

# 湿式系吹付けアスベスト除去ロボットおよび アスベスト回収・減容システムの開発

実験室におけるシステム性能評価

森 直樹<sup>\*1</sup>・長瀬 公一<sup>\*1</sup>・市原 英樹<sup>\*1</sup>・万字 角英<sup>\*1</sup>・久保木 久仁彦<sup>\*2</sup>・大山 能永<sup>\*2</sup>・石原 哲<sup>\*3</sup>

**Keywords :** sprayed asbestos, wet process, building dismantling, robot, remote control

吹付けアスベスト, 湿式, 建物解体, ロボット, 遠隔操作

## 1. はじめに

吹付けアスベストは、その防火性や断熱性、吸音性などに優れていることから、過去において、建物の天井や壁、柱、梁などに施工されてきた。1960年代～1970年代にかけては、アスベスト繊維を大量に使用した乾式（軟質）系の吹付けアスベストが施され、その後、1970年代～1980年代にかけては、アスベストの健康被害が叫ばれ、アスベスト繊維を少なくし、その代わりにセメント量を多くした湿式（硬質）系の吹付けアスベストが施された。しかしながら、現在では、アスベスト繊維が肺ガンや中皮腫、石綿肺といった人体の健康に悪影響を与える要因となることが強く指摘され、少量でもアスベストが含有された建材は使用できない。そのため、このようなアスベストを含有した建材を、建物解体時において、いかに安全に除去するかが急務の課題となっている。

そこで我々は、既に乾式系吹付けアスベストについて開発している<sup>1)2)3)5)6)</sup>。今回は、主に建物解体時における湿式系吹付けアスベストの除去および回収作業を、極力人間で行わず、遠隔操作によるロボットを使って、安全かつ効率的にできるシステムを開発した。本報では、模擬アスベスト（ロックウール繊維使用）を鉄骨の梁や壁などに吹付けた実験室において、アスベスト除去ロボットを別室から遠隔操作しながら行った除去実験結果、及び除去後の回収システム装置類による回収実験結果について報告する。

## 2. システム概要

湿式系吹付けアスベストの無人化除去・回収システムのフローを図-1に示す。

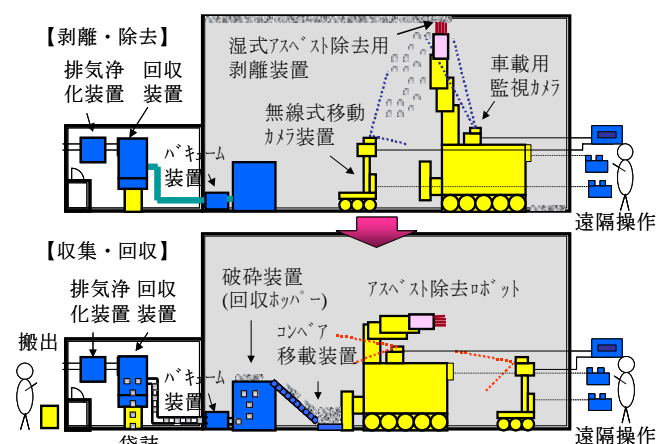


図-1 湿式吹付けアスベスト除去から回収までの流れ  
Fig.1 Flows from the wet process sprayed asbestos removal to collection

### 2.1 湿式吹付けアスベスト除去ロボット

ロボットの外観を写真-1に示す。胴体部には2台の遠隔操作監視カメラを搭載している。また、ロボットアーム先端部には、専用のアスベスト剥離装置を取り付けている。アスベスト剥離装置は、最終的には円筒状の回転体に複数の鉄筋針を櫛状に溶接した粗取り用の剥離機と、粗取り後の取り残しを磨き落とすため、複数の樹脂製ブラシを円筒状の回転体に取り付けた仕上げ用の剥離機で構成している。粗取り用と仕上げ用の剥離機は、同一の支持フレームに並行して取付け、油圧モータの回転軸に各々の剥離機の軸が脱着できるようにし、支持フレームを180度反転させて剥離機を交互に利用

\*1 技術センター建築技術開発部建築生産技術開発室

\*2 建築本部技術部

\*3 原子力本部デコミッションング部

できるような機構とした。また、剥離機の駆動用油圧モータは、効率良く湿式吹付けアスベストを剥がし落とすことができるよう、実験により回転数とトルクを調整し、設定した。



写真-1 アスベスト除去ロボット外観

Photo.1 The appearance of the Robot

## 2.2 無線式移動カメラ装置

アスベスト除去ロボットの作業区域の状況及びロボットアーム先端部の除去部位の確認を遠隔で行うために、無線式カメラ装置を配備した。この装置はクローラ上部にパンタグラフ式のリフターを取付け、その最上部に高感度カメラを設置している。パンタグラフにより、カメラ高さを最大で 3.5m まで高くすることができる。移動カメラ装置の外観を写真-2 に示す。

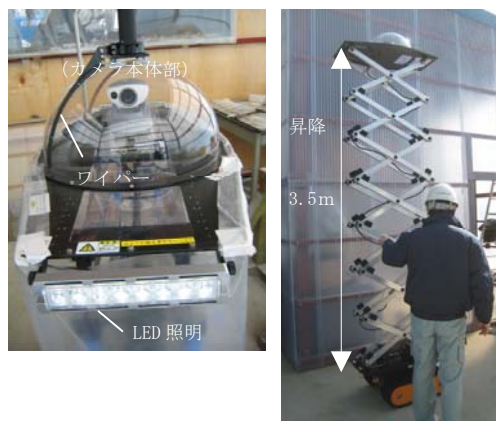


写真-2 移動カメラ装置外観

Photo.2 The appearance of the movement camera

## 2.3 コンベア式移載装置

除去されて床面に散乱した吹付けアスベストは、ロボットがブレードで掻き集めた後に掻き寄せて、所定のアスベスト回収用ホッパーまで移送する。この移送手段として、コンベアステージを設置した。このステージには、ベルトコンベアまで除去アスベストをロボットで寄せるためのスロープが付いている。

その外観を写真-3 に示す。



写真-3 コンベア式移載装置外観

Photo.3 The appearance of the asbestos transportation system

## 2.4 除去アスベスト破碎装置

除去ロボットが吹付けアスベスト下地面のラス網をも同時に剥がし落とす場合を考慮して、ラス網等の金属類をも裁断することができる、2軸式のローリングカッター型破碎装置を設置した。カッターの下部には、破碎し切れなかった塊状の破碎物を選別するための振るい機構を組み込んだ。(写真-4 参照)

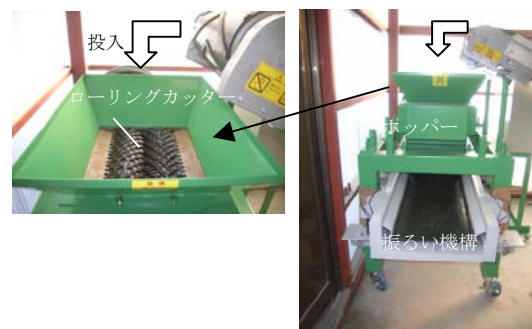


写真-4 アスベスト破碎装置外観

Photo.4 The appearance of the asbestos fragmentizer

## 2.5 バキューム装置、回収・袋詰め装置

破碎装置によって粉碎されたアスベストやラス網等の廃棄物を、連結されたバキュームホースによって所定の廃棄袋まで圧送するための、バキューム装置を設置した。また、バキューム装置によって圧送された廃棄物が、所定の重量に達したら吸引を自動的に停止し、袋詰めすることのできる回収袋詰め装置を設置した。

(写真-5 参照)



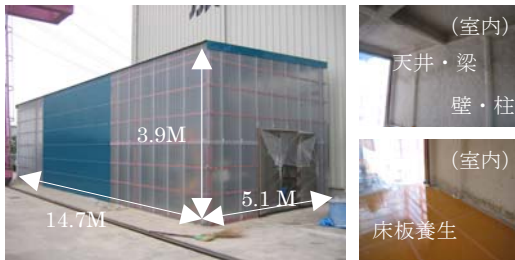
写真-5 バキューム装置、回収・袋詰装置

Photo.5 The vacuum machine and the asbestos collection machine

### 3. 実証実験概要

#### 3.1 実証実験施設

実証実験施設の概要を写真－6に示す。今回の除去・回収の対象物は、ロックウール繊維を使用した吹付け材料を模擬アスベストとして使用し、施設内H型鋼の梁・柱部分：45mm厚、天井部分：20mm厚、壁部分：25mm厚で吹付け工事を行い、約3ヶ月の養生期間を経た後に、アスベスト除去ロボットおよびアスベスト回収システム装置による実証実験を行った。



写真－6 実証実験施設

Photo.6 The proof experiment institution

#### 3.2 実証実験結果、及び考察

##### 3.2.1 湿式吹付けアスベスト剥離装置の除去性能

①粗取り用剥離機の先端形状の違いによる性能比較  
粗取り用剥離機の先端形状を決定するため、表－1に示すような3種類の回転式剥離機を製作して、同一条件で模擬アスベスト剥離状況について確認した。

表－1 粗取り用剥離機の先端形状

Table.1 The cutter shape of the rough detachment machine

鉄筋針	硬質ワイヤ針	L型遠心羽根
回転盤側面部に一定間隔で先端部を斜めにカットした鉄筋針を溶接	回転盤側面部に衝突しても復元性のある硬質ワイヤを一定間隔でボルト締め	回転盤側面部にフリーの状態ではL型羽根を取付け回転した時に遠心力で剥離

実験の結果、粗取り用の先端形状として硬質ワイヤ針を回転させた場合、10分程度の剥離作業中にワイヤの復元力がなくなり、回転盤に沿うように湾曲してしまうことが判った。また遠心力を利用したL型羽根の場合は、叩き落としながら剥離する効果は大きいものの、羽根を吊り下げている軸部分の磨耗が激しく、危険を伴うため不適と判断した。溶接した鉄筋針を回転させた場合は、最も効率的に模擬アスベストを剥離することができた。

よって、粗取り用剥離機の先端形状は鉄筋針型とした。

##### ②粗取り用剥離機の除去性能

前述の実験結果より、円筒状の回転体に複数の鉄筋針を櫛状に溶接した粗取り用の剥離機を製作した。そして、アスベスト除去ロボットアーム先端部に剥離機を装着して、遠隔操作により、実験室内の壁面の模擬アスベスト（厚み25mm）を剥離・除去した。その除去実験結果を表－2に示す。

表－2 模擬アスベスト除去実験結果

Table.2 The substitute asbestos removal experiment result

試行回数 (回)	除去面積 (縦×横)* <sup>1</sup> (m <sup>2</sup> )	所要時間 (秒)	換算除去速度* <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /h)	推定除去速度* <sup>3</sup> (m <sup>2</sup> /h)
1	0.25 (0.5×0.5)	25	36.0	
2	0.72 (1.2×0.6)	75	34.6	
3	0.60 (1.5×0.4)	75	28.8	
4	0.40 (1.0×0.4)	40	36.0	
Ave.			33.9	17.0

\*1：壁面（模擬アスベスト厚み：25mm）の場合

\*2：除去部位のロボット移動等に要する時間は含んでいない

\*3：除去に要する時間にロボットの移動等の時間（同所要時間と仮定）を考慮した場

上表の実験結果より、壁面に吹付けられた湿式アスベスト（厚み25mm程度）の除去速度は、アスベスト除去ロボットの移動時間等を考慮しても、概ね15m<sup>2</sup>/hを確保することができた。これは人間の作業による除去速度の3～5倍程度に相当するものと考えられる。

除去前後の状況を写真－7に示す。

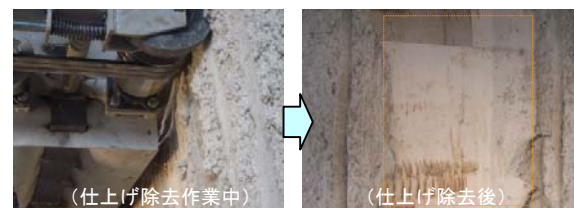


写真－7 粗取り除去実験状況

Photo.7 The removal experiment situation(coarsely removing)

##### ③仕上げ用剥離機の除去性能

模擬アスベスト粗取り後の仕上げ用剥離機によるブラッシングにより、粗取り後の表面に付着した残留物を効率良く除去できることが確認できた。（写真－8）



写真－8 仕上げ除去実験状況

Photo.8 The removal experiment situation(finish brushing)



### 3.2.2 除去アスベスト回収システム装置の性能

アスベスト除去ロボットによって除去した塊状の模擬アスベストを、ベルトコンベアにて移送した後、破碎装置によって粉碎し、バキューム装置及び回収装置により減圧しながら袋詰めした時の、廃棄アスベストの減容化率について測定した結果を表-3に示す。

表-3 模擬アスベスト回収実験結果

Table.3 The substitute asbestos collection experiment result

試行回数 (回)	破碎前 同一容器内での重量(g)	破碎後 同一容器内での重量(g)	減容化率 (換算値)
1	1466.5	3864.8	0.38
2	1406.2	4157.3	0.34
Ave.	1436.4	4011.1	0.36
測定状況	 		

\*同一容器内での水重量(測定値): 6136g

上表の実験結果より、最終的に廃棄袋に袋詰めされる廃棄アスベストは、比重が約0.65となり、従来の塊状アスベストを約1/3に減容化できることを確認した。

## 4. まとめ及び今後の展開

今回開発した湿式吹付けアスベスト剥離装置をロボットベースマシンのアーム先端部に装着して、実験施設内に吹付けられた模擬アスベスト(下地面はラス網付き)の除去実験を行った結果、壁面(吹付け厚: 25mm程度)で、除去速度が概ね15m<sup>2</sup>/h程度(剥離した後に剥離機に絡みついたラス網を撤去する時間も考慮)を確保できることが判明した。

アスベスト破碎装置にコンベア式の移載装置、バキューム装置及び回収・袋詰装置を連結させてアスベスト回収実験を行った結果、コンベアより送られてきた塊状のアスベスト及びラス網等の金属類を細かく破碎できることが確認でき、また、裁断し切れなかった細長状のラス網の塊等もふるい分け・選別できることが確認できた。さらに、回収装置によって袋詰めされた粉碎アスベスト

の容量は、従来の人的除去による塊状のアスベストを袋詰めしたものよりも、大凡1/3程度に減容できることが確認できた。

今後は、これらの実験室での結果をもとにして、実際のビル解体工事現場での湿式吹付けアスベスト除去・回収実証試験を行い、更なる性能向上を目指す。

【本研究開発は、平成19-21年度NEDO委託事業「アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発(遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発)」によるものです。】

### 謝辞

本研究開発を進めるにあたり、多大なる御指導及び情報の提供を賜りました、「(旧)独立行政法人建築研究所 材料研究グループ長・建築生産研究グループ長(現)芝浦工業大学工学部 建築工学科 教授 本橋健司様」「財団法人ベタリービング 筑波建築試験センター 環境・防耐火試験部長 遊佐秀逸様」「ニチアス株式会社 建材事業本部 常谷雅彦様」に深く感謝致します。

### 参考文献

- 1) 森直樹、長瀬公一、大山能永、村田勤、「乾式系吹付けアスベストの無人化除去・回収システムの開発(その1) システム概要、及び実証試験結果」日本建築学会大会学術講演梗概集、2007年8月
- 2) 大山能永、森直樹、長瀬公一、村田勤、「乾式系吹付けアスベストの無人化除去・回収システムの開発(その2) 作業環境の検討」日本建築学会大会学術講演梗概集、2007年8月
- 3) 森直樹他「遠隔操作による乾式系吹付けアスベスト除去ロボットの開発」日本建築学会建築生産自動化小委員会、第17回建築施工ロボットシンポジウム予稿集、p9-14、2008年3月13日
- 4) 森直樹、大山能永他：湿式系吹付けアスベストの無人化除去・回収システムの開発、日本建築学会2008年度大会学術講演会予稿集P419~P420、2008年9月
- 5) 森直樹、長瀬公一、久保木久仁彦：乾式系吹付けアスベスト除去ロボットの開発・実証、日本建設機械化協会シンポジウム予稿集、2008年10月
- 6) 森直樹、長瀬公一他：乾式系吹付けアスベスト無人化除去・回収システムの開発、日本建築学会技術報告集、2009年2月