

# 大型車から排出するアスベスト粉じんについて

渡 辺 武 春 朝 来 野 国 彦

## 1 はじめに

アスベスト(石綿)は、耐熱性、耐摩耗性、絶縁性、耐捻性(織物)、耐薬品性など優れた特性をもつ工業材料として、きわめて広範な用途のある天然資源で、消費量の99%以上を輸入に依存している。石綿協会の調査<sup>1)</sup>では昭和60年度輸入量約26万トンのうち60%以上が建築・土木関連の原料に使われ、次いで自動車等の摩擦材、(クラッチ、ブレーキ・ライニング、ブレーキ・パッド等)に約7%が消費されている。

アスベストは、優れた工業材料ではあるが、人体影響の面では、アスベストを取扱う作業現場における、肺や呼吸器系に悪性腫瘍をおこす原因物質として知られており、作業環境基準は、わが国では2繊維/cm<sup>3</sup>と規定されている。

大気環境中にアスベストが排出するのは、建築における石綿製品(石綿板など)の切断加工、建物解体時の断熱材や内装材の飛散<sup>2)</sup>、自動車のブレーキ・ライニング等の摩耗、石綿製品の劣化、不適切な廃棄処分などの機会に多い。しかも大気中に排出したアスベストは、分解し難い繊維状の結晶質であるため蓄積性の高いことが問題となる。

筆者らは、東京における大気環境中アスベスト濃度を、立地特性別に測定して来た。その結果、アスベスト吹付施行のビル解体作業場周辺や幹線道路の交差点周辺では、住宅地などの一般環境よりも高いアスベスト濃度を測定した。<sup>4)~8)</sup>

大都市における特徴的なアスベスト発生源として、自動車ブレーキ・ライニング摩耗粉じんがある。ブレーキ・ライニングには重量比で40~60%のアスベストが含まれている。特に大型車では、車輪数が多く、ライニング自体も大型であることから、小型車よりも排出量が多い。

小型車からのアスベスト排出量については、台上試験装置等を用いた模擬走行試験に基づく報告があるが、大型車については、実験設備上の制約等から実測に基づいた報告はなかった。

本報では、大型車から排出されるアスベスト濃度を、都区内走行の路線バスを用いて調査したので報告する。

## 2 調査方法

### (1) 実験車の諸元

調査は、ディーゼルエンジン搭載のN社製2台(A車、B車)とI社製1台(C車)の計3台について行った。

表1 実験車の諸元

諸元		区分	A, B車	C車
原動機最高出力			195ps/2300rpm	195ps/2300rpm
タイヤ・サイズ			9.00-20, 14PR	10.00-20, 14PR
ライニング法 (mm)	前輪		198.0×130.0×15.0 257cm <sup>2</sup> ×4枚×2輪	398.0×140.0×12.0 557cm <sup>2</sup> ×2枚×2輪
	後輪		213.0×180.0×18.0 382cm <sup>2</sup> ×4枚×2輪	207.0×203×15.5 420cm <sup>2</sup> ×4枚×2輪
胴径(mm)	前輪		400	400
	後輪		410	410
ブレーキ制動力			7760kg/0.6φ (踏力21kg)	6800kg/0.5φ (踏力19kg)
調査期間			1983年4月5日~ 同年10月8日 (A車) 1982年5月28日 ~83年4月20日 (B車)	1983年3月29日 ~ 同年6月22日
調査期間中の走行料数			18,848km (A車) 35,818km (B車)	9,700km

N社製とI社製の諸元は表1に示すように、ブレーキ性能、形状には若干の差はあるが、ブレーキ機構は、図1に示すように、油圧式のホイールシリンダーが用いられている。3車両の調査期間及び走行距離を実験車

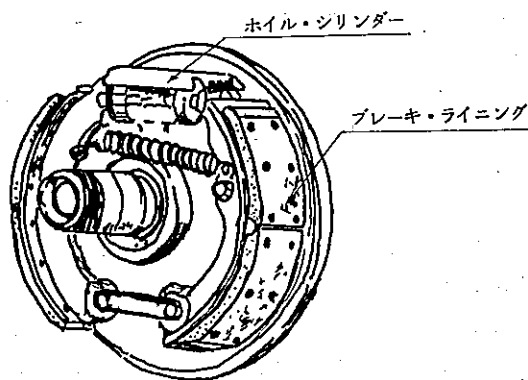


図1 ブレーキ機構

の諸元(表1)に示してあるが、B車については、1982年11月12日の6カ月定期整備の時にライニング及びブレーキ機構並びにブレーキ・ドラムなどに付着していたライニングの摩耗粉じん(以下、残留粉じんという)の清掃を行ったので、定期整備の翌日から1983年4月20日までの走行距離17,308 kmにおける残留粉じん量を測定した。

(2) ライニング摩耗量及び大気への排出量

摩耗量は、重量差による方法(重量差法)と体積差による方法(体積差法)の両方法で行った。重量差法は、車装着時のライニング(新品)と調査終了時に取外したライニングの重量差から算出した。

体積差法は、車装着時のライニング(新品)と調査終了時のライニングの体積差から算出した。

残留粉じんは、定期整備において、各車輪別に採取し秤量した。

摩耗量と残留粉じん量の差が、大気への排出量となる。

B車及びC車のライニングは、交換を必要とするほど摩耗していなかったのでライニングの厚さを車に装着のままで測定し、体積差から摩耗粉じん重量を求めた。

残留粉じんはA車と同一の方法で採取し秤量した。

(3) アスベスト計数用試料の作成

ア 光学顕微鏡用試料

ライニング粉じん1 mgをイソプロパノール溶液で100~500倍に希釈し、よく分散させた後に、数mlをメンブランフィルター(孔径0.8 μm)上に吸引ろ過した。次にスライドガラスに透明化液を滴下し、その上にこの採取済のフィルターを載せてカバーガラスで被覆した。

イ 電子顕微鏡用試料

新品ライニングをライニング修正機で研削して生じた粉末を前述の方法で希釈し、ニュークリポア・フィルター(25 φ, 0.2 μm孔)上で吸引捕集した。このフィルターをカーボン蒸着の後、銅製のシートメッシュ上に載せて、クロロホルムを滴した蓋付シャーレに入れニュークリポア・フィルターを完全に溶解したものを試料とした。

(4) 計数

光学顕微鏡は、位相差装置付(オリンパス社製)を用い、産業衛生学会の計数法に準じて長さ5 μm以上で、長さとの比が3:1以上のものを計数した。視野数は50視野又は繊維数の合計が200本を超えるまで計数し、更に、位相差顕微鏡で計数した同一の繊維を生物顕微鏡で観察した際に観察しにくくなったものをアスベスト繊維とした。

(5) 電子顕微鏡による分析

透過電子顕微鏡(日立製作所H600型)により、詳細に観察し、クリソタイル・アスベストの形態的な特徴である繊維中の空隙を確認した。次いで、エネルギー分散形蛍光X線分析装置(EDX)によりアスベストの特徴的な元素である、Mg、Si、Feの蛍光X線スペクトルを図2に示すように確認した。

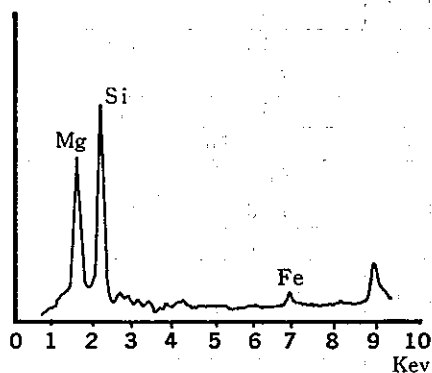


図2 EDXスペクトル

実験車のライニングの成分割合は表2に示す範囲内のものである。

3 結果及び考察

(1) ライニング摩耗量

A車のライニング摩耗量、残留粉じん量を重量差法で測定した結果を表3に示す。自動車の進行方向(リーデ

表2 自動車用有機系摩擦材の配合組成の範囲

原 材 料		摩 擦 材	ブレーキ ライニング	ディスク パッド	クラッチ フェーシング
基 材	ア ス ベ ス ト (クリソタイル)		40~60	20~40	40~60
摩 耗 調 整 剤	有 機 質 系 (ゴム, カシュー, ポリマー等)		10~30	5~10	5~10
	無 機 質 系 (パライタ, 炭カル等)		10~30	15~20	5~10
	金 属 質 系 (銅, 黄銅, アルミ 亜鉛等)		2~10	5~20	-
	酸 化 物 系 (アルミナ, シリカ等)		1~5	1~5	1~5
結 合 剤	フェノール 変成樹脂等		15~20	6~12	15~20

注) 各配合割合は重量%で表示  
(資料, 自動車工学全書12)

ィング側)の方が, トレーリング側の数倍も摩耗している。

1km当りの摩耗量は, 56.1mg, 残量粉じん量は8.8mg, 大気への排出量は47.3mg, ただし, 残量粉じんの回収時における散逸などの収集不可能分があるため, 回収率を90%として計算した。

次に, このA車の摩耗量を体積差法で算出した結果を表4に示す。

装着前に測定した前輪の密度1.66g/cm<sup>3</sup>, 後輪の密度1.54g/cm<sup>3</sup>を用いて算出した摩耗量は, 重量差法による値よりも19%多かった。

B車及びC車では, 車に装着した状態でライニング厚さ(残寸)を各車輪について測定し, 上で述べた体積差法によって, 摩耗量を算出した。

表3 A車のブレーキ・ライニング摩耗量と残留粉じん量

区 分		左 前 (リーディング側)	左 後 (トレーリング側)	左 側 残留粉じん量	右 前 (リーディング側)	右 後 (トレーリング側)	右 側 残留粉じん量
前 輪	上 側	600	600	15.8	600	600	15.5
		533	569		532	578	
		67	31		68	22	
	下 側	640	640		640	645	
		583	625		580	630	
		57	15		60	15	
	小計	170			165		
後 輪	上 側	960	975	63.0	950	960	55.1
		793	920		808	920	
		167	55		142	40	
	下 側	1060	1045		1040	1060	
		910	1028		919	1030	
		150	17		121	30	
	小計	389			333		

注) 1) ブレーキ・ライニング摩耗量の合計 1057g 上段: 新品ライニングの重量  
2) ブレーキ機構の残留粉じん量の合計 149.4g 中段: 6カ月後の重量  
下段: ライニングの摩耗量

表4 A車のブレーキ・ライニングの体積基準の摩耗量

区分	左前 (リーディング側)	左後 (トレーリング側)	摩耗量 小計	右前 (リーディング側)	右後 (トレーリング側)	摩耗量 小計
前輪	上側 (13.35) 70.4	(14.80) 85	134.4	(13.30) 72.5	(14.60) 17.1	149.3
	下側 (13.70) 55.5	(0.00) 0		(13.80) 51.2	(14.80) 8.5	
後輪	上側 (14.35) 215.0	(16.10) 111.9	550.7	(14.85) 185.5	(17.00) 59.5	418.7
	下側 (15.30) 159.0	(16.90) 64.8		(15.75) 132.5	(17.30) 41.2	

注) 上段の( )内はライニングの摩耗寸法 (mm)  
 下段は計算上の摩耗量(φ)  
 ブレーキライニング摩耗量の合計 1253.1 φ

B車は、A車と同一型式であるためA車のライニング密度を用いた。表5にB車のライニング摩耗量と残留粉じん量を示す。回収率は、A車と同様に90%とした。

また、体積差法で摩耗量を算出すると、重量差法よりも19%多くなることを考慮して補正した。

C車のエンジン性能は、前述の2車両と同一の

表5 B車のブレーキ・ライニング摩耗量と残留粉じん量

(φ)

区分	左前 (リーディング側)	左後 (トレーリング側)	左側 残留粉じん量	右前 (リーディング側)	右後 (トレーリング側)	右側 残留粉じん量			
前輪	上側 600 440 (11.0)	600 540 (13.5)	12.5	600 420 (10.5)	600 540 (13.5)	10.0			
	下側 160	60		180	60				
	小計	455		496					
	後輪	上側 960 747 (14.0)		960 826 (15.5)	84.1		960 747 (14.0)	960 826 (15.5)	73.8
		下側 213		134			213	134	
		小計		727			727		

注) 1) ライニングの厚さ(残寸)から算出した。

2) ライニング摩耗量の合計 2405 φ

3) ブレーキ機構の残留粉じん量の合計 180.4 φ

上段: 新品ライニングの重量

中段: 11ヵ月経過後の重量

( )内は、実測した残寸(mm)

下段: ライニングの摩耗量(φ)

195<sup>PS</sup>/2300rpmであるが、タイヤサイズ、ライニング寸法、ブレーキ制動力等に若干の違いがある。C車のライニング密度は実測による前輪1.48<sup>g</sup>/cm<sup>2</sup>、後輪1.61<sup>g</sup>/cm<sup>2</sup>を用いた。C車のライニング摩耗量と残留粉じん量を表6に示す。

これら3車両の測定結果を表7にまとめた。A車、B車は同程度の排出量であるが、走行距離の少ないC車の排出量が他の2車両よりも多い理由については明らかで

μm<sup>3</sup> (日本産業衛生学会) の関係式を用いた。

表8に摩耗粉じん中のアスベスト濃度を示す。A車のアスベスト濃度は、平均値で6.3×10<sup>7</sup>/g (重量換算値で3.79<sup>μg</sup>/g)、この値をブレーキ摩耗量に対するアスベスト繊維の割合でみると、平均値で0.38%、大気へ排出するアスベストは、182.5<sup>μg</sup>/kmとなる。

表6 C車のブレーキ・ライニング摩耗量と残留粉じん量

区 分	左 前 (リーディング側)		左 後 (トレーリング側)		左 側 残留粉 じん量	右 前 (リーディング側)		右 後 (トレーリング側)		右 側 残留粉 じん量	
前 輪	1000	1000	17.0	1000	1000	15.8	1000	1000			
	875	1000		917	1000						
	(10.5)	(0.0)		(11.0)	(12.0)						
	125	0		83	0						
小 計	125			83							
後 輪	1050	1050	48.3	1050	1050	42.3	1050	1050			
	881	962		928	969						
	(13.0)	(14.2)		(13.7)	(14.3)						
	169	88		122	81						
	1220	1220		1220	1220						
	1050	1157		1039	1141						
	(13.4)	(14.7)		(13.2)	(14.5)						
	165	63		181	79						
	小計	485			463						

注) 1) ブレーキ・ライニングの摩耗量合計 1156g  
2) 残留粉じん量の合計 123.4g

上段: 新品ライニングの重量  
中段: 3カ月経過後の重量  
( ) 内は実測した残寸 (mm)  
下段: ライニングの摩耗量(g)

表7 ブレーキ・ライニングの摩耗量・排出量 (単位: <sup>mg</sup>/km)

項目 \ 車別	A	B	C
摩 耗 量	56.1	56.4	119.2
残留粉じん量	8.8	11.6	15.1
排 出 量	47.3	44.8	104.0
走 行 距 離	18,848km	35,818km	9,700km

C車のアスベスト濃度は平均値で7.1×10<sup>7</sup>/g (重量換算値で4.23<sup>μg</sup>/g) この値は平均値で0.42%であり、大気へ排出するアスベストは363.7<sup>μg</sup>/kmである。

摩耗粉じん中のアスベスト濃度は走行距離の少ないC車の方が12%程度、A車のものよりも高かった。

アスベスト含有量40~60%の新品ライニングの研削粉じんを光学顕微鏡 (400倍) で観察し、写真1に示した。20<sup>μm</sup>を超す多数の長い繊維を観察できた。

A車のブレーキ作動後の摩耗粉じんを光学顕微鏡400倍) で観察し、写真2に示した。短繊維のアスベストがわずかに観察できた。

表8と写真1、2から、ブレーキ・ライニングに40~60%含まれていたアスベストは、ブレーキ作動の際の摩

はない。

(2) ライニング摩耗粉じん中のアスベスト濃度

車種の異なるA車とC車から採取した摩耗粉じん中のアスベストを光学顕微鏡法により計数し、アスベスト濃度を算出した。アスベストの重量換算は、2<sup>f</sup>/cm<sup>3</sup> ≒ 0.12

表8 摩耗粉じん中のアスベスト濃度・排出量

アスベスト濃度 採取位置	A 車		C 車		
	本数 ( $f/g$ )	重さ ( $mg/g$ )	本数 ( $f/g$ )	重さ ( $mg/g$ )	
前 輪	左側	$5.96 \times 10^7$	3.58	$5.62 \times 10^7$	3.41
	右側	$7.06 \times 10^7$	4.24	$5.39 \times 10^7$	3.23
後 輪	左側	$6.88 \times 10^7$	4.13	$8.09 \times 10^7$	4.85
	右側	$5.34 \times 10^7$	3.20	$9.10 \times 10^7$	5.46
平均	$6.31 \times 10^7$	3.79	$7.05 \times 10^7$	4.23	
排出量	$182.5 \mu g/km$		$363.7 \mu g/km$		

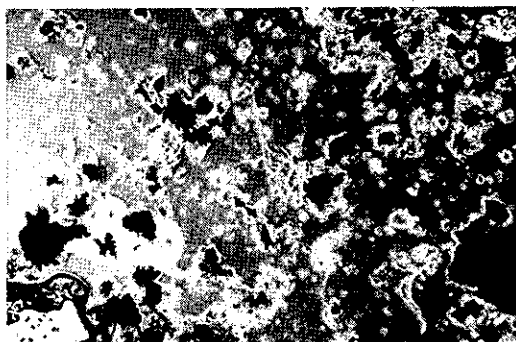


写真1 新品ライニング中のアスベスト

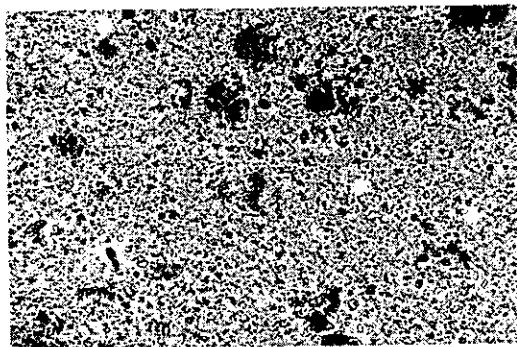


写真2 A車のライニング摩耗粉じん

擦熱によって99%以上が、非晶質あるいは $5\mu m$ 未満の微細な繊維に変化したことが示されている。

本報は、光学顕微鏡で計測したものであるが、Jackoら(1973)<sup>9)</sup>の台上試験による乗用車のアスベスト調査では透過電子顕微鏡が使用され、ブレーキ摩耗量に対するアスベスト繊維の割合は平均で0.23%、アスベストの

排出係数を $17.8 \mu g/km$ としている。

JARI(昭和55年度)<sup>10)</sup>の乗用車に関する調査(走査電子顕微鏡)では、ブレーキ・ドラム内粉じん中のアスベスト繊維(長さ $1\mu m$ 以上)の推定重量割合は約0.12%であった。

摩擦試験機による調査<sup>4)</sup>では、走査顕微鏡と光学顕微鏡によるアスベスト繊維の計測値も比較している。走査顕微鏡では $1\mu m$ 以上のアスベスト繊維を計測し、計測した全量の42~87%が $5\mu m$ 未満のアスベストで占められていること、また、光学顕微鏡でも計測可能な $5\mu m$ 以上の繊維についても電子顕微鏡で計測した方が光学顕微鏡によるものよりも数倍多く計測されている。

これらの報告値と、本報の大型バスの計測値は、計測方法が異なるので、単純に比較することはできないが、大型バスからのアスベスト排出量は乗用車の10倍前後であることが示唆される。

東京都交通局の調査では路線バスの停車頻度は $8回/km$ であった。この値を使用すると、A車のアスベスト排出量は1回の停車ごとに $22.8 \mu g$ 、C車では1回の停車ごとに $45.5 \mu g$ である。

車種別自動車走行量調査<sup>9)</sup>によると、大型車(バス、トラック)は約12%、乗用車は約49%と報告されている。大型車から排出される $5\mu m$ 以上のアスベスト繊維濃度は、乗用車の約10倍であり、大型車からの排出量の多いことが推測される。

なお、ブレーキ摩耗による $5\mu m$ 未満の微細なアスベストについても電子顕微鏡による早急な調査を行い、総排出量を把握する予定である。

#### 4 まとめ

(1) 都区内走行の大型車(バス)のアスベスト排出係数( $5\mu m$ 以上)は、 $200 \sim 400 \mu g/km \cdot 台$ であった。

この値は、台上試験による乗用車の報告値(Jackoら)<sup>9)</sup>の $17.8 \mu g/km$ に比べて約10倍の値である。

(2) 東京都交通局の走行状況調査結果にもとづいて計算すると、バスは1回の停車ごとに $22.8 \sim 45.5 \mu g$ のアスベストを排出することになる。

(3) ブレーキ摩耗によるアスベスト繊維長は $5\mu m$ 以下のものが多く存在していることが報告されており、分析透過電子顕微鏡(61年度導入予定)によるサブミクロン( $1\mu m$ 以下)領域を含めた総合的な調査を行ない大気へ

の総排出量を把握する予定である。

### 5 謝 辞

本調査にあたり、全面的な協力を頂いた東京都交通局自動車部車両課並びに自動車営業所の諸氏及び電子顕微鏡による測定に協力を頂いた気象研究所応用気象部の小林、成瀬の両氏に感謝いたします。

#### (参考資料)

東京都交通局P営業所所管の路線バスの走行状況調査(昭和59年1月26日～1月27日実施)

①走行モード：アイドリング停止頻度60% (待ち時間を含む) 加速走行：20%，定常走行7%，惰行走行13%。

②変速分類：2速頻度が55%，3，4速頻度が45%であり，1速及びオーバードライブは使用していない。

#### ③クラッチ使用頻度

クラッチ使用回数は12回/km，発進回数は8回/km (3800km/月走行)

④変速時エンジン回転数，2000 rpm～2300 rpm (最多使用)

#### ⑤走行速度

走行状況調査と走行性能曲線図(省略)から走行速度は10～20km/時(2速)，20～40km/時(3～4速)である。

### 参 考 文 献

- 1) せきめん, No.480-12, 石綿協会(1986)
- 2) 大気中発がん物質のレビュー-石綿, 15～25, (1980)
- 3) Asbestos, tremolite, anthophyllite and actinolite occupational exposure. 22612～22790, Health and safety standards etc. Federal register VOL51, No.119, Friday June 20, (1986)
- 4) アスベスト発生源対策検討会報告書. 126～174 (昭和59年度) (1984)
- 5) 渡辺武春他: ビル解体工事にもなう発じんについて, 東京都公害研究所年報, 40～45. (1981)
- 6) 東京都公害研究所, 浮遊粒子状物質測定データ集 153～161 昭和59年度 (1984)

- 7) 関東運輸局東京陸運支局: 自動車保有車両数(昭和61年3月末現在)
- 8) 東京都環境保全局, 東京都内自動車交通量及び自動車排出ガス量算出調査報告書 64～66 (昭和57年), (1982)
- 9) Jacko, M. G., Ducharme, R. T. and Somers, J. H.: Brake and clutch Emissions Generated during Vehicle Operation, SAE Paper. 730548, (1973)
- 10) (財)日本自動車研究所: 自動車より排出される排気以外の排出物に関する研究, 昭和55年度自工会受託研究報告書, (1981)