

# 電力中央研究所報告

## 微量物質の健康リスクに関する文献調査 (その2)

調査報告：V08047

平成21年6月

財団法人 電力中央研究所

**R** **CRIEPI**

The image shows a stylized logo in a light gray color. It features a large, bold, serif letter 'R' on the left. To its right, the word 'CRIEPI' is written in a smaller, bold, sans-serif font. Two thick, curved lines, resembling a stylized 'S' or a swoosh, are positioned above and below the text, framing it. The entire logo is centered horizontally on a plain white background.

# 微量物質の健康リスクに関する文献調査（その2）

西村 泉\*

キーワード：微量物質  
健康リスク評価  
吸入曝露  
経口曝露  
毒性閾値

Key Words : Trace Substance  
Health Risk Assessment  
Inhalation Exposure  
Oral Exposure  
Toxicity Threshold

## Literature survey on health risk of trace substances

Izumi Nishimura

### Abstract

The aim of this literature survey was to gather the latest health risk information of 22 trace chemical substances emitted from thermal power plants. The information includes strengths of hazard and toxicity thresholds. These substances were acetaldehyde, arsenic (As), benzene, benzo[a]pyrene (BaP), boron (B), beryllium (Be), cadmium (Cd), cobalt (Co), chromium (Cr), fluoride (F), formaldehyde, hydrochloric acid (HCl), mercury (Hg), manganese (Mn), molybdenum (Mo), nickel (Ni), lead (Pb), antimony (Sb), selenium (Se), vanadium (V), and Zinc (Zn). They were designated chemicals by the Pollutant Release and Transfer Register (PRTR) law of Japan. The survey revealed that 12 chemical substances had carcinogenic potency, and 17 ones showed non-carcinogenic toxicity by inhalation exposure. Thirteen among 22 substances were carcinogenic, and 19 of these bore non-carcinogenic toxicity to human when they were orally exposed. Inhalation unit risk (UR, a measure of carcinogenic potency) and inhalation reference concentration (RfC, a measure of non-carcinogenic toxicity) of these substances were summarized. Oral slope factor (SF, a measure of carcinogenic potency) and oral reference dose (RfD, a measure of non-carcinogenic toxicity) were summarized together. By definition, larger inhalation UR and larger oral SF, as well as smaller inhalation RfC and smaller oral RfD indicate greater hazard to human. Because the RfC and RfD were derived from toxicity thresholds in original epidemiological and toxicological studies, these threshold values were also surveyed and tabulated. Substances with relatively greater carcinogenicity among the 22 of those were BaP, Cr, Be, Ni, As, and Cd. Substances with greater non-carcinogenic toxicity were Hg, As, Cr, Cd, Be, and Ni. Obtained results indicate that the hazards of chemical substances differ not so much by the route of exposure, but substantially depending on their chemical forms. Accordingly, for the accurate health risk assessment, the forms of chemical substances for risk characterizations should be matched with the forms of those in the actual emissions from thermal power plants.

(Environmental Science Research Laboratory Rep.No.V08047)

(平成 21 年 3 月 16 日 承認)

\* 環境科学研究所 電磁界環境領域 上席研究員

## 背 景

電気事業の環境リスク対策では人間への健康影響を防止する観点から、発電所から排出される化学物質の健康リスクに関する情報の集約が求められている。化学物質の健康リスク情報では有害性の有無や強さの情報が重要で、有害性の強さは疫学や生物研究で得られた発がんデータや毒性閾値<sup>(1)</sup>に基づいて算出されている。これまでの研究で、火力発電所から排出される微量物質 15 種の吸入リスクが小さいことを明らかにしてきた<sup>[1][2]</sup>が、それ以降リスク情報の更新があり、その他にも、新たな化学物質 7 種を加えた健康リスクに関する最新の調査が必要となっている。

## 目 的

火力発電所から排出される「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」(PRTR 法) 対象 22 微量物質について最新の健康リスク情報を調査し、有害性の有無とその強さおよび毒性閾値を整理する。

## 主な成果

有害性や毒性閾値の情報は国内外のリスク評価機関 18 ヶ所のウェブサイトと文献検索から収集し、そのうち吸入曝露における値を下表に整理した。なお、評価機関によって有害性の有無や強弱が異なる場合には、最も安全側の評価を記載した。調査の結果、前報<sup>[2]</sup>で調査した 15 物質中 6 物質のリスク情報が更新されていた。

### 1. 有害性の有無

健康リスク評価では曝露経路は吸入と経口に、有害性は発がん性と非発がん毒性に大別される。吸入曝露での発がん性は 22 物質中 12 物質、非発がん毒性は 17 物質に認められた。経口曝露での発がん性は 13 物質、非発がん毒性は 19 物質に認められた。有害性の有無は物質毎に異なるが、曝露経路による差は少なかった。

### 2. 有害性の強弱と毒性閾値

吸入曝露での有害性の強弱は、発がん能(単位量あたりのヒト発がん確率)を示すユニットリスク (UR)<sup>(2)</sup>と非発がん毒性の強さを示す参照濃度 (RfC)<sup>(3)</sup>で表される。経口曝露での有害性の強弱は、発がん能を示すスロープファクター (SF)<sup>(4)</sup>と非発がん毒性の強さを示す参照用量 (RfD)<sup>(5)</sup>である。

調査物質のうち UR はクロム、ヒ素、カドミウム、RfC はクロム、ベリリウム、ヒ素の順に有害性が強かった。SF はベンゾ[a]ピレン、ベリリウム、ニッケル、ヒ素、RfD は水銀、ヒ素、亜鉛、アンチモン、カドミウムの順に有害性が強かった。有害

性の強弱も曝露経路による差は少なく、毒性閾値と同様の傾向を示した。有害性の強さは物質の化学形態によって大きく異なる場合があり、正確にリスク評価を行うためには実際の排出物質の化学形態でリスクを判定する必要性が示唆された。

## 今後の展開

発電所から排出される微量物質を対象として、最新のリスク情報と曝露量評価に基づいた健康リスク評価を実施する。

注 1) それ以下の曝露量では生体影響が生じないとされる境目の値。値が小さいほど毒性が大。

注 2) 当該物質の濃度が  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  の大気を生涯に亘り吸入したヒトでの過剰発がん確率。値が大きいほど発がん能大。

注 3) 当該物質を生涯に亘り吸入してもヒトの健康に影響がない大気中濃度。値が小さいほど毒性が大。

注 4) 体重 1 kg 当り当該物質を 1 日 1 mg、生涯に亘り摂取したヒトでの過剰発がん確率。値が大きいほど発がん能大。

注 5) 当該物質を生涯に亘り摂取してもヒトの健康に影響がない、体重 1 kg 当りの量。値が小さいほど毒性が大。

関連報告書：[1]「石炭火力発電所微量物質の吸入リスク評価」T03032（2004.3）

[2]「微量物質の健康リスクに関する文献調査」V05022（2006.6）

微量物質の吸入曝露における有害性の有無とその強弱および非発がん毒性閾値

微量物質	発がん性			非発がん毒性			
	有害性	ユニットリスク $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	評価物質	有害性	参照濃度 $\text{mg}/\text{m}^3$	評価物質	毒性閾値 $\text{mg}/\text{m}^3$
アセトアルデヒド	○	$2.7 \times 10^{-6}$	アセトアルデヒド*	○	$9 \times 10^{-3}$	アセトアルデヒド*	8.7
ヒ素	○	$4.3 \times 10^{-3}$	無機ヒ素	○	$1.5 \times 10^{-5} *$	ヒ素化合物	$2.3 \times 10^{-4}$
ホウ素	-	-	-	-	-	-	-
ベンゾ[a]ピレン	○	$1.1 \times 10^{-3}$	ベンゾ[a]ピレン	-	-	-	-
ベンゼン	○	$2.9 \times 10^{-5}$	ベンゼン	○	$3 \times 10^{-2}$	ベンゼン	8.2
ベリリウム	○	$2.4 \times 10^{-3} *$	ベリリウム化合物	○	$7 \times 10^{-6}$	ベリリウム化合物	$2 \times 10^{-4}$
カドミウム	○	$4.2 \times 10^{-3}$	カドミウム	○	$2 \times 10^{-5}$	カドミウム化合物	$5 \times 10^{-4}$
コバルト	○	-	コバルト化合物	○	$5 \times 10^{-4}$	コバルト	$5 \times 10^{-2}$
クロム	○	$1.5 \times 10^{-1} *$	六価クロム	○	$2 \times 10^{-6} *$	三酸化クロムミスト	$6.8 \times 10^{-4}$
銅	-	-	-	○	$1 \times 10^{-3}$	銅	$1 \times 10^{-1}$
フッ素	-	-	-	○	$1.3 \times 10^{-2} *$	フッ化水素を含むフッ素	$1.3 \times 10^{-1}$
ホルムアルデヒド	○	$1.3 \times 10^{-5}$	ホルムアルデヒド*	○	$9 \times 10^{-3}$	ホルムアルデヒド*	$9 \times 10^{-2}$
塩化水素	-	-	-	○	$9 \times 10^{-3}$	塩化水素	$8.6 \times 10^{-1}$
水銀	-	-	-	○	$3 \times 10^{-5}$	水銀	$9 \times 10^{-3}$
マンガン	-	-	-	○	$5 \times 10^{-5}$	マンガン	$5 \times 10^{-2}$
モリブデン	-	-	-	-	-	-	-
ニッケル	○	$4.8 \times 10^{-4} *$	二硫化ニッケル	○	$2.5 \times 10^{-5} *$	ニッケル化合物	$1.6 \times 10^{-3}$
鉛	○	$8 \times 10^{-5} *$	酢酸鉛	○	$1.5 \times 10^{-3}$	鉛	-
アンチモン	-	-	-	○	$2 \times 10^{-4}$	三酸化アンチモン	$7.4 \times 10^{-2}$
セレン	-	-	-	○	$2 \times 10^{-2}$	セレン化合物	$5.2 \times 10^{-2}$
バナジウム	○	-	五酸化バナジウム	-	-	-	-
亜鉛	-	-	-	-	-	-	-

○：有害性あり。-：有害性なし、または未評価。\*：調査物質の化学形態のうち最も有害性の強い化学形態での値を示した。

# 目 次

1. はじめに	1
2. 健康リスク評価手法とリスク情報の調査方法	3
2.1. 有害性評価	3
2.2. 用量反応評価	3
2.3. 曝露量評価	7
2.4. リスクの判定	8
2.5. リスク情報の調査方法	9
3. リスク情報の調査結果	11
3.1. 曝露経路および有害性種類別のリスク情報	11
3.2. 新規および更新物質のリスク情報各論	11
3.3. 有害性の有無と強弱および標的臓器の種類	15
3.4. 有害性の強さと毒性閾値の比較	15
4. 吸入曝露における MOE リスク判定	49
4.1. 曝露量評価	49
4.2. 吸入毒性閾値と MOE によるリスク判定	51
5. まとめ	51
謝辞	54
参考文献	54
参考資料	63

## 1. はじめに

近年、産業活動に由来する化学物質のヒトに対する健康影響が懸念され、リスク評価がなされている。各国で化学物質の排出や管理に関する法整備が進められ、わが国でも2001年4月から、化学物質の環境リスクを総合的に管理するための「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」において、環境汚染物質排出・移動登録（PRTR: Pollutant Release and Transfer Register）制度が施行された。電気事業とPRTR法のかかわりのひとつに、石炭火力発電所から排出される非意図的生産物がある。非意図的生産物は、国が公表している化学物質排出把握管理促進法に基づく集計結果のうち、PRTR届出外排出量推計方法の詳細「製品の使用に伴う低含有率物質の排出量（平成18年度）」（URL-1）の「石炭火力の排ガス、排水に伴い排出される微量物質の排出原単位」（表1）に14物質が記載されている。排出物質原単位表は当所の伊藤らの報告（2002）が元になっており、PRTR法では、この排ガス、排水中の排出物質原単位（ $\mu\text{g}/\text{kWh}$ ）と発電所年間発電電力量（kWh）の積から各物質の年間

排出量を推計している。

一方、健康リスク評価は環境中の様々な要因がヒトの健康にどの程度のリスクとなるかを、確率的、定量的に評価するために行われる。これまで電気事業に係る化学物質の健康リスク評価を行った報告は、EPRI（1994）、US EPA（1998）及び当所のみ（朝倉ら、2004；朝倉ら、2006）である。これらのいずれの報告でも、火力発電所排出微量化学物質について差し迫った健康リスクはないことが示されている。

朝倉ら（2004）は国内で初めて、平成17年に石炭火力発電所から排出される微量物質16種類の吸入リスク評価を実施し、健康リスクが極めて小さいことを明らかにした。この報告では伊藤ら（2002）の石炭火力発電所の微量物質排出実態調査をもとに曝露量評価を行い、発がん性は生涯個人リスクと集団リスク、非発がん毒性はハザード指数（HI: hazard index）やハザード指標（HQ: hazard quotient）を用いてリスクを評価している。HIやHQは、参照濃度（RfC: reference concentration）や参照用量（RfD: reference dose）といったヒト許容量と現実の曝露量を比較してリスクを評価する指標である。

RfCやRfDなどのリスク情報については、国

表1. 石炭火力の排ガス、排水に伴い排出される微量化学物質の排出原単位

対象化学物質 物質名	排出媒体		
	排ガス	排水	
	排出原単位（ $\mu\text{g}/\text{kWh}$ ）		
ヒ素及びその無機化合物	As	1.7	0.34
ホウ素及びその化合物	B	2.2	5300
ベリリウム及びその化合物	Be	2.8	0.20
カドミウム及びその化合物	Cd	0.049	0.36
コバルト	Co	0.23	-
クロム（全クロム）	Cr	1.7	2.6
フッ素（全フッ素）	F	2200	410
水銀及びその化合物	Hg	4.4	0.020
マンガン及びその化合物	Mn	3.9	1.1
ニッケル化合物	Ni	1.0	-
鉛及びその化合物	Pb	3.6	1.3
アンチモン及びその化合物	Sb	0.19	-
セレン及びその化合物	Se	13	3.6
五酸化バナジウム	V	12	4.4

URL <http://www.prtr.nite.go.jp/prtr/pdf/estimation18/syosai/21teiganyu.pdf>（原図を一部改変）

-: データ10個未満

内外のリスク評価機関では化学物質に関する疫学や生物研究の新しい成果を取り入れ、各物質の評価を随時更新している。例えば水銀の吸入曝露による非発がん毒性の RfC は、これまではわが国の環境省が世界で最も厳しい評価値を導出していたが、2008 年 12 月にカリフォルニア州環境健康有害性評価局 (OEHHA: Office of Environmental Health Hazard Assessment) が参照曝露レベル (REL: reference exposure level) を  $0.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$  と改定している。各国のリスク管理においては、新しい評価結果に基づき国内の許容量、基準値なども改定される事例が多いため、最新のリスク情報を把握しておくことは重要である。

当所では朝倉らの報告 (2004) 以降も新しいリスク情報を調査し (西村, 2006)、HI と HQ を用いて吸入リスクが極めて小さいことを確認してきた (Nishimura et al., 2007)。しかし、発電所から排出される物質には排出原単位表に記載されていない物質もあるため、表 1 に示した以外の排出物質についても最新のリスク情報の収集とそれに基づくリスク評価が必要となっている。

また、リスク評価法も進歩している。これまで非発がん毒性のリスク評価で用いてきた HI や HQ は、RfC のようなヒト許容量を基準にリスクを計算した値である。しかし許容量を算出する際には、ヒトを対象とした疫学調査や実験動物を用いた生物研究から得られた毒性閾値 (それ以下の曝露量では生物影響が生じないとされる境目の曝露量) を不確実性係数 (UF: 物質の有害性に対するヒトの感受性差や動物実験データをヒトでの値に換算する際の種間差など) で除すの必要があり、評価機関の考え方により許容量が異なる場合もあった。近年では、毒性閾値 (発がん性におけるベンチマークドースの安全側信頼限界や非発がん毒性での無毒性量など) をヒト曝露量で除し、疫学や動物実験にお

ける UF と比較してリスクを判定する曝露マージン (Margin of Exposure: MOE) 法が主流になりつつある。MOE は現実の曝露量が生物の毒性閾値に対してどれだけ離れているかを示すもので、この値が大きいほど両者に隔たりがあり、リスクが小さいことを意味している。わが国の化学物質のリスク判定は MOE で行われている (URL-2) ことから、微量化学物質についても非発がん毒性のリスク判定は MOE を用いる必要が出てきた。

一方、曝露量評価において大きな進歩があり、これまで火力発電所排出微量物質の曝露量評価が困難であった経口リスクについて当所で多経路曝露評価モデルを開発し、吸入と経口の両曝露経路のヒト曝露量を算出した。これを水銀に適用して MOE によるリスク評価を行い、両経路の曝露を合算しても健康リスクは小さいことを明らかにした (津崎と西村, 2007; Nishimura and Tsuzaki, 2008)。今後は水銀以外の排出物質についても多経路曝露評価モデルを用いて吸入、経口両経路の曝露量を計算し、MOE によるリスク評価を行う必要がある。

このような背景から、本報告では既報 (西村, 2006) から新たに微量化学物質を 7 物質加え、PRTR 法対象 22 微量化学物質について最新の健康リスク情報をウェブサイト検索で調査し、各物質の有害性の有無とその強さ、および MOE 評価に必要な毒性閾値と UF の情報を収集、整理した。また、既報 (朝倉ら, 2004) で使われた曝露実態データを用い、排出原単位が明らかかな 14 物質の吸入曝露非発がん毒性について、MOE による吸入曝露のリスク評価を試行的に行った。

## 2. 健康リスク評価手法とリスク情報の調査方法

健康リスク評価手法の概要は朝倉ら（2006）の総合報告に記してあるため、以下、簡潔に述べる。

化学物質などの健康リスク評価は、疫学調査の結果や動物実験などの生物研究をもとに行われる。その内容は、①悪影響（疾病）の種類を特定する「有害性（ハザード）評価」、②どれだけの量でどの程度の悪影響が現れるかを把握する「用量反応評価」、③現実にはどの程度その因子に曝露されているかを実測あるいは計算する「曝露量評価」、そして、②と③を照らし合わせて、④その因子がヒトにとってどの程度のリスクとなっているかを定量的に算出する「リスクの判定」、の4段階からなる。

### 2.1. 有害性評価

有害性評価は定性的な疾病の同定であるため、疫学、生物研究のいずれも有用である。しかし、健康リスク評価は人間に対する悪影響を評価するため、疫学でのヒトデータが重要視される。有害性は可逆的な変化や一時的な生理反応ではなく、病理学的な変化を伴う障害や疾病を指す。有害性の重要度は、例えば米国環境省（US EPA）の評価では、証拠の重大性（WOE: weight-of-evidence）として記述されている。発がん性の有無は、例えば国際がん研究機関（IARC: International Agency for Research on Cancer）では、一定の定義のもとグループ1~4に分類している。US EPAでも独自の定義で分類している。

また、ヒトが環境因子に曝露される経路には、呼吸による吸入曝露、食品や飲水の摂取による経口曝露、肌からの吸収による経皮曝露、などがある。胎児の場合は母体を通じた経胎盤曝露

となる。有害性は曝露経路によっても異なる場合がある。

### 2.2. 用量反応評価

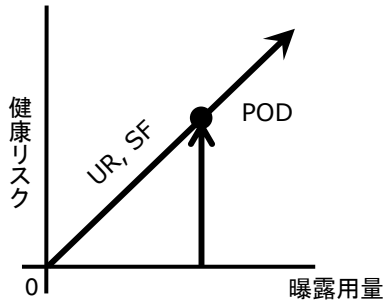
用量反応評価は定量的な評価のため動物実験に頼る場合が多いが、疫学調査から求める場合もある。細胞実験のデータは用いられない。疫学調査は、調べようとする因子と疾病の関連性の強さについて推定する研究方法であり、必ずしも因果関係を解明できるとは限らない。また、現実のヒトを対象としているため因子の曝露強度を任意に設定できず、対象とする疾病に影響を与える他の因子（交絡因子）の関与を完全には排除できない。動物実験の場合には、影響を調べようとする対象因子を全く排除した「対照群」と、因子の負荷量を段階的に増やした「曝露群」を複数設定し、因子の曝露量と2.1.で特定した反応の大きさの関係を調べることができる。

曝露用量と生体反応の関係は、有害性の種類が「がん」か「がん以外の疾病」かで、その算出方法が異なる。有害性のがんの場合には「発がん能」（スロープファクター（SF: slop factor）やユニットリスク（UR: unit risk））が、発がん性の強さを示す数値となる（図1）。がん以外の疾病では、疫学調査や動物実験での用量反応評価で得られた毒性閾値を、ヒトでのリスク推定上不確実な事項に関して安全を見込むUFで除して得られたRfCやRfDが有害性の強さを示す値となる（図2）。一部のがんはその発症メカニズムから閾値を持つことが知られており、そのようながんにはRfCやRfDが適用される。

#### 2.2.1. 発がん性

発がん性の用量反応は、どんなに少ない曝露用量でもそれに見合っただけのごく少量の反応が引き起こされる、という考えのもと、境目の

< 閾値なし >  
 極わずかの用量でも見合ったリスクの増加



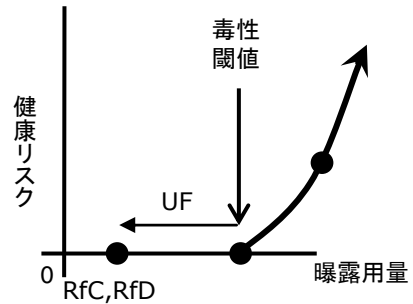
発がん能力:  
 一定の曝露量でどれだけ発がん率が上がるか  
 → 研究データの発がん率を低用量へ直線外挿  
 外挿の出発点がPOD  
 直線の傾きが発がん能  
 UR: ユニットリスク ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )<sup>-1</sup>  
 SF: スロープファクター ( $\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$ )<sup>-1</sup>

【値が大きいほど、発がん性リスク大】

図 1. 発がん性リスク値 (UR と SF)

ない直線的な反応関係が前提となる。従って、発がん性の用量反応評価は、実際のヒト一生涯の生活では実質的に無視できる程度の小さな ( $10^{-6}$ ) リスクレベル (100 万人にひとり、100 万分の 1 の確率) である実質安全用量 (VSD: virtually safe dose) や無有意リスクレベル (NSRL: no significant risk level) となるヒトでの曝露量を、計算モデルによって導出する。あるいは、 $10^{-4} \sim 10^{-6}$  のリスクレベルに対応するヒトでの曝露量をそれぞれ算出する (図 3)。以前は発がん性物質のヒト許容量として VSD が用いられていたが、発がん性のある物質はどんなに少ない曝露量でもそれに見合った発がん率の増加がある (閾値がない) ため、自然科学のデータだけで「実質安全」となる一定量を決めることはできない。 $10^{-4} \sim 10^{-6}$  のリスクレベルに対応するヒト曝露量を示すことは、その物質を摂取することによる過剰な発がんリスクを 2 桁の幅を持って示すことで、許容できるリスクのレベルを人間の議論によって決めようとするリスク管理の考えに立脚している。

< 閾値あり >  
 ある一定用量までリスクは増加しない



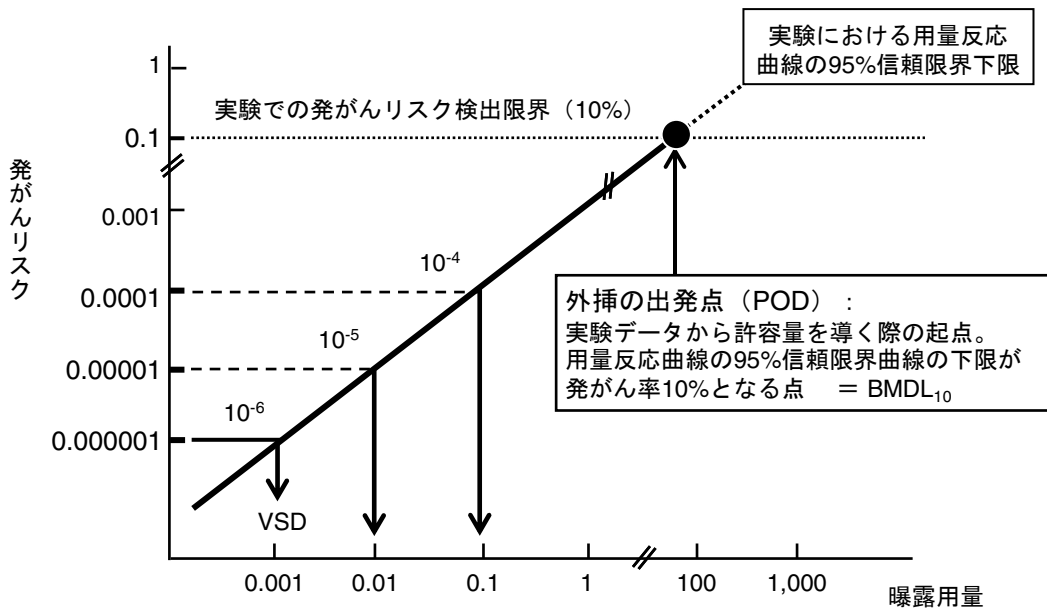
毒性の強さ:  
 どれだけ少ない曝露量で毒性が現れるか  
 反応曲線の立ち上がり点 (毒性閾値)  
 → 閾値に不確実性係数 (UF) を乗じて RfC, RfD  
 RfC: 参照濃度  $\text{mg}/\text{m}^3$   
 RfD: 参照用量  $\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$

【値が小さいほど、非発がん毒性リスク大】

図 2. 非発がん毒性リスク値 (RfC と RfD)

リスクレベルの導出は、動物実験で求めた高用量域での用量反応関係を、ヒトの現実生活で起こるような極低用量域にあてはめる。実験での用量域を越え、実験範囲の外側にまで当てはめて推定するため、外挿と言われる。外挿の起点はリスク評価の出発点という意味から POD (point of departure) と言われる。発がんにおける POD は、動物発がん実験の用量反応曲線から計算して求めた発がん率 10% となる (対照群と比較して 10% 増加する) 曝露量であるベンチマーク用量 (BMD: benchmark dose) や、その曲線の 95% 信頼限界曲線の下限量 (BMDL: benchmark dose lower confidence limit) を用いる場合もある。

BMD は、実験で得られた曝露用量と毒性発現の用量反応関係に一定の計算式を適用する。まず実験値を統計処理 (最尤法: most likelihood) して用量反応曲線を導き、ある用量における生物反応の確率的な分布を求め、次に基準となる生物反応量 (benchmark response: BMR) を決定する。その BMR における用量反応曲線上の推



外挿直線の傾きは発がんの強さを示す：スロープファクター（SF）  
 リスク = SF × 用量 ⇒ 当該物質 1mg/体重kg/日摂取当りの過剰発がんリスク  
 （過剰発がんリスクとは、その物質に曝露されることで増加するリスク）  
 VSD：実質安全用量 Virtually Safe Dose

図 3. 発がん性物質の許容量推定法（低用量外挿法）

定用量（estimated dose：ED）が BMD となる。

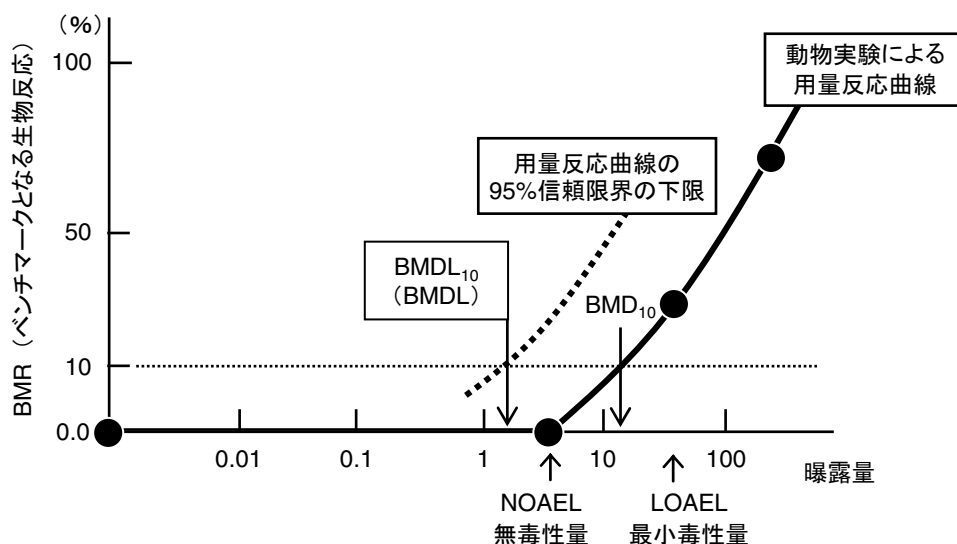
BMR は一般的な毒性では 10%、生殖発生毒性などでは 5%とされている。10%の場合、比較する対照群より 10%異常が増加する用量（ED<sub>10</sub>）が BMD<sub>10</sub>に相当する。また、BMR に対する統計学的に有意な曝露用量として、より安全側を採用するために、用量反応曲線に対する 95%信頼限界の上限曲線を使う場合もある。この場合、BMR とその上限曲線との交点（曝露用量としては下限となるため、lower bound of ED<sub>10</sub>：LED<sub>10</sub>）が BMDL（BMDL<sub>10</sub>）となる（図 4）。

BMD のメリットは、実験で設定した投与量の刻みにとらわれず理論的に閾値を算出でき、用量反応曲線の傾きも閾値に反映できる点にある。ただし、統計学的に有意な用量反応が複数点ないとこの手法は適用できない。この手法は疫学データからの閾値を導出する際にも有効である。疫学の場合は、曝露を受けていない対照集団にも一定割合（P<sub>0</sub>）で異常が出現しているため、

その出現率が 2 倍になる（異常の増加分である BMR が P<sub>0</sub> と等しくなる）曝露量を BMD としている。

リスクレベルは安全側に推定するため、多くの場合、直線外挿という手法が用いられる。直線外挿における外挿曲線（対数表記では直線）の傾きを SF という。SF は発がんにおける用量反応の傾き、つまり、評価する物質の発がん性の強さを反映している。それは、体重 1 kg 当り当該物質を 1 日 1 mg 生涯に亘り摂取した場合の発がん確率「(mg/kg/day)<sup>-1</sup>」として表される。リスクは SF に曝露用量を乗じたものであるため、SF の数値が大きいほど発がん性が強い。この値は過剰な発がん確率であり、その物質を摂取したことにより、もともとあった発がん確率から純増する分の確率を意味する。

SF を現実の測定可能な曝露量に換算した単位（環境媒体中の濃度当りの発がん確率）を、UR という。基準値やガイドラインを求める際には UR が使用される。大気の吸入リスクの場合に



BMD: Benchmark dose  
 動物実験での用量反応曲線から求めた理論的な閾値  
 統計量(実験での用量設定や個体数による精度の変動など)を考慮  
 BMDL: Benchmark dose lower confidence level  
 95%信頼限界の下限が10%のBMRを与える曝露量

図 4. ベンチマークドース (BMD)

は、UR は大気  $1\text{m}^3$  中に当該物質  $1\ \mu\text{g}$  が存在する場合の発がん確率となる。飲水の経口リスクの場合には、UR は飲料水 1L 中に当該物質  $1\ \text{mg}$  が存在する場合の発がん確率となる。

### 2.2.2. 非発がん毒性

非発がん毒性の用量反応は、一定用量まで有害な影響は現れず、ある用量 (閾値) を境に反応が顕在化すると考えられている。従って用量反応評価は、疫学や生物研究のデータから毒性閾値として最大曝露量あるいは無毒性量 (NOAEL: no observed adverse effect level) を求め、それを元にヒトでの許容量を算出する。発がん性の場合でもその発がんメカニズムに照らして閾値が存在する場合は、閾値に基づいて許容量を求めることもある。

許容量を算出する際にはリスク計算にかかわる不確実さを勘案し、疫学や生物研究で得られた毒性閾値を一定の係数 (不確実性係数 UF: uncertainty factor) で除する (図 5)。UF には、

①ヒトのデータの代わりに動物データを使う種間差 (動物とヒトにおける評価物質の体内動態の差 (デフォルトは 10 の平方根  $=10^{1/2}$ ) と評価物質の細胞内感受性の差 ( $10^{1/2}$ ) の積)、②ヒトでの個人差 (病人や小児など、感受性の高いヒトをハザードから守るため)、③慢性データの代わりに急性、亜急性のデータを使う (短期曝露のデータでヒトの一生涯のリスクを推定するため)、④NOAEL の代わりに研究で観察された最小毒性量 (LOAEL: lowest observed adverse effect level) を使った場合 (真の毒性閾値が LOAEL より低い可能性があるため)、⑤評価に使うデータの信頼性 (標本数や解析手法など)、の 5 種類がある。①から④はそれぞれデフォルトが 10 で、⑤はデフォルトが 3、各項目で不確実さがないと考えられる場合には 1 が適用される。①から⑤の積が 10,000 を超える場合には、そのリスク計算は信頼性に欠けると考えられる。

実験では曝露量が任意に設定された群用量によって NOAEL や LOAEL 値が決まってしまう

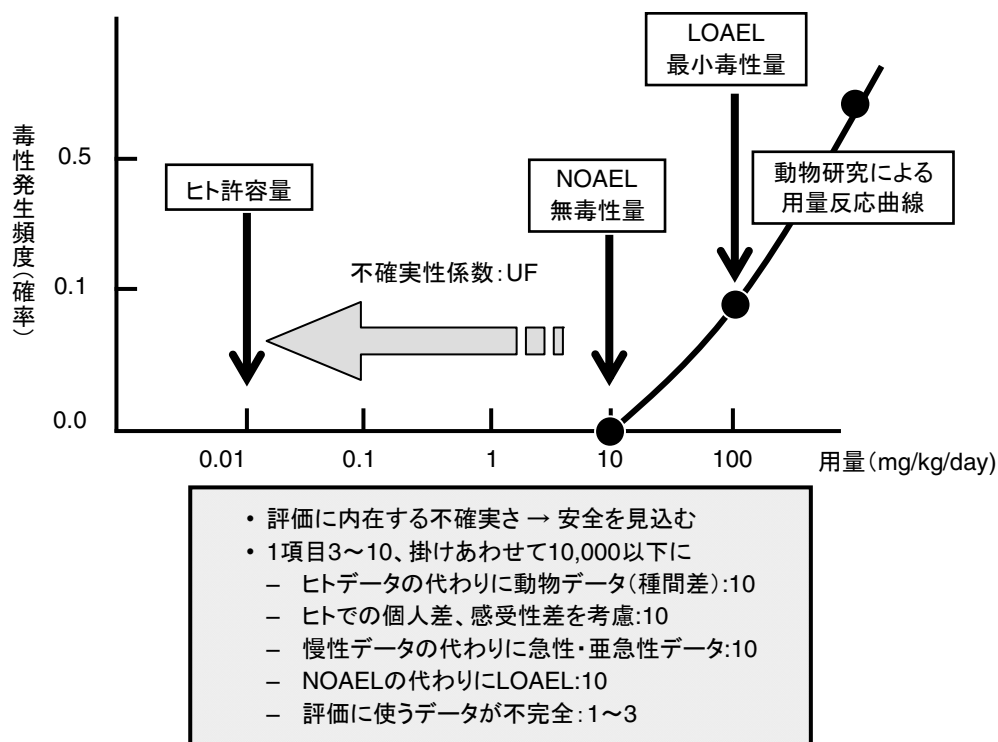


図 5. 不確実性係数

ため、結果を確率的に解釈して実験値より正確な POD を求めるために、BMD や BMDL を用いることもある。また、動物実験データから求めた曝露の閾値をヒトでの曝露用量に換算する際には、寿命や体重、呼吸量、飲水量など、動物とヒトの生物学的な違いについて等価となるよう補正する必要がある。職業曝露の調査に基づく場合には、1日8時間、週5日、勤続年数、などの曝露時間について一般公衆を想定した24時間、週7日曝露などに換算する必要がある。

こうして求めた毒性閾値のヒト等価曝露量をUFで除して、RfD、RfC、あるいは参照曝露レベル (REL: reference exposure level) や最小リスク値 (MRL: minimal risk level) などの許容量を算出する。基準値やガイドラインを求める際には、得られた RfD や RfC を1日あるいは1週間の曝露、摂取量の上限として計算し、耐容日摂取量 (TDI: tolerable daily intake) や耐容週間摂取量 (TWI: tolerable weekly intake)、許容日摂取量 (ADI: acceptable daily intake) として示す場

合もある。吸入、経口曝露における発がん性、非発がん毒性における一連のリスク評価計算の流れを図6に示した。

### 2.3. 曝露量評価

曝露量評価は、現実社会でヒトが実際に受けた曝露量を実測することによって求める。厳密には、曝露量はヒトの体内に入った曝露物質の量を、その部位においてその状態のまま測定する必要がある。その物質が体内に入った時の吸収率、体内分布、代謝過程、排泄率などのデータがある場合には、有害性が発現する臓器での曝露量を考慮した、より詳細なリスクを議論できる場合もある。しかし、ヒトの体内に測定器を埋め込んだり臓器を摘出したりして含有量を直接測定することはできない。そこで、測定と比較が可能な大気中濃度や食品、飲水中含有量に、呼吸、飲水、摂食によって体内に入る割合を乗じることで曝露量を評価することになる。

曝露経路	有害性の種類	疫学・動物実験データ	曝露量換算	有害性の強さ	安全率	人間での許容量の目安
吸入	発がん性	POD (10%発がん値*)	→ ヒト等価	→ 発がん能 (UR)	→ 直線外挿	→ 発がん確率が $10^{-4} \sim 10^{-6}$ となる濃度
	非発がん毒性	閾値 (NOAEL, BMDL <sub>10</sub> )	→ ヒト等価 (生涯)	→ 同左	→ 不確実性係数 (UF)	→ 参照濃度 (RfC)
経口	発がん性	POD (10%発がん値*)	→ ヒト等価	→ 発がん能 (SF)	→ 直線外挿	→ 発がん確率が $10^{-4} \sim 10^{-6}$ となる用量
	非発がん毒性	閾値 (NOAEL, BMDL <sub>10</sub> )	→ ヒト等価 (生涯)	→ 同左	→ 不確実性係数 (UF)	→ 参照用量 (RfD)

POD : リスク評価の出発点    \* : LED<sub>10</sub>, BMDL<sub>10</sub>

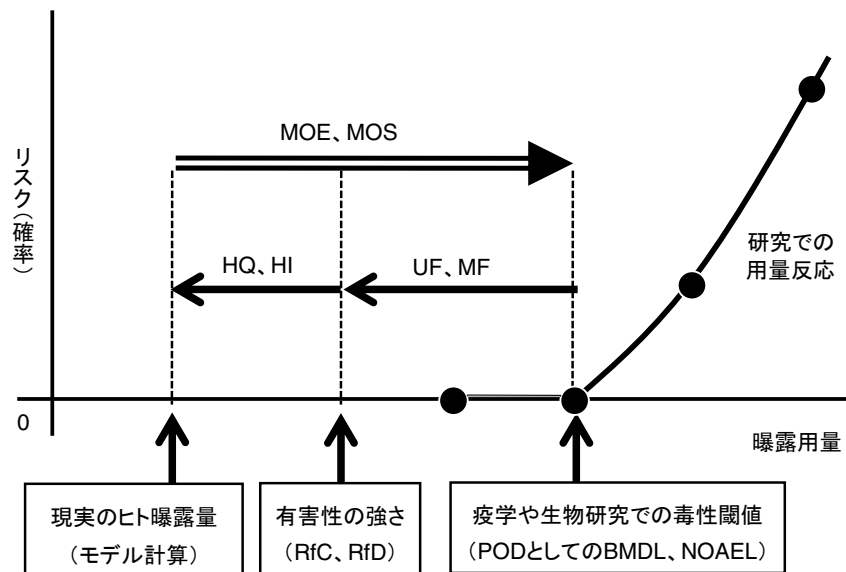
図 6. リスク評価計算の流れ

また、特定の排出源からの曝露量を評価するには、排出源からの拡散や生態系での移動、希釈、生体内での濃縮、さらには化学形態の変化など、ヒト曝露に至るまでのさまざまな状況を、モデルによって置き換えて現実の曝露量を算出する必要がある。環境中での挙動やヒトに至る経路が複雑なため、モデルの計算精度を上げることが重要である。一方、評価対象物質の排出量が少なく環境中の背景濃度と比較して低濃度である場合は、環境中での寄与分を実測することは困難なため、排出源由来物質に無害な標識をつけるなどの工夫が必要である。しかし実際には、特定の排出源からの少量の排出物質が環境中で極低濃度に希釈され、それが体内に取り込まれ、元来体内にあった量からの増加分を検出定量することになり、ヒトの生涯リスクを推定するための曝露量評価を実測で行うことは、現在の技術的精度から見て困難である。

## 2.4. リスクの判定

リスクの判定はリスク評価のひとつの目標であり、ヒトでの許容量と現実の曝露量がどのような量的関係にあるかを示す目安である。疫学

や生物研究での毒性データからリスク評価を行う際の出発点である POD から求めたヒト許容量と、実測やモデル計算で求めた現実の曝露量との関係として、これまでは HI や HQ を計算 (曝露量/許容量) し、ヒトが受けるリスクの重大さを判定してきた。最近では、許容量に含まれる UF 値を考慮し、疫学や実験での POD を現実の曝露量で除した (POD/曝露量) MOE や MOS が使われている (図 7)。MOE によるリスクの判定基準値は通常 100 であるが、発生毒性では 1,000 以上が求められ、労働条件では 100 未満の場合もある。また、用量反応評価の元となった主研究の UF と MOE を比較して、UF より値が大きければリスクの余地が十分、とする判定法もある。ただし、リスク論的には一定値以上なら絶対に安全ということは言えない。その理由は、何かを摂取する以上そこには必ず一定のリスクはあり、リスクがゼロ、つまり絶対安全ということはありません。また、本節冒頭にも記した通り、リスク判定はリスクの大きさに対する量的な目安を提供するもので、リスクの大きさをどう受け止めどう判断するかは、自然科学が正解を提供する性質のものではなく、人間社会の議論に依るものである。



MOE: 曝露マージン、MOS: 安全マージン、HQ: ハザード指標、HI: ハザード指数、UF: 不確実性係数、MF: 修飾係数  
 RfC: 参照濃度、RfD: 参照用量、POD: 評価出发点、BMDL: ベンチマークドース信頼下限値、NOAEL: 無毒性量

図 7. 非発がん毒性におけるリスク判定

遺伝子傷害性のある発がん性は量反応関係に閾値がないため、従来は MOE によるリスク判定は行われなかった。しかし 2005 年になって FAO/WHO Joint Expert Committee on Food Additives (JECFA) がアクリルアミドの発がん性に関するリスク判定を MOE で行った。この時の POD には乳腺腫瘍の BMDL が用いられている。MOE の他には動物実験（げっ歯類）での発がん能（50%発がん用量）から見た現実のヒト曝露量で判定する HERP (human exposure/rodent potency) や EPI (exposure potency index) が用いられる（図 8）。一方、非発がん毒性の場合には、POD として動物実験での NOAEL などからヒトでの曝露量に換算した値が使われる。

一般にリスク評価とは規制値、基準値を決めることと思われがちだが、元来は身の回りにあるリスクの種類を明らかにしてその大きさを評価するプロセスである。このため、実際の曝露量が毒性の閾値に対してどの程度余裕があるかを判定すること (characterization) が重要になる。また、混合物質のリスクを検討する際には、混

合物質のうちどの物質が一番ヒト許容量に対して余裕が少ないかを知る必要があり、その際の相対的なリスクの比較手段として MOE が参考になる。また MOE は、吸入と経口など異なる曝露経路のリスクを合計して評価する累積リスク評価 (cumulative risk assessment) を行うことができ、今後の総合的なリスク評価に道を開く手法の一つである。

## 2.5. リスク情報の調査方法

本報告では、火力発電所排出微量化学物質のうち PRTR 法の対象となっている物質 22 種類について、調査を実施した。22 物質は、アセトアルデヒド、ヒ素 (As)、ホウ素 (B)、ベンゾ[a]ピレン (Bap)、ベンゼン、ベリリウム (Be)、カドミウム (Cd)、コバルト (Co)、クロム (Cr)、銅 (Cu)、フッ素 (F)、ホルムアルデヒド、塩化水素 (HCl)、水銀 (Hg)、マンガン (Mn)、モリブデン (Mo)、ニッケル (Ni)、鉛 (Pb)、アンチモン (Sb)、セレン (Se)、バナジウム (V)、亜鉛 (Zn) である。

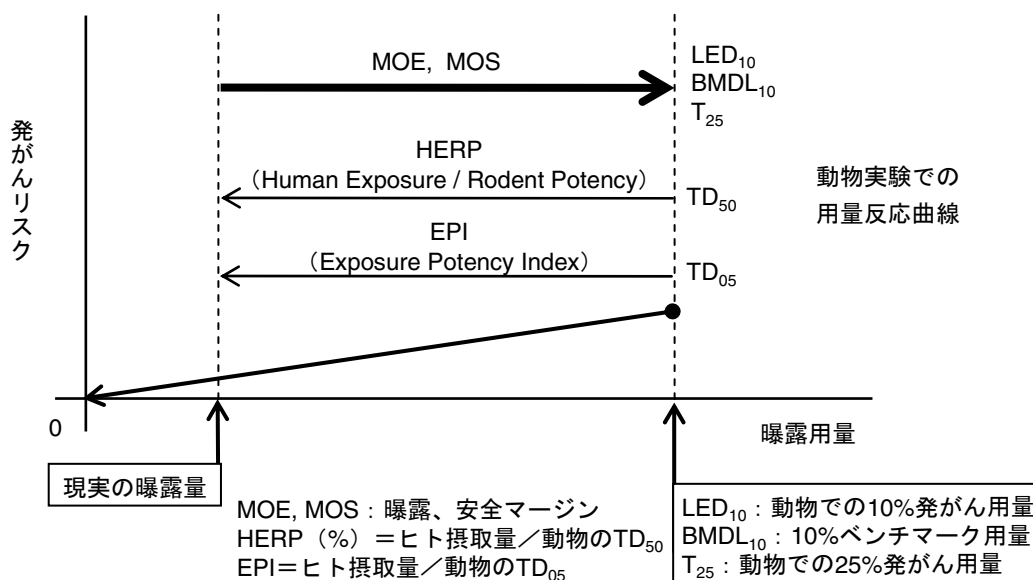


図 8. 発がん性におけるリスク判定

表 2. 調査した国内外の主な機関

参照先	URL
ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists	<a href="http://www.acgih.org/home.htm">http://www.acgih.org/home.htm</a>
ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry	<a href="http://www.atsdr.cdc.gov/">http://www.atsdr.cdc.gov/</a>
US EPA: Environmental Protection Agency	<a href="http://www.epa.gov/">http://www.epa.gov/</a>
IARC: International Agency for Research on Cancer	<a href="http://www.iarc.fr/">http://www.iarc.fr/</a>
IRIS: Integrated Risk Information System	<a href="http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm">http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm</a>
ITER: International Toxicity Estimates for Risk Database	<a href="http://www.tera.org/iter/">http://www.tera.org/iter/</a>
JECFA: Joint FAO/WHO expert committee on Food Additives	<a href="http://www.who.int/ipcs/food/jecfa/en/">http://www.who.int/ipcs/food/jecfa/en/</a>
OEHHA: Office of Environmental Health Hazard Assessment	<a href="http://www.oehha.ca.gov/index.html">http://www.oehha.ca.gov/index.html</a>
RAIS: The Risk Assessment Information System	<a href="http://risk.lsd.ornl.gov/">http://risk.lsd.ornl.gov/</a>
RIVM: National Institute for Public health and the Environment	<a href="http://www.rivm.nl/en">http://www.rivm.nl/en</a>
WHO: World Health Organization	<a href="http://www.who.int/en">http://www.who.int/en</a>
財団法人化学物質評価研究機構	<a href="http://www.cerij.or.jp/cerij_jp/index.html">http://www.cerij.or.jp/cerij_jp/index.html</a>
化学物質リスク管理研究センター	<a href="http://unit.aist.go.jp/riss/crm/">http://unit.aist.go.jp/riss/crm/</a>
環境省	<a href="http://www.env.go.jp/index.html">http://www.env.go.jp/index.html</a>
厚生労働省	<a href="http://www.mhlw.go.jp/">http://www.mhlw.go.jp/</a>
独立行政法人製品評価技術基盤機構	<a href="http://www.safe.nite.go.jp/japan/db.html">http://www.safe.nite.go.jp/japan/db.html</a>
内閣府食品安全委員会	<a href="http://www.fsc.go.jp/">http://www.fsc.go.jp/</a>
農林水産省	<a href="http://www.maff.go.jp/">http://www.maff.go.jp/</a>

22物質のうち14物質は、石炭火力の排ガス、排水に伴い排出される物質として PRTR 届出外排出量である排出原単位が公表されている（表1）。表にはないモリブデンは、環境省の環境基準で要監視項目となっている。これらは前報（西村, 2006）でも調査対象であった。これ以外で石炭火力発電所から排出されている可能性のあ

る7物質（アセトアルデヒド、ベンゾ[a]ピレン、ベンゼン、銅、ホルムアルデヒド、塩化水素、亜鉛）を今回新規に調査対象とした。

選定した22物質について、国内外のほぼすべての主たるリスク評価機関のウェブサイト18か所やリスク評価値のデータベースを検索した。検索したURLの一覧を表2に示した。ウェブサ

イトで収集した各物質のリスク値について、その主研究における具体的な所見や標本数、群構成、毒性閾値の導出方法などを詳細に調査するため、国内外の約 100 報の文献を入手して分析した。文献の検索は PubMed、Scopus などを用い、国立国会図書館、(財) 国際医学情報センターなどを通じて文献を収集した。

### 3. リスク情報の調査結果

#### 3.1. 曝露経路および有害性種類別のリスク情報

調査対象物質の吸入曝露による発がん性と発がん能については表 3 に、非発がん毒性とその強さならびに毒性閾値については表 4 に、経口曝露による発がん性と発がん能については表 5 に、非発がん毒性とその強さならびに毒性閾値については表 6 に、それぞれ示した。

各物質の中で化学形態別に異なるリスク情報が示されている場合には、そのすべてを併記した。曝露等の単位や疾病の表記も可能な限り原典に沿った。また、各評価機関が示した有害性の強さで、明らかに他機関の評価をそのまま引用している場合はその引用元を示した。

調査の結果、既報 (西村, 2006) 以降、各リスク評価機関において新たな化学形態の物質についてリスク評価がなされた、新たな主研究に基づいてリスク評価がなされ新しい許容量が示された、暫定ガイドラインが正式発効となりさらにその値が変わった、など何らかの更新が生じた物質は、ヒ素、ベリリウム、フッ素、水銀、マンガン、ニッケルの 6 物質であった。情報の更新があった 6 物質のうち、後述する表 7 から表 10 に示された評価物質に反映された 3 物質 (ニッケル、水銀、ヒ素) と、今回の調査で新規に取り上げた 7 物質の計 10 物質については、次節に簡潔に各論を記した。10 物質以外につい

ては既報 (西村, 2006) の各論を参照されたい。

#### 3.2. 新規および更新物質のリスク情報各論

##### 3.2.1. アセトアルデヒド (Aah)

<毒性全般>

アセトアルデヒドは IARC の発がん性評価では 2B (URL-9)、US EPA の評価でも B2 とされ、発がん性がある。

<吸入曝露>

吸入曝露は、OEHHA が Woutersen ら (1986) の研究をもとに、鼻の腫瘍の SF を  $1 \times 10^{-2}$  ( $\text{mg/kg/day}$ )<sup>-1</sup>、UR を  $2.7 \times 10^{-3}$  ( $\text{mg/m}^3$ )<sup>-1</sup> としている (Aah-URL-6)。このほか、US EPA がラットでの研究 (Woutersen and Appleman, 1984) を元に、鼻の扁平上皮細胞の癌または腺癌の UR を  $2.2 \times 10^{-3}$  ( $\text{mg/m}^3$ )<sup>-1</sup> と同様の値を得ており、 $10^{-5}$  のリスクレベルは  $5 \mu\text{g/m}^3$  となっている。(Aah-URL-1)。

非発がん性については、US EPA が Appleman らのラットを用いた短期の吸入実験 (1982, 1986) をもとに、嗅上皮の変性を指標としてヒト等価濃度 (HEC) を  $8.7 \text{ mg/m}^3$  と導出している。この値から UF を 1,000 (亜慢性 10、種間差 10、種内差 10)、MF を 1 とし RfC を  $9 \times 10^{-3} \text{ mg/m}^3$  としている (Aah-URL-1)。OEHHA も Air Toxics Hot Spots Risk Assessment Guidelines Technical Support Document For the Derivation of Noncancer Reference Exposure Levels の中で US EPA と同じ研究を用いて、呼吸器系への影響を指標に  $\text{BMC}_{05}$  を  $178 \text{ mg/m}^3$ 、HEC を  $242.1 \text{ mg/m}^3$  としこれに Time-adjusted exposure 補正を行い  $43.2 \text{ mg/m}^3$  としたものを、UF 300 (亜慢性  $10^{1/2}$ 、種間差  $10^{1/2}$ 、種内差 30 (Toxicokinetic  $10^{1/2}$ 、Toxicodynamic 10)) で除して REL を  $140 \mu\text{g/m}^3$  としている (Aah-URL-2)。

<経口曝露>

経口曝露は、IARC で口腔、咽頭、食道への発がん性が指摘されている (Aah-URL-5)。

非発がん毒性では毒性を指摘している機関は特になし。

<基準値・ガイドライン値>

わが国では、水道水で要検討項目物質として目標値は定められていないが、リストには挙げられている。(URL-4)。

### 3.2.2. ヒ素 (As)

<吸入、経口曝露>

吸入曝露は、OEHHAがRELのための主研究を Nagymajtenyiら (1985) の研究から Wasserman ら (2004) と Tsai ら (2003) の研究に変更し、RELを計算しなおした。バングラデシュの小児を対象とした Wasserman ら (2004) の経口曝露の結果からLOAELを2.27 µg/Lとし、これをUF 30 (LOAEL 3、種内差 10) で除してRELを1.5 × 10<sup>-2</sup> µg/m<sup>3</sup>とした (As -URL- 1) 。

同様に経口曝露においても同じ主研究を用いて LOAEL を 0.105 µg/kg/day とし、UF 30 (LOAEL 3、種内差 10) で除して REL0.0035 µg/kg/day とした。

### 3.2.3. ベンゾ[a]ピレン (Bap)

<毒性全般>

ベンゾ[a]ピレンは IARC の発がん性評価では 1 (URL-9)、US EPA の評価でも B2 とされ、発がん性がある。

<吸入曝露>

吸入曝露は、OEHHA が Thyssen ら (1981) の研究をもとに、ハムスターの呼吸器への腫瘍の SF を 3.9 (mg/kg/day)<sup>-1</sup>、UR を 1.1 × 10<sup>-3</sup> (mg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>としている (URL- 8)。このほか、RAIS が UR を 8.8 × 10<sup>-1</sup> (mg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup> としている (Bap-URL- 2)。

非発がん性については、特に毒性を指摘している機関はない。

<経口曝露>

経口曝露は、OEHHA が Neal と Rigdon (1967) の研究をもとに、マウスの胃がんの経口 SF を 1.2 × 10<sup>1</sup> (mg/kg/day)<sup>-1</sup>としている (Bap-URL-2)。US EPA では OEHHA と同じ主研究を用いて、UR を 2.1 × 10<sup>-1</sup> (µg/L)<sup>-1</sup>、SF を 7.3 (mg/kg/day)<sup>-1</sup>、10<sup>-5</sup> のリスクレベルを 5 × 10<sup>-2</sup> (µg/L)<sup>-1</sup> としている (Bap-URL-1)。

非発がん毒性では、特に毒性を指摘している機関はない。

<基準値・ガイドライン値>

WHO は飲料水質ガイドラインを Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAHs) として 0.7 mg /L としている (URL-5)。また European Commission (欧州委員会) は COUNCIL DIRECTIVE 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption のなかで、基準値を 0.010 µg/L としている (URL-7)。

### 3.2.4. ベンゼン (Bnz)

<毒性全般>

ベンゼンは IARC の発がん性評価では 1 (URL-9)、US EPA の評価でも A とされ、発がん性がある。

<吸入曝露>

吸入曝露は、OEHHA が Rinsky ら (1981) の研究をもとに、ヒト職業曝露の白血病の SF を 0.1 (mg/kg/day)<sup>-1</sup>、UR を 2.9 × 10<sup>-5</sup> (µg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup> としている (URL-8)。このほか、US EPA は Rinsky ら (1981) のほか多数のヒトへの曝露研究を元に、白血病の UR を 2.2-7.8 × 10<sup>-6</sup> (µg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>、10<sup>-5</sup> のリスクレベルは 1.3-4.5 µg/m<sup>3</sup> としている (Bnz -URL-1)。RAIS は UR を 7.8 × 10<sup>-3</sup> (mg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>、SF を 2.73 × 10<sup>-2</sup> (mg/kg/day)<sup>-1</sup> としている (Bnz -URL-6 )。

非発がん性については、US EPAがRothmanら (1996) のヒト職業曝露の研究から、白血球数の減少を指標としてBMCLを8.2 mg/m<sup>3</sup>としている

る。この値からUF 300 (BMCを用いたこと 3、亜慢性 3、データの不完全性 3、種内差 10)、MF 1で除してRfCを $3 \times 10^{-2} \text{mg/m}^3$ と導出している (Bnz -URL-1)。OEHHAもAir Toxics Hot Spots Risk Assessment Guidelines Technical Support Document for the Derivation of Noncancer Reference Exposure Levelsの中で、Tsaiら (1983)の研究を用いて、造血系への影響を指標にNOAELを0.53 ppm、HECを0.19 ppmとし、それをUF 10 (種内差 10) で除してRELを0.02 ppm ( $60 \mu\text{g/m}^3$ ) と求めている (Bnz -URL-2)。

#### <経口曝露>

経口曝露は、OEHHA が Pliofilm Cohort (Paxton ら (1994)) と Chinese Worker Cohort (Hayes ら (1997)) の研究をもとに、ヒトの白血病のSFを $0.1 (\text{mg/kg/day})^{-1}$ とした (Bnz -URL-7)。US EPA では吸入曝露と同じヒトへの曝露研究を元に、ヒトの白血病のSFを $1.5-5.5 \times 10^{-2} (\mu\text{g/L})^{-1}$ 、URを $4.4 \times 10^{-7}-1.6 \times 10^{-6} (\text{mg/kg/day})^{-1}$ 、 $10^{-5}$ のリスクレベルは10-100  $\mu\text{g/L}$ とした (Bnz -URL-1)。

非発がん毒性では、US EPA が吸入曝露と同じ研究から、BMDLを1.2 mg/kg/dayとし、これをUF 300 (吸入のBMCを用いたこと 3、亜慢性 3、データの不完全性 3、種内差 10)、MF 1で除して $4.0 \times 10^{-3} \text{mg/kg/day}$ としている。他にはATSDRは、免疫系への影響を指標としてMRLを0.03 ppmとしている (Bnz -URL-4)。

#### <基準値・ガイドライン値>

欧州委員会では $5 \mu\text{g/m}^3$  (年平均) を大気基準としている (Bnz-URL-8)。

日本では水道水基準値として0.01 mg/L (URL-4)、欧州委員会では1.0  $\mu\text{g/L}$  (URL-7)、WHOではガイドライン値を10  $\mu\text{g/L}$  (URL-5) としている。

### 3.2.5. 銅 (Cu)

#### <毒性全般>

銅はIARCの発がん性評価では3 (URL-9) で、発がん性があるとはいえない。

#### <吸入曝露>

吸入曝露の非発がん毒性では、RIVM (Cu-URL-2) がJohanssonら (1984) の研究でのウサギの呼吸器、免疫系への影響を指標として、NOAECを $0.1 \text{mg/m}^3$ とし、UFの100 (種間差、種内差) で除してTCAを $1 \mu\text{g/m}^3$ としている。

#### <経口曝露>

経口曝露の非発がん毒性については、RIVM (Cu-URL-2) がMassieとAiello (1984) の研究を用いて、マウスの体重減少を指標にLOAELを $4.2 \text{mg/kg/day}$ とし、UF30 (種間差、種内差) で除して $140 \mu\text{g/kg/day}$ としている。

#### <基準値・ガイドライン値>

日本では水道水基準値として1.0 mg/L (URL-4)、欧州委員会では2.0 mg/L (URL-7)、WHOではガイドライン値を2 mg/L (URL-5) としている。

### 3.2.6. ホルムアルデヒド (Fah)

#### <毒性全般>

ホルムアルデヒドはIARCの発がん性評価では1 (URL-9)、US EPAの評価でもB1とされ、発がん性がある。

#### <吸入曝露>

吸入曝露は、US EPAはKernsら (1983) のラットの研究を元に、鼻扁平上皮細胞への影響を指標にのURを $1.3 \times 10^{-5} (\mu\text{g/m}^3)^{-1}$ 、 $10^{-5}$ のリスクレベルは $0.8 \mu\text{g/m}^3$ としている。(Fah-URL-2)。OEHHAではUS EPAと同じ研究をもとにSFを $2.1 \times 10^{-2} (\text{mg/kg/day})^{-1}$ 、URを $0.6 \times 10^{-5} (\mu\text{g/m}^3)^{-1}$ としている (URL-8)。

非発がん性については、OEHHAがWilhelmssonとHolmstrom (1992) の研究を用いて、ヒトの呼吸器系、目への影響を指標にNOAELを $0.09 \text{mg/m}^3$ とし、UF 10 (種内差 10) で除してREL

を9 µg/m<sup>3</sup>としている (Fah-URL-1)。

<経口曝露>

経口曝露は、IARC で胃を標的臓器として発がん性 (グループ 1) を指摘しているが、SF や UR などの値は示されていない。(Fah-URL-3)

非発がん毒性では、US EPA が Til ら (1989) のラットを用いた研究から、NOAEL を 15 mg/kg/day とし、これを UF 100 (種間差 10、種内差 10)、MF 1 で除して 0.2 mg/kg/day としている (Fah-URL-2)。他には、ATSDR が胃への影響を指標として MRL を 0.05 mg/kg/day としている (Fah-URL-4)。

<基準値・ガイドライン値>

日本では水道水基準値として 0.08 mg/L (URL-4)、WHO ではガイドライン値として 0.9 µg/L (URL-5) としている。

### 3.2.7. 塩化水素 (HCl)

<毒性全般>

塩化水素は IARC の発がん性評価では 3 (URL-9) で、発がん性があるとはいえない。

<吸入曝露>

吸入曝露の非発がん毒性では、OEHHA が Sellakumar ら(1985)のラットの研究をもとに、呼吸器への影響を指標として LOAEL を 10 ppm とし、ヒト曝露濃度 (HEC) を 0.57 ppm としている。この値から UF 100 (LOAEL 3、種間差 3、種内差 10) で除して REL を 9 µg/m<sup>3</sup>と導出している (HCl-URL-1)。US EPA は、Sellakumar ら (1985) と Albert (1982) のラットの研究から LOAEL を 10 ppm とし、ヒト曝露濃度 (HEC) を 6.1 mg/m<sup>3</sup>と計算し、UF 300 (LOAEL 10、種間差 3、種内差 10) で除して 2×10<sup>-2</sup> mg/m<sup>3</sup>としている (HCl-URL-2)。

### 3.2.8. 水銀 (Hg)

<吸入曝露>

非発がん毒性については、OEHHAがFawerら

(1983)、Piikivi (1989)、PiikiviとHanninen (1989)、PiikiviとTolonen(1989)、Ngimら(1992)のヒト曝露の研究を用いて、神経系への影響を指標にLOAELを25 µg/m<sup>3</sup>とし、Time-adjusted exposure で補正を行ない9 µg/m<sup>3</sup>、UF 300 (LOAEL 10、種内差 (Toxicokinetic 10<sup>1/2</sup>、Toxicodynamic 10) ) で除してRELを0.03 µg/m<sup>3</sup>としている (Hg-URL-2)。

### 3.2.9. ニッケル (Ni)

<吸入曝露>

非発がん性については、わが国では環境省指針値として 2.5×10<sup>-5</sup> mg/m<sup>3</sup> を設定している (Ni-URL-3)。なお、MOE の計算値は OEHHA の値を用いている (Ni-URL-1)。

### 3.2.10. 亜鉛 (Zn)

<毒性全般>

亜鉛は IARC の発がん性評価はなく、US EPA の評価ではDで、発がん性があるとはいえない。

<経口曝露>

非発がん毒性で、US EPA では Bai ら (1980) のラットを用いた研究で、摂餌量と体重変化を指標として LOAEL を 3.48 mg/kg/day とし、UF 10,000 (LOAEL 10、亜慢性 10、種間差 10、種内差 10) で除して RfD を 3×10<sup>-5</sup> mg/kg/day とした (Zn-URL-3)。ATSDR は血液学的影響を指標として MRL を 0.3 mg/kg/day (Zn-URL-5)、RIVM では TDI を 500 µg/kg/day としている (Zn-URL-7)。

<基準値・ガイドライン値>

日本の水道水基準値は 1.0 mg/L (URL-4)、JECFA では Tolerable Intake として 0.3-1 mg/kg となっている (Zn-URL-8)。

### 3.3. 有害性の有無と強弱および標的臓器の種類

表3から表6の調査結果に基づき、火力発電所の排水と排ガス中の存在形態として明らかに可能性がないと考えられる化学形態を除外し、各評価機関が示す有害性の強さの中から最も安全側の値を選択した。物質毎に選んだその有害性の強さと引き起こされる疾病の種類（標的臓器）、評価機関名（出典）を、吸入曝露の発がん性については表7に、吸入曝露の非発がん毒性については表8に、経口曝露の発がん性については表9に、経口曝露の非発がん毒性については表10にまとめた。

調査の結果、吸入曝露での発がん性は22物質中12物質、非発がん毒性は17物質に認められた。経口曝露での発がん性は13物質、非発がん毒性は19物質に認められた。また、有害性の有無や疾病の種類は物質毎に異なるが、曝露経路による差は少ないことが示された。これは、化学物質が一旦体内に取り込まれれば曝露経路に依らずその性質は同じであることを示している。

### 3.4. 有害性の強さと毒性閾値の比較

上記の調査結果をまとめ、ヒトにおける許容量となるリスク値を元に、曝露経路ごとに調査物質の有害性が強い順に並べ直した結果を表11に示した。また、リスク評価の出発点となるPOD、すなわち非発がん毒性での各主研究の用量反応評価から得られた毒性閾値も同表に示した。

その結果、調査物質のうちURはクロム、ヒ素、カドミウム、RfCはクロム、ベリリウム、ヒ素、カドミウム、ニッケル、水銀の順に有害性が強かった。毒性閾値は、RfCの有害性の強さとほぼ同様の順位であった。また、SFはベンゾ[a]ピレン、ベリリウム、ニッケル、ヒ素、RfDは水銀、ヒ素、亜鉛、アンチモン、カドミウム

の順に有害性が強かった。有害性の強弱は曝露経路によらず類似しており、発がん性はベンゾ[a]ピレン、クロム、ベリリウム、ニッケル、ヒ素、カドミウムが強く、非発がん毒性は水銀、ヒ素、クロム、カドミウム、ベリリウム、ニッケルが強かった。

これらの結果から、調査対象22物質中の相対順位で考察すると、物質の有害性の強さは曝露経路による差が少なく、毒性閾値の小ささ、すなわち主研究での毒性の強さをよく反映していた。これは、非発がん毒性の主研究の約2/3が疫学で、全体としてUFが小さかったことに起因すると考えられる。

一方、ひとつの物質でもその化学形態によって発がん能や毒性に大きな違いがあり、どの化学形態でその物質の有害性の強さを代表すべきか分からない、という問題もあった。例えばクロムの吸入曝露における非発がん毒性では、六価クロムと三酸化クロムでは有害性の強さは2桁ほど異なり、同じ六価クロムでもクロム酸ミストと粒子状クロムで毒性閾値が2桁違う結果となっている。これは、疫学では現実にはどの化学形態の物質がどのような割合で含まれた因子に曝露されたのか正確にはわからない、という生体側の問題と、火力発電所排出物質の化学形態の実態が必ずしも明確でない、という曝露側のふたつの問題が関係している。この点は前回の調査でも指摘しており、状況は変わっていない。

いずれにしても、リスク情報は研究結果の蓄積により少しずつではあるがより正確な情報に更新されており、リスク評価は最新のリスク情報と精度のよい曝露量評価に基づいて実施する必要がある。

**R** **CRIEPI**

The image shows a stylized logo in a light gray color. It features a large, bold, serif letter 'R' on the left. To its right, the word 'CRIEPI' is written in a smaller, bold, sans-serif font. Two thick, curved lines, resembling a stylized 'S' or a swoosh, are positioned above and below the text, framing it. The entire logo is centered horizontally on a plain white background.

表3-1 微量物質の吸入曝露による発がん性とそのリスク評価

対象物質	CAS-NO.	発がん性評価		IRIS		物質名
		EPA	IARC	UR ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-}1$ )	RL ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
アセトアルデヒド	75-07-0	B2	2B	UR: $2.2 \times 10^{-6}$ RL: 5	Nasal squamous cell carcinoma or adenocarcinoma, rat/SPF Wistar, male Woutersen and Appleman (1984)	Acetaldehyde
ヒ素	As 7440-38-2	A	1	UR: $4.3 \times 10^{-3}$ RL: $2 \times 10^{-3}$	Lung cancer, Human, Male Brown and Chu (1983a, b, c), Lee-Feldstein (1983), Higgins (1982), Enterline and Marsh (1982)	Arsenic, inorganic
ホウ素	B 7440-42-8	-	-	-	-	-
ベンゾ[a]ピレン	Bap 50-32-8	-	1	-	IARC: Lung tumor	Benzo[a]pyrene
ベンゼン	71-43-2	A	1	UR: $2.2 \times 10^{-6}$ - $7.8 \times 10^{-6}$ RL: 1.3-4.5	Leukemia, Human, Rinsky et al (1981, 1987), Paustenbach et al (1993), Crump and Allen (1984), Crump (1992, 1994), U.S. EPA (1998)	Benzene
ベリリウム	Be 7440-41-7	B1	1	UR: $2.4 \times 10^{-3}$ RL: $4 \times 10^{-3}$	Lung cancer, Human, Male Wagoner et al (1980)	Beryllium and compounds
カドミウム	Cd 7440-43-9	B1	1	UR: $1.8 \times 10^{-3}$ RL: $6 \times 10^{-3}$	Lung, trachea, bronchus cancer death, Human/White Thun et al (1985)	Cadmium
コバルト	Co 7440-48-4	-	2B	-	IARC: Lung cancer	Cobalt metal without tungsten carbide
	10026-24-1	-	2B	-	IARC: Lung cancer	Cobalt sulfate and other soluble cobalt(II) salt
クロム	Cr 18540-29-9	A	1	UR: $1.2 \times 10^{-2}$ RL: $8 \times 10^{-4}$	Lung cancer, Human Mancuso (1975)	Chromium (VI)
	16065-93-1	D	3	-	-	Chromium (III), insoluble salt
	7440-47-3	-	3	-	-	Chromium (II), insoluble salt
銅	Cu 10380-28-6	-	3	-	-	Copper 8- hydroxy quinoline
	75-88-7	-	3	-	-	2-Chloro-1,1,1-trifluoroethane
	75-45-6	-	3	-	-	Chlorodifluoromethane
フッ素	F 116-14-3	-	2B	-	IARC: increased the incidence of hepatocellular carcinomas, histiocytic sarcomas, haemangiosarcomas in the liver and kidney tubule cell adenomas	Tetrafluoroethylene
	593-70-4	-	3	-	-	Chlorofluoromethane
	75-02-5	-	2A	-	IARC: Cause the same rare tumour (hepatic haemangiosarcoma) in experimental animals	Vinyl fluoride
	75-38-7	-	3	-	-	Vinylidene fluoride
ホルムアルデヒド	50-00-0	B1	1	UR: $1.3 \times 10^{-5}$ RL: $8 \times 10^{-1}$	Squamous cell carcinoma, Rat/ F344, males Kerns et al (1983)	Formaldehyde
塩化水素	HCl 7647-01-0	-	3	-	-	Hydrochloric acids
	7439-97-6	D	3	-	-	Mercury, elemental
水銀	Hg 22967-92-6	-	3	-	-	Methylmercury
	7487-94-7	-	3	-	-	Mercuric chloride
マンガン	Mn 7439-96-5	D	3	-	-	Manganese
	12427-38-2	-	3	-	-	Maneb
モリブデン	Mo 7439-98-7	-	-	-	-	Molybdenum
ニッケル	Ni 7440-02-0	A	2B	UR: $2.4 \times 10^{-4}$ RL: $4 \times 10^{-2}$	Lung cancer, Human Enteline and Marsh (1982), Chovil et al (1981), Peto et al (1984), Magnus et al (1982)	Nickel refinery dust
	12035-72-2	A	1	UR: $4.8 \times 10^{-4}$ RL: $2 \times 10^{-2}$	Lung cancer, Human Enterline and Marsh (1982), Chovil et al (1981), Peto et al (1984), Magnus et al (1982)	Nickel subsulfide
鉛	Pb 7439-92-1	B2	2A	-	-	Lead
	301-04-2	-	2A	-	-	Lead acetate (Inorganic lead compounds)
	1335-32-6	-	2A	-	-	Lead subacetate (Inorganic lead compounds)
アンチモン	Sb 7440-36-0	-	-	-	-	Antimony
セレン	Se 7782-49-2	D	3	-	-	Selenium
バナジウム	V 1314-62-1	-	2B	-	IARC: increased incidence of bronchiole-alveolar neoplasms	Vanadium pentoxide
亜鉛	Zn 7440-66-6	D	-	-	-	Zinc and compounds

EPA A: Human carcinogen, ヒトに対する発がん性物質

B1: Probable human carcinogen - based on limited evidence of carcinogenicity in humans, 疫学研究から限定されたヒトに対する発がん性を示す証拠がある物質

B2: Probable human carcinogen - based on sufficient evidence of carcinogenicity in animals, 動物で十分な証拠があり、かつ疫学的研究から、ヒトに対する発がん性の不十分な証拠がある物質、または、証拠がない物質

C: Possible human carcinogen, ヒトへの発がん性がある可能性のある物質

D: Not classifiable as to human carcinogenicity, ヒトに対する発がん性を分類できない物質

IARC 1: Carcinogenic to humans, ヒトに対して発がん性がある

2A: Probably carcinogenic to humans, ヒトに対しておそらく発がん性がある

2B: Possibly carcinogenic to humans, ヒトに対して発がん性があるかもしれない

3: Not classifiable as to carcinogenicity to humans, ヒトに対する発がん性を分類できない

4: Probably not carcinogenic to humans, ヒトに対しておそらく発がん性がない

EPA: Environmental Protection Agency

IARC: International Agency for Research on Cancer

IRIS: Integrated Risk Information System

OEHA: Office of Environmental Health Hazard Assessment

RAIS: The Risk Assessment Information System

UR: Unit Risk, ユニトリスク

SF: Slope Factor, スロープファクター

RL:  $10^{-5}$  Risk level,  $10^{-5}$  リスクレベル

NSRL: No Significant Risk Level, 無有意リスクレベル

**R** **CRIEPI**

The image shows a stylized logo in a light gray color. It consists of a large, bold, serif letter 'R' on the left. To its right, the word 'CRIEPI' is written in a smaller, bold, sans-serif font. Two curved lines, one above and one below, sweep across the space between the 'R' and 'CRIEPI', framing the text.

表3-2 微量物質の吸入曝露による発がん性とそのリスク評価

対象物質	CAS-NO.	発がん性評価		UR (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> SF (mg/kg/day) <sup>-1</sup>	主研究	NSRL (µg/day)	物質名
		EPA	IARC				
アセトアルデヒド*	75-07-0	B2	2B	UR: 2.7X10 <sup>-6</sup> SF: 0.01	nasal tumor incidence Wouterson et al (1986)	90	Acetaldehyde
ヒ素	As 7440-38-2	A	1	UR: 3.3X10 <sup>-3</sup> SF: 1.2X10	Lung tumor Enterline et al (1987)	0.06	Arsenic (inorganic)
ホウ素	B 7440-42-8	-	-	-	-	-	-
ベンゾ[a]ピレン	Bap 50-32-8	-	1	UR: 1.1X10 <sup>-3</sup> SF: 3.9	Respiratory tract tumor Thyssen et al. (1981), OEHHA (1993)	0.06	Benzo[a]pyrene
ベンゼン	71-43-2	A	1	UR: 2.9X10 <sup>-5</sup> SF: 0.1	Leukemia incidence Rinsky et al (1981), Weighted Cumulative Exposure/relative risk procedure, CDHS (1984)	13	Benzene
ベリリウム	Be 1304-56-9	-	1	UR: 2.4X10 <sup>-3</sup> SF: 8.4	Lung cancer Wagoner et al (1980)	0.1	Beryllium
	13510-49-1	-	1	UR: 2.4X10 <sup>-3</sup> SF: 8.4	US EPA (1987)	0.1	Beryllium oxide
	7440-47-3	-	1	UR: 0.86 SF: 3000	US EPA (1987)	0.0002	Beryllium sulfate
カドミウム	Cd 7440-43-9	B1	1	UR: 4.2X10 <sup>-3</sup> SF: 1.5X10	Lung cancer Thun et al (1985)	0.05	Cadmium
コバルト	Co 7440-48-4	-	2B	-	-	-	-
	10026-24-1	-	2B	-	-	-	-
クロム	Cr 18540-29-9	A	1	UR: 1.5X10 <sup>-1</sup> SF: 5.1X10 <sup>2</sup>	Lung cancer Mancuso (1975)	0.001	Chromium (hexavalent)
	16065-83-1	D	3	-	-	-	-
	7440-47-3	-	3	-	-	-	-
銅	Cu 10380-28-6	-	3	-	-	-	-
	75-88-7	-	3	-	-	-	-
	75-45-6	-	3	-	-	-	-
	116-14-3	-	2B	-	-	-	-
フッ素	F 593-70-4	-	3	-	-	-	-
	75-02-5	-	2A	-	-	-	-
	75-38-7	-	3	-	-	-	-
ホルムアルデヒド*	50-00-0	B1	1	UR: 0.6X10 <sup>-5</sup> SF: 2.1X10 <sup>-2</sup>	Nasal squamous carcinoma Kerns et al (1983), U.S. EPA (1987)	40	Formaldehyde
塩化水素	HCl 7647-01-0	-	3	-	-	-	-
	7439-97-6	D	3	-	-	-	-
水銀	Hg 22967-92-6	-	3	-	-	-	-
	7487-94-7	-	3	-	-	-	-
マンガン	Mn 7439-96-5	D	3	-	-	-	-
	12427-38-2	-	3	-	-	-	-
モリブデン	Mo 7439-98-7	-	-	-	-	-	-
ニッケル	Ni 7440-02-0	A	2B	UR: 2.6X10 <sup>-4</sup> SF: 9.1X10 <sup>-1</sup>	Lung cancer Chovil et al (1981), Roberts et al (1984), Muir et al (1985)	0.8	Nickel refinery dust
	12035-72-2	A	1	UR: 4.9X10 <sup>-4</sup> SF: 1.7	US EPA (1987)	0.4	Nickel subsulfide
	7439-92-1	B2	2A	UR: 28X10 <sup>-4</sup>	Ottolenghi (1974)	-	Lead and lead compounds
	301-04-2	-	2A	UR: 1.2X10 <sup>-5</sup> RL: 4.2X10 <sup>-2</sup>	Kidney tumor Azar et al (1973)	-	Lead acetate
鉛	Pb 1335-32-6	-	2A	UR: 0.8X10 <sup>-4</sup> SF: 0.28	No significant increases in tumors Koller et al (1985)	-	Lead acetate
	7439-92-1	-	2A	UR: 1.1X10 <sup>-5</sup> SF: 3.8X10 <sup>-2</sup>	Kidney tumor Kasprzak et al (1985), Van Esch et al (1962)	-	Lead subacetate
アンチモン	Sb 7440-36-0	-	-	-	-	-	-
セレン	Se 7782-49-2	D	3	-	-	-	-
バナジウム	V 1314-62-1	-	2B	-	-	-	-
亜鉛	Zn 7440-66-6	D	-	-	-	-	-

EPA A: Human carcinogen, ヒトに対する発がん性物質

B1: Probable human carcinogen - based on limited evidence of carcinogenicity in humans.  
疫学研究から限定されたヒトに対する発がん性を示す証拠がある物質

B2: Probable human carcinogen - based on sufficient evidence of carcinogenicity in animals,  
動物で十分な証拠があり、かつ疫学的研究から、ヒトに対する発がん性の不十分な証拠がある物質

C: Possible human carcinogen, ヒトへの発がん性がある可能性のある物質

D: Not classifiable as to human carcinogenicity, ヒトに対する発がん性を分類できない物質

IARC

1: Carcinogenic to humans, ヒトに対して発がん性がある

2A: Possibly carcinogenic to humans, ヒトに対して発がん性がある

2B: Possibly carcinogenic to humans, ヒトに対して発がん性があるかもしれない

3: Not classifiable as to carcinogenicity to humans, ヒトに対する発がん性を分類できない

4: Probably not carcinogenic to humans, ヒトに対しておそく発がん性がない

EPA: Environmental Protection Agency  
IARC: International Agency for Research on Cancer  
IRIS: Integrated Risk Information System  
OEHHA: Office of Environmental Health Hazard Assessment  
RAIS: The Risk Assessment Information System

UR: Unit Risk, ユニットリスク  
SF: Slope Factor, スロープファクター  
RL: 10<sup>-5</sup> Risk level, 10<sup>-5</sup> リスクレベル  
NSRL: No Significant Risk Level, 無有意リスクレベル

**R** **CRIEPI**

The image shows a stylized logo in a light gray color. It consists of a large, bold, serif letter 'R' on the left. To its right, the word 'CRIEPI' is written in a smaller, bold, sans-serif font. Two curved lines, resembling a stylized 'S' or a swoosh, are positioned around the text: one above the 'CRIEPI' and one below the 'R' and 'CRIEPI'.

表3-3 微量物質の吸入曝露による発がん性とそのリスク評価

対象物質	CAS-NO.	発がん性評価		UR (mg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> SF (mg/kg/day) <sup>-1</sup>	主研究	物質名
		EPA	IARC			
アトアルテヒト	75-07-0	B2	2B	-	-	-
ヒ素	As 7440-38-2	A	1	UR: 4.3 SF: 1.51X10 <sup>-3</sup>	lung cancer Brown and Chu (1983)	Arsenic, Inorganic
ホウ素	B 7440-42-8	-	-	-	-	-
ベンゾ[a]ピレン	Bap 50-32-8	-	1	UR: 8.8X10 <sup>-1</sup>	-	Benzol[a]pyrene
ベンゼン	71-43-2	A	1	UR: 7.8X10 <sup>-3</sup> SF: 2.73X10 <sup>-2</sup>	Leukemia. U.S. EPA (1998)	Benzene
ベリリウム	Be 7440-41-7	B1	1	UR: 2.4	lung tumors Wagoner et al (1980)	Beryllium and compounds
	1304-56-9 13510-49-1	-	1	-	-	-
カドミウム	Cd 7440-43-9	B1	1	UR: 1.8	Lung tumors Thun et al (1985)	Cadmium
コバルト	Co 7440-48-4	-	2B	-	-	-
	10026-24-1	-	2B	-	-	-
クロム	Cr 7440-47-3	-	-	UR: 1.2X10 <sup>-1</sup> UR: 1.2X10 <sup>-1</sup>	Lung tumors Mancuso (1975) Lung tumors Mancuso (1975)	Chromium VI (Chronic Acid Mists) Chromium VI (Particulates)
銅	Cu 10380-28-6	-	3	-	-	-
	75-88-7	-	3	-	-	-
	75-45-6	-	3	-	-	-
フッ素	F 116-14-3	-	2B	-	-	-
	593-70-4	-	3	-	-	-
	75-02-5	-	2A	-	-	-
	75-38-7	-	3	-	-	-
ホルムアルデヒド	50-00-0	B1	1	-	-	-
塩化水素	HCl 7647-01-0	-	3	-	-	-
水銀	Hg 7439-97-6	D	3	-	-	-
	22967-92-6	-	3	-	-	-
	7487-94-7	-	3	-	-	-
マンガン	Mn 7439-96-5	D	3	-	-	-
	12427-38-2	-	3	-	-	-
モリブデン	Mo 7439-98-7	-	-	-	-	-
ニッケル	Ni 7440-02-0	A	2B	UR: 2.4X10 <sup>-1</sup>	respiratory system tumors Clydach (1984)	Nickel Refinery Dust
	12035-72-2	A	1	UR: 4.8X10 <sup>-1</sup>	respiratory system tumors Clydach (1984)	Nickel Subulfide
鉛	Pb 7439-92-1	B2	2A	-	-	-
	301-04-2	-	2A	-	-	-
	1335-32-6	-	2A	-	-	-
アンチモン	Sb 7440-36-0	-	-	-	-	-
セレン	Se 7782-49-2	D	3	-	-	-
バナジウム	V 1314-62-1	-	2B	-	-	-
亜鉛	Zn 7440-66-6	D	-	-	-	-

EPA A: Human carcinogen, ヒトに対する発がん性物質

B1: Probable human carcinogen - based on limited evidence of carcinogenicity in humans, 疫学研究から限定されたヒトに対する発がん性を示す証拠がある物質

B2: Probable human carcinogen - based on sufficient evidence of carcinogenicity in animals, 動物で十分な証拠があり、かつ疫学的研究から、ヒトに対する発がん性の不十分な証拠がある物質、または、証拠がない物質

C: Possible human carcinogen, ヒトへの発がん性がある可能性がある物質

D: Not classifiable as to human carcinogenicity, ヒトに対する発がん性を分類できない物質

IARC 1: Carcinogenic to humans, ヒトに対して発がん性がある

2A: Probably carcinogenic to humans, ヒトに対しておそらく発がん性がある

2B: Possibly carcinogenic to humans, ヒトに対して発がん性があるかもしれない

3: Not classifiable as to carcinogenicity to humans, ヒトに対する発がん性を分類できない

4: Probably not carcinogenic to humans, ヒトに対しておそらく発がん性がない

EPA: Environmental Protection Agency

IARC: International Agency for Research on Cancer

IRIS: Integrated Risk Information System

OEHA: Office of Environmental Health Hazard Assessment

RAIS: The Risk Assessment Information System

UR: Unit Risk, ユニットリスク

SF: Slope Factor, スロープファクター

RL: 10<sup>-5</sup> Risk level, 10<sup>-5</sup> リスクレベル

NSRL: No Significant Risk Level, 無有意リスクレベル

**R** **CRIEPI**

The image shows a stylized logo in a light gray color. It consists of a large, bold, serif letter 'R' on the left. To its right, the word 'CRIEPI' is written in a smaller, bold, sans-serif font. Two curved lines, one above and one below, sweep across the space between the 'R' and 'CRIEPI', framing the text.

表4-1 微量物質の吸入曝露による非発がん性とそのリスク評価

対象物質	CAS-NO.	IRIS		物質名
		RF <sub>C</sub> : (mg/m <sup>3</sup> )	主研究	
アセトアルデヒド	75-07-0	NOAEL (HEC): 8.7(mg/m <sup>3</sup> ) UF=1000, MF=1	9X10 <sup>-3</sup>	Acetaldehyde Degeneration of olfactory epithelium Short-term rat inhalation studies, Appleman et al (1986, 1982)
ヒ素	As 7784-42-1	NOAEL(HEC): 0.014(mg/m <sup>3</sup> ) UF=300, MF=1	5x10 <sup>-5</sup>	Arsine Increased hemolysis, abnormal RBC morphology, and increased spleen weight (other effect: Increased hemolysis, increased spleen weight, and impaired compensatory erythropoieses) 13-week rat and mouse and 28-day hamster inhalation study, Blair et al (1990a, b)
ボウ素	B 7440-42-8	-	-	-
ベンゼン	71-43-2	BMCL: 8.2(mg/m <sup>3</sup> ) UF=300, MF=1	3X10 <sup>-2</sup>	Benzene Human occupational inhalation study Decreased lymphocyte count, Rothman et. al (1996)
ベリリウム	Be 7440-41-7	LOAEL(HEC): 0.0002(mg/m <sup>3</sup> ) UF=10, MF=1	2x10 <sup>-5</sup>	Beryllium sensitization and progression to CBD Occupational study, Kreiss et al (1996)
カドミウム	Cd 7440-43-9	-	-	-
コバルト	Co 7440-48-4	-	-	-
クロム	Cr 18540-29-9	LOAEL(ADJ): 0.000714(mg/m <sup>3</sup> ) UF=90, MF=1	8x10 <sup>-6</sup>	Cr(VI) particulates Lactate dehydrogenase in bronchoalveolar lavage fluid Rat subchronic study, Glaser et al (1990), Malsch et al (1994)
銅	Cu 7440-50-8	-	-	-
フッ素	F 75-37-6	NOAEL(HEC): 12051 (mg/m <sup>3</sup> ) UF=300, MF=1 BMC <sub>10</sub> (HEC): 8200 (mg/m <sup>3</sup> ) UF=100, MF=1	4X10	Chromic acid mists and dissolved Cr(VI) aerosols Nasal septum atrophy Human subchronic occupational study, Lindberg and Hedenstierna (1983)
ホルムアルデヒド	50-00-0	-	-	-
塩化水素	HCl 7647-01-0	NOAEL(HEC): 6.1(mg/m <sup>3</sup> ) UF=300, MF=1	2X10 <sup>-2</sup>	Hydrogen chloride Hyperplasia of nasal mucosa larynx and trachea Rat chronic inhalation study, Sellakumar et al (1985)
水銀	Hg 7439-97-6	LOAEL(ADJ): 0.009 (mg/m <sup>3</sup> ) UF=30, MF=1 LOAEL(HEC): 20(μg/m <sup>3</sup> ) UF=500 LOAEL(HEC): 0.05(mg/m <sup>3</sup> ) UF=1000, MF=1	3X10 <sup>-4</sup> 4X10 <sup>-5</sup>	Mercury elemental Hand tremor; increases in memory disturbances; slight subjective and objective evidence of autonomic dysfunction Human occupational inhalation studies, Fawer et al (1983), Piiikivi and Tolonen (1989), Piiikivi and Hanninen (1989), Piiikivi (1989), Ngim et al (1992), Liang et al (1993)
マンガン	Mn 7439-96-5	LOAEL(HEC): 0.05(mg/m <sup>3</sup> ) UF=1000, MF=1	5x10 <sup>-5</sup>	Manganese Impairment of neurobehavioral function (other effect: Impairment of neurobehavioral)
モリブデン	Mo 7439-98-7	-	-	-
ニッケル	Ni 7440-02-0	-	2.5X10 <sup>-5</sup>	Nickel化合物 環境省 指針値
鉛	Pb 7439-92-1	-	1.5X10 <sup>-3</sup>	Lead NAAQS Nervous system, blood pressure and kidney function, and interference with vitamin D metabolism
アンチモン	Sb 1309-64-4	BMC <sub>10</sub> (HEC): 0.074(mg/m <sup>3</sup> ) UF=300, MF=1	2x10 <sup>-4</sup>	Antimony trioxide Pulmonary toxicity, chronic interstitial inflammation Rat 1-year inhalation toxicity study, Newton et al (1994)
セレン	Se 7782-49-2	-	-	-
バナジウム	V 1314-62-1	-	-	-
亜鉛	Zn 7440-66-6	-	-	-

UF: Uncertainty Factor, 不確実性係数  
MF: Modifying Factor, 修正係数  
NOAEL: 無毒性量  
LOAEL: 最小毒性量  
BMC: Benchmark Concentration, ベンチマーク濃度  
BMC<sub>10</sub>: Benchmark Concentration 10%, 10%ベンチマーク濃度  
BMDL: Lower confidence limit on the effective dose, 影響用量の安全側信頼限界  
BMDL<sub>10</sub>: Lower confidence limit on the effective dose to produce a 10 % response, 10%影響用量の安全側信頼限界

RF<sub>C</sub>: Reference Concentration, 参照濃度  
REL: Reference Exposure Level, 参照曝露量  
MRL: Minimal Risk Level, 最小リスク値  
TCA: Tolerable Concentration in Air, 耐容気中濃度  
HEC: Human Exposure Concentration, ヒト曝露濃度  
ADJ: Adjusted, 補正值

IRIS: IRIS Database for Risk Assessment  
OEHHA: Office of Environmental Health Hazard Assessment  
RVM: National Institute for Public Health and the Environment  
ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry  
NAAQS: National Ambient Air Quality Standard  
RAIS: The Risk Assessment Information System

**R** **CRIEPI**

The image shows a stylized logo in a light gray color. It consists of a large, bold, serif letter 'R' on the left. To its right, the word 'CRIEPI' is written in a smaller, bold, sans-serif font. Two curved lines, resembling a stylized 'S' or a swoosh, are positioned around the text: one above the 'CRIEPI' and one below it, starting from the bottom of the 'R' and ending under the 'PI'.

表4-2 微量物質の吸入曝露による非発がん性とそのリスク評価

対象物質	CAS-NO.	REL ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	OEHHA 主研究	物質名
アセトアルデヒド*	75-07-0	140	Degeneration of olfactory epithelium, Wistar rats Appelman et al. (1982, 1986)	Acetaldehyde
ヒ素 As	7440-38-2	0.015	Decrease in intellectual function, adverse effects on neurobehavioral development, Human (Children) Wasserman et al (2004), Tsai et al (2003)	Arsenic and arsenic compounds
ホウ素 B	7440-42-8	-	-	-
ベンゾ[a]ピレン Bap	50-32-8	-	-	-
ベンゼン	71-43-2	60	Lowered red and white blood cell counts in occupationally exposed humans Tsai et al. (1983)	Benzene
ベリリウム Be	7440-41-7	0.007	Beryllium sensitization (chronic beryllium disease), Human Kreiss et al (1996)	Beryllium and beryllium compounds
カドミウム Cd	7440-43-9	0.02	Kidney, Respiratory system, Human Lauwerys et al (1974)	Cadmium and cadmium compounds
コバルト Co	7440-48-4	-	-	-
クロム Cr	18540-29-9	0.2	Bronchoalveolar hyperplasia, Rats Glaser et al (1990)	Chromium hexavalent: soluble except chromic trioxide
クロム Cr	1333-82-0	0.002	Nasal atrophy, nasal mucosal ulcerations, nasal septal perforations transient pulmonary function change, Human Lindberg and Hedenstierna (1983)	Chromic trioxide (as chromic acid mist)
銅 Cu	7440-50-8	-	-	-
フッ素 F	7664-39-3	(F) 13 (HF) 14	Increased bone density (skeletal fluorosis), Human Derryberry et al (1963)	Fluoride including Hydrogen Fluoride
ホルムアルデヒド*	50-00-0	9	Nasal obstruction and discomfort, lower airway discomfort, Human Wilhelmsson and Holmstrom (1992), Edling et al (1988)	Formaldehyde
塩化水素 HCl	7647-01-0	9	Respiratory system, Sprague-Dawley rats (100 males) Sellakumar et al (1985)	Hydrogen chloride
水銀 Hg	7439-97-6	0.03	Nervous system, Human Piiikivi and Hanninen (1989), Fawer et al (1983), Piiikivi and Tolonen (1989), Piiikivi (1989), Ngim et al (1992), Liang et al (1993)	Mercury and mercury compounds
マンガン Mn	7439-96-5	0.09	Impaired neurobehavior: visual reaction time, eye-hand coordination, hand steadiness, Human Roels et al (1992)	Manganese and manganese compounds
モリブデン Mo	7439-98-7	-	-	-
ニッケル Ni	1313-99-1	0.1	Pathological change in lung and lymph nodes, Rat National Toxicology Program (1994c)	Nickel oxide
鉛 Pb	7439-92-1	-	-	-
アンチモン Sb	1309-64-4	-	-	-
セレン Se	7782-49-2	20	Clinical selenosis (liver, blood, skin CNS), Human Yang et al (1989)	Selenium and selenium compounds (other than hydrogen selenide)
バナジウム V	1314-62-1	-	-	-
亜鉛 Zn	7440-66-6	-	-	-

UF: Uncertainty Factor, 不確実性係数

MF: Modifying Factor, 修正係数

NOAEL: 無毒性量

LOAEL: 最小毒性量

BMC: Benchmark Concentration, ベンチマーク濃度

BMC<sub>10</sub>: Benchmark Concentration 10%, 10%ベンチマーク濃度

BMDL: Lower confidence limit on the effective dose, 影響用量の安全側信頼限界

BMDL<sub>10</sub>: Lower confidence limit on the effective dose to produce a 10% response, 10%影響用量の安全側信頼限界

RfC: Reference Concentration, 参照濃度

REL: Reference Exposure Level, 参照曝露量

MRL: Minimal Risk Level, 最小リスク値

TCA: Tolerable Concentration in Air, 耐容空气中濃度

HEC: Human Exposure Concentration, ヒト曝露濃度

ADJ: Adjusted, 補正值

ADJ: Adjusted, 補正值

IRIS: IRIS Database for Risk Assessment

OEHHA: Office of Environmental Health Hazard Assessment

RfM: National Institute for Public Health and the Environment

ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry

NAAQS: National Ambient Air Quality Standard

RAIS: The Risk Assessment Information System

**R** **CRIEPI**

The image shows a stylized logo in a light gray color. It consists of a large, bold, serif letter 'R' on the left. To its right, the word 'CRIEPI' is written in a smaller, bold, sans-serif font. Two curved lines, one above and one below, sweep across the space between the 'R' and 'CRIEPI', framing the text.

表4-3 微量物質の吸入曝露による非発がん性とそのリスク評価

対象物質	CAS-NO.	ATSDR			RAIS				
		Factor	MRL (mg/m <sup>3</sup> )	Endpoint	物質名	RfC (mg/m <sup>3</sup> )	Factor	主研究	物質名
アセトアルデヒド	75-07-0	-	-	-	-	-	-	-	-
ヒ素	7440-38-2 7784-42-1	-	-	-	-	-	-	-	-
ホウ素	B 7440-42-8	-	-	-	-	-	-	-	-
ベンゾ[a]ピレン	Bap 50-32-8	-	-	-	-	-	-	-	-
ベンゼン	71-43-2	BMDL <sub>0.25sd</sub> <sup>d</sup> 0.10(ppm)	10	0.03 ppm immunotoxicity	Benzene	3.00X10 <sup>-2</sup>	MF=1 UF=300	decreased lymphocyte count Rothman et. al (1996)	Benzene
ベリリウム	Be 7440-41-7	-	-	-	-	-	MF=1 UF=10	sensitization and progression to CBD Eisenbud et al (1949)	Beryllium and compounds
カドミウム	Cd 7440-43-9	NOAEL: 0.0053	10	1X10 <sup>-4</sup> Respiratory system	Cobalt	-	-	-	-
コバルト	Co 7440-48-4	0.0053 (mg/m <sup>3</sup> )	-	-	-	-	-	-	-
ホルムアルデヒド	50-00-0	-	-	-	-	-	-	-	-
塩化水素	HCl 7647-01-0	-	-	-	-	-	-	-	-
水銀	Hg 7439-97-6	NOAEL: 0.026 (mg/m <sup>3</sup> )	30	0.2X10 <sup>-3</sup> Nervous system	Mercury	-	-	-	-
マンガン	Mn 7439-96-5	BMDL <sub>10</sub> <sup>c</sup> 74(μg/m <sup>3</sup> )	500	4X10 <sup>-5</sup> Nervous system	Manganese	5.00X10 <sup>-5</sup>	MF=1 UF=1000	impairment of neuro-behavioral function Roels et al (1992)	Manganese
モリブデン	Mo 7439-98-7	-	-	-	-	-	-	-	-
ニッケル	Ni 7440-02-0	NOAEL: 0.03 (mg/m <sup>3</sup> )	30	9X10 <sup>-5</sup> Respiratory system	Nickel	-	-	-	-
鉛	Pb 7439-92-1	-	-	-	-	-	-	-	-
アンチモン	Sb 1309-64-4	-	-	-	-	-	-	-	-
セレン	Se 7782-49-2	-	-	-	-	-	-	-	-
バナジウム	V 1314-62-1	-	-	-	-	-	-	-	-
亜鉛	Zn 7440-66-6	-	-	-	-	-	-	-	-
クロム	Cr	7440-47-3	-	-	-	-	MF=1 UF=90	nasal septum atrophy Lindberg and Hedenstierna (1983)	Chromium VI (Chromic Acid Mists)
銅	Cu	7440-50-8	-	-	-	-	MF=1 UF=90	nasal septum atrophy Malsch et al	Chromium VI (Particulates)

UF: Uncertainty Factor, 不確実性係数

MF: Modifying Factor, 修正係数

NOAEL: 無毒性量

LOAEL: 最小毒性量

BMC: Benchmark Concentration, ベンチマーク濃度

BMC<sub>10</sub>: Benchmark Concentration 10%, 10%ベンチマーク濃度

BMDL: Lower confidence limit on the effective dose, 影響用量の安全側信頼限界

BMDL<sub>10</sub>: Lower confidence limit on the effective dose to produce a 10 % response, 10%影響用量の安全側信頼限界

RfC: Reference Concentration, 参照濃度

REL: Reference Exposure Level, 参照曝露量

MRL: Minimal Risk Level, 最小リスク値

TCA: Tolerable Concentration in Air, 耐容気中濃度

HEC: Human Exposure Concentration, ヒト曝露濃度

ADJ: Adjusted, 補正值

IRIS: IRIS Database for Risk Assessment

OEHA: Office of Environmental Health Hazard Assessment

RIVM: National Institute for Public Health and the Environment

ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry

NAAQS: National Ambient Air Quality Standard

RAIS: The Risk Assessment Information System

**R** **CRIEPI**

The logo consists of a large, bold, serif letter 'R' on the left. To its right, the word 'CRIEPI' is written in a smaller, bold, sans-serif font. Two thick, light gray curved lines are positioned around the text: one above 'CRIEPI' and one below 'R' and 'CRIEPI', both curving from left to right.

表4-4 微量物質の吸入曝露による非発がん性とそのリスク評価

対象物質	CAS-NO.	TCA ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Endpoint	RfC	物質名	European Communities Air Quality Standards	物質名
アセトアルデヒド*	75-07-0	-	-	-	-	-	-
ヒ素 As	7440-38-2	1.0	Lung cancer Health Council of the Netherlands (1993), ATSDR (1999)	-	Arsenic (inorganic)	6ng/m <sup>3</sup> 1 year	Arsenic
ホウ素 B	7440-42-8	-	-	-	-	-	-
ベンゾ[a]ピレン Bap	50-32-8	-	-	-	-	-	-
ベンゼン	71-43-2	CR: 20	Leukaemia RfC (1987, 1994), Vermeire et al (1991), Vermeire (1993)	-	Benzene	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1 year	Benzene
ベリリウム Be	7440-41-7	-	-	-	-	-	-
カドミウム Cd	7440-43-9	-	-	-	-	5ng/m <sup>3</sup> 1 year	Cadmium
コバルト Co	7440-48-4	0.5	Interstitial Lung disease ATSDR (1992) LOAEL: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , UF=100	-	Cobalt	-	-
クロム Cr	18540-29-9	-	-	-	-	-	-
	7440-47-3	60	NOAEC ATSDR (1998)	-	Chromium III metallic and insoluble compounds	-	-
銅 Cu	7440-50-8	1	Respiratory and Immunological effects Vermeire et al.(1991)	-	Copper	-	-
フッ素 F	7664-39-3	-	-	-	-	-	-
	75-45-6	-	-	-	-	-	-
	75-37-6	-	-	-	-	-	-
	811-97-2	-	-	-	-	-	-
ホルムアルデヒド*	50-00-0	-	-	-	-	-	-
塩化水素 HCl	7647-01-0	-	-	-	-	-	-
水銀 Hg	7439-97-6	0.2	Mild tremors ATSDR (1999)	-	Mercury metallic	-	-
マンガン Mn	7439-96-5	-	-	-	-	-	-
モリブデン Mo	7439-98-7	12	Body weight NTP (1997)	-	Molybdenum	-	-
ニッケル Ni	7440-02-0	0.05	Respiratory system ATSDR (1997), Canadian EPA (1994), IARC (1990)	-	Nickel	20ng/m <sup>3</sup> 1 year	Nickel
鉛 Pb	7439-92-1	-	-	-	-	0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1 year	Lead
アンチモン Sb	1309-64-4	-	-	-	-	-	-
セレン Se	7782-49-2	-	-	-	-	-	-
バナジウム V	1314-62-1	-	-	-	-	-	-
亜鉛 Zn	7440-66-6	-	-	-	-	-	-

UF: Uncertainty Factor, 不確実性係数

MF: Modifying Factor, 修正係数

NOAEL: 無毒性量

LOAEL: 最小毒性量

BMC: Benchmark Concentration, ベンチマーク濃度

BMC<sub>10</sub>: Benchmark Concentration 10%, 10%ベンチマーク濃度

BMDL: Lower confidence limit on the effective dose, 影響用量の安全側信頼限界

BMDL<sub>10</sub>: Lower confidence limit on the effective dose to produce a 10 % response, 10%影響用量の安全側信頼限界

CR: 1X10<sup>-4</sup> excess lifetime cancer risk

RfC: Reference Concentration, 参照濃度

REL: Reference Exposure Level, 参照曝露量

MRL: Minimal Risk Level, 最小リスク値

TCA: Tolerable Concentration in Air, 耐容気中濃度

HEC: Human Exposure Concentration, ヒト曝露濃度

ADJ: Adjusted, 補正值

IRIS: IRIS Database for Risk Assessment

OEHHA: Office of Environmental Health Hazard Assessment

RfC: Reference Concentration, 参照濃度

ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry

NAAQS: National Ambient Air Quality Standard

RAIS: The Risk Assessment Information System

**R** **CRIEPI**

表5-1 微量物質の経口曝露による発がん性とそのリスク評価

対象物質	CAS-NO.	発がん性評価		IRIS	物質名
		EPA	IARC		
アセトアルデヒド	75-07-0	B2	2B	UR (µg/L) <sup>-1</sup> SF (mg/kg/day) <sup>-1</sup> RL (µg/L)	Acetaldehyde
ヒ素	As 7440-38-2	A	1	UR: 5x10 <sup>-5</sup> SF: 1.5 RL: 2X10 <sup>-1</sup>	Skin cancer, Human Tseng (1977), Tseng et al (1968), US EPA (1988) Arsenic, inorganic
ホウ素	B 7440-42-8	-	-	-	-
ベンゾ[a]ピレン	Bap 50-32-8	B2	1	UL: 2.1X10 <sup>-4</sup> SF: 7.3 RL: 5X10 <sup>-2</sup>	Forestomach, squamous cell papillomas and carcinomas; forestomach, larynx and esophagus, papillomas and carcinomas, CFW mice, sex unknown; SWR/J Swill mice; Sprague-Dawley rats, male and females Neal and Rigdon (1967), Rabstein et al (1973), Brune et al (1981) Benzo[a]pyrene
ベンゼン	71-43-2	A	1	SF: 1.5X10 <sup>-2</sup> -5.5X10 <sup>-2</sup> UR: 4.4X10 <sup>-7</sup> -1.6X10 <sup>-6</sup> RL: 1X10 <sup>-1</sup> X10 <sup>2</sup>	Leukemia, Human Rinsky et al (1981, 1987), Paustenbach et al (1993), Crump (1994), U. S. EPA (1998), U.S. EPA (1999) Benzene
ベリリウム	Be 7440-41-7	B1	1	UR: 1.2X10 <sup>-4</sup> SF: 4.3 (RAIS)	Leukemia, Reticulum cell sarcoma US EPA (1991) Beryllium and compounds
カドミウム	Cd 7440-43-9	B1	1	-	Cadmium
コバルト	Co 7440-48-4	-	2B	-	Cobalt and cobalt compounds
クロム	Cr 18540-29-9 16065-83-1	D D	1 3	-	Chromium (VI) Chromium (III), in soluble salts
銅	Cu 10380-28-6	-	3	-	Copper 8-hydroxyquinoline
フッ素	F 7681-49-4 75-88-7 51-21-8 75-45-6 593-70-4	- - - - -	3 3 3 3 3	-	Sodium fluoride (Fluorides) 2-Chloro-1,1,1-trifluoroethane 5-Fluorouracil Chlorodifluoromethane Chlorofluoromethane
ホルムアルデヒド	1582-09-8	C	3	UR: 2.2x10 <sup>-7</sup> SF: 7.7x10 <sup>-3</sup> RL: 5X10 <sup>-1</sup>	Combined renal pelvis carcinomas, urinary bladder papillomas and/or thyroid adenomas and carcinomas, Rats, Male Emmerson et al (1980) Trifluralin
塩化水素	HCl 7647-01-0	-	3	-	Vinylidene fluoride
水銀	Hg 7439-97-6 22967-92-6 7487-94-7	- C C	- 2B -	-	IARC: forestomach papillomas,, gastrointestinal leiomyosarcomas, malignant tumours, haemolymphoreticular tumours (lymphomas and leukaemias) and testicular interstitial-cell adenomas IARC: cancer of the liver and cancer of the oesophagus
マンガン	Mn 7439-96-5 12427-38-2	D -	- 3	-	Manganese Manganese chloride
モリブデン	Mo 7439-98-7	-	-	-	Molybdenum
ニッケル	Ni 7440-02-0 12035-72-2 7439-92-1 78-00-2	- A A B2	- - 2A 3	-	Metallic nickel Nickel refinery dust Nickel subsulfide
鉛	Pb 301-04-2 1335-32-6 7446-27-7	- - -	2A 2A 2A	-	Lead Tetraethyl lead Lead acetate (Inorganic lead compounds) Lead subacetate (Inorganic lead compounds) Lead phosphate (Inorganic lead compounds)
アンチモン	Sb 7440-36-0 7782-49-2	- D	- 3	-	Antimony Selenium and compounds
セレン	Se 12039-52-0 7783-00-8	D D	- -	-	Thallium selenite (Selenium and compounds) Selenious acid (Selenium and compounds)
バナジウム	V 1314-62-1	-	-	-	Selenium sulfide
亜鉛	Zn 7440-66-9 12122-67-7	D -	- 3	-	Vanadium pentoxide Zinc and compounds Zinc

EPA A: Human carcinogen, ヒトに対する発がん性物質

B1: Probable human carcinogen - based on limited evidence of carcinogenicity in humans, 疫学研究から限定されたヒトに対する発がん性を示す証拠がある物質

B2: Probable human carcinogen - based on sufficient evidence of carcinogenicity in animals, 動物で十分な証拠があり、かつ疫学的研究から、ヒトに対する発がん性の不十分な証拠がある物質、または、証拠がない物質

C: Possible human carcinogen, ヒトへの発がん性がある可能性のある物質

D: Not classifiable as to human carcinogenicity, ヒトに対する発がん性を分類できない物質

IARC 1: Carcinogenic to human, ヒトに対して発がん性がある

2A: Probably carcinogenic to human, ヒトに対しておそらく発がん性がある

2B: Possibly carcinogenic to human, ヒトに対して発がん性があるかもしれない

3: Not classifiable as to carcinogenicity to human, ヒトに対する発がん性を分類できない

4: Probably not carcinogenic to human, ヒトに対しておそらく発がん性がない

EPA: Environmental Protection Agency

IARC: International Agency for Research on Cancer

IRIS: Integrated Risk Information System

OEHA: Office of Environmental Health Hazard Assessment

RAIS: The Risk Assessment Information System

UR: Unit risk, ユニトリスク(飲水)

SF: Slope Factor, スロープファクター

RL: 10<sup>-5</sup> Risk level, 10<sup>-5</sup> リスクレベル(飲水)

NSRL: No Significant Risk Level, 無有意リスクレベル(飲水)

**R** **CRIEPI**

The logo consists of a large, bold, serif letter 'R' on the left. To its right, the word 'CRIEPI' is written in a smaller, bold, sans-serif font. Two light gray curved lines are positioned around the text: one above 'CRIEPI' and one below the 'R' and 'CRIEPI', both curving from left to right.

表5-2 微量物質の経口曝露による発がん性とそのリスク評価

対象物質	CAS-NO.	発がん性評価		SF (mg/kg/day) <sup>-1</sup>	主研究	NSRL (µg/day)	物質名
		EPA	IARC				
アセトアルデヒド	75-07-0	B2	2B	-	-	-	-
ヒ素	As 7440-38-2	A	1	1.5	Skin cancer Tseng et al (1968, 1977)	10	Arsenic (inorganic)
ホウ素	B 7440-42-8	-	-	-	-	-	Boron and compound
ベンゾ[a]ピレン	Bap 50-32-8	B2	1	1.2X10	Gastric tumor Neal and Rigdon (1967), OEHHA (1993)	0.06	Benzo[a]pyrene
ベンゼン	71-43-2	A	1	0.1	Leukemia Paxton et al. (1994), Hayes et al. (1997)	6.4	Benzene
ベリリウム	Be 1304-56-9	B1	1	7	US EPA (1987)	0.1	Beryllium Beryllium oxide (Beryllium and compounds)
	13510-19-1	-	1	3000	US EPA (1987)	0.0002	Beryllium sulfide (Beryllium and compounds)
カドミウム	Cd 7440-43-9	B1	1	0.38	Leukemia Waalkes and Rehm (1992)	-	Cadmium
コバルト	Co 7440-48-4	-	2B	-	-	-	-
クロム	Cr 18540-29-9	D	1	4.2X10 <sup>-1</sup>	Stomach tumor Borneff et al (1968)	-	Chromium (hexavalent)
	16065-83-1	D	3	-	-	-	-
銅	Cu 10380-28-6	-	3	-	-	-	-
	7681-49-4	-	3	-	-	-	-
	75-88-7	-	3	-	-	-	-
	51-21-8	-	3	-	-	-	-
フッ素	F 75-45-6	-	3	-	-	-	-
	593-70-4	-	3	-	-	-	-
	1582-09-8	C	3	-	-	-	-
	75-38-7	-	3	-	-	-	-
ホルムアルデヒド	50-00-0	B1	1	-	-	-	-
塩化水素	HCl 7647-01-0	-	3	-	-	-	-
	7439-97-6	-	-	-	-	-	-
水銀	Hg 22967-92-6	C	2B	-	-	-	-
	7487-94-7	C	-	-	-	-	-
マンガン	Mn 7439-96-5	D	-	-	-	-	-
	12427-38-2	-	3	-	-	-	-
モリブデン	Mo 7439-98-7	-	-	-	-	-	-
ニッケル	Ni 7440-02-0	A	-	-	-	0.8	Nickel refinery dust
	12035-72-2	A	1	1.7	US EPA (1987)	0.4	Nickel subsulfide
	7439-92-1	B2	2A	8.5x10 <sup>-3</sup>	Kidney tumor Azae et al (1973)	15	Lead and compounds (inorganic)
	78-00-2	-	3	-	-	-	-
鉛	Pb 301-04-2	-	2A	0.28	No significant increases in tumors Koller et al (1985) Kidney tumor	23	Lead acetate
	1335-32-6	-	2A	0.038	Kasprzak et al (1985), Van Esch et al (1962)	41	Lead subacetate
	7446-27-7	-	2A	0.012	-	58	Lead phosphate
アンチモン	Sb 7440-36-0	-	-	-	-	-	-
	7782-49-2	D	3	-	-	-	-
セレン	Se 12039-52-0	D	-	-	-	-	-
	7783-00-8	D	-	-	-	-	-
	7446-34-6	B2	-	-	-	-	-
バナジウム	V 1314-62-1	-	-	-	-	-	-
	7440-66-6	D	-	-	-	-	-
亜鉛	Zn 12122-67-7	-	3	-	-	-	-

EPA A: Human carcinogen, ヒトに対する発がん性物質

B1: Probable human carcinogen - based on limited evidence of carcinogenicity in humans, 疫学研究から限定されたヒトに対する発がん性を示す証拠がある物質

B2: Probable human carcinogen - based on sufficient evidence of carcinogenicity in animals, 動物で十分な証拠があり、かつ疫学的研究から、ヒトに対する発がん性の不十分な証拠がある物質、または、証拠がない物質

C: Possible human carcinogen, ヒトへの発がん性がある可能性がある物質

D: Not classifiable as to human carcinogenicity, ヒトに対する発がん性を分類できない物質

IARC 1: Carcinogenic to human, ヒトに対して発がん性がある

2A: Probably carcinogenic to human, ヒトに対しておそらく発がん性がある

2B: Possibly carcinogenic to human, ヒトに対して発がん性があるかもしれない

3: Not classifiable as to carcinogenicity to human, ヒトに対する発がん性を分類できない

4: Probably not carcinogenic to human, ヒトに対しておそらく発がん性がない

EPA: Environmental Protection Agency

IARC: International Agency for Research on Cancer

IRIS: Integrated Risk Information System

OEHHA: Office of Environmental Health Hazard Assessment

RAIS: The Risk Assessment Information System

UR: Unit risk, ユニトリスク(飲水)

SF: Slope Factor, スロープファクター

RL: 10<sup>-5</sup> Risk level, 10<sup>-5</sup> リスクレベル(飲水)

NSRL: No Significant Risk Level, 無有意リスクレベル(飲水)

**R** **CRIEPI**

The image shows a stylized logo in a light gray color. It consists of a large, bold, serif letter 'R' on the left. To its right, the word 'CRIEPI' is written in a smaller, bold, sans-serif font. Two curved lines, resembling a stylized 'S' or a swoosh, are positioned around the text: one above 'CRIEPI' and one below 'R' and 'CRIEPI', connecting them.

表5-3 微量物質の経口曝露による発がん性とそのリスク評価

対象物質	CAS-NO.	発がん性評価		UR (mg/L) <sup>-1</sup> SF (mg/kg/day) <sup>-1</sup>	主研究	物質名
		EPA	IARC			
アセトアルデヒド	75-07-0	B2	2B	-	-	-
ヒ素	As 7440-38-2	A	1	UR: 5.00X10 <sup>-2</sup> SF: 1.50	skin cancer U.S. EPA (1988)	Arsenic, Inorganic
ホウ素	B 7440-42-8	-	-	-	-	-
ベンゾ[a]ピレン	Bap 50-32-8	B2	1	SF: 7.30	forestomach squamous cell papillomas and carcinomas Neal and Rigdon (1967)	Benzol[a]pyrene
ベンゼン	71-43-2	A	1	SF: 5.50X10 <sup>-2</sup>	leukemia U.S. EPA (1999)	Benzene
ベリリウム	Be 7440-41-7 1304-56-9 13510-19-1	B1	1	SF: 4.30	-	Beryllium and compounds
カドミウム	Cd 7440-43-9	B1	1	-	-	-
コバルト	Co 7440-48-4	-	2B	-	-	-
クロム	Cr 18540-29-9 16065-83-1	D D	1 3	-	-	-
銅	Cu 10380-28-6	-	3	-	-	-
フッ素	7681-49-4	-	3	-	-	-
	75-88-7	-	3	-	-	-
	51-21-8	-	3	-	-	-
	75-45-6	-	3	-	-	-
	593-70-4	-	3	-	-	-
1582-09-8	-	C	3	-	-	-
75-38-7	-	3	-	-	-	-
ホルムアルデヒド	50-00-0	B1	1	-	-	-
塩化水素	HCl 7647-01-0	-	3	-	-	-
水銀	7439-97-6	-	-	-	-	-
	Hg 22967-92-6 7487-94-7	C C	2B -	-	-	-
マンガン	Mn 7439-96-5 12427-38-2	D -	3 -	-	-	-
モリブデン	Mo 7439-98-7	-	-	-	-	-
ニッケル	7440-02-0	-	2B	-	-	-
	Ni 12035-72-2	A A	1 -	-	-	-
鉛	7439-92-1	B2	2A	-	-	-
	Pb 78-00-2	-	3	-	-	-
アンチモン	301-04-2	-	2A	-	-	-
	Sb 1335-32-6	-	2A	-	-	-
セレン	7446-27-7	-	2A	-	-	-
	Se 7782-49-2 12039-52-0 7783-00-8 7446-34-6	- D D D	- 3 - B2	- - - -	- - - -	- - - -
バナジウム	V 1314-62-1	-	-	-	-	-
亜鉛	7440-66-6	D	-	-	-	-
	Zn 12122-67-7	-	3	-	-	-

EPA A: Human carcinogen, ヒトに対する発がん性物質

B1: Probable human carcinogen - based on limited evidence of carcinogenicity in humans, 疫学研究から限定されたヒトに対する発がん性を示す証拠がある物質

B2: Probable human carcinogen - based on sufficient evidence of carcinogenicity in animals, 動物で十分な証拠があり、かつ疫学的研究から、ヒトに対する発がん性の不十分な証拠がある物質、または、証拠がない物質

C: Possible human carcinogen, ヒトへの発がん性がある可能性のある物質

D: Not classifiable as to human carcinogenicity, ヒトに対する発がん性を分類できない物質

IARC 1: Carcinogenic to human, ヒトに対して発がん性がある

2A: Probably carcinogenic to human, ヒトに対しておそらく発がん性がある

2B: Possibly carcinogenic to human, ヒトに対して発がん性があるかもしれない

3: Not classifiable as to carcinogenicity to human, ヒトに対する発がん性を分類できない

4: Probably not carcinogenic to human, ヒトに対しておそらく発がん性がない

EPA: Environmental Protection Agency

IARC: International Agency for Research on Cancer

IRIS: Integrated Risk Information System

OEHHA: Office of Environmental Health Hazard Assessment

RAIS: The Risk Assessment Information System

UR: Unit risk, ユニットリスク(飲水)

SF: Slope Factor, スロープファクター

RL: 10<sup>-5</sup> Risk level, 10<sup>-5</sup> リスクレベル(飲水)

NSRL: No Significant Risk Level, 無有意リスクレベル(飲水)

**R** **CRIEPI**

The image shows a stylized logo in a light gray color. It consists of a large, bold, serif letter 'R' on the left. To its right, the word 'CRIEPI' is written in a smaller, bold, sans-serif font. Two curved lines, one above and one below, sweep across the space between the 'R' and 'CRIEPI', framing the text.

表6-1 微量物質の経口曝露による非発がん性とそのリスク評価

対象物質	CAS-NO.	IRIS		MCL (mg/L)	物質名
		RFD (mg/kg/day)	主研究		
アトアルテト	75-07-0				
ヒ素 As	7440-38-2	NOAEL: 0.0008(mg/kg/day)	UF=3 MF=1	3x10 <sup>-4</sup>	Hyperpigmentation, keratosis and possible vascular complications Human chronic oral exposure, Tseng (1977) Tseng et al (1968)
ホウ素 B	7440-42-8	BMDL <sub>05</sub> : 10.3(mg/kg/day)	UF=66	2x10 <sup>-1</sup>	Decreased fetal weight (developmental) Rat dietary gestational exposure to boric acid, Price et al (1996a), Heindel et al (1992)
ベンジ[a]ピレン Bap	50-32-8				
ベンゼン	71-43-2	BMDL: 1.2 mg/kg-day	UF=300 MF=1	4.0X10 <sup>-3</sup>	Human occupational inhalation study, Rothman et al (1996)
ベリリウム Be	7440-41-7	BMDL <sub>05</sub> : 0.46(mg/kg/day)	UF=300 MF=1	2x10 <sup>-3</sup>	Small intestinal lesions Dog dietary study, Morgareidge et al (1976)
カドミウム Cd	7440-43-9	NOAEL: 0.005(mg/kg/day)	UF=10 MF=1	5x10 <sup>-4</sup>	Significant proteinuria
		NOAEL: 0.01(mg/kg/day)	UF=10 MF=1	1x10 <sup>-3</sup>	Human studies involving chronic exposures, US EPA (1985)
コバルト Co	7440-48-4				
クロム Cr	18540-29-9	NOALE(ADJ): 2.5(mg/kg/day)	UF=300 MF=3	3x10 <sup>-3</sup>	None reported
	16085-83-1	NOALE(ADJ): 1468(mg/kg/day)	UF=100 MF=10	1.5	Rat 1-year drinking water study, MacKenzie et al (1958) No effects observed
	7440-47-3				Rat chronic feeding study, Ivanovic and Preussman (1975)
銅 Cu	7440-50-8	NOAEL: 5(mg/kg/day)	UF=1000 MF=1	5X10 <sup>-3</sup>	Decreased body and organ weights, histopathologic alterations in liver and kidney
	544-92-3	LOAEL: 15(mg/kg/day)	UF=100 MF=1	2x10 <sup>-1</sup>	Reduced body weight Rat chronic oral study, Sherman (1974)
	75-71-8	NOAEL: 15(mg/kg/day)	UF=10 MF=1	3x10	Epidemiologic study: human occupational exposure, Imbus and Adkins (1972)
フッ素 F	75-69-4	LOAEL: 349(mg/kg/day)	UF=1000 MF=1	3x10 <sup>-1</sup>	Survival and histopathology Cancer bioassay studies in rats and mice, NCI (1978)
	1582-09-8	NOAEL: 0.75(mg/kg/day)	UF=100 MF=1	7.5x10 <sup>-3</sup>	Increased liver weights; increase in methemoglobin
	7782-41-4	NOAEL: 0.06(mg/kg/day)	UF=1 MF=1	6X10 <sup>-2</sup>	12-month dog feeding study, Hoechst Aktiengesellschaft (1984) Objectionable dental fluorosis, a cosmetic effect
	7681-49-4				Epidemiologic study in children, Hodge (1950), Underwood (1977)
	7684-39-3				
ホルムアルデヒド	50-00-0	NOAEL: 15 mg/kg-day	UF=100 MF=1	2X10 <sup>-1</sup>	Reduced weight gain, histopathology in rats Rat 2-year bioassay, Til et al (1989)
塩化水素 HCl	7647-01-0				
水銀 Hg	22967-92-6	BMDL <sub>05</sub> : 0.000857 (mg/kg/day)	UF=10 MF=1	1x10 <sup>-4</sup>	Developmental neuropsychological impairment Human epidemiological studies, Grandjean et al (1997) Budtz- Jorgensen et al (1999)
	7439-97-6	BMDL <sub>05</sub> : 0.001472 (mg/kg/day)	UF=10 MF=1	1x10 <sup>-4</sup>	Increased thyroid weight 6-month monkey feeding study, Rohm and Haas Co (1977), Maneb Task Force (1986)
マンガン Mn	7487-94-7	LOAEL: 0.317(mg/kg/day)	UF=1000 MF=1	3X10 <sup>-4</sup>	Autoimmune effects Rat subchronic feeding and subcutaneous studies, US EPA (1987)
モリブデン Mo	7439-98-7	LOAEL: 0.14(mg/kg/day)	UF=30 MF=1	5x10 <sup>-3</sup>	Increased uric acid levels Human 6-year to lifetime dietary exposure study, Kovalskiy et al (1961)
ニッケル Ni	7440-02-0	NOAEL: 5(mg/kg/day)	UF=300 MF=1	2x10 <sup>-2</sup>	Decreased body and organ weights Rat chronic oral study, Ambrose et al (1976)
鉛 Pb	7439-92-1	LOAEL: 0.0012(mg/kg/day)	UF=10000 MF=1	1x10 <sup>-7</sup>	Histopathology of liver and thymus Rat subchronic study, Schepers (1964)
アンチモン Sb	7440-36-0	LOAEL: 0.35(mg/kg/day)	UF=1000 MF=1	4x10 <sup>-4</sup>	Longevity, blood glucose, and cholesterol Rat chronic oral bioassay, Schroeder et al (1970)
セレン Se	7782-49-2	NOAEL: 0.015(mg/kg/day)	UF=3 MF=1	5x10 <sup>-3</sup>	Clinical selenosis
	7783-00-8	NOAEL: 0.015(mg/kg/day)	UF=3 MF=1	5X10 <sup>-3</sup>	Human epidemiological study, Yang et al (1989b) Clinical selenosis
バナジウム V	7440-62-2				Human epidemiological study, Yang et al (1989b)
	1314-62-1	NOAEL: 0.89(mg/kg/day)	UF=100 MF=1	9x10 <sup>-3</sup>	Decreased hair cystine Rat chronic oral study, Stokinger et al (1953)
	7440-66-6	LOAEL: 0.91(mg/kg/day)	UF=3 MF=1	0.3	Decreases in erythrocyte Cu, Zn-superoxide dismutase (ESOD) activity
亜鉛 Zn	557-21-1	NOAEL: 24.3(mg/kg/day)	UF=100 MF=5	5X10 <sup>-2</sup>	Healthy adult male and female volunteers, Yadrick et al (1989), Fischer et al (1984), Davis et al (2000), Mine et al (2001)
	1314-84-7	LOAEL: 3.48(mg/kg/day)	UF=10000 MF=1	3X10 <sup>-4</sup>	No observed effect Rat chronic oral study, Howard and Hanzal (1955) Reduction of food intake and body weight
	12122-67-7	LOAEL: 25(mg/kg/day)	UF=500 MF=1	5X10 <sup>-2</sup>	Rat subchronic oral study, Bai et al (1980) Thyroid hyperplasia Rat chronic oral bioassay, Blackwell-Smith et al (1953)

UF: Uncertainty Factor, 不確実性係数

MF: Modifying Factor, 修正係数

NOAEL: 無毒性量

LOAEL: 最小毒性量

BMD: Benchmark Dose, ベンチマーク用量

RFD: Reference Dose, 参照用量

BMDL<sub>05</sub>: Lower confidence limit on the effective dose, 影響用量の安全側信頼限界

BMDL<sub>10</sub>: Lower confidence limit on the effective dose to produce a 5 % response, 5%影響用量の安全側信頼限界

IRIS: IRIS Database for Risk Assessment

OEHA: Office of Environmental Health Hazard Assessment

WHO: World Health Organization, 世界保健機関

JECFA: Joint FAO/WHO expert committee on Food Additives

MCL: Maximum Contamination Level, 最大混入量 (飲水)

REL: Reference Exposure Level, 参照曝露量

MRL: Minimal Risk Level, 最小リスク値

GV: Guideline Value, ガイドライン値 (飲水)

PTWI: Provisional Tolerable Weekly Intake, 暫定的耐容週間摂取量

TDI: Tolerable Daily Intake, 耐容日摂取量

IRVM: National Institute for Public Health and the Environment

ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry

RAIS: The Risk Assessment Information System

**R** **CRIEPI**

The image shows a stylized logo in a light gray color. It consists of a large, bold, serif letter 'R' on the left. To its right, the word 'CRIEPI' is written in a smaller, bold, sans-serif font. Two curved lines, one above and one below, sweep across the space between the 'R' and 'CRIEPI', framing the text.

表6-2 微量物質の経口曝露による非発がん性とそのリスク評価

対象物質	CAS-NO.	OEHHA		ATSDR	
		REL ( $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ )	主研究	Factor ( $\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$ )	MRL ( $\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$ )
アセトアルデヒド*	75-07-0	-	-	-	-
ヒ素	As 7440-38-2	0.0035	Decrease in intellectual function, adverse effects on neurobehavioral development, Human (Children) Wasserman et al (2004), Tsai et al (2003)	3	$0.3 \times 10^{-3}$
ホウ素	B 7440-42-8	-	-	-	-
ベンゾ[a]ピレン Bap	50-32-8	-	-	-	-
ベンゼン	71-43-2	-	-	10	0.03ppm
ベリリウム	Be 7440-41-7	2	Small intestinal lesions, Dogs Morgareidge et al (1976)	300	$0.2 \times 10^{-2}$
カドミウム	Cd 7440-43-9	0.5	Significant proteinuria, Human US EPA (1985)	10	$0.2 \times 10^{-3}$
コバルト	Co 7440-48-4	-	-	-	-
クロム	Cr 18540-29-9 16065-83-1 7440-47-3	20	No adverse effects seen, Rats Mackenzie et al (1958)	-	-
銅	Cu 7440-50-8 544-92-3	-	-	-	-
フッ素	F 7681-49-4	-	-	3	0.05
ホルムアルデヒド*	50-00-0	40	Skeletal fluorosis, Human Dean (1942), US Public Health Service (1991), National Research Council (1993)	100	0.2
塩化水素	HCl 7647-01-0	-	-	-	-
水銀	Hg 22967-92-6 7439-97-6	0.16	decreases in body weight gains and increases in absolute and relative kidney weights, Rats NTP (1993)	4	$0.3 \times 10^{-3}$
マンガン	Mn 7439-96-5 12427-38-2	-	-	-	-
モリブデン	Mo 7439-98-7	-	-	-	-
ニッケル	Ni 7440-02-0	50	Decreased body and organ weight, Rats Ambrose et al (1976)	-	-
鉛	Pb 7439-92-1 78-00-2	28.6( $\mu\text{g}/\text{day}$ ) (for children) CDC (1991)	Intelligence deficits in children, (inorganic)	-	-
アンチモン	Sb 7440-36-0	-	-	-	-
セレン	Se 7782-49-2 7783-00-8 7440-62-2 1314-62-1	5	Clinical selenosis (liver, blood, skin CNS), Human Yang et al (1989a)	3	0.005
バナジウム	V 7440-66-6 557-21-1 1314-84-7 12122-67-7	-	-	3	0.3

UF: Uncertainty Factor, 不確実性係数

MF: Modifying Factor, 修正係数

NOAEL: 無毒性量

LOAEL: 最小毒性量

BMD: Benchmark Dose, ベンチマーク用量

RfD: Reference Dose, 参照用量

BMDL: Lower confidence limit on the effective dose, 影響用量の安全側信頼限界

BMDL<sub>05</sub>: Lower confidence limit on the effective dose to produce a 5 % response, 5%影響用量の安全側信頼限界

MCL: Maximum Contamination Level, 最大混入量 (飲水)

REL: Reference Exposure Level, 参照曝露量

MRL: Minimal Risk Level, 最小リスク値

GV: Guideline Value, ガイドライン値 (飲水)

PTWI: Provisional Tolerable Weekly Intake, 暫定的耐容週間摂取量

TDI: Tolerable Daily Intake, 耐容日摂取量

IRIS: IRIS Database for Risk Assessment

OEHHA: Office of Environmental Health Hazard Assessment

WHO: World Health Organization, 世界保健機関

JECFA: Joint FAO/WHO expert committee on Food Additives

RIVM: National Institute for Public health and the Environment

ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry

RAIS: The Risk Assessment Information System

**R** **CRIEPI**

The image shows a stylized logo in a light gray color. It consists of a large, bold, serif letter 'R' on the left. To its right, the word 'CRIEPI' is written in a smaller, bold, sans-serif font. Two curved lines, one above and one below, sweep across the space between the 'R' and 'CRIEPI', framing the text.

表6-3 微量物質の経口曝露による非発がん性とそのリスク評価

対象物質 アセトアルデヒド*	CAS-NO. 75-07-0	TDI ( $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ )	RVM		物質名	RfD ( $\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$ )	RAIS		物質名
			Endpoint	Factor			主研究		
ヒ素	As 7440-38-2	1.0	Dermal effects Vermeire et al. (1991)		Arsenic (inorganic)	$3.00 \times 10^{-4}$	MF=1 UF=3	Hyperpigmentation, keratosis, and possible vascular complications Tseng (1977)	Arsenic, Inorganic
ホウ素	B 7440-42-8	-	-	-	-	-	-	-	-
ベンゾ[a]ピレン	Bap 50-32-8	-	-	-	-	-	-	-	-
ベンゼン	71-43-2	CR: 3.3	Leukaemia RVM (1987, 1994), Vermeire et al (1991), Vermeire (1993)		Benzene	$4.00 \times 10^{-3}$	MF=1 UF=300	decreased lymphocyte count Rothman et al (1996)	Benzene
ベリリウム	Be 7440-41-7	-	-	-	-	$2.00 \times 10^{-3}$	MF=1 UF=300	Small intestine lesions Morgareidge et al (1976)	Beryllium and compounds
カドミウム	Cd 7440-43-9	0.5	Renal tubular dysfunction Vermeire et al. (1991)		Cadmium	$1.00 \times 10^{-3}$ (diet) $5.00 \times 10^{-4}$ (water)	MF=1 UF=10	Significant proteinuria US EPA (1985)	Cadmium
コバルト	Co 7440-48-4	1.4	Cardiomyopathy Vermeire et al (1991)		Cobalt	-	-	-	-
	18540-29-9	5	Non-cancer effects IRIS (1996)		Chromium VI	-	-	-	-
	16065-83-1	5000	NOAEL Vermeire et al. (1991)		Chromium III	-	-	-	-
		5	NOAEL Vermeire et al. (1991)		Metallic and insoluble compounds Chromium III	-	-	-	-
クロム	Cr		Vermeire et al. (1991)		soluble compounds	-	-	-	-
	7440-47-3	-	-	-	-	1.50	MF=10 UF=100	Ivankovic and Preussman (1975)	Chromium III (Insoluble salts)
銅	Cu 7440-50-8 544-92-3	140	Decreased body weight Vermeire et al. (1991)		Copper	$4.00 \times 10^{-2}$	-	-	Copper
	75-71-8	-	-	-	-	-	-	-	-
	76-13-1	-	-	-	-	-	-	-	-
	75-69-4	-	-	-	-	-	-	-	-
フッ素	F 1582-09-8 7782-41-4 7661-49-4 7664-39-3	-	-	-	-	$3.00 \times 10^{-3}$	MF=3 UF=300	MacKenzie et al (1958)	Chromium VI (Chronic acid mists)
		-	-	-	-	$3.00 \times 10^{-3}$	MF=3 UF=300	None observed	Chromium VI (Particulates)
		-	-	-	-	$4.00 \times 10^{-2}$	-	-	Copper
ホルムアルデヒド*	50-00-0	-	-	-	-	-	-	-	-
塩化水素	HCl 7647-01-0	-	-	-	-	-	-	-	-
	22967-92-6	0.1	Developmental effect ATSDR (1999)		Mercury organic	$1.00 \times 10^{-4}$	MF=1 UF=10	Developmental neurologic abnormalities in infants Seafood Safety (1991)	Methyl mercury
水銀	Hg 7439-97-6 7487-94-7	2	Renal effect NTP (1996)		Mercury inorganic	$3.00 \times 10^{-4}$	MF=1 UF=30	Hand tremor, memory disturbance, objective autonomic dysfunction Liang et al (1993)	Mercury
		-	-	-	-	-	-	-	-
マンガン	Mn 7439-96-5 12427-38-2	-	-	-	-	$1.40 \times 10^{-1}$ (diet) $4.60 \times 10^{-2}$ (water)	MF=1 UF=1	CNS effects NRC (1989)	Manganese
モリブデン	Mo 7439-98-7	10	Urinary excretion WHO (1996)		Molybdenum	$5.00 \times 10^{-3}$	MF=1 UF=30	Increased uric acid levels Kovalskiy et al (1961)	Molybdenum
ニッケル	Ni 7440-02-0	50	NOAEL Vermeire et al. (1991)		Nickel	$2.00 \times 10^{-2}$	MF=1 UF=300	Decreased body and organ weight Ambrose et al (1976)	Nickel Soluble Salts
鉛	Pb 7439-92-1 78-00-2	3.6	Intelligence quotients FAO/WHO (1993), IPCS (1995)		Lead and lead compounds (as lead)	-	-	-	-
アンチモン	Sb 7440-36-0	-	-	-	-	$4.00 \times 10^{-4}$	MF=1 UF=1000	Longevity, blood glucose, and cholesterol Schroeder et al (1970)	Antimony (metallic)
セレン	Se 7782-49-2 7783-00-8	-	-	-	-	$5.00 \times 10^{-3}$	MF=1 UF=3	clinical selenosis Yang et al (1989)	Selenium
バナジウム	V 7440-62-2 1314-62-1	-	-	-	-	$7.00 \times 10^{-3}$ $9.00 \times 10^{-3}$	MF=1 UF=100 MF=1 UF=100	US EPA (1987) Decreased hair cystine Stokinger et al (1953)	Vanadium, Metallic Vanadium Pentoxide
		-	-	-	-	$2.00 \times 10^{-2}$	MF=1 UF=100	US EPA (1987)	Vanadium Sulfate
亜鉛	Zn 7440-66-6 557-21-1 1314-84-7 12122-67-7	500	Hematological effects European Commission (1994), Health Council of The Netherlands (1998)		Zinc	$3.00 \times 10^{-1}$	MF=1 UF=3	47% decrease in ESOD concentration in adult females after 10 weeks Yadrick et al (1989)	Zinc, Metallic
		-	-	-	-	$5.00 \times 10^{-2}$	MF=5 UF=100	Weight loss, thyroid effects, and myelin degeneration Howard and Hanzal (1955)	Zinc Cyanide
		-	-	-	-	$3.00 \times 10^{-4}$	MF=1 UF=10000	Reduction of food intake and body weight Baj et al (1980)	Zinc Phosphide

UF: Uncertainty Factor, 不確実性係数

MF: Modifying Factor, 修正係数

NOAEL: 無毒性量

LOAEL: 最小毒性量

BMD: Benchmark Dose, ベンチマーク用量

RfD: Reference Dose, 参照用量

BMDL: Lower confidence limit on the effective dose, 影響用量の安全側信頼限界

BMDL<sub>05</sub>: Lower confidence limit on the effective dose to produce a 5 % response, 5%影響用量の安全側信頼限界

MCL: Maximum Contamination Level, 最大混入量 (飲水)

REL: Reference Exposure Level, 参照曝露量

MRL: Minimal Risk Level, 最小リスク値

GV: Guideline Value, ガイドライン値 (飲水)

PTWI: Provisional Tolerable Weekly Intake, 暫定的耐容週間摂取量

TDI: Tolerable Daily Intake, 耐容日摂取量

CR:  $1 \times 10^{-4}$  excess lifetime cancer risk

IRIS: IRIS Database for Risk Assessment

OEHA: Office of Environmental Health Hazard Assessment

WHO: World Health Organization, 世界保健機関

JECFA: Joint FAO/WHO expert committee on Food Additives

RVM: National Institute for Public Health and the Environment

ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry

RAIS: The Risk Assessment Information System

**R** **CRIEPI**

The image shows a stylized logo in a light gray color. It consists of a large, bold, serif letter 'R' on the left. To its right, the word 'CRIEPI' is written in a smaller, bold, sans-serif font. Two curved lines, one above and one below, sweep across the space between the 'R' and 'CRIEPI', framing the text.

表6-4 微量物質の経口曝露による非発がん性とそのリスク評価

対象物質	CAS-NO.	WHO/JECFA		日本、水道水		European Communities	
		GV (µg/L) PTWI (mg/kg)	物質名	水質基準 (mg/L) 管理目標 (mg/L) 要検討	物質名	The Quality of Water Parametric Value	物質名
アセトアルデヒド	75-07-0	-	-	要検討	アセトアルデヒド	-	-
ヒ素	7440-38-2	GV: 10 (Provisional) PTWI: 0.015	Arsenic	水質基準:0.01	ヒ素およびその化合物	10µg/L	Arsenic
ホウ素	7440-42-8	GV: 500 (Provisional)	Boron	水質基準:1.0	ホウ素およびその化合物	1.0mg/L	Boron
ベンゾ[a]ピレン Bap	50-32-8	GV: 0.7	Polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs)	-	-	0.010µg/L	Benzo[a]pyrene
ベンゼン	71-43-2	GV: 10	Benzene	水質基準: 0.01	ベンゼン	1.0µg/L	Benzene
ベリリウム	7440-41-7	-	Beryllium	-	-	-	-
カドミウム	7440-43-9	GV: 3 PTWI: 0.007	Cadmium	水質基準:0.01	カドミウムおよびその化合物	5.0µg/L	Cadmium
コバルト	7440-48-4 18540-29-9 16065-83-1	-	-	水質基準:0.05	六価クロム化合物	-	-
クロム	Cr	GV: 50 (Provisional)	Chromium	-	-	50µg/L	Chromium
銅	Cu	GV: 2000	Copper	水質基準:1.0	銅及びその化合物	2.0mg/L	Copper
フッ素	F	GV: 20	Trifluoralin	-	-	-	-
ホルムアルデヒド	50-00-0	GV: 900	Formaldehyde	水質基準:0.08	ホルムアルデヒド	-	-
塩化水素	HCl	7647-01-0	-	-	-	-	-
水銀	Hg	22967-92-6	Methylmercury	PTWI: 0.0016	-	-	-
マンガン	Mn	7439-96-5 12427-38-2	Manganese	GV: 400	マンガンおよびその化合物	50µg/L	Manganese
モリブデン	Mo	7439-98-7	Molybdenum	GV: 70	モリブデン	-	-
ニッケル	Ni	7440-02-0	Nickel	GV: 70 GV: 10	ニッケルおよびその化合物	20µg/L	Nickel
鉛	Pb	7439-92-1 78-00-2	Lead	GV: 70 (3.5µg/kg/day) PTWI: 0.025	鉛およびその化合物	10µg/L	Lead
アンチモン	Sb	7440-36-0	Antimony	GV: 20	アンチモンおよびその化合物	5.0µg/L	Antimony
セレン	Se	7782-49-2 7783-00-8	Selenium	GV: 10	セレンおよびその化合物	10µg/L	Selenium
バナジウム	V	7440-62-2 1314-62-1	-	-	-	-	-
亜鉛	Zn	7440-66-6 557-21-1 1314-84-7 12122-67-7	Zinc	Tolerable intake: 0.3-1mg/kg	亜鉛およびその化合物	-	-

UF: Uncertainty Factor, 不確実性係数  
 MF: Modifying Factor, 修正係数  
 NOAEL: 無毒性量  
 LOAEL: 最小毒性量  
 BMD: Benchmark Dose, ベンチマーク用量  
 RfD: Reference Dose, 参照用量  
 BMDL: Lower confidence limit on the effective dose, 影響用量の安全側信頼管理目標  
 BMDL<sub>05</sub>: Lower confidence limit on the effective dose to produce a 5 % response, 5%影響用量の安全側信頼限界

MCL: Maximum Contamination Level, 最大混入量 (飲水)  
 REL: Reference Exposure Level, 参照曝露量  
 MRL: Minimal Risk Level, 最小リスク値  
 GV: Guideline Value, ガイドライン値 (飲水)  
 PTWI: Provisional Tolerable Weekly Intake, 暫定的耐容週間摂取量  
 TDI: Tolerable Daily Intake, 耐容日摂取量  
 管理目標: 水質管理目標設定物質名と目標値  
 要検討: 要検討物質名と目標値

IRIS: IRIS Database for Risk Assessment  
 OEHA: Office of Environmental Health Hazard Assessment  
 WHO: World health Organization, 世界保健機関  
 JECFA: Joint FAO/WHO expert committee on Food Additives

RIVM: National Institute for Public health and the Environment  
 ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry  
 RAIS: The Risk Assessment Information System

**R** **CRIEPI**

The image shows a stylized logo in a light gray color. It consists of a large, bold, serif letter 'R' on the left. To its right, the word 'CRIEPI' is written in a smaller, bold, sans-serif font. Two curved lines, resembling a stylized 'S' or a swoosh, are positioned around the text: one above the 'CRIEPI' and one below it, starting from the bottom of the 'R' and ending under the 'PI'.

表 7. 微量化学物質の吸入曝露における発がん能と標的臓器

調査対象物質 (元素記号)	標的臓器	ユニットリスク ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>-1</sup>	出典
アセトアルデヒド	鼻	$2.7 \times 10^{-6}$	OEHHA
ヒ素 (As)	肺	$4.3 \times 10^{-3}$	IRIS
ホウ素 (B)	-	-	-
ベンゾ[a]ピレン	呼吸器	$1.1 \times 10^{-3}$	OEHHA
ベンゼン	白血病	$2.9 \times 10^{-5}$	OEHHA
ベリリウム (Be)	肺	$2.4 \times 10^{-3}$	IRIS
カドミウム (Cd)	肺	$4.2 \times 10^{-3}$	OEHHA
コバルト (Co)	肺	-	IARC
クロム (Cr)	肺	$1.5 \times 10^{-1}$	OEHHA
銅 (Cu)	-	-	-
フッ素 (F)	-	-	-
ホルムアルデヒド	扁平上皮細胞	$1.3 \times 10^{-5}$	IRIS
水銀 (Hg)	-	-	-
塩化水素 (HCl)	-	-	-
マンガン (Mn)	-	-	-
モリブデン (Mo)	-	-	-
ニッケル (Ni)	肺	$4.8 \times 10^{-4}$	IRIS
鉛 (Pb)	(有意な発がん増加なし)	$8 \times 10^{-5}$	OEHHA
アンチモン (Sb)	-	-	-
セレン (Se)	-	-	-
バナジウム (V)	肺	-	IARC
亜鉛 (Zn)	-	-	-

IRIS : Integrated Risk Information System, OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment, - : 評価値なし

表 8. 微量化学物質の吸入曝露における非発がん毒性の強さと標的臓器

調査対象物質 (元素記号)	標的臓器	指標値 $\text{mg}/\text{m}^3$	指標	出典
アセトアルデヒド	鼻	$9 \times 10^{-3}$	RfC	IRIS
ヒ素 (As)	神経系	$1.5 \times 10^{-5}$	REL	OEHHA
ホウ素 (B)	-	-	-	-
ベンゾ[a]ピレン	-	-	-	-
ベンゼン	白血球	$3 \times 10^{-2}$	RfC	IRIS
ベリリウム (Be)	呼吸器系、免疫系	$7 \times 10^{-6}$	REL	OEHHA
カドミウム (Cd)	腎臓、呼吸器系	$2 \times 10^{-5}$	REL	OEHHA
コバルト (Co)	呼吸器系	$5 \times 10^{-4}$	TCA	RIVM
クロム (Cr)	呼吸器系	$2 \times 10^{-6}$	REL	OEHHA
銅 (Cu)	呼吸器系、免疫系	$1 \times 10^{-3}$	TCA	RIVM
フッ素 (F)	骨格、歯、呼吸器系	$1.3 \times 10^{-2}$	REL	OEHHA
ホルムアルデヒド	呼吸器系、目	$9 \times 10^{-3}$	REL	OEHHA
塩化水素 (HCl)	呼吸器系	$9 \times 10^{-3}$	REL	OEHHA
水銀 (Hg)	中枢神経系、腎臓、免疫系	$3 \times 10^{-5}$	REL	OEHHA
マンガン (Mn)	中枢神経系	$5 \times 10^{-5}$	RfC	IRIS
モリブデン (Mo)	-	-	-	-
ニッケル (Ni)	呼吸器系、免疫系	$2.5 \times 10^{-5}$	指針値	環境省
鉛 (Pb)	心血管系、神経系	$1.5 \times 10^{-3}$	NAAQS	CFR
アンチモン (Sb)	呼吸器系	$2 \times 10^{-4}$	RfC	IRIS
セレン (Se)	消化器系、心血管系、神経系	$2 \times 10^{-2}$	REL	OEHHA
バナジウム (V)	-	-	-	-
亜鉛 (Zn)	-	-	-	-

RfC : Reference Concentration / 参照濃度, REL : Reference exposure level / 参照曝露レベル, NOAEL : 無毒性量, NAAQS : National Ambient Air Quality Standards, US, IRIS : IRIS Database for Risk Assessment, OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment, CFR : Code of Federal Regulation, Title 40-part 50, Section 50.12., US, RIVM : National Institute for Public health and Environment, TCA : Tolerable concentration in air / 気中許容濃度, - : 評価値なし

表 9. 微量化学物質の経口曝露における発がん能と標的臓器

物質名 (元素記号)	標的臓器	リスクファクター (mg/kg/day) <sup>-1</sup>	出典
アセトアルデヒド	口腔、咽頭、食道	-	IARC
ヒ素 (As)	皮膚	1.5	IRIS
ホウ素 (B)	-	-	-
ベンゾ[a]ピレン	胃	12	OEHHA
ベンゼン	白血病	0.1	OEHHA
ベリリウム (Be)	造血、細網細胞肉腫	4.3	RAIS
カドミウム (Cd)	造血系	0.38	OEHHA
コバルト (Co)	肉腫 (投与部位)	-	IARC
クロム (Cr)	胃	0.42	OEHHA
銅 (Cu)	-	-	-
フッ素 (F)	-	-	-
ホルムアルデヒド	胃	-	IARC
塩化水素 (HCl)	-	-	-
水銀 (Hg)	肝臓、食道	-	IARC
マンガン (Mn)	-	-	-
モリブデン (Mo)	-	-	-
ニッケル (Ni)	(US EPA 1987)	1.7	OEHHA
鉛 (Pb)	(有意な発がん増加なし)	0.28	OEHHA
アンチモン (Sb)	-	-	-
セレン (Se)	肝、肺胞・細気管支	-	IRIS
バナジウム (V)	-	-	-
亜鉛 (Zn)	-	-	-

IRIS : Integrated Risk Information System, RAIS : The Risk Assessment Information System, OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment, - : 評価値なし

表 10. 微量化学物質の経口曝露における非発がん毒性の強さと標的臓器

物質名 (元素記号)	標的臓器	指標値 mg/kg/day	指標	出典
アセトアルデヒド	-	-	-	-
ヒ素 (As)	皮膚 (色素沈着)	3X10 <sup>-4</sup>	RfD	IRIS
ホウ素 (B)	胎児体重	2X10 <sup>-1</sup>	RfD	IRIS
ベンゾ[a]ピレン	-	-	-	-
ベンゼン	白血球	4X10 <sup>-3</sup>	RfD	IRIS
ベリリウム (Be)	小腸	2X10 <sup>-3</sup>	RfD	IRIS
カドミウム (Cd)	腎臓 (蛋白尿)	5X10 <sup>-4</sup> (飲水)	RfD	IRIS
コバルト (Co)	心臓	1.4X10 <sup>-3</sup>	TDI	RIVM
クロム (Cr)	(有害性報告なし)	3X10 <sup>-3</sup>	RfD	IRIS
銅 (Cu)	体重	1.4X10 <sup>-1</sup>	TDI	RIVM
フッ素 (F)	骨格	4X10 <sup>-2</sup>	REL	OEHHA
ホルムアルデヒド	体重、病理	2X10 <sup>-1</sup>	RfD	IRIS
塩化水素 (HCl)	-	-	-	-
水銀 (Hg)	発達神経心理	1X10 <sup>-4</sup>	RfD	IRIS
マンガン (Mn)	中枢神経系	1.4X10 <sup>-1</sup>	RfD	IRIS
モリブデン (Mo)	腎臓 (尿酸)	5X10 <sup>-3</sup>	RfD	IRIS
ニッケル (Ni)	体重と臓器重量	2X10 <sup>-2</sup>	RfD	IRIS
鉛 (Pb)	中枢神経系	3.5X10 <sup>-3</sup>	ガイドライン	WHO
アンチモン (Sb)	寿命、血糖値	4X10 <sup>-4</sup>	RfD	IRIS
セレン (Se)	セレン症	5X10 <sup>-3</sup>	RfD	IRIS
バナジウム (V)	体毛中シスチン量	9X10 <sup>-3</sup>	RfD	IRIS
亜鉛 (Zn)	摂餌量、体重	3X10 <sup>-4</sup>	RfD	IRIS

RfD : Reference Dose / 参照濃度, REL : Reference exposure level / 参照曝露レベル, NOAEL : 無毒性量, TDI : Tolerable daily intake / 日許容摂取量, IRIS : IRIS Database for Risk Assessment, OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment, RIVM : National Institute for Public health and Environment, WHO : World Health Organization / 世界保健機関

表 11-1 石炭火力発電所由来微量化学物質の有害性の強さと非発がん毒性閾値のまとめ

発がん性		吸入曝露					
微量化学物質	評価物質名	UR ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-}1$ )	微量化学物質	評価物質名	非発がん毒性 毒性の強さ (REL, RfCなど) $\text{mg}/\text{m}^3$	評価物質名	毒性閾値 $\text{mg}/\text{m}^3$
クロム	六価クロム	$1.5 \times 10^{-1}$	クロム	三酸化クロムミスト	$2 \times 10^{-6}$	ベリリウム化合物	$2 \times 10^{-4}$
ヒ素	無機ヒ素	$4.3 \times 10^{-3}$	ベリリウム	ベリリウム化合物	$7 \times 10^{-6}$	ヒ素化合物	$2.3 \times 10^{-4}$
カドミウム	カドミウム	$4.2 \times 10^{-3}$	ヒ素	ヒ素化合物	$1.5 \times 10^{-5}$	カドミウム化合物	$5 \times 10^{-4}$
ベリリウム	ベリリウム化合物	$2.4 \times 10^{-3}$	カドミウム	カドミウム化合物	$2 \times 10^{-5}$	三酸化クロムミスト	$6.8 \times 10^{-4}$
ベンゾ[a]ピレン	ベンゾ[a]ピレン	$1.1 \times 10^{-3}$	ニッケル*	ニッケル化合物	$2.5 \times 10^{-5}$	ニッケル化合物	$1.6 \times 10^{-3}$
ニッケル	二硫化ニッケル	$4.8 \times 10^{-4}$	水銀	水銀	$3 \times 10^{-5}$	水銀	$9 \times 10^{-3}$
鉛	酢酸鉛	$8 \times 10^{-5}$	マンガン	マンガン	$5 \times 10^{-5}$	コバルト	$5 \times 10^{-2}$
ベンゼン	ベンゼン	$2.9 \times 10^{-5}$	アンチモン	三酸化アンチモン	$2 \times 10^{-4}$	マンガン	$5 \times 10^{-2}$
ホルムアルデヒド	ホルムアルデヒド	$1.3 \times 10^{-5}$	コバルト	コバルト	$5 \times 10^{-4}$	セレン化合物	$5.2 \times 10^{-2}$
アセトアルデヒド	アセトアルデヒド	$2.7 \times 10^{-6}$	銅	銅	$1 \times 10^{-3}$	三酸化アンチモン	$7.4 \times 10^{-2}$
コバルト	コバルト化合物	○	鉛	鉛	$1.5 \times 10^{-3}$	ホルムアルデヒド	$9 \times 10^{-2}$
バナジウム	五酸化バナジウム	○	アセトアルデヒド	アセトアルデヒド	$9 \times 10^{-3}$	銅	$1 \times 10^{-1}$
			ホルムアルデヒド	ホルムアルデヒド	$9 \times 10^{-3}$	フッ化水素を含むフッ素	$1.3 \times 10^{-1}$
			塩化水素	塩化水素	$9 \times 10^{-3}$	塩化水素	$8.6 \times 10^{-1}$
			フッ素	フッ化水素を含むフッ素	$1.3 \times 10^{-2}$	アセトアルデヒド	8.7
			セレン	セレン化合物	$2 \times 10^{-2}$	ベンゼン	8.2
			ベンゼン	ベンゼン	$3 \times 10^{-2}$		

UR:ユニトリスク、REL:参照曝露レベル、RfC:参照濃度、○:発がん性ありだがリスク値なし

\*1: 環境省指針値(毒性閾値はOEHHHAのREL)

表 11-2 石炭火力発電所由来微量化学物質の有害性の強さと非発がん毒性の強さと非発がん毒性閾値のまとめ

		経口曝露			
微量化学物質	評価物質名	SF (mg/kg/day) <sup>-1</sup>	微量化学物質	非発がん毒性	
				毒性の強さ (RfDなど) mg/kg/day	毒性閾値 mg/kg/day
ベンゾ[a]ピレン	ベンゾ[a]ピレン	12	水銀	メチル水銀	無機ヒ素
ベリリウム	ベリリウム化合物	4.3	ヒ素	無機ヒ素	メチル水銀
ニッケル	二硫化ニッケル	1.7	亜鉛	リン化亜鉛	カドミウム(飲水中)
ヒ素	無機ヒ素	1.5	アンチモン	アンチモン	セレン化合物
クロム	六価クロム	0.42	カドミウム	カドミウム(飲水中)	コバルト
カドミウム	カドミウム	0.38	コバルト	コバルト	フッ化水素を含むフッ素
鉛	酢酸鉛	0.28	ベリリウム	ベリリウム化合物	マンガン
ベンゼン	ベンゼン	0.1	クロム	六価クロム	モリブデン
アセトアルデヒド	アセトアルデヒド	○	鉛 <sup>*1</sup>	鉛	アンチモン
コバルト	コバルト	○	ベンゼン	ベンゼン	アンチモン
ホルムアルデヒド	ホルムアルデヒド	○	モリブデン	モリブデン	ベリリウム化合物
水銀	メチル水銀	○	セレン	セレン化合物	五酸化バナジウム
セレン	硫化セレン	○	バナジウム	五酸化バナジウム	ベンゼン
			ニッケル	ニッケル水溶性塩	六価クロム
			フッ素	フッ化水素を含むフッ素	リン化亜鉛
			銅	銅	銅
			マンガン	マンガン	ニッケル水溶性塩
			ホウ素	ホウ素化合物	ホウ素化合物
			ホルムアルデヒド	ホルムアルデヒド	ホルムアルデヒド

SF: スロープファクター、RfD: 参照用量、○: 発がん性ありだがリスク値なし

\*1: WHO ガイドライン

## 4. 吸入曝露における MOE リスク判定

22 微量化学物質のうち排出原単位が明らかな 14 物質の吸入曝露の非発がん毒性に関し、既報（朝倉ら、2004）の曝露量評価データを用い MOE によるリスク判定を行った。既報の曝露量評価のスキームを図 9 に示し、その内容を以下に簡略に記した。

なおこの吸入曝露の MOE リスク判定は既報（朝倉ら、2004）で使われた 9 年前の曝露実態データに基づいており、今後、多経路曝露評価モデルを用いて経口曝露も加えた曝露量評価を行う予定であることから、ここでは試行的に実施するものである。

### 4.1. 曝露量評価

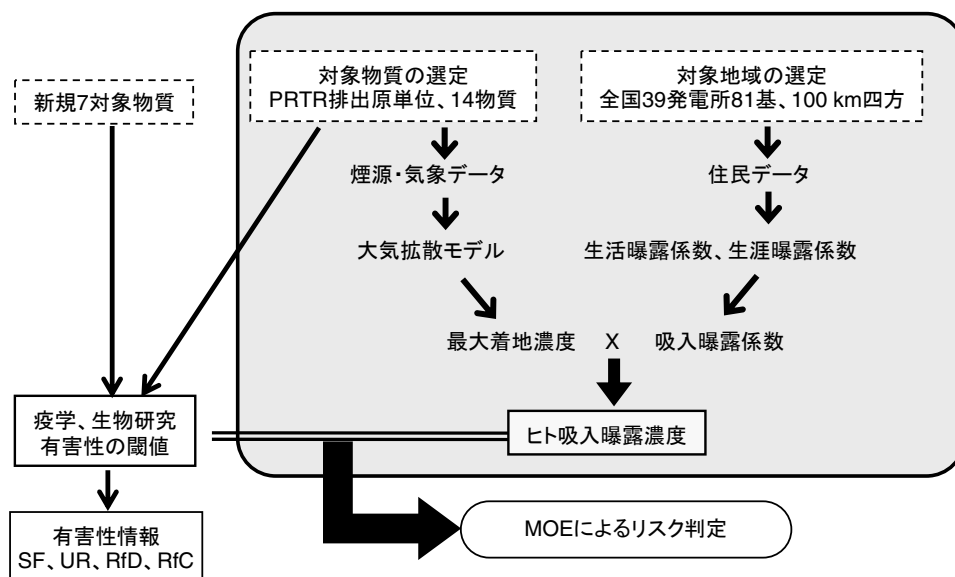
#### 4.1.1. 排出原単位と大気拡散モデル

評価対象の 22 物質のうち PRTR 対象物質である 14 物質の排出量計算は、同法で公開（表 1）されている排出原単位を用いた。なお、塩化水素およびベンゾ[a]ピレンについては、当所が収集した実測データを解析して排出原単位を求め、

曝露濃度まで計算した。

本報告では全国の石炭火力発電所を対象に微量物質の吸入リスクを計算するため、経済産業省資源エネルギー庁が編集した 2000 年 3 月 31 日現在の運転・建設状況を参照して、発電施設 83 基（電力 11 社設備 70 基、共同火力発電会社設備 13 基、合計出力 40,930MW）からリプレース予定の 2 基を引いた 81 基（煙源は 39 発電所、50 ヶ所）を計算対象とした。

排出される微量化学物質の平均着地濃度（年平均着地濃度）は、環境庁「窒素酸化物総量規制マニュアル」採用の大気拡散モデルで計算した。このモデルは、発電施設に係わる環境影響調査の長期平均濃度計算手法として広く用いられている。拡散計算式は、無風時は簡易パフ式、弱風時・有風時は長期平均ブルーム式を用いた。拡散計算の気象データ（風向・風速・大気安定度）は、発電所の煙源近傍もしくは、最寄りの気象庁観測地点の地上観測データを用いた。対象地域は、発電所を中心とする 100 km×100 km の領域とし、1 km メッシュ格子点上の着地濃度、および対象地域における人居住地域での最大着地濃度を計算した。



SF: スロープファクター、UR: ユニットリスク、RfD: 参照濃度、RfC: 参照用量、MOE: 曝露マージン

図 9. 曝露量評価の流れ

#### 4.1.2. 吸入曝露係数と曝露濃度

排煙に起因する化学物質の吸入曝露評価では、通常、評価対象地域の最大着地濃度を用いるが、さらに本研究では、居住環境や行動様式などを反映した住民の実質的な曝露量を用いるために、屋内における最大着地濃度の低減効果や個人が屋内・屋外で過ごす生活時間等を考慮した吸入曝露係数を計算した。

$$\text{吸入曝露係数} = \text{合理的個人曝露量} / \text{最大個人曝露量}$$

吸入曝露係数は、屋内曝露係数（屋外に対する屋内の曝露濃度の比率）、生活曝露係数（日常の行動様式を反映した曝露量の比率）、生涯曝露係数（生涯のライフスタイル変化を考慮した曝露量の比率）、から算出した。

一般に、屋内における物質濃度は屋外における濃度より低下する。これは物質が屋内での粒子吸着や重力沈降により室内壁面や床面に吸着したり、換気の吸気排気におけるフィルタリングで除粒子されたりすることによる。本研究では、国立環境研究所の報告を基に屋内曝露係数として0.7を採用した。

生活曝露係数は、日本人の生活様式を反映して屋内・屋外で過ごす生活時間が考慮される。ここでは総理府社会生活基本調査から、幼児、学生、屋外労働者、屋内労働者、無業者の生活様式を設定し、各集団が屋内・屋外で過ごす生活時間と屋内曝露係数(0.7)および屋外曝露係数(1.0)を用いて生活曝露係数を求めた(表12)。

生涯曝露係数には、日本人のライフスタイル（就業状態の変化）が反映される。曝露集団として、屋外労働者、屋内労働者、無業者の3つの集団を想定し、年齢区分を考慮した就業状態を設定して、生涯曝露係数を算出した(表13)。

本研究では、最大着地濃度(mg/m<sup>3</sup>)は人が居住する地域における地表濃度の最大値を、吸入曝露係数は生涯を通して最も高濃度な曝露集団である屋外労働者の0.773を用いた。

個人が微量物質に生涯曝露したときの曝露濃度は下式で計算される。

$$\text{曝露濃度} = \text{最大着地濃度} \times \text{吸入曝露係数}$$

各物質の最大着地濃度と計算の結果得られた曝露濃度を表14に示した。

表12 生活様式を考慮した生活曝露係数

生活様式	屋内にいる時間の割合	屋内曝露係数:A (屋内時間割合X0.7)	屋外にいる時間の割合	屋外曝露係数:B (屋外時間割合X1)	生活曝露係数 A+B
幼児生活	96%	0.96X0.7=0.672	4%	0.04X1=0.04	0.712
学生生活	88%	0.88X0.7=0.616	12%	0.12X1=0.12	0.736
屋外労働生活	63%	0.63X0.7=0.441	37%	0.37X1=0.37	0.811
屋内労働生活	91%	0.91X0.7=0.637	9%	0.09X1=0.09	0.727
無業生活	92%	0.92X0.7=0.644	8%	0.08X1=0.08	0.724

学生: 小学生、中学生、高校生、大学生  
総理府統計局(2000)「社会生活基本調査」から推定

研究報告T03032 石炭火力発電所微量物質の吸入リスク評価 表5を一部改変

表 13 曝露集団別の生涯曝露係数

曝露集団	0歳～6歳	6歳～22歳	22歳～60歳	60歳～70歳	生涯曝露係数 A+B+C+D
	A:6年間	B:16年間	C:38年間	D:10年間	
屋外労働者	幼児生活(0.712) 0.061	学生生活(0.736) 0.168	屋外労働生活(0.811) 0.440	無業生活(0.724) 0.104	0.773
屋内労働者	幼児生活(0.712) 0.061	学生生活(0.736) 0.168	屋内労働生活(0.727) 0.395	無業生活(0.724) 0.104	0.727
無業者	幼児生活(0.712) 0.061	学生生活(0.736) 0.168	無業生活(0.724) 0.393	無業生活(0.724) 0.104	0.726

生涯曝露係数は各年代の曝露係数の総和（生活曝露係数×(該当生活年数/生涯年数)）

研究報告T03032 石炭火力発電所微量物質の吸入リスク評価 表6を一部改変

## 4.2. 吸入毒性閾値と MOE によるリスク判定

3章で得られた曝露濃度と吸入毒性閾値を比較した MOE の値を表 14 に示した。いずれの物質についても MOE 値は  $10^4 \sim 10^8$  の範囲となり、リスクとして要注意となる判定目安の 100、生殖発生毒性においては 1,000、もしくはリスク評価の基となる各主研究の UF と比較しても十分大きい値を示した。比較的値が小さかった物質はフッ素 ( $1.7 \times 10^4$ )、ベリリウム ( $2.4 \times 10^4$ )、ヒ素 ( $4.1 \times 10^4$ ) など、コバルト ( $6.8 \times 10^7$ ) やアンチモン ( $1.2 \times 10^8$ ) は大きな値を示した。判定結果から、いずれの物質もヒトに対するリスクが生じる曝露濃度には開きがあり、十分余裕があることが明らかとなった。

なお、今後実施する経口曝露の MOE リスク判定において必要となる経口毒性閾値を表 15 に示した。

## 5. まとめ

電気事業の環境リスク対策では、疫学や生物研究に基づく健康リスク情報の把握と、それに基づくリスク評価が重要であるため、火力発電所から排出される PRTR 法対象 22 微量化学物質

について最新の健康リスク情報を調査し、有害性とその強弱、および毒性閾値を整理した。

その結果、吸入曝露での発がん性は 22 物質中 12 物質、非発がん毒性は 17 物質に認められた。経口曝露での発がん性は 13 物質、非発がん毒性は 19 物質に認められた。有害性の有無や疾病は物質毎に異なるが、曝露経路による差は少なかった。また、調査物質のうち UR はクロム、ヒ素、カドミウム、RfC はクロム、ベリリウム、ヒ素の順に有害性が強かった。SF はベンゾ[a]ピレン、ベリリウム、ニッケル、ヒ素、RfD は水銀、ヒ素、亜鉛、アンチモン、カドミウムの順に有害性が強かった。有害性の強弱も曝露経路による差は少なく、毒性閾値をよく反映していた。化学物質の有害性の強さは化学形態によって大きく異なる場合があり、正確なリスク評価のためには、可能な限り実際の排出物質の化学形態でリスクを判定する必要性が示唆された。

試行的に行った MOE による吸入リスク判定では、22 物質のいずれもがヒトに対するリスクが生じる曝露濃度に対して十分余裕があることが明らかとなった。

今後は発電所排出微量化学物質を対象として、最新の有害性情報と曝露量評価に基づいた健康リスク評価を実施する必要がある。

表 14 石炭火力発電所由来微量化学物質の吸入曝露における非発がん毒性リスクのMOEによる判定

物質名	評価機関	生物種	用量数	POD			UF			RfC (mg/m <sup>3</sup> )	最大着地濃度 mg/m <sup>3</sup>	曝露量 mg/m <sup>3</sup>	MOE 閾値/曝露量
				指標の性格	閾値 (mg/m <sup>3</sup> )	LOAEL	亜慢性	種間差	種内差				
アセトアルデヒド*	IRIS	ラット	3	NOAEL	8.7	1	10	10	10	1000	9 X10 <sup>-3</sup>		
ヒ素	OEHA	ヒト		LOAEL	2.3 X10 <sup>-4</sup>	3	1	1	10	30	0.015 X10 <sup>-3</sup> *1	5.6 X 10 <sup>-9</sup>	4.1 X10 <sup>4</sup>
ベンゼン	IRIS	ヒト		BMCL	23	1	3	1	10	300	3 X10 <sup>-2</sup>		
ベリリウム	OEHA	ヒト	8	LOAEL	0.2 X10 <sup>-3</sup>	10	1	1	3	30	0.007 X10 <sup>-3</sup>	0.85 X10 <sup>-8</sup>	2.4 X10 <sup>4</sup>
カドミウム	OEHA	ヒト	2	NOAEL	0.5 X10 <sup>-3</sup>	1	3	1	10	30	0.02 X10 <sup>-3</sup>	1.5 X10 <sup>-10</sup>	3.2 X10 <sup>6</sup>
コバルト	RIVM	ヒト		LOAEL	5 X10 <sup>-2</sup>	10	1	1	10	100	0.5 X10 <sup>-3</sup>	7.3 X10 <sup>-10</sup>	6.8 X10 <sup>7</sup>
クロム	OEHA	ヒト	3	LOAEL	6.8 X10 <sup>-4</sup>	3	10	1	10	300	0.002 X10 <sup>-3</sup>	0.54 X10 <sup>-9</sup> *3	1.3 X10 <sup>6</sup>
銅	RIVM	ウサギ	2	NOAEC	0.11	1	1	10	10	100	1.0 X10 <sup>-3</sup>	0.77 X10 <sup>-5</sup>	1.7 X10 <sup>4</sup>
フッ素	OEHA	ヒト	5	BMC <sub>05</sub>	0.13	1	1	1	10	10	13 X10 <sup>-3</sup>		
ホルムアルデヒド*	OEHA	ヒト	2	NOAEL	3.2 X10 <sup>-2</sup>	1	1	1	10	10	9 X10 <sup>-3</sup>		
塩化水素	OEHA	ラット	2	LOAEL(HEC)	0.86*4	3	1	3	10	100	9 X10 <sup>-3</sup>	7.5 X10 <sup>-6</sup>	1.1 X10 <sup>5</sup>
水銀	OEHA	ヒト		LOAEL	9 X10 <sup>-3</sup>	10	1	1	32	300	3 X10 <sup>-5</sup>	1.4 X10 <sup>-8</sup>	6.4 X10 <sup>5</sup>
マンガン	IRIS	ヒト	2	LOAEL	5 X10 <sup>-2</sup>	10	10	1	10	1000	5 X10 <sup>-5</sup>	1.2 X10 <sup>-8</sup>	4.2 X10 <sup>6</sup>
ニッケル	OEHA	ラット	4	NOAEL(HEC)	1.6 X10 <sup>-3</sup>	1	1	3	10	30	0.05 X10 <sup>-3</sup>	4.2 X10 <sup>-9</sup>	5.0 X10 <sup>5</sup>
鉛	NAAQS	ヒト		鉛血中濃度	30µg/dL						1.5 X10 <sup>-3</sup>	1.2 X10 <sup>-8</sup>	
アンチモン	IRIS	ラット	4	BMC <sub>10</sub> (HEC)	7.4 X10 <sup>-2</sup>	1	10	3	10	300	2X10 <sup>-4</sup>	6.1 X10 <sup>-10</sup>	1.2 X10 <sup>8</sup>
セレン	OEHA	ヒト	3	NOAEL	5.2 X10 <sup>-2</sup> *5	1	1	1	3	3	20 X10 <sup>-3</sup> *6	5.4 X10 <sup>-8</sup>	1.3 X10 <sup>6</sup>

\*1: 元文献で吸収率50%として計算している

\*2: 吸入BMCを用いたこと(3)、データの不完全性(3)

\*3: 全クロムに対する六価クロムの割合を10%と仮定し、曝露量を1/10とした(研究報告T03032を参照)

\*4: 元文献値の0.73 ppmから換算した

\*5: Oral NOAEL 0.015 mg/kg/dayから、経口-吸入 外挿係数 3500 micro-g/m<sup>3</sup> per mg/kg/day により算出

\*6: Oral RfD 0.005 mg/kg/dayから、経口-吸入 外挿係数 3500 micro-g/m<sup>3</sup> per mg/kg/day により算出

POD: Point of Departure, 評価出発点

UF: Uncertainty Factor, 不確実性係数

LOAEL: 最小毒性量

RfC: Reference Concentration, 参照濃度

MOE: Margin of Exposure, 曝露マージン

OEHA: Office of Environmental Health Hazard Assessment

RIVM: National Institute for Public Health and the Environment

IRIS: IRIS Database for Risk Assessment

NAAQS: National Ambient Air Quality Standard

NOAEL: 無毒性量

BMC<sub>10</sub>: Lower confidence limit on the effective concentration to produce a 10 % response, 10%影響濃度の安全側信頼限界

HEC: Human Equivalent Concentration

表 15 石炭火力発電由来微量化学物質の経口曝露における非発がん毒性閾値と参照用量

物質名	評価機関	動物	POD		UF			RfD mg/kg/day
			指標の性格	閾値 (mg/kg/day)	LOAEL	亜慢性	種間差	
ヒ素	IRIS	ヒト	NOAEL	$8 \times 10^{-4}$	1	1	3	$3 \times 10^{-4}$
ホウ素	IRIS	ラット	BMDL <sub>05</sub>	10.3	1	10.4	6.32	$2 \times 10^{-1}$
ベンゼン	IRIS	ヒト	BMDL	1.2	3	1	10	$4.0 \times 10^{-3}$
ベリリウム	IRIS	イヌ	BMD <sub>10</sub>	$4.6 \times 10^{-1}$	1	10	10	$2 \times 10^{-3}$
カドミウム	IRIS	ヒト	NOAEL	$5 \times 10^{-3}$	1	1	10	$5 \times 10^{-4}$
コバルト	RIVM	ヒト	LOAEL	$4 \times 10^{-2}$	1	1	3	$4 \times 10^{-3}$
クロム	IRIS	ラット	NOAEL	2.5	3	10	10	$3 \times 10^{-3}$
銅	RIVM	マウス	LOAEL	4.2	1	1	1	$1.4 \times 10^{-1}$
フッ素	OEHA	ヒト	NOAEL	$4 \times 10^{-2}$	1	1	1	$4 \times 10^{-2}$
ホルムアルデヒド	IRIS	ラット	NOAEL	15	1	10	10	$2 \times 10^{-1}$
水銀	IRIS	ヒト	BMDL <sub>05</sub>	$0.8-1.5 \times 10^{-3}$	1	1	10	$1 \times 10^{-4}$
マンガン	IRIS	ヒト	NOAEL	$1.4 \times 10^{-1}$	1	1	1	$1.4 \times 10^{-1}$
モリブデン	IRIS	ヒト	LOAEL	$1.4 \times 10^{-1}$	1	1	3	$5 \times 10^{-3}$
ニッケル	IRIS	ラット	NOAEL	5	1	10	10	$2 \times 10^{-2}$
アンチモン	IRIS	ヒト	LOAEL	$3.5 \times 10^{-1}$	1	10	10	$4 \times 10^{-4}$
セレン	IRIS	ヒト	NOAEL	$1.5 \times 10^{-2}$	1	1	3	$5 \times 10^{-3}$
バナジウム	IRIS	ラット	NOAEL	$8.9 \times 10^{-1}$	1	10	10	$9 \times 10^{-3}$
亜鉛	IRIS	ラット	LOAEL	3.48	10	10	10	$3 \times 10^{-4}$

\*1: 吸入BMCを用いたこと(3)、データの不完全性(3)

\*2: データの不完全性

\*3: modifying factor, 修飾係数

POD: Point of Departure, 評価出発点

UF: Uncertainty Factor, 不確実性係数

LOAEL: 最小毒性量

RfD: Reference Dose, 参照用量

OEHA: Office of Environmental Health Hazard Assessment

RIVM: National Institute for Public Health and the Environment

IRIS: IRIS Database for Risk Assessment

NOAEL: 無毒性量

BMDL<sub>05</sub>: Lower confidence limit on the effective dose to produce a 5 % response, 5%影響用量の安全側信頼限界

BMD<sub>10</sub>: Effective dose to produce a 10 % response, 10%影響用量

HEC: Human Equivalent Concentration

## 謝辞

本報告書をまとめるにあたり、健康リスク情報の収集整理に尽力して頂きました株式会社セレスの田中啓子氏に深謝申し上げます。

## 参考文献

### URL-1

<http://www.prtr.nite.go.jp/prtr/pdf/estimation18/syosai/21teiganyu.pdf>

石炭火力の排ガス、排水に伴い排出される微量物質の排出原単位

独立行政法人 製品評価技術基盤機構 平成18年度PRTR届出外排出量の推計方法

### URL-2

<http://www.safe.nite.go.jp/risk/nedotop.html>

独立行政法人 製品評価技術基盤機構 NEDO 化学物質総合評価管理プログラムとその成果

### URL-3

<http://www.epa.gov/safewater/contaminants/index.html>

US EPA, Drinking Water Standards

### URL-4

<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/kijunchi.html>

厚生労働省 水道水質基準について

### URL-5

[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3rev/en/index.html](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en/index.html)

WHO, Guidelines for drinking-water quality, third edition, incorporating first addendum.

### URL-6

<http://www.oehha.ca.gov/prop65/pdf/2008MayStatusReport.pdf>

Proposition 65 safe harbor levels: No Significant Risk Levels for Carcinogens and Maximum

Allowable Dose Levels for Chemicals Causing Reproductive Toxicity.

OEHHA

### URL-7

[http://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/index\\_en.html](http://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/index_en.html)

欧州委員会、Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption.

### URL-8

[http://www.oehha.ca.gov/air/hot\\_spots/pdf/May2005Hotspots.pdf](http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/pdf/May2005Hotspots.pdf)

OEHHA, Air Toxics Hot Spots Program Risk Assessment Guidelines Part II Technical Support Document for Describing Available Cancer Potency Factors.

### URL-9

<http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/Listagentsalphorder.pdf>

IARC, Agents reviewed by the IARC Monographs Volumes 1-99 (Alphabetical order).

### EPRI (1994)

Electric utility trace substances synthesis report Technical Report, Electric Power Research Institute Palo Alto, CA, USA

### US EPA (1998)

Study of hazardous air pollutant emissions from electric steam generating unit, final report to congress EPA-453/R-98-004a

### 伊藤茂男、横山隆壽、朝倉一雄 (2002)

電中研調査報告、W02002

石炭火力発電所の微量物質排出実態調査

### 朝倉一雄、坂田昌弘、津崎昌東 (2004)

電中研調査報告、T03032

石炭火力発電所微量物質の吸入リスク評価

西村 泉 (2006)

電中研調査報告、V05022

微量物質の健康リスクに関する文献調査  
朝倉一雄、津崎昌東、伊藤茂男、坂田昌弘、野  
田直希、西村 泉、岩田仲弘 (2006)

電中研総合報告、V01

石炭燃焼に伴う微量物質の挙動と健康リスク  
評価

津崎昌東、西村 泉 (2007)

電中研研究報告、V07004

微量物質の多経路暴露評価モデルの開発 (1)  
ー火力発電所から排出される水銀への適応ー  
Nishimura I, Asakura K, Tsuzaki M, Ichikawa Y

Proceedings of International Conference on Air  
Quality VI, A2-Health Issues, Arlington VA,  
2007

Inhalation health risk assessment of trace  
elements emitted from coal-fired power plants.

- Non-carcinogenic risk.

Nishimura I, Tsuzaki M

Toxicology Lett 180S, S72-73, 2008

Health Risk Assessment of mercury emitted from  
thermal power.

- A case study with a newly developed  
multimedia exposure assessment model.

<アセトアルデヒド>

Aah-URL-1

<http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0290.htm>

US EPA, IRIS, Acetaldehyde (CASRN 75-07-0).

Aah-URL-2

[http://www.oehha.ca.gov/air/hot\\_spots/2008/AppendixD1\\_final.pdf#page=5](http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD1_final.pdf#page=5)

OEHHA, Air Toxics Hot Spots Program  
Technical Support Document for the Derivation  
of Noncancer Reference Exposure Levels.  
Appendix D. Individual Acute, 8-Hour, and  
Chronic Reference Exposure Level Summaries.

Aah-URL-3

<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol7/volume7.pdf>

IARC, IARC Monographs on the Evaluation of  
Carcinogenic Risks to Humans Volume 7.

Aah-URL-4

<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/suppl7/Suppl7-6.pdf>

IARC, IARC Monographs on the Evaluation of  
Carcinogenic Risks to Humans Supplements 7.

Aah-URL-5

<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol71/mono71-11.pdf>

IARC, IARC Monographs on the Evaluation of  
Carcinogenic Risks to Humans Volume 71.

Aah-URL-6

[http://www.oehha.ca.gov/air/hot\\_spots/pdf/May2005Hotspots.pdf](http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/pdf/May2005Hotspots.pdf)

OEHHA, Air Toxics Hot Spots Program Risk  
Assessment Guidelines. Part II Technical  
Support Document for Describing Available  
Cancer Potency Factors.

Appleman LM, Woutersen RA, Feron VJ

Toxicology 23: 293-307 (1982)

Inhalation toxicity of acetaldehyde in rats. I.  
Acute and subacute studies.

Appleman LM, Woutersen RA, Feron VJ,

Hooftman RN, Notten WRF

J Appl Toxicol 6(5): 331-336 (1986)

Effect of variable versus fixed exposure levels on  
the toxicity of acetaldehyde in rats.

Woutersen RA, Appleman LM, Van

Garderen-Hoetmer A and Feron VJ.

Toxicology 41:213-232 (1986)

Inhalation toxicity of acetaldehyde in rats. III.  
Carcinogenicity study.

<ヒ素>

As-URL-1

[http://www.oehha.ca.gov/air/hot\\_spots/2008/AppendixD1\\_final.pdf#page=68](http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD1_final.pdf#page=68)

OEHHA, Air Toxics Hot Spots Program

Technical Support Document for the Derivation of Noncancer Reference Exposure Levels.

Appendix D. Individual Acute, 8-Hour, and Chronic Reference Exposure Level Summaries.

Nagymajtenyi L, Selyes A, Berencsi G

J Appl Toxicol 5(2): 61-63 (1985)

Chromosomal aberrations and fetotoxic effects of atmospheric arsenic exposure in mice.

Tsai SY, Chou HY, The HW, Chen CM, Chen CJ

Neurotoxicology 24(4-5): 747-53 (2003)

The effects of chronic arsenic exposure from drinking water on the neurobehavioral development in adolescence.

Wasserman GA, Liu X, Parvez F, Ahsan H,

Factor-Litvak P, van Geen A, Slavkovich V,

LoIacono NJ, Cheng Z, Hussain I, Momotaj H,

Graziano JH

Environ Health Perspect 112(13): 1329-33 (2004)

Water arsenic exposure and children's intellectual function in Araihaazar, Bangladesh.

<ベリリウム>

Be-URL-1

[http://www.oehha.ca.gov/air/hot\\_spots/2008/AppendixD3\\_final.pdf#page=35](http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD3_final.pdf#page=35)

OEHHA, Air Toxics Hot Spots Program

Technical Support Document for the Derivation of Noncancer Reference Exposure Levels.

Appendix D.3 Chronic RELs and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999).

Kreiss K, Mroz MM, Newman LS, Martyny J, Zhen

B

Am J Ind Med 30: 16-25 (1996)

Machining risk of beryllium disease and sensitization with median exposures below 2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

<ベンゾアピレン>

Bap-URL-1

<http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0136.htm>

US EPA, IRIS, Benzo [a] pyrene (BaP) (CASRN 50-32-8).

Bap-URL-2

[http://rais.ornl.gov/tox/profiles/Benzoapyrene\\_ragsa.shtml](http://rais.ornl.gov/tox/profiles/Benzoapyrene_ragsa.shtml)

RAIS, Toxicity Profiles RAGs A Format for Benzo[a]pyrene - CAS Number 50328.

Neal J and Rigdon RH

Texas Reports Biol Med 25:553-557 (1967)

Gastric tumors in mice fed benzo[a]pyrene: a quantitative study.

<ベンゼン>

Bnz-URL-1

<http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0276.htm>

<http://www.epa.gov/ncea/iris/toxreviews/0276-tr.pdf>

US EPA, Toxicological Review of Benzene (Noncancer effects) (CAS No. 71-43-2) In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS).

Bnz-URL-2

[http://www.oehha.ca.gov/air/hot\\_spots/2008/AppendixD3\\_final.pdf#page=24](http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD3_final.pdf#page=24)

OEHHA, Air Toxics Hot Spots Program

Technical Support Document for the Derivation of Noncancer Reference Exposure Levels.

Appendix D.3 Chronic RELs and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999).

Bnz-URL-3

[http://www.fsc.go.jp/senmon/kagaku\\_osen/k\\_o\\_](http://www.fsc.go.jp/senmon/kagaku_osen/k_o_)

kanjikai-dai4/k\_o\_kanjikai4-siryou2-2.pdf  
内閣府食品安全委員会 第4回化学物質・汚  
染物質専門調査会幹事会 配布資料 2-2: 清  
涼飲料水に係る化学物質の食品健康影響評価  
ベンゼン(案)

Bnz-URL-4

<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp3.html>  
ATSDR, Toxicological Profile for Benzene.

Bnz-URL-5

[http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701  
025.html](http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701025.html)  
RIVM, Baars AJ, Theelen RMC, Janssen PJCM,  
Hesse JM, Apeldoorn ME van, Meijerink MCM,  
Verdam L, Zeilmaker MJ (2001), Re-evaluation  
of human-toxicological maximum permissible  
risk levels.

Bnz-URL-6

[http://rais.ornl.gov/tox/profiles/Benzene\\_ragsa.s  
html](http://rais.ornl.gov/tox/profiles/Benzene_ragsa.shtml)  
RAIS, Toxicity Profiles RAGs A Format for  
Benzene - CAS Number 71432.

Bnz-URL-7

[http://www.oehha.ca.gov/water/phg/pdf/Benzene  
FinPHG.pdf](http://www.oehha.ca.gov/water/phg/pdf/BenzeneFinPHG.pdf)  
OEHHA, Public Health Goal for BENZENE In  
Drinking Water.

Bnz-URL-8

[http://ec.europa.eu/environment/air/quality/stand  
ards.htm](http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm)  
欧州委員会、Air Quality Standards

Rinsky RA, Young RJ, Smith AB

Am J Ind Med 2: 217-245 (1981)  
Leukemia in benzene workers

中央環境審議会大気部会環境基準専門委員会  
大気環境学会誌 32(4-2): 17-33 (1997)  
ベンゼンに係る環境基準専門委員会報告 (特  
集号:最近の大気環境行政に関する資料) -- (中  
央環境審議会大気部会専門委員会報告)

Hayes RB, Yin SN, Dosemeci M, Li GL, Wacholder  
S, Travis LB, Li C-Y, Rothman N, Hoover RN, Linet  
MS, for the Chinese Academy of Preventive  
Medicine--National Cancer Institute Benzene Study  
Group

J Natl Cancer Inst 89(14):1065-1071 (1997)  
Benzene and the dose-related incidence of  
hematologic neoplasms in China.

Rothman N, Li GL, Dosemeci M, Bechtold WE,  
Marti GE, Wang YZ, Linet M, Xi LQ, Lu W, Smith  
MT, Titenko-Holland N, Zhang LP, Blot W, Yin SN,  
Hayes RB

Am J Ind Med 29: 236-246 (1996)  
Hematotoxicity among Chinese workers heavily  
exposed to benzene.

Tsai SP, Wen CP, Weiss NS, Wong O, McClellan  
WA, and Gibson RL

J Occup Med 25(9):685-692 (1983)  
Retrospective mortality and medical surveillance  
studies of workers in benzene areas of refineries.

Paxton MB, Chinchilli VM, Brett SM, Rodricks JV  
Risk Anal 14(2):147-154 (1994)

Leukemia risk associated with benzene exposure  
in the pliofilm cohort: I. Mortality update and  
exposure distribution.

Paxton MB, Chinchilli VM, Brett SM, Rodricks JV  
Risk Anal 14(2):155-161 (1994)

Leukemia risk associated with benzene exposure  
in the pliofilm cohort. II. Risk estimates.

<カドミウム>

Cd-URL-1

[http://www.oehha.ca.gov/air/hot\\_spots/2008/Ap  
pendixD3\\_final.pdf#page=59](http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD3_final.pdf#page=59)

OEHHA, Air Toxics Hot Spots Program  
Technical Support Document for the Derivation  
of Noncancer Reference Exposure Levels.  
Appendix D.3 Chronic RELs and toxicity  
summaries using the previous version of the Hot

Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999).

Lauwerys RR, Buchet JP, Roels HA, Brouwers J, Stanescu D

Arch Environ Health 28: 145-148 (1974)  
Epidemiological survey of workers exposed to cadmium.

<クロム>

Cr-URL-1

[http://www.oehha.ca.gov/air/hot\\_spots/2008/AppendixD3\\_final.pdf#page=138](http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD3_final.pdf#page=138)  
OEHHA, Air Toxics Hot Spots Program  
Technical Support Document for the Derivation of Noncancer Reference Exposure Levels.  
Appendix D.3 Chronic RELs and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999).

Lindberg E, Hedenstierna G

Arch Environ Health 38: 367-374 (1983)  
Chrome plating: symptoms, findings in the upper airways, and effects on lung function.

<コバルト>

Co-URL-1

<http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701025.html>  
RIVM, Baars AJ, Theelen RMC, Janssen PJCM, Hesse JM, Apeldoorn ME van, Meijerink MCM, Verdam L, Zeilmaker MJ (2001),  
Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels.

Co-URL-2

<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp33.html>  
ATSDR, Toxicological Profile for Cobalt.  
Sprince NL, Oliver LC, Eisen EA, Greene RE, Chamberlin RI  
Am Rev Respir Dis 38(5): 1220-1226 (1988)  
Cobalt exposure and lung disease in tungsten

carbide production. A cross-sectional study of current workers.

<銅>

Cu-URL-1

<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp132.html>  
ATSDR, Toxicological Profile for Copper.

Cu-URL-2

<http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701025.html>  
RIVM, Baars AJ, Theelen RMC, Janssen PJCM, Hesse JM, Apeldoorn ME van, Meijerink MCM, Verdam L, Zeilmaker MJ (2001), Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels

Cu-URL-3

<http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0368.htm>  
US EPA, IRIS, Copper (CASRN 7440-50-8).  
Johansson A, Curstedt T, Robertson B, Camner P  
Environ Res 34: 295-309 (1984)  
Lung morphology and phospholipids after experimental inhalation of soluble cadmium, copper, and cobalt.

Massie HR, Aiello VR

Mech Ageing Dev 26: 195-203 (1984)  
Excessive intake of copper: Influence on longevity and cadmium accumulation in mice.

<フッ素>

F-URL-1

[http://www.oehha.ca.gov/air/hot\\_spots/2008/AppendixD3\\_final.pdf#page=270](http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD3_final.pdf#page=270)  
OEHHA, Air Toxics Hot Spots Program  
Technical Support Document for the Derivation of Noncancer Reference Exposure Levels.  
Appendix D.3 Chronic RELs and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999).

Derryberry OM, Bartholomew MD, and Fleming

RB

Arch Environ Health 6: 503-514 (1963)  
Fluoride exposure and worker health - The health status of workers in a fertilizer manufacturing plant in relation to fluoride exposure.

<ホルムアルデヒド>

Fah-URL-1

[http://www.oehha.ca.gov/air/hot\\_spots/2008/AppendixD1\\_final.pdf#page=128](http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD1_final.pdf#page=128)  
OEHHA, Air Toxics Hot Spots Program  
Technical Support Document for the Derivation of Noncancer Reference Exposure Levels.  
Appendix D. Individual Acute, 8-Hour, and Chronic Reference Exposure Level Summaries.

Fah-URL-2

<http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0419.htm>  
US EPA, IRIS, Formaldehyde (CASRN 50-00-0).

Fah-URL-3

<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol88/mono88-6.pdf>  
IARC, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 88.

Fah-URL-4

<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp111.html>  
ATSDR, Toxicological Profile for Formaldehyde.

Edling C, Hellquist H, Odkvist L

Br J Ind Med 45(11): 761-765 (1988)  
Occupational exposure to formaldehyde and histopathological changes in the nasal mucosa.

Kerns WD, Pavkov KL, Donofrio DJ, Gralla EJ, Swenberg JA

Cancer Res 43: 4382-4392 (1983)  
Carcinogenicity of formaldehyde in rats and mice after long-term inhalation exposure.

Til HP, Woutersen RA, Feron VJ, Hollanders VHM,

Falke HE Clary JJ

Food Chem Toxicol 27: 77-87 (1989)  
Two-year drinking water study of formaldehyde

in rats.

Wilhelmsson B, Holmstrom M

Scand J Work Environ Health 18(6): 403-407 (1992)

Possible mechanisms of formaldehyde-induced discomfort in the upper airway.

<塩化水素>

HCl-URL-1

[http://www.oehha.ca.gov/air/hot\\_spots/2008/AppendixD3\\_final.pdf#page=309](http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD3_final.pdf#page=309)  
OEHHA, Air Toxics Hot Spots Program  
Technical Support Document for the Derivation of Noncancer Reference Exposure Levels.  
Appendix D.3 Chronic RELs and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999).

HCl-URL-2

<http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0396.htm>  
US EPA, IRIS, Hydrogen chloride (CASRN 7647-01-0).

Albert RE, Sellakumar AR, Laskin S, Kuschner M, Nelson N, Snyder CA

J Natl Cancer Inst 68(4): 597-603 (1982)  
Gaseous formaldehyde and hydrogen chloride induction of nasal cancer in rats.

Sellakumar AR, Snyder CA, Solomon JJ, and Albert RE

Toxicol Appl Pharmacol 81: 401-406 (1985)  
Carcinogenicity of formaldehyde and hydrogen chloride in rat.

<水銀>

Hg-URL-1

[http://www.env.go.jp/council/toshin/t07-h1503/mat\\_02-3.pdf](http://www.env.go.jp/council/toshin/t07-h1503/mat_02-3.pdf)

環境省中央環境審議会 今後の有害大気汚染物質対策のあり方について(第七次答申)

Hg-URL-2

[http://www.oehha.ca.gov/air/hot\\_spots/2008/AppendixD1\\_final.pdf#page=214](http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD1_final.pdf#page=214)

OEHHA, Air Toxics Hot Spots Program  
Technical Support Document for the Derivation of Noncancer Reference Exposure Levels.  
Appendix D. Individual Acute, 8-Hour, and Chronic Reference Exposure Level Summaries.  
Fawer RF, Ribaupierre Y de, Guillemain MP, Berode M, Lob M

Br J Ind Med 40: 204-208 (1983)  
Measurement of hand tremor induced by industrial exposure to metallic mercury.  
Ngim CH, Foo SC, Boey KW, Jeyaratnam J  
Br J Ind Med 49: 782-790 (1992)  
Chronic neurobehavioural effects of elemental mercury in dentists.

Piikivi L  
Int Arch Occup Environ Health 61(6): 391-5 (1989)  
Cardiovascular reflexes and low long-term exposure to mercury vapour.

Piikivi L, Hanninen H  
Scand J Work Environ Health 15: 69-74 (1989)  
Subjective symptoms and psychological performance of chlorine-alkali workers.

Piikivi L, Tolonen U  
Br J Ind Med 46: 370-375 (1989)  
EEG findings in chlor-alkali workers subjected to low long term exposure to mercury vapour.

<マンガン>

Mn-URL-1  
<http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0373.htm>  
US EPA, IRIS, Manganese (CASRN 7439-96-5).

Mn-URL-2  
[http://www.oehha.ca.gov/air/hot\\_spots/2008/AppendixD1\\_final.pdf#page=170](http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD1_final.pdf#page=170)  
OEHHA, Air Toxics Hot Spots Program  
Technical Support Document for the Derivation

of Noncancer Reference Exposure Levels.  
Appendix D. Individual Acute, 8-Hour, and Chronic Reference Exposure Level Summaries.

Roels HA, Ghyselen P, Buchet JP, Ceulemans E, Lauwerys RR  
Br J Ind Med 49: 25-34 (1992)  
Assessment of the permissible exposure level to manganese in workers exposed to manganese dioxide dust.

Roels H, Lauwerys R, Buchet JP, Genet P, Sarhan MJ, Hanotiau I, Fays M de, Bernard A, Stanesco D  
Am J Ind Med 11: 307-327 (1987)  
Epidemiological survey among workers exposed to manganese: Effects on lung, central nervous system, and some biological indices.

<ニッケル>

Ni-URL-1  
[http://www.oehha.ca.gov/air/hot\\_spots/2008/AppendixD3\\_final.pdf#page=420](http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD3_final.pdf#page=420)  
OEHHA, Air Toxics Hot Spots Program  
Technical Support Document for the Derivation of Noncancer Reference Exposure Levels.  
Appendix D.3 Chronic RELs and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999).

Ni-URL-2  
[http://ntp-server.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/LT\\_rpts/tr454.pdf](http://ntp-server.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/LT_rpts/tr454.pdf)  
NTP, TR-454, Toxicology and carcinogenesis studies of nickel sulfate hexahydrate (1994).

Ni-URL-3  
[http://www.env.go.jp/council/toshin/t07-h1503/mat\\_02-4.pdf](http://www.env.go.jp/council/toshin/t07-h1503/mat_02-4.pdf)  
環境省中央環境審議会 今後の有害大気汚染物質対策のあり方について(第七次答申)

<鉛>

Pb-URL-1

<http://epa.gov/air/criteria.html>  
US EPA, National Ambient Air Quality  
Standards (NAAQS).  
Pb-URL-2  
[http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recorddisplay.cfm?  
deid=158823](http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recorddisplay.cfm?deid=158823)  
US EPA, Air Quality Criteria for Lead,  
EPA/600/R-5/144aF (2006).

Pb-URL-3  
[http://edocket.access.gpo.gov/2007/pdf/E7-2388  
4.pdf](http://edocket.access.gpo.gov/2007/pdf/E7-23884.pdf)  
Federal register (2007) 72 (241): 71488–71544  
National Ambient Air Quality Standards for  
Lead; Proposed Rule.

Pb-URL-4  
[http://www.cdc.gov/nceh/lead/publications/books  
/plpyc/plpyc\\_history/increaseLead\\_1975.pdf](http://www.cdc.gov/nceh/lead/publications/books/plpyc/plpyc_history/increaseLead_1975.pdf)  
Centers for Disease Control, U.S. Department of  
Health, Education, and Welfare, Atlanta, GA,  
(1975)

Increased lead absorption and lead poisoning in  
young children .  
中西準子 小林憲弘 内藤航 共著  
詳細リスク評価書シリーズ 9 鉛, 丸善株式会  
社, ISBN4-621-07749-X (2006)

<アンチモン>

Sb-URL-1  
<http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0676.htm>  
US EPA, IRIS, Antimony trioxide (CASRN  
1309-64-4).

Newton PE, Bolte HF, Daly IW, Pillsbury BD,  
Terrill JB, Drew RT, Ben-Dyke R, Sheldon AW,  
Rubin LF  
Fund Appl Toxicol 22: 561-576 (1994)  
Subchronic and chronic inhalation toxicity of  
antimony trioxide in the rat.

<セレン>

Se-URL-1

[http://www.oehha.ca.gov/air/hot\\_spots/2008/App  
endixD3\\_final.pdf#page=476](http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD3_final.pdf#page=476)  
OEHHA, Air Toxics Hot Spots Program  
Technical Support Document for the Derivation  
of Noncancer Reference Exposure Levels.  
Appendix D.3 Chronic RELs and toxicity  
summaries using the previous version of the Hot  
Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA  
1999).

Se-URL-2  
<http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0472.htm>  
US EPA, IRIS, Selenium and Compounds  
(CASRN 7782-49-2).

Se-URL-3  
[http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe?ZyActionL  
=Register&User=anonymous&Password=anony  
mous&Client=EPA&Init=1](http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe?ZyActionL=Register&User=anonymous&Password=anonymous&Client=EPA&Init=1)  
US EPA, Health effects assessment for selenium  
(and compounds) EPA/540/1-86-058 (1986).

Se-URL-4  
[http://ec.europa.eu/environment/air/quality/stand  
ards.htm](http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm)  
European Commission, Air Quality Standards.

Yang G, Zhou R, Yin S, Gu L  
J Trace Elem Electrolytes Health Dis 3:77-87  
(1989)  
Studies of safe maximal daily dietary selenium  
intake in a seleniferous area in China. I.  
Selenium intake and tissue selenium levels of the  
inhabitants.

Yang G, Yin S, Zhou R, Gu L, Yan B, Liu Y, Liu Y  
J Trace Elem Electrolytes Health Dis 3(2):  
123-130 (1989)  
Studies of safe maximal daily dietary Se-intake  
in a seleniferous area in China. II. Relation  
between Se- intake and the manifestation of  
clinical signs and certain biochemical alterations  
in blood and urine.

<亜鉛>

Zn-URL-1

<http://www.epa.gov/NCEA/iris/subst/0426.htm>  
US EPA, IRIS, Zinc and Compounds (CASRN 7440-66-6).

Zn-URL-2

<http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0127.htm>  
US EPA, IRIS, Zinc cyanide (CASRN 557-21-1).

Zn-URL-3

<http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0203.htm>  
US EPA, IRIS, Zinc phosphide (CASRN 1314-84-7).

Zn-URL-4

<http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0204.htm>  
US EPA, IRIS, Zineb (CASRN 12122-67-7).

Zn-URL-5

<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp60.html>  
ATSDR, Toxicological Profile for Zinc.

Zn-URL-6

[http://rais.ornl.gov/tox/profiles/zn\\_ragsa.shtml](http://rais.ornl.gov/tox/profiles/zn_ragsa.shtml)  
RAIS, Toxicological profiles, RAGs A Format for

Zinc - CAS Number 7440666.

Zn-URL-7

<http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701025.html>

RIVM, Baars AJ, Theelen RMC, Janssen PJCM, Hesse JM, Apeldoorn ME van, Meijerink MCM, Verdam L, Zeilmaker MJ (2001),  
Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels.

Zn-URL-8

<http://jecfa.ilsa.org/evaluation.cfm?chemical=ZINC&keyword=ZINC>

JECFA, Summary of Evaluations Performed by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA 1956-2007).

Bai KM, Krishnakumari MK, Ramesh HP,

Shivanandappa T, Majunder SK

Indian J Exptl Biol 18: 854-857 (1980)

Short-term toxicity study of zinc phosphide in albino rats.

## 参考資料

### IARC の発がん性分類

- 1: Carcinogenic to humans, ヒトに対して発がん性がある
- 2A: Probably carcinogenic to humans, ヒトに対しておそらく発がん性がある
- 2B: Possibly carcinogenic to humans, ヒトに対して発がん性があるかもしれない
- 3: Not classifiable as to carcinogenicity to humans, ヒトに対する発がん性を分類できない
- 4: Probably not carcinogenic to humans, ヒトに対しておそらく発がん性がない

### US EPA の発がん性分類

- A: Human carcinogen, ヒトに対する発がん性物質
- B1: Probable human carcinogen – based on limited evidence of carcinogenicity in humans  
疫学研究から限定されたヒトに対する発がん性を示す証拠がある物質
- B2: Probable human carcinogen – based on sufficient evidence of carcinogenicity in animals  
動物で十分な証拠があり、かつ、疫学的研究からヒトに対する発がん性の不十分な証拠がある物質、または、疫学的研究からの証拠がない物質
- C: Possible human carcinogen, ヒトへの発がん性がある可能性がある物質
- D: Not classifiable as to human carcinogenicity, ヒトに対する発がん性を分類できない物質

### 略語表

略語	表記	内容
AI	adequate intake	適正摂取量: 特定の集団においてある一定の栄養状態を維持するのに十分な 1 日の摂取量
BMC <sub>10</sub>	benchmark concentration	10%ベンチマーク濃度: 10%の影響があった濃度
BMD	benchmark dose	ベンチマーク用量: 基準用量
BMD <sub>10</sub>	benchmark dose 10 %	10%ベンチマーク用量: 10%の影響があった用量
BMDL <sub>05</sub>	lower confidence limit on the effective dose to produce a 5 % response	5%影響用量の安全側信頼限界値
BMI	body mass index	肥満度を表す指標。22 を標準とし、18.5 以下なら痩せ、25 以上を肥満とする。BMI=体重(kg)÷身長(m) <sup>2</sup>
ESAADI	estimated safe and adequate daily intake	推定安全最適日摂取量: 当該年齢集団の 50%の要求量を充足する量
HI	hazard index	ハザード指数: 複数物質に対する HQ の和
HQ	hazard quotient	ハザード指標: 閾値のあるヒト健康影響評価において、リスクの大きさを表現する指標
LOAEL	lowest observed adverse effect level	最小毒性量: 実験で設定した投与量の中で有意の影響が見られた最小の投与量
MF	modifying factor	修正係数: UF をさらに修正するための係数
MOE	margin of exposure	曝露余地: 疫学調査で得られた BMDL や動物実験で得られた NOAEL 等の閾値とヒト曝露量を直接比較するもの。値が大きいほどリスクは小さい。MOE=NOAEL÷ヒト曝露量
MOS	margin of safety	安全余地: MOE と同じ概念
MRL	minimal risk level	最小リスク値: ATSDR が定義。一定期間の曝露によって、有害な非発がん毒性健康影響の明確なリスクが無いと考えられる、有害物質に対する日ヒト曝露推定量
NOAEL	no observed adverse effect level	無毒性量: 実験で設定した投与量の中で有意の有害影響が見られなかった最大の投与量
NSRL	no significant risk level	無有意リスクレベル: OEHHA が定義。10 万人の曝露集団のうちひとりが過剰ながん患者となる、と計算されるような曝露量

PD/TD	pharmacodynamics/ toxicodynamics	体内で影響をおよぼす場所に到達した物質が、実際の毒性反応を引き起こすメカニズム。局所における活性化、物質の無毒化、細胞保護作用、ホメオスタシス、などが関与する過程。
PHG	public health goals	公衆衛生目標: OEHHA が提唱する公衆衛生に対する水質目標
PK/TK	pharmacokinetics/ toxicokinetics	体外から曝露・投与された毒性物質の量や濃度が、体内の標的臓器でどのような到達用量になっているかを推定する体内動態解析。生物利用度、生物学的半減期、吸収、蓄積、などが関与するモデル。
POD	point of departure	毒性の量依存性グラフでの外挿の出発点
PTDI	provisional tolerable daily intake	暫定的耐容日摂取量: 食品中の化学物質の影響評価に用いられる。長期にわたって繰り返し曝露されても影響がないと考えられる 1 日あたりの用量
PTWI	provisional tolerable weekly intake	暫定的耐容週間摂取量: 食品中の化学物質の影響評価に用いられる。長期にわたって繰り返し曝露されても影響がないと考えられる 1 週あたりの用量
RDA	recommended dietary allowances	推奨摂食許容量: ヒト集団中のほぼ全てのヒトの栄養要求を満たすのに十分な、摂食量で、あらゆる健康なヒトの必要に合うよう計算された、重要な安全基準。
REL	reference exposure level	参照曝露レベル: OEHHA が定義する長期にわたって繰り返し曝露されても影響がないと考えられる曝露量
RfC	reference concentration	参照濃度: US EPA が定義。生涯にわたって繰り返し曝露されても影響がないと考えられる大気中濃度
RfD	reference dose	参照用量: US EPA が定義。生涯にわたって繰り返し曝露されても影響がないと考えられる体重 1kg あたりの最大摂取量
RL	risk level	リスクレベル: 発がんの確率に対する曝露量
SF	slope factor	スロープファクター: 発がん性物質を体重 1kg あたり 1mg を生涯にわたり摂取し続けた場合の発がん確率
TCA	tolerable concentration in air	耐容気中濃度: 長期にわたって繰り返し曝露されても影響がないと考えられる気中濃度
TDI	tolerable daily intake	耐容日摂取量: 非意図的な化学物質の影響評価に用いられる。長期にわたって繰り返し曝露されても影響がないと考えられる 1 日あたりの用量
TLV	threshold limit value	職業曝露基準: 労働者が、1 日 8 時間及び週間 40 時間程度で日常的に曝露しても、悪影響が現れないであろうと判断される濃度
TWA	time weighted average	
TWI	tolerable weekly intake	耐容週間摂取量: 非意図的な化学物質の影響評価に用いられる。長期にわたって繰り返し曝露されても影響がないと考えられる 1 週あたりの用量
UF	uncertainty factor	不確実性係数: 個体差、動物とヒトとの種間差、データの信頼性、曝露期間の差、経路差などを補正するための数値
UR	unit risk	ユニットリスク: 発がん性物質 1mg/m <sup>3</sup> が含まれるの大気を生涯にわたり吸入し続けた場合の発がん確率
VSD	virtually safe dose	実質安全用量: 発がん確率が 10 <sup>-5</sup> 、10 <sup>-6</sup> のような極めて小さい無視できるリスクに対応する曝露量

---

## 電力中央研究所報告

[不許複製]

編集・発行人

財団法人 電力中央研究所  
環境科学研究所



千葉県我孫子市我孫子 1646  
電話 04 (7182) 1181 (代)

e-mail [esrl-rr-ml@criepi.denken.or.jp](mailto:esrl-rr-ml@criepi.denken.or.jp)

---

発行所

財団法人 電力中央研究所  
東京都千代田区大手町 1-6-1  
電話 03 (3201) 6601 (代)

---

印刷所

株式会社 ユウワビジネス  
東京都千代田区神田須田町 1-1  
電話 03 (3258) 9380

---

ISBN978-4-86216-999-0

