

ガラス繊維の健康安全性

硝子繊維協会 環境委員会主査
(旭ファイバーグラス株式会社 断熱・建材事業部)

松 岡 修

Health and safety on glass fiber products

Osamu Matsuoka

Glassfiber Association of Japan / Environmental Committee Convener
(Asahi fiber glass Co. Ltd., Insulation & building materials
Business Division)

ガラス繊維は、欧米をはじめ日本で半世紀以上にわたり、私たちの生活に密着したあらゆる分野で使用され、最も身近な材料の一つである。ガラス繊維は、長繊維（コンティニュアスフィラメント）と短繊維（グラスウール）に大別される。長繊維の主な用途は、FRP、FRTPとしてよく知られている熱硬化性樹脂、熱可塑性樹脂の補強材である。またグラスウールは、主に住宅とか一般建築、設備機器などの断熱・吸音材として用いられる。

ガラス繊維は、発がん性物質として知られているアスベストと同じ無機繊維であることから、欧米でアスベスト障害が大きく顕在化した20年以上前から、ロックウール、スラグウールなどと共にその健康安全性についてグローバルに議論されてきた。国内でも昨今のアスベスト障害に関する報道の高まりの中で、同じ無機繊維であることから不安をおおるような報道がなされたこともあった。そこでここでは、ガラス繊維を中心に、これらの無機繊維の「人に対

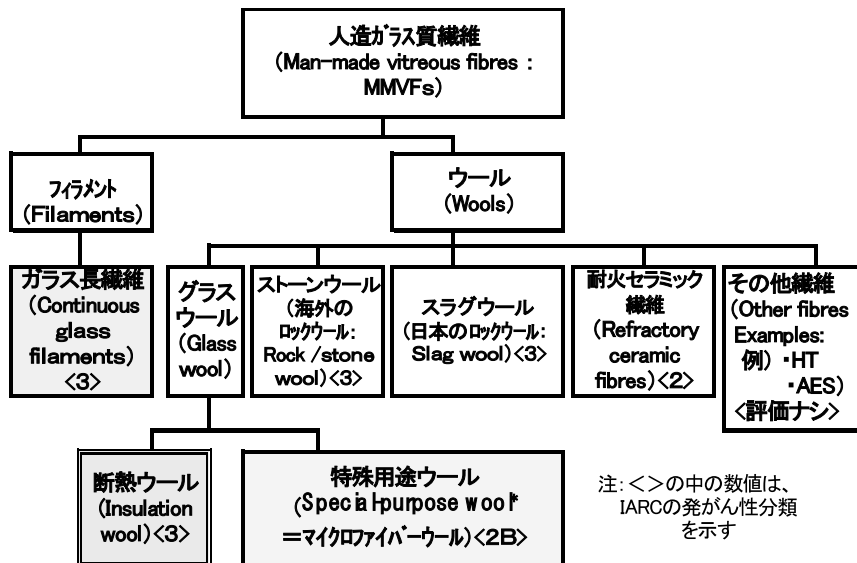
する健康安全性」について、IARC（国際がん研究機関）の発がん性分類を中心にその正しい理解について記述する。

1. IARC による発がん性分類について

WHO（世界保健機関）の下部機関の一つであるIARCは、様々な物質について発がん性リスク評価を行い、その結果をモノグラフで世界に公表している。モノグラフは、新しい研究成果に基づき逐次アップデートされている。このIARCのモノグラフは、各物質の発がん性分類では国際的に最も権威のあるものであり、各国でこの分類に基づいた取り扱いがされている。

1.1 IARC による人造ガラス質繊維（MMVF）の定義

IARCでは、人造鉱物繊維を人造ガラス質繊維（MMVF: Man-made vitreous fibre）といい、図1のような材料分類の定義をしている。MMVFの内、ガラス繊維関係としては、「ガラス長繊維」、「断熱用グラスウール」、「特殊用途ウール」の3種類に分類している。ここで、「特殊用途ウール」は、「断熱用グラスウール」



[参考]: 出典-IARC モノグラフ Vol.81 「Man-Made Vitreous Fibres 2002 IARC Lyon France ; 「特殊用途ウール」の英語表現について、モノグラフの本文中、Special-purpose wool と Special-purpose glass fibre を併用。当分類では、製法及び形態上「フィラメント」ではなく「グラスウール」の範疇に定義。

図1 IARC による人造鉱物繊維の分類

表1 IARC の発がん性分類

グループ1 (ヒト発がん性あり” carcinogenic ”) :	
木材ダスト、太陽放射(solar radiation)、ベンゼン、カドミウム、アスベスト、アルコール飲料、ホルムアルデヒド、たばこ、など	… 95 件
グループ 2A (たぶんヒト発がん性がある” probably carcinogenic ”) :	
紫外線、ディーゼルエンジン排気ガス、塩化ビニール、など	… 66 件
グループ 2B: (ヒト発がん性の可能性あり” possibly carcinogenic ”)	
特殊用途ウール(Special-purpose wool) 、コーヒー(膀胱)、漬け物(アジアで伝統的なもの)、ウレタン、スチレン、ガソリン、ガソリンエンジン排気ガスなど	…240 件
グループ3 (ヒト発がん性に分類されない” not classifiable as to its carcinogenicity ”) :	
グラスウール断熱材、ガラス長繊維 、ロックウール、ナイロン6、ポリエチレン、ポリウレタンフォーム、印刷インク、茶、など	…498 件
グループ4 (たぶんヒト発がん性がない” probably not carcinogenic ”) :	
カプロラクタム	…1件のみ

注: *例示は、Vol. 88 (最終年度 2004 年 7 月 7 日) を示す。 …計 900 (逐次見直し、追加される)

とは、ガラス組成、製法、繊維径、用途などが全く異なる別材料であることから、明確に区別されている（後述）。日本では通常、断熱・吸音用グラスウールの意味で「グラスウール」と表現するので、健康安全について議論する場合には、「特殊用途ウール」と意味を混同しないようにしなければならない。

1.2 IARC 発がん性分類定義と分類評価に用いられるデータについて

グラスウールなどの IARC の発がん性分類例を表 1 に示す。

IARC が MMVF の発がん性分類に際し検討する研究調査データには、1) 動物実験、2) 疫学調査研究、の 2 種類ある。前者は、様々な動物実験による研究データであり、後者は、MMVF を永年製造、使用してきた作業者の健康記録を疫学的に調査した研究報告である。これらのデータが示す証拠の内容によってグループ 1 (Gr.-1) から Gr.-4 まで 5 分類している (表 1 参照)。Gr.-1 とは、「ヒト発がん性あり“Carcinogenic”」という分類で、アスベスト、タバコのように、明らかに人に対して発がん性があることが確認されている材料である。Gr.-2 A は、「多分ヒト発がん性がある“Probably carcinogenic”」という分類で、ヒトに対してはまだ立証されていなくても、動物実験で明確に発がん性が確認されている材料である。Gr.-2 B は、「ヒト発がん性の可能性あり“Possibly carcinogenic”」という分類で、ヒトに対しても、また動物実験でも発がん性が明確になってはいないが、例えば数件でも動物実験で発がん性データがあった場合の材料である。別の言い方をすると、新しい材料とか特殊用途ウールのようにまだ詳細な評価データがないものである。世界的に汎用性のあるグラスウールなどは、グローバルに研究調査が行われるため、やがては詳細な評価データが収集され再評価が行われ易い。「特殊用途ウール」もいずれ再評価されると思われる。Gr.-3 は、「ヒト発がん性に分類されない“Not classifiable as to its carcino-

genicity”」という分類で、ガラス長繊維とか通常のグラスウールのように、ヒトに対して発がん性を認められない材料である。Gr.-4 は、「たぶんヒト発がん性がない“Probably not carcinogenic”」という分類で、ヒトに対して発がん性がないことが立証されている材料で、現実には膨大な検証が必要であるため、例外的に現在 1 物質しかない。

1.3 発がん性評価と WHO 吸入性繊維の定義

繊維のヒトへの健康安全性を評価する場合、それがヒトの肺奥まで吸入される繊維状粉塵を多く含むかどうかということ、万一肺奥まで吸入された場合、生体にどのような影響を及ぼすかということがポイントとなる。繊維状粉塵の全てが肺奥まで吸入されるわけではなく、それには形状的な条件があることが判明している。そこで WHO では、呼吸と共に体内に吸入され、肺まで到達する繊維状物質を吸入性繊維といい、長さ：5 μm 以上、直径：3 μm 未満、アスペクト比（長さとの直径の比）：3 以上のものとして定義している。通常、WHO（フー）ファイバーとも称される。繊維状物質のヒトへの健康安全性を動物実験などで評価する場合には、評価対象材料と同一組成で作製されたフーファイバーを使用して行われる。

1.4 発がん性評価の動物実験法

MMVF の繊維を吸入した場合に、がんのリスクを引き起こすかどうかという研究は、欧米を中心に以前から広範囲に亘って実施されてきた。動物実験には、試料の投与の仕方により大きく別けて、1) 吸入法、2) 気管内注入法、3) 腹腔投与の 3 つの方法がある。

1) 吸入法は、大用量の試料繊維を動物の鼻から吸入させて評価する方法であり、生態の異物に対する防御機構が働いた状況での評価となるため、ヒトへの影響を見るには最もふさわしい方法であるが、設備が大掛かりとなり実験費用が高額になる。

2) 気管内注入法は、生理食塩水で懸濁させた大用量の試料繊維を注射器で動物の気管内に

注入して評価する方法である。生体の防御機構もある程度働くこと、比較的手軽に実施でき費用も安いため取組みやすい方法である。

- 3) 腹腔投与は、ドイツで開発された試験法で、気管内注入と同様の試料を直接腹腔に注入、あるいは植え付ける最も簡単、低費用で行える方法である。ドイツで多く実施されている。しかし生体の持つ防御機構を全く無視した方法であることから、試料のスクリーニングとしては使用できても、ヒトへの影響評価法としては、IARCをはじめ国際的に専門家からは使用すべきでないと批判されている方法である。

1.5 IARC の 1987 年第 1 回 MMVF 発がん性評価会議

IARC では、1987 年ガラス長繊維、ガラスウールなどの人造鉱物繊維に対して初めて発がん性分類を行いモノグラフで公表した。

- 1) グラスウールの評価：第 1 回会議では、ドイツで実施した一部の動物実験（腹腔内投与試験で数例のみ）で発がん性がみられたことから、アスベスト被害の教訓もあり不十分なデータではあったが安全サイドの判断により、「グループ 2B（人に対して発がん性の可能性がある）」という評価を行い、その後の詳細な調査研究待ちの状況にあった。
- 2) ガラス長繊維：製法上 WHO が定めた「人に対する吸入性繊維」をほとんど含まないこと、発がん性を示すデータが認められなかったことから、当初から「Group 3（ヒト発がん性に分類されない）」に評価されている。

1.6 IARC の 2001 年第 2 回 MMVF 発がん性分類評価会議（再評価会議）

IARC では、第 1 回評価会議以降約 14 年間に世界中で発表された膨大な動物実験及び疫学的調査結果を対象に 2001 年 10 月リヨン（仏）でワーキング会議を開催し、MMVF の発がん性リスクの再評価を行った（表 1 参照）。

- 1) グラスウールの再評価結果：

人に対する発がん性の証拠は認められなかつ

たという結論を得て、「Group 3（ヒト発がん性に分類されない）」に評価変更が行われた。第 1 回評価会議以降の EU など世界の評価及び規制はすべて 2B 時代のものであり、その根拠が無くなったことから米国などでは現在評価変更が検討されている。

- 2) ガラス長繊維の評価：見直し会議でも、従来のグループ 3 評価に変更はなかった。

1.7 特殊用途ウール (Special-Purpose wool)

バッテリーセパレーターとかクリーンルーム用高性能フィルター材として用いられるマイクロファイバーウールをいう。その繊維径は、バッテリーセパレーター用では、0.75~3 μm 、高性能フィルター用には 0.1~1 μm 等の極細繊維が使用される。断熱ウール、ガラス長繊維とは、製造方法、生体内での特性などの面において異なるものであり、欧州などでも独立した別物質として扱われている。国内でも、特殊用途ウールメーカーは、断熱材メーカーと異なる業種である。その特殊性から人に対する調査が進んでないことから 2001 年の見直し会議でも、2B のまま変更はなかった。

2. EU 規制：

EU では、欧州指令 (Directive 97/69/EC) により、ランダム配向性の MMVF “断熱ウール” のうち、生体内溶解性繊維 (BSF: Bio-Soluble Fiber) の評価を受けていない、EU 発がん性分類「カテゴリー 3：ヒト発がん性の可能性あり “Possibly carcinogenic”」のものに対して、その発がん性分類に対応した表示 (Labeling) 規定を定めた。これは単に表示規定のみでそれ以上の規制は特にはない。EU 及びドイツでは、IARC 第 1 回評価 2B 時代のガラスウールなどに対する市場の不安に対応するため、既に研究により生体内溶解性繊維は発がん性の面でより安全であることが判明していたことから、BSF については規制適用除外とした。この優遇策により BSF への切替えを誘導してきた。この除外規定では、短期吸入暴露、

短期気管内注入，腹腔内投与試験，長期吸入暴露試験別にBSF判定基準を定め，その何れか1つを満足するもの，もしくは吸入性繊維でないことを示す形状規定を満たすものを除外している。

日本でも，代表的なグラスウール組成を対象に，産業医科大学で実施された欧州規定に則った動物実験（主に直径 $0.1\sim 1\mu\text{m}$ ×長さ $20\mu\text{m}$ 以上のフーファイバーを気管内注入し，EUのBSF試料と比較評価）で，生体内溶解性繊維であることが確認されている（後述）。なおガラス長繊維は，ランダム配向性ではないのでEU規制対象にはならない。

3. ドイツ規制

EUの表示規制の上乗せとして，無方向性繊維のMMVF建築物用断熱・吸音ウールで生体内溶解性評価を受けていないものは，2000年6月1日以降製造，販売，使用禁止とするもの。長繊維は，無方向性繊維ではないため当法令による規制対象外である。

ドイツのBSF判定基準はEUと若干異なり，ドイツ独自の組成規定（KI値）及び腹腔内投与試験，気管内注入試験の3規定のうち何れか一つを満足すればよい。

ドイツは，EU内での規制論争に負けたが，

写真1 アスベスト鉱石



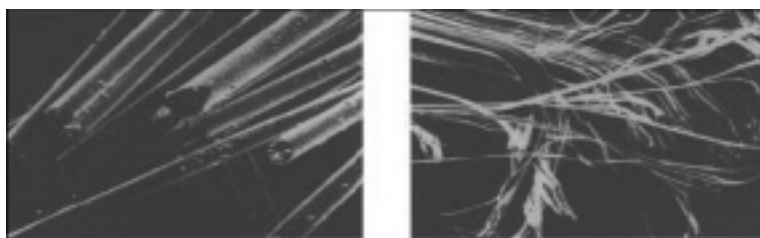
EUの表示規制だけでは不十分ということから，独自の上乗せ規制を実施した。その際，EUでの数年間にわたる規制論争の間に既にドイツ国内の断熱材が，規制の適用が除外される生体内溶解性繊維に切替っていた為，禁止しても業界及び市場に特に問題は起こらないということで実施されたもの。規制除外規定では，EU指令とは異なり，当初からドイツが主張してきた独自の条件が設定されている。

最後に，現在国内で関心の高いアスベストとガラス繊維の違いについて述べる。

4. ガラス繊維とアスベストの相違点

両者は同じ無機系繊維であるということか

写真2 ガラス繊維とアスベスト繊維の比較



左：ガラス繊維

特長：太く、折れても繊維径が変わらない。肺奥まで吸入され難く、入っても速やかに溶出される

右：アスベスト繊維

$1\mu\text{m}$ 以下の極細繊維の束から構成。肺奥まで吸入され易く、生体内で縦に割れ、どんどん細くなり最奥まで容易に侵入、生体内でほとんど排出されない

写真3 マクロファージによるガラス繊維の排泄



ら、よく誤解され勝ちであるが大きな違いがある。アスベストは、写真1に示すように天然の結晶性鉱物繊維であり、鉱物をほぐすことにより繊維として取り出される。

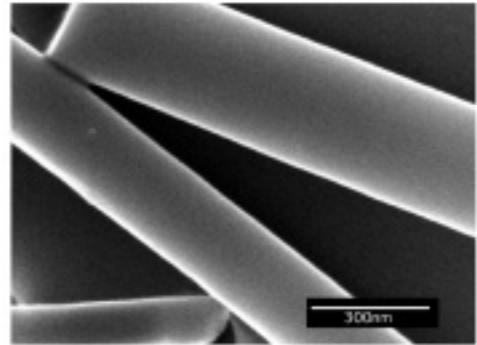
アスベスト繊維は、 $0.1\mu\text{m}$ 程度の結晶性極細繊維で構成される束であり、極めて細くて長い繊維に分かれ、呼吸と共に容易に肺の奥深くまで吸入され、肺胞にまで到達する。生来持つタフさから体内の免疫機能に対する耐性が強く、また体内でさらに細く繊維状に割れるなど、肺胞等に刺さったまま排出されずに異物として生涯体内に留まり、さまざまな病気を引き起こす原因となる。

一方グラスウールは、 $4\sim 8\mu\text{m}$ の太さからなる人工の非結晶性繊維であり、原料にも製品にも、まったくアスベストが混ざることはない。折れても太さが変わらず、吸入されても鼻や気管支でほとんど除去されるため肺胞にまで到達し難い。また万一体内に侵入しても容易に体液に溶け、あるいは体の中の掃除屋である大食細胞(マクロファージ)に取り込まれ、痰(たん)などとして短期間で体外に排出される(写真3と4参照)。

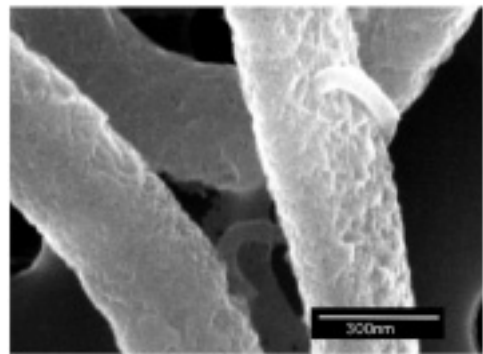
以上、グラスウールの健康安全性について整理してみた。

写真4 グラスウールの生体内溶解性概要
(産業医科大学動物実験より)

1) 原繊維表面の電子顕微鏡写真(変化ナシ)



2) 気管内注入後4週目肺内滞留繊維表面の電子顕微鏡写真(溶解表面の凹凸、繊維屈曲等)



3) 気管内注入後溶解により亀裂の入った繊維

