

200635022A

平成 18 年度厚生労働科学研究

H18-労働一般-002

「石綿ばく露による健康障害リスクに関する
疫学調査法の開発研究」

(18290101)

報 告 書

平成 19 年 3 月

主任研究者 高橋 謙

(産業医科大学 産業生態科学研究所)

「石綿ばく露による健康障害リスクに関する疫学調査法の開発研究」
(18290101)

報告書

研究組織

主任研究者

高橋 謙 産業医科大学産業生態科学研究所・環境疫学研究室・教授

分担研究者

東 敏昭 産業医科大学産業生態科学研究所・所長（同作業病態学研究室・教授）

大瀧 慈 広島大学原爆放射線科学研究所・環境情報計量生物分野・教授

寶珠山務 産業医科大学産業生態科学研究所・環境疫学研究室・助教授

Lin Ro-Ting
林 若婷 産業医科大学産業生態科学研究所・環境疫学研究室・助手
(平成 19 年 1 月 31 日退職)

井手玲子 産業医科大学産業生態科学研究所・作業病態学研究室・学内講師

研究協力者

Wilson, Donald 産業医科大学産業生態科学研究所・環境疫学研究室・大学院生

轟美和子 産業医科大学産業生態科学研究所・環境疫学研究室・大学院生

西川晋史 産業医科大学産業生態科学研究所・環境疫学研究室・修練医

清本芳史 産業医科大学産業生態科学研究所・環境疫学研究室・修練医

目 次

《本 文》	頁
0. 概 要 (Executive Summary)	1
1. 石綿ばく露と健康障害発症リスクに関する総説	
1-1. 石綿の特徴	2
1-2. 石綿の生産量・使用量の推移	8
1-3. 石綿製品の使用状況の推移	11
1-4. 石綿ばく露	16
1-5. 石綿関連疾患	22
1-6. 法律・規制	30
1-7. まとめ	37
2. 各国のばく露と疾患に関連するマクロデータを用いた疫学的指標の開発	
2-1. 生態学的指標の開発	46
2-2. 個人段階のばく露指標に関する開発	47
3. わが国の将来の中皮腫患者発生を予測するためのモデル構築	
3-1. はじめに	55
3-2. 方法と結果	55
3-3. 考察	58
4. リスク・コミュニケーション手法の確立と実践	62
5. 今後の研究計画および関連する学会発表・論文出版の予定	63
《資 料》	
平成 18 年度研究成果としての学術論文	
A. 高橋謙. 石綿ばく露と石綿関連疾患の国際比較疫学. 最新医学, 2007. 62(1): 27-34. .	67

<p>B. Lin RT, Takahashi K, Karjalainen A, Hoshuyama T, Wilson D, Kameda T, Chan C-C, Wen C-P, Furuya S, Higashi T, Chien L-C, Ohtaki M. Ecological association between asbestos-related diseases and historical asbestos consumption: an international analysis. <i>The Lancet</i> 2007, 369: 844-849. [石綿関連疾患と歴史的石綿消費量の生態学的関連: 国際分析] 《本論文は主任研究者が所属する産業医科大学環境疫学教室において研究実施・執筆された》</p>	79
<p>開発中の石綿ばく露評価システムの仕様</p>	85

0. 概要 Executive Summary

疫学研究を中心に石綿ばく露と健康障害発症リスクに関する総説を行った。その際わが国と海外を対比した。すなわち、2005年6月以降のクボタショックに見られるように、石綿関連疾患（以下ARD-Asbestos Related Diseases）をめぐる社会問題の根底には、先行した欧米の経験がなぜわが国で生かされなかったかという不信感がある。その矛先は主に加害企業と行政に向けられてきたが、石綿ばく露防止よりも経済効率優先を許したという点では社会全体が責めを負うべき部分もある。石綿問題の各側面で、わが国と海外を対比することにより石綿問題への対応の共通性や彼我の差を明らかにできる。

全世界における石綿生産量・消費量は現在年間250万トンを超え、ピーク時の半分だが、一部途上国では消費が横ばいか増加している。また用途が広く耐久性に優れるため、いったん導入後は長く社会にとどまる。このことから社会全体のリスクは時点消費量よりも累積消費量に相関すると考えられる。石綿は職業がん死亡の半数の原因となっており最も重要な職業性発がん物質である。ARDとしては、肺がん・中皮腫のがん以外に石綿肺症、さらに胸膜プラーク・胸膜肥厚と胸水を含める。線維別の発がん性・有害性について、青石綿（コトドライト）は白石綿（クリタイル）よりも中皮腫惹起性が強いが、肺がんについて差はない。近年、WHOは、「あらゆる種類の石綿に発がん性があり、ARDの根絶には石綿自体の使用を全廃するしかない、またそのための代替品も利用可能である」とのスタンスを明確にした。

欧米との対比において、わが国は、石綿消費の立ち上がりこそ遅かったものの、欧米での減少傾向が定着した80年代後半以降、2000年くらいまで、ピークが遅延した事実がある。この時期に使用されたのは、ほとんどが白石綿のため、将来のARDの動向に質的・量的影響を与え得る。また、わが国に限った状況ではないが、石綿の産業的用途が広範にわたったことから、直接的な石綿取り扱い業務に従事していたことが明らかな場合を別にすれば、過去の、特に軽微な石綿ばく露を同定・評価することは容易ではない。このことは特に中皮腫におけるばく露要因の同定を困難にしている。また世界や国などの集団単位でばく露者の範囲を推定する際に極めて大きな幅をもたらしている。法規上、わが国は70年代には特化則等により当時としては比較的厳しい規制が課せられていた。法規上も実効上も欧米に明らかな遅れを取ったのは80年代後半以降である。すなわち、欧米が禁止あるいは実質的離脱を図ろうとしていた頃、わが国はバブル景気を背景に、突出して高い消費量を維持する時期となった。

各国マクロデータを用いた疫学的指標の開発として、データの利用可能なすべての国について、2000-04年における各ARDの性別・年齢調整死亡率（百万人口・年当たり）と1960-69年の平均国民一人当たり石綿使用量（国民一人・年当たりキロ数）を算出した。次に、各国人口の規模で重みづけをした上で、歴史的な石綿使用量をARDの最近の死亡率に回帰させた。その結果、1960年代の歴史的な石綿使用量と直近のARDの死亡率の間には強い相関（生態学的関連）があることが示された。さらに回帰式に基づいて単位石綿使用量当たりのリスクの大きさを定量的に評価した。既存の知見に比べて、国別データやARDの範囲が拡大するとともにデータ精度が向上し、統計学的に極めて妥当性の高い解析手法を適用した。その結果、男性中皮腫での歴史的な石綿使用量の説明率は74%($p<0.001$)および単位石綿使用量当たり2.4倍のリスク上昇、男性石綿肺症での説明率79%($p<0.001$)および単位石綿使用量当たり2.7倍のリスク上昇、など極めて合理的な結果が得られた。以上の知見は近日中に Lancet 誌に原著論文として掲載予定である。

一方、個人レベルで過去における正確な石綿ばく露評価を行うことは、ハイリスク集団を同定し、医学的追跡を行う上で必須の中核技術である。クボタショックを契機に同技術向上に対する社会的ニーズが高まってきている。現状では、石綿外来や石綿健診において、石綿ばく露を同定するための問診票が活用され一定の成果を挙げている。今回、わが国で初めて石綿外来等実施機関を対象とする全国規模の質問票調査を実施し、石綿ばく露評価にともなう困難や改善すべき点についての意見を集約することができた。この中で、多くの専門家が、問診票を取り入れながらも限られた時間内での石綿ばく露評価に苦慮している実態が明らかになった。これを踏まえて、石綿ばく露評価システムの開発を開始し、コンセプトと仕様を本報告書《資料》にまとめた。

アスベストばく露とその後の中皮腫発生を予測するモデル構築として、ポアソン仮定に基づく多段階数理モデルに基づく理論的準備を行っている。この中で、急性放射線ばく露による発がん危険度の増加に関する加齢促進モデルを単回のアスベストばく露の場合に応用することを目指している。ARDに関するリスク・コミュニケーション研究では、現在、アスベスト相談窓口において発生している多くの相談事例の収集を続け、437例の登録を終了した。最終目標である石綿リスク・コミュニケーション・マニュアルの整備を念頭に、相談終了分から内容を系統的に分類し、分析を加えている。

1. 総説

1-1. 石綿の特徴

①種類（定義）

石綿（いしわた・せきめん）は、英語でアスベスト（Asbestos）と呼ばれ、ギリシャ語のアミアントス（Amiantos: 永久不滅、消えない炎）がその語源にあたる。

石綿の定義は、ILO（国際労働機関）が1986年の「石綿の使用における安全に関する条約（第162号）」の中で、「石綿とは、蛇紋石族の造岩鉱物に属する繊維状のけい酸塩鉱物、すなわち、クリソタイル（白石綿）及び角閃石族の造岩鉱物に属する繊維状のけい酸塩鉱物、すなわち、アクチノライト、アモサイト（茶石綿又はカミングトン・グリュール閃石）、アンソフィライト、クロシドライト（青石綿）、トレモライト又はこれらの一若しくは二以上を含有する混合物をいう。」と述べており、単一の物質ではなく6種類の繊維状けい酸塩の総称である。同様に、日本でも石綿障害予防規則の中で、「石綿の種類には、アクチノライト、アモサイト（茶石綿）、アンソフィライト、クリソタイル（白石綿）、クロシドライト（青石綿）及びトレモライトがあること」と述べている。

②物性・化学特性

石綿繊維1本の太さは0.02~0.06 μm で[1]、髪の毛の約5000分の1と非常に細い。また、その組成（含水けい酸塩）と構造（微細繊維構造）により、次に示す多くの優れた性質を保有している[2]。

- ア) 高抗張力
- イ) 不燃、耐熱性
- ウ) 絶縁性
- エ) 耐薬品性（耐酸・耐塩基性）
- オ) 耐腐蝕性、耐久性
- カ) 密着性
- キ) 耐摩耗性

各石綿における物理的・化学的性質については、1977年の欧州委員会（CEC : Commission of the European Communities）の報告が元となっており[3]、日本でも翻訳され紹介されている[1]。

工業的に使用された3種類については色名が名づけられている（図1）。

クロシドライトは、含有する酸化鉄のために色は青い。非常に耐酸性が強く、かつ強度が大であるが、クリソタイルやアモサイトに比べ耐熱性は同等かやや劣る。この特質を応用し、長繊維は耐酸性の紡織品、高圧管、シートガセット等に用いられてきた。中間の長さのものは吹付け石綿として建築用に用途があった。

アモサイトは、淡茶または鼠色で長い繊維が多い。繊維はクリソタイルより硬く突っ張っているため、スプリングファイバーとも呼ばれ、柔軟性があるため強靱である。また、耐熱性ではクリソタイルやクロシドライトよりも優れている。主には保温材、石綿布団や吹付け石綿に使用されていた。

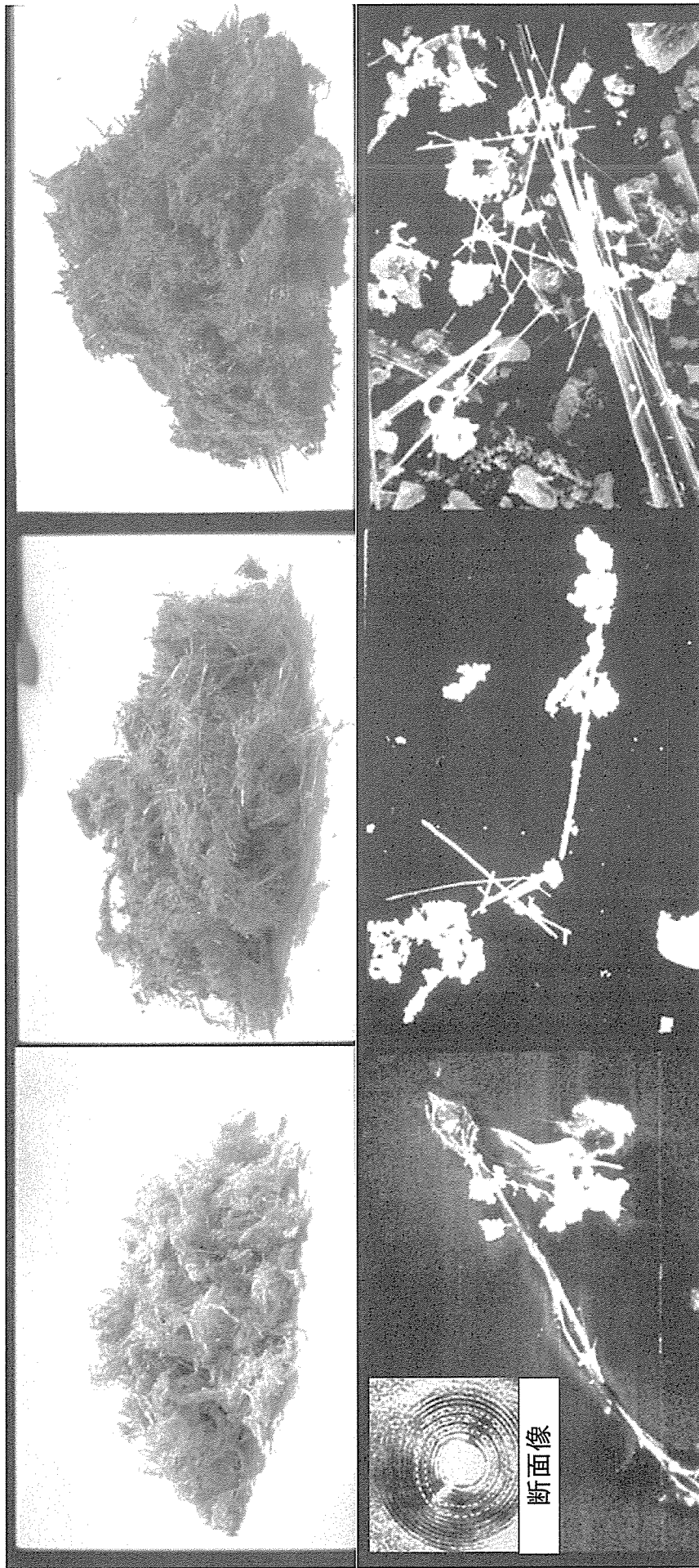
クリソタイルは中空の管状の繊維であり、柔軟で曲線を描く。白っぽい色であることから白石綿と呼ばれる。酸には侵されやすいが、アルカリには極めて侵されにくい性質がある。

図1 石綿の肉眼・電子顕微鏡写真

クリソタイル(白石綿)

アモサイト(茶石綿)

クロシドライト(青石綿)



写真提供：東敏昭教授(産業医科大学 作業病態学)

③有害性

ア) 科学的根拠

1980年代から動物実験で、繊維の特性と発がん性の検討が盛んに行われ、繊維が細く、長いほど、また生体内滞留性が高く（不溶性、折れにくさ、食細胞による貪食されにくさ、排出されにくさが関係）、表面特性（活性酸素生成能、化学物質吸着能などが関係）を有するほど発がん性が強いことが指摘されている[4, 5]。

一般に、発がん性はクロシドライトが最も高く[6]、クリソタイルはクロシドライトやアモサイトに比べて低いと考えられている[7, 8]。その根拠として、クロシドライトはクリソタイルに比べて直径が細く、肺の末梢まで侵入しやすいことが挙げられる[4, 9]。In vitro の実験では、クロシドライトはクリソタイルに比べ溶解速度が 40 倍遅いとの報告があり、他の知見では直径 $1\mu\text{m}$ のクリソタイルは肺内で溶解するのに 1 年要するのに対して、クロシドライトでは約 60 年要すると推測されている[10]。また、中皮腫患者の肺組織中の石綿繊維の 95%以上が角閃石という知見がある。トレモライトを含むアンフィボール系繊維は生体残留性が高い。クロシドライトが他の石綿に比べて中皮腫やその他の疾患のリスクが高いと考えられる[11]根拠とされる。

クリソタイル単独で中皮腫を発生するかについては依然議論が続いている面もある[12, 13]。McDonald はクリソタイルに含まれる不純物としての角閃石によって中皮腫が発生する角閃石仮説(アンフィボール仮説)[14]を提唱したが、Landrigan、Cullen らは、クリソタイルの世界での広範な使用と動物実験での肺がん発症の結果をふまえると、発がん性の程度については角閃石に比べ弱いかもしれないが、発がん性は単独でもあると反論している[15, 16]。

世界保健機関 WHO は 2006 年 9 月、「Elimination of asbestos-related diseases 石綿関連疾患の根絶」と題する position paper を発表した[17]。そこで WHO は、あらゆる種類の石綿がヒトに発がん性を及ぼし、職業がん死亡の半数の原因を占める最も重要な職業性発がん物質であることを強調している。さらに、クリソタイルの発がん性リスクについて閾値は確認されていない[18]点にも触れている[17]。国際労働機関 ILO はそれ以前から同様の立場をとってきた。したがって、前述した科学界の意見の対立は今後一部で残るとしても、国際機関の考え方が次第にメインストリームとなって定着していくとみるべきであろう。

動物実験や人についての報告を整理し、各石綿における発がん性の強さを評価した Rossitar (1991) の試案を表 1 に示す。

表 1 繊維の特性と発がん性の関係(Rossitar:1991 を一部改変)

石綿繊維名	繊維の特徴	使用用途	発がん性	生産国
クロシドライト (青石綿)	針状で直径が細い 耐酸性、絶縁性に優れる	主にセメント製品に配合 (圧力パイプ、スレート) 紡織品、吹き付け石綿	最 大	南アフリカ、オーストラリア西部
アモサイト (茶石綿)	硬く、比較的長い繊維が多い 耐熱性に優れる	セメント、熱絶縁用品、吹き付け石綿、 石綿布団 クリソタイルの使用用途と類似	↑	南アフリカ
トレモライト	耐酸・耐アルカリ性に優れる	タルクに混在し賦形剤として使用	↑	イタリア、韓国、トルコ、中国など
クリソタイル (白石綿)	カール状で、柔軟性に富み、 強度と断熱性にも優れる	建材(タイル、屋根板) 高圧パイプ 防音断 熱材 耐火材料 強化プラスチック 摩擦 材(ブレーキ・クラッチ) 織物 紙製品(ミ ルボード、絶縁体、ガスケット) 塗料	↑	ロシア、カナダ(ケベック州)、 アフリカ南部、中国
アンソファイライト	直線的で硬い 耐酸・耐アルカリ性に優れる	ゴム、プラスチックと化学産業での賦形剤	最 小	フィンランド、アメリカ、 モザンビーク
アクチノライト	直線的 耐アルカリ性に優れる	商業的に利用されることはほとんどない	—	

イ) 疫学データ

朝日新聞が報道したクボタの資料(表2)からは、クロシドライトを使用した作業の方がクリソタイルのみを使用した作業者に比べ、石綿関連疾患の発生が約4~5倍多いことが示されている。同社の石綿使用期間中におけるクリソタイル、クロシドライトの使用量は、ともにほぼ年間3千~7千トンを推移しており、両者間に顕著な差がないことからクロシドライトの有害性が高いことを反映している可能性がある。

表2 石綿の種類および作業期間による石綿関連疾患の発生率

<2005年8月9日朝日新聞夕刊記事より改変し引用>

作業に使用した 石綿の種類	作業期間			
	10年未満		10年以上	
白石綿のみ	3/260	1.2%	4/37	10.8%
青石綿と白石綿	21/348	6.0%	124/278	44.6%

石綿関連疾患の患者数 / 在籍1年以上の作業者数

ウ) 石綿代替繊維

石綿の代替繊維である、ガラス繊維(グラスウール)、岩綿(ロックウール)、鉍滓綿(スラグウール)、粘土などの天然・合成繊維についても、石綿と類似する形状から、動物実験で中皮腫との関連が取り上げられ、1987年世界保健機関 WHO の下部組織である国際がん研究機関 IARC(the International Agency for Research on Cancer)は人体への発がんの可能性のある(class 2 B)と分類した。現在までの代替繊維の人体影響に関する疫学的研究では、就業期間、平均あるいは蓄積での曝露レベルとリスクとの関係が一貫していないところがある[19, 20]。しかし、最も有害性の低い石綿繊維であるクリソタイルを制限使用するよりも、その安全性は高いと考えられており、2001年 IARC がグラスウール、ロックウールを発がん性に分類しない(class 3)と再評価した(表3参照)。

WHO は2006年の position paper[17]で、「広範な用途において、石綿は、有害性がより低いか有害性がないことがわかっている何種類かの繊維およびその製品によって代替することは可能である」[21]と自身の consensus report を引用している。

表3. 石綿代替繊維の発ガン性評価基準(IARC)

(神山宣彦「石綿製品の使用禁止と石綿代替繊維の現状」技術情報 24 巻 71 号(2004 年)を一部改変)

1) ガラス質繊維(人造鉱物繊維:MMMF)	
ガラス長繊維(フィラメント)	3
グラスウール	3
耐アルカリガラス繊維	
ロックウール(バサルトウール)	3
スラグウール	3
セラミックファイバー(ムライト繊維)	2B
シリカ繊維	
2) 人造結晶質繊維(ウイスキー, セラミックス繊維)	
ムライト繊維	
アルミナ繊維(短繊維)	
アルミナ繊維(長繊維)	*
アルミナウイスキー	
炭化ケイ素繊維	
炭化ケイ素ウイスキー	*
窒化ホウ素繊維	
窒化ケイ素ウイスキー	
チタン酸カリウムウイスキー	*(一部)
チタン酸バリウムウイスキー	
ホウ酸アルミニウムウイスキー	
酸化チタンウイスキー(ルチル繊維)	
炭酸カルシウムウイスキー(アラゴナイト繊維)	
塩基性硫酸マグネシウムウイスキー	*
硫酸カルシウムウイスキー(セッコウ繊維)	
酸化亜鉛ウイスキー	
ジルコニア繊維	
炭素繊維	*
黒鉛ウイスキー	*
カーボンナノチューブ	
フوسفエート繊維	*
ケイ酸カルシウム繊維	
トバモライト	*
ゾノトライト	*
3) 天然鉱物繊維	
セピオライト	3
パリゴルスカイト	3
ウォラストナイト	3
繊維状ブルーサイト	
4) 金属繊維	
スチール繊維	
ステンレス繊維	
Cu繊維	
タングステン繊維	
低炭素鋼繊維	
5) 有機繊維	
(ポリ型)アラミド繊維	3
ビニロン繊維	3
フェノール繊維	
ポリ塩化ビニル繊維	
ポリアクリロニトリル繊維	3
ポリプロピレン繊維	

評価基準: IARC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

参考: Complete List of Agents, Mixtures and Exposures Evaluated and their Classification”, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans(Last updated: 4 September 2006)

1-2. 石綿の生産量・使用量の推移

①生産量

【日本】

1937年に北海道中央部でクリソタイル鉱床が発見され、第2次世界大戦前後は石綿の輸入が途絶えたため、九州地区等全国各地で石綿の採掘が行われ、1944年には年間8000トンの生産量に至った[2]。しかし、採算性や品質の問題により終戦後から閉山が相次ぎ、1969年には北海道富良野市にあるノザワ鉱山の閉鎖を最後にわが国の石綿採掘は終了した。ただし、廃滓から石綿繊維の抽出は続き、1970年には2.1万トンとわが国最大の生産量となり、1999年には年間2000トン程度と急激に減少している[22-24]。

【海外】

United States Geological Survey (USGS)のデータを参考にすると、商業的な石綿の生産は1900年代に、北アメリカ、北部・西部ヨーロッパ、オーストラリアでゆっくりと始まった。第二次世界大戦の頃には需要が急速に伸びて、戦後も経済成長、工業化、人口増加とともに生産量は増加し、1975年に509万トンにてピークを迎えた。しかし1970年代に北アメリカ、ヨーロッパなどを中心として石綿による健康影響が社会問題化し、1972年にWHO、ILOが石綿の発がん性を認めた。そのため先進国では職業性曝露の制限、クロシドライトの使用禁止、一般環境に関する法規制導入するなどの動きが広がり、生産量が低下し始めた。1980年代には石綿の代替化の流れもあり、1990年代にはさらに生産量が減少、1999年には177万トンとピーク時の35%にまで低下した。しかしアフリカ、アジア、南アメリカの一部では安くて耐久性のある石綿の需要は低下することが無く、2000年以降再び増加に転じて、**2005年の世界の生産量は240万トン**であり依然生産量が高い状態が続いている。

2005年の生産量上位国はロシア93万トン、中国52万トン、カザフスタン36万トン、カナダ20万トン、ブラジル19.5万トンの順であり、上位5カ国で世界の生産の約90%を占めている。

現在は生産する石綿のすべてが本質的にクリソタイルである。アモサイトやクロシドライトの生産については1990年代半ばで中止された。他のアクチノライト、アンソフィライト、トレモライトはインド、パキスタンやトルコなどの一部の地域で少量生産されるのみである。

また世界の1900年～2000年半ばまでの全生産量は1億8000万トンを超え、その90%がクリソタイル、2～3%がクロシドライト、2～3%がアモサイトと推測されている。

②消費量

【日本】

これまで石綿生産量はわずかであり、消費量のほとんどをカナダや南アフリカなどを中心とした輸入に依存していた。1930年以降の石綿輸入量を、財務省（旧大蔵省）の貿易統計調査に基づき、(社)日本石綿協会が公表しているが、1930年～1941年では年間1万～4万トンを推移し、1942年～1948年では第2次世界大戦により輸入が途絶えた。この間、国内で石綿鉱山の採掘が積極的に行われた。

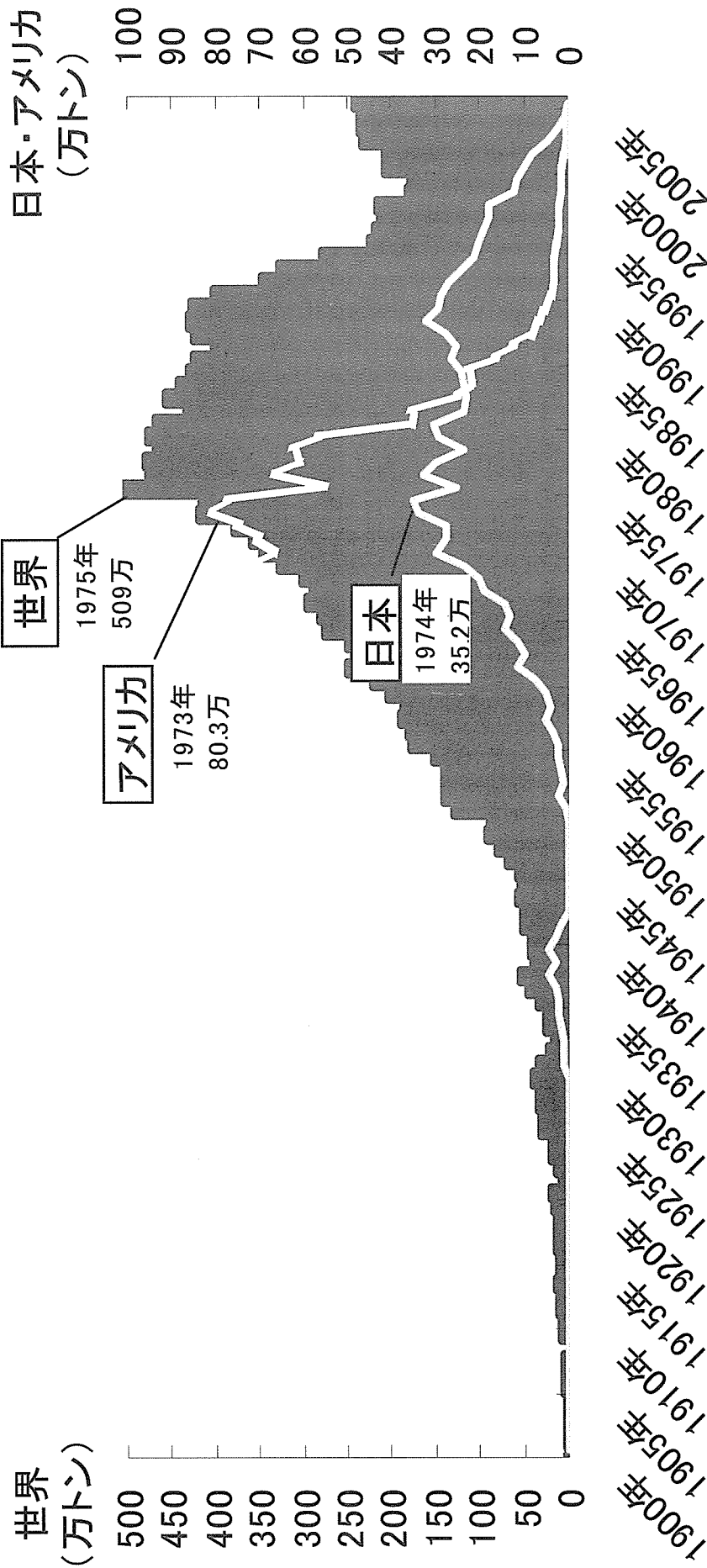
1950年以降、本格的に石綿の輸入が再開され、高度経済成長期（1950年代半ば～1970年代初期）と一致して輸入量は漸増し、1974年には35.2万トンとピークを迎えた。わが国の石綿輸入量と同様、世界の石綿産出量、アメリカの石綿消費量も1970年代前半にピークアウトしたが（図2参照）、これは1972年にILOとWHOが石綿にがん原性を認めたことが大きな転機となっている。その後、アメリカで石綿の製造物責任が認定され、石綿関連企業は莫大な賠償金のため次々と倒産した。これを受け、先進国の多くは石綿の使用を削減し、禁止する方向へと向かったが、わが国では石綿の管理使用を前提に1970年～1980年末期まで年間輸入量23万トン～32万トンと高水準を維持した。

しかし、1986年にILOが石綿条約（クロシドライトの使用禁止等）を採択し、1989年にWHOがクロシドライト・アモサイトの使用禁止を勧告したことを受け、1990年代より輸入量は減少へと転じ、1994年には20万トンを、2000年には10万トンを切るに至った。2001年に

WHO が石綿代替品であるグラスウールやロックウールの発がん性を否定したことから、石綿の代替化・使用削減は更に加速し、2004年には安衛法の改正で石綿の使用が原則禁止されたため、2005年には年間輸入量 110 トンと、ほぼ輸入ゼロの状態となった。

村山によると、わが国における 2000 年までの累計の石綿消費量（輸入量に国内生産量を加えて計算）は約 1100 万トンで、ドイツを抜きアメリカに次いで世界第 2 位となったと推計しており、本格的な石綿の使用開始時期は遅かったものの、国際的に発がん性が確立した 1970 年代以降も長期間にわたって大量に石綿を消費し続けたことが大きいと報告している（2006 年 1 月 31 日朝日新聞夕刊記事より）。

図2 世界の石綿産出量、アメリカの石綿消費量、わが国の石綿輸入量の比較



財務省貿易統計、(社)日本石綿協会

Sources: U.S. Bureau of Mines and U.S. Geological Survey Minerals Yearbook chapter on asbestos

【海外】

石綿の使用の歴史は古く、紀元前3世紀にはフィンランドなどの一部の地域で陶製ポットを強化するために使用されていた記録がある[25]。近代の商業的使用は19世紀後半に入ってから、石綿が断熱材、セメント、織物などの各種製品に使用されるようになった。20世紀には、建設業、造船業を中心とした産業界で需要が高まり、技術革新も加わって消費量は急激に増加していった。

USGSのデータによると[26]、消費量の最盛期は1980年頃であり、世界での総消費量は483万トンに及んだ。1970年頃まで主要な石綿消費国であったアメリカやヨーロッパ諸国では、石綿関連疾患の補償責任のために石綿産業は排除されるか、または石綿の代替化を余儀なくされたので、消費量は減少していった。2000年には148万トンと最盛期の31%程度にまで低下している。現在ではロシア、アジア、南アメリカの一部の国々で、石綿のほとんどを消費している状況である。なかでもアジア諸国の総消費量、および世界総消費量との割合をみると、1970年に67万トン(19%)、1980年に106万トン(22%)、1990年に98万トン(24%)、2000年に87万トン(59%)であり、1995年には126万トンでピークを迎えたと考えられているが、他国での消費が縮小するなかで世界での消費割合は急速に増加している。アジアの主要な消費国は、アジア総消費量の約50%を占める中国を初めとして、インド、インドネシア、タイなどでは高い消費量を維持している。

1-6. の法律・規制において後述するが、当然、消費量は禁止措置の影響を受ける。現在、世界でEU全加盟国を含む40カ国以上が、クリソタイルを含む全種類の石綿線維を禁止している。それ以外の国での規制は相対的に緩い。しかしながら、近年いくつかの国での使用量は横ばいもしくは増加している[27]として、WHOはposition paperの中で危惧を表明[17]している。

1-3. 石綿製品の使用状況の推移

【日本】

1977年、1982年、1996年の石綿製品の使用状況を図3に示す[1, 22, 28, 29]。石綿工業製品は経済成長の減退や代替化の進展とともに著明に減少し、建材製品が全体の9割以上を占めるようになった。ただし、摩擦材やジョイントシートのように代替化が難しい工業製品については、近年まで一定の割合で使用された。なお、クロシドライトの主要な用途であった石綿管や石綿パイプは1980年代には減少・消滅しており、(社)日本石綿協会によると、1987年にはクロシドライトの使用を中止したと報告している。

近年まで大量の石綿が建材に使用されていたという事実は、建築物の解体がいかに大きく、長期的な問題であるかを表している。

次に、主な石綿製品について簡単に説明し[2, 28-30]、2004年の労働安全衛生法改正で禁止された石綿製品10品目を図4に示す。

1) 石綿紡織品

石綿糸、石綿布、石綿ひも等が該当する。石綿原綿を主原料とし、綿花などと混紡してできた糸やその糸を布状やひも状に織ったり編んだりして作る。船舶の保温材、電解用の隔膜布、蒸気機関車の防熱布団、パッキング、防火カーテン、酒造や醸造のろ過材にも使用された。

2) 石綿セメント製品

石綿スレート、石綿セメント板（ボード類）、石綿管等が該当する。石綿スレートは石綿繊維をセメントと混合し板状にしたもので、主に屋根材に使用された。石綿セメント板は、弾力性や加工性を向上させるため、セメント以外にパルプ、パーライト、スラグ等の原料を混合し作成され、内装、外装、天井、間仕切、床等に使用された。石綿管は石綿セメント製品をパイプ状にしたもので、水道管、排気管、煙突等に使用された。

3) シール材

パッキング、ガスケットが該当する。シール材は、石綿やその基礎素材（石綿紡織品、石綿紙、石綿板等）にゴム、金属、樹脂等の材料を複合し加工することにより作成される。互いに動く箇所に用いられるシール材をパッキング、固定されて動くことがない箇所に用いられるシール材をガスケットという。パッキングは、遠心ポンプや水圧・油圧機、バルブ等の流体を扱う箇所に用いられ、ガスケットは各種プラントの配管用フランジとして使用された。なお、ジョイントシートはガスケットの一種であり、重量比 65%以上の石綿、10%以上のゴム、充填材を原料とし、加熱圧縮により緻密な厚紙状にしたものである。

4) 石綿板、石綿紙

石綿板は、クリソタイルを主原料に、白土、クレー、タルクなどを混合し、糊材とともに抄造された。パッキング、ローラーやベルトコンベヤーの保護用、家電製品の電気絶縁部品等に使用された。石綿紙は、クリソタイルを主原料に、パルプを混合し抄造された。ソーダ用電解隔膜、電気絶縁材料として電線被覆や家電製品に使用された。

5) 摩擦材

ブレーキライニングやクラッチングフェーシング等が該当し、自動車等の輸送機器やエレベーターやクレーン等の産業機械に使用された。初期は石綿布をそのまま使用していたが、耐熱・耐久性の向上のためアスファルト、乾性油、合成樹脂等を結合させたものになり、その後は石綿繊維にゴムや合成樹脂を統合させたものが主流となった。

6) 保温材

ボイラーや加熱炉、配管などの熱損失を防ぐために保温材が使われた。アモサイトは、熱伝導率が小さく、耐熱性も高い等の特性を有することから多く使用された。

7) 吹付け石綿

石綿繊維とセメントを練った液状物を直接対象箇所に吹付ける方法で、成形断熱材の代替手段として、1935年にイギリスで開発され、日本には1955年頃に導入され、1975年に原則禁止措置がとられるまで施工された。さらに、1980年頃までは吹付けロックウールの一部（含有率5重量%未満）として石綿が使用されていた。いかなる箇所にも施工が可能で、施工後は継ぎ目がなく平坦な仕上がりで見栄えも良く、吸音、結露防止、耐火などの性質に優れていたため、学校、ビル、ホテル、船舶、電車等の車両、工場、高層建築物の鉄骨の耐火被覆等に幅広く使用された。吹付け石綿はクロシドライトの主な使用用途であり、特に学校やホール等の公共の建物によくクロシドライトが用いられた。

8) 石綿タイル

石綿タイルは、アスファルト系と塩化ビニール系に大別され、床タイルとして用いられた。日本では戦後よりアスファルト石綿タイルの製造が始まり、1955年頃に塩化ビニールの国産化によりビニール石綿タイルが主流となった。1986年に製造中止となった。

9) その他

a) タルク

タルク（含水珪酸マグネシウム： $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ）は、滑石という鉱物の粉末のことで、生成の過程で不純物として石綿が混入することがある。タルクはベビーパウダー、化粧品、食品添加物等の原料として、また、製紙、ゴム製品、農薬等の製造工程における充填材や配合剤等に幅広く使用された。食品添加物やベビーパウダーについては、1987年に法令や通達で石綿の混入したタルクの使用を禁止した[31]。

【海外】

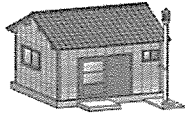
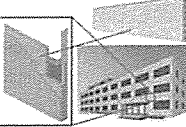
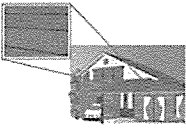
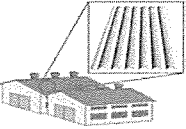


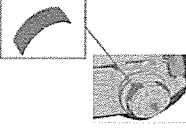
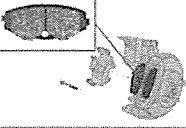
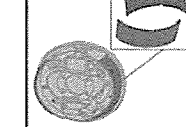
石綿は広範な用途があり、例えば屋根材、水道管、耐火布、プラスチックの可塑剤、医療用パッキング、自動車のクラッチやブレーキライニング、ガスケット等を含む何千もの製品に使用された。クロシドライトの使用および石綿吹きつけ（繊維の種類を問わず）は ILO162 号条約により禁止された。しかしながら、クリソタイルは現在なお広く使用・消費され続けている。その 90%はアスベストセメントとして建材に用いられている。また、発展途上国が最大の消費国となっている。
[17]

図3 石綿製品使用状況の推移 ([28]を元に一部加筆・修正し作成)

製 品 分 類		1977			1982			1986			使 用 分 野		使 用 場 所			
		1977	1982	1986	1977	1982	1986	1977	1982	1986	1982	1986	1982	1986		
石 綿	1977	252.0			石綿工業製品	紡織品	10.0	4.0%	8.5	3.8%	0.2	0.1%	産業機械	3.9%	0.7%	
	1982	223.8				ジョイントシート	7.6	3.0%	8.1	3.6%	2.5	1.4%	…建設機械、クレーン、土木建設機械、工作機械等	3.9%	0.7%	
	1996	178.5				摩擦材(自動車も含む)	13.7	5.4%	15.7	7.0%	7.0	3.9%	…耐熱、耐薬品性のシールを要する化学設備等	1.5%	0.5%	
石 綿	1977	176.0			石綿板・紙	石綿板・紙	21.0	8.3%	11.7	5.2%	0.2	0.1%	…ブレーキライニング、クラッチングフェーシング等	7.8%	3.6%	
	1982	158.2				その他の製品	11.7	4.6%	9.6	4.3%	0.1	0.1%	…船舶、車輛、陸海運施設、運輸設備等	0.5%	2.1%	
	1996	165.9				石綿スレート	156.0	61.9%	144.0	64.3%	111.9	62.7%	…耐火壁、天井、軒天、間仕切り壁、外壁等	69.9%	92.0%	
石 綿	1977	176.0			建材製品	セメント板	5.5	2.2%	5.0	2.2%	49.7	27.8%	…上水道、簡易水道、農業水路、工業水路等	0.8%	0.0%	
	1982	158.2				石綿管	7.5	3.0%	1.9	0.8%	—	—	…上水道、簡易水道、農業水路、工業水路等	0.8%	0.0%	
	1996	165.9				石綿パイプ	—	—	1.3	0.6%	—	—	…上水道、簡易水道、農業水路、工業水路等	0.6%	0.1%	
石 綿	1977	12.0			その他の製品	ビニールタイル	7.0	2.8%	6.0	2.7%	—	—	…上水道、簡易水道、農業水路、工業水路等	0.6%	0.1%	
	1982	12.0				その他の建材	—	—	—	—	4.3	2.4%	…上水道、簡易水道、農業水路、工業水路等	14.2%	0.9%	
	1996	2.6				その他の建材	—	—	—	—	—	—	…上水道、簡易水道、農業水路、工業水路等	14.2%	0.9%	
石 綿	1977	12.0			その他の製品	その他の建材	—	—	—	—	—	—	輸 出	0.8%	0.1%	
	1982	12.0				輸 出	—	—	—	—	—	—	—	輸 出	0.8%	0.1%
	1996	2.6				輸 出	—	—	—	—	—	—	—	輸 出	0.8%	0.1%

1977(昭和52年)、(社)日本石綿協会調べ、単位トン
 1982(昭和57年)、環境庁調べ、単位トン
 1996(平成8年)、(社)日本石綿協会調べ、単位トン

図4 2004年の労働安全衛生法の改正で禁止された石綿製品10品目

石綿禁止製品	説明・使用箇所	図
①石綿セメント円筒	石綿及びセメントを主原料として製造される円筒。主に、煙突として用いられるほか、地下埋設ケーブル保護管、臭気抜き、温泉の送湯管、排水管等にも用いられる。	
②押出成形セメント板	セメント、ケイ酸質原料及び繊維質原料を主原料として高温・高圧下で空洞を持つ板状に押出成形し、硬化させたもの。主に建築物の非耐力外壁又は間仕切壁等に用いられる。	
③住宅屋根化粧スレート	セメント、ケイ酸質原料、混和材料等を主原料とし加圧成形されたもの。主に、住宅屋根に張られた板の上に葺く化粧板として用いられる。	
④繊維強化セメント板	セメント、石灰質原料、パーライト、ケイ酸質原料、スラグ及び石膏を主原料とし、繊維等を加え成形させたもの。主に、工場等の建築物の屋根や外壁に用いられる。	
⑤窯業系サイディング	セメント質原料及び繊維質原料を主原料とし、板状に成形し、硬化させたもの。主に、建築物の外装に用いられる。	
⑥クラッチフェーシング	クラッチディスクの円板面又は円筒端面にはり付けて使用される摩擦材部品。主に、クラッチディスクとフライホイールの間に配置され、駆動力の伝達を制御するものとして用いられます。	
⑦クラッチライニング	クラッチシューの円周面にはり付けて使用される摩擦材部品。主に、クラッチシューとクラッチドラムの間に配置され、駆動力の伝達を制御するものとして用いられる。	
⑧ブレーキパッド	キャリパーに取り付けて使用される摩擦材部品。主に、ディスクローターをその両側から挟み込むことで制動力を発生させるものとして用いられる。	
⑨ブレーキライニング	ブレーキシューの円周面にはり付けて使用される摩擦材部品。主に、外側に広がることでブレーキドラムの内側との摩擦により制動力を発生させるものとして用いられる。	
⑩接着剤		

参照：沖縄県労働局 <http://www.renhyu.net/okirodo/12ishiwata/index.html>

1-4. 石綿曝露

①石綿曝露の分類

石綿曝露は、石綿を扱う労働者の職業性曝露だけではなく、一般大気環境や石綿製品の使用を通じて、すべての人が気づかず偶発的に非職業性に曝露する可能性がある[32]。非職業性曝露には、家庭内曝露を代表する傍職業性曝露、近隣曝露、建築物からの曝露、それ以外の真の環境曝露に分類される(表4)。

表4 石綿曝露の分類

曝露形態	内容
I. 職業性曝露	
a. 直接の職業性曝露:	石綿製品製造、石綿吹付け、石綿運搬、石綿製品加工・補修・清掃など
b. 間接の職業性曝露:	石綿飛散作業場で石綿以外の作業に従事
c. 農業における曝露:	タバコ栽培などで石綿を含む土壌の取扱い(わが国では事例報告なし)
II. 傍職業性曝露	
a. 傍職業性家庭内曝露:	石綿の付着した作業衣を洗濯、空の石綿袋で子供が遊ぶなど
b. 傍職業性曝露:	石綿ボードの切断、石綿含有パウダーの壁への塗布などの日曜大工
III. 近隣曝露:	石綿鉱山・石綿工場・建築物置き場・廃棄物置き場などの近隣に居住
IV. 建築物からの曝露:	石綿吹付けのある建築物などへの居住・出入り
V. 上記以外の特定できない	
真の環境曝露:	建築資材や日常生活品に含まれる石綿による曝露、未確認の曝露形態など

I～IIIおよびVは、欧州委員会(1977)による。「石綿に関する健康管理等専門会会議報告書」(2006/2/24)では、独立項目として「IV. 建築物からの曝露」が新たに加えられた。

【日本】

村井らが日本病理剖検輯報に報告された1958年から2002年までの悪性中皮腫の剖検例をまとめ、石綿曝露の観点から各職業を4つのグループに分類しているが[33](表5)、そのうち職業分類のみで石綿曝露を明らかにできたものは、1(確実)と2(可能性が高い)を合わせても2割前後に留まっており、個々の症例で詳細な石綿曝露歴の調査が必要であるといえる。また、主婦の割合が約17%にも上ることは、石綿の傍職業性曝露が想像以上に及んでいたことを伺わせる。

表5 病理解剖を行った悪性中皮腫1598例の職業別分類[33]

職業性石綿曝露	症例数(%)	職業
1 確実	43(2.7%)	石綿加工(n=40)、 石綿断熱工(n=3)
2 可能性が高い	284(17.8%)	建築工(n=123)、造船工(n=44)、 金属工(n=36)、鉄道工(n=23)、 配管工(n=22)、その他(n=7)
3 不確か	566(35.4%)	会社員(n=233)、農家(n=100)、 工員(n=51)、運転手(n=45)、 その他(n=137)
4 可能性が低い	721(45.1%)	主婦(n=268)、事務員(n=82)、 飲食業(n=50)、教師(n=34)、 医師(n=12)、その他(n=241)