

平成2年度通商産業省委託

# 石綿代替製品調査研究報告書

“中小企業のための石綿代替製品開発ガイドライン”

平成3年3月

財団法人 建材試験センター

調査分科会

(14名)

1	主査	平居 孝之	大分大学工学部共通講座教授
2	委員	前田 孝一	千葉大学工学部建築学科助教授
3	委員	仲座 政宏	北里大学衛生学部専任講師
4	委員	遊佐 秀逸	建設省建築研究所企画部国際研究協力官
5	委員	佐藤 仁一	通産省生活産業局窯業建材課班長
	”	高橋 康朗	通産省生活産業局窯業建材課
6	委員	乙黒 利和	(財) 建材試験センター中央試験所技術主幹
7	委員	長岡 秀光	スレート協会 (浅野スレート)
8	委員	井上 忠泰	スレート協会 (三菱セメント建材)
9	委員	服部 純雄	(株) クラレ産資・リビング事業本部主席部員
	”	日笠 純一	(株) クラレ産資・リビング事業本部主席部員
10	委員	十河 英二	東レ (株) 繊維新事業部主席部員
	”	上田富士男	東レ (株) 繊維研究所主任研究員
	”	草津 悟昭	東レ (株) 繊維新事業部
11	委員	溝口 和雄	ユニチカ (株) 化成事業本部部長代理
	”	荒木 卓	ユニチカ (株) 化成事業本部部長代理
	”	堀内 盛夫	ユニチカ (株) 化成事業本部開発グループ
12	委員	武田 洋一	兵庫パルプ工業 (株) 研究開発室専務取締役
	”	安藤 文雄	兵庫パルプ工業 (株) 研究開発室長
13	委員	上田 弘	日本電気硝子 (株) ARG 開発室長
14	委員	計 和弘	住友金属工業 (株) 未来技術研究所

事務局 (財) 建材試験センター 調査研究課 森 幹芳  
高野美智子

実施日程

項目	8	9	10	11	12	1	2	3	月
委員会 本委員会 3回		○				○		○	
調査分科会 5回		○	○		○	○	○		
調査		←————→							
実験				←————→					
報告書作成					←————→				

## 2 石綿代替の現状

### 2-1 石綿利用の現状

#### 2-1-1 種類と性質

石綿とは天然に産する繊維状の無機けい酸塩で鉱物学的名称ではなくばく然とした商業的、工業的用語とされている。石綿は蛇紋岩と角閃石のグループに大別されるが、これ等のグループには次のものが含まれる。

蛇紋岩系 ----- クリソタイル（白石綿、温石綿）

角閃石系 ----- アモサイト（茶石綿）

クロシドライト（青石綿）

アンソフィライト（角閃石）

トレモライト（透角閃石）

アクチノライト（陽起石）

この内、商業的に使用されているのはクリソタイルが殆どで（約95%以上）その他アモサイト、クロシドライトが残りの数%を占める。

尚、日本ではクロシドライトは現在使用されていない。

我国の石綿輸入量の約80%は建築材料に使用されている。このように石綿輸入量の大半が建築関係に使用されている理由として石綿が持つ優れた諸特性があるからである。

- 1) 引張り強さが極めて大きい（高抗張力）
- 2) 表面積が大きくセメント等との密着性に優れている（親和性）
- 3) 燃えないで高温に耐える（不燃、耐熱性）
- 4) 酸、アルカリ等の薬品に侵されにくい（耐薬品性）
- 5) 腐らないで変質しにくい（耐久性、耐候性）
- 6) 柔軟でかつ磨耗に耐える（耐磨耗性）

以上のような物理的、化学的性質のほかに、安価な経済的原料であることなど、マトリックスの補強繊維として他にみられない多くの有用性を持っている。

## 2-1-2 産出量と消費量

石綿の世界産出量は1978年には年産 550万トンを越えたが、その後やや減少し現在は約 400万トン程度である。

国別産出量はソ連がトップで次にカナダ、南ア、ジンバブエ、ブラジル、イタリア、中国と続き、これらで95%を占めている。又、クリソタイルは世界産出量の約95%になっている。

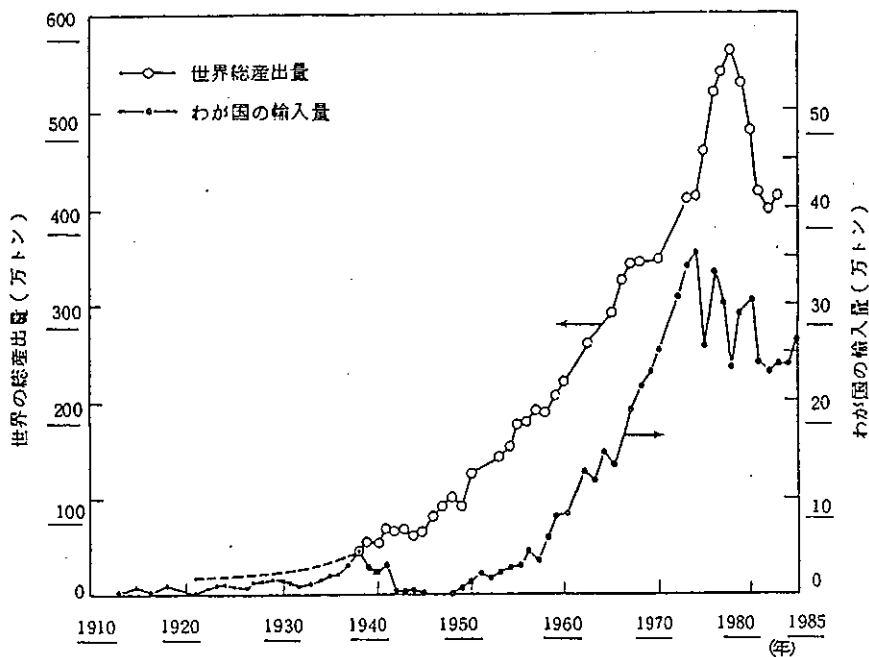


図 2.1.1 アスベストの世界総産出量とわが国の輸入量

わが国の石綿の60%強は石綿スレートに消費され、ついで石綿紙や紡織品などの石綿製品に20%強が消費されている。表 2.1.1 に用途別消費量を示した。

表 2.1.1 わが国における石綿の用途別消費量

製品	1977		1979		1982		1985 <sup>(*)</sup>	
石綿スレート	156,000(トン)	61.9(%)	182,000(トン)	65.2(%)	144,000(トン)	64.3(%)	154,000(トン)	63.7(%)
石綿パイプ	—		—		1,300	0.6	1,200	0.5
高圧石綿管	7,500	3.0	6,200	2.2	1,900	0.8	700	0.3
パルプセメント板	5,500	2.2	6,300	2.3	5,000	2.2	10,000	4.1
石綿製品	64,000	25.4	66,500	23.8	53,600	23.9	50,000	20.7
(紡織品)	(10,000)		(9,600)		(8,500)			
(ジョイントシート)	(7,600)		(8,100)		(8,100)			
(石綿紙)	(21,000)		(21,500)		(11,700)			
(摩擦材)	(13,700)		(17,100)		(15,700)			
(その他)	(11,700)		(10,200)		(9,600)			
ビニルタイル	7,000	2.8	6,000	2.2	6,000	2.7	2,700	1.1
その他	12,000	4.8	12,000	4.3	12,000	5.4	23,000	9.5
合計	252,000(トン)	100.1(%)	279,000(トン)	100.0(%)	223,800(トン)	99.9(%)	241,600(トン)	99.9(%)

\* 推定値

アスベスト排出抑制マニュアル

### 2-1-3 生成と結晶構造

石綿の母岩である輝石，角閃石，かんらん岩は高温高圧下で水蒸気ガスの作用によって蛇紋岩に変化し多くの割れ目を生じる。この割れ目に沿って溶液が侵入し冷却され、細い繊維状の結晶となって裂げきの両側面に直角に析出する。これらは配列の状態によって、

- ① 石綿層と直角方向に繊維が配列しているもの。(cross fiber)
- ② 石綿層と平行に繊維が配列しているもの。(slip fiber)
- ③ 集塊状のもの。(mass fiber)

に分けられ、cross fiberは他の fiberより繊維強度が強い。

クリソタイルは非常に細い中空(数10Å)管状の繊維で長さは1μm以下の短繊維から10cm以上に達する長繊維までである。クリソタイルは7.2Åの厚みを1:1層型蛇紋岩の単位層10数枚(太い繊維で40枚位)が同心円状又はらせん状に巻いて出来た中空管状状態をしており、最外壁にはOH基のH<sup>+</sup>が露出しており、そのためクリソタイル繊維の表面はH<sup>+</sup>に起因する正電荷を持っている

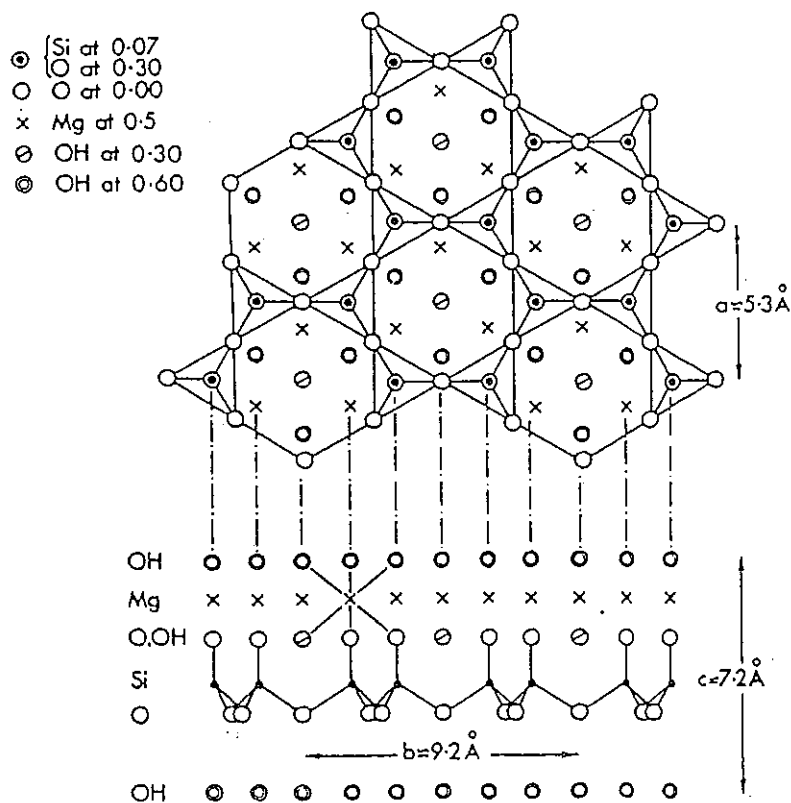


図 2.1.2 クリソタイルの結晶構造

2-1-4 物理的・化学的特性

表 2.1.2 に主なクリソタイルの物理的・化学的特性、表 2.1.3 に化学組成を示した。

表 2.1.2 物理的・化学的特性

硬度	2.5~4.0
比重	2.55
比熱 (cal/g/°C)	0.266
抗張力 (kg/cm <sup>2</sup> )	31,000
ヤング率 (kg/cm <sup>2</sup> )	$1.65 \times 10^6$
比抵抗 (MΩ cm)	0.003~0.15
pH	9.2~9.8
屈折率	1.50
柔軟性	優
表面電荷 (ゼータ電位)	+
耐酸性	++優
耐アルカリ性	優
脱構造水温度 (融点) [°C]	550 ~ 700 (約1500)
耐熱性	450°C位から脆くなる
結晶系	単斜晶系及び斜方晶系

表 2.1.3 化学組成

SiO <sub>2</sub>	40.75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.44
FeO	0.28
MnO	0.03
MgO	41.28
CaO	0.35
Na <sub>2</sub> O	0.07
K <sub>2</sub> O	0.04
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	12.86
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.78
Total (%)	100.25

化学構造式 Mg<sub>8</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub>

N<sub>2</sub> 吸着による表面積  $1.3 \times 10^5 \sim 5 \times 10^5$  cm<sup>2</sup>/g

## 2-1-5 抄造特性

石綿繊維長の主な分布は表 2.1.4 の様になっており、繊維長により様々なグレードが生産されている。又、この繊維長は抄造性に大きな影響を与える。

表 2.1.4 繊維長分布 [%]

	5mm以上	5~1 mm	1~0.1 mm	0.1 mm以下
クリソタイル 4	10	20	30	40
” 5	5	10	45	40
” 6	1	4	35	60
クロシドライト	40	20	5	35
アモサイト	15	20	25	40

石綿スレートの抄造性において、石綿は次のさまざまな特性を有する。

- a 濾水性
- b セメント粒子の捕捉性
- c 保水性
- d 成形性

これらの物質は、石綿が抗張力のある電荷をもった中空構造の無機材料であることから生じている。

## 2-1-6 価格

表 2.1.5 に代表的なグレード、産地及び価格を示した。

一般に石綿スレートに使用されるグレードは、4クラス~6(7)クラスで、各マインにおいて、同一種の岩石を分級して、各クラスの石綿を生産している。各地で生産された石綿は、商社を通じて国内に輸入されており、購入価格はレートによって変動しており、又同じクラスの石綿でも産地によってかなり価格にバラツキが生じている。

表 2.1.5 石綿の種類と価格

クラス	グレード	産地	マイン	※価格 (円/kg)
4	C&G4	ジンバブエ	Shabani & Mashaba	100 ~ 150
	T40	"	"	
	4T500	カナダ	L. A. B	
	AX	"	Cassiar	
	HVL4	スワージーランド	Havelock Mine	
	P4	ソ連	ソ連	
5	C&G5	ジンバブエ	Shabani & Mashaba	75 ~ 130
	T48	"	"	
	5K550	カナダ	L. A. B	
	AY	"	Cassiar	
	5K	"	J/M	
	HVL5	スワージーランド	Havelock Mine	
	P5	ソ連	ソ連	
6	G58	ジンバブエ	Shabani & Mashaba	55 ~ 95
	T58	"	"	
	AZ	カナダ	Cassiar	
	6D	"	J/M	
	HVL1877	スワージーランド	Havelock Mine	
	P6	ソ連	ソ連	
	M6	"	"	

※レート 135円



## 2-1-7 石綿による疾病

現在、石綿との関連が認められている疾病として①石綿肺、②肺がん、③悪性中皮腫の三つがある。

### ①石綿肺

石綿肺は石綿によって起る病気として最も早く注目されたもので、肺が線維化してしまう肺線維症という病気の一つである。線維化すると、本来スポンジのような肺が堅くなり、ひきつれ、萎縮し、ふくらみにくくなってしまふ。肺の線維化をおこすものとしては石綿のばく露以外にもその他の粉じん、薬品等多くの原因があるが、石綿のばく露によって起きた肺線維症（じん肺）をとくに石綿肺として区別している。

石綿肺は軽度のうちは、あまり症状はでてこないが、重くなるにしたがって、息切れ、せき、倦怠感などがでてくる。通常はこれらの自覚症状より先にレントゲン検査などによって発見される。

発症の仕方や進行の具合はばく露の量によって異なるが、症状は徐々に進行していくことが多く、長期にわたる注意、観察が必要である。

### ②肺がん

肺がんは日本人の死因のなかでかなり多くの割合を占め、男性の悪性新生物（がん）では2番目に多い病気である。喫煙がその原因のひとつであることはよく知られているが、石綿によっても肺がんにかかる危険が増えることが多くの研究で示されている。

その危険はやはりばく露する量がふえるほど大きくなる。石綿による肺がんと他の原因による肺がんとの区別はできないため、一般の人の肺がんの場合、その原因が石綿であると断定することは不可能である。したがって、現在一般の環境において石綿の肺がんに対する影響がどの程度あるのかを評価することは非常に困難であり、一つの課題となっている。

### ③悪性中皮腫

悪性中皮腫というのは非常にめずらしい病気である。肺を取り囲む胸膜や、肝臓や胃などの臓器を囲む腹膜にできる悪性の腫瘍で、石綿特にそのうちのクロシドライトやアモサイトといった角閃石系の石綿が原因となる割合が非常に高く、クリソタイルでは比較的少ないと考えられている。また石綿と総称される以外のエリオナイト（繊維状ゼオライト）等の原因によるものも多いという報告もあり、原因となる鉱物繊維の種類については現在議論の多いところである。比較的稀な病気のため診断もむずかしく、診断がついたときはすでに手遅れとな

る場合が多いことや、比較的低い濃度のばく露でも生じる可能性のあることから、慎重な対応が必要である。

そのほかにも過去において、石綿による消化器がんや卵巣がんなどの悪性腫瘍がみられたという報告があるが、現在では石綿は肺がん、悪性中皮腫以外の悪性腫瘍とは関係が少ないと考えられている。

現在一般に使用されている石綿はクリソタイル、アモサイト、クロシドライト（現在は使用されていない）という三種類が主なものであるが、これらの石綿はその物理的性状、あるいは化学的性状に若干の違いがある。従って、これら石綿の種類によって人体に与える影響の大きさは異なると考えられている。影響の大きさを調べるために、細胞を使った実験や、動物実験が多くおこなわれているが、その結果はさまざまである。ただ、現在一般にいわれていることは、それぞれの石綿はすべて前にあげた様な疾病を引き起す可能性があること、その影響の強さはクロシドライト、アモサイト、クリソタイルの順番であること、中皮腫はクロシドライトとの関連が強いことなどである。

同じ種類の石綿といっても、繊維の長さや巾は一定とは限らない。

これもいままでに数多くの実験がおこなわれ、いろいろな意見もあるが、現在もっとも支持されている意見は、細かく、長いほど人体に対する影響が強く、先にあげたような疾病をおこしやすいというものである。

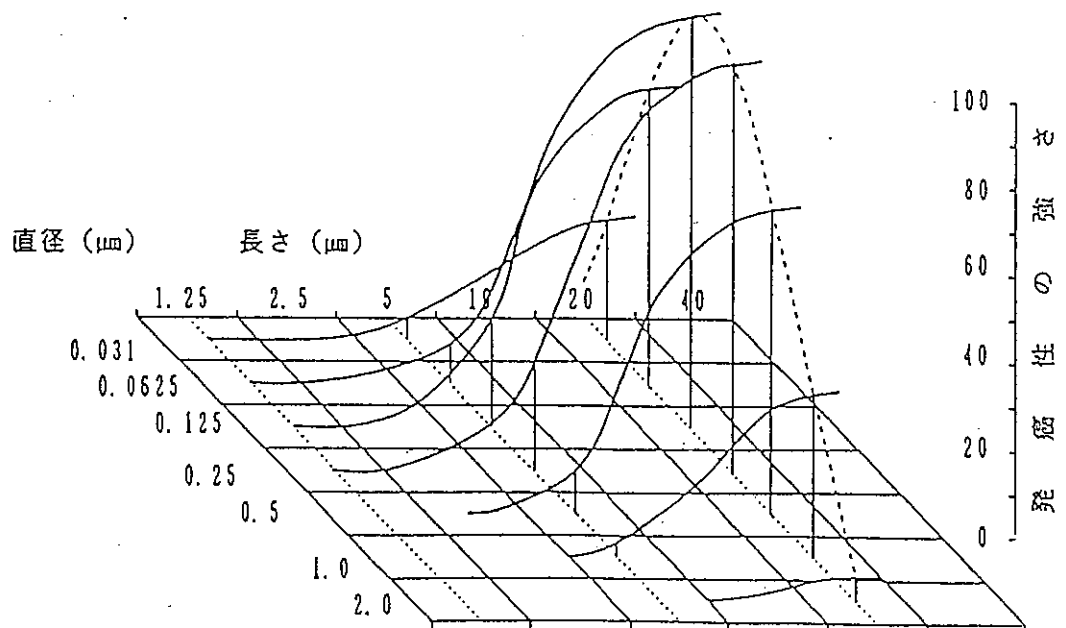


図2. 1. 3 繊維サイズ別にみた発がん性の強さに関する仮説 (Poll 1978)

図2. 1. 3は、石綿、その他の天然鉱物繊維、人造鉱物繊維を動物（ラット）の腹腔に注射して腫瘍の発生をみた実験の結果をまとめたものである。太さが0.1～0.3ミクロンの細い繊維で、長さが長いほど発がん性が強いことが示されている。この理由については多くの意見が考えられるが、いまのところは、はっきりとわかっていない。繊維の長さや種類はその石綿が使用される目的によって異なる。一般の大気中や飲料水にふくまれている石綿は産業で用いられているものと異なり、ほとんどが細かく、短い繊維であることがわかっている。

## 2-2 代替材料の種類と性質

### 2-2-1 代替材料の種類

石綿代替材料の研究は、植物繊維、天然鉱物繊維、人造鉱物繊維、合成有機繊維などの繊維材料あるいは天然鉱物などで、用途に適した性能を有すると見なせる材料について、広範囲にわたって行われている。しかし、それらの代替材料の安全性は十分に解明されたわけではなく、今後の問題として残されている。

セメントスレートの分野でも、石綿の一部または全部を代替材料にした製品の試作ならびに耐久性を含む性能の研究が行われており、1種類の繊維ではなく、数種類の繊維と混和材料を組み合わせて代替する方法で、有用な製品の開発が実現している。文献調査において言及された石綿代替のための何等の可能性を有する材料を一覧にすると表 2.2.1 になる。

表 2.2.1 文献に取り上げられた石綿代替材料

種類	備考、ローマ字は英語名
セルロース	cellulose
セルロースパルプ	cellulose pulp、パルプ状のセルロース 商品名：セロファイバー（兵庫パルプ工業） 十條ジェットファイバー（十條製紙） ダンパック クリーンファイバー（本州製紙） ファイバーエース（紀州製紙）
ポリエチレン合成パ ルプ	パルプ状のポリエチレン （三井石油化学、米国クラウンゼラパック）
ビニロン	（PVA Fiber） ポリビニルアルコール polyvinylalcohol(PVA) 商品名：海外 クラロン（KURALON、クラレ） ミューロン（MEWLN、ユニチカ） 国内 クラレビニロン ユニチカビニロン
アクリル	（acrylic fiber） ポリアクリロニトリル polyacrylonitrile(PAN) 商品名：TX-1（東レ） アトラン（東レ）

有機系繊維材料

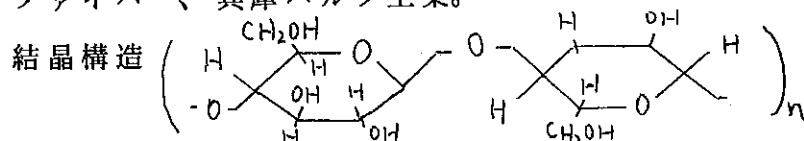
	カシミロンTUP (旭化成工業)
	Dolanit10 (ヘキストジャパン)
アクリル酸化	商品名: ラスタン (旭化成工業)
	テルメックス, パイロメックス (東邦レーヨン)
ポリ塩化ビニル	polyvinyl chloride
	商品名: テイジンテピロン (スレート補強用, 帝人)
アラミド	aramid
	商品名: テイジンコウネックス (Teijinconex, 帝人)
	ノーメックス (Nomex, デュボンジャパン)
	テクノーラ (帝人)
	ケブラー (Kevlar, 米国, 東レ)
	トワロン (Twaron, オランダアクゾ)
	アピエール (Apyeil, ユニチカ)
ポリイミド	polyimides
ポリアミド	polyamide(PAM) 商品名: ナイロン
ポリエステル	polyester(PET)
ビスコース	viscose
レーヨン	rayon、再生セルロース、ビスコースレーヨンが多い
ポリテトラフルオロエチレン	polytetrafluoroethylene(PTFE)
	商品名: テフロン (米国デュボン)
	トヨフロン (東レ)
ポリベンゾイミダゾール	polybenzimidazole(PBI)
	商品名: PBI (帝人)
ポリオレフィン	polyolefin
	商品名: SWP (ケミベスト, 三井石油化学工業)
ポリエチレン	polyethylene(PE)、ポリオレフィンの1種
ポリプロピレン	Polypropylene(PP)、ポリオレフィンの1種
ポリアリレート	商品名: ベクトラン (Vectran クラレ)
フェノール	phenol
	商品名: カイノール (日本カイノール)
サイザル	sisal
ジュート	jute、麻の一種
やしの果皮	coir

無 機 系 織 維 材 料	耐アルカリガラス	alkali resisutant glass 商品名：ARGファイバー（日本電気硝子） C e m - F I L (英国Pilkington Brothers)
	Aガラス	A-glass
	Cガラス	C-glass
	Dガラス	D-glass
	Eガラス	E-glass
	Rガラス	R-glass
	Gガラス	G-glass
	グラスウール	glass wool
	ロックウール	rock wool
	スラグウール	slag wool
	スチール	steel
	ステンレス	stainless
	ピッチ系炭素	pitch-carbon 商品名：クレハカーボンファイバー（呉羽化学工業） 旭化成カーボンウイスキー（旭化成工業） ダイアリード（DIALEAD、三菱化成）
	PAN系炭素	PAN-carbon 商品名：ベスファイト（東邦レーヨン） トレカ（東レ）
	シリカ	silica
	炭化珪素	SiCw
	珪酸カルシウム	calcium silicate
	シリコンカーバイド	silicon carbide
	シリコン窒化物	silicon nitride
	アルミナ	alumina
アルミナーシリカ	aluminosilicates	
ジルコニア	zirconia	
チタン酸カリウム	potassium titanate	
ボロン窒化物	phorone nitride	
塩基性硫酸マグネシウム	モスハイジ、硫酸マグネシウムと水酸化マグネシウムによる単結晶繊維	

合成カルシウムナトリウムメタリン酸塩	Synthetic Calcium Sodium Metaphate、フォスフェート繊維の一つ
水酸化マグネシウム	magnesium hydroxide
石膏	gypsum
リン酸塩ポリマー	phosphate polymer
レフラクトリー繊維	refractory fiber、1300℃程度の高温に耐える繊維、灼熱繊維
フォスフェート繊維	phosphate fiber、有害性等を改善する目的で表面処理をした繊維
人造鉱物繊維	man-made mineral fibre (MMMF)
セラミック繊維	ceramic fiber、アルミナ、シリカ、アルミナーシリカ、ジルコニアなどの繊維の総称、特にアルミナーシリカ繊維を指す場合がある。
鉱物ウール	mineral wool
ガラス繊維	glass fiber、グラスウール、グラスファイバー、ガラスマイクロファイバーなどの総称
エリオナイト	Erionite、ゼオライトの一種
アタパルジャイト	Attapulgate、クリソフォスフェート
ゾノトライト	xonotlite、カルシウムシリケート
セピオライト	Sepiolite、粘土鉱物
ワラストナイト	Wollastonite、硅灰石
ゲーサイト	天然無機物
ゼオライト	zeolite、沸石
珪藻土	diatomite
バーミキュライト	vermiculite
パーライト	perlite
雲母	mica、商品名：マイカ（レプコ社） スゾライト・マイカ（クラレ）
タルク	talc、滑石
パリゴルスカイト	粘土鉱物
ボラストナイト	硅灰石、主成分は硅酸カルシウム
ハロサイト	カリオン鉱物の一種、粘土鉱物
ベントナイト	bentonite

## 2-2-2 パルプ

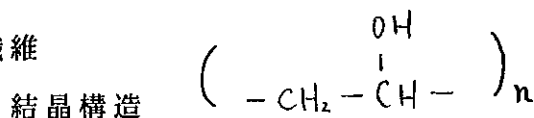
セルロースパルプがセントスレートの抄造用に製造されており、これは次のような性質を有する。セロファイバー、兵庫パルプ工業。



- 抄造時にサスペンションしているセメントのホルディングを可能にする。
- オートクレーブにおける耐熱性を持つ。
- より高い強度を出すには、化学繊維、或は他の補強材が必要である。

ポリエチレン合成パルプは、熱接着性、耐水性、耐薬品性、耐油性にすぐれ、耐候性、抄造性、チクソトロピー性なども備える。ただし耐熱性と不燃性は石綿に劣る。三井石油化学、米国クラウンゼラパック。

## 2-2-3 ビニロン繊維



ポリビニルアルコールの繊維である。高強力タイプの特種ビニロンを補強材とするスレート製造のアスベスト代替技術を、クラレとスイスエタニット社が共同開発している。クラレビニロン、ユニチカビニロン。

一般に使われる抄造法のハチェック法で石綿を代替するのは、ビニロンに高叩解度の木材パルプ、ベントナイト等の無機質物質を入れることで可能となり、若干の調整と設備の改造が必要になる。

ビニロンには次のような性質がある。

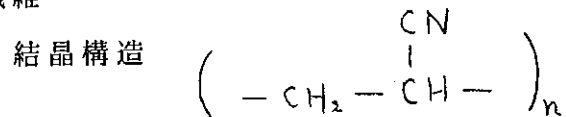
- -OHのアルコール基が存在し、そのため水になじみやすく、セメントへの接着性が優れる。
- 耐アルカリ性、耐候性が良好で、強度劣化がない。
- 軽量で取扱性に優れている。
- 石綿の約10分の1程度の繊維添加率で石綿並の補強効果がある。

特性値	繊維径	4 ~ 660 μm
	長さ	4 ~ 35 mm
	密度	1.26 ~ 1.30 g/cm <sup>3</sup>
	引張強度	16000 kgf/cm <sup>2</sup> (通常品は10000)
	弾性係数	373000 kgf/cm <sup>2</sup> (通常品は210000)
	破断伸び	7.4% (通常品は16%)
	使用温度	最高240℃、高アルカリ性では80℃



## 2-2-4 アクリル繊維

結晶構造



ポリアクリロニトリルの繊維である。セメント補強用繊維として開発されている。アトラン、東レ。Dolanit 10、ヘキストジャパン。

- 高強度
- 高弾性率
- 耐アルカリ、耐熱アルカリおよび耐酸性能に優れる。
- 耐候、耐光性に優れる。
- 分散材を加える必要がある。

### アトランの特性値

繊維径	11 ~ 16 μm
繊維長	5 mm
アスペクト比	310
比重	1.18
引張強度	120 ~ 150 kg/mm <sup>2</sup>
弾性係数	1900 ~ 2400 kg/mm <sup>2</sup>
耐熱性	180℃乾熱、湿熱30分間で強度保持率90%以上 最高使用温度：200~250℃

### Dolanit 10の特性値

直径	13 ~ 18 μm
長さ	6 mmと12 mm
単位質量	1.18 g/cm <sup>3</sup>
弾性係数	170000-195000 kgf/cm <sup>2</sup> (通常のアクリル繊維はこの1/3)
耐熱性	80℃、PH12で24時間後に強度の低下なし。

## 2-2-5 耐アルカリガラス繊維

成分の例 (Pilkington: SiO<sub>2</sub> 50-82%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0-5%, ZrO<sub>2</sub>とThO<sub>2</sub> 5-30%, その他 R<sub>2</sub>O(Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O)やR<sub>1</sub>O(MgO, CaO))

セメント系材料の補強に実績がある。抄造によるセメントスレート製品の製造における石綿代替用の繊維が開発中である。

- 耐アルカリ性は、高温環境下など完全であるか注意が必要。

- セメントスラリーへの分散に技術を要する。
- アスペクト比が大きい程補強効果が大きいが、分散性、抄造性から限界繊維長さは最大13mm程度である。
- アスベストセメントの従来の工程への代替はまだ少ない。
- スプレイ法のGRCは単位容積重量がアスベストセメントより25%大きく、同じ密度で比べると、強度が小さい。
- アスベストセメント圧力パイプと成形パイプには利用できる見込みがない。

### 2-2-6 炭素繊維

セメント系材料の補強に有望視され、研究開発が盛んである。原料によりレーヨン系、PAN系、ピッチ系の3系に分けられる。現在はPAN系とピッチ系が主流となっている。PAN系、ピッチ系とも次のような特徴がある。

- 高強度、高弾性である。
- 耐熱性、耐薬品性に優れる。
- 価格が高い。
- しなやかで損傷を受けやすく、取扱に注意が要る。
- 軽量。
- 切断が容易。
- 耐薬品性に優れる。
- セメントとの親和性でアスベストに劣る。

特性値	繊維径	4.9~8μm
	密度	1.70~1.91g/cm <sup>3</sup>
	使用温度	最高350℃

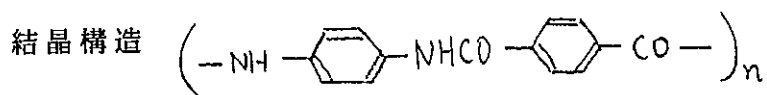
### 2-2-7 雲母

成分の例、 $KAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH,F)_2$  また  $KMg_3(AlSi_3)O_{10}(OH,F)_2$

寸法安定性とひび割れ防止効果があり安価、他の繊維と併用でセメント補強に使われる。セメントとの付着性が小さいので、補強効果は低い。クラレ：スゾライト・マイカ。

## 2-2-8 その他の有機系材料

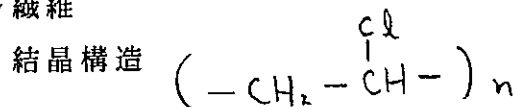
### 1) アラミド繊維



パラ系、メタ系の2系があるが、生産の主流はパラ系である。パラ系アラミド繊維の特徴は第一に有機繊維中最高水準の引張強度を有することがある。その他、熱安定性、耐化学薬品性、耐摩耗性、防炎性がある。しかしセメントとの接着力が弱く、またセメントと抄造での分散性が悪く、補強効果を十分に得るのが難しい。さらに高価格である

特性値	繊維径	0.2~12 $\mu\text{m}$
	密度	1.39~1.44 $\text{g}/\text{cm}^3$
	使用温度	最高200 $^{\circ}\text{C}$ 、熱分解開始温度:500 $^{\circ}\text{C}$

### 2) ポリ塩化ビニル繊維

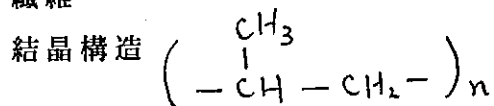


スレートの補強用として昭和61年から販売されている。帝人：テイジンテビロン。

### 3) ポリオレフィン繊維

セメント補強用として販売されている。三井石油化学、SWP（ケミベスト）。

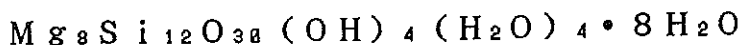
### 4) ポリプロピレン繊維



耐熱性が期待できない。

## 2-2-9 その他の無機系材料

### 1) セピオライト



複鎖構造型粘土鉱物で、不定型鱗片状結晶または中空の管状構造や角閃石のような外観をしていたり、メッシュムと呼ばれる塊状の繊維もある。海泡石と呼ばれる。

繊維径	0.1~0.5 $\mu\text{m}$
密度	2.67 $\text{g}/\text{cm}^3$
最高使用温度	最高800 $^{\circ}\text{C}$

### 2) フラストナイト

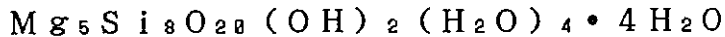
$\text{CaSiO}_3$ 、硅灰石と呼ばれる。

繊維径	0.1~10 $\mu\text{m}$
-----	----------------------

密度 2.88~2.91 g/cm<sup>3</sup>

最高使用温度 800℃

### 3) アタパルジャイト



複鎖構造型粘土鉱物で、短い繊維から構成されていて、表面は水和化され陽子が付加されていて、クリソタイルに似ている。

繊維径 0.3~2 μm

最高使用温度 900℃

### 4) エリオナイト



ゼオライト（結晶性のけい酸アルミニウム）の一種で、繊維サイズは石綿と同程度であるが、平均長はやや短い。

繊維径 0.1~10 μm

密度 2.1~2.2 g/cm<sup>3</sup>

### 5) スチールファイバー

セメント補強分野では、石綿代替ではなく、土木、建築分野でのコンクリート補強用に実用化されている。

### 6) ロックウール

SiO<sub>2</sub>35~45%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>10~20%、CaO20~40%、MgO4~8%、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>0~10%、MnO1~4%。不燃で、耐火性能があり、断熱、吸音・遮音性に優れている。

繊維径 7 μm以上

密度 2.5~2.9 g/cm<sup>3</sup>

### 7) アルミナ・シリカ繊維

SiO<sub>2</sub>24~57%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>41~72%、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>0~3%、FeO0~1%、MgO0~1%、CaO0~1%、Na<sub>2</sub>O0~1%。

繊維径 1.8~12 μm

比重 2.5~2.8

最高使用温度 1200~1600℃

### 8) シリカ繊維

SiO<sub>2</sub>97.9%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>0.3%、CaO0.7%、MgO0.1%、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>0.4%、SrO

繊維径 0.8~10 μm

比重 2.2

最高使用温度 1000℃

### 9) アルミナ繊維

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>72~99%、SiO<sub>2</sub>1~28%、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>0~1%、CaO0~1%、

$\text{Na}_2\text{O}$  0~1%

繊維径 3~20  $\mu\text{m}$   
密度 2.7~3.9  $\text{g}/\text{cm}^3$   
最高使用温度 1200~1700  $^{\circ}\text{C}$

#### 10) ジルコニア繊維

$\text{Zr}_2 + \text{HfO}_2$  90~99%、 $\text{Y}_2\text{O}_3$  0~7%、 $\text{MgO}$  0~7%、 $\text{CaO}$  0~4%

繊維径 5  $\mu\text{m}$   
密度 5.8  $\text{g}/\text{cm}^3$   
最高使用温度 2600  $^{\circ}\text{C}$

### 2-2-10 代替材料を用いた製品と試作

#### 1) ノンアスベストセメントの使用例

スイス 合成繊維とセルロースを用い、通常温度で養生。屋根スレート。  
ドイツ スイスと同じ構成。屋根波板。  
オートクレーブ製品。外壁パネル。  
ラテンアメリカ セルロースと天然繊維を用い、通常温度で養生した低密度製品。屋根スレート。大型外壁パネル。  
南アフリカ 各種のセルロースを用いたオートクレーブの製品。屋根波板。  
ヨーロッパ ビニロン補強のスレート板。アクリル繊維を用いたスレート板。  
日本 パルプ、耐アルカリガラス繊維、ビニロン繊維を用いた内装材および化粧板基材に使うフレキシブルボードをそれぞれ昭和59年と61年から試験生産、浅野スレート。

#### 2) セルロース繊維

パルプ NUKP を5%入れ、吸引脱水後加圧成形しオート・クレーブ養生で試験体を作成。

- 温度上昇と乾燥繰り返しによりパルプ自体は劣化するがパルプ補強体はあまり強度が低下しない。
- 供試体をオオウズラタケ菌の培地で腐朽させても曲げ強度の低下はない。
- 5年間の自然暴露でも強度の低下は特に認められない。

セルロース繊維補強セメントの各種条件での長期材令における力学的性質と微視的構造の変化を調べた研究の結果、中性化を促進するような試験では、中性化による繊維とマトリックスの界面の密度増加と、繊維の石質化が起こり、強度と弾性係数が増加する。温湿度の促進試験では、マトリックスの密度増加があるが、繊維の石質化はなく、強度が低下する。いずれの試験でもねばり強さの低下がある。

オートクレーブで成形されたセルロース繊維補強セメントの各種条件での長期材令における力学的性質と微視的構造の変化を調べた研究では、長期材令における微視的構造の変化は少なく、また力学的性質の変化も少ない。オートクレーブで成形されたものは、オートクレーブせずに成形されたものよりセルロース繊維の石質化が少ない。

### 3) ビニロン繊維とセルロースパルプ

PVA繊維とセルロースパルプとポルトランドセメントを使い、フルスケールのHatschekマシンで試験体を作成し、スイスでの自然暴露試験と実験室での促進試験を行う。PVA繊維は、長さ6mm、径14 $\mu$ m、引張強度15700kgf/cm<sup>2</sup>、弾性係数373000kgf/cm<sup>2</sup>、破断伸び7.4%である。

- PVA繊維は、80℃まで上昇する製品の温度とセメントの高アルカリ性に耐久性があり、またHatschekマシンの製造過程での損傷がない。
- 促進養生でPVA繊維は引張性能に多少の低下が見られたが、その結晶構造に変化はない。
- 養生条件によっては材令とともにPVA繊維の重要でない変化がX線回折により観察される場合もあるが、セメント板の曲げ強度に影響はない。

### 4) ビニロン繊維

ビニロンの長さ、径と、混入量を変えて、モールドに打設する方法で作成した試験体について、以下の事が分かった。

- ビニロンは石綿代替の可能性はある。
- ビニロンの補強効果は石綿の約5倍である。
- ビニロンの補強効果は配合量、繊維長、繊維の細さにより上昇する。
- ビニロンの補強効果はアスペクト比が大きくなると上昇する。
- 衝撃値は配合量、繊維長、繊維の太さにより上昇する。

### 5) ビニロン繊維または炭素繊維とパルプ

セメント40%、粉末石炭灰35-55%、パルプ3%、ビニロン繊維または炭素繊維1%で混合成形。

- 耐熱性は石綿系建材と同程度。
- 断熱性保温性が良い。
- ビニロン繊維では割れにくい。

### 6) アクリル繊維とセルロース繊維

重量で2%のDolanit10(アクリル繊維)と4%のセルロースを混入した試験体。

- DIN standard 4102のpart1のClass A2の建築材料の品質に合格し、有害ガスを発生しない不燃材料である。

重量で1-3%のDolanit10(アクリル繊維)と、4-6%のセルロ

ースや合成繊維（Pulplexなど）を入れ、ハチェックマシンで成形。

- 曲げ破壊断面で繊維の引き抜けがなく、付着は良い。
- 石綿スレートより強度は少し低いが変形性能が大きい。

#### 7) 耐アルカリガラス繊維とパルプ

- 製造効率の低下より製品価格が20-50%高い。
- セメントとの親和性が石綿と比較して低い。
- 分散性が劣る。
- 製品の強度と寸法安定性がやや劣る。
- 不燃材料の建設大臣の個別認定を受けている。

#### 8) ビニロン繊維とパルプ、および耐アルカリガラス繊維とパルプの比較

ビニロンと耐アルカリガラス繊維ARGを用いてS6相当品を実機（ウエットマシン）にて試作。ビニロン（15d・10mm）ARG（13~15 $\mu$ ，13mm，6mm）石綿（5%）パルプ（7%）である。

調査の結果以下の事が分かった。

- 分散は良好であるが抄造効率の低下が予測される。
- 補強効果はビニロン、ARG共ほぼ同等で50~60kg/cm<sup>2</sup>-1wt%。
- たわみ、耐衝撃性については、ビニロンが優れている。
- 長期耐久性はビニロンの方が若干良いと思われる。ただし、オートクレーブ養生では両繊維共補強効果は期待できない。

#### 9) 石綿とパルプと耐アルカリ性ガラス繊維とポリプロピレン繊維

試験は、石綿5%、パルプ0.7~1.1%、ARG1.3~1.6%、ポリプロ0~0.5%で行った。実機による。次のような結果となった。

- 製造上は特に問題は無い。
- 養生中の温度上昇はARGの劣化を起こし好ましくない。
- 第2、3回の試作で規格値を達成出来た。
- 水中浸漬1.5年、実暴10年後の品質結果でも強度劣化は見られない。

#### 10) 麻パルプとアクリル繊維とレイヨン繊維

調査は、麻パルプ3%、アクリル系合繊0~1%、レイヨン系合繊0~1%を入れた試験体を、実機により製作し行った。

その結果、抄造生が悪く（排水濃度が高い・繊維分散が悪い）製品物性が劣る（曲げ強度、剝離強度が低い）事が分かった。よって改善策として、パルプのフィブリル化をし、ワラストナイトと高分子凝集剤の添加をすると良いであろう。

#### 11) ビニロン繊維とセルロース繊維

標準的なハチェックマシンで次の2種類の試験体を作製。

- ビニロン繊維（Kuralon）とセルロース繊維を1:1の割合で8%入れ、通常の温度湿度で養生。

- ポルトランドセメントとシリカにセルロース繊維を8%入れ、オートクレーブで養生。

長期材令で曲げ試験と走査電子顕微鏡観察を使う。試験開始時点の試験体では、はじめ多数の亀裂が入り繊維との付着が不良となり繊維の引き抜けと破断が起きる。長期材令の試験体では付着の不良と繊維の引き抜けが明らかに減少し、強度とねばり強さが増加する。

また、同様の研究を試験体が湿った条件で実施。試験体の曲げ破壊での微視的様相は、試験体が乾燥した状態の前述の場合で試験開始時点での試験の場合とよく似ている。自然暴露により、繊維とマトリックスの界面で付着が向上し、試験体の強度が増加する。そのほか試験体に含む湿気の影響は、小さなきれつを発生し強度が少し低下することである。

#### 12) ポリプロピレン繊維

試験体の製法は明記されていないが、ウェット・マシンのようである。結論として、ポリプロピレン繊維の径は小さい程抄造性、補強効果は良い。又、この繊維は耐衝撃性の向上に効果が大きく、使用上の限界繊維長さは最低6mmであろう。

#### 13) 石綿、ビニロン繊維、炭素繊維、アラミド繊維、Eガラス繊維、耐アルカリガラス繊維、セルロース繊維

セメント・マトリックス中でうけるであろう熱及びアルカリ・アタックに対する抵抗性を調査した。アルカリ条件はセメント飽和水、熱条件としては180℃-6時間、90℃-6時間・24時間、60℃-6時間・24時間・1カ月、20℃-6時間・24時間・1カ月、であり、繊維の強度について以下の事が分かった。

- 石綿以外の繊維は全て低下。
- 20℃-1カ月でもポリビニールアルコール繊維、炭素繊維、ポリアラミド繊維で残存率60%以上、その他の繊維では55~50%、Eガラス繊維は約30%。
- 180℃-6時間では炭素繊維、ポリアラミド繊維が80%前後、セルロース繊維、ARG繊維が60%でその他の繊維は測定不能。

#### 14) ポリプロピレン繊維、ビニロン繊維、耐アルカリ性ガラス繊維

ポリプロ、ビニロン、ARGの各繊維について、セメント製品(平板、フレキシブル板、スラグ石膏板)における補強効果の調査をした。試験体は実機(ウェットマシン)で作成した。

調査の結果、抄造性、補強効果、ヤング率、対衝撃性においてビニロンが優れている事が分かった。又、ビニロンの使用でレギュレーション・フリーのフレキシブル板の可能性がある事が分かった。



## 2-2-11 代替材料の比較

抄造によりセメントスレートを製造するための石綿代替材料として見た場合、評価の対象になる性能は次のようなものである。

### 繊維の性質

- 引張強度
- 弾性計数
- 耐摩耗性
- 耐アルカリ性
- 耐薬品性
- 耐熱性
- 耐高温性
- 耐炎性
- 価格
- セメント付着性

### 抄造性

- 親水性
- 水分散性
- 混練性
- セメント親和性

### セメントスレートの性質

- 不燃性
- 耐火性
- 寸法安定性
- 曲げ強度
- 衝撃強度
- 耐水性
- 価格

### 混入率

- 可能最大
- 不燃性上限

これらの性能について、代替材料の比較を行うと表 2.2.2 のようになり、次のように結論される。

- 合成有機繊維は、一般にセメントとの付着が弱く、引張強度と弾性率が小さいため有効なものが少ない。ビニロンとアクリルは、これらの性能を改善した種類があり、有効である。
- 耐アルカリガラス繊維は、セメント補強に必要な引張強度と弾性率があ

り、有効である。

- 炭素繊維は、引張強度と弾性率が高く、特に強度という観点においてセメント補強に有効である。
- 抄造による成形において、セメント保持能力が問題となり、これを解決するためには、高叩解したセルローズパルプが必要である。
- 天然の鉱物物質である繊維状のセピオライトや、あるいは板状のマイカなどは、比表面積の大きい耐熱・化学的安定フィラーとして、有用な代替材料である。
- これらの代替材料を組み合わせて用いて、それらが個々に有する欠点を補償することにより、石綿代替が可能であると考えられる。

表 2.2.2 石綿代替材料の性能表

各種の繊維について、石綿代替繊維として用い、セメントスレートを抄造法で成形した場合の性質を示す。

セメントスレートにした場合の性能は、2種類以上の繊維を併用して性能を向上した事例を対象に含む。

同じ種類の材料でも文献による評価が異なる場合は、文献ごとに1つの行で表し、すべての文献の評価を重複して示している。

表中では◎○△×の4つの記号でその性能を次のように評価している。

◎：セメントスレート用として、石綿と同等以上の性能がある。

○：セメントスレート用として、十分な性能がある。

△：セメントスレート用として、やや不十分な性能である。

×：セメントスレート用として、十分な性能がない。

ただし、混入率はスレート全重量に対する繊維の重量の割合（％）を数字で表すか、または次のような記号で表している。

○：石綿スレートの石綿より大きい。

△：石綿スレートの石綿より小さい。

材質、商品名 メーカー	繊維の性質							抄造性				セメントスレートの性質						混入率							
	引張強度	弾性係数	耐摩耗性	耐アルカリ性	耐薬品性	耐熱性	耐高温性	耐炎性	価格	セメント付着性	親水性	水分散性	混練性	脱水性	セメント親和性	不燃性	耐火性	寸法安定性	曲げ強度	衝撃強度	耐水性	耐湿性	価格	可能最大%	不燃性上限%
セルロース					△			○	◎										△	△	△				
(レーヨン)	×	×		○			×	×		◎															
パルプ クラフトパルプ セルロースパルプ 合成パルプ	×			△						◎		○			×	×	×	○	△	×		◎	15	7	
ビニロン					×	○					○		○		◎	×	×		○	◎	◎		○	△	△
(クラレ)	○	◎		○	○					◎						×	×		◎						
(ユニチカ)	△	×		◎	◎				○						◎				◎						
(RM)	◎	◎		◎	◎					◎								◎	◎	◎	◎				
アクリル					×					△															
(カシミアONTUP)	○	×		◎	×				×	○															
(アトラン)	○	○		◎	◎				◎																
(ト'ラニット-10)	×	×		◎	◎					◎									○						
アクリル酸化 (ラスタン)	△	×		◎	◎		×		◎		○								○	○					△

材質、商品名 メーカー	繊維の性質							抄造性				セメントスレートの性質					混入率								
	引張強度	弾性係数	耐摩耗性	耐アルカリ性	耐薬品性	耐熱性	耐高温性	耐炎性	価格	セメント付着性	親水性	水分散性	混練性	脱水性	セメント親和性	不燃性	耐火性	寸法安定性	曲げ強度	衝撃強度	耐水性	耐湿性	価格	可能最大%	不燃性上限%
(テルメックス) (ハイロックス)	△	○						×																	
ポリ塩化ビニル (テイジン)	△	△																							
アラミド	◎	○			○	○	○		×	×					×										
メタ系 (テイジンコーネック) (ノメックス)	◎				△	○		×	×	△									◎						
パラ系 (テクノーラ) (ケプラー) (アレンカ) (ケブラー49)	△	△							×																
(ケブラー29)	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎																		
	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎																		
	○	○				×																			
	○	○				×																			
	○	×	○			×			△																
ポリアミド	×				◎																				
	×				○																				
ポリエチレン (高密度) (高弾性)	△	×	×		△				△																
	×	×	△		×																				
ポリエチレン+ 合成パルプ					◎	×	×					○													
					◎	×	×					○													
ポリアミド (ノメックス) (ナイロン) (6.6)	◎	×	◎		○		◎		○																
	◎		◎		○		◎		×		○			×	×			△	◎	◎		○	△	△	
	△	×	△						◎																
	×	×			×																				

材質、商品名 メーカー	繊維の性質							抄造性				セメントスレート の性質					混入 率								
	引 張 強 度	弾 性 係 数	耐 摩 耗 性	耐 ア ル カ リ 性	耐 薬 品 性	耐 熱 性	耐 高 温 性	耐 炎 性	価 格	セ メ ン ト 付 着 性	親 水 性	水 分 散 性	混 練 性	脱 水 性	セ メ ン ト 親 和 性	不 燃 性	耐 火 性	寸 法 安 定 性	曲 げ 強 度	衝 撃 強 度	耐 水 性	耐 湿 性	価 格	可 能 最 大 %	不 燃 性 上 限 %
ポリプロピレン	◎ △ ◎ × △ × ×	△ ◎ △ △ ×		◎ ◎ ◎ ◎ ◎			×		×													×		10	
ポリエステル	◎ △ △	△ × ×		◎ △ △					◎ △																
ビスコース	◎		◎					◎																	
ポリテトラ フッ化エチレン テフロン (テフロンTFE) (テフロンFEP)				◎ ◎ ◎	◎ ◎ ◎				△									×							
ポリベンゾイミ ダゾール(PBI)	△ ×	△ ×		◎ ◎	◎ ◎																				
ポリオレフィン	×	△						◎	×																
フェノール	×	×						◎	×																
サイザル				△						◎	○				×	×	×	○	△	△			◎	15	7
やし果皮		△						×												×					
ジュート	×																								
植物繊維								◎																	
hemp	×																								
ramie	×																								
abaca	×																								

材質、商品名 メーカー	繊維の性質							抄造性				セメントスレートの性質					混入率								
	引張強度	弾性係数	耐摩耗性	耐アルカリ性	耐薬品性	耐熱性	耐高温性	耐炎性	価格	セメント付着性	親水性	水分散性	混練性	脱水性	セメント親和性	不燃性	耐火性	寸法安定性	曲げ強度	衝撃強度	耐水性	耐湿性	価格	可能最大%	不燃性上限%
耐アルカリ ガラス	◎	◎	◎	○					×	○		△			◎	○		△	◎	◎			○	△	○
(原材)	◎	△		△				○				△					△		◎				×		
(研磨)	△	△											△				△	△					×		
パルプ+耐アル カリガラス											△		△				△	△					×		
Cガラス					◎																				
Eガラス				×						×		◎			◎	○		×	×	◎			○	△	○
(原材)	◎	△																							
(研磨)	△	△																							
Zガラス				◎																					
グラスウール								◎																	
ロックウール				×			◎			△		△		△	○		×	×	◎			○	5	5	
				×													○	○							
スラグウール				×			◎			△		△		△	○		×	×	◎			○	5	5	
スチール	◎	◎	◎	○					×																
	◎	◎	◎	○				○																	
	◎	◎	◎	○				○																	
	◎	◎	◎	○				○																	
	◎	◎	◎	○				○																	
炭素繊維	◎	◎		◎				×																	
				◎				×	○		○														
				◎	◎			×																	
				◎	◎			×																	
(高強度高弾性)	×	×	◎	◎	◎	◎		△										△							
	◎	◎	◎	◎	◎	◎		△																	
カーボン	○	◎	◎	◎					×		△			◎	◎		△	◎	◎			×	△	△	
	○	◎	◎	◎					△																
PAN系	◎	◎	◎	◎				×																	
(低価格)	◎	◎		◎	○			×										○							

材質、商品名 メーカー	繊維の性質							抄造性				セメントスレートの性質					混入率								
	引張強度	弾性係数	耐摩耗性	耐アルカリ性	耐薬品性	耐熱性	耐高温性	耐炎性	価格	セメント付着性	親水性	水分散性	混練性	脱水性	セメント親和性	不燃性	耐火性	寸法安定性	曲げ強度	衝撃強度	耐水性	耐湿性	価格	可能最大%	不燃性上限%
(高強度) (高弾性) (ハースファイト) ピッチ系	◎◎	◎◎																							
(クハカーボン) ファイバー)	△◎	◎◎							×										◎						
(カーボンウイスター) (クラファイト加工) (GIRK工程)	◎◎	◎◎							◎																
炭化珪素	◎◎	◎◎	◎◎	◎◎					△																
シリカ	◎△	△							×																
炭素フェルト						◎			△																
珪酸繊維	◎◎	◎◎				◎			△																
シリコンカーバイト	◎◎	◎◎																							
シリコン窒化物	△◎	◎																							
アルミナ		◎◎							×																
アルミナ-シリカ		△◎							◎																
ジルコニア	◎◎	◎◎																							
アルミナ-シリカ- -ジルコニア	◎◎	◎◎																							
チタン酸カルウム						◎			×																
ホロン窒化物	△◎	◎																							
ガラス	◎◎	◎◎	△		×	△			◎																
	◎◎	△		△	×				◎												△				
						◎			◎																
									◎																

材質、商品名 メーカー	繊維の性質							抄造性				セメントスレートの性質					混入率								
	引張強度	弾性係数	耐摩耗性	耐アルカリ性	耐薬品性	耐熱性	耐高温性	耐炎性	価格	セメント附着性	親水性	水分散性	混練性	脱水性	セメント親和性	不燃性	耐火性	寸法安定性	曲げ強度	衝撃強度	耐水性	耐湿性	価格	可能最大%	不燃性上限%
ガラス (樹脂)	△	△				◎	○																		
不織ガラス	○	○	△																						
ミネラルウール  (典型)	×	△			◎		○		◎										○						
セラミック  (レフラクトリイ)					◎	◎		○	×																
鉱物繊維					◎			◎																	
人造鉱物繊維			×																	△					
粘土鉱物								×																	
天然無機繊維					◎	◎																			
アタルジナイト								◎																	
ワラストナイト			◎					○	△				○	○	×	×	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	15	15
パーライト								◎																	
珪藻土								◎																	
ハルミキライト								◎																	
雲母	△	◎			×			△							○			△	△				◎		



## 2-3 代替材料の有害性と安全対策

### 2-3-1 繊維の有害性に関する一般論

#### 1) 繊維の寸法に関するスタントンの説

人造繊維を含む各種様々な粒径の鉱物繊維を動物の腹腔内に注入し、腫瘍の発生との関連を検討した実験結果を、1977年にスタントンが発表した。この報告により、繊維の種類にかかわらず、太さ $1.5\mu\text{m}$ 未満（特に $0.25\mu\text{m}$ 未満）、長さ $8\mu\text{m}$ 以上の繊維で腫瘍の発生率が高いことが示された。

その後、他の研究者（ポット等）によっても追試され、長く細い性質で、かつ耐久性（体内における不溶性）のある繊維において、腫瘍発生能が強いことが立証された。このような長く細い性質を持った繊維をスタントンファイバーと呼ぶが、この知見は繊維の計測を行う場合にも重要な意味を持っている。

但し、エリオナイトのように、この範囲のサイズではない繊維においても悪性中皮種発生の報告はある。

#### 2) 繊維の長さや直径の影響についての実験的証拠

同じような形と大きさで種類の違う繊維は異なる発ガン性を持っているかもしれないが、少なくとも暫定的には、発ガンの危険性がすべての種類の繊維において同じように、長さや径とともに変化すると想定することが合理的である。

長さ $8\mu\text{m}$ 以下の繊維は、多分、胸膜に移植後、食細胞の食作用により食べられるので、催腫瘍性または発ガン作用は小さいであろう。

長さ $8\mu\text{m}$ 以上の繊維は、1本の繊維当りの（単位質量の繊維についてでなく）発ガン性と催腫瘍性の可能性は、長さが長くなるほどまた径が数ミクロン以下では径が太くなるほど増加する。例えば、催腫瘍性の可能性は、等しい質量で比較すると細いガラス繊維：太いガラス繊維 = 20 : 1であり、等しい繊維数で比較すると細いガラス繊維：太いガラス繊維 = 1 : 40である。

1本の細い繊維は1本の太い繊維より危険であるという広くいきわたっている確信は、完全に真実であるとは言えないようである。

発ガン性は、食細胞の食作用をのがれる繊維の表面積に比例すると考えられ、それゆえ、繊維1本当りの危険性は、約 $8\mu\text{m}$ 以下の繊維では非常に低い、長い繊維では繊維1本当りの影響は、一定の径以下では長さや径の積に比例するといことが示唆されている。

#### 3) 繊維の沈着、除去、残留、耐久性および移行

繊維のサイズが肺胞への沈着を左右する。ラットでは繊維径が $1\mu\text{m}$ を超えると吸入性が低下し、人では繊維径が $3.5\mu\text{m}$ （口呼吸では $5\mu\text{m}$ ）を超えると、吸入性が著しく低下。5 $\mu\text{m}$ 以下の長さの繊維は肺胞でマクロファージにより効率良く除去されるが、 $10\mu\text{m}$ より長くなると除去の効率が大きく低下する。デ

ータは少ないが、繊維の他の器官への移転は限定されている。

#### 4) 皮膚炎

皮膚や目のかゆみはロックウール、スラグウール、連続ガラス繊維のような4.5~5.0  $\mu\text{m}$ 以上の直径をもつ繊維により起こる。じんましん、湿疹などを起こすが、皮膚炎は重症でない。

#### 5) 有害性の判断規準

悪性腫瘍を起こす繊維状物質の性質として次の3点が挙げられる。

化学的組成 (溶解性)

表面物性

形状

また、ガンになり易い繊維の特性として次の2点が示されている。

数カ月は動物の組織に存続する。

径が2  $\mu\text{m}$ 以下で長さが5  $\mu\text{m}$ 以上である。

さらに、発ガン性は次の順序で大きいことが示されている。

体内に吸引され得ること (繊維直径が小)。

体内に物理的に滞留し得ること (長さがあること)。

生体内で安定して存在できること (化学構造)。

#### 6) 有害性の配慮

繊維の化学構造が有害性における一義的な問題なのではないとされている。代替物についても、化学的に安定で、微細な繊維状形態をとり得る物質は、安全上の配慮を忘れてはならない。

どの繊維でも吸入した場合にはその性質上、人体への影響があると考えられ、石綿を使用禁止することだけでは解決につながらない。例えば、人造鉱物繊維であるスラグウールは、同様な繊維数レベルにおいてクリソタイル石綿より胸膜における発ガン性の可能性が大きいであろうという疫学的証拠が示されている。また合成有機繊維であるアラミド繊維は、発ガン性のあることが実験的に示唆されている。

### 2-3-2 個々の代替材料の有害性

#### 1) アタパルジャイト

結晶末端に有機イオンと有極性有機物を吸着する特性がある。細胞毒性を示すデータもいくつか報告されている。細胞膜破壊。肺胞マクロファージとP338D1マクロファージに細胞毒性がある。実験動物で中皮腫、肺の線維腫が見られる。実験羊の肺に病理的異常がある。

#### 2) ワラストナイト

試験管内の試験によると、これまでに調べられた細胞系に対して比較的無毒で

あると言う報告がある。生物学的作用はあるが、他のものより少ない。細胞膜破壊、肺線維腫、胸膜肥厚、慢性気管支炎、肺胞マクロファージの形態と機能の変化、肺の通気能力の悪化、肋膜肥大などの危険性がある。

### 3) セピオライト

結晶末端に有機イオンと有極性有機物を吸着する特性がある。吸入した場合ラットにおいて線維症が認められている。

### 4) エリオナイト

動物の体腔内投与試験では、極めて高い率で中皮腫を誘発しており、「既知の発ガン物質のうち胸膜中皮腫の誘発については最も強力」という意見もある。人体に対してもトルコの一部地域の中皮腫の大量発生について関与しているという疫学的調査結果が発表されている。

### 5) ゴノトライト

インシュレーション（断熱材）に使われており、その実質的に全部は吸入しうる範囲の繊維である。カナダ産のクリソタイルと同じように溶血性である。マクロファージに対し、活性と細胞質からの溶解酵素の放出を減らすような、細胞毒性を示す反応をひき起こす。

### 6) 珪藻土

乾燥とか焼成したものは珪肺症の可能性がある。

### 7) パーライト

珪肺症を起こすシリカを含む。

### 8) パーミキュライト

肺疾患を起こす tremolite（透角閃石）を含む。

### 9) 雲母（mica、talc）

線維症の恐れあり。tremolite（透角閃石）やクリソタイルを含む可能性がある。

### 10) 鉱物ウール（ロックウール、スラグウール）

基本的な性状として非結晶質であり全体に均一なガラス質なので、横方向に折れるが縦方向に割れることはない。このため繊維径は小さくならない。

生物学的作用あり。製造に20年従事した者は、気管、気管支および肺ガンが統計学的に見て多い。また製造に最初に従事した後30年すると肺ガンの危険が増える。

ヨーロッパの鉱物繊維の製造工場に20年以上従事した者に、肺、膀胱そして皮膚のガンの増加が見られる。

米国のロックウール製造に最初に従事してから30年以上になる場合で、肺がんによる死亡が通常は8.1人と予想されるのに14人であった。

ロックウールの製造に従事する者には、消化器官のガンの危険が増える可能性

がある。

ロックウール繊維はDNAを損傷することが知られている過酸化物の発生を増加させる。

問題が見いだされなかった報告が2件、人体および動物実験でなんらかの影響の見られた報告が5件ある。

ロックウールを吸入させたラットに、肺腫瘍の統計的に有意な増加はないが、ロックウールを腹膜内に注入させたラットに、肋膜の中皮腫の発生にわずかな増加があり、また同様の試験で腹部腫瘍の高い発生率が見られた。

ロックウールとスラグウールは人体に発ガン性があるとする報告があり、EPAでは発ガン物質のグループ2に分類している。

アメリカで、ロックウールやスラグウールに暴露した経歴の人に、呼吸器のガンによる死亡率の統計的に有意な増加がある。暴露の後20年以上たった人に肺ガンの増加が見られる。

ヨーロッパで、ロックウールやスラグウール産業の従事者に、肺ガンによる死亡率の統計的に有意な増加がある。

径が4.5-5 $\mu$ m以上のロックウールは皮膚への刺激作用がある。

ヨーロッパおよび米国の大規模な疫学的調査では、ロック・スラグウールの製造従事者の肺ガンによる死亡率の過剰が認められたが、グラスウールおよび長繊維の場合は過剰が認められなかった。

ヨーロッパの調査で肺ガンの統計的に有意な増加が認められたのは、初期の技術段階の労働者であり、空気中に浮遊する繊維の濃度は今より高い。

ロックウールとグラスウールの最近の技術段階では、肺ガンによる死亡の増加は認められていない。それは発塵抑制剤が使用され繊維濃度が低下したためと考えられている。

米国のコーホートで、3 $\mu$ m以下の小さい径のグラスウールの製造に従事した労働者の呼吸器のガンによる標準化死亡比(SMR, Standardized Mortality Ratio)は、この製造部門の曝露を受けていない労働者より大きい。この傾向は、最初の曝露からの期間との関係は有意と認められたが、全体的な増加と時間経過の傾向において統計学的に有意とは認められなかった。

最重要な疫学調査において、ロック・グラスウールの初期の段階の製造に従事した労働者を中心として肺ガンの増加が認められている。

ロックウールまたはスラグウールの人間に対する発ガン性の証拠は限られたものである。

同じ質量のクリソタイルでは人造鉱物繊維より腫瘍の発生事例が多いが、繊維1本当りの危険性はクリソタイルより、恐らくロックウールが高いであろう。

経気道肺内投与したハムスターの2年後の腫瘍発生で、20例中担腫瘍動物0

例であり、当他の肺内病変として炎症、繊維化、胸膜肥大が見られた。

### 1 1) グラスウール

生物学的作用あり。ハムスターでは肺や肋膜の腫瘍の発生率の統計的に有意な増加のない報告も多いが、気管内投与で肺腫瘍と中皮腫の発生がある。ラットでは呼吸器系の小さな腫瘍の発生や、腹膜内の中皮腫の発生が多くの実験で見られる。

アメリカで、人の呼吸器のガンによる死亡率をわずかに高めた。同様の報告がカナダでもある。

ヨーロッパで、肺ガンによる死亡率の増加は見られない。

ラットとハムスターに吸入させた試験で呼吸器の腫瘍は見られず、肋膜内への投与で胸部の腫瘍を発生しない。

人体に発ガン性があるとする報告がある。

30年以上の観察より、グラスウールの製造に従事する者に、肺ガンの出現率の増加がある。

グラスウールやスラグウールが人体内で溶解するかどうか試されていない。

同時に他の化学物質に暴露される条件を考える必要がある。例えばグラスウールで接着につかわれるホルムアルデヒドなど。

同じ質量のクリソタイルでは人造鉱物繊維より腫瘍発生の事例が多いが、繊維1本当りの危険性はクリソタイルとグラスウールは同程度であろう。

### 1 2) ガラス繊維

実験動物に中皮腫を生じる。ガラス粉塵の中の動物は、石綿粉塵の中の動物と同様の影響を受ける。径の小さいガラス繊維は、同じ寸法の石綿繊維と比較するほどの細胞毒性がある。径の小さいガラス繊維は、気管支培養細胞に、タバコの煙に含まれる発ガン物質による悪性腫瘍への変異と似た異形成を起こした。

吸入されうる寸法のガラス繊維は、人の肺にアスベストと類似の影響を有する。

細胞内のミクロゾームの脂質の過剰酸化を起こし、またベンツパイレンが活性の発ガン性代謝産物に変わるのを助長する過酸化物を発生する。

皮膚刺激性のほか、寸法と生体内での耐久性によって発ガン作用がある。ポットによると、発ガン性は2  $\mu\text{m}$ より長くなると生じ5  $\mu\text{m}$ 以上で著しくなり、2  $\mu\text{m}$ 以下の径で生じさらに細くなるほど強くなる。ベックによると、径が0.5  $\mu\text{m}$ 以下の繊維で発ガン性の著しい増加が見られた。

問題が見いだされなかった報告が8件、人体および動物実験でなんらかの影響の見られた報告が7件ある。

3  $\mu\text{m}$ より大きな径のガラス繊維をラットの腹膜に投与した実験では、統計的に有意な腫瘍の発生は見られない。

アメリカのガラス繊維産業の従事者に呼吸器のガンの増加はない。ヨーロッパ

で、ガラス繊維による肺ガンの増加はない。

ガラス繊維は人体に発ガン性があるとは断定できない。

ガラス繊維の製造と使用時の塵は、比較的大きなガラス粒子を含むので、かゆみを生じる。呼吸の保護具や、目の保護ゴーグルが必要である。

ガラス繊維への曝露では組織の反応の程度は、クリソタイルまたはクロシドライトと比較して著しく小さく、曝露が終わった後は線維化は進行しない。ただしこの報告では肺に到達した繊維はアスベストの方が多かった。

ガラス繊維（マイクロファイバーを含む）またはロックウールの動物吸入試験で、統計的に有意な肺ガンの増加は認められない。同程度の濃度のクリソタイルでは明確な肺ガンの生成が認められるが、クロシドライトではわずかなか全く認められない。ただしこの報告では吸入性繊維の数が不明である。

数種類の動物の気管内へのガラス繊維の注入により線維化が生じたというわずかな証拠はあるが、多くの場合は組織の炎症だけであった。

試験管内試験でも、繊維のサイズの分布は細胞毒性と細胞変異との関連がある。一般的に、 $10\mu\text{m}$ 以上の長さで $1\mu\text{m}$ 以下の径の繊維が最も毒性が強い。 $5\mu\text{m}$ 以上の径の繊維状ガラス（例えばJM110）はクリソタイルまたはクロシドライトより弱い細胞毒性を示すが、細いガラス繊維（例えばJN110）の細胞毒性と細胞変異はこれらのアスベストと同等の域にある。

マウスによる試験で、空気中に浮遊するガラス繊維はスチレンの毒性作用を強めた。ラットを用いた試験で、ガラス繊維の胸膜内注入でラドンの吸入曝露による肺ガンの発生数が増えた。一方ガラス繊維の腹膜内注入による発ガン作用は塩酸を用いた前処理で抑制された。

径が $4.5-5\mu\text{m}$ 以上の繊維状のガラスは皮膚への刺激作用がある。

経気道肺内投与したハムスターの2年後の腫瘍発生で、20例中担腫瘍動物2例であり、他の肺内病変として炎症、胸膜肥大が見られた。

### 13) レフラクトリー繊維

アルミナシリカ繊維は動物に繊維化作用と発ガン性がある。その他の種類は繊維の寸法で危険の可能性はある。細胞毒性を示すマクロファージの反応を誘引する。実験動物へ内移植と吸入により投与すると、アルミナシリカ繊維は線維化作用がありかつ発ガン性である。

平均繊維径が $1.8\mu$ の人造セラミック繊維とUICC青石綿をそれぞれ25mg腹膜内へ投与すると、前者で86%、後者で80%の腹の腫瘍が見られた。

通常の場合で、アルミナシリカ繊維は部分的に遊離シリカ、二酸化珪素、珪酸アルミニウムに変化する。これらのシリカの結晶形態は石英より線維症発生性があり、実験動物に腫瘍を起こした。

珪酸アルミニウムは石炭燃料火力発電所の従事者に起きた中皮腫の肺に見つ

かった粉塵の主たる要素である。

レフラクトリーファイバー製造の労働者については、疫学調査データが得られていない。

4%のシリカを含む酸化アルミニウムレフラクトリーファイバーの吸入または胸膜内注入により、ラットの肺の反応はわずかであり、肺の新生物は生じない。

アルミナ・シリケート繊維の吸入で、クリソタイルに曝露した動物に類似した間質性の線維化と肺の新生物が見られた。ただし生成した腫瘍はアスベストの場合と異なった。

#### 14) シリコンカーバイド

V79-4中国ハムスターの肺に細胞毒性がある。繊維状のものは、羊の線維症の病理組織および気管支肺胞洗浄液中の細胞に変化を起こす。じん肺の進展に比例して、X線写真の変化と肺機能の低下が認められる。工業的な生産では生物学的に関係する寸法の空中浮遊性の繊維の発生がある。

#### 15) フォスフェート繊維（合成カルシウムナトリウムメタリン酸塩）

ねずみの胸膜内部への移植により、線維肉腫を起こす。その場合に胸膜域で8 $\mu$ より長く1 $\mu$ より細い繊維が見ついている。腹膜内のようなより敏感な位置への発ガン性を調べるテストは行われていない。

#### 16) 人造鉍物繊維

上部呼吸気道の急性刺激症状、気管支拡張症、肺炎、慢性気管支炎、ぜん息などの重症の肺の疾病は、以前に人造鉍物繊維への作業上での曝露が原因と報告されたが、以後の調査で因果関係は認められなかった。

一部の横断疫学的調査研究で人造鉍物繊維に対する曝露に関係した呼吸機能への影響が示唆されているが、これを否定している他の研究がある。

これまでの横断研究によると、人造鉍物繊維による呼吸系に対する非悪性の作用についての整合性のあるパターンは見い出されていない。

ヨーロッパおよび米国の最大規模の二件の調査を含む分析疫学的研究では、人造鉍物繊維労働者の非悪性呼吸器疾患による死亡率増加の証拠はわずかである。

米国の調査で非悪性呼吸器疾患による死亡率は、地方の母集団を用いた比較で統計的に有意な増加が認められなかったが、全国の母数を用いた比較で統計的に有意な増加が認められた。

ヨーロッパの調査で非悪性呼吸器疾患による死亡率は増加が認められなかった。

これまでに行われた研究で、人造鉍物繊維に対する職業上の曝露と、胸膜内または腹腔内の中皮腫との関連を示す証拠は認められていない。

人造鉍物繊維と角閃石は、実験上発ガン性でクリソタイルより危険性が少ないように見える。しかしこれは繊維数の差によるもので、同じ繊維数のレベルでは、人造鉍物繊維と角閃石は、クリソタイルより人間に肺ガンを起しやすいという疑

いがある。

低い濃度の人造鉱物繊維の暴露で、肺線維症や中皮腫の危険はないという十分な証拠がある。

#### 17) アラミド繊維

肺のマクロファージに対し細胞毒性がある。吸引できる大きさの破片に実験動物を暴露すると、線維症の発生は少なく肺の腫瘍の出現率は低い。(吸引できる寸法のアラミド繊維に実験動物を暴露した結果、400f/ccに1年暴露すると92匹中7匹、100f/ccに2年暴露すると137匹中4匹に肺の腫瘍が発生した。)

実質的に生理的溶液に不溶性である。

腹膜内への投与は、増殖する中皮の変化に影響を与える。

極細kevlarタイプのアラミド繊維(直径が1 $\mu$ m以下で10-30 $\mu$ mの長さ)について、18mg/m<sup>3</sup>の濃度で吸入させたラットに線維症が見られ、また400f/mlの濃度に1年被爆させたラットの肺にダメージが現れ、100f/mlと400f/mlの濃度に2年被爆させたラットに細胞ガンが見られた。

#### 18) 炭素繊維

PAN系炭素繊維の製造に従事する88人の健康に有害な影響は見られていない。

#### 19) ポリアクリロニトリル (Dolanit10)

肺性のマクロファージに対し細胞毒性がある。

#### 20) ポリオレフィン繊維

人体への有害性の情報がなく、動物実験の報告も確定的な結果が得られていない。

#### 21) ポリテトラフルオロエチレン

204 $^{\circ}$ C以上で有害な蒸気を発生する。

#### 22) その他

経気道肺内投与したハムスターの2年後の腫瘍発生の試験で次のようになった。

チタン酸カリウムウイスキーは、20例中担腫瘍動物0例で、他の肺内病変として炎症、胸膜肥厚が見られた。

硫酸カルシウムウイスキーは、20例中担腫瘍動物3例で、他の肺内病変として炎症が見られた。

塩基性硫酸マグネシウムウイスキーは、20例中担腫瘍動物3例で、他の肺内病変として胸膜肥厚が見られた。

メタリン酸塩ポリマーは、20例中担腫瘍動物5例で、他の肺内病変として炎症が見られた。



## 2-3-3 安全対策

### 1) 安全対策の必要性

ILOの石綿の利用における安全に関する条約(石綿条約1986年)は、第72回ILO総会の本会議に於て採用されたが、この総会に於て、天然、人工繊維を問わず代替繊維の有害性について今後調査を行うことが決議され、石綿以外の繊維についてもその安全性が注目されている。

石綿の代替材料を選定するときは、製造、取扱、使用、運搬、貯蔵及び処理のすべての段階で健康への危険を考慮すべきであり、技術的及び経済的事情に優先して、先ず第一に健康への危険に対して検討すべきである。

### 2) 安全のための予防と管理

安全性を確保するには、繊維と粉じんの空気中への散逸を防止して、吸入性気中浮遊粉じん量を、有害性が観察されないレベルまで減らす方法によらねばならない。そのための防止対策として次の点が重要である。

- 機械、設備、道具、換気装置の利用と維持について教育する。
- 機械と作業場を常に清掃する。
- それぞれ個人単位の防御装置の使用。
- 雇用者は繊維状粉じんの作業場への散逸を最小にするため、材料や製品にかかるコストを許容する。

吸入性気中浮遊の繊維や塵の量を制御する具体的な方法としては次のようなものがある。

- 工程の分離。
- 粉じんの発生を抑えるため繊維を接着材等で収束する。
- 全体の換気。
- 局所排気。
- 許される工程では湿った材料の利用。
- 粗大塵の発生を減らす道具の採用。
- 作業場の隔離。
- 不用産物の清掃には、高性能フィルターを付けた真空掃除機を用い、それが利用できない場合にウェットクリーニングをする。
- 人体の個々の保護具は、暴露基準を超える場合に付ける。皮膚のかゆみに対しては手袋、ダブダブの長袖シャツ、長ズボンをつけ、えりの中に着物を折込み、また作業着の着替え場所を設けて作業着の管理をする。
- 目の防御は、ゴーグルや前面シールドを使う。

また作業場と作業者の日常的な管理が重要であり、次の点に留意する。

- 健康調査は、製造と使用に携わる人に定期的実施する。その内容は、臨床検査(個人の履歴、職歴、喫煙歴を含む)、肺機能検査、胸部X線

検査である。

- 暴露の状態の観察が必要である。業種ごとのまた個人の暴露歴を通じた観察をする。いずれも吸入性気中浮遊粉じんと繊維の総量が対象になる。また繊維以外の鉱物や化学物質などで、気中浮遊性のものも、観察する。
- 粉じんや繊維の濃度の測定は、国の規定に基づいた方法で、測定の経験のある人が行う。測定の結果は従業者にも分かるようにし、雇用者は例えばガンでは少なくとも30年といったようにその対象疾患に応じた期間は記録しておく。
- 製造では、現場は規則的に測定されるべきである。工程のなんらかの変化が無ければ、2年に1度程度で、変化があれば頻度を上げる。
- 産業のある特定の部門で暴露レベルが半分になれば、危険性も半分になるであろうということは、常識的に受け入れられるが、暴露レベルについて満足な測定が行われないうことが、規制する方法の重大な限界として上げられる。
- 天然繊維や合成繊維を扱う仕事の従事者には、それらが有害であることを認識していない場合があるので、注意を喚起する表示をすべきである。
- 製品は国の規則に基づきその材料データを付けてその表示をする。表示には、商標、商品名、繊維状材料の名前、製造者と発売者の名前、危険性のある分野、危険マーク、取扱いと防御方法の告知などを含む。

### 3) 繊維の寸法

動物において証明された発ガン性に対するガン研究の国際機関International Agency for Research on Cancer (IARC, 1988) の基準に当てはまる繊維はすべて人間に対して発ガン性の可能性があると見なすべきだが、吸入性繊維のうち、体内の食細胞で吞食されない長さ5  $\mu$ m以上の繊維のみを取り上げ、繊維の化学的構成およびその大きさの双方における危険性を判断するのは、有効な方法である。

アスベストのように縦に裂けることがない繊維、例えば人造鉱物繊維などは、寸法が危険域にならないようにして使用することは、その有害性を低くする方法として有効であるが、裂ける性質を有する繊維は慎重にその寸法を考慮すべきである。

### 4) 吸入性気中浮遊の繊維の濃度

一般的に作業場での浮遊人造鉱物繊維の濃度は、近代的な制御技術が用いられているので低いですが、セラミックファイバーや小さい径のグラスウールの製造、また閉鎖された場所でのインシュレーションウールの吹き付けなどで、初期段階の生産で見られたような高い濃度が見られる。

過去に肺ガンのリスクの増大を生じた作業環境と比較して、一般および室内環

境における人造鉱物繊維の濃度は著しく低い。

鉱山および粉碎場の作業、建物の建設と取り壊し、ブレーキの作動、家庭の電気器具、建材の損傷から発散される繊維が高い濃度を示し、自然の原因で発散される繊維は実際的な重要性は小さい。

人造鉱物繊維と合成繊維のいくつかは、呼吸可能なサイズの割合が少ないので、吸入性の繊維を減らした場合に、総粉じん量が多くて呼吸器や目や皮膚のかゆみが生じることがある。

空中に浮遊する吸入性繊維の濃度は次のようである。

ロックウールとスラグウール	
接着材が使われない場合の加工	0.1本/1cc
接着材使用の屋根や壁の断熱材の除去	0.04~0.4本/1cc
非職業的な環境の人造鉱物繊維	0.00004~0.0002本/1cc
Kevlar/Twaronタイプのアラミド繊維の製造	0.01~0.4本/1cc
Nomex/Teijinconexタイプのアラミド繊維の製造	0.01本/1cc以下
炭素繊維の製造（全塵）	1 mg/m <sup>3</sup> 以下
断熱用の繊維状ガラス製造工場の平均	0.01~0.05 本/1cc
米国のミネラルウール工場	0.0082~0.72 本/1cc
セラミックファイバー工場	0.0082~7.6 本/1cc
特殊用途の細い繊維の工場	1~2本/1cc
マイクロファイバー工場	1~20本/1cc
閉鎖された場所での繊維状ガラスとミネラルウールの吹込み、吹付け作業	1.8~8.2 本/1cc
一般的な人造鉱物繊維を含有する製品の取扱い作業の気中浮遊繊維	1本/1cc以下
一般環境中の人造鉱物繊維	4x10 <sup>-5</sup> ~1.7x10 <sup>-3</sup> 本/1cc
公衆の利用するビル中の人造鉱物繊維	5x10 <sup>-5</sup> ~1x10 <sup>-3</sup> 本/1cc
かなりの面積で破損された内装材の長さ5 μm以上の繊維	0.012本/1cc程度

#### 5) 各国に於ける暴露濃度の規制

オーストラリア	吸入性繊維	1 f / m l (提案)
ブルガリア	人造鉱物繊維 径3 μm以上	総粉じん濃度 3 mg / m <sup>3</sup>
	径3 μm以下	吸入性粉じん濃度 2 mg / m <sup>3</sup>
		繊維濃度 3 f / m l
チェコスロバキア	人造鉱物繊維	総粉じん濃度 8 mg / m <sup>3</sup>
		吸入性粉じん濃度 4 mg / m <sup>3</sup> または
		吸入性繊維 0.2 f / m l

デンマーク	人造鉱物繊維	作業場	繊維濃度	2 f / m l
		作業場以外	総粉じん濃度	5 m g / m <sup>3</sup>
フィンランド	ワラストナイト		6 m g / m <sup>3</sup> (推奨値)	
ドイツ (東)			粉じん濃度	6 m g / m <sup>3</sup> (修正中)
ドイツ (西)	石綿以外の鉱物繊維	TWA	10 m g / m <sup>3</sup>	
		短時間	30 m g / m <sup>3</sup>	
ガーナ	ACGIHの勧告を言及 (アメリカを参照)			
日本	鉱物繊維について管理濃度Eを設定			
			E = 2.9 × (0.22Q + 1) m g / m <sup>3</sup>	
			ここにQ = 遊離シリカ含有量%	
ニュージーランド	人造鉱物繊維	総粉じん濃度	5 m g / m <sup>3</sup>	
		径3 μm以下繊維濃度	1 f / m l	
ポーランド	人造鉱物繊維	総粉じん濃度	4 m g / m <sup>3</sup>	
		長さ5 μm以上繊維濃度	2 f / m l	
スウェーデン	人造鉱物繊維	繊維濃度	1 f / m l	
英国	人造鉱物繊維	総粉じん濃度	5 m g / m <sup>3</sup>	
		径3 μm以下繊維濃度	1 f / m l	
米国	ガラス繊維	NIOSH PEL, TWA	総粉じん濃度	5 m g / m <sup>3</sup>
			径3 μm以下長さ10 μm以上	3 f / cc
		OSHA PEL	総粉じん濃度	15 m g / m <sup>3</sup>
			吸入性分画	10 m g / m <sup>3</sup>
		ACGIH TLV	15 m g / m <sup>3</sup>	
	ロックウール	NIOSH REL と ACGIH TLVは、ガラス繊維に同じ		
	グラファイト繊維	NIOSH REL はガラス繊維に同じ		
		OSHA PEL	15 × 10 <sup>6</sup> 粒子 / f t <sup>3</sup>	
		ACGIH TLV	1%以下の結晶を含有する天然品	
			吸入性粉じん	2.5 m g / m <sup>3</sup>
			総粉じん濃度	10 m g / m <sup>3</sup>
ソ連	全塵、TLVで規定			
	カオリン	4 m g / m <sup>3</sup>		
	ガラス繊維	8 m g / m <sup>3</sup>		
	鉛含有の光ガラスファイバー	0.01 m g / m <sup>3</sup>		
	シリケート	2 m g / m <sup>3</sup>		

## 6) 建築物に使用された繊維材料

代替材料の利用ならびにその安全対策においては、以下のことに留意しなければならない。

- 最近の測定値によると、石綿を含む建物内の気中浮遊性石綿平均濃度は極めて低い。したがって、一般の人々の間にある「繊維恐怖症」は、建物内暴露によって生じる既存の公衆衛生上の被害に対し不釣り合いに大きい。
- 屋内石綿がもたらす健康被害は、絶対的にも又相対的にも非常に小さく、環境内のたばこの煙が一因となるようなその他日常的に経験する大半の環境内健康被害よりはるかに低い。
- 関心を向ける対象は、職場で身近に石綿含有材に接触し、その石綿含有材が崩れてしまう修理工や整備工に向けるべきである。
- 新しい科学的証拠によれば、もし石綿の撤去方法が不完全だと、実際に撤去作業員だけでなく建物の居住者にとっても健康被害は増加する。

## 2-4. 石綿の使用規制

### 2-4-1 日本の石綿規制

現在、日本における石綿の規制は、労働者の健康障害防止を目的にしたものおよび一般環境の保全並びに公害を防止する目的の法律がある。

- a). 労働安全衛生法，同施行令，同規則 \*<sup>1</sup>
- b). 特定化学物質等障害予防規則（特化則） \*<sup>2</sup>
- c). 作業環境測定法 \*<sup>3</sup>
- d). じん肺法 \*<sup>4</sup>
- e). 大気汚染防止法，同施行令，同規則 \*<sup>5</sup>
- f). 特定工場における公害防止組織の整備に関する法律，同施行令 \*<sup>6</sup>
- g). 告示およびその他行政通達

#### 1. 労働者保護の法律

石綿および石綿含有製品（石綿の含有量が5重量%を超えるもの）の製造，取扱いにおける厳しい規制が行なわれている。

##### 1) 労働安全衛生法，同施行令，同規則

この労働安全衛生法（以下安衛法という）は、労働災害を防止して、職場における労働者の安全と健康を確保するとともに、快適な作業環境の形成を促進することを目的としており、直接関係する項目は、作業環境測定，健康診断，名称表示等がある。

##### 2) 特定化学物質等障害予防規則（特化則）

特定化学物質等障害予防規則（以下特化則という）には、52物質が指定され、その一つに石綿がある。この石綿は特別の管理を要する物質となっている。本規則では石綿および石綿含有製品（石綿の含有量が5重量%を超えるもの）を製造，取扱うときの管理基準を定めている。主な規定事項はつぎのとおりである。

- a) 石綿粉じんの飛散防止（局所排気装置の設置等）
- b) 作業環境測定の実施（作業環境測定法に基づいて実施）
- c) 特化則健康診断の実施（検診結果の保管は30年）
- d) 発がん性物質等に関する特別な管理（作業の記録，掲示等）
- e) 吹付け石綿の原則的禁止

##### 3) 作業環境測定法

作業環境測定法を実施する際の資格等の要件を定めている。

##### 4) じん肺

じん肺健康診断の実施とその検診結果による健康管理等の要件を定めている。

5) 告示および行政指導としての通達

- ① 昭和63年告示第79号<sup>\*7</sup>により労働安全衛生法下の石綿粉じんは2 l/cc (管理濃度) とされている。
- ② 昭和51年の通達<sup>\*8</sup>では、つぎのような行政指導を行なっている。
  - a) 石綿の代替措置の促進
  - b) 自動車の修理工場における措置
- ③ 昭和61年の通達<sup>\*9</sup>では、建築物を解体・改修するときの石綿粉じんばく露による健康障害防止に関して行政指導を行なっている。

2. 一般環境、公害関係の法律

環境庁は、「アスベスト発生源対策検討会」を昭和56年から3ヶ年計画で発足させ、一般環境における国内の石綿粉じん濃度測定をあらゆる角度から行ない、この結論として“現在の一般大気中のアスベスト濃度は、作業環境でのばく露限界の $10^{-2}$ ~ $10^{-4}$ 程度のレベルであり、一般国民にとってリスクは小さい”としながらも“今回明らかにされた環境大気中のアスベスト濃度をベースにして今後、長期的に環境濃度のモニタリングを行なっていく必要がある”としている。続いて、昭和63年11月に「工場等に係るアスベスト発生源について」をまとめ、アスベスト製品製造工場を集中的に調査を行なった結果、一部の当該工場における工場敷地境界での石綿粉じん濃度の高い箇所が散見されることから、WHOクライテリア53を引用し、“「現段階において受容可能なリスクのレベルを定量的に設定することは困難であるが」とし、「都市部における濃度は、1 l/l から10 l/l 程度の範囲にあるが、時にはそれより高い状況にあり、……一般住民においては、アスベストに起因する肺がんおよび（悪性）中皮腫のリスクは信頼できるほど定量化できないものの、おそらく検出できないほど低いであろう」と評価している”としている。

この環境濃度の範囲内で抑制するため、“アスベスト製品製造工場において、適正な維持管理等の実施を確保するよう、所定の措置を講ずることが必要であると考えられる”と報告している。

この結果を受けて、環境庁は同庁の諮問期間である中央公害対策審議会に対し平成元年2月に「石綿製品製造工場から発生する石綿による大気汚染防止のための制度の在り方」について諮問し、「諮問のとおりすることが適当である」として、環境庁は閣議等を経て3月24日国会に

改定案を提出，6月28日付で大気汚染防止法の一部改正する法律が公布された。その後同法に関する諸政省令が發布された。

12月19日 大気汚染防止法の一部改正する法律の施行期日を定める政令

12月19日 大気汚染防止法施行令の一部を改正する政令

12月26日 特定工場における公害防止組織の整備に関する法律施行規制の一部を改正する省令

12月27日 大気汚染防止法施行規制の一部を改正する総理府令

- 注) #1: 昭和47年 9月 労働安全衛生法，同施行令，同規則制定  
#2: 昭和47年 9月 労働安全衛生法下の特定化学物質等障害予防規則制定  
昭和50年 9月 特定化学物質等障害予防規則の大幅改正  
#3: 昭和50年 5月 作業環境測定法制定  
#4: 昭和35年 3月 じん肺法制定  
昭和52年 5月 じん肺法改正  
#5: 平成 元年 6月 大気汚染防止法改正  
#6: 平成 元年12月 特定工場における公害防止組織組織の整備に関する法律改正  
#7: 昭和63年 9月 告示第79号「作業環境評価基準」  
#8: 昭和51年 5月 基発第408号「石綿粉じんによる健康障害予防対策について」  
#9: 昭和61年 9月 基発第34号の2「建築物の解体又は改修の工事における労働者の石綿粉じんのばく露防止等について」

## 2-4-2 ILOの石綿条約

ILO（国際労働機関）は、第71回（1985）および第72回（1986）の総会（於ジュネーブ）で石綿の利用における安全に関して、ILO加盟国140ヶ国約1,800人の政府、労働、使用の各界代表が議論を交し、十分に時間をかけて条約および勧告を検討した。

1986年（昭和61年）6月のILO総会の本会議で「石綿の利用における安全に関する条約」（以下石綿条約という）（条約第162号）が反対ゼロで採択された。この条約の採決の投票では99%以上の投票者が賛成しており、このことはILOを構成するメンバーすなわち各国の政府・労働者・使用者の大多数は石綿を管理して使用することに賛成していることである。つぎに条約および勧告の要点を述べる。

### 1. 条 約

「石綿は使用禁止するのではなく、きちっと管理して使用すれば安全



に使用することができる」という共通の認識をもとにして、検討が重ねられ先にも述べたように反対ゼロで採択された。

この条約では石綿を安全に使用するために政府・労働者・使用者のそれぞれがなすべきこと、労働者と使用者が協力するべき事が定められ、概要はつぎのとおりである。

#### 1) 一般原則

政府は職業上の石綿へのばく露による健康障害防止のために必要な規制を作り、労働者・使用者ともに規則を守ることが定められている。

#### 2) 保護および防止措置

保護および防止措置については、つぎの内容が規定されている。

- a) 石綿へのばく露を工学的に抑制するか、または認可の特別な規則に従う。
- b) 技術的に可能な場合には、より害の少ない繊維に代替するか、または一定の作業に一定の石綿の使用を禁止する。
- c) クロシドライトの使用および石綿の吹付けを原則的に禁止する。
- d) 石綿へのばく露がある一定の作業を届け出制とする。
- e) 石綿および石綿を含む製品の製造者および供給者は適切な表示をする。
- f) ばく露限界を定め、これを満たすために必要な措置を講じる。
- g) もろい石綿絶縁材（主に吹付け石綿）を含む建造物等の取壊しや石綿絶縁材の除去は、作業を実行する能力があると認めた業者に実施させることができる。
- h) 石綿に汚染された作業衣等を家庭に持帰ることを禁止する。
- i) 工場から出る石綿廃棄物の処理は一般環境を汚染しないような措置をとる。

#### 3) 作業環境および労働者の健康の監視

各々の管理の実施と記録の保存が義務付けられている。

- a) 作業環境測定の実施およびその記録の保存
- b) 石綿にばく露する可能性のある労働者の健康診断の実施およびその記録の保存

#### 4) 情報と教育

労働者に教えるべき項目について定めている。

### 2. 勧告

条約を補足したもので、条約に沿って具体的に内容を記述している。

### 2-4-3 米国EPAの石綿使用禁止規則

EPA（環境庁）は1989年7月12日石綿使用禁止の最終規則を公布した。この主な規制概要はつぎのとおりであるが、この規則の公布によって、石綿の使用量（当時8.47万トン）が、1年以内に10%、4年以内に28%、7年以内に94%の削減がされる見通しとなっている。

1. 石綿製品（石綿含有率1wt%を超える製品）の製造、加工、輸入の禁止
  - 1) 1990, 8, 27までに。a)床フェルト, b)屋根フェルト, c)パイプラインラップ, d)石綿セメント平板, e)石綿セメント波板, f)ビニル石綿床タイル, g)石綿クロス（着用する為にデザインしたもの）
  - 2) 1993, 8, 25までに。a)ビーターシートガスケット（特殊な工業用ガスケットを除く）, b)シートガスケット（特殊な工業用ガスケットを除く）, c)クラッチフェーシング（商業・工業用石綿摩擦製品）  
d)自動トランスミッション構成品（運搬用車の自動トランスミッション（OEM）, f)中軽量用運搬用車のディスクバット（OEM）
  - 3) 1996, 8, 26までに。a)石綿セメントパイプ・波型ペーパー（パイプカバーの断熱材等の使用）, b)ロールボード（セキュリティボックス等の耐火材に使用）, c)ミルボード・石綿セメント屋根板・特別なペーパー（クーリングタワー用の紙等）, d)屋根用コーティング・非屋根用コーティング・ブレーキブロック, e)ドラムブレーキライニング（既存）, f)ディスクブレーキパッド（軽中重量用, 既存）
2. 石綿製品の商業上の供給禁止
  - 1) 前項 1.1) については、1992, 8, 25までに供給を禁止
  - 2) 前項 1.2) については、1994, 8, 25までに供給を禁止
  - 3) 前項 1.3) については、1997, 8, 25までに供給を禁止

2-4-4 諸外国の石綿規制

各国により規制の状況は種々異なっていますが、主な国の状況は表2.4.1のとおりである。

表2.4.1 諸外国の石綿規制状況 AIA資料より (1988年8月現在) 単位: f/cc

濃 度 基 準				国 名	備 考
クリソ タイル	アモサ イト	クロソド ライト	アクシヨ ソレベル		
2 mg/m <sup>3</sup> (33 #)				ソ 連	1954
4.0				ブ ラ ジ ル	1987
2.0				メ キ シ コ	1986
2.0				イ ン ド	業界自主基準(1948)工場法
2.0				シンガポール	労働省作業要綱勧告 1980
2.0				日 本 ##	管理濃度 1988
				オ ラ ン ダ	1977
				カ ナ ダ	労働法(CLC) 石綿規則第4部
2.0 0.5 0.2					
1.0				ス イ ス	1984
1.0				インドネシア	1983 (浮遊化学物質限界値)
1.0				フランス ###	1987
1.0				ギ リ シ ャ	EEC 規制採択 1988
1.0				西 ド イ ツ	1986
1.0				イ タ リ ア	1984 (協定採択)
1.0				ベルギー	1986
1.0				オーストラリア	1982
1.0				ニュージーランド	1984
				0.125	イスラエル
0.5				フィンランド	1989
0.5				イギリス	1988
0.2				アメリカ	1989

(禁) は使用禁止となっているもの

注) #: ソ連の濃度基準は石綿を10%以上含有する総粉じん、2 mg/m<sup>3</sup>となっている。一般に使用される換算法(0.06 mg/d=1 f/cc)で換算した。

##: 日本の管理濃度2 f/cc; 諸外国と同じ個人ばく露濃度に換算した場合は、測定条件によって異なるが、おおよそ0.8 f/ccとなる

###: フランスの石綿粉じん濃度測定間隔: <1.0 = 3ヶ月毎> 1.0 = 毎月

####：イギリスのアクションレベルはクリソタイル：0.25 l/cc，アモサイトおよびクロシドライト：0.1 l/ccとなっている。

〈参考〉スエーデン，デンマークは、原則的使用禁止になっているが、例外的濃度基準として夫々0.5 l/cc，0.3 l/ccを採用している。

\*1. アクションレベルとは、この濃度以下ならば法規制を受けない基準をいう。

#### 2-4-5 石綿含有率低減化についての業界の自主規制

スレート協会では、建設労働者への石綿ばく露抑制の為、及び一般環境への石綿粉じん飛散防止の為、1988年石綿含有率の低減化及び代替化について下記の通り目標を定めこの実現に最大限の努力を傾注すると発表した

- 1) 主たる内装材であるけい酸カルシウム板については1991年末迄に無石綿とする。
- 2) 主たる外装材であるフレキシブル板，サイディング材については1991年末迄に石綿含有率を5%以下とする。
- 3) 波板スレート，住宅屋根材については1993年末迄に石綿含有率を5%以下とする。

尚、この他下記業界が石綿代替化，低減化について、それぞれ目標を定め努力を傾けている。

- |              |       |   |
|--------------|-------|---|
| パルプセメント板工業組合 | ..... | 1990年末迄に無石綿化。   |
| 耐火被覆板協会      | ..... | 厚物は無石綿化を完了。<br>薄物は1991年までに無石綿化。                           |
| 日本自動車工業会     | ..... | 自動車における石綿材部品について1994年末迄に国内向け生産車について非石綿材への切替えを完了する様鋭意努力する。 |

## 2-5 スレート用代替繊維の使用規制

### 2-5-1 セルロースパルプ

クラフトパルプは家庭紙、食品包装およびサニタリー関係に至るまで、巾広く使用されており、製造工程または加工段階で有害物を添加しない限り、使用規制はない。

### 2-5-2 ビニロン繊維

ビニロンは、ポリビニルアルコール（PVA）を原料とする合成繊維として、世界にさきがけて日本で工業生産がなされるようになって以来、既に40年を越える歳月を経て来た。この間、その用途は、衣料、インテリア等でも大量に用いられた期間もあったが、今やその大部分が各種産業、工業用途に向けられるに至っている。

この長い歴史の中で原料であるPVA樹脂も含めて、ビニロン繊維の生産は連綿として続けられ、自然状態において、或いは加熱分解等の異常時においても人体に対して最も安全な繊維の一つとして認知されている。

否定的な意味でのビニロンの使用上の規制は皆無であり、後述する様に生体に対して、或いは環境に対して「おだやかな繊維」、「安全な物質」として注目されている。

例えば、

- 1) FDA (Federal Drug Administration) において、ビニロン繊維及びその原料であるPVAは食品工業分野での使用を認められている。
- 2) PVAの中空糸は、人工臓器（プラズマ セパレーター）に使用が認められている。
- 3) PVA及びビニロン繊維の生産工場、又は、加工場等のその繊維の取り扱い現場で、特殊健康診断等の義務は課せられていない。
- 4) 40年の生産、加工の歴史の中で原料PVA、或いはビニロン繊維自身に由来すると考えられる、或いは、職業性の疾病は生じていない。

などの実績で示される様に取り扱い上の制限、規制は全く考えられないものであり、将来においてもその恐れは皆無と思われる。

### 2-5-3 アクリル繊維

内外の文献を調査したが、使用規制の情報はない。また、アクリル繊維を補強繊維として用いた建材は、DIN 4102-1に従った燃焼テストの結果、不燃建材A-2に合格している。

#### 2-5-4 耐アルカリガラス繊維

わが国では、ガラス繊維はじん肺法、労働安全衛生法あるいは特定化学物質等障害予防規則などで有害物質として指定されていない。

#### 2-5-5 炭素繊維

セメント建材において炭素繊維の使用を規制する情報は認められない。むしろ、例えば秋浜らが発表した“炭素繊維補強コンクリート（CFRC）の建築構造物への適用（その1）—大型ドーム用外装タイルパネルの開発と実用化”<sup>1)</sup>や“CFRC製軽量カーテンウォールを使用した超高層ビル—アークヒルズ・オフィスビル”<sup>2)</sup>等に見られるように炭素繊維をモルタルまたはコンクリートの補強繊維として積極的に使用するとした情報の方が多い。

#### （文献）

- 1)秋浜ほか：“炭素繊維補強コンクリート（CFRC）の建築構造物への適用（その1）—大型ドーム用外装タイルパネルの開発と実用化”，鹿島建設技術研究所年報，第31号，57-66，(1983)
- 2)秋浜ほか：“CFRC製軽量カーテンウォールを使用した超高層ビル—アークヒルズ・オフィスビル”，セメント・コンクリート，No472，24-30，(1986)

#### 2-5-6 濃度規制

繊維材料の製造と使用では、作業環境の濃度の許容限度または暴露濃度の限度を決めて管理することになっている。濃度規制の数値は先の2-3-3安全対策のところを示した。スレート用代替繊維で暴露濃度の規制に関連するものは次のようである。

セルロースパルプ、ビニロン繊維、アクリル繊維、炭素繊維が関連するものはほとんどないようであるが、耐アルカリガラス繊維やフラストナイトなどの鉱物繊維は管理の対象になる。

鉱物繊維	(日本、ドイツ)
吸入性繊維	(オーストラリア)
人造鉱物繊維	(英国、ブルガリア、チェコスロバキア、デンマーク、 ニュージーランド、ポーランド、スウェーデン)
ガラス繊維	(米国、ソ連)
ロックウール	(米国)
グラファイト繊維	(米国)
フラストナイト	(フィンランド)

## 調査文献リスト

- [1] アスベスト（石綿）代替品の開発及び普及状況に関する調査、中間報告  
昭和63年3月、環境庁大気保全局企画課
- [2] 石綿代替物質の使用状況及び問題点について  
平成元年11月、第2回石綿対策検討委員会配布試料6
- [3] ノン・アスベスト建材の開発と石綿処理技術  
1988年4月、内田京治、建築仕上技術VOL.13,NO.153,p116-117
- [4] アスベスト代替建材開発の動向  
1990年4月、本橋健司、建築仕上技術VOL.15,NO.177,p44-47
- [5] 各産業分野でのアスベスト代替化の動向  
1990年4月、久保田昭、建築仕上技術VOL.15,NO.177,p48-51
- [6] 米国におけるアスベスト代替材料開発の動向  
1990年4月、遊佐秀逸、建築仕上技術VOL.15,NO.177,p52-54
- [7] 石綿代替用繊維の状況ービニロンについてー  
1990年4月、服部F純雄、星野三郎、建築仕上技術VOL.15,  
NO.177,p55-58
- [8] 有機繊維量の変化と加工性について  
1976年7月、高木正年、橋田卓也、向井伸行、山中玲子、石綿スレー  
ト協会、技術部会論文集、第19集、p31-48
- [9] 石綿セメント及びけい酸カルシウム系の強度に及ぼすパルプ繊維の影響  
1976年7月、楠光卿、鈴木征四郎、渡辺滋男、石綿スレート協会、技  
術部会論文集第19集、p65-68
- [10] 石綿スレート・ボードにおける繊維物質が物性に与える影響について  
1981年6月、橋本隆治、讃岐郁夫、中川孝夫、石綿スレート協会、技  
術部会論文集第24集、p15-22
- [11] 合成繊維および耐アルカリ性ガラス繊維の長さや径について  
1982年5月、松山保秀、多田裕昭、石綿スレート協会、技術部会論文  
集第25集、p28-30
- [12] 合成繊維および耐アルカリ性ガラス繊維について（第2報）  
1983年6月、松山保秀、多田裕昭、石綿スレート協会、技術部会論文  
集第26集、p46-57

- [13] ビニロン繊維の形状と配合量が石綿スレートの物性に及ぼす影響について  
1984年6月、久保唯義、前田慶一郎、石綿スレート協会、技術部会論文  
文集第27集、p1-9
- [14] 石綿代替繊維の研究（ビニロンと耐アルカリ性ガラス繊維の比較）  
1984年6月、乾修郎、寺本博、石綿スレート協会、技術部会論文  
文集第27集、p14-21
- [15] Asbestos free 石綿スレート（超大波）の検討  
1988年6月、内藤恒雄、横井多嘉男、吉田道夫、石綿スレート協会、  
技術部会論文文集第31集、p1-5
- [16] けいカル板に於ける石綿代替繊維の検討  
1989年6月、松山保秀、田口裕之、石綿スレート協会、技術部会論文  
文集第32集p8-16
- [17] 各種繊維の熱及びアルカリ抵抗性  
1989年6月、羽田三郎、山田博之、藤川栄治、石綿スレート協会、技  
術部会論文文集第32集、p69-78
- [18] セルローズ繊維の耐久性  
1990年6月、橋本隆治、久保田寛、吉井正、石綿スレート協会、技術  
部会論文文集第33集、p13-22
- [19] 石綿に関する海外調査（アンケート）回答結果  
1989年5月、日本石綿協会 Japan Asbestos Association
- [20] 蛇紋岩の高付加価値化プロセスの検討  
工業技術院公害資源研究所、公害資源研ニュース5、1988
- [21] NAMエース技術資料アスベストの化学的改質処理剤  
新日鉄化学株式会社
- [22] 無石綿化新素材 CELLO-FIBER&CF-PLANT  
（建材用新素材パルプのセロファイバーとCFプラント）  
兵庫パルプ工業株式会社（委員会提出資料）
- [23] アスベスト規制と代替素材の開発  
1989年7月、日笠純一、化学経済、p23-30
- [24] アスベスト代替高分子材料  
1990年7月、日笠純一、第38回高分子夏期大学、講演要旨集、  
p150-153



- [25] セメントコンクリート用補強繊維  
1985年6月、溝辺昭雄、繊維学会誌、p180-185
- [26] 石綿含有率を段階的に削減コストダウンが今後の課題  
1989年11月、本橋健司、日経アーキテクチャ、p288-291
- [27] アスベスト代替用繊維—スレート板用途を中心にして—  
1988年、溝辺昭雄、化学と工業第41巻、第6号、p121-123
- [28] 抄造成型繊維補強セメントの強度特性  
1988年、白石潔、中川憲一、三好彰、コンクリート工学年次論文報告集10-2、p653-658
- [29] 炭素繊維混入セメント系複合材の発熱特性に関する実験的研究  
1990年10月、計和弘、片平富二夫、中川憲一、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、p887-888
- [30] ビニロンファイバー補強コンクリート  
株式会社クラレ (委員会提出資料)
- [31] クラレビニロン(セメント補強用)  
株式会社クラレ、カタログ、(委員会提出資料)
- [32] セメント補強用繊維(チョップド・タイプ)  
PAN系高強度・高弾性率繊維特性  
東レ株式会社、アトラン第一編、資料2-11 (委員会提出資料)
- [33] セメント補強性能  
東レ株式会社、アトラン第二編、資料2-12 (委員会提出資料)
- [34] 室内環境における石綿粉じん濃度測定方法  
1988年5月、編集(社)日本石綿協会、発行(社)日本作業環境測定協会
- [35] せきめんの素顔  
1988年4月、編集(社)日本石綿協会安全衛生委員会、発行(社)日本石綿協会
- [36] 石綿を安全に使用するための実施要綱  
1985年6月、翻訳(社)日本石綿協会安全衛生委員会、発行(社)日本石綿協会
- [37] 石綿代替品開発動向調査報告書

1990年3月、環境庁大気保全局大気規制課監修、発行未来工学研究所

- [38] 環境測定技術者のための石綿および代替繊維写真集  
1989年9月、仲座政宏、東敏昭、佐藤敏彦、リコーテクノリサーチ株式会社
- [39] 諸外国の石綿規制状況（1989年8月現在）  
（委員会提出資料）
- [40] EPA最終規則（訳文）  
1989年8月8日、（社）日本石綿協会
- [41] 建物内石綿の暴露の健康面に関する国際シンポジウム  
1989年8月9日、ハーヴァード大学エネルギー・環境政策センター
- [42] 石綿代替物質の生体影響  
1990年10月、安達修一、竹本和夫、大気汚染学会、p188-189
- [43] セメント補強用ビニロン  
ユニチカ株式会社、（委員会提出資料）
- [44] アスベスト代替繊維ービニロン  
1987年10月、溝口和雄、繊維学会誌、第43巻、10号、p413
- [45] アスベスト代替繊維“アトラン”  
1989年、田中宏佳、建築東京、P12
- [46] Non Asbestos ビニロンスレートの抄造  
ユニチカ（株） 委員会提出資料
- [47] 石綿代替繊維  
1986年、日笠純一、繊維機械学会誌、Vol39, No4, 160
- [48] ガラス繊維の人体に及ぼす影響  
1981年、硝子繊維協会、医学文献集
- [49] ARGファイバ  
日本電気硝子（株）、カタログ

- [ 1 0 1 ] KNOWN BIOLOGICAL ACTIVITY OF SELECTED ASBESTOS SUBSTITUTES:  
A REVIEW OF RECENTLY PUBLISHED DATA  
December 1987, Jacques Dunnigan, Scientific Paper, THE ASBESTOS  
INSTITUTE, Montreal, Quebec, Canada
- [ 1 0 2 ] CHARACTERISTICS OF FIBRES USED IN CEMENT AS ALTERNATIVES TO  
ASBESTOS  
September 1985, Rofer A. Blais, Carmel Jolicoeur, Roger Miller,  
W.H. Clive Simmonds, Technical Paper, THE ASBESTOS INSTITUTE,  
Montreal, Quebec, Canada
- [ 1 0 3 ] HEALTH EFFECTS OF SYNTHETIC FIBERS  
May 1988, Northwest Center for Occupational Health and Safety,  
Department of Environmental Health, University of Washington
- [ 1 0 4 ] Working paper on safety in the use of mineral and synthetic  
fibers  
1989, Meeting of Experts on Safety in the Use of Mineral and Synth  
etic Fibers, International Labour Office, Geneva
- [ 1 0 5 ] OVERVIEW OF ASBESTOS AND HEALTH ISSUES  
December 1987, Jacques Dunnigan, Scientific Paper, THE ASBESTOS  
INSTITUTE, Montreal, Quebec, Canada
- [ 1 0 6 ] WHO Environmental Health Criteria 77(1988), MAN-MADE MINERAL FI  
BERS, 1988
- [ 1 0 7 ] Asbest-Ersatzstoffe  
1989, Wolfgang Lohrer, Staub-Reinhaltung der Luft 49(1989) 61-66
- [ 1 0 8 ] Ersatzstoffe für Asbest  
Einsatzmöglichkeiten - gesundheitliche Bedeutung  
1980, Von Wolfgang Lohrer, Eva Poeschel, Sonderdruck aus Staub-  
Reinhaltung der Luft 40(1980) Nr.5 Seiten 210-217
- [ 1 0 9 ] Substitution von Asbest  
Februar 1986, Alfons Kohling, Wolfgang Lohrer, Hans-Jürgen Nantke,  
Eva Poeschel, Gabriele Schettler, Staub Reinhaltung der Luft Band  
46(1986) Nr.2 92-96
- [ 1 1 0 ] Asbest in der Umwelt, Teil 1  
November 1986, Wolfgang Lohrer, Hans-Jürgen Nantke, Staub-

- [ 1 1 1 ] Asbest in der Umwelt, Teil 2  
Dezember 1986, Wolfgang Lohrer, Hans-Jurgen Nantke, Staub-  
Reinhaltung der Luft Band 46(1986) Nr.12 519-522
- [ 1 1 2 ] Asbest-Immissionen bei Verwendung und Beseitigung  
1989, Wolfgang Lohrer, Hede Schreiber, Baumarkt 2/89, 94-102
- [ 1 1 3 ] Long term durability of PVA reinforcing fibres in a cement  
matrix  
May 1989, S.A.S.Akers, J.B.Studinka, P.Meier, M.G.Dobbt,  
D.J.Johnson, J.Hikasa, The International Cement Composites and  
Lightweight Concrete, Volume 11, Number 2, 79-91
- [ 1 1 4 ] REPLACEMENT FOR ASBESTOS IN REINFORCED CEMENT PRODUCTS  
"KURALON" PVA FIBRES, PROPERTIES, STRUCTURE  
(Substitution von Asbest bei der Zementverstärkung "Kuralon"  
PVA-Fasern, ihre Eigenschaften und Struktur  
September 1986, J.Hikasa, T.Genba, A.Misobe, M.Okazaki,  
Internationale Chemiefasertagung, International Man-Made Fibres  
Congress, Dornblm/Austria
- [ 1 1 5 ] The asbestos alternative  
1990, DrIng Helfried Hahne, Dipl-Ing Ulrich Schuster,  
Textile Tech. International, 57-60
- [ 1 1 6 ] Asbestos substitution in the fibre cement industry  
May 1989, J.B.Studinka, The International Journal of Cement  
Composites and Lightweight Concrete, Volume 11, Number 2, 73-78
- [ 1 1 7 ] Ageing behaviour of cellulose fibre cement composites in  
natural weathering and accelerated tests  
May 1989, S.A.S.Akers, J.B.Studinka, The International Journal of  
Cement Composites and Lightweight Concrete, Volume 11, Number 2,  
93-97
- [ 1 1 8 ] The microstructure and ageing of cellulose fibre reinforced  
cement composites cured in a normal environment  
May 1989, A.Bentur, S.A.S.Akers, The International Journal of  
Cement Composites and Lightweight Concrete, Volume 11, Number 2,  
99-109

- [ 1 1 9 ] The microstructure and ageing of cellulose fibre reinforced autoclaved cement composites  
May 1989, A.Bentur, S.A.S.Akers, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Volume 11, Number 2, 111-115
- [ 1 2 0 ] Micromechanical studies of fresh and weathered fibre cement composites. Part 1: Dry testing  
May 1989, S.A.S.Akers, D.Crawford, K.Schultes, D.A.Gerneka, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Volume 11, Number 2, 117-124
- [ 1 2 1 ] Micromechanical studies of fresh and weathered fibre cement composites. Part 2: Wet testing  
May 1989, R.B.Tait, S.A.S.Akers, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Volume 11, Number 2, 125-131
- [ 1 2 2 ] MINERAL FIBRES IN THE NON-OCCUPATIONAL ENVIRONMENT :  
CONCLUDING REMARKS  
1989, R.Doll, Imperial Cancer Research Fund Cancer Epidemiology and Clinical Trials Unit, Radcliffe Infirmary, Oxford, UK.,  
International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon, France,  
No.90
- [ 1 2 3 ] FIBRE CARCINOGENESIS AND ENVIRONMENTAL HAZARD  
J. Peto, Section of Epidemiology, Institute of Cancer Research,  
Sutton, Surrey, UK
- [ 1 2 4 ] ALTERNATIVES TO ASBESTOS AND ASBESTOS PRODUCTS  
January 1985, A.A.Hodgson, ANJALENA PUBLICATIONS LTD