち、最も小さい値 (魚類の 21.0 µg Se/L) をアセスメント係数 10 で除することにより、慢性毒性値に基づく PNEC 値 2.1 µg Se/L が得られた。

4 価セレンの PNEC としては、魚類の慢性毒性値から得られた 2.1 µg Se/L を採用する。

## 【6 価セレン】

## 急性毒性値

藻類	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	96 時間 EC <sub>50</sub> (生長阻害)	199 µg Se/L
甲殻類	<i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	96 時間 LC <sub>50</sub>	57 µg Se/L
魚類	<i>Pimephales promelas</i>	96 時間 LC <sub>50</sub>	2,300 µg Se/L
その他	<i>Chironomus riparius</i>	48 時間 LC <sub>50</sub>	10,500 µg Se/L

アセスメント係数：100 [3 生物群 (藻類、甲殻類、魚類) 及びその他の生物について信頼できる知見が得られたため]

その他の生物を除いた毒性値のうち、最も小さい値 (甲殻類の 57 µg Se/L) をアセスメント係数 100 で除することにより、急性毒性値に基づく PNEC 値 0.57 µg Se/L が得られた。

## 慢性毒性値

甲殻類	<i>Daphnia pulicaria</i>	28 日間 NOEC (繁殖阻害)	50 µg Se/L
魚類	<i>Pimephales promelas</i>	32 日間 NOEC (成長阻害)	390 µg Se/L

アセスメント係数：100 [2 生物群 (甲殻類及び魚類) の信頼できる知見が得られたため]

2 つの毒性値のうち、小さい方の値 (甲殻類の 50 µg Se/L) をアセスメント係数 100 で除することにより、慢性毒性値に基づく PNEC 値 0.5 µg Se/L が得られた。

6 価セレンの PNEC としては、甲殻類の慢性毒性値から得られた 0.5 µg Se/L を採用する。

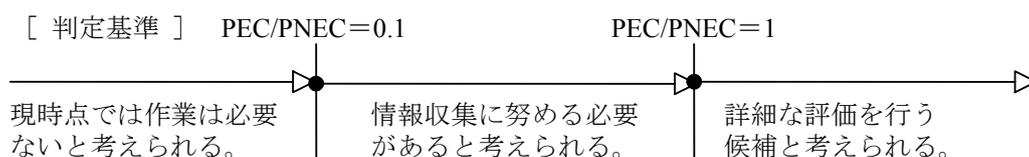
## (3) 生態リスクの初期評価結果

表 4.2 生態リスクの初期評価結果

水質	平均濃度	最大濃度 (PEC)	PNEC		PEC/PNEC 比	
			4 価	6 価	4 価	6 価
公共用水域・淡水	5 µg Se/L 未満 (2013)	6.8 µg Se/L (2013)	2.1	0.5	3	14
公共用水域・海水	5 µg Se/L 未満 (2012)	2 µg Se/L (2012)	µg Se/L	µg Se/L	0.95	4

注：1) 環境中濃度での ( ) 内の数値は測定年度を示す

2) 公共用水域・淡水は、河川河口域を含む



本物質の公共用水域における濃度は、平均濃度で見ると淡水域、海水域ともに 5 µg Se/L 未満

であった。安全側の評価値として設定された予測環境中濃度 (PEC) は、淡水域で 6.8  $\mu\text{g Se/L}$ 、海水域では 2  $\mu\text{g Se/L}$  であった。なお、得られた環境中濃度は化学形態別の濃度ではなく、全セレンの濃度である。

環境中のセレン濃度が全て 4 価又は 6 価であると仮定し、予測環境中濃度 (PEC) と予測無影響濃度 (PNEC) の比を求めると、全てが 4 価セレンであると仮定した場合については淡水域で、全てが 6 価セレンであると仮定した場合については淡水域、海水域ともに 1 より大きな値となるため、詳細な評価を行う候補と考えられる。

なお、ミジンコ類に関する OECD テストガイドライン No.202 (急性遊泳阻害試験) 及び No.211 (繁殖試験) で推奨されている Elendt M4 / M7 培地には、セレンが含まれている。また、セレンは必須元素とされ、*Daphnia* ではセレン欠乏により 3 世代後の繁殖力が有意に低下したという情報もある<sup>2)-2015117</sup>。

## 5. 引用文献等

## (1) 物質に関する基本的事項

- 1) 環境省(2012) : 化学物質ファクトシート -2012年版-,  
(<http://www.env.go.jp/chemi/communication/factsheet.html>).
- 2) 中原勝儼 (1997) : 無機化合物・錯体辞典 講談社サイエンティフィク.
- 3) 大木道則ら (1989) : 化学大辞典 東京化学同人.
- 4) Hazardous Substances Data Bank (<http://toxnet.nlm.nih.gov/>, 2015.11.10 現在).
- 5) Haynes.W.M.ed. (2013) : CRC Handbook of Chemistry and Physics on DVD, (Version 2013), CRC Press.
- 6) O'Neil, M.J. ed. (2013) : The Merck Index - An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals. 15th Edition, The Royal Society of Chemistry.
- 7) Dale L, Perry (2010) : Handbook of Inorganic Compounds, 2nd Edition, Boca Raton, CRC Press.
- 8) ICSC (2000) : International Chemical Safety Cards.0945.Selenious Acid.
- 9) 化学大辞典編集委員(1963) : 化学大辞典 (縮刷版) 9 共立出版 : 661.
- 10) European Chemical Agency : Information on Registered Substances, selenium.  
(<http://echa.europa.eu/information-on-chemicals/registered-substances>, 2015.8.31 現在)
- 11) 経済産業公報(2002.11.8).
- 12) 化学物質評価研究機構 (2002) : セレン及びその化合物[亜セレン酸ナトリウム (被験物質番号 K-1246) にて試験実施]のコイにおける濃縮度試験. 化審法データベース (J-CHECK).
- 13) 糸川嘉則 (2003) : ミネラルの事典 朝倉書店.
- 14) 真柄泰基ら (2002) : 水道水質事典 日本水道新聞社.
- 15) ATSDR (2003) : Toxicological Profile for Selenium.
- 16) 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (2012) : 鉱物資源マテリアルフロー2011 セレン (Se) .
- 17) 経済産業省 (2012) : 一般化学物質等の製造・輸入数量 (22 年度実績) について,  
([http://www.meti.go.jp/policy/chemical\\_management/kasinhou/information/H22jisseki-matome-ver2.html](http://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/kasinhou/information/H22jisseki-matome-ver2.html), 2012.3.30 現在).
- 18) 経済産業省(2013) : 一般化学物質等の製造・輸入数量 (23 年度実績) について,  
([http://www.meti.go.jp/policy/chemical\\_management/kasinhou/information/H23jisseki-matome.html](http://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/kasinhou/information/H23jisseki-matome.html), 2013.3.25 現在).
- 19) 経済産業省(2014) : 一般化学物質等の製造・輸入数量 (24 年度実績) について,  
([http://www.meti.go.jp/policy/chemical\\_management/kasinhou/information/H24jisseki-matome.html](http://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/kasinhou/information/H24jisseki-matome.html), 2014.3.7 現在).
- 20) 化学工業日報社(2006) : 14906 の化学商品 ; 化学工業日報社(2007) : 15107 の化学商品 ; 化学工業日報社(2008) : 15308 の化学商品 ; 化学工業日報社(2009) : 15509 の化学商品 ; 化学工業日報社(2010) : 15710 の化学商品 ; 化学工業日報社(2011) : 15911 の化学商品 ; 化学工業日報社(2012) : 16112 の化学商品 ; 化学工業日報社(2013) : 16313 の化学商品 ; 化学工業日報社(2014) : 16514 の化学商品 ; 化学工業日報社(2015) : 16615 の化学商品.

- 21) 工業レアメタル No. 123 (2007); 工業レアメタル No. 127 (2011); 工業レアメタル No. 130 (2014).
- 22) 財務省：貿易統計(<http://www.customs.go.jp/toukei/info/>, 2015.11.30 現在).
- 23) 薬事・食品衛生審議会薬事分科会化学物質安全対策部会 PRTR 対象物質調査会、化学物質審議会管理部会、中央環境審議会環境保健部会 PRTR 対象物質等専門委員会合同会合(第4回)(2008)：参考資料 1 現行化管法対象物質の有害性・暴露情報, (<http://www.env.go.jp/council/05hoken/y056-04.html>, 2008.11.6 現在).
- 24) 内野正、五十嵐良明、徳永裕司 (2006)：化粧品に配合が禁止されている成分の分析法に関する研究：二硫化セレン. 国立医薬品食品衛生研究所報告. 124:49-52.
- 25) 化学工業日報社(2015)：16615 の化学商品.

## (2) 曝露評価

- 1) 経済産業省製造産業局化学物質管理課、環境省環境保健部環境安全課 (2015)：平成 25 年度特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律(化学物質排出把握管理促進法)第 11 条に基づき開示する個別事業所データ.
- 2) 経済産業省製造産業局化学物質管理課、環境省環境保健部環境安全課 (2015)：届出外排出量の推計値の対象化学物質別集計結果 算出事項(対象業種・非対象業種・家庭・移動体)別の集計表 3-1 全国, (<http://www.nite.go.jp/chem/prtr/25lawtotal/2013a3-1.csv>, 2015.3.6 現在).
- 3) 経済産業省製造産業局化学物質管理課、環境省環境保健部環境安全課 (2015)：平成 25 年度 PRTR 届出外排出量の推計方法の詳細. (<https://www.env.go.jp/chemi/prtr/result/todokedegaiH25/syosai.html>, 2015.3.6 現在).
- 4) 環境省水・大気環境局大気環境課、自動車環境対策課 (2015)：平成 25 年度大気汚染状況について(有害大気汚染物質モニタリング調査結果).
- 5) 環境省水・大気環境局大気環境課、自動車環境対策課 (2014)：平成 24 年度大気汚染状況について(有害大気汚染物質モニタリング調査結果報告).
- 6) 環境省水・大気環境局大気環境課、自動車環境対策課 (2013)：平成 23 年度大気汚染状況について(有害大気汚染物質モニタリング調査結果報告).
- 7) 環境省水・大気環境局大気環境課、自動車環境対策課 (2012)：平成 22 年度大気汚染状況について(有害大気汚染物質モニタリング調査結果報告).
- 8) 環境省水・大気環境局大気環境課、自動車環境対策課 (2010)：平成 21 年度大気汚染状況について(有害大気汚染物質モニタリング調査結果).
- 9) 環境省水・大気環境局大気環境課、自動車環境対策課 (2009)：平成 20 年度大気汚染状況について(有害大気汚染物質モニタリング調査結果).
- 10) 環境省水・大気環境局大気環境課、自動車環境対策課 (2008)：平成 19 年度地方公共団体等における有害大気汚染物質モニタリング調査結果について.
- 11) 環境省水・大気環境局大気環境課 (2007)：平成 18 年度地方公共団体等における有害大気汚染物質モニタリング調査結果について.

- 12) 厚生労働省健康局水道課(2013)：平成 24 年度未規制物質等の水道水における存在実態調査報告書.
- 13) (社)日本水道協会 (2014)：平成 24 年度水道統計 水質編 第 95-2 号.
- 14) (社)日本水道協会 (2013)：平成 23 年度水道統計 水質編 第 94-2 号.
- 15) (社)日本水道協会 (2012)：平成 22 年度水道統計 水質編 第 93-2 号.
- 16) (社)日本水道協会 (2011)：平成 21 年度水道統計 水質編 第 92-2 号.
- 17) (社)日本水道協会 (2010)：平成 20 年度水道統計 水質編 第 91-2 号.
- 18) (社)日本水道協会 (2009)：平成 19 年度水道統計 水質編 第 90-2 号.
- 19) (社)日本水道協会 (2008)：平成 18 年度水道統計 水質編 第 89-2 号.
- 20) (社)日本水道協会 (2007)：平成 17 年度水道統計 水質編 第 88-2 号.
- 21) (社)日本水道協会 (2006)：平成 16 年度水道統計 水質編 第 87-2 号.
- 22) 環境省水・大気環境局 (2015)：平成 25 年度地下水質測定結果.
- 23) 環境省水・大気環境局 (2014)：平成 24 年度地下水質測定結果.
- 24) 環境省水・大気環境局 (2013)：平成 23 年度地下水質測定結果.
- 25) 環境省水・大気環境局 (2012)：平成 22 年度地下水質測定結果.
- 26) 環境省水・大気環境局 (2011)：平成 21 年度地下水質測定結果.
- 27) 環境省水・大気環境局 (2009)：平成 20 年度地下水質測定結果.
- 28) 環境省水・大気環境局 (2008)：平成 19 年度地下水質測定結果.
- 29) 環境省水・大気環境局 (2007)：平成 18 年度地下水質測定結果.
- 30) 環境省水・大気環境局 (2006)：平成 17 年度地下水質測定結果.
- 31) 環境省水・大気環境局 (2005)：平成 16 年度地下水質測定結果.
- 32) 環境省水・大気環境局 (2014)：平成 25 年度公共用水域水質測定結果.
- 33) 環境省水・大気環境局 (2013)：平成 22 年度公共用水域水質測定結果.
- 34) 環境省水・大気環境局 (2012)：平成 21 年度公共用水域水質測定結果.
- 35) 環境省水・大気環境局 (2011)：平成 20 年度公共用水域水質測定結果.
- 36) 環境省水・大気環境局 (2010)：平成 21 年度公共用水域水質測定結果.
- 37) 環境省水・大気環境局 (2009)：平成 20 年度公共用水域水質測定結果.
- 38) 環境省水・大気環境局 (2008)：平成 19 年度公共用水域水質測定結果.
- 39) 環境省水・大気環境局 (2007)：平成 18 年度公共用水域水質測定結果.
- 40) 環境省水・大気環境局 (2006)：平成 17 年度公共用水域水質測定結果.
- 41) 環境省水・大気環境局 (2005)：平成 16 年度公共用水域水質測定結果.
- 42) 岩手県：平成 24 年度 公共用水域 地下水質 大気汚染状況 ダイオキシン類 測定結果. (<http://www.pref.iwate.jp/kankyou/hozen/sonota/021876.html>, 2015.1.23 現在)
- 43) 岩手県：平成 22 年度 公共用水域 地下水質 大気汚染状況 ダイオキシン類 測定結果. (<http://www.pref.iwate.jp/kankyou/hozen/sonota/021876.html>, 2015.1.23 現在)
- 44) 岩手県：平成 21 年度 公共用水域 地下水質 大気汚染状況 ダイオキシン類 測定結果. (<http://www.pref.iwate.jp/kankyou/hozen/sonota/021876.html>, 2015.1.23 現在)
- 45) 船橋市：平成 22 年度 公共用水域測定結果<底質調査>. (<http://www.city.funabashi.chiba.jp/kurashi/kankyou/0006/p016540.html>, 2015.1.23 現在)

- 46) 船橋市：平成 17 年度 公共用水域測定結果<河川・通年調査>。  
(<http://www.city.funabashi.chiba.jp/kurashi/kankyoku/0006/p016540.html>, 2015.1.23 現在)
- 47) 高知県：平成 23 年度公共用水域及び地下水質の水質測定結果。  
(<http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030801/mizu-kekka-h23.html>, 2015.1.23 現在)
- 48) 高知県：平成 22 年度公共用水域及び地下水質の水質測定結果。  
(<http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030801/mizu-kekka-h22.html>, 2015.1.23 現在)
- 49) 高知県：平成 21 年度公共用水域及び地下水質の水質測定結果。  
(<http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030801/mizu-kekka-h21.html>, 2015.1.23 現在)
- 50) 高知県：平成 20 年度公共用水域及び地下水質の水質測定結果。  
(<http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030801/mizu-kekka-h20.html>, 2015.1.23 現在)
- 51) 高知県：平成 19 年度公共用水域及び地下水質の水質測定結果。  
(<http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030801/mizu-kekka-h19.html>, 2015.1.23 現在)
- 52) 山守英朋、渡辺正敏 (2010)：名古屋市内水域における底質中の重金属の経年変動。名古屋市環境科学研究所報. 39:63-116.
- 53) 環境庁環境保健部保健調査室 (1980)：昭和 54 年度化学物質環境調査。
- 54) 環境庁環境保健部保健調査室 (1979)：昭和 53 年度化学物質環境調査。
- 55) 西岡千鶴、吉田明美、藤田久雄、毛利孝明、塚本武、黒田弘之 (2002)：香川県における日常食品中の無期限その摂取量について (第 2 報)。香川県環境保健研究センター所報. 1:91-100.
- 56) 森山登、呉恵民、渡辺幸子 (1993)：陰膳方式による成人女子のセレン摂取量。日本栄養・食糧学会誌. 46(5):434-437.
- 57) 池辺克彦、西宗高弘、田中涼一 (1990)：モデル献立における 15 金属元素の一日摂取量。食衛誌. 31(3):280-284.
- 58) 池辺克彦、田中之雄、西宗高弘、田中涼一 (1989)：陰膳方式による 15 金属元素の一日摂取量の地域差の検討。食衛誌. 30(5):444-446.
- 59) 池辺克彦、田中之雄、西宗高弘、田中涼一 (1988)：陰膳方式による 15 金属元素の季節変動並びに年齢別一日摂取量。食衛誌. 29(6):440-444.
- 60) 鈴木継美、今井秀樹、小林香苗、本郷哲郎、柏崎浩、大塚柳太郎、鈴木久乃、石田裕美 (1988)：日本人のセレン摂取量—食材料・料理の実測値および文献値による推定—。日本栄養・食糧学会誌. 41(2):91-102.
- 61) 野上尚子 (1996)：タリウムの土壌-植物系における分布と挙動。茨城大学農学部卒業論文。[浅見輝男 (2010)：改訂増補 データで示す—日本土壌の有害金属汚染。アグネ技術センター]
- 62) 経済産業省(2015)：経済産業省—低煙源工場拡散モデル (Ministry of Economy, Trade and Industry — Low rise Industrial Source dispersion Model) METI-LIS モデル ver.3.2.
- 63) 鈴木規之ら (2003)：環境動態モデル用河道構造データベース。国立環境研究所研究報告第 179 号 R-179 (CD)-2003.

## (3) 健康リスクの初期評価

- 1) 木村修一, 古野純典 翻訳監修 (2014): 最新栄養学. 第 10 版. -専門領域の最新情報-. 建帛社. 東京.
- 2) Suzuki KT, Kurasaki K, Okazaki N, Ogra Y. (2005): Selenosugar and trimethylselenonium among urinary Se metabolites: dose- and age-related changes. *Toxicol Appl Pharmacol.* 206: 1-8.
- 3) Kremer D, Ilgen G, Feldmann J. (2005): GC-ICP-MS determination of dimethylselenide in human breath after ingestion of <sup>77</sup>Se-enriched selenite: monitoring of in-vivo methylation of selenium. *Anal Bioanal Chem.* 383: 509-515.
- 4) Barceloux DG. (1999): Selenium. *J Toxicol Clin Toxicol.* 37: 145-172.
- 5) Medinsky MA, Cuddihy RG, McClellan RO. (1981): Systemic absorption of selenious acid and elemental selenium aerosols in rats. *J Toxicol Environ Health.* 8: 917-928.
- 6) Weissman SH, Cuddihy RG, Medinsky MA. (1983): Absorption, distribution, and retention of inhaled selenious acid and selenium metal aerosols in beagle dogs. *Toxicol Appl Pharmacol.* 67: 331-337.
- 7) Sanz Alaejos M, Díaz Romero C. (1993): Urinary selenium concentrations. *Clin Chem.* 39: 2040-2052.
- 8) US National Institute for Occupational Safety and Health. Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (RTECS) Database. (2015.12.14 現在).
- 9) IPCS (2009): International Chemical Safety Cards. 0072. Selenium.
- 10) IPCS (1993): International Chemical Safety Cards. 0284. Hydrogen selenide.
- 11) IPCS (2000): International Chemical Safety Cards. 0945. Selenious acid.
- 12) IPCS (2000): International Chemical Safety Cards. 0946. Selenium dioxide.
- 13) IPCS (2000): International Chemical Safety Cards. 0949. Selenium trioxide.
- 14) IPCS (1998): International Chemical Safety Cards. 0698. Sodium selenite.
- 15) Filatova VS. (1951): Toxicity of selenium anhydride. *Gig Sanit.* (5): 18-23. (in Russian).
- 16) Lipinsky S. (1962): Data substantiating the poisonous nature of selenium. *Gig Sanit.* (1): 91-93 (in Russian).
- 17) Nobunaga T, Satoh H, Suzuki T. (1979): Effects of sodium selenite on methylmercury embryotoxicity and teratogenicity in mice. *Toxicol Appl Pharmacol.* 47: 79-88.
- 18) National Toxicology Program (1996): Sodium selenate (CAS No. 13410-01-0): Short term reproductive and developmental toxicity study when administered to Sprague-Dawley rats in the drinking water. NTP Study Number: RDGT94011. NTIS/PB96-190616.
- 19) Wilson HM. (1962): Selenium oxide poisoning. *N C Med J.* 23: 73-75.
- 20) Diskin CJ, Tomasso CL, Alper JC, Glaser ML, Fliegel SE. (1979): Long-term selenium exposure. *Arch Intern Med.* 139: 824-826.
- 21) Kinnigkeit G. (1962): Studies on workers exposed to selenium in a rectifier plant. *Z. Gesamte Hyg. Grenzgeb.* 8: 350-362. (in German).
- 22) Browning E. (1962): Investigation of workers exposed to selenium, in a factory producing rectifiers. *Bull Hyg.* 37: 1029-1030.

- 23) Holness DL, Taraschuk IG, Nethercott JR. (1989): Health status of copper refinery workers with specific reference to selenium exposure. *Arch Environ Health*. 44: 291-297.
- 24) Schecter A, Shanske W, Stenzler A, Quintilian H, Steinberg H. (1980): Acute hydrogen selenide inhalation. *Chest*. 77: 554-555.
- 25) Yang G, Zhou R. (1994): Further observations on the human maximum safe dietary selenium intake in a seleniferous area of China. *J Trace Elem Electrolytes Health Dis*. 8: 159-165.
- 26) 厚生労働省 (2014): 日本人の食事摂取基準 (2015年版) .  
([http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou\\_iryoku/kenkou/eiyoku/syokuji\\_kijyun.html](http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryoku/kenkou/eiyoku/syokuji_kijyun.html), 2015.12.14 現在)
- 27) Longnecker MP, Taylor PR, Levander OA, Howe M, Veillon C, McAdam PA, Patterson KY, Holden JM, Stampfer MJ, Morris JS, Willett W. (1991): Selenium in diet, blood, and toenails in relation to human health in a seleniferous area. *Am J Clin Nutr*. 53: 1288-1294.
- 28) 厚生労働省: 水質基準の見直しにおける検討概要. 基 06. セレン.  
(<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/konkyo0303.html>, 2015.12.14 現在)
- 29) Noda M, Takano T, Sakurai H. (1979): Mutagenic activity of selenium compounds. *Mutat Res*. 66: 175-179.
- 30) Löfroth G, Ames BN. (1978): Mutagenicity of inorganic compounds in *Salmonella typhimurium*: arsenic, chromium and selenium. *Mutat Res*. 53: 59-65.
- 31) van der Lelie D, Regniers L, Borremans B, Provoost A, Verschaeve L. (1997): The VITOTOX® test, an SOS bioluminescence *Salmonella typhimurium* test to measure genotoxicity kinetics. *Mutat Res*. 389: 279-290.
- 32) Kanematsu N, Hara M, Kada T. (1980): Rec assay and mutagenicity studies on metal compounds. *Mutat Res*. 77: 109-116.
- 33) Nakamuro K, Yoshikawa K, Sayato Y, Kurata H, Tonomura M, Tonomura A. (1976): Studies on selenium-related compounds. V. Cytogenetic effect and reactivity with DNA. *Mutat Res*. 40: 177-183.
- 34) Lu J, Jiang C, Kaeck M, Ganther H, Vadhanavikit S, Clement IP, Thompson H. (1995): Dissociation of the genotoxic and growth inhibitory effects of selenium. *Biochem Pharmacol*. 50: 213-219.
- 35) Ueda H, Kuroda K, Endo G. (1997): The inhibitory effect of selenium on induction of tetraploidy by dimethylarsinic acid in Chinese hamster cells. *Anticancer Res*. 17: 1939-1943.
- 36) Whiting RF, Wei L, Stich HF. (1980): Unscheduled DNA synthesis and chromosome aberrations induced by inorganic and organic selenium compounds in the presence of glutathione. *Mutat Res*. 78: 159-169.
- 37) Newton MF, Lilly LJ. (1986): Tissue-specific clastogenic effects of chromium and selenium salts *in vivo*. *Mutat Res*. 169: 61-69.
- 38) Lo LW, Koropatnick J, Stich HF. (1978): The mutagenicity and cytotoxicity of selenite, "activated" selenite and selenate for normal and DNA repair-deficient human fibroblasts. *Mutat Res*. 49: 305-312.
- 39) Biswas S, Talukder G, Sharma A. (2000): Chromosome damage induced by selenium salts in

- human peripheral lymphocytes. *Toxicol in Vitro*. 14: 405-408.
- 40) Khalil AM. (1989): The induction of chromosome aberrations in human purified peripheral blood lymphocytes following in vitro exposure to selenium. *Mutat Res*. 224: 503-506.
- 41) Sirianni SR, Huang CC. (1983): Induction of sister chromatid exchange by various selenium compounds in Chinese hamster cells in the presence and absence of S9 mixture. *Cancer Lett*. 18: 109-116.
- 42) Ray JH, Altenburg LC, Jacobs MM. (1978): Effect of sodium selenite and methyl methanesulfonate or *N*-hydroxy-2-acetylaminofluorene co-exposure on sister-chromatid exchange production in human whole blood cultures. *Mutat Res*. 57: 359-368.
- 43) Khalil AM. (1994): Genotoxicity of two pharmacologically important selenium compounds (selenocystine and selenopuridine) in cultured human blood lymphocytes. *Toxicol Environ Chem*. 41: 147-154.
- 44) Norppa H, Westermarck T, Knuutila S. (1980): Chromosomal effects of sodium selenite in vivo. III. Aberrations and sister chromatid exchanges in Chinese hamster bone marrow. *Hereditas*. 93: 101-105.
- 45) Biswas S, Talukder G, Sharma A. (1997): Selenium salts and chromosome damage. *Mutat Res*. 390: 201-205.
- 46) Biswas S, Talukder G, Sharma A. (1999): Comparison of clastogenic effects of inorganic selenium salts in mice *in vivo* as related to concentrations and duration of exposure. *Biometals*. 12: 361-368.
- 47) Moore FR, Urda GA, Krishna G, Theiss JC. (1996): Genotoxicity evaluation of selenium sulfide in *in vivo* and *in vivo/in vitro* micronucleus and chromosome aberration assays. *Mutat Res*. 367: 33-41.
- 48) Itoh S, Shimada H. (1996): Micronucleus induction by chromium and selenium, and suppression by metallothionein inducer. *Mutat Res*. 367: 233-236.
- 49) National Cancer Institute (1980): Bioassay of Selenium sulfide (gavage) for possible carcinogenicity (CAS No. 7446-34-6). Technical Report Series No. 194.
- 50) Barlow SM, Sullivan FM. (1982): Reproductive hazards of industrial chemicals: An evaluation of animal and human data. London. Academic Press.
- 51) Combs GF Jr. ed (1986): The role of selenium in nutrition. San Diego. Academic Press.
- 52) Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2003): Toxicological profile for selenium.
- 53) 厚生労働省 (2009): 日本人の食事摂取基準 (2010 年版) .  
([http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou\\_iryuu/kenkou/eiyuu/syokuji\\_kijyun.html](http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/kenkou/eiyuu/syokuji_kijyun.html), 2015.12.14 現在)

#### (4) 生態リスクの初期評価

- 1) U.S.EPA 「ECOTOX」

- 956 : Ingersoll, C.G., F.J. Dwyer, and T.W. May (1990): Toxicity of Inorganic and Organic Selenium to *Daphnia magna* (Cladocera) and *Chironomus riparius* (Diptera). Environ.Toxicol.Chem. 9(9):1171-1181.
- 2149 : Cardwell, R.D., D.G. Foreman, T.R. Payne, and D.J. Wilbur (1976): Acute Toxicity of Selenium Dioxide to Freshwater Fishes. Arch.Environ.Contam.Toxicol. 4(2):129-144.
- 5261 : Ahsanullah, M., and D.H. Palmer (1980): Acute Toxicity of Selenium to Three Species of Marine Invertebrates, with Notes on a Continuous-Flow Test System. Aust.J.Mar.Freshwater Res. 31(6):795-802.
- 5278 : Schultz, T.W., S.R. Freeman, and J.N. Dumont (1980): Uptake, Depuration, and Distribution of Selenium in *Daphnia* and its Effects on Survival and Ultrastructure. Arch.Environ.Contam.Toxicol. 9(1):23-40.
- 5305 : Birge, W.J. (1978): Aquatic Toxicology of Trace Elements of Coal and Fly Ash. In: J.H.Thorp and J.W.Gibbons (Eds.), Dep.Energy Symp.Ser., Energy and Environmental Stress in Aquatic Systems, Augusta, GA 48:219-240.
- 5313 : Norberg-King, T.J. (1989): An Evaluation of the Fathead Minnow Seven-Day Subchronic Test For Estimating Chronic Toxicity. Environ.Toxicol.Chem. 8(11):1075-1089.
- 6697 : Brasher, A.M., and R.S. Ogle (1993): Comparative Toxicity of Selenite and Selenate to the Amphipod *Hyaella azteca*. Arch.Environ.Contam.Toxicol. 24(2):182-186.
- 8158 : Maier, K.J., and A.W. Knight (1993): Comparative Acute Toxicity and Bioconcentration of Selenium by the Midge *Chironomus decorus* Exposed to Selenate, Selenite and Seleno-DL-methionine. Arch.Environ.Contam.Toxicol. 25(3):365-370.
- 10836 : Dunbar, A.M., J.M. Lazorchak, and W.T. Waller (1983): Acute and Chronic Toxicity of Sodium Selenate to *Daphnia magna* Straus. Environ.Toxicol.Chem. 2(2):239-244.
- 11305 : Ahsanullah, M., and G.W. Brand (1985): Effect of Selenite and Seleniferous Fly-Ash Leachate on Growth and Viability of the Marine Amphipod *Allorchestes compressa*. Mar.Biol. 89(3):245-248.
- 11334 : Palawski, D., J.B. Hunn, and F.J. Dwyer (1985): Sensitivity of Young Striped Bass to Organic and Inorganic Contaminants in Fresh and Saline Waters. Trans.Am.Fish.Soc. 114(5):748-753.
- 11939 : Boyum, K.W. (1984): The Toxic Effect of Selenium on the Zooplankton, *Daphnia magna* and *Daphnia pulex*, in Water and the Food Source (*Chlamydomonas reinhardtii*). Ph.D.Thesis, University of Wisconsin, Milwaukee, WI :127.
- 12333 : Hunn, J.B., S.J. Hamilton, and D.R. Buckler (1987): Toxicity of Sodium Selenite to Rainbow Trout Fry. Water Res. 21(2):233-238.
- 14312 : Richter, J.E. (1982): Results of Algal Toxicity Tests with Priority Pollutants. Center for Lake Superior Environmental Stud., Univ.of Wisconsin-Superior, Superior, WI (Memo to C.E.Stephan, U.S.EPA, Duluth, MN) :12 p.
- 14372 : Abdel-Hamid, M.I., and O.M. Skulberg (1995): Effect of Selenium on the Growth of Some Selected Green and Blue-Green Algae. Lakes Reserv.Res.Manag. 1(3):205-211.

- 15056 : Nelson, D.A., J.E. Miller, and A. Calabrese (1988): Effect of Heavy Metals on Bay Scallops, Surf Clams, and Blue Mussels in Acute and Long-Term Exposures. Arch.Environ.Contam.Toxicol. 17(5):595-600.
- 16698 : Jenner, H.A., and J.P.M. Janssen-Mommen (1993): Duckweed *Lemna minor* as a Tool for Testing Toxicity of Coal Residues and Polluted Sediments. Arch.Environ.Contam.Toxicol. 25(1):3-11.
- 20295 : Brooke, L.T., D.J. Call, S.L. Harting, C.A. Lindberg, T.P. Markee, D.J. McCauley, and S.H. Poirier (1985): Acute Toxicity of Selenium(IV) and Selenium(VI) to Freshwater Organisms. Center for Lake Superior Environmental Stud., Univ.of Wisconsin-Superior, Superior, WI :2-23.
- 56474 : Spehar, R.L. (1986): Criteria Document Data. Memorandum to D.J. Call, Center for Lake Superior Environmental Studies, University of Wisconsin-Superior. September 16, 1986. Memo to D.J.Call, U.S.EPA, Duluth, MN /Center for Lake Superior Environ.Studies, Univ.of Wisconsin-Superior, Superior, WI :17 p.
- 58078 : Brooke, L.T. (1987): July 20 1987 Memorandum to C. Stephan, U.S.EPA, Duluth, MN. Repeat Toxicity Tests of the Amphipod, *Gammarus pseudolimnaeus*, with Selenite and Selenate. University of Wisconsin-Superior, Superior, WI :6 p.
- 78755 : Cardin, J.A. (1985): Results of Acute Toxicity Tests Conducted with Selenium at ERL, Narragansett. Letter to D.Hansen, U.S.EPA, Narragansett, RI :4 p.
- 80817 : Morlon,H., C. Fortin, M. Floriani, C. Adam, J. Garnier-Laplace, and A. Boudou (2005): Toxicity of Selenite in the Unicellular Green Alga *Chlamydomonas reinhardtii*: Comparison Between Effects at the Population and Sub-Cellular Level. Aquat. Toxicol.73(1): 65-78.
- 83077 : Brix,K.V., D.K. DeForest, R.D. Cardwell, and W.J. Adams (2004): Derivation of a Chronic Site-Specific Water Quality Standard for Selenium in the Great Salt Lake, Utah, USA. Environ. Toxicol. Chem.23(3): 606-612.
- 83925 : Syracuse Research Corporation (2000): Results of Continuous Exposure of Fathead Minnow Embryo to 21 Priority Pollutants. EPA/OTS Doc.#40-7848049 :46 p. (NTIS/OTS 0511060).
- 91785 : Geoffroy, L., R. Gilbin, O. Simon, M. Floriani, C. Adam, C. Pradines, L. Cournac, and J. Garnier-Laplace (2007): Effect of Selenate on Growth and Photosynthesis of *Chlamydomonas reinhardtii*. Aquat.Toxicol. 83:149-158.
- 2) その他
- 2015117 : Elendt, B. P. (1990): Selenium deficiency in Crustacea. Protoplasma, 154: 25-33.
- 3) European Chemicals Agency : Information on Registered Substances, Selenium (<http://echa.europa.eu/information-on-chemicals/registered-substances>, 2015.12.9 現在)
1. Read across Subs Key Toxicity to aquatic algae and cyanobacteria.004 (1992)
  2. Read across Subs Key Long-term toxicity to aquatic invertebrates.007 (1978)
  3. Read across Subs Key Long-term toxicity to fish.005 (1978)