

アスベストプロジェクトの取り組み

アスベスト除去ロボットによる無人化施工システム

新井 唯・森 直樹

アスベストによる健康被害は社会的にも大きな問題となっている。そのため、施工後40年程度を経過した建物の解体等においては、いかに安全に早くアスベストを除去するかが急務の課題となっている。そこで、主に建物解体時における湿式系の吹付けアスベスト除去及び回収作業を、極力人間で行わず、遠隔操作によるロボットで、安全かつ効率的にできる無人化施工システムを開発した。

キーワード：ロボット、遠隔操作、吹付けアスベスト、建物解体

1. はじめに

新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）では、わが国の産業競争力の強化、エネルギー・地球環境問題の解決のため、様々な技術開発に取り組んでおり、その多様な技術開発の一環として、アスベスト対策も実施してきた。

本稿では、アスベスト問題の背景と、NEDOが取り組んできた技術開発について概要を紹介し、この中から、ロボットによるアスベストの無人化除去技術に関して、詳細な紹介を行う。

2. アスベスト問題の背景とNEDOにおける取り組み

(1) アスベスト問題と規制

アスベストは、天然に産する繊維状結晶鉱物（クリソタイル、クロシドライト、アモサイト、トレモライト、アンソフィライト、アクチノライト）の総称で、耐熱性、耐酸性、耐摩耗性に優れることから、建築物の吹き付け材、壁材天井材等の成形板、水道管、発電所、化学プラント等の配管シール材、自動車ブレーキの磨耗材などの工業製品に幅広く使用されてきた。

アスベストは、戦時中を除いて概ね海外より輸入され、これまでの国内蓄積量は1,000万トンにも達している状況である。平成17年、民間企業によって、従業員や周辺住民等へのアスベストによる健康被害が公表され、その深刻さが甚大であることが次々と明らかになった。日本国内には、アスベストを含有する工業製品等が大量に存在しており、適切な方法による処理

を行わなければ、今後更なる健康被害を招くことが危惧されている。

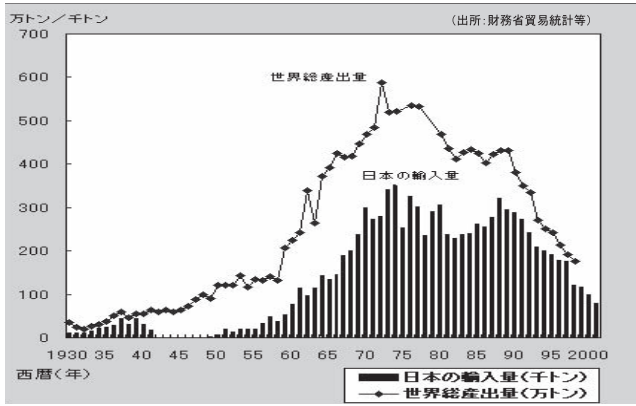
アスベストの有害性が明らかになるにつれ、製造・使用の禁止等、順次法的な規制も強化されてきた。先ず、吹付けアスベスト等は、昭和50年から製造・施工が原則禁止された。建材、摩擦材についても平成16年に製造等が禁止されている。平成18年にはアスベスト0.1重量%を超える製品の製造・使用が全面的に禁止となり、ポジティブリストにて例外的に製造・使用が認められた一部シール材以外の製造・使用は無くなっている。なお、アスベスト含有製品の定義も、昭和50年の5%超から平成7年の1%、平成18年の0.1%に改正され、規制範囲が拡大されている。

(2) NEDOの取り組み

NEDOでは、アスベスト対策に取り組むに当たり、平成18年度の調査により、日本国内におけるアスベスト含有製品の出荷・蓄積量を確認し、それら製品の耐用年数などから、今後のアスベスト含有廃棄物の排出量予想を行った。

古い基準であるが、図1に示すとおり、1%を超えるアスベストを含有する建材等は4,000万トンにも上ると推計され、今後10年以上に亘って、年間百万t以上の廃棄物が排出されると予想されることが判明した。なお、同年9月に、アスベスト含有製品の定義基準が0.1%に変更となり、アスベスト含有廃棄物の総量は1億トン程度に膨れるものと考えている。

アスベスト問題の解決に向けての様々な技術開発を国家プロジェクトとして策定するに当たって、NEDOでは、技術開発に大きな影響を与える要因、すなわち、



図一1 アスベストの世界総産出量と日本の輸入量

アスベスト製品の存在量・アスベスト廃棄物の排出量予測、現在の技術動向、法規制の動き、等に関して、継続的に調査を実施し、その上で、プロジェクトを実施してきた。

まずは、飛散性の高いレベルー1（吹き付け等）のアスベスト製品の対策技術等について特に緊急性が高いと判断し、平成18年度に短期間・集中型の「緊急アスベスト削減実用化基盤技術開発」を実施した。

また、排出量の多いレベルー2（保温剤、耐火被覆等）、レベルー3（成形板、セメント管等）の廃棄物の無害化・再資源化技術ができなければ、埋め立て容量を遙かに超えるアスベスト廃棄物で処分場があふれ、また従来の溶融による処理ではエネルギー消費が莫大になる。そのため、平成19年度から21年度まで、中・長期的課題の技術開発として、「アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発」を実施した。

表一1に示したとおり、「緊急アスベスト削減実用化基盤技術開発」として3区分、7テーマの研究開発を実施した。オンサイトで簡易、迅速に探知・計測できる技術として2テーマ、非建材の代替製品に係わる実証技術・試験として2テーマ、建材等の廃棄・除去、及び無害化を安全、効率的にできる技術として3テーマを取り上げ、1年間の短期間ではありましたが、期待以上の成果を上げることができた。探知・計測技術

表一1 緊急アスベスト削減実用化基盤技術開発

オンサイトで簡易、迅速に探知・計測出来る技術	
簡易偏光判定装置による建材中のアスベスト検出技術	レアックス
染色によるアスベスト有無の簡易判別方法	東北大学
非建材の代替製品に係る実証技術・試験	
高温用非アスベストガスパッキンの開発	産総研、丸善石油化学、ジャパンマテックス
シール材の非石棉代替製品に関する寿命推定技術の開発	日本バルカー工業
建材等の廃棄除去、及び無害化を安全、効率的に出来る技術	
吹き付けアスベスト無人化除去・回収方法の実用化に関する研究開発	大成建設
吹き付けアスベストを安全に剝離・圧縮・梱包できるクローズ型処理システムの研究開発	竹中工務店
オンサイト式(移動式)溶融・無害化処理システムの研究開発	北陸電力

は当初開発目標の1%検知を達成した。代替製品では、非アスベスト製ガスケットが製品販売に至り、建材等の除去及び無害化技術も18年度の成果に基づいて発展的に開発が継続されている。

「アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発」(表一2)として2区分、6テーマの研究開発を実施している。アスベスト建材等の飛散、暴露を最小化する回収・除去技術として2テーマ、アスベスト含有廃棄物の無害化・再資源化技術として4テーマを取り上げている。

回収除去技術は解体現場等での実証運転が進められており、無害化、再資源化技術についても環境省の無害化処理認定制度の適用を受けるべく着々と開発が進められている。

表一2 アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発

アスベスト建材等の飛散、曝露を最小化する回収・除去技術		
遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発	平成19～21年度	大成建設
高性能アスベスト剝離・回収・梱包クローズ型処理ロボットの開発	平成19～20年度	竹中工務店
アスベスト含有廃棄物の無害化・再資源化技術		
オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発	平成19～21年度	北陸電力
低温加熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発	平成19～21年度	大成建設
マイクロ波加熱によるアスベスト建材無害化装置の開発	平成19～20年度	クボタ松下電工外装
アスベスト低温溶融無害化・再資源化処理システム開発	平成21年度	ストリートデザイン

(3) 概要紹介

(a) アスベスト建材等の飛散、暴露を最小化する回収・除去技術（ロボットによるアスベストの無人化除去技術）

建物の耐熱性・断熱性を高めるため、以前はアスベストが鉄骨等に吹付けされていた。このアスベストの吹付けは、昭和50年に労働安全衛生法により禁止されたが、それ以前のビル等が今後建て替え時期を迎えること、また経年劣化等によるアスベスト繊維の飛散リスクも懸念され、速やかな除去・回収が望まれる。ビル等の解体時には、先にアスベストを除去する必要があるが、現状この除去作業は、防塵マスク・保護具等を着用した作業員が密閉された作業空間内で手作業にて行っており、多大な時間を要することに加え、作業員の健康リスクも危惧されている。そのため、これらの問題に対応すべく、吹き付けアスベスト等の除去・回収を安全・効率的に処理する技術として、ロボットシステムの開発を推進した。

ロボットによるアスベスト除去技術は実用化レベルに到達してきたが、どちらのロボットでもアスベストを100%除去することは困難で、複雑な構造部等は人手による作業も必要となる見込みである。今後、現場

での実証試験により更なる効率化を図っていくが、事業化に際しては、作業員のリスク低減を考慮した上で、工期及びトータルコストで優位性のある工事方法を見極めていく必要がある。また、コストダウンのためには、ロボットの稼働率を上げることが重要であり、リース方式の採用やアスベスト処理業者との連携も検討されている。以下の章において、革新的アスベスト除去ロボット開発の概要を示す。

(b) アスベスト含有廃棄物の無害化・再資源化技術

アスベスト含有廃棄物の処理については、以前は飛散防止（セメント固化、二重梱包等）を施した上での埋立て又は1,500℃以上の溶融による無害化しか認められていなかった。ここ数年埋立て処分場の残余年数は8年前後で推移しているが、新たな処分場の設置は段々困難となってきており、また一方で溶融処理には莫大なエネルギーが必要となる。アスベスト含有廃棄物には、危険性の高い飛散性のレベル1（吹き付け材等）及びレベル2（保温材等）、相対的な危険性は低い大量に存在している非飛散性のレベル3（建材等）があり、それぞれの特徴に応じた処理法の検討が必要である。そこで、各レベルのアスベスト含有廃棄物に対して、平成18年に環境省により制定された無害化認定制度に対応した1,500℃以上の溶融以外の方法による無害化処理技術の開発を実施した。これらの技術は、環境省の無害化処理認定制度の適用を受けるべく着々と開発が進められている。

3. アスベスト除去ロボットの開発

(1) ロボット開発の背景

吹付けアスベストは、1970年代～1980年代にかけては、アスベスト繊維を少なくする代わりに、セメント量を多くした湿式（硬質）系のものが、建物内部の天井や壁、柱、梁などに施工された。しかしながら、現在ではアスベストによる健康被害が社会的にも大きな問題となっており、そのため、吹付け施工後40年程度を経過した建物の解体時等においては、いかに安全に早くアスベストを除去するかが急務の課題となっている。

そこで、平成19年度より主に建物解体時における湿式系の吹付けアスベスト除去及び回収作業を、極力人間で行わず、遠隔操作によりロボットで安全かつ効率的にできるシステムの開発に着手し、建物内のフロア大空間に適応したアスベスト除去ロボットおよびアスベスト回収・減容システムを開発した。また、エレベータシャフト内のアスベスト除去には多大なる労力

と工期を要するため、エレベータシャフト専用の遠隔操作によるアスベスト除去ロボットも新たに開発した。

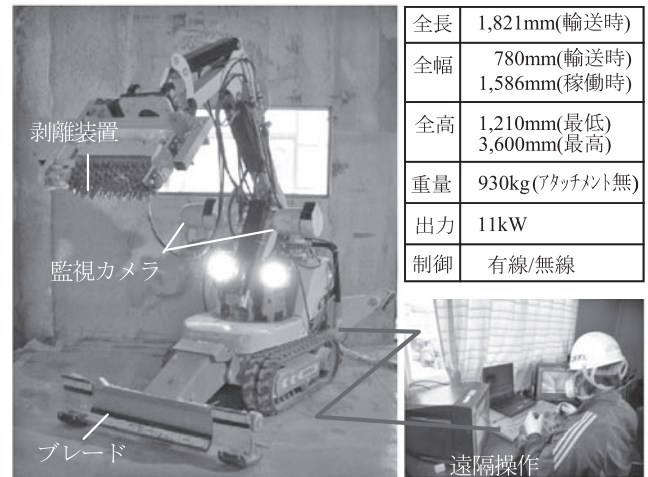
(2) フロア大空間用ロボットの開発概要

(a) ロボットベースマシン

主な仕様を表一3に、ロボット本体の外観を写真一1に示す。ロボットベースマシンは、遠隔操作の標準装備されたスウェーデン製の解体装置を採用した。3アーム構造で自由度が高く、電動モータを採用していることから、排気ガス等の配慮も必要としない。またコンパクトで小回りがきき、エレベータでの移動や階段の自走も可能となっている。

表一3 主な仕様

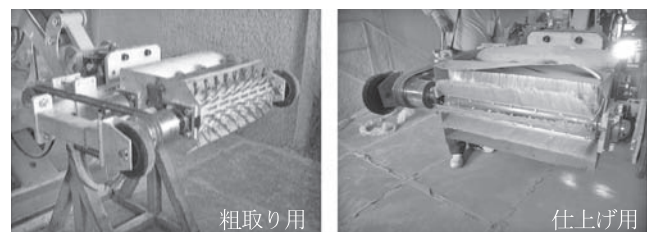
全長	1,821mm(輸送時)
全幅	780mm(輸送時) 1,586mm(稼働時)
全高	1,210mm(最低) 3,600mm(最高)
重量	930kg(アタッチメント無)
出力	11kW
制御	有線/無線



写真一1 ロボット本体 外観

(b) アスベスト剥離装置

剥離装置は、円筒状の回転体に複数の鉄筋棒（先端部斜めカット）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の同じく円筒状の回転体に複数の樹脂製ブラシを取り付けた仕上げ用の剥離機（写真一2）で構成している。具体的には、粗取り用と仕上げ用の一對の剥離機を同一の支持フレームに並行して取り付け、油圧モータの回転軸にカム機構で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換できる

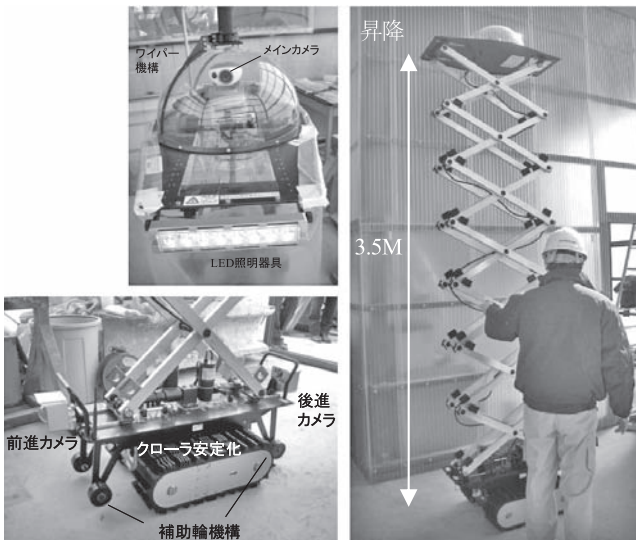


写真一2 剥離装置 外観

ような機構とした。剥離機の駆動用油圧モータは、効率良く湿式アスベストを剥がし落とすことができる回転数を約 100 rpm, トルクを約 60 kgf.m に設定した。

(c) 無線式移動カメラ装置

アスベスト除去ロボットの作業場所の状況確認及びロボットアーム先端部の除去部位の確認を行うために、写真—3に示すような無線式の移動カメラ装置を配備した。粉塵による防汚対策としてワイパーを取り付け、カメラ装置の移動等を円滑に行うためのLED照明器具も取り付けた。



写真—3 移動カメラ装置

(3) エレベータシャフト用ロボットの開発概要

(a) ロボットベースマシン

エレベータシャフト内の吹付けアスベスト除去ロボットベースマシンとして、汎用性の高い、垂直多関節形の知能ロボットを採用した。また、複数のセンサを搭載した。予め、エレベータシャフト内のアスベスト除去部位における動作データをプログラミングにより教え込ませ、ロボットは各種センサからのデータ



写真—4 ロボット本体

を検出しながら、自己認識機能により、自動運転でアスベストを除去できるようにした。アスベスト除去ロボットベースマシンの外観を写真—4に示す。

(b) アスベスト剥離装置

フロア大空間用ロボットのアスベスト剥離装置と同様に、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の、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を、アーム先端部に装着した。

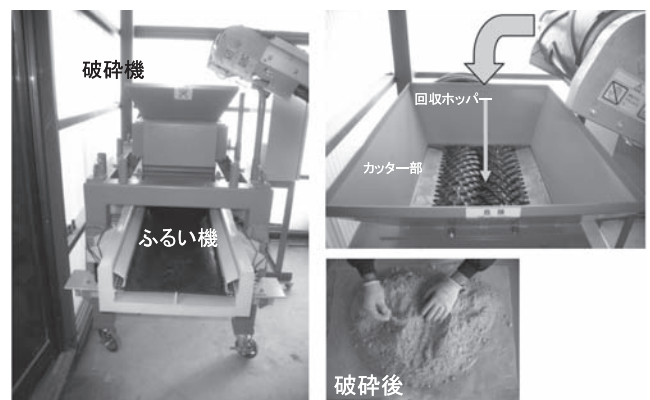
(c) 昇降架台装置

アスベスト除去ロボットをエレベータシャフト内で垂直方向に昇降させるための架台装置を設置した。この架台装置は、昇降移動時の軌道を確認し、所定の高さ位置で架台を固定するため、ガイドローラーおよびエア式のブレーキを装着しており、既存のガイドレールを利用している。また、架台装置は4点式のワイヤで吊り下げられて昇降できる構造とし、ワイヤ巻取り機を各々コーナー部に取り付けた。

(4) アスベスト回収・減容システムの開発概要

(a) アスベスト破碎装置

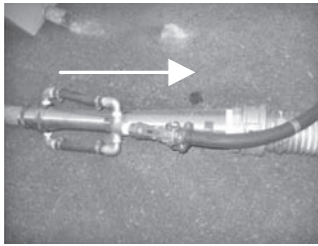
アスベスト除去ロボットが吹付けアスベスト下地面のラス網をも同時に剥がし落とす場合を考慮して、除去したアスベストだけでなく、ラス網等の金属類をも裁断することができるような、2軸式のローリングカッターを搭載した破碎装置を設置した。また、破碎し切れなかった塊状の破碎物を選別するためのふるい機構を組み込んだ(写真—5)。



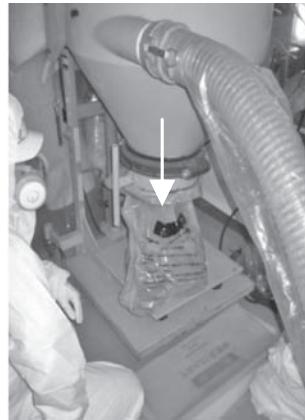
写真—5 破碎装置 外観

(b) バキューム装置および回収・袋詰装置

破碎されたアスベスト等を所定の廃棄袋に圧送して袋詰めするためのバキューム装置および回収・袋詰装置を設置した(写真—6, 7)。



写真一六 パキュウム装置



写真一七 回収・袋詰装置

(5) ロボットおよびシステム装置類の実験評価

アスベスト除去ロボットの除去性能及びアスベスト回収・減容システム装置類の回収性能について、模擬の吹付けアスベスト（ロックウール）を施した実験室において、除去・回収実験を行った。

(a) フロア大空間用ロボットの除去性能

壁面に吹付けられた模擬吹付けアスベスト（厚み 25 mm 程度）の粗取り時における除去速度は、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 15 m²/h を確保することが確認できた。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。

また、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を確認した。

(b) エレベータシャフト用ロボットの除去性能

模擬吹付けアスベスト（H 鋼梁面：厚み 45 mm 程度）の粗取り／仕上げ時において、一連の自動運転により、効率良く、剥離・除去できることを確認した。

(c) アスベスト回収システム装置類の回収性能

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、パキュウム装置及び回収装置により、廃棄袋に袋詰めされたアスベストは、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。

(6) 今後の展開

今回、模擬の吹付けアスベストによる、実験室レベルでのアスベスト除去ロボットの除去性能、およびアスベスト回収・減容システム装置類の回収性能を把握することができた。今後は実現場での実証試験を行い、ロボット及びシステム装置類の更なる性能改善に努めてゆきたい。

4. おわりに

アスベスト対策技術のビジネス化には、地域住民の生活環境の保証や事業への理解など社会的なコンセンサスを得る「社会性」も不可欠である。環境省の無害化認定制度の中でも、無害化処理を行い、又は行おうとする者の基準として、「周辺地域の生活環境の保全及び増進に配慮された事業計画を有する者であること」との項があり、申請時に必要となる施設の計画を策定していく上では、アスベストに対する住民不安への対応も必要である。

ビジネス化を進める際にはこの「社会性」は「技術」、「経済性」以上に重要と考えられ、アスベスト対策のビジネス化の可能性を左右する課題と思われる。そのため、NEDO としても、技術開発に加え、アスベスト問題に対する社会の理解を深める活動を行ってきたい。

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、「芝浦工業大学工学部 建築工学科教授 本橋健司様」「財バタリービングつくば建築試験研究センター環境・防耐火試験部 遊佐秀逸様」「ニチアス(株)建材事業本部 常谷雅彦様」に深く感謝致します。

JCMMA

《参考文献》

- 1) 森他：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 A-1, P419～P420, 2008 年 9 月
- 2) 森他：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（その 2）、日本建築学会 2009 年度大会学術講演会予稿集 A-1, P1303～P1304, 2009 年 8 月
- 3) 大山他：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（その 3）、日本建築学会 2009 年度大会学術講演会予稿集 A-1, P1305～P1306, 2009 年 8 月

【筆者紹介】

新井 唯（あらい ただし）
 (株)新エネルギー・産業技術総合開発機構
 環境部
 主査



森 直樹（もり なおき）
 大成建設(株) 技術センター
 建築技術開発部
 次長

