

61. ウ ラ ン

61.1 概 要

ウランは、原子量238.0289の天然に存在する物質の中で最も重い元素である。天然には花崗岩や他の種々の鉱床に広く分布し、地殻中の存在度は1.8ppmである。

天然ウランはいずれも α 放射体である三つの同位体からなり、その存在比と半減期は、 ^{238}U (99.276%、 4.5×10^9 年)、 ^{235}U (0.72%、 7.1×10^8 年)、 ^{234}U (0.0057%、 2.5×10^5 年) である。 ^{235}U は中性子を吸収して核分裂を起こす核分裂性核種で、 ^{235}U の含有率を3%程度に濃縮したウラン（濃縮ウラン）は原子力発電の核燃料として用いられる。 ^{238}U は、それ自身は核分裂性ではないが、原子炉中で中性子を吸収して核分裂性の ^{239}Pu （プルトニウム）となる。金属ウランは銀白色の金属光沢を持ち融点は1,132℃、化学反応性が大きく粉末状のものは空気中で自然発火して黒色の酸化ウランとなる。

ウランの生体影響には化学毒性と放射線障害の二つがあり、前者は粘膜の刺激による結膜炎、肺炎、胃炎、腎障害など、後者は内部被曝によるガンや腫瘍の発生である。

ウランの化合物は触媒や着色剤として使用されるが、主に核燃料として使用されている。したがって、核廃棄物の不法投棄や漏洩事故などが無い限り、ウランは環境中に放出される可能性が少なく、また国際的に核燃料物質として厳しく規制されているため、環境中のウランはほとんどが天然由来によるものと考えられる。天然のウラン含有量は、鉱物・土壌では数～数百ppm、海水では数ppb、河川・湖沼では数十～数百pptのオーダーである。なお、河川や湖沼については土壌の流入によりその変動は大きく、琵琶湖では年間のウラン濃度の変動（最大／最小値）は16倍にもなるという報告もある。

従来は水質に関する基準はなかったが、平成10年6月に水道水質に関する監視項目として新たに追加され、平成15年5月の見直しにより水質管理目標設定項目（目標値0.002mg/L）に設定された。更に、平成16年3月に、水質汚濁に係わる要監視項目（指針値0.002mg/L）として追加された。

61.2 基準等

ウランの基準等を表61-1に示す。

表61-1 ウランに関する基準等

基準名	基準値	測定方法	法令等
人の健康の保護に関する環境基準 (要監視項目)	0.002mg/L以下	キレート樹脂イオン交換-ICP発光分光分析法、ICP質量分析法	平成16.3.31環水企発040331003号、環水土発040331005号
水道法に基づく水質基準 (水質管理目標設定項目)	ウランの量に関して、0.002mg/L以下(暫定)	誘導結合プラズマ質量分析法、固相抽出-誘導結合プラズマ発光分光分析法	平成15.10.10健水発第1010001号

61.3 試験方法

ウランの試験法を表61-2に示す。

表61-2 ウランの試験方法一覧

	試験方法の名称	定量範囲 (mg/L)	精度 (CV%)	必要検水量 (mL)	出典
試験法1	キレート樹脂イオン交換-ICP発光分光分析法	0.2~20	-	1000	H16.3.31 環水企発第 040331003号他 付表4の第1
試験法2	ICP質量分析法	0.05~5	-	100	H16.3.31 環水企発第 040331003号他 付表4の第2

61.4 試験方法の概要と選定の考え方

61.4.1 試験方法の概要

61.4.1.1 キレート樹脂イオン交換-ICP発光分光分析法

検水中のウランをキレート樹脂に選択的に吸着させ、硝酸で溶出した検液をICP発光分光分析法により波長385.958nmで発光強度を測定し、ウラン濃度を求める方法である。

- ・測定対象となるウランが、分析に使用する試薬を汚染しないように注意する必要がある。
- ・海水が混入するとウラン濃度に影響するので、海の近くで調査を行う場合には、試料への風送塩（海塩粒子）の混入などに注意する必要がある。

61.4.1.2 ICP質量分析法

試料中のウランを高温のプラズマを用いて加熱励起し、イオン化させ、生成したイオンを質量分離装置部へ導入し、質量数 (m/z) 238でイオン強度を測定し、ウラン濃度を求める方法である。

61.4.2 試験方法の選定の考え方

ICP質量分析法は海水など共存物質が多い場合は希釈する必要があり、希釈によりウラン濃度が定量下限を下回る場合はキレート樹脂イオン交換-ICP発光分光分析法を用いる。

61.4.3 試験上の注意事項等

- ・試料は、硝酸及び金属測定用精製水^{*})で洗浄したガラス瓶又はポリエチレン瓶、ポリテトラフルオロエチレン瓶に採取する。
- ・試料の保存は、1 Lにつき硝酸10mLを加え、1ヶ月以内に試験する。
*) 非金属性蒸留装置又はイオン交換装置を通した後、約0.2μmのフィルターを通して微粒子を除いた水。

61.5 その他

61.5.1 健康影響¹⁾

61.5.1.1 ヒトの健康影響

ウランの毒性には、化学毒性と放射線障害がある。化学毒性に関する適切な短期、長期の研究はないが、可溶性のウラン化合物により、局所的には眼粘膜刺激による催涙及び結膜炎、吸入による気道刺激及び化学肺臓炎、消化管刺激による吐気、また全身的には腎障害でタンパク尿、腎不全及び尿毒症が引き起こされることが確認されている。一方、放射線障害としては、ウラン及びその化合物を取り扱う労働者などで、肺ガン、骨肉腫及びリンパ腫が増加したことがある。

61.5.1.2 急性毒性

ラットとマウスにおける急性毒性の研究では、それぞれの経口LD₅₀は204,242mg/kgであり、その前兆は、立毛、有意な体重の減少、及び眼、足、鼻における出血であった。引き起こされる最も一般的な腎臓の障害は、近位巨尿細管、主に遠位の2/3の損傷である。

61.5.1.3 短期曝露

離乳した雌雄のラットに0.001未満（対照群）、0.96、4.8、24、120あるいは600mg/Lの硝酸ウラン六水和物を91日間にわたって飲水投与すると、組織病理学的な変化が主に肝臓、甲状腺及び腎臓で観察された。腎臓の近位曲尿細管の障害に基づくLOAEL（最低副作用発現量）として0.96mg/L（雄では0.06mgU/kg体重/日、雌では0.09mgU/kg体重/日に相当する）が得られた。

61.5.1.4 長期曝露

種々のウラン化合物を非常に高い濃度（飼料中の濃度として20%まで）で添加してラット、イヌ、ウサギに30日間から2年間にわたって食餌投与した研究で、非常に限られた組織病理学的検査の結果としていずれの動物種でも腎臓の障害が認められた。

61.5.1.5 生殖・発生毒性

妊娠ラットに0、2.8、5.6、14あるいは28mgU/kg体重/日に相当する酢酸ウラン二水和物を妊娠6～15日目に胃管投与した研究で、母獣に対する影響及び胎仔毒性に基づくLOAELとして2.8mgウラン/kg体重/日が得られた。

61.5.1.6 変異原性

硝酸ウランは0.01～0.3mmol/Lの濃度範囲でチャイニーズハムスター卵巣細胞に対して細胞毒性と遺伝子障害性を示し、濃度依存的な細胞生存率の減少、細胞周期の遅延あるいは小核、姉妹染色分体交換及び染色体異常の頻度増加を引き起こした。

61.5.1.7 発がん性

注射や吸入によって放射性ウラン化合物を曝露した実験動物では骨がんが発生するが、溶解性あるいは不溶性のウラン化合物を経口投与した発がん性試験の報告はない。

61.5.1.8 WHOガイドライン値

ウランの発がん性に関しては十分な情報が得られないため、TDI（耐容1日摂取量）を用いてガイドライン値が求められている。短期曝露で得られたLOAEL0.06mgU/kg体重/日に不確実係数100（種差・個体差として100）を導入してTDI0.6 μ /kg体重が得られた。TDIの10%を飲料水に割り当てた0.002mg/Lがガイドライン値とされている。

61.5.2 水道水の水質基準設定の策定経緯¹⁾

ウランについての飲料水に関する水質基準は、1998年（平成10年）にWHO飲料水水質ガイドライン補遺で評価値は0.002mg/L（暫定）とされた。わが国では1998年（平成10年）の厚生省生活衛生局水道環境部長通知（平成10年6月1日 衛水発第928号）で監視項目としてウランが追加され、指針値は0.002mg/L（暫定）とされた。

さらに、平成15年5月の見直しにより、水質管理目標設定項目に設定され、目標値は上記と同様の0.002mg/L（暫定）とされた。

61.5.3 水質汚濁に係わる要監視項目の策定経緯と指針値の設定方法²⁾

ウランは平成16年3月の環境省環境管理局水環境部長通知により水質汚濁に係わる要監視項目として追加され、指針値は0.002mg/L以下とされている。この指針値の設定方法は以下のとおりである。

Gilmanら（1998）のラットを用いた飲水投与試験で、最低用量で腎毒性が見られたことから、LOAEL0.06mg/kg/日に不確実係数100（この用量での変化が最小限であることを考慮して）を適用し、TDIは0.006mg/kg/日となる。水の寄与率10%、体重50kg、飲用水量2L/日として指針値を0.002mg/Lとされた。

参考文献

- 1) 日本水道協会：上水試験方法 解説編, 2001.
- 2) 環境省：環境基準項目等の設定根拠等.
<http://www.env.go.jp/council/toshin/t090-h1510/02.pdf>

62. 1,4-ジオキサン (1,4-dioxane)

62.1 概要¹⁾

1,4-ジオキサンは、分子式 $C_4H_8O_2$ 、分子量88.11、融点 $11.8^{\circ}C$ 、沸点 $101.1^{\circ}C$ の物質である。穏やかな香り（エーテル臭）をもつ無色透明な液体であり、引火性、爆発の危険性が大きい物質である。

水に溶けやすく、油にも溶けやすい性質から、広く溶剤として使われており、有機化合物を製造する際の反応溶剤として使われる他、種々の溶剤（トランジスター、合成皮革、塗料、塩素系溶剤など）にも使われている。

過去には塩素系溶剤、特に1,1,1-トリクロロエタンの安定剤として多量に使われていたが、1996年に1,1,1-トリクロロエタンが使用禁止になって以降、この分野での1,4-ジオキサンの用途は減少している。

なお、界面活性剤に使われるポリ（オキシエチレン）＝アルキルエーテル硫酸エステルなどの製造工程で微量の1,4-ジオキサンが副生される場合があり、洗剤などの製品の一部に不純品として極微量の1,4-ジオキサンが存在する可能性がある。

1,4-ジオキサンは工場から排出されるが、水中では加水分解されず微生物によっても分解されにくく、大気中へ揮発することによってゆっくりと減少すると考えられている。土壌中に入り込むと、土壌への吸着性が弱いため地下浸透して地下水を汚染する可能性がある。

1,4-ジオキサンを吸入すると、粘膜に強い刺激性があり、眼や肺に障害を起こすほか、体内に吸収されると中枢神経抑制（麻酔）や重症の肝・腎障害を引き起こす。動物実験では肝がんの発生も知られており、人での発がん性も示唆されている。

平成14年に大阪府藤井寺市及び柏原市の水道水源井戸において、1,4-ジオキサンが検出され、取水が停止されたことがある。

水道水質基準の基準値は 0.05mg/L 以下と定められており、水質汚濁に係る要監視項目で指針値は 0.05mg/L とされている。

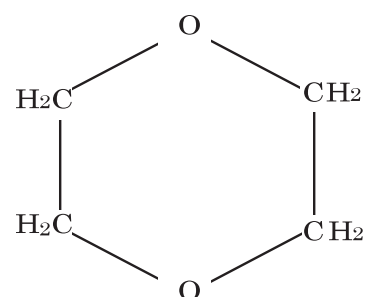


図62-1 1,4-ジオキサンの構造式

62.2 基準等

1,4-ジオキサンの基準等を表62-1に示す。

表62-1 1,4-ジオキサンに関する基準等

基準名	基準値	測定方法	法令等
人の健康の保護に関する環境基準 (要監視項目)	0.05mg/L以下	活性炭抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法、固相マイクロ抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法	平成16.3.31環水企発第040331003 環水土発040331005
水道法に基づく水質基準	0.05mg/L以下	平成15.7.22厚労省261別表14、15 別表14 パージ・トラップ-ガスクロマトグラフ質量分析計による一斉分析法 別表15 ヘットスペース-ガスクロマトグラフ質量分析計による一斉分析法	平成15.5.30厚生労働省令第101号

62.3 試験方法

1,4-ジオキサンの試験法を表62-2に示す。

表62-2 1,4-ジオキサンの試験方法一覧

	試験方法の名称	定量範囲 (mg/L)	精度 (CV%)	必要検水量 (mL)	出典
試験法1	活性炭抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法	0.005～0.1	-	200以上	H16.3.31 環水企発第 040331003号他 付表3の第1
試験法2	固相マイクロ抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法	0.005～0.1	-	35以上	H16.3.31 環水企発第 040331003号他 付表3の第2

活性炭抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法は、固相に活性炭カラムを用い、試料を通水して測定対象物質を吸着させた後、アセトンで溶出させ、GC/MSに導入する方法である。

固相マイクロ抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法は、測定対象物質の吸着させるためのファイバーを試料水中に露出して、抽出した後、ファイバーを直接GC/MSに挿入し測定する方法である。

一般的に多く採用されている活性炭抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法を試験法1に、固相マイクロ抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法を試験法2とした。

62.4 試験方法の概要と選定の考え方

62.4.1 試験方法の概要

62.4.1.1 活性炭抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法

あらかじめサロゲート物質を添加した試料を活性炭固相カラムに通水し、測定対象物質を吸着させた後、アセトンで溶出する。得られた溶出液をGC/MSに導入して1,4-ジオキサンの濃度を求める方法である²⁾。

62.4.1.2 固相マイクロ抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法

サロゲート溶液及び食塩を添加した試料中にファイバーを露出させて、ファイバーに測定対象物質を吸着させた後、ファイバーをGC/MSに導入して、測定対象成分を加熱

脱着する²⁾。

固相マイクロ抽出法は、SPME (Solid Phase Micro Extraction) 法とも呼ばれ、固相抽出法の一つである。通常の固相抽出法では、試料を固相抽出管の内部に充填した吸着剤に通水して目的成分を保持し抽出するが、SPMEはこの充填剤に相当する液相や吸着剤が微小なファイバーにコーティングしてあり、この部分を試料中に浸すことにより、目的成分を抽出できる。抽出操作後のファイバーはGC/MSのGCの試料注入口に直接導入し、加熱して、目的成分をファイバーから脱着させてGC/MSへ導入する。

62.4.2 試験方法の選定の考え方

活性炭抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法は、一般に多く採用されている方法である。サンプル量が少量しかない場合や前処理に多くの時間をかけられない場合には、固相マイクロ抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法を選定することも可能である。

62.4.3 試験上の注意事項等²⁾

- ・試験法1の場合は、試料500mL以上（2回分析ができるよう）をガラス瓶に入れる。
- ・試験法2の場合は、現場で、予め所定量の食塩を入れたSPME用バイアル瓶に試料を正確に35mL採取する。トラベルブランクを取る必要がある。また、試料500mLをガラス瓶に入れる採取方法も可能である。
- ・両試験法とも試料を運搬する場合には、汚染のない運搬用容器を用いて遮光・冷蔵する。前処理操作は試料採取後直ちに行う。直ちに行えない場合には、試料は汚染のない冷暗所（4℃）で凍結しないように保存する。

62.5 その他

62.5.1 健康及び生態への影響¹⁾

62.5.1.1 健康影響

(1) 毒性

- ・ラットに400mg/m³の濃度の1,4-ジオキサンを2年間、空気中から吸入させた実験では、血液中に含まれる尿素窒素（腎機能の指標）、ALP（アルカリフォスファターゼ、骨の病気や肝機能の指標）や白血球数の減少、赤血球数の増加などが認められている。
- ・変異原性の試験では陰性の報告が多いものの、一部の試験で陽性を示す結果が報告されている。
- ・発がん性については、ラットに200mg/L以上の濃度の1,4-ジオキサンを104週間、飲み水に混ぜて与えた実験では、肝細胞腫瘍の発生率の増加が認められている。
- ・国際がん研究機関（IARC）は1,4-ジオキサンをグループ2B（人に対して発がん性があるかもしれない）に分類している。

(2) 体内への吸収と排出

人が1,4-ジオキサンを体内に取り込む可能性があるのは、呼吸や飲み水によると考えられる。体内に取り込まれた1,4-ジオキサンは多くは代謝物に変化し、一部は代謝されないまま尿に含まれて排せつされる。

(3) 影響

水道水の原水では、水道水質基準を超える濃度が一例検出されている。このような汚染された水を長期間飲用するような場合を除いて、飲み水などから取り込むことによる人の健康への影響も小さいと考えられる。

62.5.1.2 生態影響

環境省の「化学物質の環境リスク初期評価」では、藻類の現存量への影響を根拠として、水生生物に対するPNEC（予測無影響濃度）を58mg/Lとしている。河川や海域の水中濃度はこのPNECよりも十分に低く、水生生物への影響は小さいと考えられている。

なお、(独)製品評価技術基盤機構及び(独)化学物質評価研究機構の「化学物質の初期リスク評価書」では、藻類への生長阻害を指標として、河川水中濃度の実測値を用いて水生生物に対する影響について評価を行っており、現時点では環境中の水生生物へ悪影響を及ぼすことはない判断している。

62.5.2 水道水の水質基準の策定経緯³⁾

1,4-ジオキサンは平成15年5月の厚生労働省令により、新たに水道法に基づく水質基準項目として基準値0.05mg/Lが定められた。

62.5.3 水質汚濁に係わる要監視項目の策定経緯と指針値の設定方法⁴⁾

1,4-ジオキサンは、平成16年3月の環境省環境管理局水環境部長通知により水質汚濁に係わる要監視項目として追加され、指針値0.05mg/L以下とされている。この指針値の設定方法は以下のとおりである。

Yamazakiら（1994）のラットを用いた飲水投与試験での肝腫瘍発症率に線形マルチステージモデルを適用した発がんリスク 10^{-5} 相当用量として指針値を0.05mg/Lとされた。

参考文献

- 1) 環境省：リスクコミュニケーションのための化学物質ファクトシート，2006.
<http://ceis.sppd-ne.jp/fs2006/factsheet/data/1-113.html>
- 2) 環境省環境管理局水環境部：環水企発第040331003号,環水土発第040331005号、平成16年3月31日.
- 3) 厚生労働省：新しい水質基準等について.
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/dl/k14.pdf>
- 4) 環境省：環境基準項目等の設定根拠等.
<http://www.env.go.jp/council/toshin/t090-h1510/02.pdf>

63. 塩化ビニルモノマー

63.1 概要¹⁾

塩化ビニルモノマーは、分子式 C_2H_3Cl 、分子量62.5、融点 $-154^{\circ}C$ 、沸点 $-13^{\circ}C$ の物質であり、クロロエチレンとも呼ばれている。エチレン($CH_2=CH_2$)を構成する水素原子(H)のうちの1個を塩素原子(Cl)で置換した有機塩素化合物の一種で、特徴的な臭気のある空気より重い無色の気体である。

エチレンと塩素を反応させてできる1,2-ジクロロエタン(二塩化エチレン)を熱分解して生成され、ビニールシート、建材など様々な分野で用いられているポリ塩化ビニル(塩化ビニル樹脂、PVC)を形成する基本単位(繰り返し単位)である。ほぼ全量がポリ塩化ビニル(PVC)や塩化ビニル系共重合樹脂の原料として使われている。

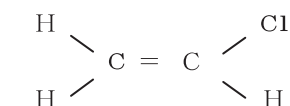


図63-1 塩化ビニルモノマーの構造式

ポリ塩化ビニルは、ポリエチレン、ポリプロピレンについて3番目に生産量の多いプラスチックで、一般に塩化ビニル、塩ビなどの名前で呼ばれている。ポリ塩化ビニルは、添加する可塑剤の種類や量によって柔らかさを変えることができ、成形しやすいという特徴がある。比較的安価で大量に製造できること、耐久性、難燃性、耐薬品性、透明性や電気絶縁性などがすぐれていること、加工がしやすいことなどから、上・下水道配管や電線被覆などのライフライン、雨どい、壁紙、床材や外装材などの建材、日用品、最先端のエレクトロニクス、農業用フィルム、医療器材など、幅広い分野で利用されている。

塩化ビニルモノマーが水中に入った場合は、揮発しやすい性質から大気中へ揮発することによって失われ、約1~40時間で半分の濃度になると報告されている。

塩化ビニルモノマーは発がん性のある物質とみなされており、肝細胞がん、脳腫瘍、肺がん、リンパ系及び造血系の悪性腫瘍を誘発することが認められている。

水道法に基づく要検討項目として基準値が0.002mg/Lとなっており、水質汚濁に係わる要監視項目として指針値0.002mg/Lと定められている。

63.2 基準等

塩化ビニルモノマーの基準等を表63-1に示す。

表63-1 塩化ビニルモノマーに関する基準等

基準名	基準値	測定方法	法令等
人の健康の保護に関する環境基準(要監視項目)	0.002mg/L以下	パージ・トラップ-ガスクロマトグラフ-質量分析法	平成16.3.31環水企発040331003号、環水土発040331005号
水道法に基づく水質基準(要検討項目)	0.002mg/L以下	—	水質基準の見直し等について(厚生科学審議会 答申)

63.3 試験法

塩化ビニルモノマーの試験法を表63-2に示す。

表63-2 塩化ビニルモノマーの試験方法一覧

	試験方法の名称	定量範囲 (mg/L)	精度 (CV%)	必要検水量 (mL)	出典
試験法1	パージ・トラップ-ガスクロマトグラフ 質量分析法	0.0002~0.006	-	5~50	H16.3.31 環水企発第 040331003号他 付表1

揮発性有機化合物（環境基準項目）の「15.3.2 試験方法」でも示したように、感度面で優れているパージ・トラップ-ガスクロマトグラフ質量分析法を試験法1とした。

63.4 試験方法の概要と選定の考え方

63.4.1 試験方法の概要

63.4.1.1 パージ・トラップ-ガスクロマトグラフ質量分析法

揮発性有機化合物（環境基準項目）と同じ試験方法であり、15.3.3.1（1）を参照されたい。

63.4.2 試験方法の選定の考え方

揮発性物質を測定する方法として、より測定感度が高いパージ・トラップ-GC/MSを選定する（15.3.3.2参照）。

63.4.3 試験上の注意事項等

- ・ 試料容器は、容量50~250mL程度の四フッ化エチレン樹脂張りシリコーンゴム栓付きスクリーキャップ用ネジ口ガラス瓶であって、次の処理をしたもの。洗浄後、水ですすぎ、乾燥する。約105℃の電気乾燥器内で3時間程度加熱し、デシケーター中で冷却する。冷却後、キャップを堅くしめ、汚染のない場所に保管する²⁾。
- ・ 試料を泡立たないように静かに採取容器に満たし、マイクロシリンジでサロゲート溶液²⁾を添加し、直ちにキャップをする。瓶内に空気層を残さないよう注意する²⁾。
- ・ 試料を運搬する場合には、汚染のない運搬用容器を用いて遮光・冷蔵する。前処理操作は試料採取後直ちに行う。直ちに行えない場合には、試料は汚染のない冷暗所（4℃以下）で凍結しないように保存する²⁾。

注) 塩化ビニルモノマーは揮散しやすいことから、試料採取時にサロゲート物質を添加して、試料採取から測定までの測定対象物質の変化を補正できる方法を採用する。

サロゲート物質とは、抽出操作や濃縮操作時に測定対象物質と同様の挙動を示す化合物の総称であり、通常は測定対象物質の水素原子（H）を重水素原子（D）に置換したものや炭素原子（¹²C）を同位体炭素原子（¹³C）に置換したものが使われる。サロゲート物質が抽出操作及び濃縮操作時に測定対象物質と同様の挙動を示すこと

から、あらかじめサロゲート化合物と測定対象物質との感度比を求めておくことにより、抽出操作から機器の感度までを含めて補正された値として求められる³⁾。

63.5 その他

63.5.1 健康及び生態への影響¹⁾

63.5.1.1 健康影響

(1) 毒性

- ・動物細胞を使ったいくつかの変異原性試験で、染色体異常が報告されている。また、労働者を対象とした疫学調査や症例報告の多くで、塩化ビニルモノマーが肝臓の血管肉腫の発生を増加させたことが報告されている。
- ・国際がん研究機関（IARC）は塩化ビニルモノマーをグループ1（ヒトに対して発がん性がある）に分類している。これらの発がん性に関する疫学調査の結果などに基づいて、有害大気汚染物質の指針値が設定されている。
- ・ラットに塩化ビニルモノマーを149～150週間、餌に混ぜて与えた実験では、肝細胞の変性や死亡率の増加などが認められ、この実験結果から求められる口から取り込んだ場合のNOAEL（無毒性量）は、体重1 kg当たり1日0.13mgであった。

(2) 体内への吸収と排出

人が塩化ビニルモノマーを体内に取り込む可能性があるのは、呼吸や飲み水によると考えられる。体内に取り込まれた塩化ビニルモノマーは、血液を通して全身に運ばれ、クロロエチレンオキシドなどの代謝物に変化し、尿に含まれて排せつされる。クロロエチレンオキシドが塩化ビニルモノマーの変異原性や発がん性に関係していると考えられている。

(3) 影響

水道水からは水道水質基準を超える濃度は検出されていないが、河川から水質要監視項目の指針値を超える濃度が一例検出されている。このような汚染された水を長期間引用するような場合を除いて、飲み水から取り込む事による人の健康への影響も小さいと考えられる。なお、2000年に(財)日本食品分析センターが実施した食事の分析結果では、45検体のいずれからも塩化ビニルモノマーは検出されていない。

63.5.1.2 生態影響

現在のところ、わが国では水生生物に対する信頼できるPNEC（予測無影響濃度）は算定されていない。

なお、(独)製品評価技術基盤機構及び(財)化学物質評価研究機構の「化学物質の初期リスク評価書」では、魚類の生存への影響を指標として、河川水中濃度の実測値を用いて水生生物に対する影響について評価を行っており、現時点では環境中の水生生物へ悪影

響を及ぼすことはないと判断している。

63.5.2 水道水の水質基準設定の策定経緯⁴⁾

塩化ビニルモノマーは発がん性の物質であることから、平成15年4月の「水質基準の見直し等について（答申）」（厚生科学審議会）において水道法に基づく要検討項目として目標値0.002mg/L以下とされている。

63.5.3 水質汚濁に係わる要監視項目の策定経緯と指針値の設定方法⁵⁾

塩化ビニルモノマーは、平成16年3月の環境省環境管理局水環境部長通知により水質汚濁に係わる要監視項目として追加され、指針値0.002mg/L以下が設定されている。この指針値の設定方法は以下のとおりである。

Feronら（1981）のラットを用いた経口投与試験での肝細胞がん発症率に線形マルチステージモデルを適用した発がんリスク 10^{-5} 相当用量は $0.0875 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{日}$ となる。体重50kg、飲水量2L/日として指針値を0.002mg/Lとされた。

参考文献

- 1) 環境省：リスクコミュニケーションのための化学物質ファクトシート，2006.
<http://ceis.sppd.ne.jp/fs2006/factsheet/data/1-077.html>
- 2) 環境省環境管理局水環境部：環水企発第040331003号、環水土発第040331005号、平成16年3月31日.
- 3) 日本水道協会：上水試験方法 解説編，2001.
- 4) 厚生労働省：「水道基準の見直しにおける検討概要」塩化ビニル.
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/konkyo0303.html>
- 5) 環境省：環境基準項目等の設定根拠等.
<http://www.env.go.jp/council/toshin/t090-h1510/02.pdf>

64. エピクロロヒドリン (epichlorohydrin)

64.1 概要¹⁾

エピクロロヒドリンは、分子式 C_3H_5ClO 、分子量92.53、融点 $-57.2^{\circ}C$ 、沸点 $117.9^{\circ}C$ の物質であり、クロロホルムに似た刺激臭のある無色の液体である。

エポキシ樹脂、合成グリセリン、グリシジルメタクリレート（塗料、接着剤、樹脂・繊維改質剤などに使われるもの）、界面活性剤、イオン交換樹脂などの原料、繊維処理剤、可塑剤、安定剤、殺虫殺菌剤、医薬品原料などに用いられている。

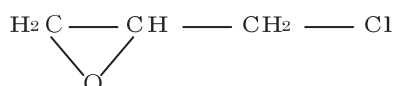


図64-1 エピクロロヒドリンの構造式

エピクロロヒドリンは、化学工業などの事業所からほとんどが大気中に排出される。水中に入った場合は、主に大気中へ揮発したり加水分解され、加水分解後にできる化学物質も微生物によって分解されると考えられている。

エピクロロヒドリンは、ラットなどの動物実験で発がん性が認められており、人体に対する発がん性も示唆されている。また、目や鼻の粘膜を刺激し、結膜炎や皮膚炎を起こすこともある。

有害な物質であることから、水質法に基づく要検討項目として基準値 0.0004mg/L 以下（暫定値）とされており、また、水質汚濁に係わる要監視項目として指針値は 0.0004mg/L 以下とされている。

64.2 基準等

エピクロロヒドリンの基準等を表64-1に示す。

表64-1 エピクロロヒドリンに関する基準等

基準名	基準値	測定方法	法令等
人の健康の保護に関する環境基準 (要監視項目)	0.0004mg/L 以下	パージ・トラップ・ガスクロマトグラフ質量分析法	平成16.3.31環水企発040331003号、環水土発040331005号
水道法に基づく水質基準 (要検討項目)	0.0004mg/L 以下 (暫定)	—	水質基準の見直し等について(厚生科学審議会 答申)

64.3 試験方法

エピクロロヒドリンの試験法を表64-2に示す。

表64-2 エピクロロヒドリンの試験方法一覧

	試験方法の名称	定量範囲 (mg/L)	精度 (CV%)	必要検水量 (mL)	出典
試験法1	パージ・トラップ-ガスクロマトグラフ 質量分析法	0.00003~0.002	-	5~50	H16.3.31 環水企発第 040331003号他 付表2

揮発性有機化合物（環境基準項目）の「15.3.2 試験方法」でも示したように、感度面で優れているパージ・トラップ-ガスクロマトグラフ質量分析法を試験法1とした。

64.4 試験方法の概要と選定の考え方

64.4.1 試験方法の概要

64.4.1.1 パージ・トラップ-ガスクロマトグラフ質量分析法

揮発性有機化合物（環境基準項目）と同じ試験方法であり、15.3.3.1（1）を参照されたい。

64.4.2 試験方法の選定の考え方

エピクロロヒドリンは、要監視項目の指針値が低く、他の揮発性有機化合物より低濃度のレベルの測定感度が要求されることから、もっとも測定感度が高い方法であるパージ・トラップ-ガスクロマトグラフ質量分析法を選定する（15.3.3.2参照）。

64.4.3 試験上の注意事項等²⁾

- ・ 試料容器は、容量50~250mL程度の四フッ化エチレン樹脂張りシリコンゴム栓付きスクリューキャップ用ネジ口ガラス瓶であって、次の処理をしたもの。洗浄後、水ですすぎ、乾燥する。約105℃の電気乾燥器内で3時間程度加熱し、デシケーター中で冷却する。冷却後、キャップを堅くしめ、汚染のない場所に保管する²⁾。
- ・ 試料を泡立たないように静かに採取容器に満たし、マイクロシリンジでサロゲート溶液^{注)}を添加し、直ちにキャップをする。瓶内に空気層を残さないよう注意する²⁾。
- ・ 試料を運搬する場合には、汚染のない運搬用容器を用いて遮光・冷蔵する。前処理操作は試料採取後直ちに行う。直ちに行えない場合には、試料は汚染のない冷暗所（4℃以下）で凍結しないように保存する²⁾。

注) エピクロロヒドリンは揮散しやすいことから、試料採取時にサロゲート物質を添加して、試料採取から測定までの測定対象物質の変化を補正できる方法を採用する。
サロゲート化合物とは、抽出操作や濃縮操作時に測定対象物質と同様の挙動を示す物質の総称であり、通常は測定対象物質の水素原子（H）を重水素原子（D）に置換したものや炭素原子（¹²C）を同位体炭素原子（¹³C）に置換したものが使われる。

サロゲート化合物が抽出操作及び濃縮操作時に測定対象物質と同様の挙動を示すことから、あらかじめサロゲート化合物と測定対象物質との感度比を求めておくことにより、抽出操作から機器の感度までを含めて補正された値として求められる³⁾。

64.5 その他

64.5.1 健康及び生態への影響¹⁾

64.5.1.1 健康影響

(1) 毒性

- ・ エピクロロヒドリンは、いくつかの種類²⁾の生物、細胞やヒトリンパ球を用いた変異原性試験で、陽性が示す結果が報告されている。
- ・ ラットに体重1kg当たり1日2mgのエピクロロヒドリンを2年間、口から与えた実験では、前胃にがんの発生が報告されている。
- ・ 国際がん研究期間（IARC）はエピクロロヒドリンをグループ2A（人に対しておそらく発がん性がある）に分類している。

(2) 体内への吸収と排出

人がエピクロロヒドリンを体内に取り込む可能性があるのは、飲み水や呼吸によると考えられる。体内に取り込まれたエピクロロヒドリンは、代謝物に変化し、72時間後には、ほとんどが呼吸とともに吐き出されたり、尿に含まれて排せつされる。

(3) 影響

河川や地下水から水質要監視項目の指針値を超える濃度のエピクロロヒドリンは検出されておらず、飲み水を取り込む事による人の健康への影響は小さいと考えられている。

64.5.1.2 生態影響

環境省の「化学物質の環境リスク初期評価」では、魚類の生存への影響を根拠として、水生生物に対するPNEC（予測無影響濃度）を0.011mg/Lとしている。河川や海域の水中濃度はこのPNECよりも十分に低く、水生生物への影響は小さいと考えられている。

64.5.2 水道水の水質基準設定の策定経緯⁴⁾

エピクロロヒドリンはラットの動物実験で発がん性が認められたことから、平成15年4月の「水質基準の見直し等について（答申）」（厚生科学審議会）において水道法に基づく要検討項目として目標値0.0004mg/Lとされている。

64.5.3 水質汚濁に係わる要監視項目の策定経緯と指針値の設定方法⁵⁾

エピクロロヒドリンは、平成16年3月の環境省環境管理局水環境部長通知により水質汚濁に係わる要監視項目として追加され、指針値0.0004mg/L以下が設定されている。この指針値の設定方法は以下のとおりである。

Westerら（1995）のラットを用いた経口投与試験で、前胃の腫瘍が認められたLOAEL（最低副作用発現量）2 mg/kg/日に発がん性を考慮し不確実係数10,000を適用して、TDI（耐容1日摂取量）は0.14 μg/kg/日となる。水の寄与率10%、体重50kg、飲用水量2L/日として指針値を0.0004とされた。

参考文献

- 1) 環境省：リスクコミュニケーションのための化学物質ファクトシート，2006.
<http://ceis.sppd.ne.jp/fs2006/factsheet/data/1-054.html>
- 2) 環境省環境管理局水環境部：環水企発第040331003号，環水土発第040331005号，平成16年3月31日.
- 3) 日本水道協会：上水試験方法，2001.
- 4) 厚生労働省：「水道基準の見直しにおける検討概要」エピクロロヒドリン.
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/dl/ken10.pdf>
- 5) 環境省：環境基準項目等の設定根拠等.
<http://www.env.go.jp/council/toshin/t090-h1510/02.pdf>

65. ホルムアルデヒド (formaldehyde)

65.1 概要¹⁾

ホルムアルデヒドは、分子式 CH_2O 、分子量30.03、融点 -119°C 、沸点 -21°C の物質であり、常温では無色、可燃性の刺激性気体である。ホルムアルデヒドを水に溶解した水溶液（約37%。ただし安定剤としてメタノールを含む）がホルマリンである。

タンパク質と結びつきやすく、反応したタンパク質は固まって機能を失う性質を利用して、生物標本（腐敗防止）に使用されている。また、各種の合成樹脂の原料（フェノール樹脂（電話機等のプラスチック製品）、メラミン樹脂（食器、電気部品等）、尿素系樹脂（合成の接着剤、おもちゃ等）、ポリアセタール樹脂（電気・電子部品、自動車部品等））に使用されているほか、農薬、消毒薬、その他の分析用試薬等にも使用されている。

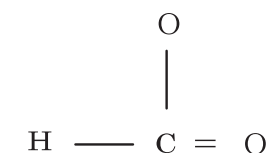


図65-1 ホルムアルデヒドの構造式

有機物の不完全燃焼によっても生成し、石炭、木、タバコなどの煙、焼却炉の排水、内燃機関の排ガス中にも含まれている。また、水道水の塩素処理、オゾン処理の過程でも生ずることがある。

ホルムアルデヒドは事業所から大気に排出され、降雨によって地表に降下し、水中に入った場合は主に微生物によって分解されると考えられる。

人体への影響としては、鼻、眼等の粘膜に対する刺激が強く、高濃度の場合には肺浮腫や肺炎を引き起こす。ホルムアルデヒド製造工場では作業者に皮膚炎が発生することが報告されている。

水道原水の検出濃度は $0.0\sim 1.0\ \mu\text{g/L}$ という報告がある²⁾。

ホルムアルデヒドは水道水質基準として基準値 0.08mg/L 以下と定められており、また、水質環境基準の水生生物の保全に関する要検討項目として淡水域の指針値が $1\ \text{mg/L}$ 以下と定められている。

65.2 基準等

ホルムアルデヒドの基準等を表65-1に示す。

表65-1 ホルムアルデヒドに関する基準等

基準名	基準値	測定方法	法令等
水生生物の保全に係る水質環境基準 (要監視項目)	淡水域	ペンタフルオロベンジルヒドロキシルアミン塩酸塩誘導体化-ガスクロマトグラフ質量分析法	平成15.11.5環水企発031105001号、環水管発031105001号
	A:イワナ、サケマス域 1mg/L以下		
	B:コイ・フナ域 1mg/L以下		
	A-S:イワナ、サケマス特別域 1mg/L以下		
	B-S:コイ・フナ特別域 1mg/L以下		
	海域		
水道法に基づく水質基準	G:一般海域 0.3mg/L以下	平成15.7.22厚労省261別表19 溶媒抽出-誘導体化-ガスクロマトグラフ質量分析法	平成15.5.30厚生労働省令第101号
	S:特別域 0.03mg/L以下		
	0.08mg/L以下		

65.3 試験方法

ホルムアルデヒドの試験法を表65-2に示す。

表65-2 ホルムアルデヒドの試験方法一覧

	試験方法の名称	定量範囲 (mg/L)	精度 (CV%)	必要検水量 (mL)	出典
試験法1	PFBOA誘導体化-ガスクロマトグラフ質量分析法	0.001~0.1	20	50	H15.11.5 環水企発第031105001号他 付表2

本法は、検水をペンタフルオロベンジルヒドロキシルアミンでフッ素誘導体とし、ヘキサンで抽出し、ガスクロマトグラフ-質量分析計に導入し、ホルムアルデヒドの濃度を求める方法である³⁾。

65.4 試験方法の概要と選定の考え方

65.4.1 試験方法の概要

65.4.1.1 PFBOA誘導体化-ガスクロマトグラフ質量分析法⁴⁾

検水をペンタフルオロベンジルヒドロキシルアミンでフッ素誘導体とし、塩化ナトリウムを飽和量以上加え、ヘキサンで抽出し、その抽出液をガスクロマトグラフ-質量分析計に導入し、ホルムアルデヒドの濃度を求める方法である。

65.4.2 試験方法の選定の考え方

PFBOA誘導体化-ガスクロマトグラフ質量分析法は、PFBOA誘導体化-ガスクロマトグラフ法より低濃度の測定が可能であることから、ホルムアルデヒドの試験方法として選定した。

65.4.3 試験上の注意事項等³⁾

- ・ 試料容器は、容量500～1000mLの金属製キャップ付きの細口褐色ガラス瓶であって、あらかじめ超純水で洗浄した後、乾燥器（約200℃）で約6時間加熱処理し、放冷後密栓して清浄な場所に保管していたものを使用する。
- ・ 試料の採取にあたっては、空気が入らないように口一杯に試料水を満たし、冷蔵状態で試験室まで運び、すみやかに分析する。
- ・ ホルムアルデヒドは、空気中の微量常在成分であり、家具類や衣類、プラスチックからも発生することがあるので、試料採取容器の汚染には細心の注意を払う必要がある。ホルマリンを使用している実験室で試料および試料採取容器を扱うことは避けねばならない。

65.5 その他

65.5.1 健康及び生態への影響

65.5.1.1 健康影響

(1) 毒性

- ・ 高濃度のホルムアルデヒドは、眼や鼻、呼吸器などに刺激性を与えることが報告されている。また、シックハウス症候群との関連性が疑われていることから、厚生労働省ではホルムアルデヒドの室内空気濃度の指針値を0.1mg/m³（0.08ppm）と設定している。これは人がホルムアルデヒドを吸い込んだ際の鼻やのどの粘膜への刺激を根拠としている。
- ・ ホルムアルデヒドは、変異原性の試験において陽性を示す結果が報告されている³⁾。
- ・ 発がん性については、マウスとラットに17.75mg/m³（14.2ppm）～18.38mg/m³（14.7ppm）の濃度のホルムアルデヒドを長期間、空気中から取り込ませた実験では、鼻腔の扁平上皮がんの発生が報告されている。
- ・ 人の鼻咽頭がんに対しても十分な科学的根拠が得られたことなどから、国際がん研究機関（IARC）はホルムアルデヒドをグループ1（人に対して発がん性がある）に分類している。
- ・ 雄のマウスに体重1kg当たり1日82mgのホルムアルデヒドを2年間、飲み水に混ぜて与えた実験では、体重の減少や慢性萎縮胃炎などが認められた。

(2) 体内への吸収と排出

人がホルムアルデヒドを体内に取り込む可能性があるのは、呼吸や飲み水によると考えられる。なかでも、室内空気からの取り込み量が最も多いと推定されている。体内に取り込まれたホルムアルデヒドは、肝臓の酵素の作用によってギ酸に変化して、尿に含まれて排せつされる。

(3) 影響

水道水から水道水質基準値を超える濃度のホルムアルデヒドは検出されていない。

65.5.1.2 生態影響

これまでの測定では、河川などから水生生物保全の観点から定めた要監視項目指針値を超える濃度のホルムアルデヒドは検出されておらず、水生生物への影響は小さいと考えられている。

65.5.2 水道水の水質基準設定の策定経緯⁵⁾

ホルムアルデヒドは以前は要監視項目として指針値0.04mg/L以下（暫定値）とされていたが、平成15年5月の厚生労働省令により、水道法に基づく水質基準項目として基準値0.04mg/Lが定められた。

この基準はマウスによる実験と入浴時などにホルムアルデヒドが水道水から気化することによる発がん性を考慮して、TDI（耐容一日摂取量）を体重1kg当たり0.015 μ gとして設定されたものである。

65.5.3 水生生物の保全に係る水質環境基準の策定経緯⁶⁾

平成15年環境省告示により、ホルムアルデヒドは水生生物の保全に係る水質環境基準の要監視項目とされ、指針値が設定された。

中央環境審議会水環境部会水生生物保全環境基準専門委員会において、水生生物の保全に係る水質目標が検討され、設定されたものである。指針値は、各項目の毒性試験結果を水域区分ごとに魚介類とその餌生物に分類し、魚介類に慢性影響を生じないレベルとして算出される「最終慢性毒性値（魚介類）」と餌生物が保全される「最終慢性毒性値（餌生物）」の小さい方の値が採用されている。

参考文献

- 1) 環境省：リスクコミュニケーションのための化学物質ファクトシート，2006.
<http://ceis.sppd.ne.jp/fs2006/factsheet/data/1-310.html>
- 2) 日本水道協会：上水試験方法 解説編，2001.
- 3) 環境省：環水企発第031105001号.
- 4) 日本水道協会：上水試験方法，2001.
- 5) 厚生労働省厚生科学審議会：水質基準値案の根拠資料について（参考）ホルムアルデヒド.
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/konkyo.html>
- 6) 中央環境審議会水環境部会水生生物保全環境基準専門委員会：水生生物の保全に係わる水質環境基準の設定について（第一次報告），2003.
http://www.env.go.jp/council/toshin/t094-h1504/houkoku_2.pdf

