石綿製品の使用禁止と石綿代替繊維の現状

独立行政法人産業医学総合研究所　神山宣彦

1．はじめに

天然繊維状鉱物の石綿（アスベスト）は，安価で大量供給できる重要な工業繊維原料として，長い間断熱・保温材，あるいは建材，摩擦材など広い分野で使用されてきた。しかし，1970年頃までにその発がん性が明らかになり，1980年代には先進国を中心に使用制限に向けての動きが活発化した。1986年のILO総会においてクロシドライトやアモサイトなどの特に毒性が強いと見られる石綿の使用を禁止すると共に，最も大量に使用されているクリソタイルは厳重な管理の下に安全に使用して行けるとして多くの参加国の政労使が合意した。その後，1998年にはEUが石綿の全面使用禁止を2005年からすることを決定した。

わが国でも，1986年以来ILO条約に沿って，クロシドライト，アモサイトの使用禁止，石綿吹付け建物の取壊しにおける作業者の曝露防止対策など必要な法改正を実施してきたが，昨年（2003年）ついに2004年10月から石綿製品の製造・輸入・譲渡・使用を禁止することを発表した。その禁止石綿製品は，①石綿セメント円筒，②押出成形セメント板，③住宅屋根用化粧スレート，④繊維強化セメント板，⑤窯業系サイディング，⑥クラッチフェーシング，⑦クラッチライニング，⑧ブレーキパッド，⑨ブレーキライニング，⑩接着剤の10品目である。

こうした石綿使用禁止の動きに対応して，産業界では石綿代替繊維の開発と応用が活発化している。本稿は，最近の石綿代替品の状況を概観し，その安全性評価の現状がどうなっているかなどを紹介する。

2．石綿代替繊維

現在，石綿代替繊維としては，ロックウールやグラスウールなどの人造非晶質繊維が多く使われている。その他，将来伸びが予想される候補材料はたくさんあるが，今のところ使用量はそう多くない。一般に代替品といった場合，製造するための資源が枯渇して仕方なく他のもので代用する場合と，製造や使用が危険なために，より安全性の高いものに替える場合とがある。昭和10年代初めの太平洋戦争開始前，カナダからの石綿輸入が途絶えることを見越して戦艦や戦闘機に必需の断熱用石綿の代替品として，海軍の要請によってスラグウールの国内生産が本格化したのは前者の例である。

近年，産業界で活発化している石綿代替問題は，より安全性の高い材料への変換という後者の例である。工業化社会では繊維状物質は不可欠の素材である。建材，摩擦材，パッキン・充てん材など，繊維状物質がなくてはならない工業製品は様々多い。今まで製品の性能保持に果たしてきた石綿の役割は，そのまま石綿代替繊維に要求される重要な役割となる。しかし，石綿の優れた性能を保持して生体に安全な代替繊維を探すことは，実は大変難しい問題である。仮に危険性があっても，用途や使用方法によって全く人に害を及ぼさないならば，その危険性は問題にならないわけで，人に

※作業環境計測研究部　部長

及ぼす危険性を避けきれず問題があって代替するのであれば，その場合発がん性などの有害性が極めて低いものか安全に使用できるものでなければ代替する意味がない。石綿より性能が落ちたうえ，さらに危険なものを使うことにならないとも限らないからである。つまり，石綿代替繊維には必ず人に対する発がん性などの有害性の有無，あるいは石綿に比較してより低い有害性であるといった評価がされていなければならない。現在では，厚生労働省が化学物質の譲渡販売などにおいて物質安全性シート（MSDS）の記載と提示を義務付けている。石綿代替繊維も当然 MSDS に人への安全性についての記載がなされなくてはならない。

現在，石綿代替繊維として使用されているか，使用が有望視されている繊維の一覧を**表 1** に示した。表 1 には，繊維の化学組成と繊維直径，それに IARC での発ガン性評価結果，発がん性試験結果のあるものについては＊印などを表示した。

現在まで知られている石綿代替繊維の中に石綿のように多くの優れた性能を持ち，安価な繊維は見当たらない。したがって，それぞれ物性と生産量，価格が多様なため，用途ごとに単独または複数組み合わせた使い方が必要であろう。

⑴　人造ガラス質繊維（人造鉱物繊維：MMMF）

種類と製造方法：人造鉱物繊維という名称は，Man-Made Mineral Fibers の日本語訳で，表 1 の⑴の人造のガラス質鉱物繊維に限定して使われている。ガラス長繊維（フィラメント）を除いて他は繊維が綿状にからみあった，いわゆるウール状を呈している。原料は，ガラス長繊維とグラスウールがケイ砂，石灰岩，ソーダ灰など，ロックウールは欧米で盛んな玄武岩や安山岩などの天然岩石，製鉄高炉スラグ（鉱滓）から製造したスラグウール，セラミックファイバーはカオリン粘土あるいはケイ素，アルミニウムその他の酸化物で，それらを溶融して MMMF を製造している。高温で溶解した原料を，ガラス長繊維は細孔の空いたポットの底から高速で紡出して冷却後巻き取ってつくる。その他の短繊維 MMMF は，高速回転しているスピンナーに溶解原料を落下させ，スピンナー側壁の細孔から遠心力で吹き出させて繊維化させたものである（スピンナー法）。これはちょうど綿菓子の製造法と同じである。繊維径が特に細いマイクロファイバーは，長繊維の製造と同様の方法で紡出した繊維をさらに高温ガスバーナーで吹き飛ばして作ったものである（火炎法）。直径が 1 μm 以下で高性能フィルター（HEPA フィルター）などに用いられている。原料の溶解温度は，通常1500-1600℃程度であるが，セラミックファイバーは1700℃以上とやや高温で，できたファイバーも比較的高温に耐えられる。

化学組成と繊維直径：SiO_2 と Al_2O_3 のみから成るセラミックファイバーから，SiO_2 と Al_2O_3 が減少し CaO や Na_2O などが増加する順に，グラスウール，ガラス長繊維，ロックウール，スラグウールとなっている（表 1）。ガラス長繊維とロックウールは Al_2O_3 と CaO に富み，グラスウールはアルカリ成分に富んでいるのが特徴である。セメントに用いられる耐アルカリガラス繊維は，ZrO_2 または TiO_2 が含有されている。ガラス長繊維は，繊維径が約6-15μm の範囲で一様にそろっている。グラスウール，ロックウール，スラグウールは1-9μm 程度で太い繊維と細い繊維が混在している。セラミックファイバーはやや細く1-3 μm の直径である。

用途と生産量：ガラス長繊維が現在，約30万トン生産されており，その95％がプラスチックの強化材に使用され，集じん用ろ過布，カーテン，電子機器用積層板，蓄電池用ガラスマットなどにも使われている。グラスウールも，約30万トン生産され，その約95％が建物や設備の不燃材として断熱・保温・吸音用に使用されている。また，住宅の天井の断熱・吸音のための吹き込み材に4.5％，フィルターろ材や蓄電池用マットなどにも使用されている。ロックウールは，同じく約40万トン生産され，粒状綿の吹付け耐火断熱材，天井断熱吸音板，住宅用断熱材，建築用断熱・吸音材，産業設備用保温・断熱材などに広く使用されている。セラミックファイバーの生産は約 2 万トン程度で，

技術情報◎◎◎

生体影響については安全性の高いものといえよう。

有機繊維としては，アラミド繊維が数千トン国内生産されている。タイヤコード，ロープ，ケーブル，ゴム補強，防護衣服，さらに航空，宇宙，船舶，レジャー用具などの素材に広く使用されている。石綿代替材としては，ブレーキやクラッチなどの摩擦材，ガスケットやパッキン材，セメント補強材，プラスチック補強材などに使われている。衣料用に純国産技術で開発されたビニロン繊維（ポリビニルアルコール繊維）は，長繊維と短繊維があり，ロープ，ホース，ベルト，帆布などの産業資材のほか，石綿代替繊維としてセメントストレート補強用，軽量板などに5－6万トン使われている。有機繊維はいずれも10μm以上の繊維径を持ち，吸入性サイズではないが，使用方法や2次製品によっては吸入性繊維化することがあるので注意が必要である。

4. お わ り に

MMMFは，長い間大規模に使われており，疫学調査も含めて生体影響評価はかなり確かなものがなされている。それによると，現在，大量に使用されているグラスウール，ロックウールはほぼ発がん性なしとされている。しかし，他の多くの繊維は，まだ評価試験などが不十分で発がん性が不明なものが多い。石綿代替繊維に関する課題は，このような生体内に長期間滞留する，いわゆる難溶解性繊維の安全性評価をそれぞれ確実に行うことである。最近の活発な研究で，繊維状物質の発がん性評価法は，物性調査の段階から細胞レベル，染色体レベル，動物個体レベルのそれぞれで選択肢はいろいろとり得るようになっている。

石綿吸入による発がん性，特に中皮腫の発生が明らかにされてまだ30年である。しかし，その間の労働衛生・産業医学の研究・調査によって，多くのことを知り，様々な対策ができたことは大きな成果である。一方，安価で便利に使ってきた石綿が危険であるとされてから，業界では「ノンアスベスト化」をめざして代替繊維材の開発と使用が活発化している。しかし，いままでの少ない研究からも分かるように，石綿でない繊維状微粒子がみな安全である保証はない。新たに開発し代替した繊維が安全かどうか不明のまま使っている場合もある。現在，石綿も種類によって発がん性に強弱があることや，その他の繊維状微粒子もサイズのみならず種類によっても発がん力が異なることが分かってきた。しかし，肝心の発がんのメカニズムについてはまだ十分に解明されていない。また，シリカ鉱物の例のように肺の線維化と発がんの関係も重要な研究課題である。

最も信頼性の高い生体影響評価法としては，適当な動物に対する吸入試験であるが，莫大な費用と時間を必要とするので，短時間の試験管内試験などであらかじめスクリーニング評価ができれば，繊維メーカーはもとより繊維素材や繊維製品を取扱う作業者や消費者にもメリットは大きい。現在，スクリーニング評価法も確立しつつある。

参考文献

神山宣彦（1989）：アスベスト代替品のすべて，環境庁大気保全局企画課編，日本環境衛生センター，川崎

神山宣彦（1984）：微粒子吸入による健康影響，セラミックス29，111－117

日経BP社（1992）：日経ニューマテリアル別冊「材料選択ガイド」1992年版

WHO（1988）：Man-Made Mineral Fibers, Environmental Health Criteria 77, WHO, Geneva.

神山宣彦（1994）石綿綿代替繊維とその生体影響，労働省安衛部化学物質調査課編，中央労働災害防止協会（東京）

表１　石綿代替繊維の組成，繊維直径および発ガン性評価基準（IARC）

	化学組成	径（μm）	評価基準
1）ガラス質繊維（人造鉱物繊確:MMMF）			
ガラス長繊維（フィラメント）	SiO_2-Al_2O_8-B_2O_3-CaO	3-20	3
グラスウール	SiO_2-Al_2O_3-CaO-Na_2O	1-10	3
耐アルカリガラス繊維	SiO_2-ZrO_2-CaO-Na_2O	1-10	
ロックウール（バサルトウール）	SiO_2-Al_2O_3-Fe_2O_8-MgO-CaO	1-20	3
スラグウール	SiO_2-Al_2O_3-MgO-CaO	1-10	3
セラミックファイバー（ムライト繊維）	51% Al_2O_3-49% SiO_2	1-5	2B
シリカ繊維	SiO_2	1-15	
2）人造結晶質嶺維（ウィスカー，セラミックス繊維）			
ムライト繊維	70% Al_2O_3-30% SiO_2	1－5	
アルミナ繊維（短繊維）	96% Al_2O_3-4% SiO_2		
アルミナ繊縫（長繊維）	〃	3	＊
アルミナウィスカー	Al_2O_3	2-50	
炭化ケイ素繊縫	SiC	＜13	
炭化ケイ素ウィスカー	SiC	0.05-1.6	＊
窒化ホウ素繊維	BN		
窒化ケイ素ウィスカー	Si_3N_4	0.05-1.6	
チタン酸カリウムウィスカー	K2O.8TiO_2	0.1-0.5	＊
チタン酸カリウムウィスカー	K2O.8$TiO_2$2.1/2H_2O	0.1-0.5	＊
チタン酸カリウムウィスカー	K2O.6TiO_2	＜1	
チタン酸バリウムウィスカー	BaO.TiO_2	0.2-0.5	
ホウ酸アルミニウムウィスカー	2B_2O_3.9Al_2O_3	0.7	
酸化チタンウィスカー（ルチル繊維）	TiO_2	0.05-0.5	
炭酸カルシウムウィスカー（アラゴナイト繊維）	$CaCO_3$	0.5-1.0	
塩基性硫酸マグネシウムウィスカー	$MgSO_4$.2H_2O	0.5-1.0	＊
硫酸カルシウムウィスカー（セッコウ繊維）	$CaSO_4$.2H_2O		
酸化亜鉛ウィスカー	ZnO	0.2-3 （テトラポット状）	
ジルコニア繊維	ZrO_2	3	
炭素繊維	C	4-18	＊
黒鉛ウィスカー	C	0.1-5	＊
カーボンナノチューブ	C	0.001-0.01	
フォスフェート繊維	Na2O.2CaO.3P2O5	0.5-5	＊
ケイ酸カルシウム繊維			
トバモライト	5CaO.6SiO_2.5H_2O	0.05-0.2	＊
ゾノトライト	6CaO.6SiO_2.H_2O	0.05-0.2	＊
3）天然鉱物繊維			
セピオライト	4MgO.6SiO_2.7H_2O	0.05-1	3
パリゴルスカイト	(MgO.Al_2O_3).2SiO_2.2H_2O	0.05-1	3
ウォラストナイト	CaO.SiO_2	0.1-10	3
繊維状ブルーサイト	Mg(OH)$_2$	0.05-10	

その他，金属繊維，有機繊維が石綿代替繊維として使用されているか有望視されている。
金属繊維：スチール繊維，ステンレス鋼繊維，銅繊維，タングステン繊維，低炭素鋼繊維（商品名ファイサー）
有機繊維：アラミド繊維（芳香族ポリアミド繊維），ビニロン繊維（ポリビニルアルコール繊維），フェノール繊維（商品名カイノール），ポリ塩化ビニル繊維，ポリアクリロニトリル繊維，ポリプロピレン繊縫
評価基準：IARC（1987,ユ988）による発ガン性評価基準，＊:発ガン性試験結果の報告のあるもの。