

別添3

1. 序

石綿（アスベスト）は断熱性、親和性等に優れることから建材および各種製品に幅広く利用されてきた一方、吸引により中皮腫等の疾病の原因になることから現在では製造、使用等が禁止されている。しかしながら既存建築物では多くの石綿含有建材が残存しており、改修・解体工事での除去等において適切な石綿飛散防止対策が求められている。

石綿含有建材の工事に関する規定としては、石綿障害予防規則（石綿則）があり、表 1 に概要を示すように工事を行う必要がある。

表 1 石綿則における関連規定の概要

<p>・石綿含有成形品を除去する作業においては、切断等以外の方法により作業を実施しなければならないが、技術上困難な場合はこの限りではない。</p> <p>・技術上困難であって石綿を含有するけい酸カルシウム板第 1 種を切断等する場合や、仕上塗材を電動工具を使用して除去する場合は、作業場所の隔離をしなければならず、加えて</p> <p>① 常時湿潤化</p> <p>② 除じん性能を有する電動工具の使用</p> <p>③ その他の石綿等の粉じんの発散防止</p> <p>のいずれかの措置を講じなければならない。</p> <p>・また、上記以外の石綿等の切断等の作業を行う場合は、上記①から③のいずれかの措置を講じなければならない。</p>

表 1 に示した令和 5 年度の石綿則の改正の過程において、石綿等の切断等の作業について電動工具を用いて行わざるをえない場合があることから、この作業における石綿等の発散抑制措置として除じん性能を有する電動工具の発散低減効果の確認が行われた¹⁾。

この検証における比較対象として実施した湿潤化しつつ電動工具で切断等を行う際の石綿等粉じん濃度を測定した結果、除じん性能を有する電動工具と比較して非常に高い発じんが見られるケースがあった。湿潤化状態での切断等については、従来より石綿則において発散低減効果があると取扱われていることから、電動工具を使用して切断等の作業を行う際の、湿潤化による石綿粉じんの発散抑制効果の有効性の確認、有効な湿潤化の方法の見極めのため、早急に検証を行うことが必要である。このため、本研究では石綿含有建材の湿潤化時の電動工具を用いた切断、切削等の作業を実施時における粉じん発生状況を囲い等で隔離密閉した閉鎖空間（以下、「チャンバー」という。別添補足資料参照）内での改修・解体実験により確認検証する。対象とする石綿含有建材は、切断・切削等の状況が想定される建材のうち、石綿含有スレート板、石綿含有けい酸カルシウム板第一種等、石綿含有仕上塗材とする。

また、除じん性能を有する電動工具については、既往の検討¹⁾により一定の除じん性能を確認できたことから、施工にあたっての適用条件、使用上の注意点の確認のため、施工時に起こりうる状況を再現した場合の発じん性の確認を行う。今後、除じん性能を有する電動工具の使用が増加することが想定され、適切な使用方法に関する技術資料および周知については早急を実施すべきである。

本研究は、これらのデータを取得することにより電動工具を用いた切断等の作業における異なる発散抑制措置における石綿等粉じん濃度を科学的見地から検証し、石綿ばく露防止の観点からより安全な改修工事・解体工事のための知見の蓄積を行うことを目的とする。

2. 既往の研究

厚生労働省が実施した実験では、石綿を含有する建築用仕上塗材、スレート板、けい酸カルシウム板第一種について、湿潤化しつつ電動工具で切断等を行う際の石綿粉じん濃度の測定が行われた¹⁾。

表2～4に報告書から抽出した実験結果を示す。

仕上塗材は、ディスクサンダーを用いて除去した際の負圧養生内の粉じん濃度の測定が行われた。仕上塗材はクリソタイルを0.8%含有であった。集じん機を用いない場合も石綿粉じんの検出はなかった。

石綿含有スレート板（波板、クリソタイル4.3%、アモサイト0.4%含有）および石綿含有けい酸カルシウム板第一種（クリソタイル2.8%、アモサイト6.6%、クロシドライト4.1%）は作業前に表面に散水を行った場合を「湿潤」とし、湿潤状態・集じん機なし、乾燥状態・集じん機なし、乾燥状態・集じん機ありの3条件で2種類の工具により実験が行われた。石綿含有スレート板では、集じん機の使用、事前散水を行った場合のいずれの条件でもクリソタイル繊維の飛散が確認された。アモサイト繊維の飛散は確認されなかった。また、石綿含有けい酸カルシウム板第一種についても集じん機の使用、事前散水を行った場合のいずれの条件でも石綿繊維の飛散が確認された（一部の条件ではクリソタイルの飛散は確認されずアモサイトおよびクロシドライトのみ飛散）。

表 2 石綿含有仕上塗材の除去実験の結果

実験NO.	測定箇所	集じん機		湿潤		総繊維数濃度 (f/cm ³)	クリソタイル繊維数濃度 (f/cm ³)
		あり	なし	湿潤	乾燥		
仕上塗材-1	定点①	○			○	2.69	—
	定点②					1.61	—
	定点③					1.61	—
	個人サンプラー					4.73	検出無し
						—	—
仕上塗材-2	定点①		○		○	12.91	—
	定点②					8.78	—
	定点③					13.94	—
	個人サンプラー					25.96	検出無し
						—	—
仕上塗材-3	定点①	○			○	1.49	—
	定点②					1.49	—
	定点③					1.49	—
	個人サンプラー					0.31	検出無し
						—	—
仕上塗材-4	定点①		○		○	24.15	—
	定点②					22.14	—
	定点③					26.89	—
	個人サンプラー					14.94	検出無し
						—	—

表 3 石綿含有スレート板の切断実験の結果

実験NO.	測定箇所	集じん機		湿潤		総繊維数濃度 (f/cm ³)	クリンタイル繊維数濃度 (f/cm ³)	アモサイト繊維数濃度 (f/cm ³)
		あり	なし	湿潤	乾燥			
スレート板 -1	定点①	○			○	22.64	—	—
	定点②					19.80	—	—
	定点③					23.71	—	—
	個人サンプラー					46.88	1.42	検出無し
スレート板 -2	定点①		○		○	512.68	—	—
	定点②					608.38	—	—
	定点③					599.83	—	—
	個人サンプラー					654.89	17.53	検出無し
スレート板 -3	定点①		○	○		326.40	—	—
	定点②					333.19	—	—
	定点③					281.97	—	—
	個人サンプラー					266.86	12.18	検出無し
スレート板 -4	定点①	○			○	28.84	—	—
	定点②					25.54	—	—
	定点③					26.70	—	—
	個人サンプラー					37.93	1.89	検出無し
スレート板 -5	定点①		○		○	294.79	—	—
	定点②					317.73	—	—
	定点③					325.76	—	—
	個人サンプラー					329.51	13.69	検出無し
スレート板 -6	定点①		○	○		536.60	—	—
	定点②					585.65	—	—
	定点③					331.53	—	—
	個人サンプラー					393.57	4.78	検出無し

表 4 石綿含有けい酸カルシウム板第一種の切断実験の結果

実験NO.	測定箇所	集じん機		湿潤		総繊維数濃度 (f/cm ³)	クリンタイル繊維数濃度 (f/cm ³)	アモサイト繊維数濃度 (f/cm ³)	クロシドライト繊維数濃度 (f/cm ³)
		あり	なし	湿潤	乾燥				
けいカル板 -1	定点①	○			○	249.08	—	—	—
	定点②					281.66	—	—	—
	定点③					378.10	—	—	—
	個人サンプラー					395.57	0.4	21.91	19.52
けいカル板 -2	定点①		○		○	1181.30	—	—	—
	定点②					999.34	—	—	—
	定点③					1766.60	—	—	—
	個人サンプラー					1410.63	1.03	78.8	58.95
けいカル板 -3	定点①		○	○		460.98	—	—	—
	定点②					358.57	—	—	—
	定点③					401.60	—	—	—
	個人サンプラー					654.89	0.4	39.44	39.04
けいカル板 -4	定点①	○			○	182.00	—	—	—
	定点②					234.00	—	—	—
	定点③					133.30	—	—	—
	個人サンプラー					141.02	検出無し	5.18	3.59
けいカル板 -5	定点①		○		○	1043.51	—	—	—
	定点②					1165.72	—	—	—
	定点③					908.94	—	—	—
	個人サンプラー					1134.31	検出無し	52.78	49.79
けいカル板 -6	定点①		○	○		330.68	—	—	—
	定点②					439.67	—	—	—
	定点③					330.25	—	—	—
	個人サンプラー					603.53	0.4	40.99	41.8

古賀らの研究²⁾では、建築物が密集する地域等で外壁の石綿含有仕上塗材が除去できず鉄筋コンクリートの壁体ごと切断または解体する場合を想定した解体実験が行われた。工法 A（コンクリートカッター）、工法 B（ハンドクラッシャー）、工法 C（ハンドブレーカー）の 3 種類が使用され、工法 A は切断部分に水が供給される工具であり、工法 B および C は散水しながらの切断、乾燥状態での切断の 2 通りで実験が行われた。いずれの条件下でも周辺空气中で石綿の飛散は確認されなかった。図 1 に工法の外観を示す。



図 1 既往の研究で用いられた工法²⁾

(左から工法 A : コンクリートカッター、工法 B : ハンドクラッシャー、工法 C : ハンドブレーカー)

また、2014 年に実施された実験³⁾では、隔離養生空間内で各種工具を用いた石綿含有仕上塗材の除去実験が行われ、各工具による除去作業時の繊維の飛散性の違いが確認された。この他、石綿含有成形板の改修に関する研究では林、古賀らの石綿含有成形板の下地調整（改修塗装前に成形板の表面の劣化部分を除去する作業等をいう）時の石綿飛散の確認が行われた^{4), 5)}。

3. 石綿含有建材の除去・切断実験

3. 1 実験の概要

本研究では、石綿含有建材のうち、石綿含有建築用仕上塗材、石綿含有スレート板、石綿含有けい酸カルシウム板（第一種）の3種を対象とする。

石綿含有建築用仕上塗材は施工時のダレや乾燥時のひび割れを防止するために、取材の中にクリソタイルが添加剤として使用されていた時期があり、含有量は一般的に数%以内であり多くはない⁶⁾。石綿を含有する成形板は0.1%を超えて石綿を含有するものが石綿含有成形板とされ、本研究で対象とするスレート板、けい酸カルシウム板第一種の他にも多様な建材があり、ボード状材料の他に不定形な材料である石綿を含有する接着剤も石綿含有成形板と位置付けられている。このうち、石綿含有けい酸カルシウム板第一種はもろいため、切断時の作業時に粉じんが飛散しやすい建材として知られている。

実験では、負圧隔離を行った空間内で、改修・解体工事を想定した除去または切断を行った際の空気中の繊維の測定を実施した。

まず、石綿含有建材を用い、以下を行った。

- ① 石綿含有建築用仕上塗材の除去
- ② 石綿含有スレート板、石綿含有けい酸カルシウム板（第一種）の切断

本研究では、現場における作業を可能な限り再現する必要があることから、石綿含有建材を取り扱う建築物の解体または改修作業に従事している作業者を研究対象者とし、個人ばく露測定装置を装着してデータを取得した。

作業者に装着する測定装置の総重量は約1 kgあるが、これまでの調査においても装置による不具合を訴えた事例はなく、本研究においても作業者自身にとって作業の支障とならない箇所を指示してもらったうえで装着してもらった。1回の作業時間は5分程度であり、測定装置の交換や準備にかかる時間は休憩時間として確保することにより、作業者の身体的・心理的負担や侵襲性は最小限に抑えられている。

また、石綿含有建材を取り扱う作業を伴うが、対象者は普段の業務においても石綿含有建材を取り扱っており、実験では関係法令に従った適切な呼吸用保護具や防護服などを着用させることで、石綿ばく露のリスクを可能な限り減少させている。これらの措置により、研究対象者のばく露リスクは、通常の業務と比較しても十分低く抑えられており、実験時間も可能な限り短縮し、休憩時間も適切に確保するなど、対象者の負担に十分配慮した実験計画となっている。

なお、実験の実施にあたっては、対象者に対して文書および口頭で十分な説明を行い、自由意思に基づく文書同意を得たうえで参加してもらっている。

本研究は、独立行政法人労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 研究倫理審査委員会による審査を経て、実施の許可を得ている（通知番号 2024N13）。

3. 2 石綿含有建築用仕上塗材の除去実験の方法

1) 試験対象建材の概要

仕上塗材は、石綿含有仕上塗材が施されている鉄筋コンクリート造のモデル住棟（図 2）の壁面を活用することとした。同住棟の半屋外外廊下の腰壁内側で実験を実施した。仕上塗材の除去は、幅 1,000 mm、高さ 500 mm の範囲に対し（図 3）、5 分間で実施した。

仕上塗材の概要を表 5 に示す。石綿種類および含有量は JIS A 1481-2、JIS A 1481-3 に基づき把握した。



図 2 モデル住棟の外観



図 3 除去対象壁面の外観

表 5 仕上塗材の概要

建材	石綿種類・含有量（％）
仕上塗材	クリソタイル・0.4％

2) 実験条件

仕上塗材は、吸水性が無い建材であり水湿し等による湿潤行為は粉じんの飛散防止に有効ではない。また、電動工具使用中の散水は作業者の感電の恐れがあるため危険である。このため、仕上塗材については事前および作業中の散水を行わずに除去作業を行った。作業空間中での飛散状況を確認するため、仮設養生内で負圧隔離を行い、周辺環境への粉じん飛散を防止しつつ実験を行った。図 4 に仮設養生の外観を示す。

電動工具は、切削作業に一般的に用いられるディスクサンダー、および粉じん発生程度の比較のため回転数を調整できるディスクサンダーを用い回転数を少なくした状態での実験を実施した。ディスクサンダーは集じん用の専用のカバーが供えられた機種であり、壁面に密着させた状態で壁表面の仕上材を除去し集じんが行えるものである。ただし、石綿粉じんの集じんを想定された製品ではない。集じん機は、吸込み能力 65L/秒の集じん

機 1 種を用いた。実験条件を表 6 に示す。また、工具、集じん機等の外観を図 5 に示す。

図 4 仮設養生の外観

表 6 実験条件（石綿含有仕上塗材）

図 4 仮設養生の外観

表 6 実験条件（石綿含有仕上塗材）

No.	実験条件			
	散水等	工具	集じん機	備考
1-1	なし	電動工具（変速あり）	A	回転数少
1-2	なし	電動工具（変速なし）	A	－
1-3	なし	電動工具（変速なし）	A	密着不良
1-4	なし	電動工具（変速なし）	なし	－



図 5 実験に使用した器具の外観

- 左上：ディスクサンダー(HiKOKI、G10SQ2、回転数 10,500 回／分)
- 右上：電動工具(可変速式)(HiKOKI、G10VE2、最大回転数 10,000 回／分、回転数調整ダイヤル 6 段階のうち「2」で使用、推定回転数 3,700 回／分)
- 左下：塗膜剥がし用カップ(呉英製作所、ホームメイキング ハガースⅢ)
c
- 右下：集じん機 A(掃除機タイプ)(FESTOOL CTL26、吸込み能力：65L/秒、最大吸引力：24,000Pa)

3) 粉じん（気中粒子）の捕集およびリアルタイム測定

①粉じん（気中粒子）の捕集およびリアルタイム測定

各実験では、チャンバー内の 3 点での定点測定、および作業者の個人ばく露測定を行った。測定方法としては、気中粒子の捕集とリアルタイム測定を行った。

気中粒子捕集は、孔径 $0.8\mu\text{m}$ の混合セルロースメンブランフィルターを装着した導電性プラスチック製サンプラー（BestChek MCE Filters in Black Polypropylene Cassettes, 25 mm, Cat.No.225-321、SKC 社）を使用し、 1.0 L/min の流量で捕集した。すべてのポンプは、あらかじめ流量の校正を実施した。既往の検討りと同一条件である。

リアルタイム測定では、デジタル粉じん計を使用して作業中の気中粒子の相対濃度（単位 CPM）を 10 秒間隔で取得し、濃度の時間変化を測定した。

定点測定では、作業が実施されるチャンバー内の 3 か所の定点に、床から約 1 m の高さにサンプラーを設置した（図 6、図 7）。それらのサンプラーと同じ位置にデジタル粉じん計の空気吸引口が来るよう導電性チューブを取り付け、これをチャンバー外に設置したデジタル粉じん計 LD-5R（柴田科学）3 台および高濃度用デジタル粉じん計 LD-5D（柴田科学）1 台にそれぞれ接続した。今回の測定では、デジタル粉じん計には分粒装置を用いなかった。

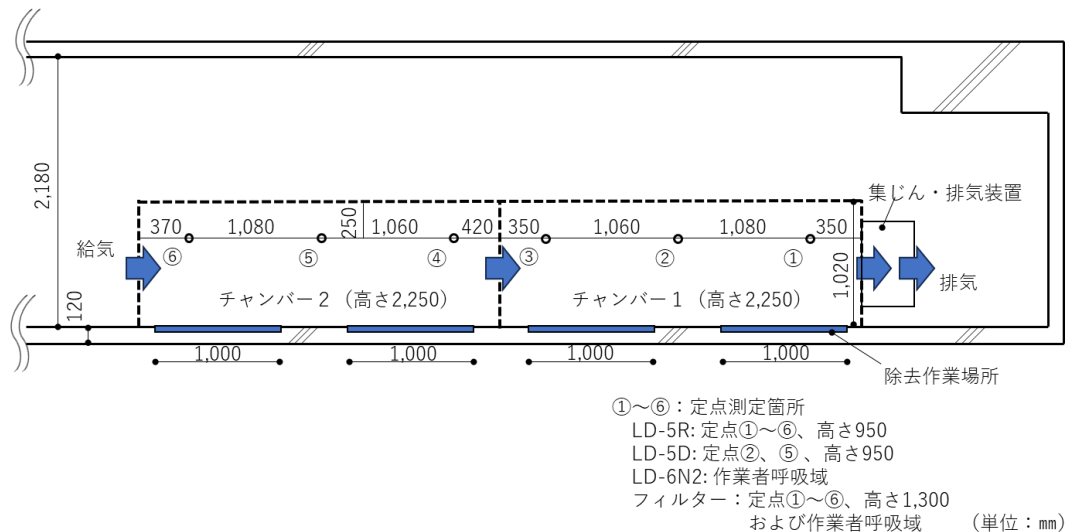


図 6 測定箇所の概要（平面）



図 7 粉じん測定機器等の設置状況

個人ばく露測定では、作業者にサンプラーおよび個人サンプリング用デジタル粉じん計 LD-6N2（柴田科学）を取り付けて測定を行った。作業者は、これらの装置を取り付けた個人ばく露濃度測定用ベスト（ウエスト）を保護衣の上から着用し、作業を実施した。図 8 に作業者の保護衣等の装着状況を示す。



図 8 保護衣等の装着状況

本報告書では、粉じん計の測定結果に「OTL (Over the limit)」と記載されている箇所は、粉じん計の測定上限を超える高濃度であったことを示す。各粉じん計の OTL に相当する値は、LD-5R が約 15,000 CPM、LD-6N2 が 120,000 CPM、LD-5D が約 12,000 CPM であ

る。参考として、デジタル粉じん計の相対濃度は、 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ のステアリン酸粒子に対し、LD-5R および LD-6N2 では $1\text{ CPM}=0.001\text{ mg/m}^3$ 、LD-5D では $1\text{ CPM}=0.01\text{ mg/m}^3$ となるように校正されている。

②試料の繊維数・石綿測定

試料の繊維数・石綿測定は、株式会社エフアンドエーテクノロジー研究所 小西淑人氏（石綿の分析精度確保に係わるクロスチェック事業による一般社団法人繊維状物質研究協会の認定技術者）が測定を行った。分析手順は以下の通りである。

②－１ サンプルの調製方法

計測したすべてのサンプルについて、共存粉じん量が多かったため、各サンプルの採取状況により、白色メンブランフィルターの採取面から無塵水により共詮試験管に洗い流し、無塵水で 10 倍から 100 倍に希釈し、激しく振蕩し、その一部を採取して、 $25\text{mm}\phi$ の白色メンブランフィルター上に吸引る過後、乾燥して希釈サンプル を調製した。

総繊維数濃度測定用のサンプルは、希釈サンプルの採じん面を上にしてスライドグラスに載せ、クイックフィックスを使用してアセトン蒸気で透明化処理を行い、トリアセチンを 2 滴滴下後、カバーグラスを掛けて計数分析用のサンプルとした。

石綿繊維数濃度測定用のサンプルは、分析項目数に応じた枚数の希釈サンプルを用意し、各希釈サンプルの採じん面を下にしてスライドグラスに載せ、クイックフィックスを使用してアセトン蒸気で透明・固定化処理を行い、低温灰化装置で 8 時間かけて灰化した。灰化後の試料は、クリソタイル分析用は屈折率 1.5500、アモサイト分析用は屈折率 1.6800、クロシドライ分析用は 1.6900 の浸液を 2 滴滴下後、カバーグラスを掛けて分散染色計数用のサンプルとした。

②－２ 分析方法

(A) 総繊維数

位相差顕微鏡(Nikon ECLIPSE E800 総合倍率 400 倍)で長さ $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上、幅 $3\text{ }\mu\text{m}$ 未満、アスペクト比 3 以上のものを計数対象繊維として 50 視野計数した。但し、計数対象繊維数が 200 本を超えた場合は当該視野までを計数視野とした。

(B) 石綿繊維数

位相差・分散顕微鏡(Nikon ECLIPSE E800 総合倍率 400 倍)で長さ $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上、幅 $3\text{ }\mu\text{m}$ 未満、アスペクト比 3 以上のものを計数対象繊維として、位相差顕微鏡の BM 対物レンズでオレンジ色に着色した維状粒子を確認し、レボルバーを切り替えて、分散対物レンズ及びアナライザーで当該繊維の分散色及び複屈折を示した繊維状粒子を計数対象繊維として 50 視野計数した。

(C) 濃度計算

計数した繊維数から、総繊維数濃度、石綿繊維数濃度をそれぞれ次の計算式により算出した。

$$C_F = \frac{A \cdot (N - N_B)}{a \cdot n \cdot Q \times 10^3}$$

C_F : 総繊維数濃度、石綿繊維集濃度 (f/cm³)
 A : 採じんした面積 (mm²)
 N : 計数繊維の総数 (f)
 N_B : フィルターのブランク値 (f)
 a : 顕微鏡で計数した 1 視野の面積 (mm²)
 Q : 採気量 (L)
 n : 計数した視野の数

定量下限は 50 視野中に 1 本の繊維があった場合の 95%信頼限界の上限に相当する値として、次の計算式により算出した。

$$S = \frac{A \cdot (1 + 1.654\sqrt{N_F})}{a \cdot n \cdot Q \times 10^3}$$

S : 定量下限 (f/cm³)
 A : 採じんした面積 (mm²)
 N_F : 計数繊維の総数 (f) で 1 本とする
 a : 顕微鏡で計数した 1 視野の面積 (mm²)
 Q : 採気量 (L)
 n : 計数した視野の数 (50 視野)

なお、全ての測定で定量下限値は 0.014～0.056 f/cm³ の範囲であり、本試験に十分な定量下限値を確保できていた。

3. 3 石綿含有スレート板、石綿含有けい酸カルシウム板（第一種）の切断実験の方法

1) 試験対象建材の概要

実験に使用した石綿含有スレート板、石綿含有けい酸カルシウム板（第一種）の概要を表 7 に示す。石綿種類および含有量は JIS A 1481-2、JIS A 1481-3 に基づき把握した。両建材は既存建築物の内装から採取したものであり、室内に面する側に塗装がなされていた。

これらのボードを試験体とし、5 分間で約 800 mm の長さを 2 回、約 1,600 mm を切断することとした。

2) 実験条件

既往の検討¹⁾において、湿潤状態を企図した散水による粉じん抑制効果が認められなかったことから、本実験では飛散抑制剤の散布を条件に追加した。飛散抑制剤は石綿建材の除去工事に用いられる一般的な市販品を用いた（ニチアス製、ファイバーコレクト）。また、集じん能力と粉じんの飛散程度を確認するため、集じん機は集じん能力の異なる 2 種類を用いた。水および飛散抑制剤は、噴霧器を用い、60 秒間（飛散抑制剤は 30 秒間）で 280ml を建材の塗装面に噴霧した。

さらに、建材自体がもろく軟らかい性質であり、切断等の作業時に粉じんの飛散が懸念されるけい酸カルシウム板第一種については、切削時の粉じんの発生程度の差を確認するために変速機能のあるディスクサンダーを一般的なディスクサンダーの比較対象として用いることとした。

スレート板の実験条件を表 8 に、けい酸カルシウム板第一種の実験条件を表 9 に示す。

また、使用した工具の概要を図 9 に示す。

表 7 試験対象建材の概要

建材	石綿種類・含有量（％）	備考
石綿含有スレート板（平板）	クリソタイル・7.4％	厚さ 5 mm 片面に塗装有り 切断長さ約 800 mm
石綿含有けい酸カルシウム板 （第一種）	クリソタイル・9.0％、 アモサイト・2.2％	厚さ 12 mm 片面に塗装有り 切断長さ約 800 mm

表 8 実験条件（石綿含有スレート板）

No.	実験条件			
	散水等	工具	集じん機	備考
2-1	なし	電動工具（変速なし）	B	—
2-2	飛散抑制剤	電動工具（変速なし）	B	—
2-3	飛散抑制剤	電動工具（変速なし）	なし	—
2-4	水	電動工具（変速なし）	なし	—
2-5	なし	電動工具（変速なし）	なし	—

表 9 実験条件（石綿含有けい酸カルシウム板第一種）

No.	実験条件			
	散水等	工具	集じん機	備考
3-1	なし	電動工具（変速なし）	B	—
3-2	飛散抑制剤	電動工具（変速なし）	B	—
3-3	飛散抑制剤	電動工具（変速なし）	なし	—
3-4	水	電動工具（変速なし）	なし	—
3-5	なし	電動工具（変速なし）	なし	—
4-1	なし	電動工具（変速なし）	A	—
4-2	飛散抑制剤	電動工具（変速なし）	A	—
4-3	飛散抑制剤	電動工具（変速あり）	A	—
4-4	なし	電動工具（変速あり）	A	—
4-5	なし	電動工具（変速あり）	B	—
4-6	飛散抑制剤	電動工具（変速あり）	B	—



図 9 使用した工具の概要

- 左上：ディスクサンダー (HiKOKI、G10SQ2、回転数 10,500 回／分)
- 右上：電動工具 (可変速式) (HiKOKI、G10VE2、最大回転数 10,000 回／分、回転数調整ダイヤル 6 段階のうち「2」で使用、推定回転数 3,700 回／分)
- 左中：ディスクサンダー刃 (株) ヤマグチ タイル美人 4
<http://www.kk-yamaguchi.co.jp/product2.html>
- 右中：集じん機 A (掃除機タイプ) (FESTOOL CTL26、吸込み能力：65L/秒、最大吸引力：24,000Pa)
- 左下：集じん機 B (背負いタイプ) (SPRINTUS BOOSTIX 36V、吸込み能力：29L/秒、最大吸引力：16,000Pa)
メーカーHP より

3) 粉じん（気中粒子）の捕集およびリアルタイム測定

粉じん（気中粒子）の捕集およびリアルタイム測定方法、試料の繊維数・石綿測定方法は

3. 2 と同一である。

図 10 に測定箇所の概要を、図 11 に粉じん測定器等の設置状況を示す。

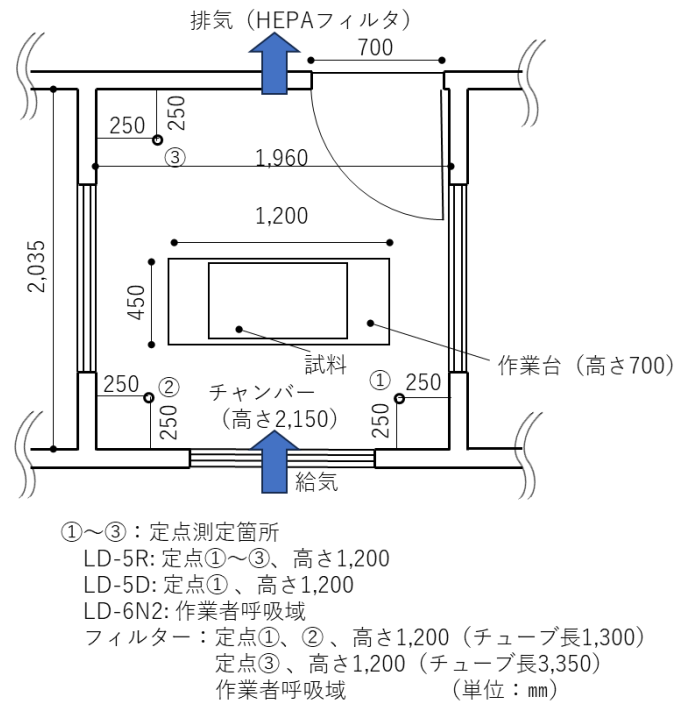


図 10 測定箇所の概要（平面）



図 11 測定機器の設置状況

3. 4 石綿含有建築用仕上塗材の除去実験の結果

1) 実験結果および空気中の繊維の分析結果

3. 2に記述した方法により、石綿含有建築用仕上塗材の除去を行った。0.5 m²の範囲を5分間で無理なく作業可能な範囲で除去を行った。除去状況を図12に示す。

5分間の除去後の壁面の外観を図13に示す。粉じん測定条件を一定にする目的で5分で作業を終了させたため一部仕上塗材が残存しているが、下地であるコンクリートからの除去が十分可能であった。

メンブランフィルターにより捕集した空気中の繊維数の分析結果を表10に示す。

表10から、集じん機を併用した場合には空気中の粉じん飛散が見られず、作業者の呼吸域でも繊維数濃度は小さく、また石綿（クリソタイル）繊維の検出もなかった。集じん機構付きのディスクサンダーは壁面との密着が不可欠であるが、実際の工事においては開口部周り等の入隅および壁面の不陸等のために密着が確保できない場合がある。このため、本実験のNo.1-3では作業中に壁面と密着しない状況を再現して除去を行った。本実験の範囲においては5分間の繊維数濃度が一部の測定箇所が多くなったものの、著しい繊維数濃度の影響は見られなかった。また、石綿粉じんの飛散も確認されなかった。然しながら、壁面への密着を確保し、適正な工具の使用は粉じん飛散防止の観点から重要である。

No.1-1でディスクサンダーの回転数を下げて実験を行ったが、回転数を調整しなかったNo.1-2と比較して繊維数濃度が少なくなると予想したものの、やや多い結果となった。これは、回転数が少ない場合の繊維数濃度が多かったためではなく、その他の要因（例えば、作業の慣れなど）が影響したものであり、いずれの回転数においても集じん機を用いて十分に粉じんを吸引できたと考えられる。



図 12 除去実施状況



図 13 仕上塗材除去後の外観

(左上 : No.1-1、右上 : No.1-2、左下 : No.1-3、右下 : No.1-4)

表 10 空气中繊維の分析結果

No.	実験条件				実験結果			
	建材	散水等	集じん機	備考	測定点	捕集時間 (分)	総繊維数濃度 (f/cm ³)	クリソタイル繊維数濃度 (f/cm ³)
1-1		なし	A	回転数少	①	5	1.290	—
					②	5	1.097	—
					③	5	1.316	—
					個人サンプラー	6	0.779	0.0412以下
1-2	仕上塗材	なし	A	—	①	5	0.602	—
					②	4	0.326	—
					③	5	0.814	—
					個人サンプラー	19※	0.273	0.0144以下
1-3		なし	A	密着不良	④	5	0.843	—
					⑤	5	1.536	—
					⑥	5	2.413	—
					個人サンプラー	6	0.347	0.0459以下
1-4		なし	なし	—	④	5	7.679	—
					⑤	5	12.066	—
					⑥	5	8.227	—
					個人サンプラー	8	5.691	0.316

2) デジタル粉じん計の測定結果

表 11 には、各実験においてデジタル粉じん計で測定した気中粒子の相対濃度の平均値および最大値を示す。図 14-1 および図 14-2 は、それぞれ各定点および個人ばく露測定における気中粒子の相対濃度（単位 CPM）の時間変動を示しており、実験条件ごとに比較したものである。

乾式の作業における「集じん機の有無」による発じん抑制の効果については、集じん機を使用しない条件（No.1-4）では粉じん計の測定上限を超える結果となったのに対し、集じん機を使用した条件（No.1-1～1-3）では測定上限を超えることはなかった。図 14-1 および図 14-2 から、集じん機の使用によって気中粒子濃度が明確に低減しており、集じん機による発じん抑制効果が確認された。

ディスクサンダーの回転数を下げた条件（No.1-1）と回転数の調整をしない条件（No.1-2）では、回転数を下げた条件で、気中粒子の相対濃度が低くなった。ただし、本結果は前節で示した総繊維数濃度の傾向とは異なっており、その要因については現時点では明らかになっていない。

リアルタイム測定の結果から、気中粒子の捕集中においては濃度が一定でなく、瞬間的に濃度が高くなるケースもあることが確認された（図 14-1）。また、ある時点において測定点ごとに気中粒子濃度が異なることも明らかになった（例えば、図 14-1 の実験 1-3）。これらの瞬時的な濃度ピークや測定位置による差異は、気中粒子飛散時の慣性力、工具の壁面への密着度合、チャンバー内の気流の影響など、複数の要因が関与している可能性が考えられるが、今回の実験ではその詳細な要因は特定できなかった。一方、気中粒子捕集時間中における、粉じん計による相対濃度の平均値については、定点間の差異は小さく、おおむね同程度であった。

表 11 仕上塗材除去時の粉じん計測定結果（工具：ディスクサンダー）

実験 NO.	Chamber	集じん機		工具		散水等		平均 [CPM]					最大 [CPM]				
		A	なし	変速有	無変速	あり	なし	LD-5R 定点①,④	LD-5R 定点②,⑤	LD-5R 定点③,⑥	LD-5D 定点②,⑤	LD-6N2 個人サン プラー	LD-5R 定点①,④	LD-5R 定点②,⑤	LD-5R 定点③,⑥	LD-5D 定点②,⑤	LD-6N2 個人サン プラー
1-1	①	○		○			○	43	45	40	4	49	59	63	55	4	69
1-2※1	①	○			○		○	519	482	MD	46	645	3007	2676	2766	249	6766
1-3※2	②	○			○		○	341	286	340	29	369	1102	507	857	52	654
1-4	②		○		○		○	OTL	OTL	OTL	OTL	OTL	OTL	OTL	OTL	OTL	OTL

※1 途中作業停止あり, ※2 密着不良

OTL: 測定上限, MD: 欠測

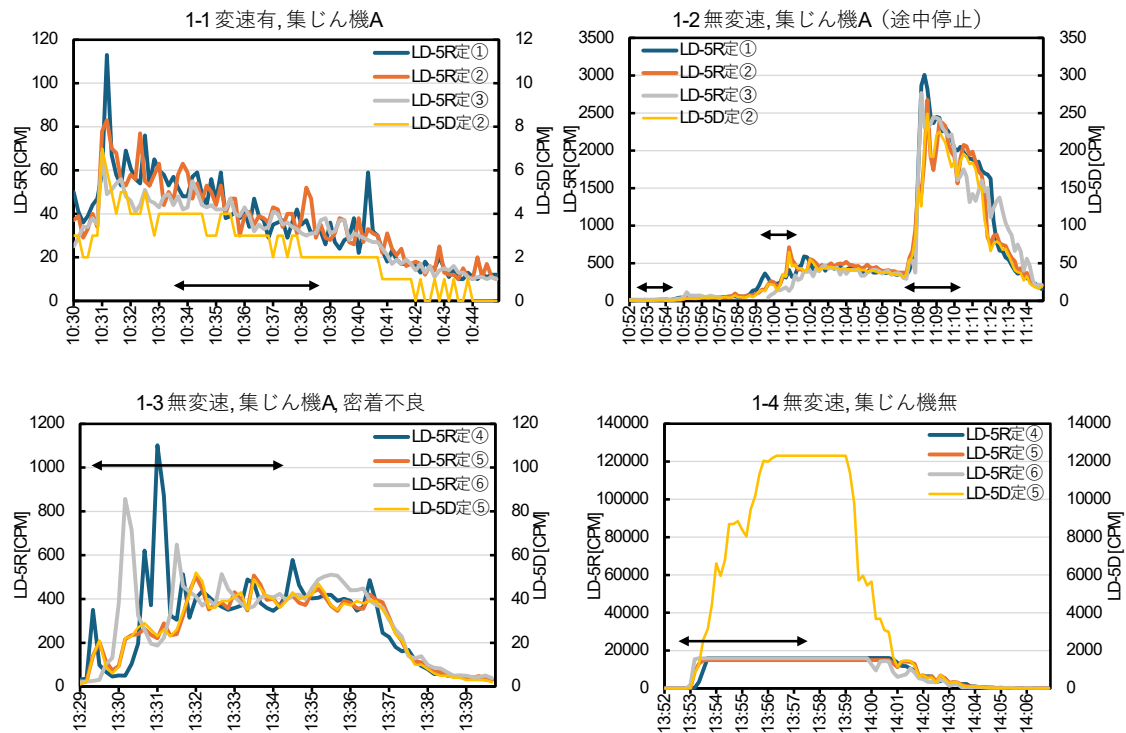


図 14-1 仕上塗材除去実験：定点における気中粒子の相対濃度（粉じん計 LD-5R および LD-5D による測定結果）。図中の矢印は、サンプラーで気中粒子を捕集した時間を示す。

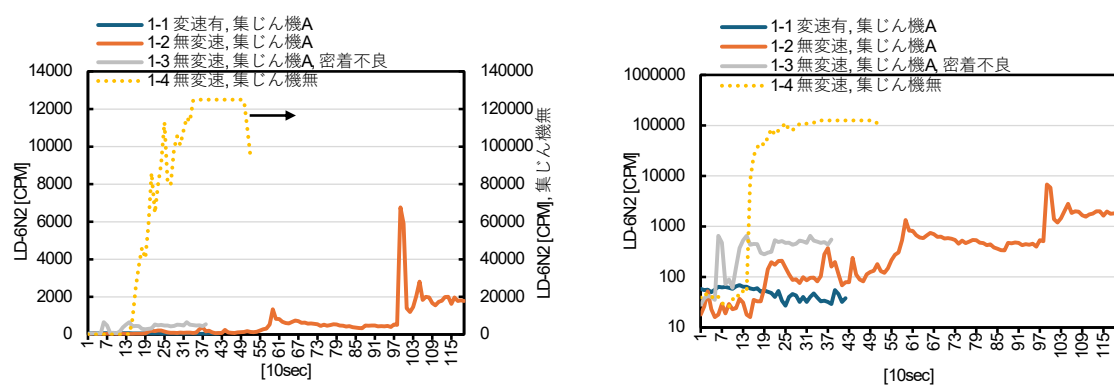


図 14-2 仕上塗材除去実験：個人ばく露測定における気中粒子の相対濃度（粉じん計 LD-6N2 による測定結果）。（左図）リニアスケールと（右図）対数スケールで表示。

3. 5 石綿含有スレート板、石綿含有けい酸カルシウム板（第一種）の切断実験の結果

1) 実験結果および空気中の繊維の分析結果

実験にあたり、切断作業の直前に散水を実施した。散水は、養生テープで被覆し切断実施箇所以外の水濡れが無いようにした。散水状況を図 15 に示す。



図 15 散水実施状況

また、切断作業実施状況を図 16～図 18 に示す。いずれの実験条件においても、5 分間で予定の長さを切れるよう、作業の進行を調整しつつ切断を行った。



図 16 切断作業実施状況（石綿含有スレート板）

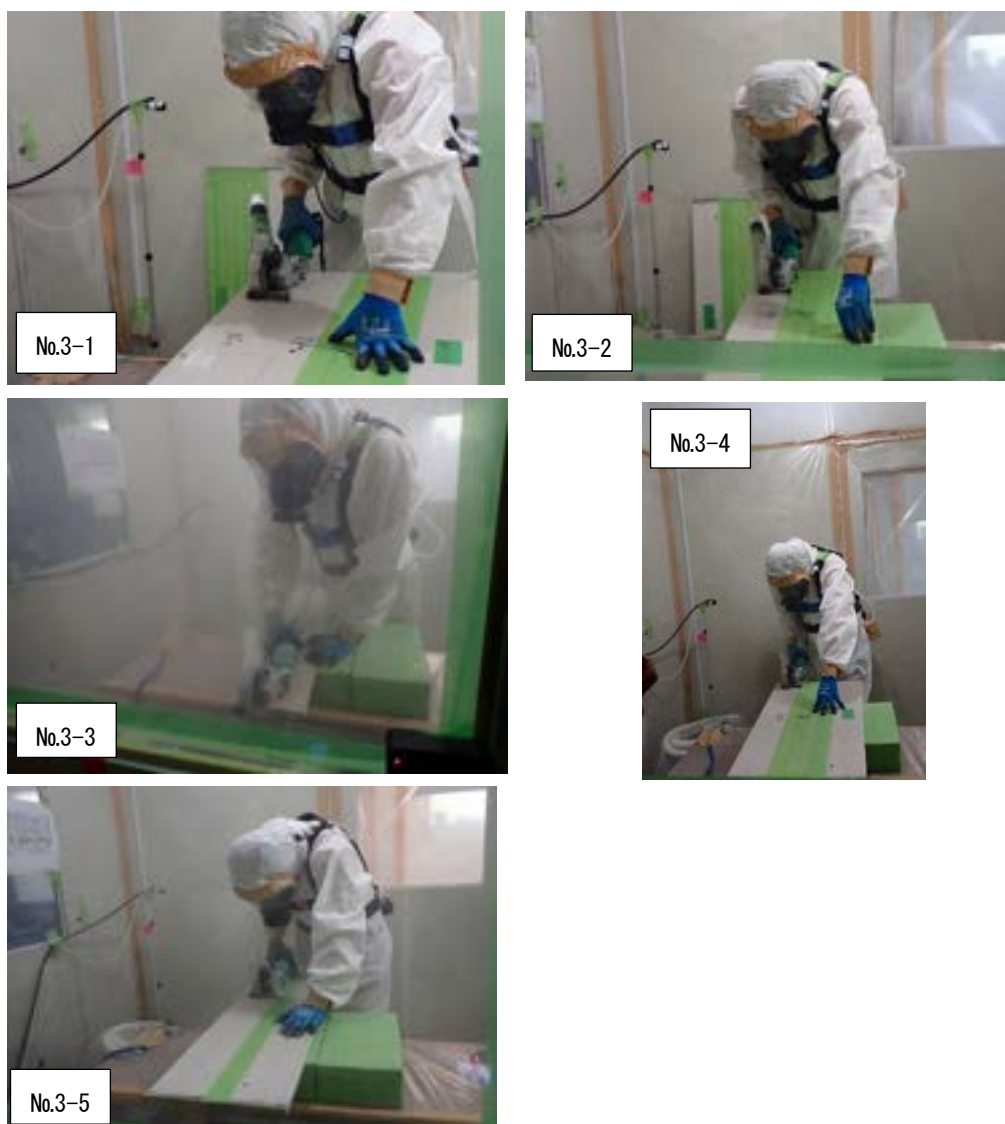


図 17 切断作業実施状況（石綿含有けい酸カルシウム板第一種、一日目）



図 18 切断作業実施状況（石綿含有けい酸カルシウム板第一種、二日目）

表 12 石綿含有スレート板切断時の繊維数の分析結果

No.	実験条件				実験結果			
	建材	散水等	集じん機	備考	測定点	捕集時間 (分)	総繊維数濃度 (f/cm ³)	クリンタイトル繊維数濃度 (f/cm ³)
2-1		なし	B	—	①	4	11.189	—
					②	4	10.974	—
					③	4	8.287	—
					個人サンプラー	5	5.059	0.0557以下
2-2		飛散抑制剤	B	—	①	4	5.485	—
					②	5	5.704	—
					③	5	6.801	—
					個人サンプラー	5	4.216	0.0401以下
2-3	スレート板	飛散抑制剤	なし	—	①	5	246.153	—
					②	5	371.062	—
					③	5	369.234	—
					個人サンプラー	5	141.068	5.805
2-4		水	なし	—	①	5	298.86	—
					②	5	324.908	—
					③	5	243.719	—
					個人サンプラー	5	205.955	5.059
2-5		なし	B	—	①	5	45.413	—
					②	4	225.927	—
					③	5	191.929	—
					個人サンプラー	5	142.604	14.333

表 12 に石綿含有スレート板切断時の総繊維数および石綿（クリソタイル）繊維の分析結果を示す。集じん機を用いた場合には空気中の総繊維数が少なく、また、クリソタイルの飛散も確認されなかった。一方で、集じん機を使用しない場合には、作業前に水および飛散抑制剤の散布を行ったが散布の有無によらず総繊維の濃度は同水準であり、また、クリソタイルの飛散が確認された。本実験で使用した石綿含有スレート板は表面に塗装がなされており、水および飛散抑制剤のスレート板内部への浸透がなかったこと、切断面の湿潤効果もなかったことが伺える。

既往の検討¹⁾では散水の有無にかかわらず、また集じん機を使用した場合でも空気中でクリソタイルの飛散が確認された。同実験で使用された集じん機は本実験で使用した集じん機と同一の製品であるが、建材の種類が同一ではない。本実験では集じん機付き工具の有効性が確認されたが、既往の検討で石綿粉じんが作業者呼吸域で確認されたため、作業内容、建材の種類、厚さ等を考慮し、適切な機器の選定を行うことが粉じん飛散抑制において重要である。

表 13 にけい酸カルシウム板第一種切断時の空気中の繊維数の分析結果を示す。集じん機を用いなかったNo.2-3、2-4、2-5 では総繊維数の発生が多く、クリソタイル繊維、アモサイト繊維ともに空気中で検出されている。湿潤条件においても同様であった。水、粉じん抑制剤の順に抑制度は高かった。しかし、塗装された板でもあり、切断前の事前散布だけでは粉じんの飛散抑制には不十分であった。集じん機を用いた場合には、集じん機 B では乾燥状態（No.2-1）、粉じん抑制剤散布後（No.2-2）ともに総繊維数は抑制できたものの、石綿繊維の飛散が確認された。集じん機 A では乾燥状態（No.3-1）、飛散抑制剤散布後（No.3-2）ともに総繊維の発生を抑制できたものの、集じん容量の小さい集じん機 B と比べやや多い結果であった。石綿粉じんについては、アモサイト繊維は確認されなかったもののクリソタイル繊維の発生が確認された。けい酸カルシウム板第一種はもろいため一般的に切断、破碎時に粉じんが発生しやすいことが知られており、本実験で使用したディスクサンダー使用時には集じん機の使用、湿潤等により石綿粉じんの発生を抑えられなかった。既往の検討¹⁾ではディスクサンダー使用時に、集じん機の使用の有無、湿潤の有無に関わらず石綿繊維の飛散が確認された。

次に、ディスクサンダー使用時の粉じん飛散を抑制する目的で、ディスクサンダーの回転数を落として同様に実験を行った。いずれの集じん機においても、乾燥した状態、飛散抑制剤使用時のいずれにおいても石綿繊維の飛散はなかった。

以上から、本実験の範囲においては、けい酸カルシウム板第一種の切断時の石綿繊維の飛散抑制にはディスクサンダーの回転数を落とす措置が有効であった。粉じん発生抑制が可能な電動工具の使用および適切な集じんにより石綿粉じんの飛散抑制が可能である。

本実験では、石綿含有建材を既存建築物等から採取して用意したため、各々 1 種類ずつを用いて切断時の粉じん飛散を行った。建材の厚さ、密度、塗装の有無により切断時の粉じん

飛散の度合いは異なると想定されるため、工具、工具の刃、集じん機等の選定においては切断対象となる建材との相性を確認し行う必要がある。

表 13 けい酸カルシウム板第一種切断時の繊維数の分析結果

No.	実験条件				実験結果				
	建材	散水等	集じん機	備考	測定点	捕集時間 (分)	総繊維 数濃度 (f/cm ²)	クリソ タイル 繊維数 濃度 (f/cm ²)	アモ サイト 繊維数 濃度 (f/cm ²)
3-1		なし	B	—	①	5	3.291	—	—
					②	5	6.143	—	—
					③	5	5.924	—	—
					個人サンプラー	5	4.005	0.422	0.0557以下
3-2		飛散 抑制剤	B	—	①	5	6.582	—	—
					②	4	9.872	—	—
					③	4	6.582	—	—
					個人サンプラー	5	3.794	0.442	0.442
3-3		飛散 抑制剤	なし	—	①	4	505.994	—	—
					②	5	510.480	—	—
					③	5	359.866	—	—
					個人サンプラー	5	505.309	28.983	7.904
3-4		水	なし	—	①	5	793.305	—	—
					②	5	764.059	—	—
					③	5	756.747	—	—
					個人サンプラー	5	764.023	67.188	11.37
3-5	けい 酸 カル シ ウム 板 第 1 種	なし	なし	—	①	5	1026.943	—	—
					②	5	1036.913	—	—
					③	5	1051.868	—	—
					個人サンプラー	5	953.603	137.476	19.639
4-1		なし	A	—	①	5	14.918	—	—
					②	5	21.281	—	—
					③	4	12.066	—	—
					個人サンプラー	5	11.804	0.211	0.0557以下
4-2		飛散 抑制剤	A	—	①	5	18.867	—	—
					②	5	24.352	—	—
					③	5	25.888	—	—
					個人サンプラー	5	18.128	0.211	0.0557以下
4-3		飛散 抑制剤	A	回転 数少	①	4	5.704	—	—
					②	4	4.607	—	—
					③	4	3.510	—	—
					個人サンプラー	5	5.902	0.0557以下	0.0557以下
4-4		なし	A	回転 数少	①	4	5.704	—	—
					②	4	3.730	—	—
					③	4	3.730	—	—
					個人サンプラー	5	3.440	0.0569以下	0.0569以下
4-5		なし	B	回転 数少	①	5	2.633	—	—
					②	5	3.949	—	—
					③	5	5.046	—	—
					個人サンプラー	5	2.150	0.0569以下	0.0569以下
4-6		飛散 抑制剤	B	回転 数少	①	4	4.388	—	—
					②	4	5.485	—	—
					③	4	5.924	—	—
					個人サンプラー	5	1.935	0.0569以下	0.0569以下

2) デジタル粉じん計の測定結果

表 14 には、各実験において粉じん計で測定した気中粒子の相対濃度の平均値および最大値を示す。図 19-1、図 19-2、図 19-3 は、それぞれ各定点および個人ばく露測定における気中粒子の相対濃度の時間変動を示しており、作業条件ごとの比較をおこなったものである。

本実験では、ディスクサンダーを用いた作業における「飛散抑制剤・水・乾式の違い」、「集じん機の有無」、「変速機の有無」、「スレート板とけい酸カルシウム板の材料差」など、複数の要因による濃度の変動を検討するため、複数の条件下で実験を実施した。ここでは、「集じん機を使用しない条件」と「集じん機を使用する条件」で、気中粒子濃度に明確な差が認められたため、以下にこれらを分けて、結果を示す。

(A) 集じん機を使用しない条件

切断材料に事前に水または飛散抑制剤を散布したかどうかに関わらず、高濃度の気中粒子が発生し、粉じん計の測定範囲上限を超える濃度が記録された。今回採用した散水等の方法では、飛散抑制剤による発じん抑制効果は確認されなかった (No. 2-3, 3-4)。同様に、水の散布による抑制効果も明確には認められなかった (No. 2-4, 3-4)。これらの傾向は、前節に示した繊維分析の結果とも一致していた。

(B) 集じん機を使用する条件

粉じん計の測定上限を超える濃度は観察されなかった。集じん機を使用して気中粒子の発生が抑えられている条件下で、飛散抑制剤の散布の効果を確認したが、飛散抑制剤の散布による明確な発じん抑制効果は確認されなかった (No. 2-1 と 2-2、No. 3-1 と 3-2、No. 4-1 と 4-2、No. 4-5 と 4-6 の各比較による)。

また、材料の違いによる気中粒子濃度の差異については、今回使用したスレート板とけい酸カルシウム板のいずれにおいても、集じん機の有無および散水等の影響に関して比較可能な条件では、気中粒子濃度の増減傾向に大きな違いは見られなかった (No. 2-1～2-5 と 3-1～3-5 の比較)。

なお、これらの結果は、デジタル粉じん計による相対濃度に基づいたものである。粉じん計は、気中粒子の粒径分布が異なる場合、同じ質量濃度(mg/m^3)であっても異なる相対濃度を示す。その換算係数を求めるための併行測定を今回は行わずあくまでも相対的な比較にとどまることに注意を要する。

表 14 石綿含有スレート板、石綿含有けい酸カルシウム板（第一種）切断時の
粉じん計測定結果（工具：ディスクサンダー）

実験 NO.	建材	集じん機		工具		散水等		平均 [CPM]					最大 [CPM]					
		A	B	なし	変速有	無変速	あり	なし	LD-5R 定点①	LD-5R 定点②	LD-5R 定点③	LD-5D 定点①	LD-6N2 個人サン プラー	LD-5R 定点①	LD-5R 定点②	LD-5R 定点③	LD-5D 定点①	LD-6N2 個人サン プラー
2-1	スレート板		○			○		○	6109	6435	4531	577	7593	8964	10210	6711	841	10982
2-2			○			○	抑		5785	5203	2875	566	5216	10746	8865	6013	978	10575
2-3				○		○	抑		OTL	OTL	OTL	OTL	75346	OTL	OTL	OTL	OTL	124325
2-4				○		○	水		OTL	OTL	OTL	OTL	67895	OTL	OTL	OTL	OTL	118756
2-5				○		○		○	OTL	OTL	OTL	OTL	72757	OTL	OTL	OTL	OTL	124992
3-1	けい酸カルシウム板第一種		○			○		○	4176	5391	4098	378	5856	7759	8763	7762	696	10257
3-2			○			○	抑		6218	6447	3710	623	5861	13411	11875	7365	1326	10501
3-3				○		○	抑		OTL	OTL	OTL	OTL	OTL	OTL	OTL	OTL	OTL	OTL
3-4				○		○	水		OTL	OTL	OTL	OTL	MD	OTL	OTL	OTL	OTL	MD
3-5				○		○		○	OTL	OTL	OTL	OTL	OTL	OTL	OTL	OTL	OTL	OTL
4-1			○				○		○	4785	6968	5684	445	7691	7350	11001	9101	675
4-2		○				○	抑		5217	8473	7248	535	9061	9049	14579	12521	952	14990
4-3		○			○		抑		1008	843	689	101	1457	2343	1632	1207	220	3409
4-4		○			○			○	1290	832	523	124	1097	3395	1792	1173	306	1980
4-5			○		○			○	879	1573	422	79	742	2157	6083	1108	191	1980
4-6			○		○		抑		1124	1314	885	103	1297	2019	3424	1980	177	2675

水の散布:作業直前に飛散抑制剤(抑)は 30 秒間, 水は 60 秒間で作業面上に 280ml を散布

変速有:変速 6 段階の 2

OTL:測定上限, MD:欠測

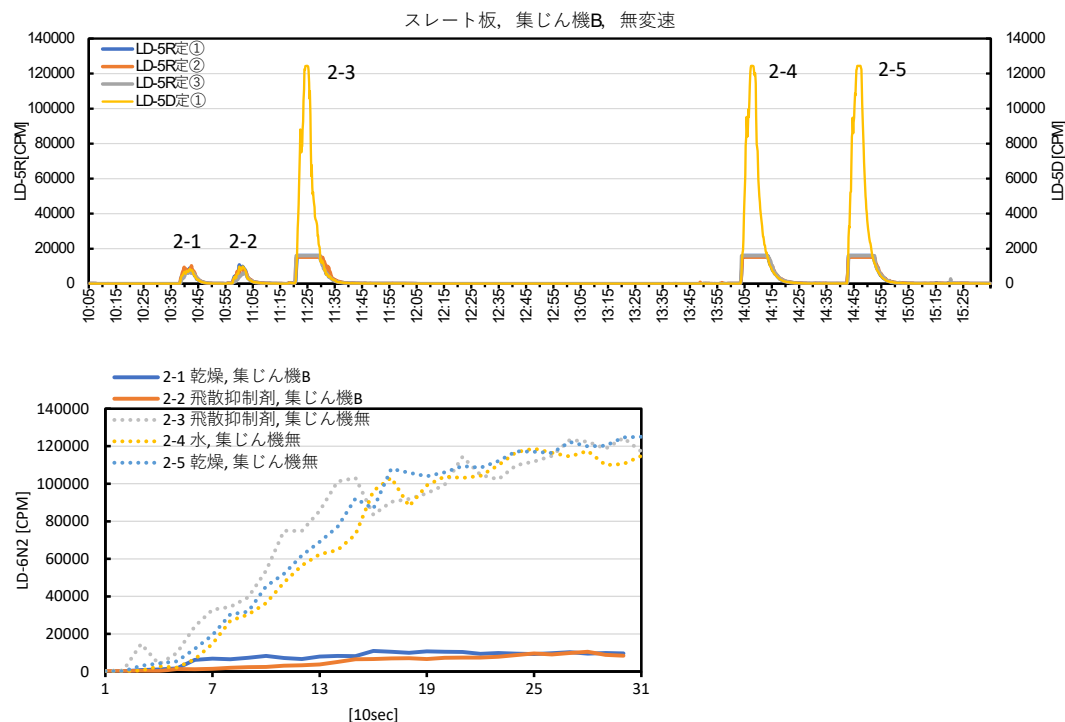


図 19-1 実験 2-1～2-5 の気中粒子相対濃度
(上図) 定点測定の時系列変化、(下図) 個人ばく露測定結果の比較

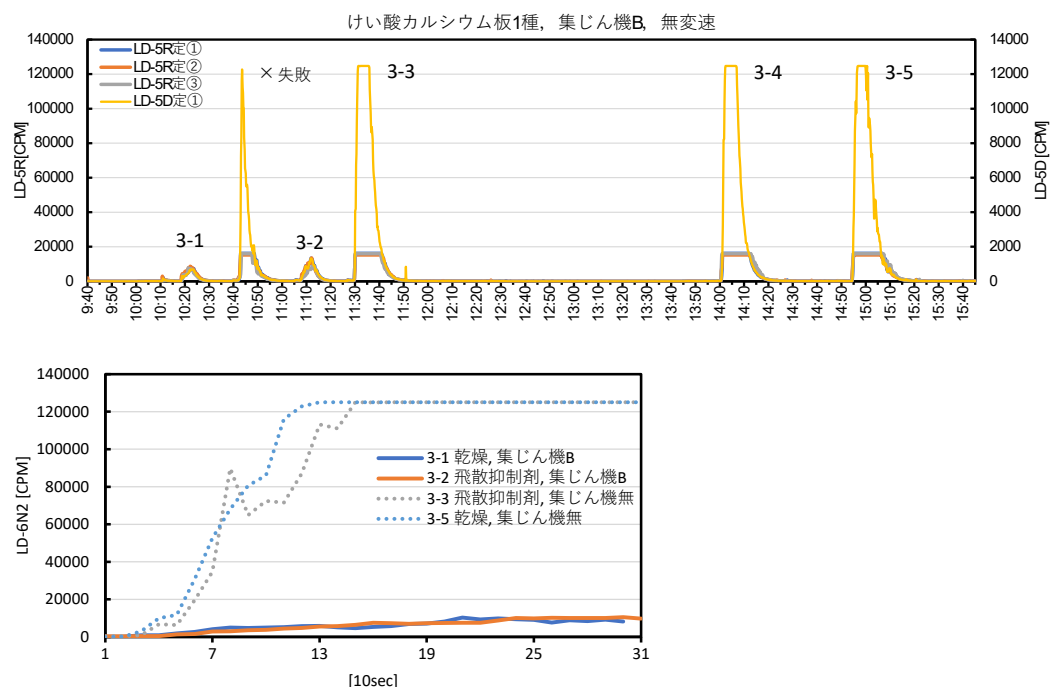


図 19-2 実験 3-1～3-5 の気中粒子相対濃度
(上図) 定点測定の時系列変化、(下図) 個人ばく露測定結果の比較 (No. 3-4 (水, 集じん機無) は、LD-6N2 エラーによりデータなし)

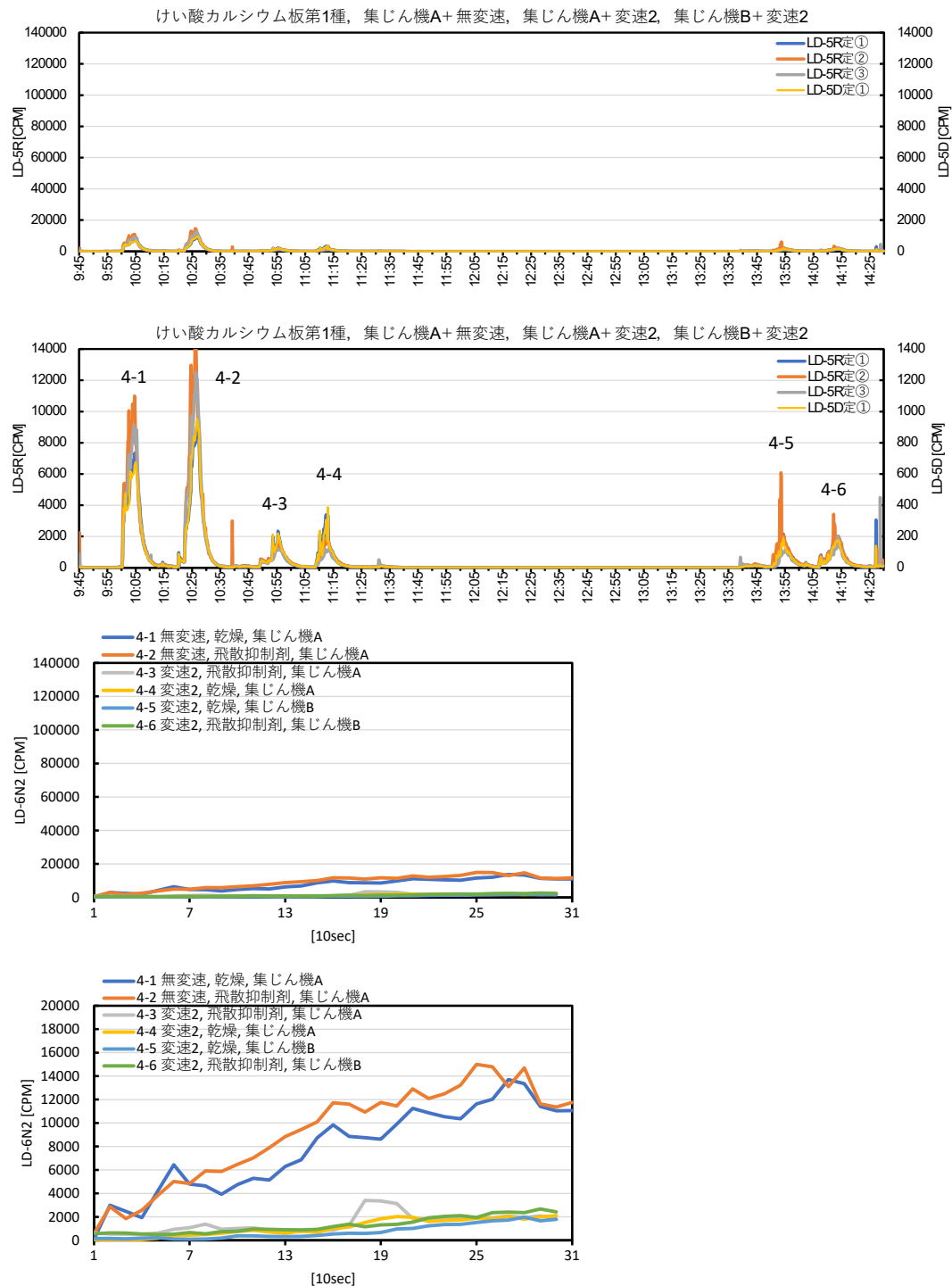


図 19-3 実験 4-1～4-6 の気中粒子相対濃度

(上図) 定点測定の時系列変化, (下図) 個人ばく露測定結果の比較. それぞれ, 図 2-1, 2-2 と同じスケールを示し, その下に縦軸を拡大した図を示す.

4. ボード状建材の切断実験

4. 1 研究の概要

3. では石綿含有建材の除去・切断時の粉じん飛散状況の確認をおこなった。

本章では、ボード状建材についてより多くの条件下で切断実験を行うため、石綿非含有の建材を用いて検証を行うこととした。3. の実験から、集じん機を用いない場合に粉じん発生を抑制するのは困難と考え、集じん機を用い、散水措置とあわせ、発じん状況の比較を行うこととした。

4. 2 工具選定を企図した予備実験

3. で検討を行っていないその他の工具を使用し切断した場合の粉じん飛散について確認するため、新たに丸のこ、ジグソー等を追加し、石綿を含有しないスレート板（厚：6mm、片面に塗装有り）、けい酸カルシウム板（第一種）（厚：5mm、片面に塗装有り）の切断実験を行うこととした。

また、3. の実験で工具作動時にはその回転数が粉じんの発生程度に影響すると考えられることから、変圧器を用いて工具の回転速度を調整して実験を行った。変圧器の設定は目盛の最大値「10」および「5」の2段階とした。ボードカッターは充電式のため変圧器を使用できなかったことから、回転速度の調整は行わなかった。

使用した工具の概要を図 20 に示す。集じん機は 3. と同一の集じん機 A および B の 2 種類を使用した。

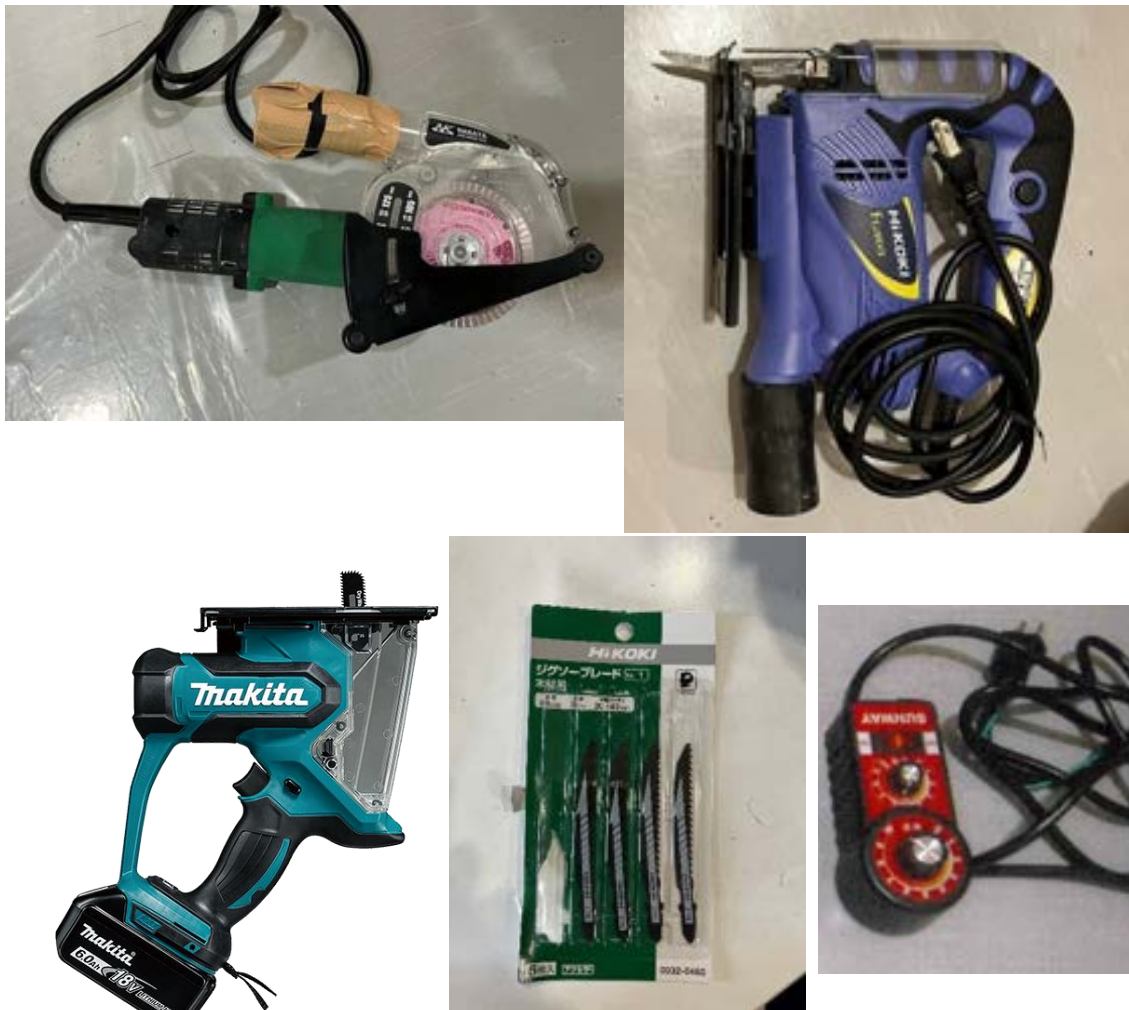


図 20 使用した工具の外観

- 左上：丸のこ（マキタ、KS5000FX、7,000 回転／分）、刃は図 9 左中を使用
- 右上：ジグソー（HIKOKI、FCJ6 5V3）、刃は右下の木材用を使用
- 左下：ボードカッター（マキタ、SD180DRGX、充電式）
- 中下：ジグソー用替刃、木材用
- 右下：変圧器（サンウェイ、SC-01）



図 21 予備実験実施状況

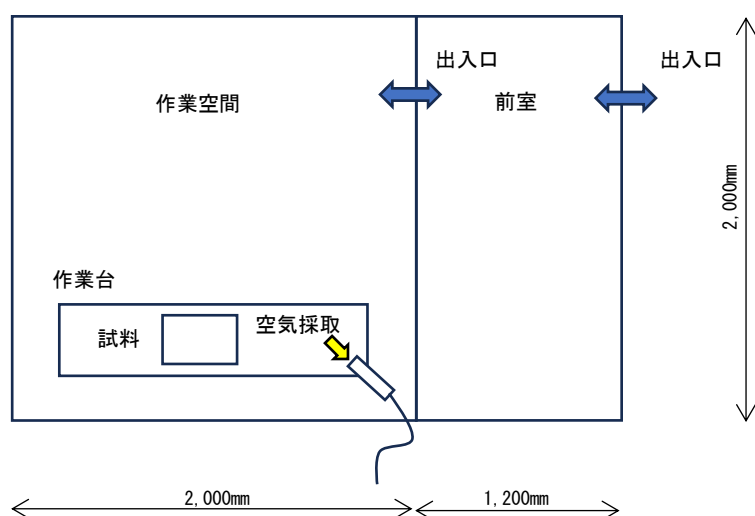


図 22 予備実験の実施概要（平面概要）

予備実験は、図 21、22 に状況を示す、2m 角、8 m³の負圧隔離養生された空間内で行った。図 22 中に示す矢印部分で空気を採取し、デジタル粉じん計（柴田科学、LD-5）で粉じんを測定し、目視にて最大値を把握・記録した。

表 15 に実験条件を示す。

この他に、吊天井を模擬した状況にてスレート板（厚：6mm）、けい酸カルシウム板（第一種）をボード下の空間から切断し、粉じんの飛散状況の確認を行った。湿潤状況は 3. の石綿含有建材の切断実験において水と粉じん飛散抑制剤の散布後の実験結果の水準に大きな

差が無かったことから、より汎用性の高い水のみを用い、切断作業直前に噴霧器で 280ml を 60 秒間で散布した。

表 15 実験条件

建材	No.	工具	集じん機	散水等	回転数
けい酸カルシウム板第一種 (片面塗装)	5-1	ジグソー	集じん機B	水	最大
	5-2			水	0.5
	5-3			乾燥	最大
	5-4			乾燥	0.5
	5-5	ジグソー	集じん機A	水	最大
	5-6			水	0.5
	5-7			乾燥	最大
	5-8			乾燥	0.5
	5-9	ジグソー	なし	水	最大
	5-10			乾燥	最大
	5-11	丸ノコ	集じん機B	水	最大
	5-12			水	0.5
	5-13	丸ノコ	集じん機A	水	最大
	5-14			水	0.5
	5-15	ボードカッター	集じん機A	水	—
スレート板 (片面塗装)	5-16	ジグソー	集じん機B	水	最大
	5-17			水	0.5
	5-18	ジグソー	集じん機A	水	最大
	5-19			水	0.5
	5-20			乾燥	最大
	5-21			乾燥	0.5
	5-22	丸ノコ	集じん機A	水	最大
	5-23			水	0.5
	5-24	ボードカッター	集じん機A	水	—



図 23 実験実施状況

図 23 に実験実施状況を示す。また、図 24 にデジタル粉じん計で確認した粉じん量の最大値を示す。

乾燥状態、事前散水の 2 条件で実施した場合は概ね事前散水の場合に乾燥状態に比べ粉じん量が少ない結果であった。また、電圧を調整し回転数を下げた場合に、通常の使用状態の場合に比べ粉じん量が少ない結果であった。集じん機については、吸込み能力の高い集じん機 A において集じん機 B と比較して飛散した粉じん量は少なかった。

けい酸カルシウム板第一種とスレート板の比較においては、一部結果が逆転している場合もあり、スレート板については一部の条件で実験を実施していないが、概ねけい酸カルシウム板第一種でスレート板より粉じん量の発生量は多かった。また、「集じん機無」はジグソーのみで実施したが、集じん機を使用した場合と比較して粉じん発生量が非常に多かった。このため、他の工具では「集じん機無」の条件は実施しなかった。

丸のこ、ボードカッターは散水状態のみで切断を行ったが、丸のこにおいては同一条件のジグソー、ボードカッターより粉じん発生量が多かった。本実験は作業台上にスパーサーを設置しボードを載せて上面から工具をあて切断を行ったものであり、粉じんはボードと机の間に発散される。ジグソー、ボードカッターは直線状の刃が上下しボードを切断する工具であり、一方、丸のこは刃が回転することによりボードを切断する工具である。粉じんは刃の動く方向に飛び散るため、本実験の設定、つまり試験体と工具の位置、切断作業箇所と空気採取箇所の位置関係では回転する機構である丸のこの方が粉じんを飛散させるため、粉じん量が多かったことが影響したと考えられる。

このため、切断対象のボードの設置方法を変え、天井板を模してボードを設置し、背面空間が解放された状況でボードの切断作業をボード仮面より工具をあて行った。作業状況を図 25 に示す。この際、切断作業箇所の近傍で集じん機 B にて粉じんの吸引を行った。

天井内（切断面の背面）にて粉じん量の測定を行った結果（柴田科学、LD-5 を使用し目視で最大値を確認）、「スレート板・湿潤無し」でジグソー：丸のこの最大粉じん量で 4200 : 12000 以上（CPM）であった。「12000（CPM）以上」とは、粉じん計の測定限界を超えたことによるもので、実際の粉じん飛散量がどの程度であるか不明であった。しかしながら、ジグソー使用時で「4200（CPM）以上」の粉じん量は少なくない量であり、ジグソーについても切断の状況、試験条件の設定により、粉じんの発生程度が異なる。

工具の機構に適合できる試験条件の設定は今後の課題である。

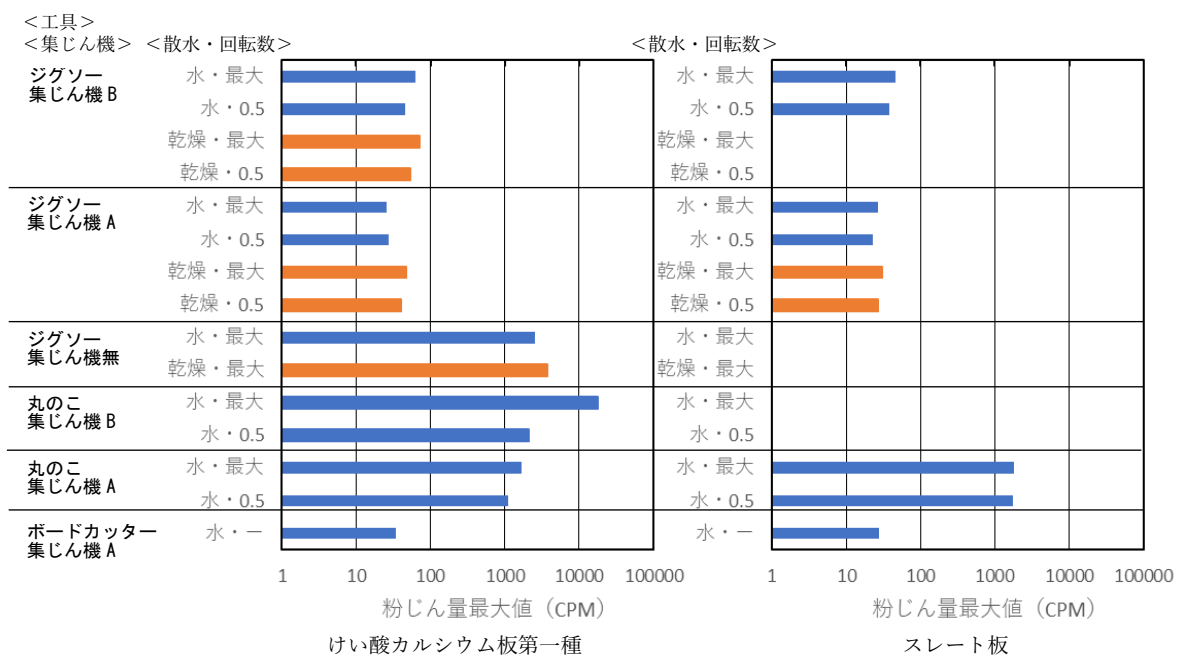


図 24 粉じん量の最大値



図 25 天井板を模した切断作業の状況

(左：ジグソー、右：丸のこ)

4. 3 スレート板、けい酸カルシウム板（第一種）の切断実験の方法

4. 2で工具の切断方式（回転、垂直振動）により粉じんの飛散に特徴のあることが確認されたが、類似の方式では飛散の特性に大きな差がなかったことから、工具の絞り込みを行い、デジタル粉じん計を用いて石綿非含有の建材の切断時の粉じんの発生状況の確認を行うこととした。表 16 に実験条件を示す。

2 分間で長さ 600mm を 2 回、計 1,200mm 切ることにし、作業の進行を調整しつつ 2 分間で作業を実施した。

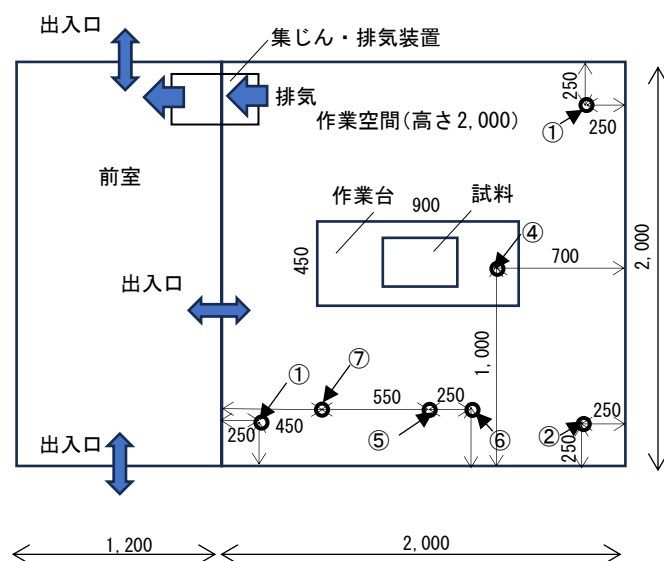
表 16 実験条件

建材	No.	集じん機			工具					工具の回転		散水	
		集じん機 A	集じん機 B	なし	ディスクサンダー	丸のこ	ジグソー	ボードカッター	手のこ	変速有り	変速なし	あり	なし
けい酸カルシウム板第一種 (片面塗装)	6-1	○					○				○	○	
	6-2	○					○			○		○	
	6-3	○						○			○	○	
	6-4			○			○				○	○	
	6-5	○				○				○		○	
	6-6	○				○					○	○	
	6-7			○					○			○	
	6-8	○			○						○		○
	6-9		○		○					○			○
	6-10		○		○						○		○
	6-11			○	○						○	○	
	6-12		○				○				○	○	
	6-13		○				○			○		○	
	6-14		○			○				○		○	
	6-15		○			○					○	○	
スレート板 (片面塗装)	7-1	○					○			○		○	
	7-2	○					○				○	○	
	7-3		○				○			○		○	
	7-4		○				○				○	○	
	7-5	○						○			○	○	
	7-6	○				○				○		○	
	7-7	○				○					○	○	
	7-8	○			○						○	○	
	7-9		○		○						○	○	

実験では、チャンバー内の気中粒子濃度を把握するため、定点において気中粒子の捕集およびリアルタイム測定を行った。図 26 および表 17 に、測定を実施した定点の位置と使用した測定装置の一覧を示す。また、チャンバー設置状況を図 27 に示す。

気中粒子の捕集には、フッ素樹脂バインダーガラス繊維フィルター (TX40HI20-WW, Pall 社) を装着し、粒径別の情報を得るために、異なる分粒特性を有する次のサンプラーを使用した。導電性プラスチック製サンプラー (Cat.No.225-3-23 および Cat.No.225-28, SKC 社)、インハラブル粒子用サンプラー (IOM Inhalable Sampler, Plastic, SKC 社)、および吸入性粒子用サンプラー (NWPS-254, 柴田科学) である。気中粒子の捕集時間は、基本的に 5 分間とした。気中粒子の質量濃度は、捕集前後のフィルターの質量差 (すなわち捕集された気中粒子の質量) と、吸引した空気の体積に基づいて算出した。フィルターの秤量には、マイクロ天秤 (XP2U, METTLER TOLEDO 社) を用いた。なお、現時点では、分粒特性の異なるサンプラー間における比較結果の精査は完了していない。そのため、本報告書に記述するフィルター秤量に基づく気中粒子質量濃度は、導電性プラスチック製サンプラーを使用した測定結果に限定して示す。

リアルタイム測定では、チャンバー内の 3 か所の定点にデジタル粉じん計 LD-5R を、作業者近傍にはデジタル粉じん計 LD-6N2 をそれぞれ設置した。さらに、各 1 台の高濃度用デジタル粉じん計 LD-5D および大粒径粒子の誤差を低減させるため、粉じん計に吸入性粒子のみを導入する粒径 PM₄ 分粒装置を装着した LD-5R (以下、「LD-5R_PM4」とする) も設置した。また、切断作業で発生した気中粒子の粒径情報を取得するため、粒径別の質量濃度を測定する DustTrak DRX (TSI 社) (以下、「DRX」とする)、および粒径別の粒子数濃度を測定する空気動力学粒子サイザー (TSI 社) (以下、「APS」とする) を用いて、粒径別濃度の時間変動を測定した。これらリアルタイム測定に使用したすべての機器では、10 秒間隔でデータを取得した。なお、LD-5R、LD-5R_PM4、LD-5D による測定では、チャンバー内の測定点から導電性チューブを介して、チャンバー外に設置した各粉じん計に接続し、測定を行った。



- ①～⑦：定点測定箇所
 LD-5R：定点①～③、高さ 1,100
 LD-5R_PM4：定点①、高さ 1,100
 LD-5D：定点①、高さ 1,100
 LD-6N2：定点④、高さ 1,200
 APS：定点⑤、高さ 1,200
 DRX：定点⑥、高さ 1,150
 フィルター：定点⑦、高さ 1,100 (単位：mm)

図 26 粉じん測定箇所の概要

表 17 測定で使用した測定装置の一覧

装置	名称	設置場所	備考
デジタル粉じん計	LD-5R	定点1, 2, 3	
	LD-5R_PM4	定点1	PM4分粒装置装着
	LD-6N2	定点 (作業者付近)	個人ばく露測定用
	LD-5D	定点1	高濃度用
粉じん捕集	導電性プラスチック製サンプラー	定点1と2の間	石綿含有建材の除去・切断実験で用いたものと同一の型のサンプラー
	IOMサンプラー		インハラブル粒子サンプラー
	NWPS-254サンプラー		吸入性粒子サンプラー
エアロゾルモニター	DustTrak DRX		粒径別質量濃度測定
空気動力学粒子サイザー	APS		粒径別粒子数濃度測定

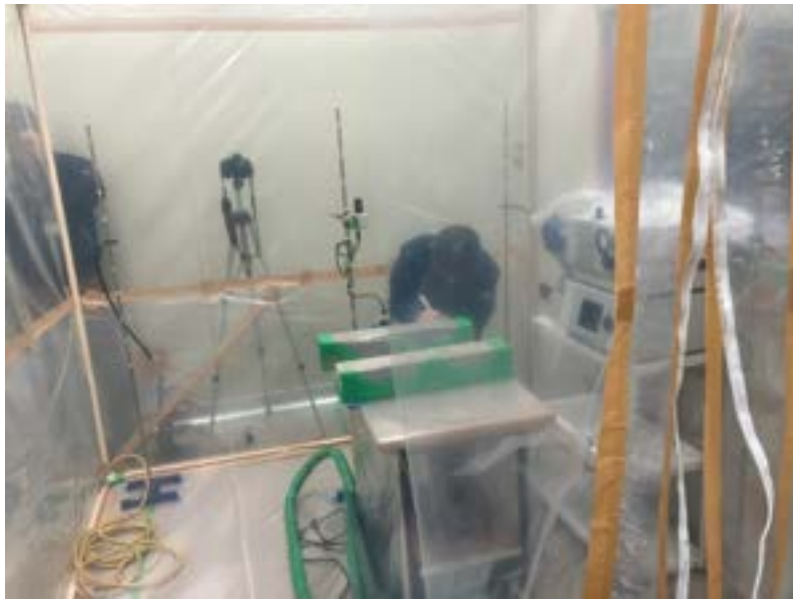


図 27 実験チャンバー設置状況

4. 4 スレート板、けい酸カルシウム板（第一種）の切断実験の結果
図 28 に散水実施状況を示す。



図 28 散水実施状況

また、試験実施状況を図 29 に示す。

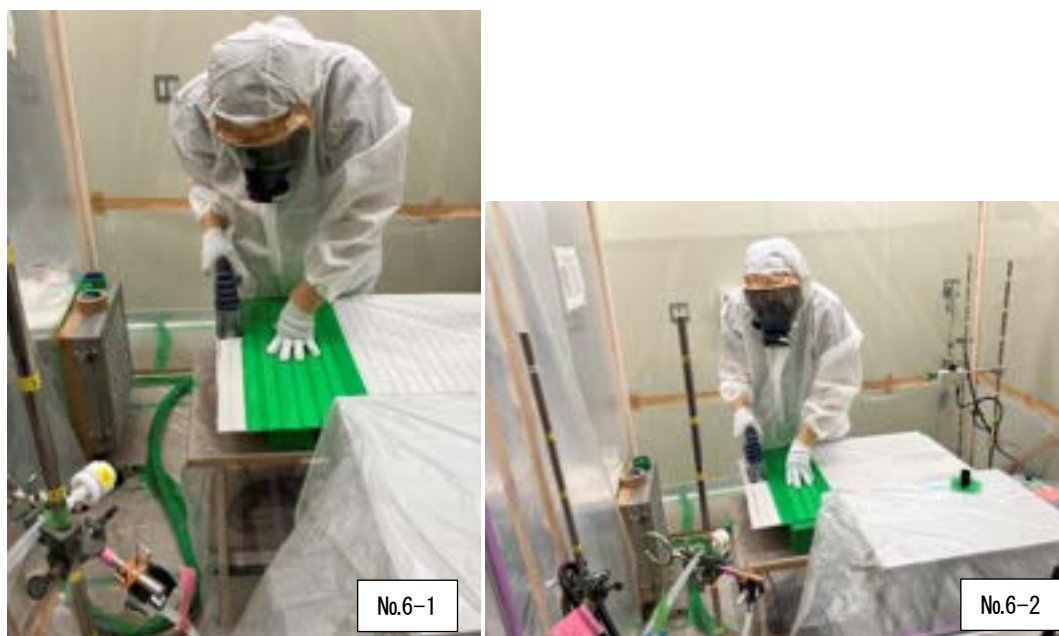


図 29-1 試験実施状況（スレート板）

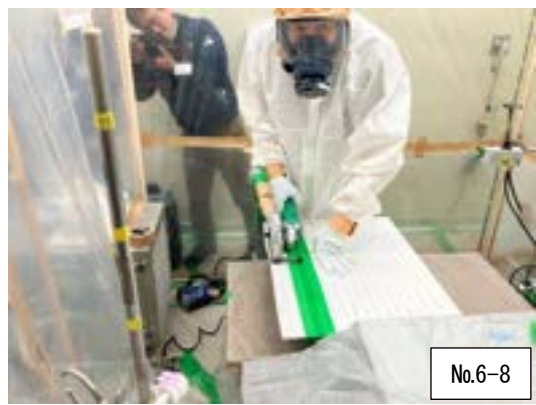
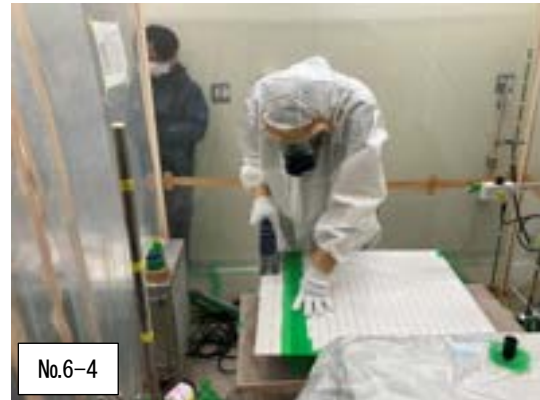
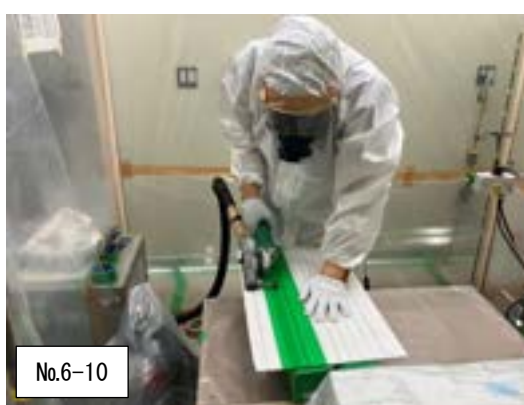


図 30-2 試験実施状況（スレート板）



No.6-9



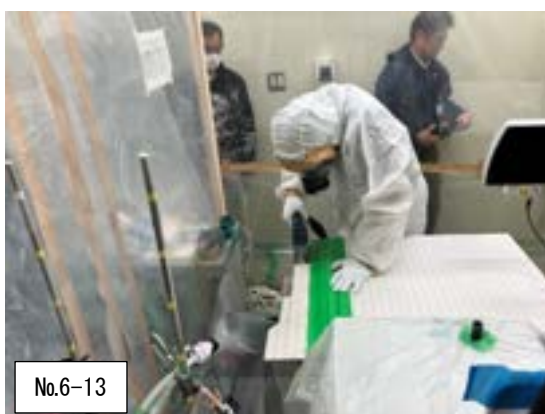
No.6-10



No.6-11



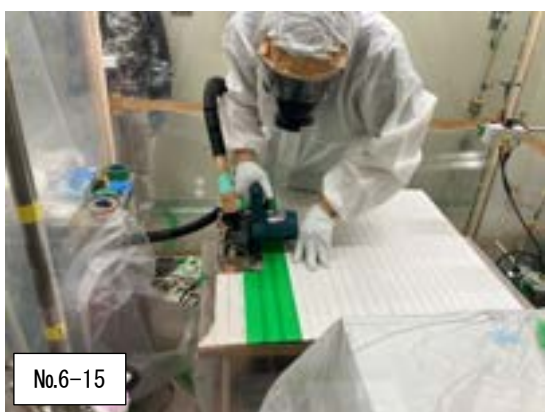
No.6-12



No.6-13



No.6-14



No.6-15

図 31-3 試験実施状況（スレート板）

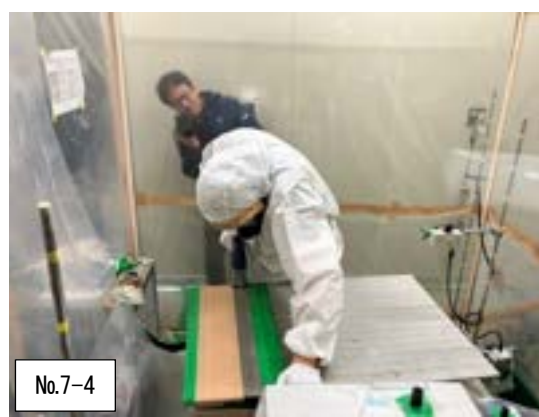
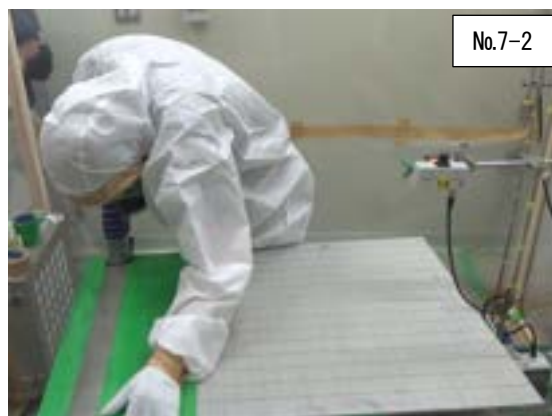


図 32-4 試験実施状況（スレート板）



図 33-5 試験実施状況（スレート板）

表 18 には、各実験における気中粒子の質量濃度 (mg/m^3)、ならびにデジタル粉じん計で測定した相対濃度 (CPM) の平均値および最大値を示す。図 30-1a および図 30-1b は、けい酸カルシウム板の切断実験における各定点での相対濃度の時間変動を示しており、図 30-2a および図 30-2b は、スレート板の切断実験について、同様に示している。

集じん機の使用有無による比較は、工具に変速機能のないジグソーを用い、事前に水を散布するという条件を統一し、No.6-1 (集じん機使用) と 6-4 (集じん機不使用) で比較した。その結果、集じん機を使用した場合の気中粒子質量濃度は $1.183 \text{ mg}/\text{m}^3$ 、使用しなかった場合の質量濃度は $38.371 \text{ mg}/\text{m}^3$ であり、約 32 倍の差が見られた。この結果は、これまでの検証実験と同様に、集じん機の使用により気中粒子濃度が顕著に低減することを示している。

工具の種類による気中粒子濃度の比較は、「集じん機 A を使用」、「変速機能なし」、「水散布あり」の条件で行った。比較には、作業者付近に設置した粉じん計 (LD-6N2) のデータを用いた。

けい酸カルシウム板の切断 (No.6-1, 6-3, 6-6, 6-8) では、気中粒子濃度の高い順に「サンダー>丸のこ>> ジグソー >> ボードカッター」となり、ここで「>>」は一桁以上の濃度差を意味する。ただし、フィルター秤量による結果では「丸のこ>サンダー」となった。

スレート板の切断 (No.7-2, 7-5, 7-7, 7-8) では、「サンダー>丸のこ>> ジグソー >> ボードカッター」という順になり、フィルター秤量の結果も粉じん計と同様の順を示した。

これらの結果から、工具の種類により気中粒子発生量が大きく異なる可能性が示唆された。

工具の変速機能の有無による気中粒子濃度については、すべて水散布ありの条件で、材料、電動工具、集じん機の種類を組み合わせ比較を行った (表 18)。その結果、工具の駆動速度を低下させることで、気中粒子濃度が低下する傾向が確認された。ただし、すべてのケースで濃度が低下するとは限らないことも明らかとなった。気中粒子濃度の低減には、工具の駆動速度、集じん機の集じん能力、材料、工具の種類など、複数の要因が複雑に関与しており、これらのバランス調整が重要だと考えられる。

DRX を用いたリアルタイム測定により得られた粒径別の質量濃度の結果からは、PM4 よりも大きな粒子が全体の質量濃度において大きな割合を占めていることが確認された。一般に、粒径の大きな粒子は重力沈降によって速やかに気中から除去されるが、今回の DRX による測定でもその傾向が確認され、閉鎖空間内で電動工具を使った作業におけるその実証データを取得した (図 30-3)。一方、APS では粒径別の粒子数濃度が測定されるが、その結果では $2.458 \mu\text{m}$ 未満の微小粒子が卓越していた (図 30-3)。

表 18 ボード建材切断実験：気中粒子の質量濃度 (mg/m³) および
粉じん計で測定した相対濃度 (CPM)

実験 NO.	建材	集じん機							工具			散水等		質量濃度		平均 [CPM]							最大 [CPM]				
		A	B	なし	変速有	変速無	サンダー	丸のこ	ジグソー	ボードカッター	手のこ	あり	なし	[mg/m ³]		LD-5R 定点①	LD-5R 定点②	LD-5R 定点③	LD-5R PM4 定点①	LD-5D 定点①	LD-6N2 定点作業 者付近	LD-5R 定点①	LD-5R 定点②	LD-5R 定点③	LD-5R PM4 定点①	LD-5D 定点①	LD-6N2 定点作業 者付近
6-1	けい 酸 カ ル シ ウ ム 版	○			○			○				水		1.183		89	126	209	94	5	215	173	254	404	202	14	415
6-2		○			○			○				水		0.781		76	115	196	83	3	209	154	265	401	146	7	463
6-3		○			○			○				水		0.179		9	11	12	10	0	17	12	17	19	14	0	21
6-4			○		○			○				水		38.371		3630	3869	4932	3931	261	5605	9451	7288	7586	9601	617	11824
6-5		○			○			○				水		29.437		3945	2359	2267	4593	355	3643	10583	4285	4207	13460	1011	7862
6-6		○			○			○				水		26.431		4854	2843	3108	5366	423	3923	10496	4414	5336	12369	983	7171
6-7			○		○						○	水		MD		28	43	104	28	1	90	53	87	279	59	3	206
6-8		○			○	○						○		20.460		5134	4908	4673	5824	521	4808	7904	7412	6624	9624	1258	6897
6-9			○		○							○		3.970		855	343	197	907	76	295	3337	885	368	3417	283	612
6-10			○		○							○		13.432		3012	2085	2197	3092	258	2267	5340	3763	3374	5453	422	4082
6-11			○		○	○						水		227.689	OTL	OTL	OTL	OTL	4785	55884	OTL	OTL	OTL	OTL	7773	91065	
6-12	ス レ ー ト 板 （ 塗 装 表 なし）		○		○			○				水		3.778		365	445	538	371	23	563	585	696	853	593	37	870
6-13			○		○			○				水		1.994		246	272	288	248	15	339	408	431	431	396	23	522
6-14			○		○			○				水		26.978		6261	3129	3197	6727	583	4024	14940	5683	5002	15851	1907	7136
6-15			○		○			○				水		31.102	OTL	3875	3923	OTL	717	5004	OTL	5905	6640	OTL	1990	7835	
7-1		○			○			○				水		9.817		1249	1261	1122	858	117	1566	3779	2710	2310	2473	313	2855
7-2		○			○			○				水		2.178		422	561	729	316	40	827	866	828	1119	685	84	1260
7-3			○		○			○				水		1.990		233	335	476	181	25	526	517	604	992	445	50	937
7-4			○		○			○				水		3.178		420	542	583	342	41	748	835	961	849	626	75	1340
7-5		○			○					○		水		9.215		1243	506	537	952	133	666	3189	816	894	2905	369	1198
7-6		○			○			○				水		43.351		5772	5125	4647	4499	623	8093	12513	7997	8084	9896	1376	14873
7-7		○			○			○				水		51.378		6492	5445	6003	5158	705	8291	14338	9214	10621	12354	1886	11999
7-8		○			○	○						水		27.889		5022	4750	4338	4099	518	6265	10666	7757	7122	8188	1039	10688
7-9			○		○	○						水		20.098		3829	3077	3515	3040	384	4631	8063	4791	5836	6116	763	7515

水の散布:作業直前に水を 30 秒間で作業面上に 280mL を散布

変速有:50%(集じん機 A), 変速 6 段階の 2(集じん機 B)

質量濃度は, TX40HI20-WW フィルターを装着した導電性プラスチック製サンプラーにより捕集し求めた。

OTL:測定上限, MD:欠測

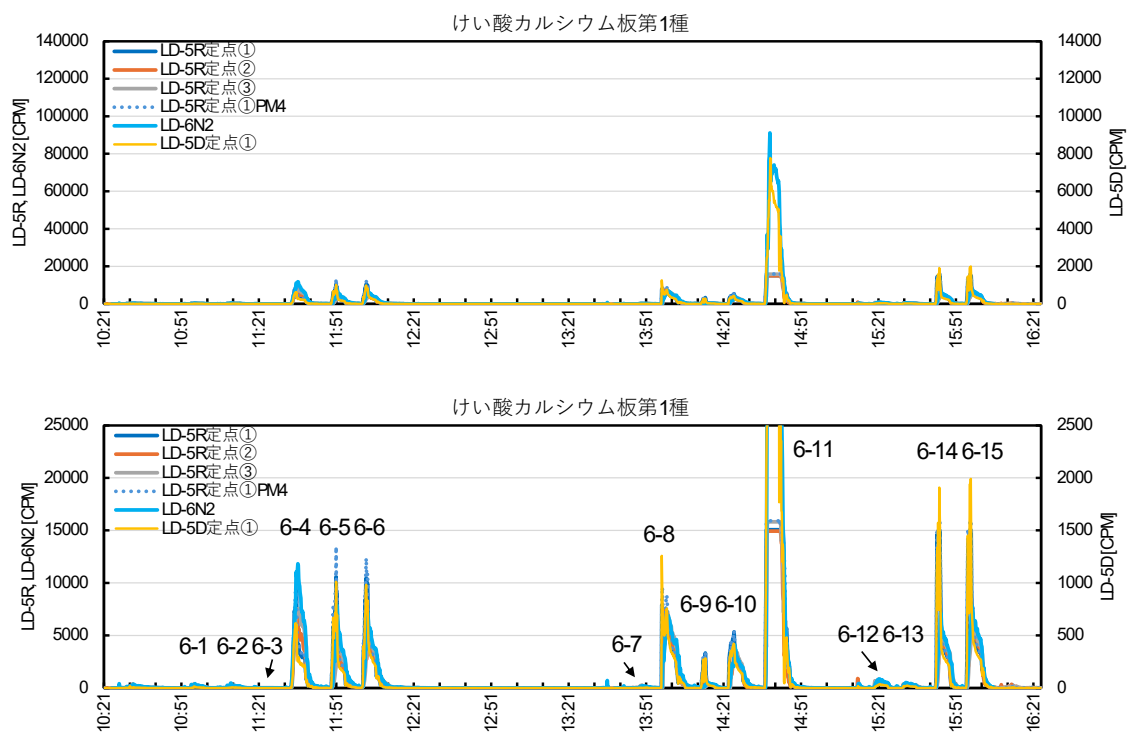


図 30-1a 実験 6-1～6-15 の気中粒子相対濃度。定点測定の時系列変化

下図は、上図の縦軸を拡大して表示している

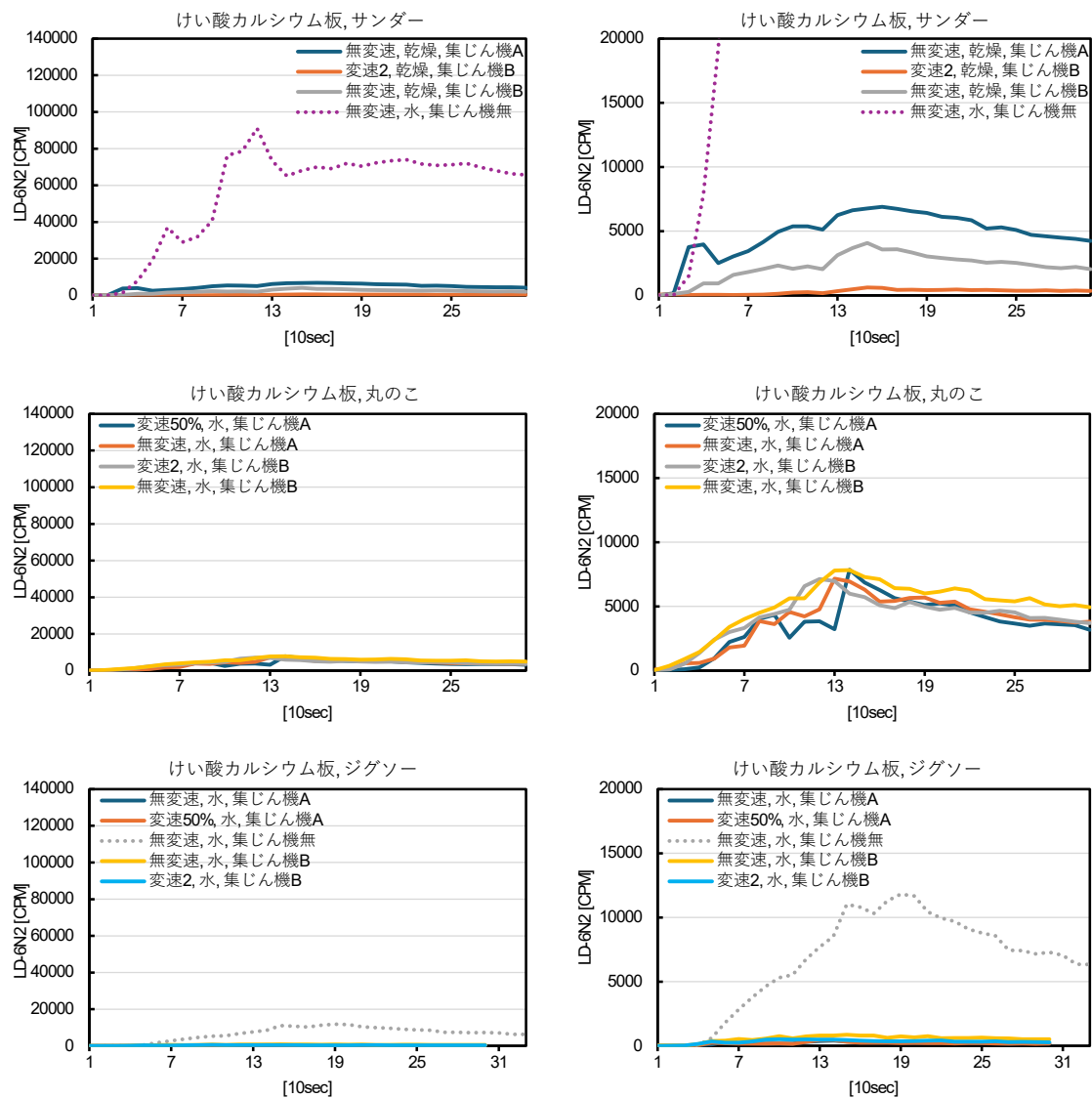


図 30-1b 実験 6-1～6-15 の気中粒子相対濃度

作業者近傍での定点測定結果の比較。右図は、左図の縦軸を拡大して表示している。

※図 D-1a の LD-6N2 の測定結果を、同一工具ごとに比較。

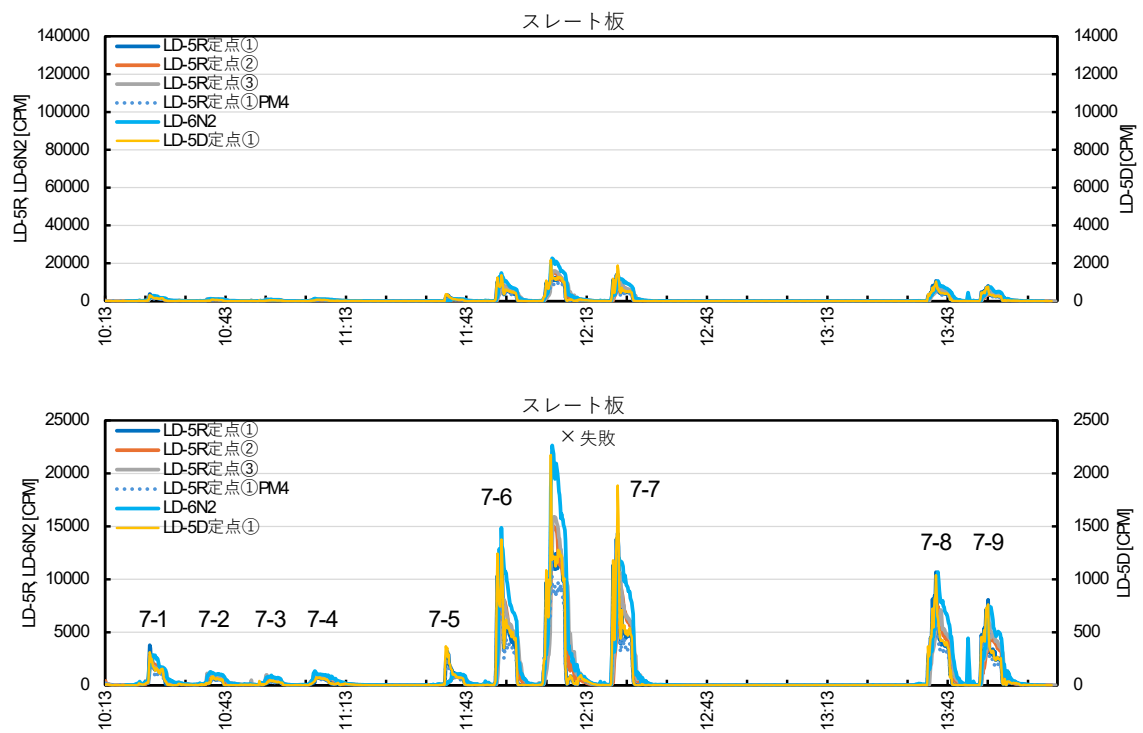


図 30-2a 実験 7-1～7-9 の気中粒子相対濃度。定点測定の時系列変化。

下図は、上図の縦軸を拡大して表示している。

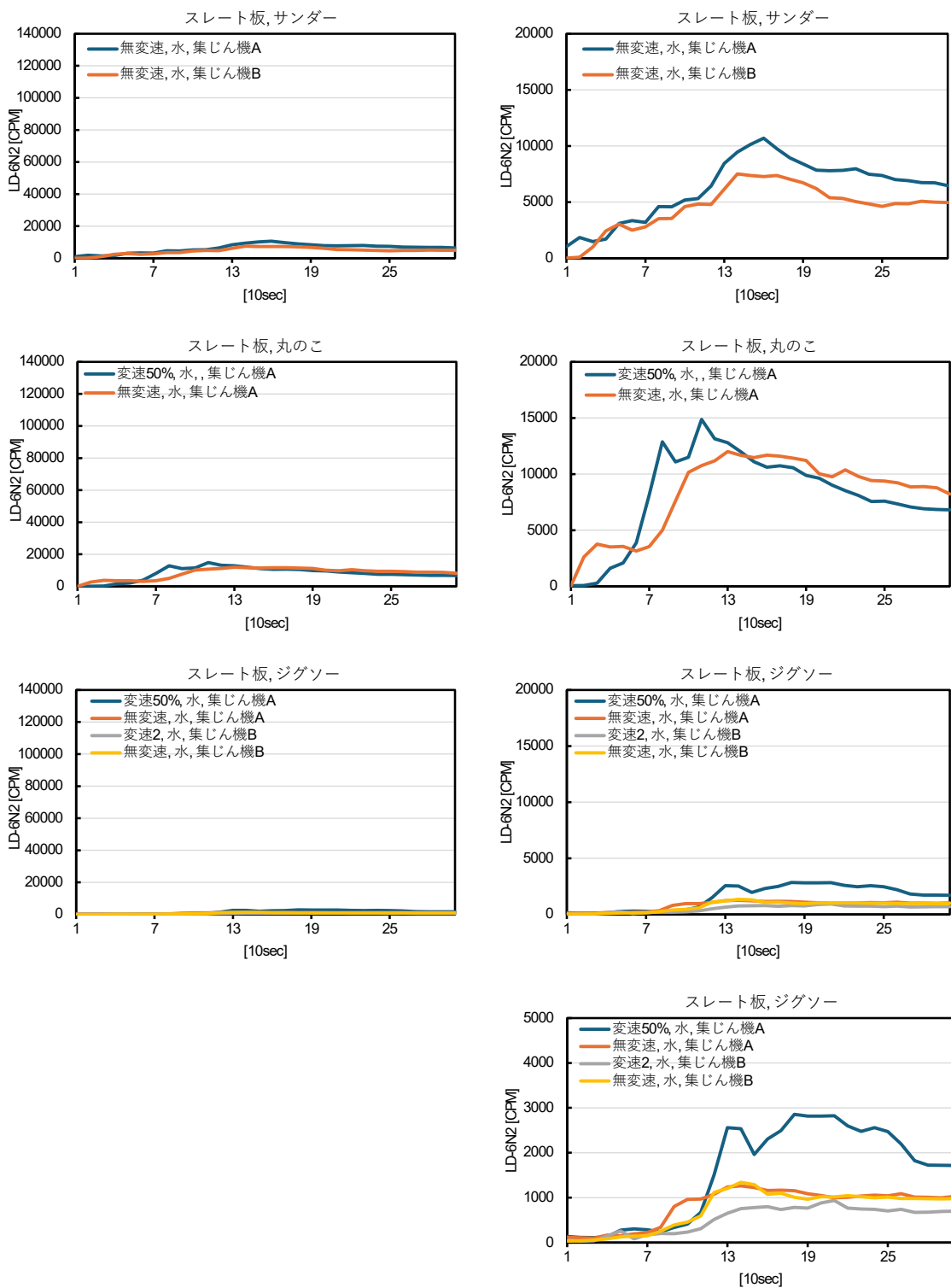


図 30-2b 実験 7-1～7-9 の気中粒子相対濃度。作業者近傍での定点測定結果の比較。

右図は、左図を拡大して表示している

(右最下段のスレート板ジグソーの結果は、さらに縦軸を拡大して表示)。

※図 D-2a の LD-6N2 の測定結果を、同一工具ごとに比較。

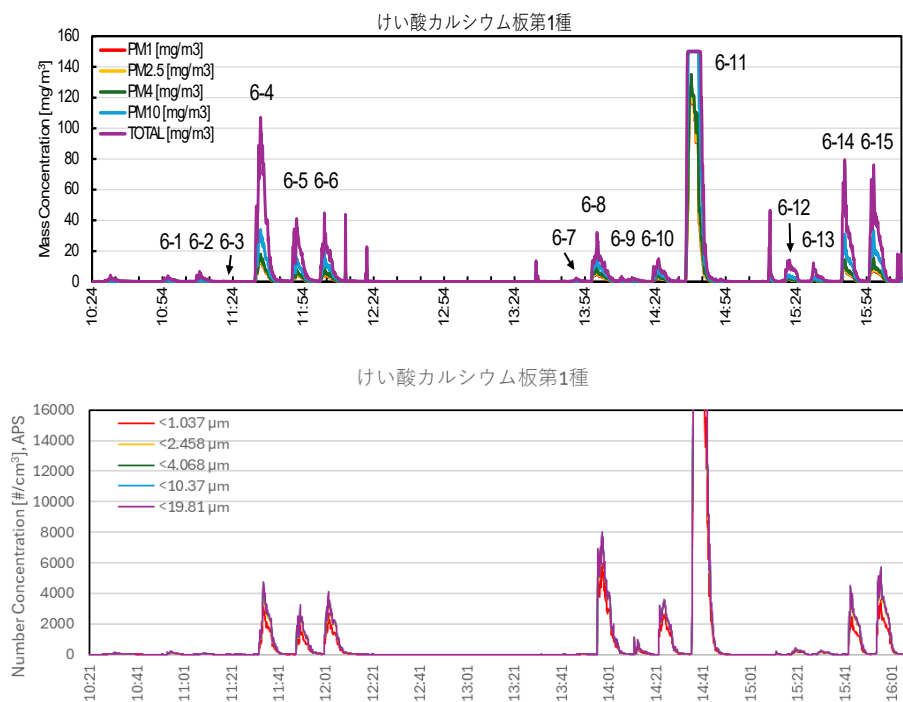


図 30-3a 実験 6-1～6-15 の粒径別気中粒子濃度

質量濃度（上図，DustTrak DRX による測定）および粒子数濃度（下図，APS による測定）

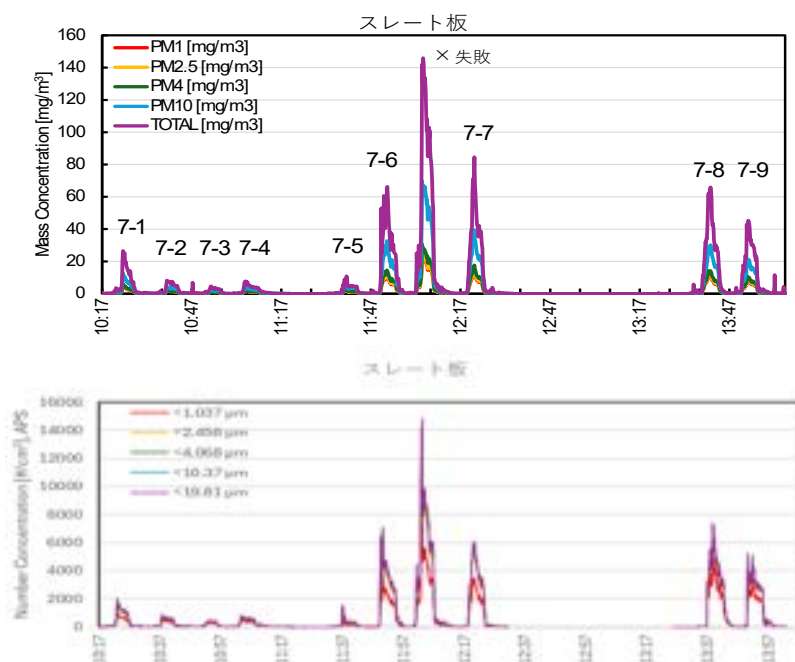


図 30-3b 実験 7-1～7-9 の粒径別気中粒子濃度

質量濃度（上図，DustTrak DRX による測定）および粒子数濃度（下図，APS による測定）

5. 結

電動工具を用いた切断等の作業における異なる発散抑制措置における石綿等粉じん濃度を科学的見地から検証し、石綿ばく露防止の観点からより安全な改修工事・解体工事のための知見の蓄積を行うことを目的とし、石綿含有仕上塗材および石綿含有スレート板、石綿含有けい酸カルシウム板第一種を対象に負圧隔離養生内で切断等の実験を行った。

石綿含有仕上塗材は集じん機付きの電動工具による除去作業において空気中で石綿粉じんを確認されなかった。既往の検討¹⁾においても石綿粉じんの飛散は確認されなかったことから、集じん機を用いて適切に吸引を行えば石綿飛散のリスクは大きくない。

粉じん計によるリアルタイム測定の結果からは、集じん機の使用により気中粒子濃度が顕著に低減することが確認された。この傾向は、繊維数濃度の測定結果とも一致していた。一方、集じん機を使用した複数の条件下においては、気中粒子濃度と繊維数濃度の測定結果に異なる傾向が示された。

石綿含有スレート板（平板）の切断においては本実験では切断前の散水の有無にかかわらず集じん機を用いた場合に石綿粉じんの飛散は確認されなかった。一方、類似の実験である既往の検討¹⁾においては石綿含有スレート板（波板）切断前の散水の有無に集じん機を用いても石綿粉じんが飛散しており、建材の種類によっては同一の集じん機であっても集じんが不十分であった。このため、電動工具を用いて切断等を行う場合には、建材の種類、厚さ等を考慮し、適切な機器の選定を行うことが粉じん飛散抑制において重要である。

けい酸カルシウム板第一種は本実験では切断前の散水、集じん機の使用で石綿粉じんが発生した。既往の検討¹⁾においても集じん機、切断前の散水の有無に関わらず石綿粉じんの発生がみられた。一方で、本研究で工具の回転数を落とした場合には、集じん機2種類のいずれを用いても石綿粉じんの飛散はなかった。電動工具を用いて切断等を行う場合には、適切な工具選定、集じん機の選定およびその組み合わせの検討が粉じんの飛散防止に必要である。

石綿含有スレート板（平板）および石綿含有けい酸カルシウム板第一種の切断時における、粉じん計によるリアルタイム測定の結果から、集じん機を使用しない場合には、切断材料に事前に水または飛散抑制剤を散布したかどうかに関わらず、高濃度の気中粒子が発生し、粉じん計の測定範囲上限を超える濃度が記録された。一方、集じん機を使用した場合には、粉じん計の測定上限を超える濃度は観察されなかった。また、飛散抑制剤の散布による明確な発じん抑制効果は確認されなかった。

石綿非含有のスレート板（平板）およびけい酸カルシウム板第一種の切断時における、粉じん計によるリアルタイム測定の結果からは、集じん機の使用により気中粒子濃度が顕著に低減することが確認された。また、工具の種類により気中粒子発生量が大きく異なる可能

性が示唆された。工具の変速機能の有無による影響については、工具の駆動速度を低下させることで、気中粒子濃度が低下する傾向が確認された。ただし、すべてのケースで濃度が低下するとは限らないことも明らかとなった。これにより、気中粒子濃度の低減には、工具の駆動速度、集じん機の集じん能力、材料、工具の種類など、複数の要因が複雑に関与しており、これらのバランス調整が重要であることが改めて指摘された。さらに、気中粒子を粒径別に測定する複数の装置を用いて、切断時に発生した気中粒子濃度の粒径別傾向を把握した。石綿含有建材の切断時にも同様の粒径情報を取得することで、石綿非含有建材を用いた石綿繊維の飛散性の確認手法の確立が期待される。

本研究の結果から、切断前の水等の散布だけでは石綿粉じんは抑制できないことが改めて確認された。電動工具使用時の散水は安全性の観点から実施できず、切断前の散水等のみにより湿潤化を図ることとなるが、本研究の結果から、改修工事、解体工事では作業前の浸水や散水等により建材が十分に湿潤状態とすることは困難であることが伺える。特にボード類は表面に塗装等の仕上げが施されている場合が多く、吸水しボードの全層が湿潤状態となることは困難である。作業前の散水では切断面が湿潤状態にならないため、切断面の建材表面側（散水された面に接する部分）からの発じんを抑えているのみと推察される。

ボード状建材は切断等を行わず手ばらしにより除去するのが基本であるが、電動工具を用いる場合には粉じんが発生しない工具、適切な容量の集じん機の使用が求められる。これらの組合せも含めた工具選定のポイントをとりまとめる必要がある。

本実験の結果および近年の改修・解体工事を踏まえ、今後の展望として以下があげられる。今後の課題としたい。

- ・切断時の粉じん発生測定にかかる条件は今後も引き続き検討。工具に取付ける刃の種類、建材の種類、同一建材における厚さ、比重の異なる試料等について、切断時の粉じん発生を引き続き検討する。
- ・切断面を湿潤状態にできる新しい工具が開発され、市場に出始めている。これらを用いた際の粉じん飛散状況の確認を行う必要がある。
- ・無石綿建材を用いた石綿含有建材（ボード類）切断時の石綿粉じん飛散の推測ができると望ましく、無石綿建材、石綿含有建材を用いて引き続き実験を行い、両者の発じん特性の把握および比較を行う。
- ・いずれはボード類切断時の工具、集じん機等の発じん抑制効果に係る標準的な評価方法が提案されることが望ましい。

参考文献

- 1) 建築物の解体・改修等における石綿ばく露防止対策等検討会報告書、令和5年6月20日、厚生労働省労働基準局安全衛生部
- 2) 古賀 純子、高橋 仁、小西 淑人、石綿含有仕上塗材外壁の解体手法の検討、日本建築学会学術講演梗概集 pp. 973-974、2022. 7
- 3) 古賀 純子、林 昭人、福岡 高征、森 謙一、小西 淑人、宮内 博之、本橋 健司、アスベスト含有建築用仕上塗材の改修・除去におけるアスベストの飛散性の検証、日本建築学会技術報告集No.51、vol. 22、No.51、pp. 441-446、2016. 6
- 4) 林 昭人、本橋 健司、古賀 純子、田村 昌隆、経年後のアスベスト含有成形板の下地調整におけるアスベスト繊維の飛散性の検証、日本建築学会技術報告集、vol. 18、No.39、pp. 421-426、2012. 6
- 5) 古賀 純子、林 昭人、田村 昌隆、本橋 健司、経年後のアスベスト含有成形板の下地調整におけるアスベスト繊維の飛散性の検証 下地調整工法間の比較 その2、日本建築学会技術報告集、vol. 20、No.45、pp. 471-476、2014. 6
- 6) 一社) 公共建築協会、建築改修工事監理指針（令和4年版）、2022. 12

謝辞

本研究の実施にあたり協力を頂いた関係各位に、記して謝意を表します。