

人造鉱物繊維

ガラス長繊維*

許容濃度 1 繊維/ml 発がん物質第 3 群
グラスウール*・ロックウール*・スラグウール*

許容濃度 1 繊維/ml 発がん物質第 3 群
セラミック繊維*・ガラス微細繊維*

許容濃度 — 発がん物質第 2 群 B

*メンブレンフィルター法を用いて 400 倍の位相差顕微鏡で測定し、長さ 5 μm 以上、太さ 3 μm 未満、長さとお太さの比 (アスペクト比) 3 : 1 以上の繊維

1. 人造鉱物繊維の分類とわが国の生産の現状

人造鉱物繊維 (Man-made Mineral Fiber: MMMF) は主としてガラス、天然岩石その他の鉱物から製造され、ほとんどは非結晶質である。これらは原料によって分類され、スラグウールはスラグ (鉱滓) から、ロックウールは天然岩石から、グラスウール、ガラス長繊維はガラスから製造され、主に断熱防音などの目的で建材として使われる。ガラスを原料とするものにはこの他、フィルターなど特殊用途のガラス微細繊維がある。セラミック繊維は欧米で refractory fiber と呼ばれるものとはほぼ同じで、アルミナ、シリケートおよびアルミナシリケートなどからなり、高温の耐火炉材として使用され、はじめのガラス質が加熱冷却により晶質化することがある。なお、北米ではしばしばスラグウールとロックウールはミネラルウールと呼ばれ、わが国ではスラグウールもロックウールと呼ばれることが多い。比較的繊維の方向の整ったガラス長繊維に対して、もつれ合った繊維の集合したものをウールと呼ぶ。結晶質の人造鉱物繊維としてはウイスカがある。これは炭化けい素、窒化けい素、チタン酸カリウムなどの単結晶であるが、単独で使用されることはなく、プラスチック・金属・セラミックスなどとの複合材料として、強化複合材料、摩擦磨耗材料その他の用途がある。わが国の人造鉱物繊維の生産量は年間約 100 万トンであるが、そのうちガラス繊維が 5 割弱、ロックウールが 4 割強、セラミック繊維は 1-2% を占める¹⁾。

2. 人造鉱物繊維のサイズと濃度測定方法

一般に繊維の太さは鉱物繊維の健康影響にとって重要な意味を持つが、繊維の種類によりその中心的なサイズは異なる。そもそも浮遊繊維の条件として、WHO は長さ 5 μm 以上、太さ 3 μm 未満、長さとお太さの比 (アスペクト比) 3 : 1 以上を挙げているが、この条件を満たすものを WHO ファイバーと呼ぶことがある²⁾。わが国の調査では、ロックウールの原綿の太さは 3-5 μm 、グラスウールは 2-10 μm 、ガラス長繊維は 3-20 μm 、セラミック繊維は 1-3 μm と報告されている³⁾。ガラス微細

繊維はさらに細く、その太さの中央値は 0.4 μm ⁴⁾ という報告がある。ウイスカは通常太さ 2 μm 以下である。

労働安全法施行令で定められた現行の作業環境測定規則では、石綿以外の鉱物繊維は鉱物粉じんに分類され、曝露量の測定には重量濃度が用いられている。しかし、世界的には先述の WHO の推奨する方法にもあるように人造鉱物繊維も石綿同様、繊維数濃度を測定することが普通である。わが国では製造者団体が独自に人造鉱物繊維を繊維数で濃度測定するためのマニュアルを公表しているが、これは WHO とほぼ同様の方法であり、同じ繊維サイズ、アスペクト比のものを計測対象としている⁵⁾。なおここでは繊維数濃度の単位の表現は統一せず、もとの報告で用いられたものを示した。

3. 許容濃度と評価値

人造鉱物繊維の曝露限界値を検討するに当たっては、それが発がん性を持つと考えるか否かで、曝露限界値の考え方が大きく異なってくる。もし人造鉱物繊維が発がん性を持つなら、本学会の石綿の過剰発がんリスクレベルに対応する評価値⁶⁾ 決定の際と同じように、閾値がないと考え、生涯曝露による発がんが千人あたりひとり増加すると思われる値を求めることになる。これに対して、発がん性を考えないのであれば、健康影響の NOAEL (有害影響非検出限界) を探し、そこから曝露限界値を決めることができる。

4. 鉱物繊維が発がん性を持つ条件と発がん性判定のための研究手法

人造鉱物繊維の発がん性について、Stanton-Pott の仮説が知られている。Stanton と Pott はそれぞれ独立に鉱物繊維の発がん性におけるサイズの重要性を指摘した⁷⁾。これによると、基本的に太さ 3 μm 未満、長さ 8 μm 以上の鉱物繊維が発がん性を持つ可能性があると考えられ、この太さ・長さ (Dimension) に加え、曝露量 (Dose)、生体内不溶性 (Durability) の 3D が発がん性の条件とされている。この観点からは、ロックウール、グラスウールなどの主な人造鉱物繊維は太く、比較的溶けやすい。加えて実際の曝露状況では繊維の磨耗による形状変化が問題になるが、磨耗によりさらに細くなる結晶質の石綿と異なり、主な人造鉱物繊維はガラス質であるため、磨耗では太さは変わらず短くなるなどの理由から、これらが発がん性を持つ可能性は少ないと考えられている。しかし、かなり細かいガラス微細繊維や、相対的に細く比較的溶解性のセラミック繊維については、いまだ結論が出ていない。なお動物実験や試験管内実験で人造鉱物繊維はその種類と endpoint や動物種、投与方法によっては陽性の結果が見られる⁸⁾。しかし、ヒトへの発がん性を論じるに当たり、これら実験的な手法による結果には自ずと限界があり、ヒトでの疫学研究結果がある場合にはそれが優先される。幸い人造鉱物繊維につい

ては大規模なコホートの観察が欧州と北米で行われており、これについての研究結果検討が発がん性判断の中心となる。

5. 人造鉱物繊維の種類と発がん性

人造鉱物繊維の発がん性で問題になるのは肺がんに限られる。胸膜中皮腫の発生が議論になったことはあるが、確認されたものはない。繊維の種類による発がん性についてはガラス長繊維、グラスウールはこれまで、疫学研究等で発がん性が指摘されたことはなかった。一方セラミック繊維、ガラス微細繊維、ウイスカにはその性質やサイズなどから発がん性の懸念があるが、大きな曝露集団がなく、発がん性を肯定または否定する疫学研究はない。残る二者、すなわち使用量が多く、かつ従来の研究で発がん性の懸念が生じ、疫学研究で検討の対象になってきたのはロック/スラグウール (R/SW) である。

6. R/SW の発がん性についての90年代前半までの認識

WHO Environmental Health Criteria 77 "Man-made Mineral Fibres" (1988)⁹⁾ でまとめられた内容が、関係者のほぼ共通の認識になっていた。この中で発がん性に関する疫学調査として取り上げられているのは Simonato らのヨーロッパ (EURIMA = 欧州断熱材協会と IARC による) と Enterline, Marsh らによる北米 (NAIMA) の二つの大規模コホート調査である。この両者で R/SW 作業員について肺がんの標準化死亡比 (SMR) が増加していた (米国 134: $p < 0.05$, ヨーロッパ 124)。しかし、累積曝露繊維濃度と肺がん死亡との間の量的な関係は認められず、肺がんの増加は技術的に初期の段階に集中していた。この時期の曝露濃度は現在に比し極めて高いだけでなく、砒素や芳香族炭化水素の曝露も考えられ、R/SW のヒトへの発がん性については否定的であった。なお GW 製造作業の SMR はそれぞれ 103 と 109, ガラス長繊維では 97 と 92 であった。

7. 90年代後半の新たなコメント

上記の EURIMA のコホートについては 1980 年代から一定期間ごとに、追跡調査結果が発表されてきたが、Boffetta ら¹⁰⁾ は、7 カ国 12 工場の 22,002 人の作業員を 1982 年から 1990 年までの 489,551 人年観察し、発生した 4,521 人の死亡について解析している。その中で R/SW 作業員の肺がん (観察数 97 人) の SMR が 134, グラスウール作業員は 127 と増加し、いずれも統計学的に有意であった。R/SW 作業員の肺がんリスクは雇用期間が長くなるにつれ増加し、技術的に初期の段階への集中は EHC77 の時点に比べ、顕著ではなかった。死亡には 5 例の胸膜中皮腫が含まれた。R/SW 作業員の肺がんの増加はたばこや社会階層、他の職業曝露では説明できない、とまとめられている。

また 2000 年の Boffetta らによる EURIMA の Final Report と銘打たれた R/SW 作業員における患者対照研

究¹¹⁾ では、その緒言に「2つの大規模なコホート研究、ひとつはヨーロッパ (Boffetta 他, 1997), もうひとつはアメリカ合衆国 (Marsh 他, 1996) での研究は、MMVF (人造ガラス質繊維) 製造作業員の肺がん発生リスクの上昇を示唆していた。」と書かれている。

8. EURIMA コホートの検討

上の「MMVF 製造作業員の肺がん発生リスクの上昇」という記述を検証するため、EURIMA コホートについて報告した論文をすべて集め検討した。国別の観察対象人数・年や肺がんの死亡または発生数を追うことができるのは、1984/86 年の Saracci/Simonato ら^{12, 3)}, 1997 年の Boffetta ら¹⁰⁾, 1998 年の Consonni ら¹⁴⁾, 1999 年の Boffetta ら¹⁵⁾ のコホート研究と、上述の 2000 年の Boffetta ら¹¹⁾ の患者対照研究である。各論文で示されている観察対象数と肺がんの数を比較してみると、1) コホートの約半分を占めるデンマークについて論文相互の観察対象数と肺がん数の変化が不自然であること、2) ノルウェーで SMR や SIR が有意に上昇していること、3) ドイツの肺がんについて、1997 年に Boffetta ら¹⁰⁾ で示された死亡数より、2000 年の Boffetta ら¹¹⁾ で示された死亡数が 21% 減少し、観察対象数の 9% 減少と不釣り合いであること、などの疑問が生じた。1) については、「1年未満就業者にその他のリスクが多く、それを除いたため」という (論文内ではなく) デンマークからの personal communication とそれを述べた preprint があったが、この preprint は 3 年を経て未だ出版されておらず、検証を受けた情報として確認することができない。2) についてはコホートのサイズが全体の 5% 程度で影響は小さい。3) については同じドイツの工場からの悪性中皮腫の発生や観察が 1940 年頃という時期を考えると、Boffetta ら¹⁰⁾ の報告時には石棉曝露者を含んでいた可能性があるが、以後の論文でも明確には死亡率と発生率の逆転の理由が説明されていない。

以上、review を受け発表された論文の中だけでは、その結論が全く逆になった理由が明らかにならないが、Final report という 2000 年の Boffetta ら⁴⁾ の報告では全体の結論として、R/SW 作業による肺がん発生リスクの上昇を否定している。

9. NAIMA コホートの検討

当初 Boffetta ら¹¹⁾ の緒言で引用された NAIMA コホートの研究結果は、2001 年の JOEM 誌上に一挙に 8 論文が掲載された¹⁶⁻²³⁾。このうち第 I 論文⁹⁾ によると 1946 年から 1992 年に 1 年以上雇用された 3 万 2 千人のガラス繊維製造工場で呼吸器がんのわずかな増加が観察されたが、それは 5 年以上の長期作業員では顕著でなく、対照群の取り方で変化し、量反応関係も一定しなかった。特に喫煙で調整した場合、有意な関係は見られなくなった。またコホート内患者対照研究を行った第 IV 論文¹⁹⁾

では喫煙で調整したところ、吸入性繊維へのどの曝露指標も呼吸器がんのリスクとの関連が見られなかった。第 V²⁰⁾、VI²¹⁾ 論文では更に詳細に喫煙について検討し、これらの作業者は一般人口より喫煙率が高く、ガラス繊維作業や R/SW 作業に見られた呼吸器がんの過剰はすべて喫煙による交絡で説明できるとしている。

10. ヒトでの疫学研究についてのまとめと IARC の新しいモノグラフ

以上のように、EURIMA コホートでの一時考えられた R/SW 製造作業者の呼吸器がんの増加は、主に短期作業者と石綿曝露による交絡が疑われ、NAIMA コホートでは喫煙による交絡で呼吸器がんの過剰が説明された。従って疫学的には R/SW の発がん性はむしろ否定的と考えられた。2001 年に行われた IARC の人造ガラス質繊維の発がん性評価モノグラフ改訂の会議²⁴⁾の結果²⁵⁾によると、「前回の IARC モノグラフの 1988 年以降に発表された疫学研究で、これらの繊維の製造作業中の曝露で肺がんや悪性中皮腫が増加するとの証拠は提出されなかった」としている。そして石綿など鉱物繊維の発がん性における体内滞留性に注目し、滞留性の高いセラミック繊維や、断熱用には用いない特殊なガラス微細繊維 (micro glass wools) をグループ 2B (possible human carcinogens) とし、それ以外の通常の断熱用グラスウールや R/SW およびプラスチック強化繊維として用いるガラス長繊維をグループ 3 (not classifiable as to carcinogenicity to humans) とする、と勧告した。すなわち以前の勧告に比べ、R/SW が 2B から 3 と、より発がん性を否定する方向で変更されたわけである。これに対し本学会としても、上述の独自の詳細な検討により、この変更を支持する。

11. 発がん性以外の健康影響と許容濃度

以上、特殊なものを除き、一般に作業者が曝露する可能性のある人造鉱物繊維について発がん性が否定的であるので、許容濃度は発がん物質としての評価値でなく、発がん性以外の非確率の影響の NOAEL が根拠となる。発がん性以外の健康影響としては慢性の呼吸器疾患と、皮膚や眼、上気道の粘膜の刺激症状が考えられる。EHC 77⁹⁾ や ACGIH のレビュー²⁶⁾ では、慢性の呼吸器疾患やそれによる死亡の増加については否定的である。

12. わが国の人造鉱物繊維曝露と健康影響研究の現状

わが国の人造鉱物繊維の製造従事者は、ガラス繊維がおおよそ 5 千人、ロックウール 500 人、セラミック繊維 300 人程度、ウイスカ 120 人であり、1990 年代初めに行われた作業環境実態調査では、各繊維製造事業所の気中濃度の幾何平均値は、ガラス繊維、グラスウールが 0.01 繊維/cc、ロックウール 0.34 繊維/cc、セラミック繊維 0.50 繊維/cc、ウイスカ 0.06 ~ 9.46 繊維/cc であった¹⁾。わが国でも人造鉱物繊維の製造・使用年数は長い、経

時的な研究や発がん性についての疫学的な研究は見あらず、いくつかの断面調査報告や症例報告が散見されるのみである。Morinaga らは 1991 年に行われたガラス繊維・ロックウール製品の製造従事者に対する労働衛生管理等に関する調査結果を報告している²⁷⁾。作業場の繊維状粒子濃度は、全測定値の 98% 上限値が 0.5 繊維/cc 以下であった²⁸⁾。じん肺検診受診者はガラス繊維作業者に 572 人、ロックウール作業者に 538 人の計 1,110 人であり、そのうち管理区分Ⅱの者が 9 名、Ⅲの者が 2 名であった。このうち管理Ⅱの 2 名以外は過去に他の粉じん作業に 1 年以上従事したことのある者であった。対照群も含めた胸部 X 線フィルムを 3 人の読影者が作業歴についてブラインドで読影したところ、胸膜肥厚斑の判定を受けた者は 7 名であったが、そのすべてが石綿曝露歴が確認または疑われる者であった。胸膜肥厚斑以外の非特異的胸膜病変も、曝露群への集積は認められなかった。

Yano らは 1995 年、国内 8 企業の R/SW 製造 9 工場の環境測定データを集めたところ、吸入性粉じん濃度の幾何平均値は 0.06 から 1.6 mg/m³ であった。しかし、現行の作業環境測定の規定のため繊維濃度は一律には測定されていなかった²⁹⁾。これらの工場の男性作業員 493 人の呼吸器自覚症状については持続性咳・持続性痰の頻度は都市住民での研究報告より多くなかった。また胸部レントゲンの所見も非粉じん作業員の対照群と同等であった。しかし、この研究では陽性対照とした石綿工場作業員でも有所見率の増加が検出されておらず、両工場における Healthy worker effect の可能性は否定できない。

症例報告として Yamaya らは、72 歳のロックウールによる肺線維症を報告した³⁰⁾。その根拠は 60 歳から 12 年のロックウール吹きつけ作業歴と、針生検による肺組織中の非晶質繊維の存在および石綿小体が見られないことであるが、胸膜肥厚等もあり、著者に確認したところ、60 歳以前の作業歴の調査はほとんどなされていなかった。従ってこの症例は石綿への曝露が否定できない。

グラスウールによる皮膚刺激症状や皮膚炎は学会報告等で散見されるように、保温剤を取り扱う建設作業員等に高頻度で見られる障害である。Okano らは 4 例のグラスウール皮膚炎の症例報告とレビューを行い、これらの皮膚炎は繊維への曝露遮断で軽快すること、繊維径 4.4 μm 未満のガラス繊維では皮膚炎が起こらないことを指摘している³¹⁾。

13. わが国の許容濃度決定のために

ACGIH は EPA³²⁾ の調査に基づき、1 繊維/cc 以上の人造ガラス質繊維への曝露で上気道の一時的な機械的炎症が考えられ、そのレベルを許容濃度とすることを 1996 年に勧告している。この刺激症状は個人差が大きく、許容濃度設定時に用いられる「大多数の作業員に有害な影響の見られない濃度」を定めるのに十分な資料を

得るのは困難である。それ以前にわが国の問題は、人造鉱物繊維の環境管理が一般粉じんの規定に基づき重量濃度で行われているため、繊維濃度で管理している欧米の研究結果が利用できないことである。人造鉱物繊維による健康影響発現の機序を考えると、重量でなく繊維数が問題であることは議論の余地が無く、わが国も早急に作業環境管理のための測定方法を繊維濃度に改める事が必要である。そのため当面、本学会としても上のACGIHの示す1繊維/ccという値を、ガラス長繊維ならびにグラスウール・ロックウール・スラグウールに関するわが国の管理の目安として採用し、作業環境測定制度の変更を待って、曝露データと健康影響に関する情報の蓄積を行うことが必要と考える。

文 献

- 1) 中央労働災害防止協会. 労働省労働基準局安全衛生部化学物質調査課 (監修) 石綿代替繊維とその生体影響. 東京: 中央労働災害防止協会, 1996; 57-59.
- 2) World Health Organization. Determination of airborne fibre number concentrations—A recommended method, by phase-contrast optical microscopy (membrane filter method). World Health Organization, 1997 Geneva; (和訳) 空気中に浮遊している繊維状粒子数濃度の測定—推奨する光学位相差顕微鏡による方法 (メンブランフィルター法) —. 東京: 日本石綿協会, 1998.
- 3) 森永謙二, 横山邦彦. 石綿代替繊維による健康障害 現代労働衛生ハンドブック増補版. 川崎: 労働科学研究所出版部, 1994; 156-163.
- 4) Iwata T, Yano E. Reactive oxygen metabolite production induced by asbestos and glass fibers: effect of fiber milling. *Ind. Health* 2003; 41: 32-38.
- 5) 硝子繊維協会, セラミックファイバー工業会, ロックウール工業会 人造鉱物繊維 (MMMMF) 繊維数濃度測定マニュアル, 東京: ロックウール工業会, 1992.
- 6) 許容濃度等に関する委員会. 発がん物質の過剰発がん生涯リスクレベルに対応する評価暫定値 (2000) の提案理由—石綿 (アスベスト). 許容濃度等の勧告 (2000). *産衛誌* 2000; 42: 177-186.
- 7) Stanton MF, Laynard M, Tegeris A, Miller E, May M, Kent E. Carcinogenicity of fibrous glass: pleural response in the rat in relation to fiber dimension. *J Natl Cancer Inst.* 1977; 58: 587-603.; Pott F. Animal experiments on biological effects of mineral fibres. *IARC Sci Publ.* 1980; 30: 261-272.
- 8) Jaurand MC. Use of in-vitro genotoxicity and cell transformation assays to evaluate the potential carcinogenicity of fibers. In Kane AB, Boeffeta P, Saracci R, Wilbourn JD (ed) *Mechanisms of Fibre Carcinogenesis*. IARC Sci Pub. No140 Lyon: IARC, 1996.
- 9) International Programme on Chemical Safety: Man-made mineral fibres. *Environmental Health Criteria* 77. Geneva: WHO, 1988.; (和訳) 土屋健三郎 (監修) 毛利哲夫 (訳) 環境保健クライテリア 77 人造鉱物繊維. 東京: 中央労働災害防止協会, 1988.
- 10) Boffetta P, Saracci R, Andersen A, et al. Cancer mortality among man-made vitreous fiber production workers. *Epidemiology* 1997; 8: 259-268.
- 11) Boffetta P, Kjaerheim K, Cherrie J, et al. A case-control study of lung cancer among European rock and slag wool production workers. *IARC Final Report* 2000.
- 12) Saracci R, Simonato L, Acheson BD, et al. Mortality and incidence of cancer of workers in the man made vitreous fibres producing industry: an international investigation at 13 European plants. *Br J Ind Med* 1984; 41: 425-436.
- 13) Simonato L, Fletcher AC, Cherrie I, et al. The man-made mineral fiber European historical cohort study: Extension of the follow-up. *Scand. J Work Environ Health* 1986; 12(suppl 1): 34-47.
- 14) Consonni D, Boffetta P, Andersen A, et al. Lung cancer mortality among European rock/slag wool workers: exposure-response analysis. *Cancer Causes and Control* 1998; 9: 411-416.
- 15) Boffetta P, Andersen A, Hansen J, et al. Cancer incidence among European man-made vitreous fiber production workers. *Scand J Work Environ Health* 1999; 25: 222-226.
- 16) Marsh GM, Youk AO, Stone RA, et al. Historical cohort study of US man-made vitreous fiber production workers: I. 1992 fiberglass cohort follow-up: initial findings. *J Occup Environ Med* 2001; 43: 741-756.
- 17) Marsh GM, Gula MJ, Youk AO, Buchanich JM, Churg A, Colby TV. Historical cohort study of US man-made vitreous fiber production workers: II. Mortality from mesothelioma. *J Occup Environ Med* 2001; 43: 757-766.
- 18) Youk AO, Marsh GM, Stone RA, Buchanich JM, Smith TJ. Historical cohort study of US man-made vitreous fiber production workers: III. Analysis of exposure-weighted measures of respirable fibers and formaldehyde in the nested case-control study of respiratory system cancer. *J Occup Environ Med* 2001; 43: 767-778.
- 19) Stone RA, Youk AO, Marsh GM, Buchanich JM, McHenry MB, Smith TJ. Historical cohort study of US man-made vitreous fiber production workers: IV. Quantitative exposure-response analysis of the nested case-control study of respiratory system cancer. *J Occup Environ Med* 2001; 43: 779-792.
- 20) Buchanich JM, Marsh GM, Youk AO. Historical cohort study of US man-made vitreous fiber production workers: V. Tobacco-smoking habits. *J Occup Environ Med* 2001; 43: 793-802.
- 21) Marsh GM, Buchanich JM, Youk AO. Historical cohort study of US man-made vitreous fiber production workers: VI. Respiratory system cancer standardized mortality ratios adjusted for the confounding effect of cigarette smoking. *J Occup Environ Med* 2001; 43: 803-808.
- 22) Smith TJ, Quinn MM, Marsh GM, et al. Historical cohort study of US man-made vitreous fiber production workers: VII. Overview of the exposure assessment. *J Occup*

- Environ Med 2001; 43: 809-823.
- 23) Quinn MM, Smith TJ, Youk AO, et al. Historical cohort study of US man-made vitreous fiber production workers: VIII. Exposure-specific job analysis. J Occup Environ Med 2001; 43: 824-834.
- 24) IARC. Monographs programme re-evaluate carcinogenic risks from airborne man-made vitreous fibres. Monographs Programme of the International Agency for Research on Cancer 2001.
- 25) <http://www.iarc.fr/pageroot/PRELEASES/pr137a.html>
- 26) ACGIH. Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 7th Ed. Synthetic Vitreous Fibers: American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Cincinnati: 2001.
- 27) Morinaga K, Fujimoto I, Sakatani M, et al. Epidemiology of asbestos-related diseases in Japan. In: Gibbs GW, Dunnigan J, Kido M, Higashi T, eds. Health Risks from Exposure to Mineral Fibers: An International Perspective. North York (Ontario): Captus University Publications, 1993: 247-253.
- 28) 平成2年度 石綿代替品の製造に係わる労働衛生に関する調査研究委員会報告書. 中央労働災害防止協会労働衛生検査センター (所長 館 正知). 東京 (発行年記載無し)
- 29) Yano E, Karita K. Prevalence of respiratory abnormalities of workers in rock/slag wool producing industries in Japan. In: Chiyotani K, Hosoda Y, Aizawa Y. (Ed.) Advances in the Prevention of Occupational Respiratory Diseases. Tokyo: Elsevier, 1998: 337-341.
- 30) Yamaya M, Nakayama K, Hosoda M, Yanai M, Sasaki H. A rockwool fibre worker with lung fibrosis. Lancet 2000; 355(9216): 1723-1724.
- 31) Okano M, Kozuka T, Tanigaki T, Kitano Y, Yoshikawa K. Fiberglass dermatitis in Japan—Report of four cases—. J Dermatology 1987; 14: 590-593.
- 32) Konzen JL. Man-made vitreous fibers and health. In: Proceedings of the National Workshop on Substitutes for Asbestos. US Environmental Protection Agency. EPA 560/3-80-001, 1980: 329-342.

五酸化バナジウム



[CAS No. 1314-62-1]

許容濃度 0.05 mg/m³ (V₂O₅として)

1. 物理化学的性質, 用途

五酸化バナジウムは黄～錆色の不燃性の斜方晶系結晶で, 分子量 181.90, 比重 3.35, 融点 690℃, 沸点 (分解) 1,750℃, 水に微溶, 濃酸濃アルカリに可溶, アルコールに不溶である^{1, 2)}. バナジウム元素は周期表第V族の遷移元素のひとつであり, 原子価は 3, 4, 5 が一般的である. 五酸化バナジウムは, フェロバナジウムの製品原料, 硫酸製造触媒, 有機酸製造触媒顔料, フェライト材料, 電池材料, 蛍光体原料等として使われる. 産出量の多くが, 磁鉄鉱を製鉄した際に発生する副産スラグより生産されるもので, 南アフリカにおいて世界の約 50% を生産する. 更に重油燃料に 250 から 400 ppm 含まれ⁴⁾, 船, 精油所, 火力発電所等の燃焼物残渣中の五酸化バナジウムと三酸化バナジウムに曝露されうる⁵⁾. 国内使用量のうち, 燃料残渣より回収されたものが約 10% をしめる.

2. 体内動態/代謝

実験動物におけるバナジウムの吸収, 分布, 排泄は, ヒトと類似である⁶⁻⁸⁾. 経口曝露では主に上部消化管より吸収され, 吸収率は 1% 未満である. Rhoads ら⁷⁾ は, 雌の Fisher ラットに放射性アイソトープ⁴⁸V で標識した五酸化バナジウムを経鼻吸入させ, ガンマカウンターで肺残存率を測定した結果, 50% が 18 分以内に消失し, 14 日目には 1% 強であった. 曝露後 8~14 日の⁴⁸V 排泄量は, 糞便中より尿中が 2 倍多かった. 全身からの排泄 (半減期 11 時間と 5.1 日) と同様, 肺のクリアランスも二相性 (半減期 11 分と 18 日) を示した.

バナジウムは, ヒトの全身に広く分布する^{9, 10)}. 煙草は 1~8 ppm のバナジウムを含むので, 生体試料中の濃度を測定する際には喫煙の有無を考慮する必要がある⁹⁾. バナジウムの粉じんやフェームに曝露してない健康人の血清バナジウム濃度は, 0.016~0.939 μg/l であり¹¹⁻¹³⁾, 尿中濃度は 1~20 μg/l であった^{14, 15)}. バナジウムは血中では最初リン酸, 炭酸, クエン酸との結合物として存在するが時間と共にトランスフェリンと結合するようになる¹⁶⁾.

バナジウムは, 曝露後速やかに尿中・糞便中に排泄される^{4, 17)}. Glyseth ら¹⁸⁾ は, 0.01~1 mg/m³ 以上のバナジウムに曝露している 11 名のフェロバナジウム炉の作業者の尿中・血中バナジウム平均濃度は 1.52 μmol/m mol Cr・35.7 nmol/l で, バナジウムにほとんど曝露していないと考えられる 6 名の作業者の