

「アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発」
事後評価報告書

平成23年3月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

平成23年3月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 村田 成二 殿

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会 委員長 西村 吉雄

NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条の規定に基づき、別添のとおり
評価結果について報告します。

目 次

はじめに	1
分科会委員名簿	2
審議経過	3
評価概要	4
研究評価委員会におけるコメント	7
研究評価委員会委員名簿	8
第1章 評価	
1. プロジェクト全体に関する評価結果	1-1
1. 1 総論	
1. 2 各論	
2. 個別テーマに関する評価結果	1-24
2. 1 アスベストを含む建材等の回収・除去の安全性及び 信頼性等を確保する技術	
2. 2 アスベスト含有廃棄物の無害化处理又は再資源化段階 における安全性、効率性に優れた技術	
3. 評点結果	1-45
第2章 評価対象プロジェクト	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会における説明資料	2-2
参考資料1 評価の実施方法	参考資料 1-1
参考資料2 評価に係る被評価者意見	参考資料 2-1

はじめに

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される研究評価分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発」の事後評価報告書であり、第25回研究評価委員会において設置された「アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発」（事後評価）研究評価分科会において評価報告書案を策定し、第28回研究評価委員会（平成23年3月30日）に諮り、確定されたものである。

平成23年3月
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

「アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発」

事後評価分科会委員名簿

(平成22年12月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	くぼ てつお 久保 哲夫	東京大学大学院 工学系研究科 建築学専攻 教授
分科会長 代理	かけがわ ひさお 掛川 寿夫	香川大学 工学部 材料創造工学科 教授
委員	きくち まさふみ 菊池 雅史	明治大学 理工学部 建築学科 教授
	すぎた あきよし 杉田 昭義	杉田建材株式会社 常務取締役
	たかはし ひろし 高橋 弘	東北大学大学院 環境科学研究科 地球開発環境学分野 教授
	てらぞの あつし 寺園 淳	独立行政法人 国立環境研究所 国際資源循環研究室 室長
	てるぬま ひろゆき 照沼 裕之	三菱マテリアル株式会社 セメント事業カンパニー 技術統括部 生産管理部 副部長

敬称略、五十音順

審議経過

- 第1回 分科会（平成22年12月9日）

 - 公開セッション

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法と評価報告書の構成について
4. プロジェクトの概要説明
5. プロジェクトの詳細説明

 - 非公開セッション

6. 全体を通しての質疑

 - 公開セッション

7. まとめ・講評
8. 今後の予定
9. 閉会

- 現地調査会（平成22年11月30日）

 - 株式会社 竹中工務店 竹中技術研究所（千葉県印西市）

- 第28回研究評価委員会（平成23年3月30日）

評価概要

1. 総論

1) 総合評価

アスベストによる健康障害は、今後少なくとも 40 年近く継続する極めて重大な問題である。とりわけ、製造・使用禁止に対する法規制が西欧に遅れた我が国にあっては、適正かつ早急な対応が求められる喫緊の重要事項である。さらに、アスベスト含有廃棄物は今後、建物の解体等によって大量に発生することが予想されており、近い将来、埋立て処分場に限界が生じることから、安全に回収・処理できるような方法を研究・確立することは意義のあることである。

アスベストの回収・除去技術の開発においては、作業員の負担軽減・安全性確保の点などロボットによる回収・除去処理の基本技術が概ね確立できた。また、種々のアスベスト廃棄物に対応できる無害化処理技術においても、一定の成果をあげたことについては評価できる。

しかし、回収・除去技術では、処理時周辺へのアスベスト飛散量、ロボット装置の安全性、製品規格等、実用化の観点から絞り込んだ技術要素が十分にクリアされていない。また、無害化・再資源化技術では、無害化を確実に証明するサンプルの綿密な分析が十分に実施できていない。無害化処理の評価は容易ではなく、TEM（透過型電子顕微鏡）による検定方法が追加された意義を認識する必要があり、低温での処理を行うのであれば、それだけ無害化処理の根拠について十分な説明が要求されることをよく認識して、目標設定と事業実施を進めて頂きたい。

2) 今後に対する提言

回収・除去技術と無害化・再資源化技術において得られた成果を有機的に関連づけるとともに、今回開発の技術でカバーできる事象と、対応できない事象を明らかにすることが必要である。

無害化処理の課題を解決するためには、低コストの処理技術開発を目指すこと、詳細な分解反応メカニズムを解明すること、及びどのようなアスベスト含有量や含有状態においても、同様に無害化ができるのか等の課題を解決することが重要であると考えられる。さらに、無害化したアスベストをどのように再資源化していくのか、その技術開発や対策・法整備などに取り組んで頂きたい。

現在、国土交通省、経済産業省等において、アスベストの適正処理等に関するわが国の技術等を国際規格案として提唱しようとしているので、この動向に本技術開発の成果も組み入れてもらうように働きかけることも肝要と考える。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

緊急の課題に位置付けられているアスベストの健康被害に対する対応として、本事業は環境安心イノベーションプログラムの目的趣意にそった技術開発内容であり、公共的に抵抗感の高いアスベストを扱うことから、民間活動のみでは風評被害の恐れもあり、国のアスベスト対策の一環として、将来的にも NEDO が、本プロジェクトを推進していくことは妥当である。

一方、回収・除去技術と無害化・再資源化技術の連携については、ほとんど論じられていなかった。基本的には、前者の技術で除去・回収されたアスベストを後者の技術に受け渡し、無害化処理を施すという流れになるので、NEDO が両者のインターフェースの役割をもう少し果たした方が良かった。

2) 研究開発マネジメントについて

安全回収・除去技術の開発については、作業者の安全性確保及び作業の効率化を最終的な目標とする点において評価できる。また、無害化技術に関しては、目標達成に必要な要素技術は取り上げられており、研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切であったと考えられる。具体的な数値目標を挙げ、目標達成度を評価しており、妥当なマネジメントが行われていた。また、研究開発の対象、利用技術要素は大きな重複なく各社に分担されており、効率的に進められたと考える。

一方では、各課題間の有機的な関連づけが希薄であるとの感があるため、技術開発担当者間での連絡を密にして全体の技術開発における各課題の位置付けをそれぞれの担当者が把握し、各開発技術の成果の共有を検討する体制を取るべきであった。

また、無害化に関しては、各技術とも成果が得られていると考えられるが、再資源化に関しては、まだかなりハードルが高いように感じる。関係機関で協議し、無害化処理した後の生成物の有効利用について議論が進むことを期待する。

3) 研究開発成果について

ロボットによる回収・除去技術の基本技術が概ね確立でき、無害化・再資源化技術開発においても、飛散性のレベル1の吹付け、レベル2の保温材、及びレベル3の建材の各アスベスト廃棄物に対応できる無害化処理技術が開発できたと考える。特に、オンサイト・移動式の無害化処理は、おそらく世界発であり、各地で導入の意義は大きい。得られた成果は、今後のアスベストの安全な除去事業の市場の形成の途を開く自主的な研究開発につながる成果として位置付けられる。

但し、回収・除去技術については、実証試験回数が少なく、耐久性や使い勝手の点でやや未知数の部分がある。また、再資源化技術に関しては、課題解決の方針がほとんど明確になっていない。

各課題については、技術開発終了後まだ1ヶ年を経ない時期であることを勘案すれば成果発表等の件数が少ない点は致し方ないと受けとめられるが、広く一般に公表することが望ましい。今回事業開発として残された課題を明示し、つぎの研究開発のシーズに位置付けることが強く期待される。

4) 実用化の見通しについて

実用化に向けたパイロットケーススタディを行っており、今後の実用化技術ならびに開発技術によりアスベスト処理に関する新しい研究開発につながる発展が期待できる。除去作業の大半をロボットが行う回収・除去技術が実用化された場合の波及効果は、土木建築及び環境関連分野等において多大である。また、従来よりも低温での無害化処理技術が開発されることにより、市場規模の拡大、低コスト化、不法投棄の防止等が期待できる。

但し、除去・回収ロボットの製品規格や安全性等の管理が現段階では明確でなく、無害化処理は、装置の製作費やメンテナンス等の費用を考慮すると未だ高コストの処理技術である。処理可能なアスベストの種類など適用可能な条件については、今後とも慎重に判断されたい。また、実用化技術の開発等、今後の展開を図るためには回収・除去技術で開発された技術と無害化・再資源化技術の連携が必要である。

さらに、実用化・事業化に当たっては、国民のアスベスト処理に対する不安感の払拭と固化処分等其他の方法に対する優位性の認知が必要である。

研究評価委員会におけるコメント

第28回研究評価委員会（平成23年3月30日開催）に諮り、了承された。研究評価委員会からのコメントは特になし。

研究評価委員会

委員名簿（敬称略、五十音順）

職 位	氏 名	所属、役職
委員長	西村 吉雄	学校法人早稲田大学大学院 政治学研究科 (科学技術ジャーナリスト養成プログラム) 客員教授
委員長 代理	吉原 一紘	オミクロンテクノロジージャパン株式会社 最高顧問
委員	安宅 龍明	オリンパスビジネスクリエイツ株式会社 事業企画本部 戦略探索部 探索2グループ シニアマネージャー
	伊東 弘一	学校法人早稲田大学 理工学術院総合研究所 客員教授（専任）
	稲葉 陽二	日本大学 法学部 教授
	大西 優	株式会社カネカ 顧問
	尾形 仁士	三菱電機エンジニアリング株式会社 相談役
	小林 直人	学校法人早稲田大学 研究戦略センター 教授
	小柳 光正	東北大学未来科学技術共同研究センター 教授
	佐久間一郎	国立大学法人東京大学大学院 工学系研究科 精密機械工学 精密機械工学専攻 教授
	菅野 純夫	国立大学法人東京大学大学院 新領域創成科学研究科 メディカルゲノム専攻 教授
	架谷 昌信	愛知工業大学 工学機械学科 教授・総合技術研究所所長
宮島 篤	国立大学法人東京大学 分子細胞生物学研究所 教授	

第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の「○」「●」「・」が付された箇条書きは、評価委員のコメントを原文のまま、参考として掲載したものである。

1. プロジェクト全体に関する評価結果

1. 1 総論

1) 総合評価

アスベストによる健康障害は、今後少なくとも 40 年近く継続する極めて重大な問題である。とりわけ、製造・使用禁止に対する法規制が西欧に遅れた我が国にあっては、適正かつ早急な対応が求められる喫緊の重要事項である。さらに、アスベスト含有廃棄物は今後、建物の解体等によって大量に発生することが予想されており、近い将来、埋立て処分場に限界が生じることから、安全に回収・処理できるような方法を研究・確立することは意義のあることである。

アスベストの回収・除去技術の開発においては、作業員の負担軽減・安全性確保の点などロボットによる回収・除去処理の基本技術が概ね確立できた。また、種々のアスベスト廃棄物に対応できる無害化処理技術においても、一定の成果をあげたことについては評価できる。

しかし、回収・除去技術では、処理時周辺へのアスベスト飛散量、ロボット装置の安全性、製品規格等、実用化の観点から絞り込んだ技術要素が十分にクリアされていない。また、無害化・再資源化技術では、無害化を確実に証明するサンプルの綿密な分析が十分に実施できていない。無害化処理の評価は容易ではなく、TEM（透過型電子顕微鏡）による検定方法が追加された意義を認識する必要があり、低温での処理を行うのであれば、それだけ無害化処理の根拠について十分な説明が要求されることをよく認識して、目標設定と事業実施を進めて頂きたい。

〈肯定的意見〉

- アスベスト含有廃棄物は今後、建物の解体等によって大量に発生することが予想されており、安全に回収・処理できるような方法を研究・確立することは意義のあることである。
- アスベストの除去作業は、作業員にとって過酷な作業現場であることは間違いない。一部手作業が残っているとは言え、この除去・回収作業の大部分を遠隔操作および自動化により実現できたことは、作業員の負担軽減・安全性確保の点で大いに評価できる。また、十分な再資源化には至らないまでも、アスベストの無害化技術を開発し得たことは、安全処理と言った点で評価に値する。
- 健康災害の観点から負の遺産と位置付けられるアスベストを含む建材の除去・廃棄を課題に取りあげ、安全にかつ効率的に回収・無害化ならびに処分にあたってのボリュームの削減を図ることにより処理をする技術開発に取り組み、一定の成果をあげたことについては評価される。
- ・当該事業は、環境安心イノベーションプログラムの一環として、世界的な課題である低コストかつ安全に実施できる革新的なアスベスト含有建

材等の安全回収・除去及び無害化処理等技術の開発を目的としており、内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向等から見て当該事業での開発目的は妥当である。

・アスベスト含有建材等の安全回収・除去技術は、作業者の安全性確保及び作業の効率化を目標とする点において期待できる。また、アスベスト含有廃棄物の無害化及び資源化技術についても、近い将来、埋立て処分場に限界が生じることから、その技術開発が多いに期待される。

・アスベスト廃棄物の無害化・資源化技術開発においては、目標達成のために妥当なスケジュール及び予算となっていたと考えられる。事実、アスベスト含有廃棄物の無害化・資源化技術開発については、本年10月に1件の環境省大臣認定を得ており、目標とした達成度に関して良好な成果が得られている。目標達成に必要な要素技術は取り上げられており、研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切であったと考えられる。また、本技術開発の一部においては、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだ上で活用が図られていると考えられる。

・アスベスト含有廃棄物の無害化・資源化技術開発について、飛散性のレベル1の吹付けアスベスト、レベル2の保温材、レベル3の建材の各アスベスト廃棄物に対応できる無害化処理技術が開発できたものと考えられる。

・アスベスト建材等の安全回収・除去技術の開発については、作業者の安全性確保及び作業の効率化を最終的な目標とする点において評価できる。当該研究により、ロボットによる回収・除去処理の基本技術が概ね確立できた可能性が考えられる。

・アスベスト含有建材等の安全回収・除去及び無害化処理等技術が実用化された場合、その市場は膨大であり、各種関連分野への多大な波及効果をもたらすことが期待される。

- アスベストというセンシティブなテーマで開発には制約も多かったと思われるが、技術的に一定の成果をあげられたと考える。
- アスベストによる健康障害は、今後少なくとも40年近く継続する極めて重大な問題である。とりわけ、製造・使用禁止に対する法規制が西欧に遅れた我が国にあっては、適正かつ早急な対応が求められる喫緊の重要事項である。

本技術開発事業は、このような現状下にあつて、既存建物等に使用されているアスベスト含有建材等を回収し、引き続き無害化や処理を安全に行う技術の開発を目的としたものであり、安全・安心社会の構築に向けた極めて重要な事業と評価する。

- 「アスベスト含有建材等回収・処理等技術開発」が必要な時によりタイミングで実施されたものと考えます。アスベストの分析方法改訂や、無害化

処理に係る TEM を用いた検討方法の導入にも対応されたことを評価します。回収・処理等技術開発において、一定の実績を上げられたことを評価致します。本プロジェクトに参加された事業者の中には、かつてアスベスト含有製品を製造・使用され、事業者責任を認識して技術開発に取り組まれた事業者もありますことを高く評価します。

〈問題点・改善すべき点〉

- 単に複数の無害化技術を開発したということなのか、それともそれぞれの無害化技術に関連性や住み分けなどがあるのかどうか、また除去・回収から無害化処理までの一連の処理システムをどのように考えているのかが明確でない。例えば、ある処理技術では建材のまま無害化できるとあるが、今回開発された除去・回収機械では、建材のままアスベストを除去することは不可能と考える。このように両技術間のインターフェースに課題があるのか無いのかが明確ではない。除去・回収ロボットと無害化処理技術が有機的に結びついておらず、個々の技術を独立に開発したような印象を受ける。
- 今回の技術開発については特に問題点はない。しかし、住宅等のような小規模なアスベスト発生源における安全・信頼性の確保に関する技術開発にも目を向ける必要があるといえる。
- アスベスト含有廃棄物をロボットで回収することは、人体への悪影響を考慮すると、非常に有効な手段と考えられるので、是非、実態に即した形で方法を確立して頂きたい。しかし、現状の人手による方法でかかるコストとロボットによるコストの差が必ずしも明確になっていないので、ロボットによる回収が実際に使われるかどうかは疑問。また、ロボットで回収した場合では、全量回収できず、一部人手によって回収するというのが、それであれば人手で最初から最後までやった方が良いとする可能性がある。そこで、人体に与える作業環境以外で、発注者がロボットによる回収を選択したいと思うようなアピールが必要。

アスベストの無害化処理に関しては、アスベストを安全に処理できたとするデータが不足しているので、詳細なデータ及び検証が必要。また、アスベスト含有廃棄物のプラスチックを燃料として活用するといった報告があったが、実際にどういった形で利用されているのか（例：分解されてエネルギー化など）の説明及びデータが必要。

アスベストを無害化し、再生利用しようとしたものの、環境省から再生利用を認めないとする指導がある。再生利用できないのであれば、エネルギーとコストをかけてしなくても、埋立処分すれば良いと排出事業者及び行政は考えがち。今後の課題として、再生利用を進めるのであれば、その為の基準や用途を検討し、環境省へ要望すべき。

- マネジメント分野でいわれる PDCA サイクルの観点から、建材にアスベストが含まれるかの判定技術の開発が先行されるべきであった。同技術は、パイロットスタディでなされているとのことであったが、建材にアスベストが含まれるか否かの判定技術との関連を付けることが望ましい。今回の技術開発では、“回収・除去技術”と“無害化・再資源化技術”の2分野において、それぞれに各2小分野、4小分野に小課題設定が分かれているが、それらの各小分野ならびに2分野間での有機的な関連性ならびに各課題間に於いて互いに成果を共有する志向が認められないのが残念である。

また、今回の技術開発に於いて、アスベストの除去の観点から、今回開発技術でカバーできる事象（今回開発技術を適用することにより、安全にかつ効率的に除去作業ができる事象）と今回開発技術では未だカバーされない事象（今回開発技術が適用できない事象）を明らかにし、次の問題的に結びつける必要性が指摘される（PDCA サイクルの評価（check）した後の action に相当）。

- 全体的に自己評価が甘く、業績を上げることに各事業者の方が前のめりになり過ぎている印象を受けました。報告書が遅れている一方で、根拠が十分明示されないまま発表（受賞も）が繰り返され、高い達成度を自己評価されていることに強い違和感を覚えます。民間中心の技術開発では仕方ないのかもしれませんが、今回のような外部評価を受ける前に普段から、外部の有識者などの意見を得る機会を持つのが望ましいと存じます。

アスベスト問題の重要性や社会の関心を十分認識しないまま、技術開発に取り組んでいる事業者があることを残念に思います。アスベストから脱水反応が進めばアスベストではないという考え方で技術開発に取り組むのは危険であり、繊維状フォルスセライトも含めて無害化処理の評価は容易ではなく、TEM による検定方法が追加された意義を認識して、慎重に再検討下さい。低温での処理を行うのであれば、それだけ無害化処理の根拠について十分な説明が要求されることをよく認識して、目標設定と事業実施を進めて頂きたいです。

アスベストの種類によっても融点が異なりますし、技術開発している処理条件も異なります。開発された技術が万能でないことを謙虚に受け止め、処理の適用範囲、限界、根拠などについて、透明性をもって明示頂きたいです。

- ・アスベストの無害化・資源化技術の開発目標の妥当性について、規制強化による法改正等の状況変化に応じ、技術開発の見直しが必要とされているが、特に、アスベスト含有廃棄物の無害化処理後の分析に関しては、的確に対応できていない可能性がある。アスベスト含有廃棄物中の

アスベストの完全な分解無害化を確認するためには、規制範囲拡大によるアスベスト全6種への対応及び分析プロトコル改訂による X 線結晶回折及び電子顕微鏡による詳細な分析が必須であると情勢変化しているが、これらの処理及び分析等にはさらに高額のコストと時間がかかるため、アスベスト全6種類の無害化処理及び処理後アスベスト含有廃棄物の無害化を確実に証明するための膨大なサンプルの綿密な分析が十分に実施できていないことが考えられる。

・アスベスト含有廃棄物の無害化・資源化技術開発について、処理費用に関しては、1500℃での熔融処理法と比較すると 25～50%低コスト化が可能であると考えられるが、装置の製作費やメンテナンス等の費用を考慮すると未だ高コストの処理技術であると考えられる。また、資源化については、現段階では、処理後の廃棄物についても埋立て処理をせざるを得ない状況から、実用化に向けた課題は、ほとんど解決できていない。アスベストの安全回収・除去技術の開発目標の妥当性について、作業員の安全性の向上、処理時の処理周辺へのアスベスト飛散量、ロボット装置の安全性、製品規格等に関する実用化に向けた具体的な数値目標が設定されていない。従って、実用化の観点から絞り込んだ技術要素が十分にクリアされていないことが考えられる。

・アスベストの除去・回収ロボットの当初開発目標が、「これまでの手作業による作業を減らした安全性・効率性が高い回収・除去技術を開発する」であったことについて、具体的にどこまで手作業を減らすと決められていなかったことは、特に問題であり、将来的に改善すべきである。その理由として、ロボットでの除去・回収処理には限界があり、ロボット使用後に人手が必要とされる時点で作業者のリスクが確実に低減したとはいえない。アスベストの毒性発現メカニズムは、現在、ほとんど解明されておらず、過去において、ごく短期間にわずかな量のアスベストを吸引した場合でも中皮腫を発症したケースもあり、アスベストとの接触回数や吸引量の多さに比例して危険性が高いという訳ではない。安全性を考慮した場合、このアスベストの非常に特異的な毒性発現状況を把握した上での研究開発目標を設定することが重要であると考えられる。

- 回収・除去技術については、ロボット活用にやや焦点が偏った感がある。無害化技術については、無害化されたことを評価するサンプルの代表性を十分検討する必要があると考える。

〈その他の意見〉

- ・ 諸外国の事例や方法と比較し、先進的な方法及び研究内容なのかの説明が必要。
取り組みの必要性は理解できるし、今後においても貢献度は高いと考え

るが、発注者などがロボットによる回収や埋立及び溶融以外の方法による無害化処理を依頼するかどうかは疑問。おそらく、従来の方法よりコストが高いとなれば、頼まない可能性が高いので、今回のような方法を利用してもらうためには、何らかのインセンティブが必要。

- 技術や分析に関して、より専門的な評価委員がもう少しいらっしゃった方がよいように思いました。事業原簿に **Wikipedia** の出典が多く見られますが、もう少し学術的な文献を用いた方が望ましいかと存じます。

分科会当日に、無害化処理の根拠を示す資料が不足していることを申し上げたところ、追加として非公開資料が後日送られることになりました。しかし、評価コメントが後日公開されることを考えれば、評価委員としては基本的に公開資料に基づいた評価しかできないことを申し添えます。公開資料と整合しない非公開資料もありましたので、評価委員のコメントの拠り所も難しくなります。また、**TEM**による検定をはじめとして、無害化処理の確認に関する記述が公開資料に少なかったことは、安全性が軽視されている印象を受けます。

比較的納得できたテーマとそうでないテーマが混在している一方で、個別テーマでの評価ができないため、評点は平均的な評点しかつけられませんでした。評価方法にも改善の余地がありませんでしょうか。

2) 今後に対する提言

回収・除去技術と無害化・再資源化技術において得られた成果を有機的に関連づけるとともに、今回開発の技術でカバーできる事象と、対応できない事象を明らかにすることが必要である。

無害化処理の課題を解決するためには、低コストの処理技術開発を目指すこと、詳細な分解反応メカニズムを解明すること、及びどのようなアスベスト含有量や含有状態においても、同様に無害化ができるのか等の課題を解決することが重要であると考えられる。さらに、無害化したアスベストをどのように再資源化していくのか、その技術開発や対策・法整備などに取り組んで頂きたい。

現在、国土交通省、経済産業省等において、アスベストの適正処理等に関するわが国の技術等を国際規格案として提唱しようとしているので、この動向に本技術開発の成果も組み入れてもらうように働きかけることも肝要と考える。

〈今後に対する提言〉

- ・ 前述したが、今回課題の2分野、計6課題において得られた成果を有機的に関連づけるとともに、今回開発の技術でカバーできる（対応できる）事象と、カバーできない（今回技術開発によっても対応できない）事象を明らかにすることが必要である。今回開発の計6課題による技術開発で、アスベストを含む建材の処理に関して全て課題が克服されたことではないことを明示し、残された課題事象を明らかにすることが要望される。
- ・ ① 現在、国土交通省、経済産業省等において、アスベストの適正処理等に関するわが国の技術等を国際規格案として提唱しようとしている。この動向に本技術開発の成果も組み入れてもらうように働きかけることが肝要と考える。
 - ② 全体を通じて技術面において安全性が確保できる感触は十分に得られているが、信頼性の確保については、実物件による検証例・測定例が少ないことから、信頼性に係わるエビデンスの蓄積が不可欠と考える。
- ・ ロボットによる回収及び埋立・熔融以外の無害化処理が現場において利用されるようにする為には、コストと手間が現状よりも少ないもしくは新規の方法を採用した方が発注者等にメリットが出る（例：社会的なアピール、国からの補助など）ようにしないと、なかなか難しいのではないかと考える。
先進的な取り組みが学術的に問題ないのであれば、環境大臣認定に認められるようにする必要がある。また、アスベストの再生利用が認められるように基準や用途を検討し、環境省へ提案する必要がある。再生利用が認められないのであれば、埋立以外の方法をコストとエネルギーをかけて行うには、発注者からはなかなか採用しにくいと思われる。
- ・ 無害化したアスベストをどのように再資源化していくのか、その技術開発や対策・法整備などに取り組んで頂きたい。また、原位置で除去・回収か

ら無害化処理までの一連の作業を行うことのできる除去・回収・無害化システムの確立が期待される。

- ・ アスベストは広く知られた有害物質であるだけに、技術的な完成イコール問題解決ではないため、技術に対する権威あるお墨付きや安全規格の整備等が事業化・普及のカギとなるだろう。
- ・ 日本の経済状況を考慮した場合、将来的には、1500°Cでの熔融処理法の10%以下の処理費用でアスベストを確実に分解無害化処理できるような低コストの無害化処理技術の開発を目指すことが必要である。
- ・ アスベスト含有廃棄物の無害化処理については、アスベスト分解に関する詳細な分解反応メカニズムを明確に解明することが実用化においても、また、将来の科学発展においても大変重要である。
- ・ アルカリ熔融剤との反応で最終的に無害であると明確に説明できるどのような化合物が生成しているのか、アスベスト結晶から結晶水が脱離して生成したフォルステライト等は、実際に完全に無害であるのか、アスベスト6種類を全て完全に無害化できるかどうか、また、それらの反応後、それぞれどのような無害な化合物に変化するのか、どのようなアスベスト含有量や含有状態においても、同様に無害化ができるのか等の課題を解決することが重要であると考えられる。
- ・ 処理後の廃棄物の資源化における課題については、その課題の解決方針を明確にすることが重要であり、本課題解決により処理コストの大きな低減化が見込まれる。現状では、アスベスト風評被害等により、完全な無害化が確認されている場合でも処理後の廃棄物を資源化することができない。これら資源化における課題を解決するためにも、上述した詳細なアスベスト分解反応メカニズムを解明することが大変重要であると考えられる。

〈その他の意見〉

- ・ アスベストが非意図的に混入している建設系廃棄物を、中間処理に付される前に適正に除去する技術開発が急がれると思われる。
- ・ アスベスト除去は、健康被害を予防するにあたって社会的に火急に解決を必要とされる課題である。今回の技術開発では、それぞれの分野・課題（計6課題）においてパイロットスタディがなされ、目標とする成果が得られていると判断される。速やかに事業化を行えるよう、技術の評価（評定）を実施し、またはその体制を支援し、広く社会に適用できるような支援の体制を確立することが望まれる。
- ・ オンサイト・移動式の無害化処理技術の開発から、現在の環境大臣認定で求められている処理能力（5t/日）は容易ではないことがわかりました。もしもこの条件を多少緩和することで改善する点があるようでしたら、強く主張されてもよいのではないかと考えました。

- ・ 諸外国の規制を調査し、改善が必要な基準や方法については環境省へ見直しを要望した方が今回の調査研究を現実的な事業として進めやすい。

1. 2 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

緊急の課題に位置付けられているアスベストの健康被害に対する対応として、本事業は環境安心イノベーションプログラムの目的趣意にそった技術開発内容であり、公共的に抵抗感の高いアスベストを扱うことから、民間活動のみでは風評被害の恐れもあり、国のアスベスト対策の一環として、将来的にも NEDO が、本プロジェクトを推進していくことは妥当である。

一方、回収・除去技術と無害化・再資源化技術の連携については、ほとんど論じられていなかった。基本的には、前者の技術で除去・回収されたアスベストを后者の技術に受け渡し、無害化処理を施すという流れになるので、NEDO が両者のインターフェースの役割をもう少し果たした方が良かった。

〈肯定的意見〉

- 環境問題への寄与や、技術開発が高コストで民間のみでは難しいことを考えれば、NEDO の関与は妥当だと思います。国内の政策動向から、アスベストの回収・処理が必要とされており、事業目的は妥当を考えます。国際的にも需要がありうる分野だと思います。
- (1) NEDO の事業としての妥当性：アスベストは有用な工業用原料として国の主体的な指導のもとに使用されてきた経緯がある。したがって、この負の遺産を民間の使用者責任にのみ負担させることは不合理といえる。そのことをさておいても、安全・安心の確保は重大であり、この点においても NEDO の関与は当然のことである。
(2) 事業目的の妥当性：事業として妥当性が高く、事業目的も妥当と評価する。
- ・当該事業は、環境安心イノベーションプログラムの一環として、環境問題における世界的課題の 1 つであるアスベスト含有建材等の安全回収・除去及び無害化処理技術の開発は、その目標達成のために多大に寄与するものと考えられる。
・アスベスト含有建材等の安全回収・除去及び無害化処理技術の開発は、アスベスト問題の歴史的経緯、アスベストの毒性発現メカニズムが未解明であること、アスベスト廃棄物の処理費用が高コストであること等から民間だけで取り組むことは大変危険であると考えられる。アスベスト含有建材等の安全回収及び処理等技術は、世界的にみても低コストで安全・確実に実施できるものは開発されておらず、全てが革新的な技術開発である。従って、その開発には、今後も含めて、膨大な開発費用が必要である。アスベスト含有廃棄物の回収及び処理は、しっかりとした国の指導の下、適正処理が行われることが必須であり、本技術開発では、NEDO の関与が必要である。さらに、公共的に抵抗感の高いアスベストを扱うことから、

民間活動のみでは風評被害及び回収や処理時における二次的汚染等の恐れもあり、国のアスベスト対策の一環として、将来的にも NEDO が、本プロジェクトを推進していくことが重要である。

・当該事業の費用対効果について、これまでアスベスト含有建材等の回収・除去及び無害化処理について、実際の業務で使用実績のある技術が無いことから正確に判断することはできないが、アスベスト含有建材等の安全回収・除去技術は、作業者の安全性確保及び作業の効率化を目標とする点において期待できる。また、アスベスト含有廃棄物の無害化及び資源化技術についても、近い将来、埋立て処分場に限界が生じることから、その技術開発が多いに期待される。

・内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向等から見て当該事業での開発目的は妥当である。

- アスベストという物質の性格上、民間が独自に取り組むには困難があり、NEDO の事業として妥当なものとする。
- アスベストの従来の回収及び無害化方法とは異なる方法について調査研究しているので、NEDO 必要とされる事業。
- 分科会でも説明があったように、アスベストがあることを表に出したくないという場所も多々あると考えられる。アスベストの問題は風評被害の懸念もあり、民間が一から技術開発するのはリスクがある。作業員の負担を軽減し、アスベストを安全・適切に回収し、無害化する技術の確立は、公共性が高く NEDO の事業として適切であると考えられ、今回の事業目的は妥当であると判断できる。
- 緊急の課題に位置付けられているアスベストの健康被害に対する対応として、今回技術開発事業は環境安心イノベーションプログラムの目的趣意にそった技術開発内容であったと判断される。また、NEDO としての関与の観点では、現段階での技術開発の係わるベンチャー性から判断すると、NEDO による技術開発支援の体制は必要であったと判断される。

今回の技術開発により、アスベスト回収・除去技術ならびに無害化・再資源化技術にある程度の市場化（関連技術の開発が、投資に対して利益を生じさせる市場化）の途が拓けたものと判断される。この観点からは、今回 NEDO による技術開発支援のプログラムは、事業目的に則して適切であったと判断される。

〈問題点・改善すべき点〉

- 技術開発としては意義深いのが、コストを考えた場合、果たして処分法の主流となりうるのかやや疑問が残る。再資源化のハードルが高く、結局、処分場での埋立となる可能性がどの程度あるのか洞察が必要と考える。

- 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、実用性に対する第三者的な評価が無いので疑問。
- 実施の市場効果が算定されていますが、開発された技術の限界や適用範囲を考えれば過大ではないかと思えます。アスベスト含有建材の蓄積量・排出量などの推定は、もう少し詳細に、できれば建物構造別の含有状況、廃棄関数、含有率による相違なども考慮して、丁寧に行って頂くのが望ましいです。
- ヒアリングの結果による判断では、今回の開発技術は国内事象を対象に据えており、国際展開に対する展望に欠くところ認められる。海外に於いても、同様事象が認められることであり、今後国際市場への展開が期待される。この展開に対する展望に欠くとともに、国際市場性に対する見解を欠くと認めざるを得ない。
- 今回のプロジェクトは、「アスベスト含有建材等安全回収・除去技術の開発」と「アスベスト含有廃棄物の無害化・再資源化技術の開発」に大別される。それぞれは、優れた成果が出ていると思われるが、両者の連携についてはほとんど論じられていない。各無害化技術は、それぞれ対象とするアスベスト建材があるように感じられたが、基本的には、前者の技術で除去・回収されたアスベストを後者の技術に受け渡し、無害化処理を施すという流れになるのではないか。NEDOが両者のインターフェースの役割をもう少し果たしてもよかったように感じる。

〈その他の意見〉

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向等については、検証されていないので、疑問。

2) 研究開発マネジメントについて

安全回収・除去技術の開発については、作業者の安全性確保及び作業の効率化を最終的な目標とする点において評価できる。また、無害化技術に関しては、目標達成に必要な要素技術は取り上げられており、研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切であったと考えられる。具体的な数値目標を挙げ、目標達成度を評価しており、妥当なマネジメントが行われていた。また、研究開発の対象、利用技術要素は大きな重複なく各社に分担されており、効率的に進められたと考える。

一方では、各課題間の有機的な関連づけが希薄であるとの感があるため、技術開発担当者間での連絡を密にして全体の技術開発における各課題の位置付けをそれぞれの担当者が把握し、各開発技術の成果の共有を検討する体制を取るべきであった。

また、無害化に関しては、各技術とも成果が得られていると考えられるが、再資源化に関しては、まだかなりハードルが高いように感じる。関係機関で協議し、無害化処理した後の生成物の有効利用について議論が進むことを期待する。

〈肯定的意見〉

- 全体を通して、除去・回収技術および無害化処理ともに具体的な数値目標を挙げ、目標達成度を評価しており、目標・計画は妥当であると判断できる。それぞれの技術開発は適切な研究計画の下に戦略的に実施されていると考えられる。
- アスベスト問題への関心や無害化の確認が容易でないことから、アスベストの分析方法や無害化処理に係る TEM を用いた検討方法が導入されましたが、それにも対応されたことを評価します。
- 研究開発の対象、利用技術要素は大きな重複なく各社に分担されており、効率的に進められたと考える。
- ・アスベスト廃棄物の無害化・資源化技術開発においては、従来の日本での熔融法（1500℃以上）及び他認定法（1350℃）、EUでのプラズマ熔融法（約 2400kWh/トン）、米国での熱化学変換法（1600kWh/トン）と比較して、はるかに低い所要エネルギーである 700～1100℃（約 800kWh/トン）で無害化処理できる技術を開発するという戦略的かつ具体的な目標が設定されており、内外の技術開発及びエネルギー需要動向から見て、現段階における当該事業の目的としては妥当であったと考えられる。
 - ・アスベスト廃棄物の無害化・資源化技術開発における研究開発目標値については、環境省の無害化認定制度の基準（5 トン/日）に準じており妥当である。
 - ・アスベスト建材等の安全回収・除去技術の開発については、作業者の

安全性確保及び作業の効率化を最終的な目標とする点において評価できる。

・アスベスト廃棄物の無害化・資源化技術開発においては、目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっていたと考えられる。事実、アスベスト含有廃棄物の無害化・資源化技術開発において、本年10月に1件の環境省大臣認定を取得しており、目標とした達成度に関して十分な結果が得られている。

・アスベスト廃棄物の無害化・資源化技術開発の無害化技術に関しては、目標達成に必要な要素技術は取り上げられており、研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切であったと考えられる。また、本技術開発の一部においては、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだ上で活用が図られていると考えられる。

・研究開発実施の事業体制及び研究開発成果の実用化に向けたマネジメントは、概ね妥当であったと考えられる。

- (1) 研究開発目標の妥当性：目標達成度を評価・判断する指標、開発目標の定量的設定、いずれも妥当である。
- (2) 研究開発計画の妥当性：開発スケジュール、開発フローにおける要素技術の設定等は妥当と判断する。
- (3) 研究開発実施の事業体制の妥当性：適切な実施体制、選定した実施者、実施者間の連携のいずれも妥当である。
- 目標達成度を自ら設定し、指標によって評価している。
- 各課題に於いて概ね設定した目標に対して期待された成果が得られており、妥当なマネジメントが行われていたと評価される。

〈問題点・改善すべき点〉

- 大きな2課題（“回収・除去技術開発”と“無害化・再資源化技術開発”）ならびに各課題に設けられた計6課題の技術開発がそれぞれに単独に実施された感があり、6課題間の有機的な関連づけが希薄であるとの考えられる。実施体制として NEDO 内に外部有識者による「技術検討委員会」（開催：年2回）が設けられていたとのことであったが、この場、若しくは技術開発担当者間での連絡を密にして全体の技術開発における各課題の位置付けをそれぞれの担当者（機関）が把握し、またそれぞれの開発技術を共有する体制を取るべきであった。

NEDO として、技術検討委員会の役割を、本技術開発における各事業の技術的な内容に対する指導に限ることなく、全体技術開発における各課題分担者の事業分担、各分担事業における技術開発成果の共有を検討する場とするよう再認識、再検討してはどうか。

- ・アスベストの無害化・資源化技術の開発目標の妥当性について、規制強

化による法改正等の状況変化に応じ、技術開発の見直しが必要とされているが、特に、アスベスト含有廃棄物の無害化処理後の分析に関しては、的確に対応できていない状況がある。例えば、0.1%アスベスト含有濃度に対応した簡易分析技術は、当該研究を実施する前に開発しておく必要があったのではないかと考えられる。アスベスト含有廃棄物中のアスベストの完全な分解無害化を確認するためには、規制範囲拡大によるアスベスト全6種への対応、分析プロトコル改訂による X 線結晶回折及び電子顕微鏡でのより詳細な分析が必須であるといった情勢の変化があったが、これらを実施するためには、さらに高額な費用と時間がかかるため、処理後のアスベスト含有廃棄物の無害化を確実に実証するために必要なさまざまな反応条件で処理実験して得られた膨大なサンプルの分析がまだ十分に実施されていないことが考えられる。

- ・アスベスト廃棄物の無害化・資源化技術開発における開発目標値について、資源化技術開発の目標値が設定されておらず、目標達成に必要な要素技術は、ほとんど明確になっていない。

- ・アスベストの安全回収・除去技術の開発目標の妥当性について、作業員の安全性の向上、処理時の処理周辺へのアスベスト飛散量、ロボット装置の安全性、製品規格等に関する具体的な数値目標が設定されていない。アスベストの除去・回収ロボットの当初開発目標が、「これまでの手作業による作業を減らした安全性・効率性が高い回収・除去技術を開発する」であったことについて、具体的にどこまで手作業を減らすと決められていなかったことは、特に問題であり改善すべきである。その理由として、ロボットでの除去・回収処理には限界があり、ロボット使用後に人手が必要とされる時点で作業者のリスクが低減したとはいえない。アスベストの毒性発現メカニズムは、ほとんど解明されておらず、過去において、ごく短期間にわずかな量のアスベストを吸引した場合でも中皮腫を発症したケースもあり、アスベストとの接触回数や吸引量の多さに比例して危険性が高いという訳ではない。安全性を考慮する場合、このアスベストの非常に特異的な毒性発現状況を把握した上での研究開発目標を設定することが重要であると考えられる。

- ・アスベストの安全回収・除去技術の開発について、継続プロジェクトおよび長期プロジェクトのいずれの場合も、実用化の観点から絞り込んだ技術要素が十分ではないと考えられる。これは、上記の作業員の安全性の向上、処理時の処理周辺へのアスベスト飛散量、ロボット装置の安全性、製品規格等に関する実用化に必要な具体的な数値目標が綿密に設定されていないことに関連している。

- (2) 研究開発計画の妥当性：問題点・改善点ではないが、全体的にみて各個別研究テーマに対する予算配分額が過小な印象がある。

(3) 研究開発実施の事業体制の妥当性：実用化シナリオにおいて、当該技術を使用する最終的なユーザーの関与のしかたが、やや不明確である。

- 回収・除去と無害化・再資源化の中間にある輸送・貯蔵の安全性・効率性にも焦点を当てるべきではないかと考える。有害物質の移動と保管にはリスクを伴うからである。
- 内外の技術動向、市場動向等の調査が甘いので、実現性については評価しにくい。
- 個々の要素技術は申し分ないが、全体のビジネスプランに対し、プロジェクト全体のマネジメントにやや物足りなさを感じる。
- 全体として自己評価が甘く、研究開発チームの構成には適切さが欠けているように感じます。今回のような外部評価を受ける前に普段から、外部の有識者などの意見をを得る機会を持つことを勧めます。

低温での処理など、目標設定にやや疑問を感じるものもありました。不十分な処理しかできないことがわかれば、目標や条件などを修正する必要もあると思います。これらを考えれば、成果の受け取り手や社会の反応に対して、適切であったとは言いきれないと思います。

要素技術間の連携は特に回収・除去技術どうしについて、解体工事とリニューアル工事の共通点も多いと思われ、もっとあった方が望ましかったです。

開発技術の順序や研究開発項目の位置づけについて、セメント原料などへの再利用などが重視されていたテーマが多くありました。しかし、これは安全な無害化処理が達成された後の話であり、その達成状況が不十分なまま進められようとしたのは望ましくありません。また、成形板等の除去・解体など、多くのニーズがあるにもかかわらず研究開発目標から除かれていたものもあったことは残念でした。

〈その他の意見〉

- ・ 研究開発後の実用性について、研究者だけでなく、NEDO もしくは第三者機関による検討が必要。
- ・ この「評価コメント及び評点票」には、同様の設問・回答で重複する部分が多いと感じる。
- ・ 無害化に関しては、各技術とも優れた成果が得られていると考えられるが、再資源化に関しては、まだかなりハードルが高いように感じる。関係機関で協議し、無害化処理した後の生成物の有効利用について議論が進むことを期待する。

3) 研究開発成果について

ロボットによる回収・除去技術の基本技術が概ね確立でき、無害化・再資源化技術開発においても、飛散性のレベル1の吹付け、レベル2の保温材、及びレベル3の建材の各アスベスト廃棄物に対応できる無害化処理技術が開発できたと考える。特に、オンサイト・移動式の無害化処理は、おそらく世界発であり、各地で導入の意義は大きい。得られた成果は、今後のアスベストの安全な除去事業の市場の形成の途を開く自主的な研究開発につながる成果として位置付けられる。

但し、回収・除去技術については、実証試験回数が少なく、耐久性や使い勝手の点でやや未知数の部分がある。また、再資源化技術に関しては、課題解決の方針がほとんど明確になっていない。

各課題については、技術開発終了後まだ1ヶ年を経ない時期であることを勘案すれば成果発表等の件数が少ない点は致し方ないと受けとめられるが、広く一般に公表することが望ましい。今回事業開発として残された課題を明示し、つぎの研究開発のシーズに位置付けることが強く期待される。

〈肯定的意見〉

- オンサイト・移動式の無害化処理は、おそらく世界発であり、各地で導入の意義は大きいと思います。
- ・アスベストの安全回収・除去技術開発において、ロボットによる回収・除去処理の基本技術が概ね確立できたと考えられる。

アスベスト含有廃棄物の無害化・資源化技術開発において、無害化処理の実証試験が実施され、周辺環境への影響の無いことが確認されている。実証試験の結果、4件中1件については、本年10月に1件の環境省大臣認定を得ており、実用化目標での達成度に関してほぼ十分な結果が得られている。

・アスベスト含有廃棄物の無害化・資源化技術開発について、飛散性のレベル1の吹付けアスベスト、レベル2の保温材、レベル3の建材の各アスベスト廃棄物に対応できる無害化処理技術が開発できたものと考えられる。いずれの技術も世界初の革新的なものであり、従来技術と比較した場合、明らかに低エネルギー化及び低コスト化に成功している。

知的財産権、成果の普及活動等は、積極的に実施されている。

- (1) 目標の達成度：総合的に判断すると、技術開発成果に関する達成度は90%と評価する。未達成の10%はマーケットに起因するものが多い。これに関しては、仮に課題解決の方針が明確であったとしても、不確定要素が大きく、100%に到達していると評価することは困難といえる。
- (2) 成果の意義：成果は世界最高水準級であり、先進国および発展途上国におけるアスベスト処理市場で活用されると評価する。

(3) 知的財産権等の取得及び標準化の取組：市場を世界に拡大するためには、成果を世界標準にまで位置付ける必要がある。その作業の取組が合理的に進められていると判断できる。

(4) 成果の普及：論文の発表は適切に行われている。

- 技術的には目標を達成していると言える。
- 本研究開発成果は目標値を満たす成果を得ており、一定の成果をあげたと評価される。また各課題（2分野の計6課題）において得られた成果は、今後の新たな技術開発につながる発展性を含んでおり、今後のアスベストの安全な除去事業の市場の形成につながる成果の途を開いた研究開発として今後の自主的な研究開発につながる成果として位置付けられ、この点も成果の一つとして評価される。
- 無害化したアスベストを再資源化し、有効利用できればベストであるが、除去・回収作業をほぼロボット化でき、さらに回収したアスベストを無害化できたことは大きな成果であり、安全な処理という点では目標を達成できていると考えられる。また、全体的に成果を広く公表し、国民に情報発信していると判断できる。
- 成果は目標値をクリアしているようだった。論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているようだった。

〈問題点・改善すべき点〉

- 回収・除去技術については、フィールドテストが少なく、耐久性や使い勝手の点でやや未知数の部分がある。
- 各課題については、技術開発終了後まだ1ヶ年を経ない時期であることを勘案すれば成果発表等の件数が少ない点は致し方ないと受けとめられるが、研究事業実施主体としてのNEDOとして、本研究開発事業の全体像（事業の主旨、目的、全体構成、成果として得られたこと、成果として残されたこと）を公表することがNEDOとしての役割であり、広く一般に公表することが望ましい。この際、今回事業開発として残された課題を明示し、つぎの研究開発にかかわるneedsに位置付けることが強く期待される。
- (3) 知的財産権等の取得及び標準化の取組：世界最高水準の技術開発とそれを世界標準にまで押し上げるための戦略は次元の異なる作業である。本事業に限らず、わが国は国際化を見据えた戦略展開に欠けるという共通の弱点がある。国としての積極的かつ強力な支援が望まれる。

(4) 成果の普及：開発した技術を国際標準に押し上げるためには、国内のみならず広く海外に論文発表等を行い、エビデンスとしての蓄積を図ることが不可欠といえる。
- 除去・回収の作業効率向上に関しては、最終結果だけではなく、根拠と

なるデータをもう少し具体的に示した方が良い。安全な処理技術の開発という点では目標をクリアしており評価できるが、再資源化という点ではほとんど達成されておらず、今後の課題であると思われる。

- 成果の意義を検証できない。例えば、成果が①世界初あるいは世界最高水準か、②汎用性があるか、③他の競合技術と比較して優位性があるかなどといった成果の意義が客観的に評価されていないので、検証が必要。
- 報告書や十分な根拠が明示されないまま、目標達成の自己評価をなされているものが多いことに違和感を覚えます。特に、無害化処理については、TEM も用いた安全側の評価が求められているにもかかわらず、その根拠を十分示されないまま「達成」とされている事業が見られることには疑問を感じます。

論文や成果発表の数は多いのですが、誤り（学会発表を査読付き論文とされていることなど）も多く、正確な発信に留意頂きたいです。

- ・アスベストの安全回収・除去技術開発において、現場での実証試験回数が2～3回であり、施主の了解を得ることに苦労していることもあり、当初想定ほど進展していない。目標達成状況として、ロボットでの吹付けアスベスト除去性能が手作業での4～5倍という数値が示されているが、現段階の2～3回の現場での実証試験では、その数値を確定することは難しい。

・吹付けアスベスト除去性能と減容化については、目標値が設定されているが、実用化に向けて重要である作業員の安全性の向上、処理時の処理周辺へのアスベスト飛散量、ロボット装置の安全性、製品規格等に関する具体的な数値目標が設定されておらず、それらに関する結果が示されていない。現場実証試験において施主の了解を得るためにも、これらの目標値と結果を示すことが必要であると考えられる。

・アスベスト含有廃棄物の無害化・資源化技術の研究開発について、規制強化による法改正等の状況変化に応じ、技術開発の見直しが必要とされているが、特に、アスベスト含有廃棄物の無害化処理後の分析に関しては、的確に対応できていない状況がある。例えば、0.1%アスベスト含有濃度に対応した簡易分析技術は、当該研究を実施する前に開発しておく必要があったのではないかと考えられる。現在、規制範囲拡大によるアスベスト全6種への対応、分析プロトコル改訂によるX線結晶回折及び電子顕微鏡による詳細な分析が必要と情勢変化しているが、これらの分析等にはさらに高額のコストと時間がかかるため、処理後のアスベスト含有廃棄物の無害化を確実に実証するために必要なさらに膨大なサンプルの分析が十分に実施できていないことが考えられる。

・アスベスト含有廃棄物の無害化・資源化技術の研究開発について、資源化技術に関しては、課題解決の方針がほとんど明確になっていない。

〈その他の意見〉

- ・温度ばかりでなく、省エネルギーで見た目標設定があった方がよかったのではないのでしょうか。

4) 実用化、事業化の見通しについて

実用化に向けたパイロットケーススタディを行っており、今後の実用化技術ならびに開発技術によりアスベスト処理に関する新しい研究開発につながる発展が期待できる。除去作業の大半をロボットが行う回収・除去技術が実用化された場合の波及効果は、土木建築及び環境関連分野等において多大である。また、従来よりも低温での無害化処理技術が開発されることにより、市場規模の拡大、低コスト化、不法投棄の防止等が期待できる。

但し、除去・回収ロボットの製品規格や安全性等の管理が現段階では明確でなく、無害化処理は、装置の製作費やメンテナンス等の費用を考慮すると未だ高コストの処理技術である。処理可能なアスベストの種類など適用可能な条件については、今後とも慎重に判断されたい。また、実用化技術の開発等、今後の展開を図るためには回収・除去技術で開発された技術と無害化・再資源化技術の連携が必要である。

さらに、実用化・事業化に当たっては、国民のアスベスト処理に対する不安感の払拭と固化処分等他の方法に対する優位性の認知が必要である。

〈肯定的意見〉

- 回収技術やオンサイトでの処理技術については、限界や適用範囲を明示すれば、実用化の可能性は高いか、既にされているかと存じます。
- 技術開発に係わる各課題において実用化が視点到添えられて技術開発が進められており、それらに一定の成果が得られている。実用化に向けたパイロットケーススタディはなされており、今後の実用化技術につながる技術開発はなされたとして評価される。今後の実用化技術ならびに開発技術により本アスベスト処理に関する新しい研究開発につながる発展が期待される。
- アスベストの除去作業は極めて劣悪であると容易に想像できるので、最後の仕上げには人手が必要とはいえ、大部分を自動的に除去・回収できる機械の開発は画期的であり、今後のアスベスト除去作業に及ぼす波及効果は大きいと考えられる。アスベストの除去は機械と人間の協調作業で構わないと思うが、長時間の作業を考えた場合、機械の走行は遠隔ではなくできるだけ自律にして省力化を図った方がいいのではないか。機械開発および無害化処理ともに成果と課題が明確になっており、今後の展開に期待できる。
- 技術的に十分実用化を見通せるレベルに到達していると考ええる。
- ・アスベストの安全回収・除去技術開発について、過酷で危険性の高い吹付けアスベストの除去作業の大半をロボットにより行うことにより、手作業での暴露リスクの低減化、作業の効率化及び低コスト化を実現することができるものと考えられる。本技術が実用化された場合、吹付けアスベ

ト除去・回収処理が加速されることが期待され、その波及効果は、土木建築及び環境関連分野等において多大であると考えられる。

・アスベスト含有廃棄物の無害化・資源化技術開発について、飛散性のレベル1の吹付けアスベスト、レベル2の保温材、レベル3の建材の各アスベスト廃棄物に対応した従来よりも低温での無害化処理技術が開発されることにより、市場規模の拡大、低コスト化、不法投棄の防止等が期待できる。

・近い将来、アスベスト無害化に関する環境省大臣認定を取得することにより（すでに、1件は、環境省大臣認定を得ている）、高温加熱溶融法及び埋立て処理に代わる新しいアスベスト処理の指針となり、関連分野への多大な波及効果をもたらすことが期待できる。

- 経済的な波及効果については判断できない。一方、安全・安心社会の構築という大きな視点にたてば、本プロジェクトの意義・目的は他の安全・安心に関するプロジェクト等への技術的・社会的波及効果は期待できると判断する。
- 実用化に向けて課題が明確になっているようだった。課題解決の方針が明確になっているようだった。

〈問題点・改善すべき点〉

- ・アスベストの安全回収・除去技術開発の産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）について、ロボットの製品規格や安全性等をどのように管理していくのかについて現段階では全く明確になっていない。これらに関しては、実用化までにアスベスト除去ロボットに関する技術協会等の設立が必要であると考えられるが、その道筋が不明瞭である。また、ロボットを用いた現場での実証実験の回数が、2～3回であり、製品規格や安全性等を検討するための多くのパラメーターを綿密に設定していく上においては、少なすぎるものと考えられる。

・アスベスト含有廃棄物の無害化・資源化技術開発について、処理費用に関しては、1500℃での溶融処理法と比較すると25～50%低コスト化が可能であると考えられるが、装置の製作費やメンテナンス等の費用を考慮すると未だ高コストの処理技術であると考えられる。また、資源化については、現段階では埋立て処理をせざるを得ない状況から、実用化に向けた課題を解決できているとはいえない現状である。

- (1) 成果の実用化可能性：明確なイメージは提示されているが、海外市場における展開のイメージが明確にされていない。

(2) 事業化までのシナリオ：本プロジェクトは、負の遺産の後始末の義務事項であり、基本的に市場の成長性を評価の対象とするべきではないと考える。

- 研究者の立場では、実用化に向けて課題が明確になっていたり、課題解決の方針が明確になっていたりしているようだが、NEDO もしくは第三者機関による検証ではないので、課題が妥当なのかが分からない。NEDO もしくは第三者機関が研究内容を精査し、必要に応じて課題や問題点を提言し、研究者や関係行政等に対応を求めた方が良いのではないか。
- 実用化・事業化に当たっては、国民のアスベスト処理に対する不安感の払拭と固化処分等他の方法に対する優位性の認知が必要と考える。
- 実用化技術の開発等の今後の展開を図るためには、前述したように、本技術課題を含め、関連技術の有機的な連携が必要である。その為には、少なくとも本技術開発（計 6 課題）で得られた成果を各課題間で共有し、さらに一層の安全、経済的な効率を高めた技術開発につなげることが必要である。例示すれば、“回収・除去技術”で開発された技術と“無害化・再資源化技術”を相互に組み合わせることにより、より実態的な技術開発につなげることが可能となると考えられる。
- 最終的に無害化したアスベストを埋め立て処分するにしても、安全性の担保は必要不可欠であるので、安全性の確保にコストをかけることは理解できるし、本成果は安全性・環境面では大変優れていると判断できる。しかし、最終的に埋め立て処分では、どうしても捨てるものに多大なコストをかけることになり、サステナビリティの点では今一步突っ込んだ検討が望まれる。
- 処理可能なアスベストの種類など適用可能な条件については、今後とも慎重に判断頂きたいです。実証試験レベルで（甘い評価を排して）実績がみられたとしても現場レベルでは予期せぬ状況も生まれますので、実用化に向けてはより慎重に願います。

〈その他の意見〉

- ・ 各課題を実施した技術開発主体は、それぞれの主体の有する技術とノウハウを活用して技術開発に至った状況ではあろうが、国費が投入された技術開発でもある。また、今後に於いて今回の技術開発により得られた成果を発展させての新しい技術開発が個別においても行われることが予想される。この点、それぞれの技術開発主体の資産も活用されてはいるが、国費投入があったことを勘案し、開発された技術を広く公開されることが望まれる。この技術の公開により、広く関連分野における成果の波及が併せて期される。
- ・ 日本の経済状況を考慮した場合、将来的には、1500℃での熔融処理法の10%以下の処理費用でアスベストを確実に分解無害化処理できる技術の開発を目指すことが重要である。

2. 個別テーマに関する評価結果

2. 1 アスベストを含む建材等の回収・除去の安全性及び信頼性等を確保する技術

1) 研究開発成果について

既存建物解体時のエレベータシャフト内のアスベスト処理、ならびに既存建物の改修時の躯体に塗布されたアスベスト処理を目標設定とした技術開発の両課題において、それぞれに目標とした安全で効率的な技術開発目標を達成する技術開発が行われている。アスベストの除去を、機械が最も得意とする単純作業の繰り返し除去と、複雑な場所での除去を手作業で行い、全体として高い作業効率を担保するコンセプトは理に適っており、さらに人力による除去・回収では高コストになるだけでなく作業員に対するリスクもあることから評価できる。

しかしながら、現場での実証試験が2～3回であり、ロボットの製品規格や安全性等をどのように管理していくのか、さらにロボットの耐久性等が現段階では明確になっていない。今後、現場での実証試験を繰り返し実施することにより、実用化のためのロボット製品規格や安全性等を検討するための多くのパラメーターを詳細に把握することが必要である。

また、機械の遠隔操縦では大幅な速度増加は望めないと判断され、かつ必ず作業員が必要になるので、自律走行などを取り入れ、さらなる省力化を目指すべきと考える。

〈肯定的意見〉

- 人力による除去・回収では高コストになるだけでなく作業員に対するリスクもあるので、成果の意義は大きいとみられます。是非現場への適用をお願いしたいです。省コスト化に対して率直な自己評価をされているが、この分野の困難さを表しているものでもあり、評価委員としてはこの点は却って評価したいと考えます。
- 成果は目標値をクリアしているようだった。論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているようだった。
- ・遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発
手作業だけでなく遠隔操作ロボットにより安全かつ効率的にアスベスト除去回収を実現するというコンセプトは、過酷な労働状況の改善及び処理の効率化において開発目標を概ね達成している。
エレベーターシャフト用ロボットは、手作業での処理が難しいエレベーターシャフト内での吹付けアスベストを除去できる革新的なアスベスト除去処理技術であり、実用化された場合、市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できる。
知的財産権の取得及び成果の普及は、活発に行われている。

・高性能アスベスト剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボットの開発
手作業だけでなく遠隔操作ロボットにより安全かつ効率的にアスベスト除去回収を実現するというコンセプトは、過酷な労働状況の改善及び処理の効率化において非常に評価できる。

コンパクトな吹付けアスベスト剥離ロボットであることから、実用化された場合、その汎用性は高いものと考えられ、市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できる。

知的財産権の取得及び成果の普及は、活発に行われている。

- 人手によるアスベスト除去は、過酷で危険な作業であり、ロボット活用の主要な領域である。汎用性もあると考える。
- [革新的アスベスト除去ロボット]
 - (1)目的の達成度：設定した目標は達成していると評価する。
 - (2)成果の意義：成果は汎用性が高く、他の競合技術と比較して優位性が認められる。
 - (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組：特許の出願件数も評価できる。
 - (4)成果の普及：学会論文発表、メディア等への広報等、広く情報発信している。

[剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボット]

- (1)目的の達成度：開発計画時に設定した目標を達成している。
- (2)成果の意義：技術開発におけるコンセプトは、安全・安心に関する他分野の技術開発に広く応用できるものと評価する。
- (4)成果の普及活動は適切に実施されていると評価する。

- 開発した技術の限界を明らかにし、今回開発技術が行える回収・処理の範囲を明示した条件を伴っての技術開発として、得られた成果は目標レベルを満たしていると判断される。今回の“既存建物解体時のエレベータシャフト内のアスベスト処理”を目標設定とした技術開発、ならびに“既存建物の改修時の躯体に塗布されたアスベスト処理”を目標設定とした技術開発の両課題において、それぞれに目標とした安全で効率的な技術開発目標を達成する技術開発が行われている。
- アスベストの除去を全て機械に実施させるのではなく、機械が最も得意とする単純作業の繰り返しは除去装置の能力を増大させ、一気に除去して作業効率を上げ、逆に機械が不得手とする複雑な場所での除去作業は最終的に人間が手作業で行い、全体として高い作業効率を担保しようというコンセプトは理に適っており評価できる。一定範囲のアスベスト除去作業については、具体的な数値目標をクリアした極めて優れた成果が得られていると判断できる。成果の公表も非常に積極的である。

〈問題点・改善すべき点〉

- フィールドテスト回数が少なく、マシンの耐久性など追及すべき課題はまだあるのではないかと考える。
- 一定範囲のアスベスト除去作業については、目標値をクリアする成果が得られているが、例えば建物全体の場合については、作業効率が手作業に比べてどの程度になるのか明確ではない。除去時の粉塵も多少見られるので、如何に粉塵の量をゼロに近づけて行くかが課題であると思われる。またロボットの移動は遠隔操作によっているが、一般に機械の遠隔操縦では大幅な速度増加は望めないと判断され、かつ必ず作業員が必要になるので、自律走行などを取り入れ、さらなる省力化を目指すべきと考える。
- 本課題は、2つの課題より構成されているが、2つの課題間で独自に別個に取り扱うべき事項と共通的に取り扱われる事項の整理が行われるべきである。2つの課題の独自性、共通性を共有することにより、アスベスト除去後の回収過程においては共通に技術開発を行うことができた、より効率的に技術開発を行うことができたのではと判断される。
- ・ロボットの製品規格や安全性等をどのように管理していくのかについて現段階では全く明確になっていない。これらに関しては、アスベスト除去ロボットに関する技術協会等を設立するご意向であるが、具体性に欠けており、実現までにはかなりの時間がかかるものと考えられる。本ロボットを用いた現場での実証実験回数は、2～3回であり、商品化のための製品規格や安全性等を検討するための多くのパラメーターを詳細に設定していく上においては、少なすぎるものと考えられる。
・本ロボットは、著しく発塵性の高い吹き付けアスベストを削り取り剥離して回収する装置である。また、減容化のために細かく破碎する工程を含んでいる。吹き付けアスベスト剥離処理における省人化が可能とされ、過酷な労働作業の効率化を考慮した場合、初期段階の吹き付けアスベスト剥離には有効であると考えられる。しかしながら、ロボットでの回収処理には限界があり、ロボット使用後に人手が必要とされる時点で作業者のリスクが低減したとはいえない。アスベスト毒性発現メカニズムは、ほとんど解明されておらず、過去において、ごく短期間にわずかな量のアスベストを吸引した場合でも中皮腫を発症したケースもあり、アスベストとの接触回数や吸引量の多さに比例して危険性が高いという訳ではない。安全性を考慮する場合、このアスベストの非常に特異的な毒性発現状況を把握した上での研究開発を実施する必要がある。
・水ミストをかけて飛散を防ぎながら削り取り剥離を実施しているとはいえ、飛散したアスベストは、ナノサイズの針状結晶であり、処理時の飛散

性については、剥離及び破碎処理周辺のナノサイズ結晶の有無を電子顕微鏡や X 線結晶回折により詳細に確認する必要がある。今回のご報告では、これらの結果が全く示されておらず、飛散の可能性を否定できない。この飛散については、大気中の測定だけではなく、飛散後、周辺に付着したアスベスト結晶を含んでいる。いずれにせよ、2~3回の現場での実証試験では、実用化のための飛散についての綿密な結果を得ることは難しいものと考えられる。

・人の手で剥離回収する場合は、飛散しないような固化処理を行いながら丁寧に剥離するが、ロボットの場合は、機械的に掻き取りながら剥離されるため、剥離及び破碎処理周辺への飛散が懸念される。飛散量がわずかだったとしても、アスベストのナノサイズ結晶が飛散した現場に人が入った場合、上記で示したアスベスト毒性の特異的性質から見て、作業員の安全性がロボット使用後に明らかに向上していると判断することは現段階では難しい。

・実用化という目標達成までには多くの課題が残存しており、課題解決の方針は、現段階で完全に明瞭であるとはいえない。

- 成果の意義を検証できない。例えば、成果が①世界初あるいは世界最高水準か、②汎用性があるか、③他の競合技術と比較して優位性があるかなどといった成果の意義が客観的に評価されていないので、検証が必要。
- [剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボット]
(3) 知的財産権等の取得及び標準化の取組:今後の課題として、国際特許、世界標準に向けた取組を推進すべきと考える。
- 受賞実績について、別技術で取得されたものであれば訂正頂きたい。

〈その他の意見〉

- ・ 既存建物の改修時を想定した躯体のアスベスト処理技術は、既存建物の解体時にも新たな技術開発を伴う必要が無く適用されるであろう。一方、既存建物の解体時を想定したエレベータシャフト内のアスベスト処理技術は、既存建物の改修時にそのままの技術として適用されるかを検討し、それを明示することが望ましい。その検討により、アスベスト処理に関して技術開発に漏れ（技術開発の空欄）が無く、アスベスト回収と処理技術が必要な needs に全ての点で応えているかが確認できる。

また、この“回収・処理等技術開発”においては、後段のアスベストを既存部分より除去した後の回収の技術については、後出“無害化・再資源化技術開発”において開発された技術の応用も考えられる。本技術開発課題全体に於いて安全で、より効率的な技術開発をはかることが望ましい。

- ・ 適用が困難な現場も多いと考えられるので、適用範囲や限界も明示頂きたいです。

2) 実用化、事業化の見通しに関する評価

開発技術は、実用化技術の領域にあり、既に産業技術として対応可能までの技術開発が行われていると判断できる。機械が得意な部分の除去は機械で除去作業を行い、複雑形状の箇所は手作業で行うなど適用箇所の見極めはできていると判断でき、近い将来、ロボット性能の最適化、産業ロボットとしての製品規格や安全性等が確立された場合は、関連分野（土木建築分野、環境分野等）への波及効果は大きい。

しかし、実作業に当たる場合には、人手作業によらざるを得ない回収が困難な部位におけるアスベスト回収に対する作業安全性の評価と作業コストの評価は避けられないため、開発技術を実際事例に適用を図り、事例を重ねることによって開発技術の安全性と効率性の両面からの優位性を実証することが望まれる。

〈肯定的意見〉

- 実用化に向けて課題が明確になっているようだった。課題解決の方針が明確になっているようだった。
- 機械が得意な部分の除去は機械で除去作業を行い、複雑形状の箇所は手作業で行うなど適用箇所の見極めはしっかりとできていると判断できる。機械を用いて全ての作業を自動あるいは遠隔操作で行おうとすると、手作業の5倍と言った高い作業効率の実現は不可能と考えられるが、機械・人間の特徴を捉えた除去作業計画を構築しており、かつティーチングを利用することにより実現性の高い技術開発になっていると考えられる。
- 本課題での2課題とも開発された技術の限界を明示しており、両課題とも明示された条件内での産業技術としての実用化は図られている。提案された開発技術は、実用化技術の領域にあり、既に産業技術として対応可能までの技術開発が行われていると判断される。
- [革新的アスベスト除去ロボット]
 - (1) 成果の実用化可能性：開発したロボットをリース展開するというビジネスモデルは適切といえる。
 - (2) 事業化までのシナリオ：同上
 - (3) 波及効果：ビジネスモデルとしての波及効果は期待できる。
- [剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボット]
 - (1) 成果の実用化可能性：実用化の可能性は、国内外を含めて高いといえる。
 - (2) 事業化までのシナリオ：実用化のシナリオは明確であると評価する。
 - (3) 波及効果：研究開発のコンセプト、手法は他の技術分野への応用が可能であり、その観点での波及効果は期待できる。
- 汎用ロボットを利用しており、実用化は十分可能であると考ええる。

- 遠隔操作ロボットにより安全かつ効率的にアスベスト除去回収できる産業技術は、従来、開発例が無く、近い将来、ロボット性能の最適化、産業ロボットとしての製品規格や安全性等が確立された場合は、関連分野（土木建築分野、環境分野等）への波及効果は多大に期待できる。また、その市場規模は、膨大であり、多大な経済効果をもたらす可能性がある。

〈問題点・改善すべき点〉

- 事業化については、フィールドテストに制約がある現状ではやや疑問が残る。
- アスベスト回収が可能な処理範囲が明確化されている点においては、実用化に直結する技術開発成果が得られていると判断されるが、実作業に当たる場合には、人手作業によらざるを得ない回収が困難な部位におけるアスベスト回収に対する作業安全性の評価と作業コストの評価は避けられない。これには、幾つかの実施例（ケーススタディ）が必要となると考えられるが、その事例数に件数を欠いているのが実情である。開発主体は、開発技術を実際事例に適用を図り、事例を重ねることによって開発技術の安全性と効率性の両面からの優位性を実証することが望まれる。
- 研究者の立場では、実用化に向けて課題が明確になっていたり、課題解決の方針が明確になっていたりしているようだが、NEDO もしくは第三者機関による検証ではないので、課題が妥当なのかが分からない。NEDO もしくは第三者機関が研究内容を精査し、必要に応じて課題や問題点を提言し、研究者や関係行政等に対応を求めた方が良いのではないか。
- 除去されたアスベストを回収して袋詰めする際に、一旦手作業が入るのはシステムとして好ましくなく、今後の改善に期待したい。
- 実用化に向けてロボットの製品規格や安全性等をどのように管理していくのか全く明確になっていない。

本ロボットを用いた現場での実証実験回数が、2～3回であり、実用化のための製品規格や安全性等を検討するための多くのパラメーターを綿密に設定していく上においては少なすぎるものと考えられる。

プロジェクト終了後から事業化までの道筋は、上記の理由からも完全に明確になっているとはいえない。従って、現段階で関連分野への詳細な波及効果を考察することはできない。

〈その他の意見〉

- ・ 今回の技術開発において形成された技術ネットワークを介し、別課題の“無害化・再資源化技術開発”で実施された成果とのコラボレーションを図る

などして、より安全、効率的な技術の実用化に取り組むことが望まれる。

- [剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボット]
(2) 事業化までのシナリオ：当該技術の事業化には、安全・安心を確保しつつ、合理的なコストダウンが今後の課題といえる。
- 人力やオペレータによる作業がどうしても少なからず残るために、省コストがさほど進まないことを理解しました。現場でこのようなコストが受け入れられるようにするために、国などが必要な施策を事業者からも提案頂ければと存じます。

3) 今後に対する提言

実際建物への適用事例を積み重ねることにより、本提案技術が不可欠とする人的作業に頼る範囲を明確化するとともに、その作業量の減少につながる新たな技術開発シーズの提案・提示に進むことが望まれる。さらに、早期の実用化に向けて、ロボット性能の最適化、産業ロボットとしての製品規格や安全性等を管理する仕組みを早急に確立することが必要である。そのためには、アスベスト除去事業者が過度の負担なく本技術を利用できるよう、2つの事業者が連携をしっかりとって頂きたい。

今後、機械と人間の協同作業によるアスベスト高効率除去システムの確立を目指して欲しい。また、地図情報を基に広い範囲のティーチングを一気に行い、単純な移動経路であれば機械が自律移動して広範囲を自動除去できるシステムの開発が望まれる。

〈今後に対する提言〉

- 早期の実用化に向けて、ロボット性能の最適化、産業ロボットとしての製品規格や安全性等を管理する仕組みを早急に確立することを望む。
現場での実証試験を繰り返し実施していただくことにより、実用化のためのロボット製品規格や安全性等を検討するための多くのパラメーターを詳細に把握することができるものと考えられる。これらの結果により、ロボット使用に対する受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）からの信頼を確実なものにすることができると思われる。
- 上述したよう、開発技術の実際建物への適用事例を積み重ねることにより、今回提案技術が不可欠とする人的作業に頼る範囲を明確化するとともに、その作業量の減少につながる新たな技術開発 seeds の提案・提示につながる実用化に進むことが望まれる。
- 建設会社として、自社プロジェクトで積極的にテストを行なうことで事業化の道を探って欲しい。移動式ロボットなので、実用化に当たっては、安全を十分考慮して欲しい。
- 機械と人間の協同作業によるアスベスト高効率除去システムの確立を目指して欲しい。また地図情報を基に広い範囲のティーチングを一気に行い、単純な移動経路であれば機械が自律移動して広範囲を自動除去できるシステムの開発が望まれる。まずは、今回の成果を実用化に持っていき、さらに近未来の技術としては、作業員がモニターを見ながら手を動かすと、それと同じ動作を機械が追従して複雑箇所のアスベストを除去するようなシステムの構築が期待される。このシステムが実現できれば、作業員の負担軽減や安全確保にさらに貢献できる。ただし、人の動きと機械の動きに大きなタイムラグが発生すると、極めて使い難いシステムになってしまうので、如何にタイムラグを無くすかが課題である。

- ・ 2つの事業者が協力してより効率的に技術の普及を図って頂きたい。また、適切なアスベスト除去事業者が過度の負担なく本技術を利用できるよう、連携をしっかりとって頂きたいです。かつて吹付けアスベストを施工された事業者として、本技術の適用だけでなく、対象建築物や施工箇所などの公表を含めて、より積極的に社会に貢献頂きたい。
- ・ [革新的アスベスト除去ロボット]
アスベスト除去作業における粉塵の飛散防止は、作業者の健康障害に係わる重要事項であることから、世界標準への押し上げ推進に期待したい。
[剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボット]
アスベスト含有建材の除去・回収・処理技術における安心・安全は、世界共通の課題であることから、世界的な戦略展開の推進を期待している。

〈その他の意見〉

- ・ 本課題での2課題において開発された技術の相互の技術交換（例えば、除去するさいのブラシ、除去に係わるロボットの選定の考え方、その性能等）を図り、それぞれの開発技術の一層の成熟を図ることが望ましい。
- ・ 80%を機械で、20%を手作業で除去した場合の作業員の負担軽減の程度を、ヒアリングなどを通して定量的に把握しておいた方がいいのではないか。粉塵発生抑制や床に落ちたアスベストの効果的な回収技術などにも取り組んで欲しい。

2. 2アスベスト含有廃棄物の無害化処理又は再資源化段階における安全性、 効率性に優れた技術

1) 研究開発成果について

オンサイト処理、低温過熱蒸気による無害化処理、マイクロ波加熱による無害化処理及び低温熔融無害化処理の4課題において、それぞれに設定した目標を達成しており、実用化の技術の開発につながる成果は得られたと判断される。特に、オンサイト・移動式の無害化装置は、原位置でアスベストを無害化処理できる上、環境大臣認定を取得して実用化に成功した状況であり、一定の実績を上げられたことは評価できる。

また、本プロジェクトに参加された事業者で、かつてアスベスト含有製品を製造・使用され、事業者責任を認識して技術開発に取り組まれたことを高く評価する。

しかし、低温での処理を行うのであれば、それだけ無害化処理の根拠について十分な説明が要求される。アスベストから脱水反応が進めばアスベストではないという考え方で技術開発に取り組むのは危険であり、繊維状フォスフェイトも含めて無害化処理の評価は容易ではなく、TEMによる検定方法が追加された意義を認識して、目標設定と事業実施を進めて頂きたい。

さらに、無害化処理した後の生成物の再資源化については、十分な成果が得られているとは言い難い。今後、関係機関との協議により、法規制の緩和なども含めて再資源化システムの構築をお願いしたい。

〈肯定的意見〉

- 「アスベスト含有建材等回収・処理等技術開発」が必要な時によりタイミングで実施されたものと考えます。アスベストの分析方法改訂や、無害化処理に係るTEMを用いた検討方法の導入にも対応されたことを評価します。

オンサイト・移動式無害化処理などの技術開発において、一定の実績を上げられたことを評価致します。

本プロジェクトに参加された事業者の中には、かつてアスベスト含有製品を製造・使用され、事業者責任を認識して技術開発に取り組まれた事業者もありますことを高く評価します。

- 本課題中の4課題において、それぞれに設定した目標を達成しており、実用化の技術の開発につながる成果は得られたと判断される。
- [オンサイト処理]
 - (1)目的の達成度：飛散抑制、低温熔融、処理システムの車両搭載において設定した目標に到達していると評価する。
 - (2)成果の意義：他の競合技術と比較して優位性が認められる。
 - (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組：特許の出願件数は評価できる。

[低温過熱蒸気]

- (1)目的の達成度：設定した目標に到達していると評価できる
- (2)成果の意義：技術として世界最高水準とは言い難いが、汎用性の高さについては世界最高水準級と評価できる。
- (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組：特許出願数は評価できる。
- (4)成果の普及：積極的に成果を公表し、普及に努めている。

[マイクロ波加熱無害化]

- (1)目的の達成度：マイクロ波の活用でアスベストの結晶構造を破壊し、低コストで安全に無害化処理を可能にする目標を達成していると評価する。
- (2)成果の意義：アスベスト含有建材として最も処理量の多いスレート製品の無害化技術として、本成果は汎用性が高くかつ他の競合技術と比較して優位性があると評価する。
- (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組：出願中の特許は、本プロジェクトの根幹をなすものと評価する。

○ 技術的には優れた成果をあげていると考える。

○ オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発

- ・ アルカリ融剤の存在下、1050℃での高温加熱によりアスベスト含有保温材を溶融処理する装置であり、トレーラーに設置可能なオンサイトでの処理に対応したこれまでに無い革新的な処理技術である。
- ・ 無害化については、環境大臣認定を取得しており実用化に成功した状況であり、成果は目標値をクリアしている。
- ・ アスベスト含有保温材に特化した無害化処理技術であるが、保温材処理の市場は、大きく、今後の改善により保温材以外のアスベスト含有廃棄物の処理も実施できる可能性があり、新たな市場の創造と拡大につながることを期待できる。
- ・ 知的財産権の取得及び成果の普及は、活発に行われている。

低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発

- ・ アスベスト含有建材を 950℃の過熱水蒸気で処理することにより無害化する従来に無い新しい処理技術である。成果は、概ね目標値をクリアしている。本技術が実用化された場合、本成果は、市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できる。
- ・ 知的財産権の取得及び成果の普及は、活発に行われている。

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

- ・ アスベスト含有屋根材を約 1000℃でマイクロ波加熱することにより屋根材内部のアスベスト結晶構造を破壊し無害化する従来に無い新しい処理技術である。処理後の屋根材は、自社建材にリサイクル利用されることから資源化の方向性も明確である。成果は、概ね目標値を

クリアしている。本技術が実用化された場合、本成果は、市場の拡大
或いは市場の創造につながることを期待できる。

- ・ 知的財産権の取得及び成果の普及は、活発に行われている。

アスベスト低温溶融無害化・再資源化処理システムの開発

- ・ アスベスト含有吹付け材やアスベスト含有建材等をアスベスト汚染プラスチック製養生シートや防護服と一緒に、アルカリ溶融剤の存在下、ロータリーキルン方式の加熱炉で 750°Cの加熱により無害化する技術であり、最も低温で処理できる従来に無い新しい処理技術である。
- ・ プラスチック系アスベスト汚染物を加熱処理することにより得られる炭化水素ガスを燃料として用いることで省エネルギーおよび低コスト化を実現している。
- ・ 成果は、概ね目標値をクリアしている。本技術が実用化された場合、本成果は、市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できる。
- ・ 知的財産権の取得及び成果の普及は、活発に行われている。

- 各技術ともにアスベストの無害化は達成しており、安全性確保の意味では目標値をクリアしていると判断できる。オンサイト・移動式の無害化装置は、原位置でアスベストを無害化処理できる点で非常に優れている。再資源化にはまだ課題があるようであるが、無害化により安全性が確保できる成果は意義があり、今後、再資源化リサイクルへと発展が期待できる。
- 成果は目標値をクリアしているようだった。論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているようだった。

〈問題点・改善すべき点〉

- アスベストを含む材の再資源化に当たっては、今後の新たに得られる知見によって再度に負の遺産とならないことを十分に確認した上での技術となることを再確認しておくことが必要である。
- アスベスト問題の重要性や社会の関心を十分認識しないまま、技術開発に取り組んでいる事業者があることを残念に思います。アスベストから脱水反応が進めばアスベストではないという考え方で技術開発に取り組むのは危険であり、繊維状フォーステライトも含めて無害化処理の評価は容易ではなく、TEMによる検定方法が追加された意義を認識して、慎重に再検討下さい。低温での処理を行うのであれば、それだけ無害化処理の根拠について十分な説明が要求されることをよく認識して、目標設定と事業実施を進めて頂きたいです。

アスベストの種類によっても融点が異なりますし、技術開発している処理条件も異なります。開発された技術が万能でないことを謙虚に受け止め、処理の適用範囲、限界、根拠などについて、透明性をもって明示頂きたいです。

報告書や十分な根拠が明示されないまま、目標達成の自己評価をなされているものが多いことに違和感を覚えます。特に、無害化処理については、TEM も用いた安全側の評価が求められているにもかかわらず、その根拠を十分示されないまま「達成」とされている事業が見られることには疑問を感じます。

廃棄物資源循環学会研究発表会での発表など、査読付き論文でないものをそのように示すのは訂正して下さい。

● オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発

- ・ 処理費用に関しては、処理費用だけで1トンあたり200,000～300,000円であり、1500℃での熔融処理方法と比較すると約25%の低コスト化であるが、装置のメンテナンス等の費用もかかることを含めると未だ高コストの処理方法であると考えられる。

低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発

- ・ 無害化処理後の建材中のアスベスト無害化状態が、今回の報告の結果だけで完全なものであるかどうか判断できない。処理後の建材中の多くの箇所についての X 線結晶回折や電子顕微鏡等による観察結果が必要である。また、アスベスト含有建材だけでなく、アスベスト全6種類を用いた処理実験により、全てのアスベストに対応できるかどうか検証することも重要である。
- ・ 1000℃以下の過熱処理方法であることから、一般に理解されるためには、無害化された確実な証拠を示すことが必要であると思われる。
- ・ 無害化の反応メカニズムが明確になっておらず、クリソタイルを炭酸カルシウム共存下で処理した後の生成物を一部示してはいるが、これらの生成物に毒性が無いかどうか示されていない。アスベストだけを本装置で処理した後の反応物を X 線結晶回折や電子顕微鏡等により観察することにより、詳細な反応メカニズムを把握することができると考えられる。

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

- ・ 無害化処理について、屋根材中のアスベスト無害化状態が、今回の報告の結果だけで完全なものであるかどうか判断することが難しい。さらに多くの処理実験条件で得られたサンプルを X 線結晶回折や電子顕微鏡等により観察することが必要であると考えられる。また、アスベスト含有建材だけでなく、アスベスト全6種類を用いた処理実験により、全てのアスベストに対応できるかどうか検証することも重要である。
- ・ 1000℃以下の加熱処理方法であり、また自社建材としてリサイクルされ新しく製品として販売されることから、一般に理解されるためには、無害化された確実な証拠を示すことが必要である。

- ・ 反応メカニズムとしては、屋根材中のカルシウム成分がマイクロ波を選択的に吸収し、そのエネルギーによりカルシウムと隣接するアスベスト結晶中の結晶水を脱離しフォルステライト等に変化させるということであるが、これらの新たな生成物が完全に無害であるかどうかについては明確になっていない。
- ・ アスベスト全6種類とカルシウム化合物（例えば、炭酸カルシウム等）の混合物を処理した後のX線結晶回折や電子顕微鏡観察等により、処理後、新しく生成した物質を同定し、その毒性の有無を検討することが重要である

アスベスト低温溶融無害化・再資源化処理システムの開発

- ・ 反応メカニズムが明確になっておらず、アスベストとアルカリ溶融剤だけの混合物を処理した後のX線結晶回折や電子顕微鏡観察等により、処理後、新しく生成した物質を同定することができるのではないかと考えられる。また、アスベスト含有廃棄物だけでなく、アスベスト全6種類を用いた処理実験により、全てのアスベストに対応できるかどうか検証することも重要である。
 - ・ 約750°Cでの加熱処理方法であることから、一般に理解されるためには、無害化された確実な証拠を示すことが必要である。
 - ・ 資源化については、完全に無害化された証拠があったとしても、風評被害等により、現段階で何らかの材料としての受け入れは難しいと考えられる。従って、資源化プロセスが構築されたと考えることはできない。
 - ・ 装置の価格が、実用型装置として約6億円であり、初期投資として高コストである。また、耐熱性ステンレス（SUS310S）で製作された加熱炉であるが、繰り返し使用による金属疲労等に対するメンテナンス費用を加えた場合、市場において実際に低コストであるかどうかの確実な保証はない。
- 成果の意義を検証できない。例えば、成果が①世界初あるいは世界最高水準か、②汎用性があるか、③他の競合技術と比較して優位性があるかなどといった成果の意義が客観的に評価されていないので、検証が必要。
 - 結果を評価するためのサンプリングの代表性は十分検討する必要がある。アスベストだけに100%の安心が求められるのではないだろうか。
 - [オンサイト処理]
- (4) 成果の普及：得られた成果のメディア等への情報発信は、十分といえるが、今後は展示会等への出展を積極的に行うべきと考える。
- [マイクロ波加熱無害化]
- (4) 得られた成果の内容に比較して、学術的な研究論文の数が少ない。論文等で成果をオーソライズすることを勧める。

〈その他の意見〉

- ・ アスベストの無害化は達成できているものの、無害化処理した後の生成物の再資源化については、十分な成果が得られているとは言い難い。再資源化の展望が見えているものもあるが、実際の再資源化までには至っていない。今後、関係機関との協議により、法規制の緩和なども含めて再資源化システムの構築をお願いしたい。
- ・ 本課題“無害化・再資源化技術の開発”は、“オンサイト処理”、“低温過熱蒸気による無害化処理”、“マイクロ波加熱による無害化処理”と“低温熔融無害化処理”の4課題より構成される。後者3課題は、それぞれに独自の処理方法を提案していると受けとめられ、提案の3手法のそれぞれの独自性、適用の対象の限界等の開発技術の特性を相互に関連づけて示すことが、今後の技術発展において望まれる。
- ・ [マイクロ波加熱無害化]
海外市場への進出も見据えたエビデンスの整備・蓄積を急いで欲しい。

2) 実用化、事業化の見通しについて

パイロット事業が実施されており、十分に成果の実用化ならびに事業化へ発展することが期される成果が得られている。特にオンサイトの無害化装置は非常に優れた成果であり、限界や適用範囲を明示すれば、実用化の可能性は高い。低温過熱蒸気による無害化処理、マイクロ波加熱による無害化処理及び低温溶解無害化処理については、近い将来、環境省大臣認定が取得できた場合、革新的な産業技術として、関連分野への波及効果は多大に期待できる。

但し、新しい産業技術として実用化する場合、各処理における詳細なアスベスト分解メカニズムを明確にすることが必要である。実証試験レベルで実績がみられたとしても現場レベルでは予期せぬ状況も生まれる可能性もあるので、実用化に向けては、処理可能なアスベストの種類など適用可能な条件についてより慎重に判断する必要がある。

また、処理後の廃棄物の再資源化については、完全に無害化された証拠があったとしても、風評被害等により、現段階では材料としての受け入れは難しいと考えられる。再資源化に対しては、受け入れ側が「100%安全である」と安心して受け入れられるシステム作りが必要である。

〈肯定的意見〉

- 実用化に向けて課題が明確になっているようだった。課題解決の方針が明確になっているようだった。
- 【オンサイト処理】
 - (1)成果の実用化可能性：実用化の可能性は大きいと評価する。
 - (3)波及効果：オンサイト・車両搭載方式というビジネスモデルは、他の分野においても応用可能といえる。
- 【低温過熱蒸気】
 - (1)成果の実用化可能性：また、汎用性が高い技術であることから、普及も期待できる。
 - (2)事業化までのシナリオ：導入シナリオは適切といえる。
 - (3)波及効果：技術的な波及効果は期待できる。
- 【マイクロ波加熱無害化】
 - (1)成果の実用化可能性：有害物の処理費としては低廉でありことから、実用化の可能性は大きいと判断する。
 - (2)事業化までのシナリオ：とりあえずの対象として、累積出荷量の多い住宅屋根用化粧スレートを選定していることは評価できる。
 - (3)波及効果：住宅解体等から発生するスレート系建材の処理・再資源化に寄与すると判断する。
- パイロット事業が実施されており、十分に成果の実用化ならびに事業化へ発展することが期される成果が得られている。

- オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発
 - ・ 無害化については、環境大臣認定を取得しており実用化に成功した状況であり、成果は目標値をクリアしている。
 - ・ オンサイト・移動式アスベスト無害化処理という独創的な産業技術として確立されており、プロジェクト終了後の事業化までの道筋は明確である。
 - ・ 本成果は、関連分野への大きな波及効果をもたらすことが期待できる。
- 低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発
 - ・ 近い将来、環境省大臣認定が取得できた場合は、革新的な産業技術として、関連分野への波及効果は多大に期待できる。また、その市場規模は、膨大であり、多大な経済効果をもたらす可能性がある。
- 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
 - ・ 近い将来、環境省大臣認定が取得できた場合は、革新的な産業技術として、関連分野への波及効果は多大に期待できる。また、その市場規模は、膨大であり、多大な経済効果をもたらす可能性がある。
- アスベスト低温溶融無害化・再資源化処理システムの開発
 - ・ 近い将来、環境省大臣認定が取得できた場合は、革新的な産業技術として、関連分野への波及効果は多大に期待できる。また、その市場規模は、膨大であり、多大な経済効果をもたらす可能性がある。
- 技術的に十分実用化できるレベルに到達していると考ええる。
- 無害化という点では優れた成果が得られており、技術としては実用化の可能性は大きいと判断する。特にオンサイトの無害化装置は非常に優れた成果であり、波及効果も大きいと考える。
- オンサイトでの処理技術については、限界や適用範囲を明示すれば、実用化の可能性は高いと存じます。

〈問題点・改善すべき点〉

- 4つの無害化処理技術が開発され、従来技術と比較して低い温度での処理が可能になったが、それでもなお処理コストはかなり高額になるのではないか。コスト削減が今後の課題と思われる。
- 処理可能なアスベストの種類など適用可能な条件については、今後とも慎重に判断頂きたいです。実証試験レベルで（甘い評価を排して）実績がみられたとしても現場レベルでは予期せぬ状況も生まれますので、実用化に向けてはより慎重に願います。
- [オンサイト処理]
 - (2) 事業化までのシナリオ：発表時の資料からのみ判断すると、説明不足の感が否めず、事業化までのシナリオに明確さが欠ける。
- 研究者の立場では、実用化に向けて課題が明確になっていたり、課題解

決の方針が明確になっていたりしているようだが、NEDO もしくは第三者機関による検証ではないので、課題が妥当なのかが分からない。NEDO もしくは第三者機関が研究内容を精査し、必要に応じて課題や問題点を提言し、研究者や関係行政等に対応を求めた方が良いのではないかと考える。

- 事業化を後押しする権威ある認定等が必要となるのではないかと考える。
- オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発

- ・ 処理後の廃棄物の資源化については、埋立て処理をせざるを得ない現状であり、経済効果を考慮した場合の解決すべき課題である。

低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発

- ・ 新しい産業技術として実用化する場合、本処理による詳細なアスベスト分解メカニズムを示す必要があるが、現段階では明確になっていない。
- ・ 資源化については、完全に無害化された証拠があったとしても、風評被害等により、セメント会社側からのご意見として、現段階でセメント原料としての受け入れは難しい。また、セメント原料として資源化できたとしても、セメント原料としてセメント会社に引き取ってもらう際に費用が発生する。従って、現段階では、実用化に向けたセメント生産プロセスが構築されているといえない。

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

- ・ 反応メカニズムとしては、屋根材中のカルシウム成分がマイクロ波を選択的に吸収し、そのエネルギーによりカルシウムと隣接するアスベスト結晶中の結晶水を脱離しフォルステライト等に変化させるということであるが、これらの新たな生成物が完全に無害であるかどうかについては明確になっておらず、新しい産業技術として実用化する場合、処理後の生成物の毒性の有無を明らかにすることが重要である。

アスベスト低温熔融無害化・再資源化処理システムの開発

- ・ 新しい産業技術として実用化する場合、本処理による詳細なアスベスト分解メカニズムを示す必要があるが、現段階では明確になっていない。
 - ・ 処理後の廃棄物の資源化については、完全に無害化された証拠があったとしても、風評被害等により、現段階で何らかの材料としての受け入れは難しいと考えられる。従って、資源化プロセスが構築されたと考えることはできない。
- 本研究開発で実施された“オンサイト処理”は、他 3 課題の処理技術と有機的な関連性を踏まえて実用化に当たっては技術展開を図ることが望まれる。さらに無害化処理法において差異を有する処理技術に係わる 3 課題については、オンサイト処理に対する需要が存在することを理解し、オンサイト処理に当たっての技術改良を試みることを望まれる。

〈その他の意見〉

- ・ 本研究開発で実施された“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”で行われたロボットによる回収・除去技術と技術融合（コラボレーション）を図ることにより、より市場性を高めた実用化を図る技術開発につなげることを期待する。

3) 今後に対する提言

本技術開発で提案されている無害化処理にはそれぞれに特質があり、有効な適用範囲においても独自性があるものと考えられるので、自ら提案の処理法について適用範囲等の限界を明示し、今後の技術開発に当たっての研究シーズを提示することが望まれる。また、既に環境省大臣認定を取得したオンサイト・移動式アスベスト無害化装置の開発以外の技術については、今後環境省大臣認定を取得し、早期の実用化に向けた取り組みを実施することが重要である。

個別の技術は優れていると考えられるので、今後、ロボットによる回収・除去技術と技術融合（コラボレーション）を図ることにより、より市場性を高めた実用化を図る技術開発につなげることを期待する。

〈今後に対する提言〉

- 個別の技術は非常に優れていると考えられるので、どのようにアスベスト建材を回収し、どのような形状で受け入れ、処理し、そしてリサイクルしていくのか、その一連のシステム作りが期待される。そして更なるコストダウンを目指して頂きたい。
- オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発以外の技術については、環境省大臣認定を取得し、早期の実用化に向けた取り組みを実施することが重要である。
アスベスト分解無害化処理については、その詳細な反応メカニズムや処理後の生成物の毒性の有無を明確に把握することが実用化において重要である。
処理後の廃棄物の資源化における課題については、その課題解決の方針を明確にすることが必要であり、本課題解決により処理コストの大きな低減化が見込まれる。
- 本技術開発で提案されている“低温過熱蒸気による無害化処理”、“マイクロ波加熱による無害化処理”と“低温溶融無害化処理”にはそれぞれに特質があり、また有効な適用範囲においても独自性があるものと考えられる。技術開発にあたった各機関においては、自ら提案の処理法について適用の範囲等の限界を明示し、今後の技術開発に当たっての研究 seeds を提示することが望まれる。
- 発生現地での無害化の追求と最終処分法とリンクした技術開発が必要と考える。

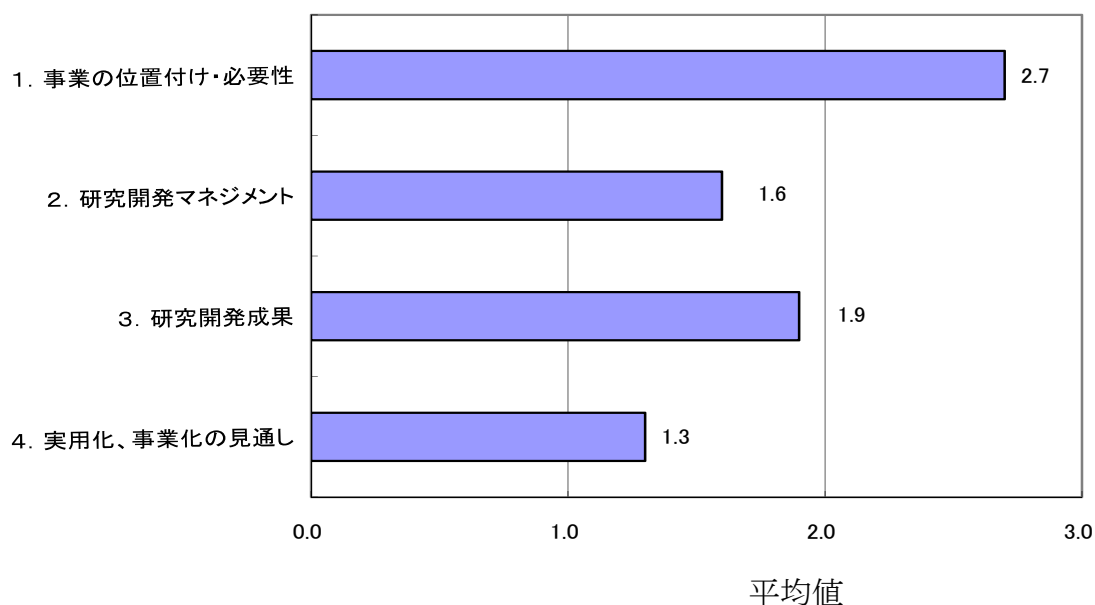
〈その他の意見〉

- 地雷処理では、「この土地は 99%大丈夫です」と言っても、残り 1%の不安要素がある限り住民はその土地に足を踏み入れない。アスベストに関しては、無害化処理できても 100%安全であるという保証が無い限り、リサイ

クルの大幅な進展は期待できないのではないかとと思われる。再資源化に対しては、受け入れ側が「100%安全である」と安心して受け入れられるシステム作りが必要と思われる。

- ・ 本研究開発で実施された“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”で行われたロボットによる回収・除去技術と技術融合（コラボレーション）を図ることにより、より市場性を高めた実用化を図る技術開発につなげることを期待する。

評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素点 (注)							
1. 事業の位置付け・必要性について	2.7	A	A	A	A	A	B	B	
2. 研究開発マネジメントについて	1.6	B	A	C	B	D	C	B	
3. 研究開発成果について	1.9	B	A	B	B	C	C	B	
4. 実用化、事業化の見通しについて	1.3	C	B	B	C	D	C	B	

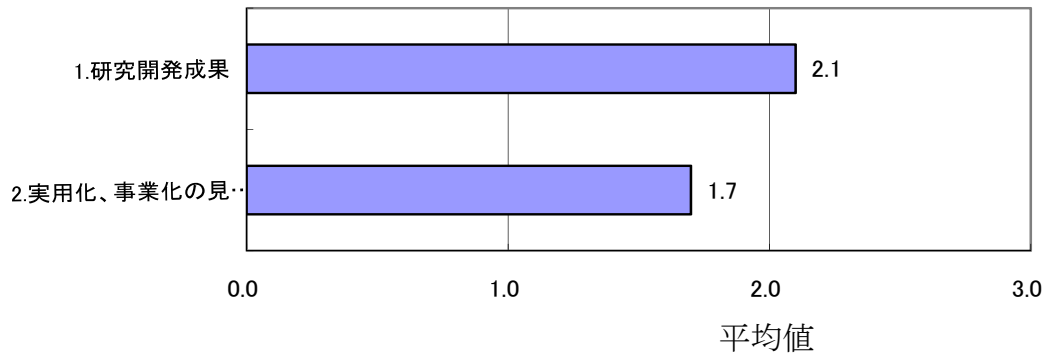
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

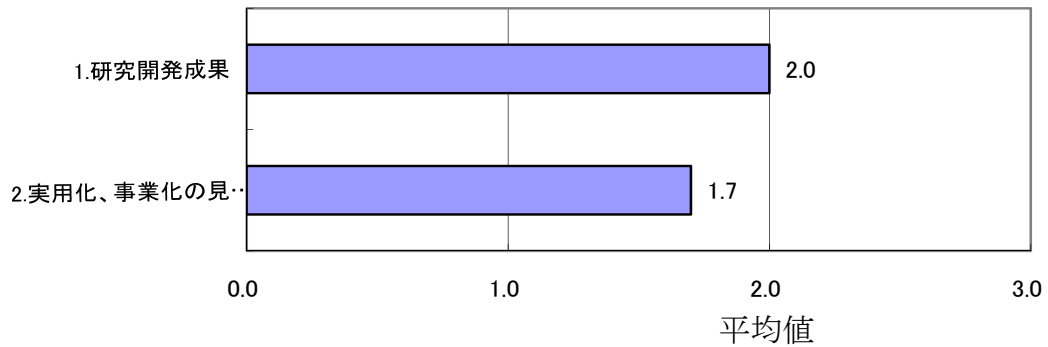
- | | |
|--------------------|--------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について |
| ・非常に重要 →A | ・非常によい →A |
| ・重要 →B | ・よい →B |
| ・概ね妥当 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・妥当性がない、又は失われた →D | ・妥当とはいえない →D |
| 2. 研究開発マネジメントについて | 4. 実用化、事業化の見通しについて |
| ・非常によい →A | ・明確 →A |
| ・よい →B | ・妥当 →B |
| ・概ね適切 →C | ・概ね妥当であるが、課題あり →C |
| ・適切とはいえない →D | ・見通しが不明 →D |

評点結果〔個別テーマ〕

アスベストを含む建材等の回収・除去の安全性及び信頼性等を確保する技術



アスベスト含有廃棄物の無害化処理又は再資源化段階における安全性、効率性に優れた技術



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点 (注)							
アスベストを含む建材等の回収・除去の安全性及び信頼性等を確保する技術									
1. 研究開発成果について	2.1	C	A	A	A	B	C	B	
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.7	D	A	B	B	B	C	B	
アスベスト含有廃棄物の無害化処理又は再資源化段階における安全性、効率性に優れた技術									
1. 研究開発成果について	2.0	B	A	B	B	C	B	B	
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.7	B	B	B	C	C	B	B	

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

- | | |
|---------------|--------------------|
| 1. 研究開発成果について | 2. 実用化、事業化の見通しについて |
| ・非常によい | →A ・明確 |
| ・よい | →B ・妥当 |
| ・概ね適切 | →C ・概ね妥当であるが、課題あり |
| ・適切とはいえない | →D ・見通しが不明 |

第2章 評価対象プロジェクト

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「アスベスト含有建材等安全回収・
処理等技術開発プロジェクト」
(事後評価)第1回分科会
資料5

「アスベスト含有建材等安全回収・処理等 技術開発プロジェクト」

事業原簿(公開)

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 バイオテクノロジー・医療技術開発部 平成18年8月1日より環境技術開発部 平成22年7月1日より環境部
-----	--

—目次—

概要.....	A-1
プロジェクト用語集.....	B-1
I. 事業の位置付け・必要性について	
1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性.....	I-1
1.1 NEDOが関与することの意義.....	I-1
1.2 実施の効果(費用対効果).....	I-5
2. 事業の背景・目的・位置づけ.....	I-6
II. 研究開発マネジメントについて	
1. 事業の目標.....	II-1
2. 事業の計画内容.....	II-2
2.1 研究開発の内容.....	II-2
2.2 研究開発の実施体制.....	II-7
2.3 研究の運営管理.....	II-8
2.4 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性.....	II-10
3. 情勢変化への対応.....	II-10
4. 評価に関する事項.....	II-11
III. 研究開発成果について	
1. 事業全体の成果.....	III-1-1
2. 研究開発項目毎の成果	
2.1 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	
2.1.1 遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発.....	III-2-1-1-1
2.1.2 高性能アスベスト剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボットの開発.....	III-2-1-2-1
2.2 アスベスト含有廃棄物の無害化・再資源化技術	
2.2.1 オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発.....	III-2-2-1-1
2.2.2 低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発.....	III-2-2-2-1
2.2.3 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.....	III-2-2-3-1
2.2.4 アスベスト低温溶融無害化・再資源化処理システムの開発.....	III-2-2-4-1
IV. 実用化、事業化の見通しについて	
1. 実用化、事業化の見通し.....	IV-1

(添付資料)

- ・環境安心イノベーションプログラム基本計画 ……添付資料1
(2009年度イノベーションプログラム基本計画から一部抜粋)

- ・化学物質総合評価管理分野技術戦略マップ ……添付資料2
(2009年度技術戦略マップから抜粋)

- ・プロジェクト基本計画 ……添付資料3

- ・事前評価関連資料 ……添付資料4
 - ・NEDO POST 2
 - ・パブリックコメント募集の結果
 - ・事前評価書

- ・特許、論文等リスト ……添付資料5

- ・関連省庁アスベスト対策等関連資料 ……添付資料6
 - ・内閣府(アスベスト問題に関する関係閣僚による会合)
 - ・経済産業省(アスベスト含有建材データベースの公表について)
 - ・環境省(パンフレット 私たちの環境とアスベスト)
 - ・厚生労働省(パンフレット 建築物の解体等の作業における石綿対策)
 - ・国土交通省(パンフレット 建築物のアスベスト対策)

概要

作成日 平成22年11月1日

プログラム（又は施策）名	環境安心イノベーションプログラム				
プロジェクト名	アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発	プロジェクト番号	P07025		
担当推進部/担当者	バイオテクノロジー・医療技術開発部 平成20年8月1日：環境技術開発部 （平成22年7月1日：環境部） 山下主任研究員、浅子主査、新原主査、井出本主査、弘田主査、畠山主査、新井主査、吉田主査				
0. 事業の概要	国内に存在するアスベスト含有建材等による健康被害のリスクを低減するために、(1)迅速で簡便、高精度なアスベストの検出技術、(2)アスベストを含む建材等の回収・除去現場におけるアスベストの飛散および暴露を最小化し、回収・除去の安全性および信頼性を確保する技術、(3)アスベスト含有廃棄物の無害化処理または再資源化段階における安全性、効率性にすぐれた技術を開発する。 (2)のアスベストを含む建材等の回収・除去については、昭和50年に原則禁止、平成2年に規制強化されるまで使用されていた吹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行った。 (3)のアスベスト含有廃棄物の無害化処理については、従来の飛散防止（セメント固化、二重梱包等）を施した上での埋立て又は1500℃以上の熔融による無害化によらない処理法として、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無害化処理技術の開発を実施した。 なお、(1)に関しては、プロジェクト期間内に実施の目処が立たなかったため、平成21年7月に基本計画を改定し開発目標から削除した。				
I. 事業の位置付け・必要性について	国内に存在する4,000万t以上にも達すると言われるアスベスト含有製品が、今後100万t以上/年排出される。アスベストによる健康被害リスクを回避・削減するため、(1)大量の対象物質の効率的な分析技術、(2)安全性の高い回収/除去技術、(3)処理場の逼迫を回避し、スムーズに最終処分を進めるための低コストで安全な無害化/再資源化技術が、緊急に必要とされる。 それぞれの技術の開発が緊急に確立される必要があることから、本事業は、実用化を強く志向する位置づけとする。 なお、前項に記載した状況のため、(1)分析技術開発の部分は実施していない。				
II. 研究開発マネジメントについて					
事業の計画内容	（単位：千円）				
	主な実施事項	H19fy	H20fy	H21fy	合計
	遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発	32,000	32,000	27,998	91,998
	高性能アスベスト剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボットの開発	31,994	31,762	-	63,756
	オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発	42,000	61,998	33,999	137,997
	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発	41,997	41,190	43,895	127,083
	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	39,988	36,170	-	76,159
	アスベスト低温熔融無害化・再資源化処理システムの開発	-	-	39,999	39,999

開発予算 (会計・勘定別に事業 費の実績額を記載) (単位：百万円)	会計・勘定	H19fy	H20fy	H21fy		総額
	一般会計	188	203	152		543
	特別会計 (電多・高度化・石油の別)	-	-	-		-
	総予算額	188	203	152		543
開発体制	経産省担当原課	製造産業局住宅産業窯業建材課				
	プロジェクトリーダー	大成建設 常務執行役員 河村 壮一 (事後評価時 参与 家田 高好) 竹中工務店 常務取締役 最上 公彦 (事後評価時 部長 林田 英俊) 北陸電力 常務執行役員 綿貫 攝 (平成 21 年 8 月に交代 常務取締役 荒井 行雄) (事後評価時 研究所長 堂谷 芳範) 戸田建設 執行役員 千葉 脩 (事後評価時 大旺新洋 技師長 金澤 正登) クボタ松下電工外装 常務取締役 富山 英雄 (事後評価時 取締役執行役員 金守 一郎) ストリートデザイン 代表取締役 坂本 佳次郎 ※個別研究開発項目毎に実施者からプロジェクトリーダー を選定の上、NEDO が全体のマネジメントを行った				
	委託先 (* 委託先が管理 法人の場合は参加企業数 も記載)	大成建設(株)、竹中工務店(株)、北陸電力(株)、大旺建設 (株)*1)及び戸田建設(株)、クボタ松下電工外装(株)*2)、(株) ストリートデザイン *1)大旺新洋(株)、*2)ケイミュー(株)へ社名変更				
情勢変化への対応	<ul style="list-style-type: none"> ・H20 年 2 月に、厚生労働省 基安化発第 0206003 号により、アスベストとして従来のクロシドライト、アモサイト、クリソタイトの 3 種に、アンソフィライト、トレモライト、アクチノライトを加えた 6 種を対象とする石綿障害予防規則の徹底化が通達されたことを受け、本プロジェクトでもアスベストとして、上記 6 種を対象とすることとした。 ・H20 年 6 月建材中のアスベストの分析手法を定めた JIS A1481:2006 が JIS A1481:2008 に改訂されたことを受け、本プロジェクトにおける建材中のアスベストの分析については、改訂後のプロトコルに従うこととした。 ・平成 21 年度に公募を実施し、アスベストの分析に関する提案があるも採択不可との判定になり、追加公募しても見込みがないと判断したため、分析技術の開発に関する項目を平成 21 年 7 月に基本計画から削除した。 ・平成 21 年度に入り、各プロジェクトの技術開発が進み、特許等による知財保護にも目処が立ち情報交換等が可能になったため、同年度の調査事業にて NEDO プロジェクトをモデルケースとした事業化の課題検討を実施し、実用化の促進を図った。 ・H21 年 12 月に環境対発第 091225001 により石綿含有一般廃棄物等の無害化等処理に係る石綿の測定方法及び無害化処理生成物等に係る電子顕微鏡を用いた石綿の測定方法が環境省から示されたため、本プロジェクトにおける無害化の判定には同方法を考慮することを、直ちに委託先に指示した。 					

<p>Ⅲ. 研究開発成果について</p>	<p>(1) 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</p> <p>(1)-①遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発 ビル等の解体工事時の使用を想定した、フロア一面（天井、壁）の除去作業用の自走機能付き遠隔操作ロボットとエレベータシャフト内の作業に対応したティーチングロボットによる除去システムを開発した。ロボット稼働時に、作業員は現場に入る必要がなく、人体の暴露リスクを大幅に低減できる。 模擬アスベストによる試験によりフロア一面での除去性能が人手の3～5倍、エレベータシャフト内でも人手の5倍程度を達成した。また、解体現場での実証試験にて廃棄アスベストの1/3への減容化を達成した。複雑な構造等でロボットによる除去には適さない部分もあるが剥離残りは20%以下である。今後、解体現場での除去工事の実証試験を積み重ね実用化を目指していく。</p> <p>(1)-②高性能アスベスト剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボットの開発 リニューアル工事への適用を想定し、遠隔操作式の台車に載せたロボットが、事前に作成したJOBに基づいて自動で剥離を行い、自動化に適さない部分に関しては、ジョイスティック式の遠隔操作も可能な除去システムを開発した。 現場での実証試験により、目標とする人手の4倍程度の除去性能に相当する能力を確認した。また、アスベストは回転ブラシにより粉体化すると同時に吸引され、サイクロンで集めて梱包することにより1/3への減容化も図れた。 ロボット導入による効果を試算し、実用化時は効率を考慮しジョイスティックによる除去ではなく10～20%は人手による仕上げを行うこととし、工期半減とコスト2割減を見込んでいる。今後、現場実証試験を積み重ね実用化を目指していく。</p> <p>(2) アスベスト含有廃棄物の無害化・再資源化技術</p> <p>(2)-①オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発 発電所、製鉄所、化学プラント等では、飛散性のアスベスト含有保温材が用いられており、今後の解体やリニューアルに伴い大量の廃棄物が発生する。そのような大規模工場での使用を想定し、誘導加熱方式の熔融（アルカリ融剤添加で1050℃以上）による移動可能なトレーラ積載の無害化装置を開発した。実証試験により、アスベストの無害化と安全性を確認し、平成22年10月14日に環境省の無害化認定処理に係わる大臣認定を取得した。</p> <p>(2)-②低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発 残存するアスベスト含有製品の9割以上を占める非飛散性の建材類を対象に、破碎等の前処理なしに、過熱蒸気を用いた950℃という比較的低温での無害化処理技術を開発した。セミバッチの半連続式パイロット装置により実証試験を行い、無害化の検証及び実用時の想定処理量の1/10以上の5トン/日の能力を確認した。 また、無害化後の処理物をセメントと混合し、性能に問題ないことを確認した。 環境省の無害化認定制度を取得し、事業化することを目指して、検討推進中である。</p> <p>(2)-③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 非飛散性の建材類を対象に、破碎等の前処理なしに、マイクロ波を活用した内部加熱によりアスベストの結晶構造を破壊する無害化処理設備を開発した。炉内温度が850℃程度という比較的低温で無害化処理できることを検証した。 また、無害化処理物が建材の原料として同社でリサイクル可能なことを確認した。 環境省の無害化認定制度を取得し、事業化することを目指して、検討推進中である。</p> <p>(2)-④アスベスト低温熔融無害化・再資源化処理システムの開発 解体現場等にて発生するアスベスト系廃棄物には、多量のプラスチック類（養生シート、保護具、袋等）も含まれており、処理費の増大を招いている。この廃棄物にアルカリ系の助剤を加えてキルン内で700～800℃にて熱処理することにより、アスベストを無害化し、同時にプラスチック類を熱分解し燃料（ガス、油）として回収する技術を開発した。パイロット設備での実証試験を行い、処理物の無害化の確認と回収した燃料及び排気ガス中にアスベストが含まれていないことを確認した。 環境省の無害化認定制度を取得し、事業化することを目指して、検討推進中である。</p>
----------------------	--

	投稿論文	論文30件、発表・講演33件、新聞雑誌掲載90件
	特許	「出願済」15件
IV. 実用化、事業化の見直しについて		<p>(1)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</p> <p>(1)-①遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発 現場での実証試験を積み上げ最適化を図るとともに、アスベスト処理業者及び機械装置リース業者との連携による実施体制を構築し、平成24年前後に実用化予定。但し、実証試験は施主等の理解が無くでは進まないため、調整を進めている。</p> <p>(1)-②高性能アスベスト剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボットの開発 現場での実証試験を積み上げ最適化を図るとともに、アスベスト剥離工事業者（下請け含む）及びロボットリース会社等からなる協会的な枠組みを構築し、平成24年頃に実用化予定。(1)-①同様に、現場実証試験の調整を進めている。</p> <p>(2)アスベスト含有廃棄物の無害化・再資源化技術</p> <p>(2)-①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22年10月14日に環境省の無害化認定処理に係わる大臣認定を取得し、同事業者の3ヶ所の発電所にて処理を実施予定。現状は、処理場所毎に環境アセスメント等が必要なため、同事業者での実績を踏まえて他社等への展開を目指す。</p> <p>(2)-②低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発 事業化に必要な無害化処理の大臣認定を取得すべく、申請の準備中。当該プロジェクトの実施者3社による事業化を計画しており、認定を取得の上、平成24年度内の事業化を目指している。</p> <p>(2)-③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 事業化に必要な無害化処理の大臣認定を取得すべく、処理技術に関して環境省に説明し、委員会での技術ヒアリングを受けている。並行して、建材等の収集ルートを検討中であり、平成23年度内に認定を申請して、平成24～25年度の事業開始を目指している。</p> <p>(2)-④アスベスト低温熔融無害化・再資源化処理システムの開発 事業化に必要な無害化処理の大臣認定を取得すべく、処理技術に関して環境省に説明中。並行して、事業の実施体制を構築中であり、平成23年度に認定を取得して、事業化を目指している。</p>
V. 評価に関する事項	事前評価	平成18年度実施 担当部 パイオテクノロジー・医療技術開発部
	中間評価以降	中間評価なし 平成22年度 事後評価実施
VI. 基本計画に関する事項	作成時期	平成19年3月 作成
	変更履歴	平成20年7月 変更（イノベーションプログラム基本計画制定に伴い、研究開発の目的の記載を改訂） 平成20年8月 変更（パイオテクノロジー・医療技術開発部から環境技術開発部移管により改訂） 平成21年7月 変更（研究開発項目の一部を削除改訂）

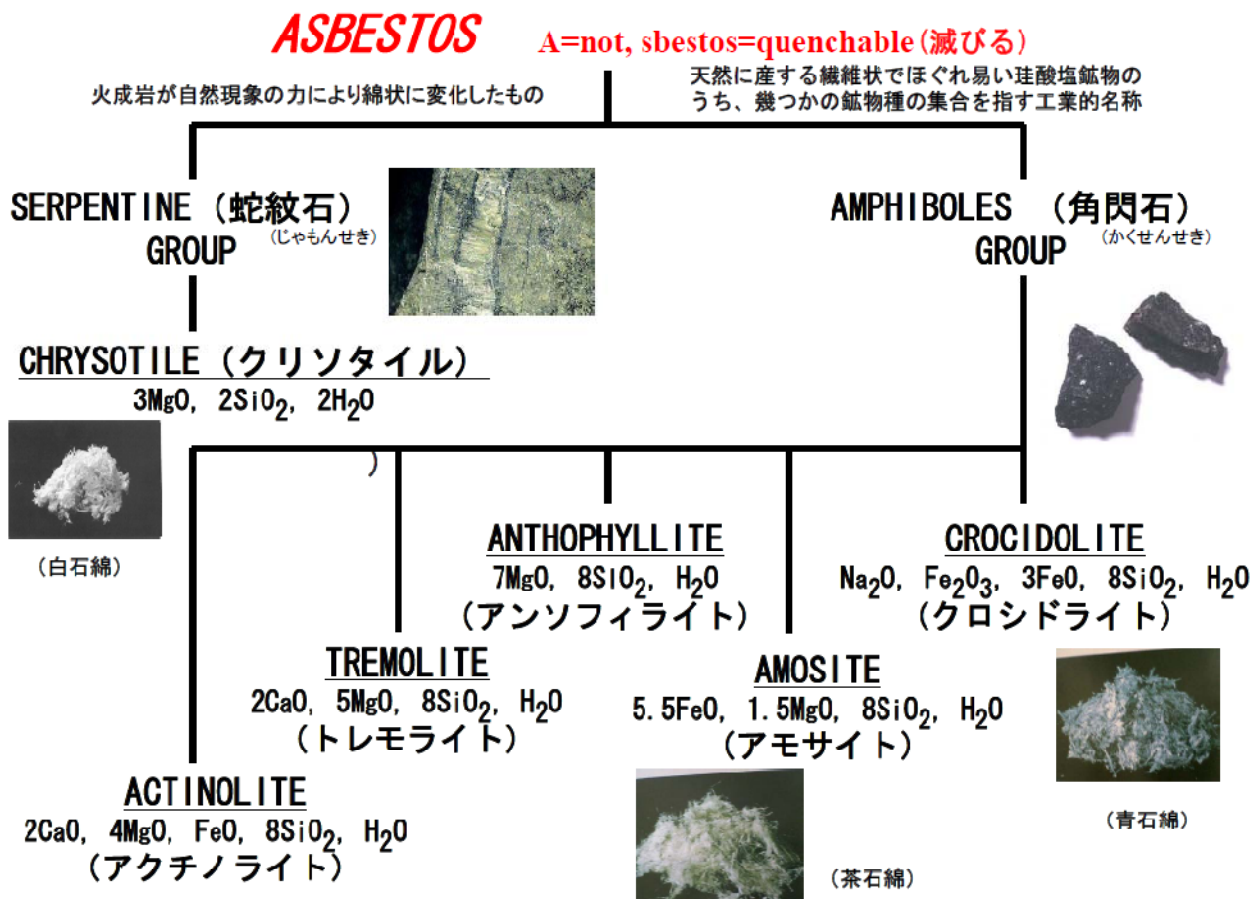
プロジェクト用語集

1. アスベスト(ASBESTOS)

石綿(いしわた、せきめん、英: Asbestos(アスベストス)、 蘭: Asbest(アスベスト))は、蛇紋石や角閃石が繊維状に変形した天然の鉱物のこと。蛇紋石系(クリソタイル)と角閃石系(クロシドライト、アモサイトなど)に大別される。オランダ語からアスベスト (*asbest*) と呼ばれる。英語ではアスベストス (*asbestos*) と呼ばれ、ギリシア語の *ἀσβεστος* (「しない(ない)」という意味の「*a*」と、「消化できる」という意味の「*sbestos*」)から来ている。

石綿の繊維 1 本の細さは大体髪の毛の 5,000 分の 1 程度の細さである。耐久性、耐熱性、耐薬品性、電気絶縁性などの特性に非常に優れ安価であるため、日本では「奇跡の鉱物」などと重宝され、建設資材、電気製品、自動車、家庭用品等、様々な用途に広く使用されてきた。しかし、空中に飛散した石綿繊維を肺に吸入すると約 20 年から 40 年の潜伏期間を経た後に肺癌や中皮腫の病気を引き起こす確率が高いため、2010 年現在では「静かな時限爆弾」などと世間からおそれられている。(以上、ウィキペディアより一部抜粋)

以下の6種がアスベストとして規制の対象となっている。



2. アスベスト問題

アスベスト問題は、石綿(アスベスト)による塵肺、肺線維症、肺癌、悪性中皮腫(ちゅうひしゅ)などの人体への健康被害問題のことを指す。

アスベストは、耐熱性、電気絶縁性、保温性に優れ、断熱材、電気絶縁材、ブレーキライニング材などに用いられてきた。しかし、高濃度長期間暴露による健康被害リスクが明らかになり、アスベスト含有製品生産や建設作業(アスベストの吹きつけ)に携わっていた従事作業者の健康被害が問題となった。

日本においては、アスベスト含有製品生産や建設作業に携わっていた作業者の健康被害に対する補償が行われてきたが、2005年にアスベスト含有製品を過去に生産していた工場近辺における住民の健康被害が、それに対する救済措置の不備とともに問題として報道された。それに対応する形でアスベストによる健康被害に対する医療費等の支給など救済措置のための法律が制定されることになった。

また、吹きつけアスベスト、アスベストを含む断熱材などが用いられた建設物から、解体時にアスベストが発生することについても問題とされることがある。

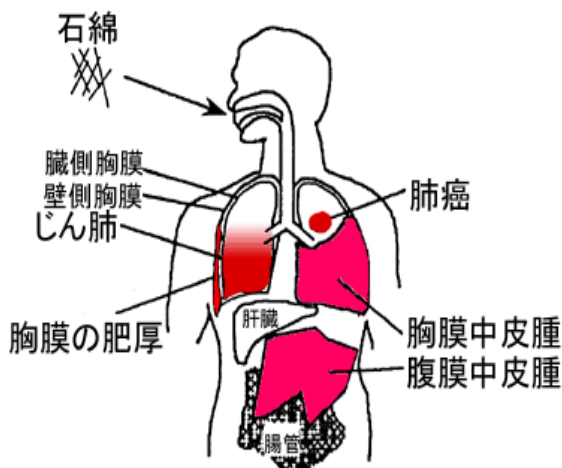
空気中の石綿(アスベスト)は微量であれば問題ではない。微量のアスベストは世界中の空気中に存在し人類は毎日アスベストを吸って生活しているともいえる。しかし、作業や工事など高濃度のアスベストが飛び散ることによって、長期にわたって特定の作業員や住民が大量のアスベストを吸い込むことが問題となる。

2005年にはアスベスト原料やアスベストを使用した資材を製造していたニチアス、クボタで製造に携わっていた従業員やその家族など多くの人間が死亡していたことが報道された。クボタについては工場周辺の住民も被害を受けているとの報道もあった。(以上、ウィキペディアより一部抜粋)

参考:アスベストによる健康被害

石綿粉塵を吸入することにより、次のような健康被害が発生する恐れがある。

これらの疾病については、石綿粉じんのはく露から発症までの期間が相当長いことがある。



- ①胸膜、腹膜等の中皮腫 (がんの一種)
肺を取り囲む胸膜等にできる悪性の腫瘍。
- ②肺がん
肺にできる悪性の腫瘍。
- ③石綿肺 (じん肺の一種)
肺が線維化するもので、せき等の症状を認め、重症化すると呼吸機能が低下することがある。

アスベストはWHOの附属機関により発癌性がある(Group1)と勧告されている。

3. アスベストの分類等

(1) 飛散性(レベル1, 2)、非飛散性(レベル3)

・飛散性アスベスト

一般的には発塵性の著しく高い吹付けアスベスト等をレベル1、アスベスト保温材、耐火被覆材等の発塵性の高いものをレベル2とし、容易に大気中に飛散するおそれのある飛散性アスベストとして扱う。

・非飛散性アスベスト

飛散性アスベストに該当しないもので、アスベスト成形板等、そのままでは発塵性が比較的低いと考えられるものが非飛散性アスベスト(レベル3)と称される。

(2) 廃石綿、廃石綿等

廃棄物処理法において特別管理産業廃棄物である「廃石綿等」の定義は以下の通り
(令第2条の4第5号へ、規則第1条の2第7項)

廃石綿等とは、廃石綿及び石綿が含まれ、若しくは付着している産業廃棄物のうち、飛散するおそれがあるものとして次に掲げる事業等により発生したものをいう。

[1]石綿建材除去事業(建築物その他の工作物に用いられる材料であって石綿を吹き付けられ、又は含むものの除去を行う事業をいう。)により生じたもの

- ・吹付け石綿、・石綿保温材、・けいそう土保温材、・パーライト保温材
- ・人の接触、気流及び振動等により石綿が飛散するおそれのある保温材、断熱材及び耐火被覆材
- ・石綿建材除去事業において用いられ、廃棄されたプラスチックシート、防じんマスク、作業衣その他の用具又は器具であって、石綿が付着しているおそれのあるもの

[2]大気汚染防止法に規定する特定粉じん発生施設が設置されている事業場において生じた石綿及び当該事業場において用いられ、廃棄された防じんマスク、集じんフィルターその他の用具又は器具であって、石綿が付着しているおそれのあるもの

[3]輸入されたもの(事業活動に伴って生じたものに限る)

また、廃石綿等の処理基準としては以下が定められている

- ・中間処理：廃石綿等の処分又は再生の方法は、廃石綿等を溶融設備を用いて石綿が検出されないよう溶融する方法又は無害化処理(法第15条の4の4第1項の認定を受けた者が当該認定に係る処分を行う場合に限る。)としている。

・埋立処分基準

[1]溶融又は無害化処理した場合：通常の産業廃棄物の処分基準が適用される。

[2]廃石綿等を直接埋立処分する場合：大気中に飛散しないように、あらかじめ、耐水性の材料で二重に梱包するか又は固型化し、産業廃棄物処理施設である最終処分場のうちの一定の場所において、かつ、当該廃石綿等が分散しないように埋立処分する。

4. 最終処分場(遮断型、管理型、安定型)

最終処分場は、大きく3種に分かれる。すなわち、安定化に長期間を要する有害廃棄物を封ずるための**遮断型処分場**、既に安定しているか、または埋立後すぐ安定する無害な廃棄物を片づけるための**安定型処分場**、および、どちらにも該当せず埋立終了後も維持管理を要する**管理型処分場**である。

ただし、実際にはこの区分が曖昧なまま運営されているケースが少なくない。

(以上、ウィキペディアより一部抜粋)

5. 無害化処理技術

(1)誘導加熱

誘導加熱(ゆうどうかねつ)は電磁誘導の原理を利用して加熱すること。英語表記の Induction Heating を略してIHともいう。電子レンジの原理であるマイクロ波加熱などの誘電加熱は、誘電体である不導体を加熱するもので、これとは原理が異なる。誘電加熱、誘導加熱のどちらも電磁(波)加熱である。電波を使う電磁波加熱を電波加熱、高周波を使うものを高周波加熱という。誘導加熱は新しい調理器具の加熱方式として家庭の中でも普及しつつあり、これを利用した調理器具をIH調理器(電磁調理器)という。

導線に交流電流を流すと、その周りに向き、強度の変化する磁力線が発生する。その近くに電気を通す物質(通常は金属)を置くとこの変化する磁力線の影響を受けて、金属の中に渦電流が流れる。金属には通常電気抵抗があるため、金属に電流が流れると $\text{電力} = \text{電流}^2 \times \text{抵抗}$ 分のジュール熱が発生して金属が加熱される。この現象を誘導加熱という。変圧器や磁気ヘッドのコアに生ずる誘導加熱は損失だが、熱を積極的に利用すれば調理器具等に利用することができる。効率を上げるため、導線をコイル状にするのが一般的である。

(以上、ウィキペディアより一部抜粋)

本事業では、オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発において、アスベスト含有保温材等を溶融無害化する際の炉の加熱方式として用い、高効率でコンパクトな処理設備を実現した。

(2)過熱蒸気

ボイラー内で発生した蒸気をさらに加熱した熱量の高い蒸気。圧力一定のもとで液体を加熱すると温度が上昇し、一定温度に達すると蒸発し始める。この場合、加熱を続けても、全部の液体が蒸発するまで温度は一定である。液体と蒸気とが共存しているときは湿り飽和蒸気といい、全部蒸気になったものを乾き飽和蒸気という。乾き飽和蒸気をさらに加熱し蒸気の温度を高くしたものが過熱蒸気である。

(以上、yahoo 百科事典より一部抜粋)

本事業では、低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発において、アスベスト含有建材等を無害化する際に用い、伝熱効果、触媒効果、電磁波効果によりアスベストが効率的に無害化された。

(3)マイクロ波

マイクロ波(英: Microwave)は、電波の周波数による分類の一つである。「マイクロ」は、電波の中で最も短い波長域であることを意味する。一般的には波長100マイクロメートル - 1メートル、周波数300メガヘルツ - 3テラヘルツの電波(電磁波)を指し、この範囲には、デシメートル波(UHF)、センチメートル波(SHF)、ミリメートル波(EHF)、サブミリ波が含まれる。マイクロ波の発振には、マグネトロン、クライストロン、進行波管(TWT)、ジャイロトロン、ガンダイオードを用いた回路などが用いられる。

マイクロ波加熱(マイクロはかねつ)とは、マイクロ波と物質の相互作用による、物質の加熱。誘電加熱の一種で、特にマイクロ波を使うものを指す。

(以上、ウィキペディアより一部抜粋)

本事業では、低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発において、アスベスト含有建材等を無害化する際に用い、伝熱効果、触媒効果、電磁波効果によりアスベストが効率的に処理された。

6. アスベスト分析関連

(1) 建材製品中のアスベスト含有率測定方法 (JIS A1481)

(2006/03/25 制定、2008/06/20 改正)

まず、X線回折分析方法及び位相差・分散顕微鏡(2006年版は偏光顕微鏡であった)による定性分析を行い、X線回折ではアスベストの回折ピークの有無を、顕微鏡では繊維状粒子の数を確認する。回折ピークがなく、繊維状粒子が4未満の場合はアスベスト含有なしと判定される。それ以外の場合はアスベスト含有として、測定する場合は必要な補正を実施した上でX線回折による定量分析を行う。

参考

・位相差顕微鏡

位相差顕微鏡とは、光線の位相差をコントラストに変換して観察できる光学顕微鏡のことである。標本を無染色・非侵襲的に観察することができるため、特に生物細胞を観察する場合や臨床検査に多く用いられる。また、石綿の検出にも使用される。

(以上、ウィキペディアより一部抜粋)

・X線回折

X線回折(X-ray diffraction, XRD)は、X線が結晶格子で回折を示す現象である。X線は波長の短い電磁波であることを明らかにした。回折現象を利用して物質の結晶構造を調べることが可能である。このようにX線の回折の結果を解析して結晶内部で原子がどのように配列しているかを決定する手法をX線結晶構造解析あるいはX線回折法という。

(以上、ウィキペディアより一部抜粋)

(2) 石綿含有一般廃棄物等の無害化処理に係る石綿の検定方法

(2010/12/25 環廃対発第 091225001 号、環廃産発第 091225001 号 別紙 2 より一部抜粋)

本測定方法は、石綿含有一般廃棄物、廃石綿等又は石綿含有産業廃棄物(以下「石綿含有一般廃棄物等」という。)の無害化処理又は溶融処理に伴い生じる物のうち固体の物及び集じん物に含まれる石綿繊維及び繊維状物質について、電子顕微鏡を用いて測定する方法である。なお、本測定方法で用いる電子顕微鏡は、透過型電子顕微鏡(以下「TEM」という。)とする。

無害化処理生成物から適当な量の資料を採取し、前処理を行った上でフィルターで吸引濾過し、フィルターから切り取った小片をTEMグリッドに載せ、フィルターを除去して観察試料を作製し、TEMで観察する。繊維状物質を形態的特徴、電子線回折パターン、エネルギー分散型X線分析により、繊維状物質について、石綿と判定・石綿が疑われる・石綿ではないものに分類し、石綿と判定・石綿が疑われるものについては、繊維幅、繊維長を記載する。それにより繊維数濃度を求め、石綿については定めた式により重量濃度を算出する。

無害化処理生成物の判定基準は $2Mf/g$ (200 万繊維/グラム)

繊維状物質がアスベストか否かの判断の流れを次頁に示す。

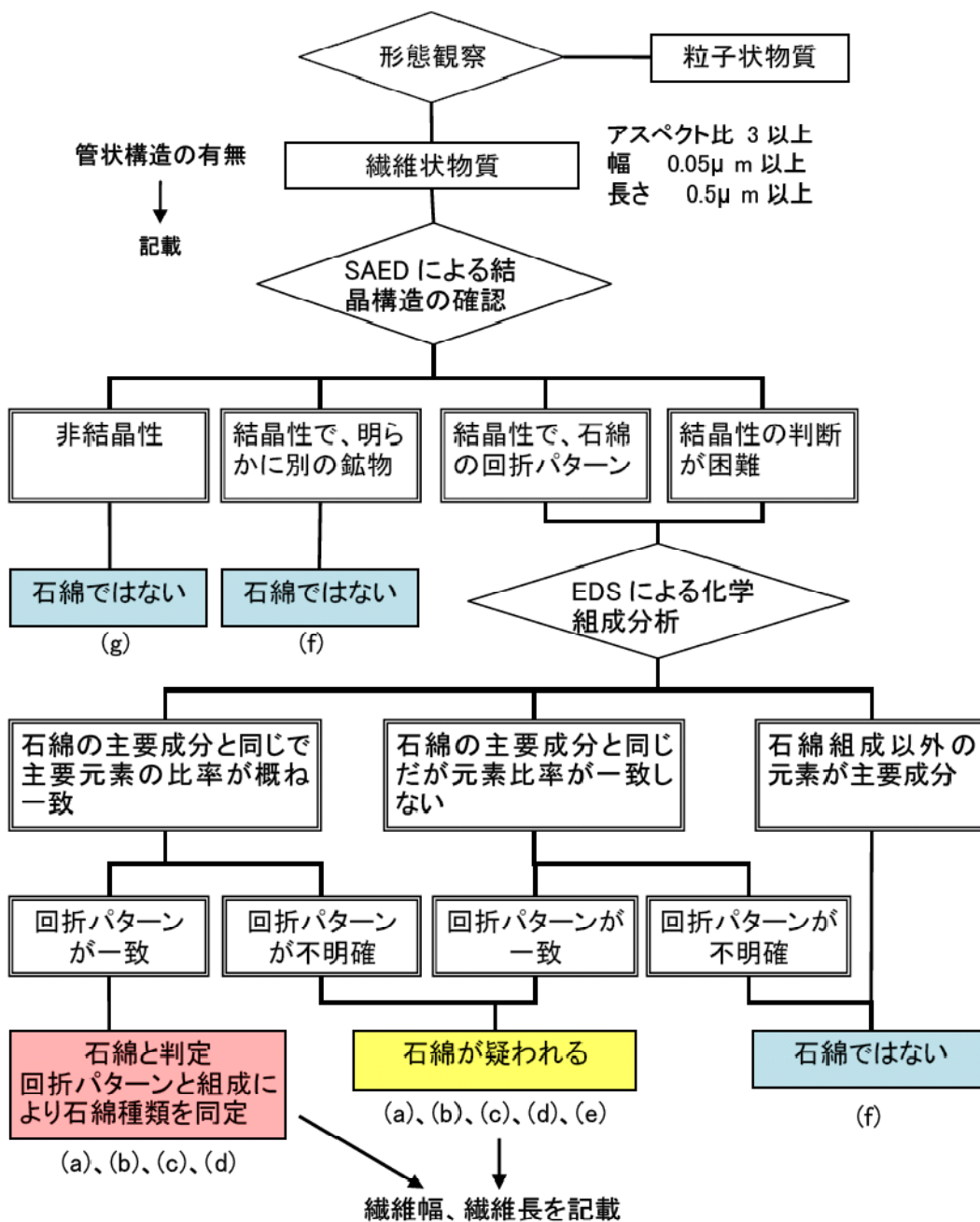


図8 繊維状物質の分類手順

参考

・TEM(透過型電子顕微鏡)

透過型電子顕微鏡(Transmission Electron Microscope; TEM)とは、電子顕微鏡の一種である。観察対象に電子線をあて、それを透過してきた電子が作り出す干渉像を拡大して観察するタイプの電子顕微鏡のこと。物理学、化学、工学、生物学、医学などで幅広く用いられている。

観察対象に電子を当てて、透かして観察することになるため、対象をできるだけ薄く(厚さ 100nm以下)切ったり、電子を透過するフィルムの上に薄く塗りつけたりして観察する。対象の構造や構成成分の違いにより、どのぐらい電子線を透過させるかが異なるので、場所により透過してきた電子の密度が変わり、これが顕微鏡像となる。

(以上、ウィキペディアより一部抜粋)

・EDS(エネルギー分散型 X 線分析)

電子ビーム等で物体を走査した際に発生する特性X線を検出し、X線から得られるエネルギーの分布から物体の構成物質を調べる分析手法またはその装置。機器そのものはEDSまたはEDX(Energy Dispersive X-ray spectroscopy)と略され、手法はEnergy dispersive X-ray spectrometryの略である。

分析元素範囲はB(ホウ素)～U(ウラン)。特性面では数百～数um程度の表面範囲また数umの表面深度と比較的広範囲な部分の検出に有効である。

(以上、ウィキペディアより一部抜粋)

TEM 観察試料の微小領域から発生する特性 X 線を、X 線エネルギーに比例した電気信号を発生する検出器を用いてエネルギー選別して分析する。

・SAED(制限視野電子線回折)

入射電子線を平行にして試料に照射し、点状の斑点からなる回折図形を得て、結晶構造の定性的な解析をする手法。対物レンズの像面に制限視野絞りを入れることにより回折図形を得る試料の場所(直径 数100nm)を選ぶことができる。この方法により、特定の場所の格子定数、格子型、結晶方位を知ることができる。

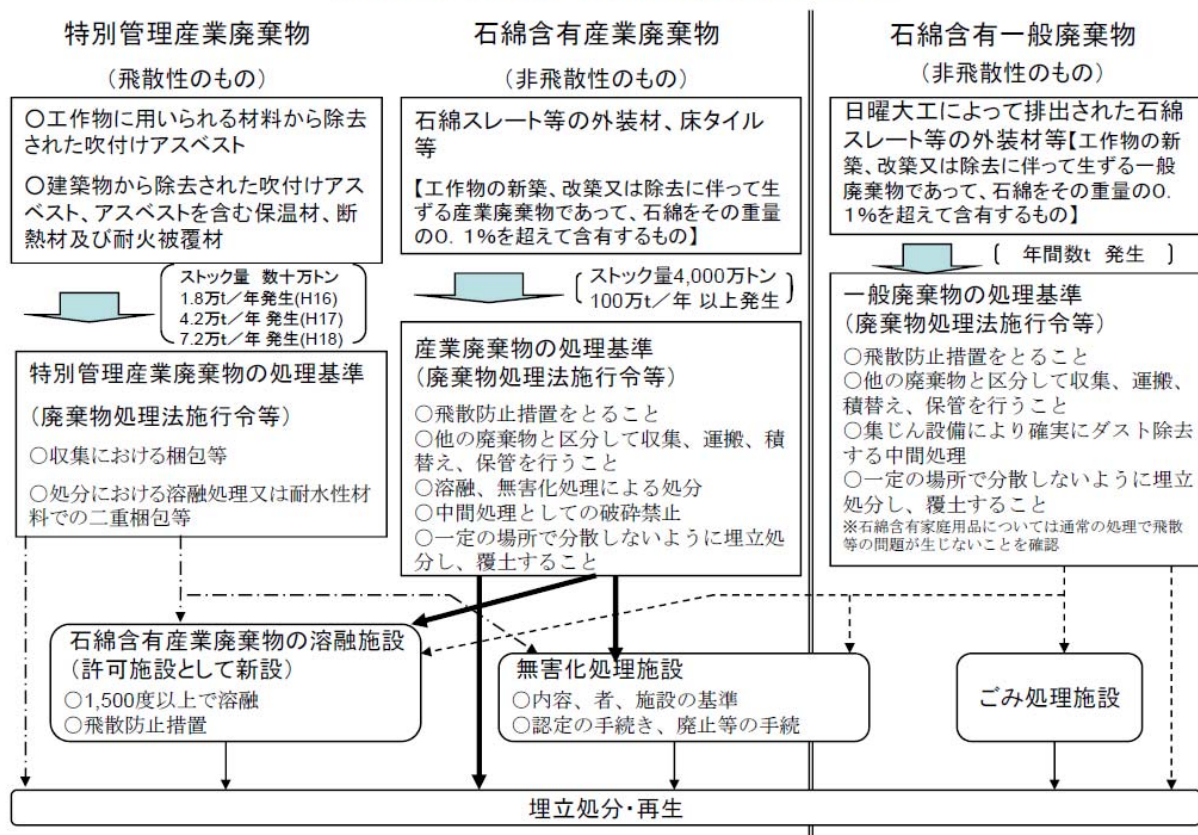
(以上、JOEL ホームページより)

TEM 観察試料の微小領域の結晶構造を調べるための電子顕微鏡による分析手法。

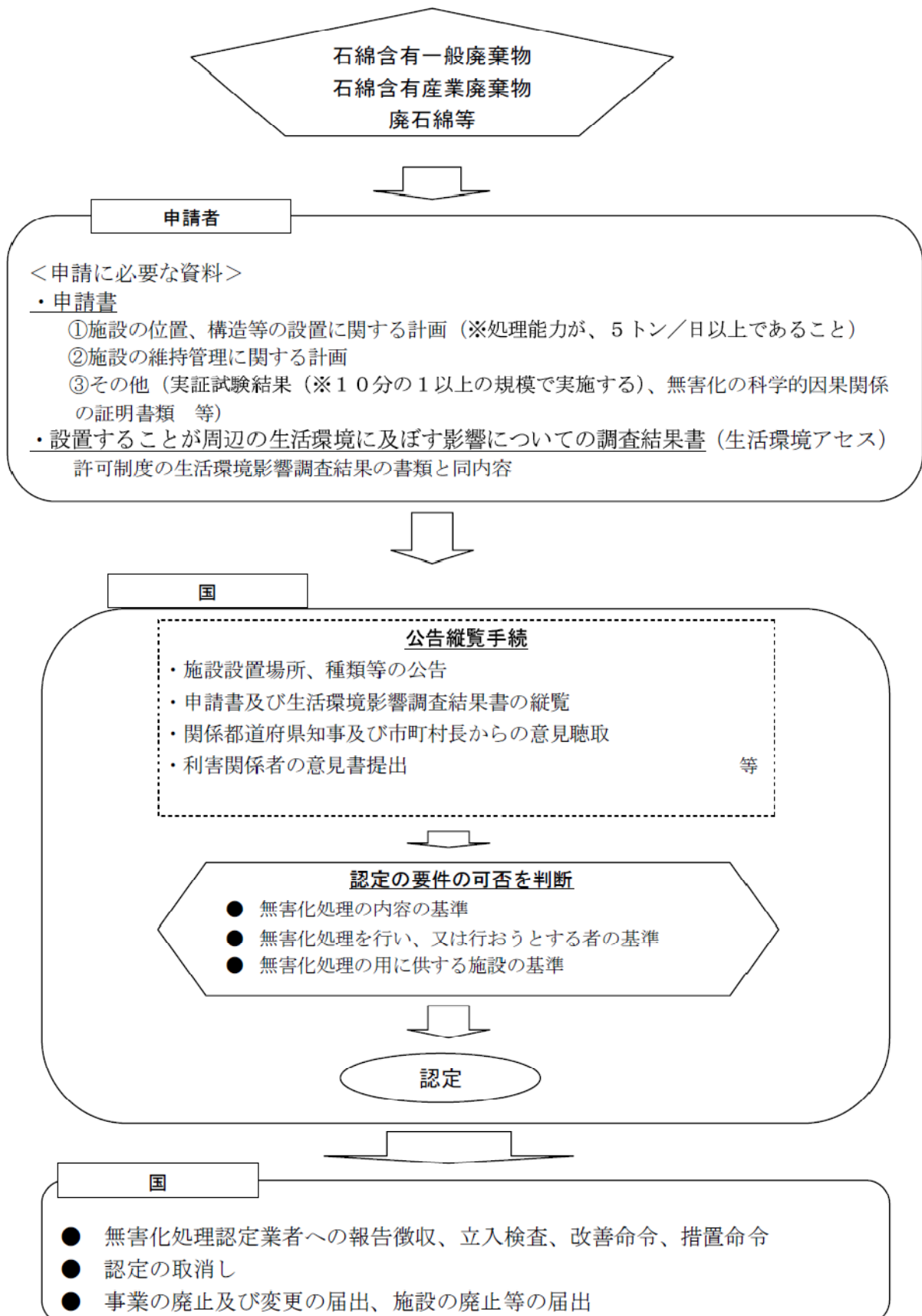
(参考) アスベストを含む廃棄物の規制の現状及び無害化処理認定手続き

- ・関連する環境省の資料を以下に示す。
- ・無害化処理の認定には、無害化処理内容に加え処理を行う者及び施設の基準を満たすことが必要となる。

石綿を含む廃棄物の規制の現状



無害化処理認定手続のフロー



I. 事業の位置付け・必要性について

1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

1.1 NEDO が関与することの意義

(1) 本事業の概要

アスベストは、天然に産する繊維状結晶鉱物(白石綿、茶石綿、青石綿等)の総称で、耐熱性、耐酸性、耐摩耗性に優れることから、建築物の吹付け材、壁天井等の建材、発電所、化学プラントの配管シール材、自動車等のブレーキパッド等の工業製品として使用され、これまでの推計蓄積量は約1000万トンに上る。

昭和47年のWHO(世界保健機構)によるアスベストに関する癌原性の公表もあって規制が強化され、国内では、昭和50年に吹付け作業の禁止、平成16年には建材、接着剤、ブレーキパッドなどの製造、使用等が禁止となった。更に平成18年からは、一部のシール材を除いて製造、使用等が全面的に禁止されている。

しかしながら、アスベストを含む建材や工業製品は膨大な量(アスベスト含有製品の基準を1wt%とした場合約4000万トン、現行の0.1wt%基準では1億トン以上と推定)が残存しており、アスベスト含有廃棄物として適切に処理しなければ、今後も健康被害が継続的に発生するおそれが指摘されている。

このため、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、「NEDO」という。)では、平成18年度に「緊急アスベスト削減実用化基盤技術開発」として、検出・分析技術、代替製品製造技術、剥離・回収技術、無害化・再資源化技術の開発を実施した。

平成19年度から開始した「アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発」(以下、「本事業」という。)においては、代替製品製造技術については、ガスケット・パッキンの製造技術に係る基盤技術開発を終え、実用化を推進すべく助成を実施していることから、他の3領域に絞って実施することとした。

本事業の具体的な研究開発目標は以下の通りである。

※アスベスト含有製品の使用時、解体・回収・廃棄時において、簡易に探知・計測できる技術

(開発目標:オンサイト式で検出感度0.1wt%超レベル)

①アスベストを含む建材等の回収・除去現場におけるアスベストの飛散及び暴露を最小化し、回収・除去の安全性及び信頼性等を確保する技術

②アスベスト含有廃棄物の無害化処理又は再資源化段階における安全性、効率性に優れた技術

(開発目標:処理量5トン/日以上)

なお、※に関しては、平成19年度及び21年度の公募にて採択に至らなかったため、平成21年7月に基本計画から削除した。

(2) 本事業に関連する国家政策

①アスベスト問題に係わる総合対策

平成17年に、アスベストの製造を行っていた企業から、従業員のみならず周辺住民へも健康被害が出ていることが明らかにされた。国として対策を強化すべく、同年7月29日を皮切りに平成18年9月8日まで「アスベスト問題に関する関係閣僚による会合」が計6回開催された。

第1回の会合で、アスベスト問題への当面の対応として、「被害の拡大防止」、「国民の不安への対応」、「過去の被害への対応」、「過去の対応への検証」、「実態把握の強化」の方針及び【各府省の緊密な連携、スピード感を持った対策、国民への情報提供】が確認され、以降それに基づいて対策等が推進されてきたが、第5回の会合(平成17年12月27日開催)にて「アスベスト問題に係る総合対策」の概要が定められた。

その概要を次頁に示すが、その中の「アスベスト廃棄物の適正処理」の項にアスベスト廃棄物の無害化処理推進が掲げられている(資料1)。

「アスベスト問題に係る総合対策」の概要 (12月27日)

1 隙間のない健康被害者の救済 17年度補正予算案額：388億円 18年度予算案額：93億円

救済新法の制定

- 「**石綿による健康被害の救済に関する法律案**」(仮称)を18年通常国会冒頭に提出

労災制度の周知徹底等

- 労災認定基準の改正
- 労災制度の周知徹底

研究の推進等

- 中皮腫抗がん剤「ペトレキセド」の早期承認等

2 今後の被害を未然に防止するための対応 17年度補正予算案額：1,417億円 18年度予算案額：29億円

既存施設での除去等

- 地方自治体の取組への支援
(**地方財政法改正**※)
- 国の建築物等について除去等実施
- 民間建築物における取組への支援
(助成措置の新設+中小企業等を対象とした低利融資制度の創設)
- 吹付けアスベスト等の使用規制
(**建築基準法改正**※)

解体時等の飛散・ばく露防止

- 飛散防止のための規制の拡充
(**大気汚染防止法改正**※)
- 石綿障害予防規則等の周知・指導

アスベスト廃棄物の適正処理

- アスベスト廃棄物の無害化処理推進
(**廃棄物処理法改正**※+税制上の措置の新設)
- 廃アスベスト適正処理の規制強化

アスベスト早期全面禁止

- 代替化を促進し18年度中に全面禁止措置

3 国民の有する不安への対応 18年度予算案額：4億円

実態把握・国民への情報提供

- 解体現場周辺の大気中濃度測定
- 室内アスベスト濃度指標設定に資する調査研究
- 健康被害者の実態調査

健康相談等の対応

- 国民の健康相談への対応
- 健康管理手帳の交付要件等の見直し
- アスベスト関連の作業に従事した退職者への健康診断の実施
- 一般住民の健康管理の促進

(注1) ※は一括法(「**石綿による健康等に係る被害の防止のための関係法律の整備に関する法律案**」(仮称))として18年通常国会冒頭に提出。

(注2) 18年度予算案額は、関係閣僚会合を構成する関係省庁による対策に係る金額。

(注3) 18年度予算案額においては、施設整備等経費の交付金等(約1.4兆円)の内数となっているものについては含まれていない。

②本事業に関連する経済産業政策

経済産業省が実施している研究開発プロジェクトは7つの政策目標のもとにまとめられ、市場化に必要な関連施策(規制改革、標準化等)と一体となった施策パッケージである[イノベーションプログラム](平成20年4月1日制定)として推進されている。

平成19年度開始の本プロジェクトは、当初[化学物質総合評価管理プログラム]による研究開発として始まり、平成20年度の上記イノベーションプログラム制定に伴い[5. 環境安心イノベーションプログラム]の[IV. 化学物質総合評価管理]にて [IV-2. 化学物質リスク削減技術開発]として位置付けられた。

なお、[環境安心イノベーションプログラム基本計画]は添付資料1として添付するが、その目的及び[IV-2. 化学物質リスク削減技術開発]の研究開発内容を抜粋して以下に示す。

○[環境安心イノベーションプログラム基本計画]の目的

資源制約を克服し、環境と調和した持続的な経済・社会の実現と、安全・安心な国民生活を実現するため、革新的な技術開発や低炭素社会の構築等を通じた地球全体での温室効果ガスの排出削減、廃棄物の発生抑制(リデュース)、製品や部品の再使用(リユース)、原材料としての再利用(リサイクル)推進による循環型社会の形成、バイオテクノロジーを活用した環境に優しい製造プロセスや循環型産業システムの創造、化学物質のリスクの総合的な評価及びリスクを適切に管理する社会システムの構築を推進する。

○[IV-2. 化学物質リスク削減技術開発]の研究開発内容

アスベスト含有建材等回収・処理等技術開発事業(運営費交付金)

①概要

今後、大量の排出が予測されるアスベスト含有建材等の廃棄物を対象として、そのアスベスト含有状況について簡易かつ確実な探知・分析を可能とし、安全性、信頼性の高い回収・処理を実現する関連機器・システムの技術開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2009年度までに、アスベスト含有製品の使用時、解体・回収・廃棄時においてオンサイト方式で検出感度0.1wt%超レベルに検出できる計測技術を確立し、アスベストを含む建材等の回収・除去現場におけるアスベストの飛散及びばく露を最小化し、回収・除去の安全性及び信頼性等を確保する技術を確立する。また、アスベスト含有廃棄物の無害化処理における安全性、効率性に優れた技術を確立する。

③研究開発期間

2007年度～2009年度

参考までに[イノベーションプログラムの概要]及び[5. 環境安心イノベーションプログラム]を次頁に示す。

イノベーションプログラムの概要

1. 「イノベーションプログラム」の中での体系的推進 (Inside Management & Accountability)
 - 経済産業省の全ての研究開発プロジェクトは、政策目標毎に7つの「イノベーションプログラム」の下で体系的に推進。
 - 各プログラムの中で、政策目標に向けたプロジェクトの位置付けと目標の明確化、市場化に必要な関連施策(規制改革、標準化等)との一体化を図り、イノベーション実現に向け各プロジェクトを効果的に推進。
2. 「技術戦略マップ」に基づく戦略的企画立案 (Outside Communication & Networking)
 - 先端産業技術動向を把握し、国が取り組むべき技術課題とイノベーションの道筋を明確化するため、産学官で協働するロードマッピング手法を導入(『技術戦略マップ 2005/2006/2007/2008』)。
 - 研究開発プロジェクトの選定に当たっては、イノベーションプログラムにおける政策目標を基に技術戦略マップに位置付けられた重要技術課題を抽出し戦略的に企画立案。

イノベーションプログラム(IPG)の21年度予算額 (総額: 1,966億円※1)

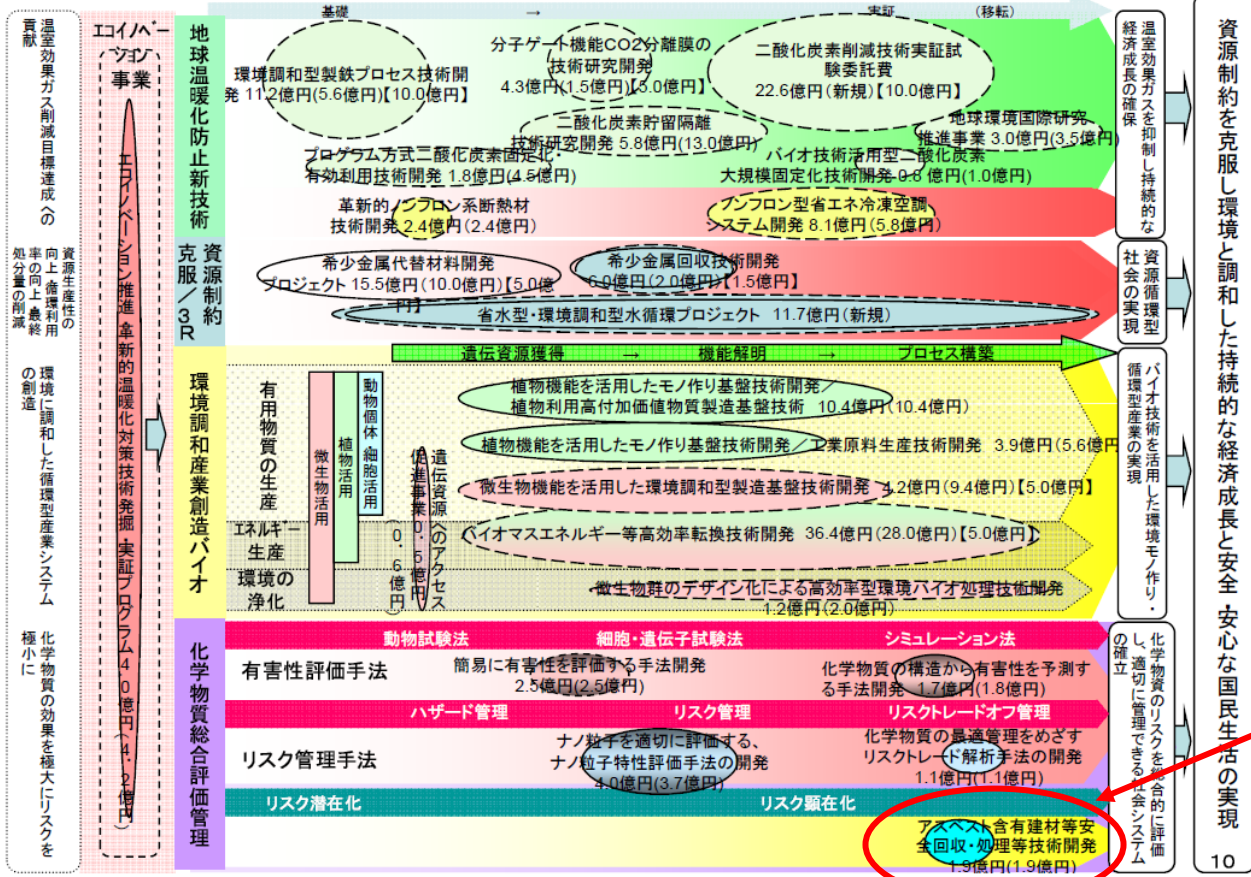
IT IPG ①ITコア技術の革新 94億円 ②省エネ革新 42億円 ③情報爆発への対応 44億円 ④情報システムの安全性等 63億円 21年度予算 244億円	ナノテク・部材 IPG ①ナノテク加速化領域 36億円 ②情報通信領域 28億円 ③ライフサイエンス・健康・医療領域 16億円 ④エネルギー・資源・環境領域 78億円 ⑤材料・部材領域 27億円 ⑥共通領域 4億円 21年度予算案 188億円	ロボット・新機械 IPG ①ロボット関連技術開発 38億円 ②MEMS関連技術開発 12億円 21年度予算 50億円	健康安心 IPG ①創薬・診断技術開発 102億円 ②診断・治療機器・再生医療等の技術開発 28億円 21年度予算 130億円
エネルギー IPG ①総合エネルギー効率の向上 707億円 ②運輸部門の燃料多様化 278億円 ③新エネルギー等の開発・導入促進 369億円 ④原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保 268億円 ⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用 479億円 21年度予算 1,281億円※2	環境安心 IPG ①地球温暖化防止新技術 60億円 ②3R 33億円 ③環境調和産業バイオ 57億円 ④化学物質総合評価 11億円 ⑤共通領域 4億円 21年度予算案 165億円	航空機・宇宙産業 IPG ①航空機産業の基盤技術力の維持・向上 233億円 ②宇宙産業の国際競争力強化 87億円 21年度予算案 320億円	

※1 各イノベーションプログラムにおけるプロジェクトの重複を排除した額 ※2 各サブプログラムで重複があるため小計と一致しない

5. 環境安心イノベーションプログラム

【平成21年度予算額: 165億円】

※各プロジェクト毎の予算額は21年度予算(20年度予算)(20年度補正予算)



(3)NEDO が関与することの意義

アスベスト問題は、いわば負の遺産の処理であり、「アスベスト」という言葉に対する国民の拒否感・抵抗感も想定され、開発する企業にとっては風評被害の恐れもあるため簡単には取り組み難い。

また、アスベストに関する法規制等の強化が進んでいる状況下では、その変化に応じて技術開発を適切な方向へ誘導する必要があり、NEDO が関与することにより、関係する各省庁等及び外部有識者との連携を図り、国としてアスベスト対策を進めるという方針の下で、本事業を実施することが重要である。

更に、無害化処理技術の開発においては、環境省の無害化認定制度の取得により従来の1500℃以上での溶融に対して省エネルギーな無害化処理技術の実用化を目指しているが、同制度による認定例が無いため、投資に対する技術的リスクは高いと考えられる。

その一方で、現状のアスベスト処理の主流となっている埋立てについては、NEDO の調査からも近い将来に処分場の逼迫が予想されるため、埋立てに代わる適切な処理方法を早期に確立する必要がある。

従って、NEDO が関与することにより、本事業をこのタイミングで実施することが重要である。

1.2 実施の効果(費用対効果)

(1)定性的効果

アスベストの除去工事は、従来人手により行われており、密閉された作業空間内にて暴露を防ぐために作業員は防護服・保護マスク等を着用しているが、特に夏場等は非常に暑く過酷な作業環境となる。また、保護具等に付着したアスベストへも細心の注意を払う必要がある。本事業により、除去ロボットを導入し人手による作業を廃止又は大幅に削減することは、人体への暴露リスクの低減とともに作業の効率化も期待できる。

また、無害化に関しては、平成18年度に環境省の無害化認定制度が創設されたが、認定どころか申請にすら至らない状況が続いていた。平成21年度に入り、申請が受理され始めたが、最初の2件は1500℃以上の溶融及び1400℃程度での溶融によるもので、アスベストの処理に係わる種々の対策は施してはいるものの従来の1500℃以上の溶融無害化に対する省エネルギー化等の効果は少ないと思われる。本事業により、省エネルギーかつ処理物の再利用を図ることは、多量に排出されるアスベスト含有廃棄物の処理促進に寄与するものと考えられる。

(2)事業費と市場効果見込み

事業費の推移を以下に示す。

(単位:百万円)

	平成19年度	平成20年度	平成21年度	事業総額
予 算	188	203	152	543
回収・除去	64	64	28	156
無害化・資源化	124	139	118	381
調 査			6	6
実績計	188	203	152	543

全て委託事業で、3年間で計5.4億円を投じている。

市場としては、事業立ち上げ時並びに潜在的市場として以下の規模を見込んでいる。

回収・除去に係わるものとしては、本事業で想定している比較的大規模の吹き付けアスベストの除去現場(1000㎡以上)での工事費は1～3万円/㎡程度である。事業開始時には、2万円/㎡×2万㎡/年として年間4億円程度の工事費になるものとする。また、潜在的市場としては、本事業の対象となりうるものは2～4千万㎡程度と推定され、数千億円規模と考えられる。

無害化・資源化に係わるものとしては、量の多い非飛散性(レベル3)の建材を想定すると、現状で年間数十万トン～百万トン程度が排出されており、その殆どは埋立てに供されている。事業開始時に、数十トン/日の設備を2系列程度立ち上げるとすると、処理費用5万円/トン×2～3万トン/年で、年間12億円程度の事業規模となる。また、市場全体の規模としては、1wt%基準の4千万トンを対象としても、2兆円という莫大なものとなる。

アスベスト廃棄物の種類によって、現状の主たる処分方法も異なっており、それぞれのコストターゲット及び市場規模も異なるが、飛散性のレベル1, 2に対しても数千億円規模の市場が見込まれる。

廃棄物レベル	現状処分法	現状処理コスト	推定残存量
レベル1	溶融後埋立て又は スラグ再生利用	10～20万円/トン	数十万トン～
	遮断型又は管理型 処分場埋立て	5～10万円/トン	
レベル2	遮断型又は管理型 処分場埋立て	5～10万円/トン	
レベル3	管理型又は安定型 処分場埋立て	1～5万円/トン	約4000万トン (1wt%基準)

2. 事業の背景・目的・位置付け

アスベストは、先に述べた通りの優れた特性から幅広く工業製品として使用され、昭和50年頃から平成2年頃にかけての年間35万トン程度をピークに合計で約1000万トンが輸入された。これらのアスベストを使用した吹き付け材及び建材等は、建物の耐用年数を迎えることにより、今後数十年間に渡って解体等によりアスベスト含有廃棄物として排出されることとなる。

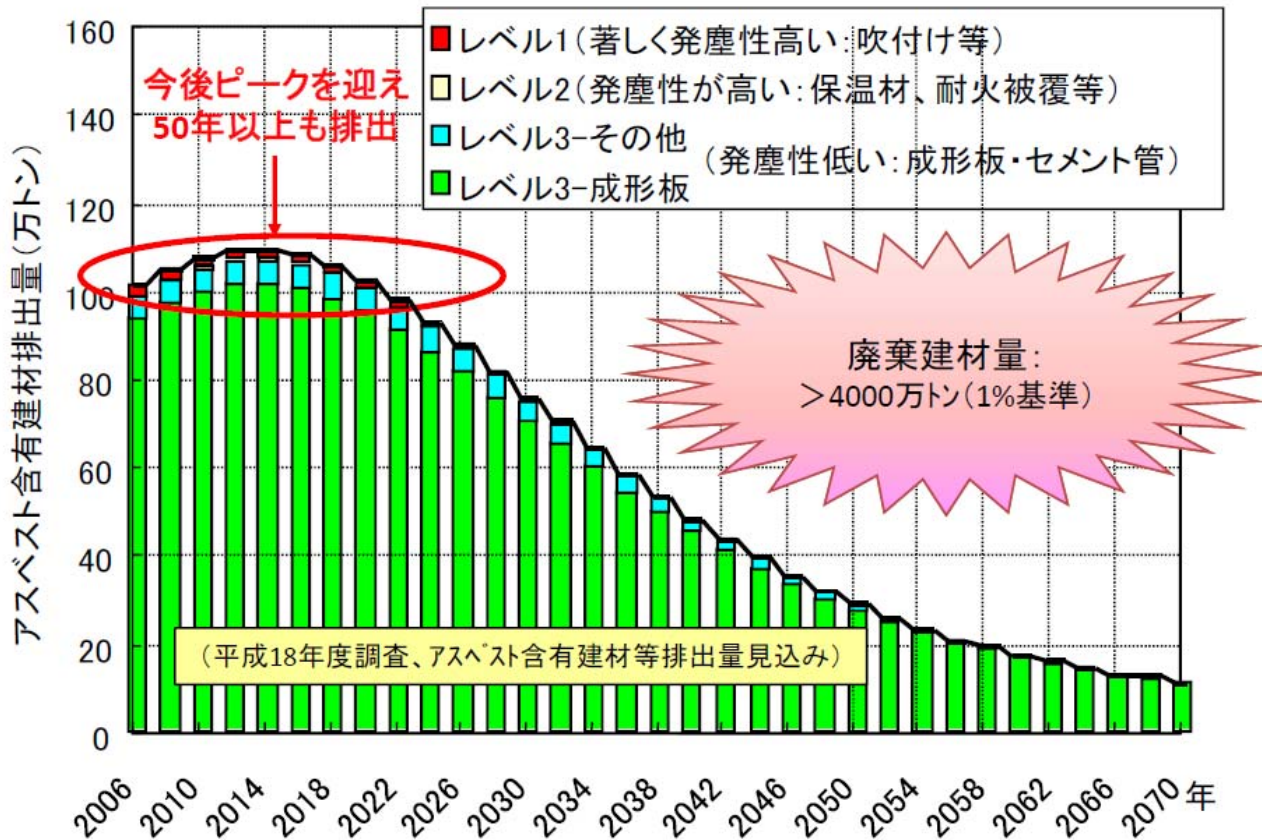
本事業の目的は、これら排出されるアスベスト含有廃棄物について、その除去・回収作業時の飛散及び暴露リスクを低減し安全に除去を行うこと、及び廃棄物の無害化・資源化処理を安全且つ効率的に行うことである。

一方で、開発した技術を実用化して実際にアスベストの処理を進めるためにはコスト面も重要であり、そのため本事業では省エネルギー及びコスト低減を意識した技術開発を行っている。

多量に発生するアスベスト含有廃棄物は、飛散性の特別管理産業廃棄物のごく一部が溶融処理されている以外は殆ど埋立てで処理されている。しかし、従来の溶融処理は多量のエネルギーを消費し、また埋立てではアスベストは無害化されておらず、更に処分場の逼迫も懸念される。

海外においても、アスベストは主に埋立て又はセメント固化等で処理されているが、EUでも、埋立て処分場の状況により、無害化処理プロセスについての関心、ニーズが高まっている国もあり、溶融処理、ガラス固化、酸による分解などの研究開発が行われてきた。現在、EUにてBAT(最適利用可能技術評価)に合致したと認定されているものは、フランスでの Inertam 社のプラズマ溶融炉と米国 ARI 社で開発された熱化学変換法があるが、所要エネルギーも大きく、コスト面からも我が国で広く採用することは難しいと考えられる。

本事業によって、経済性のあるアスベストの除去・回収及び無害化・資源化技術を確立することにより、アスベスト含有廃棄物が適切に処理される社会環境の整備に繋がることが期待される。



II. 研究開発マネージメントについて

1. 事業の目標(プロジェクト基本計画より)

(1)研究開発の目的

アスベストは、天然に産する繊維状結晶鉱物(白石綿、茶石綿、青石綿等)の総称で、耐熱性、耐酸性、耐摩耗性に優れることから、建築物の吹付け材、壁天井等の建材、発電所、化学プラントの配管シール材、自動車等のブレーキパッド等の工業製品として使用されてきた。アスベストは、戦前から利用されていたが、昭和25年ごろからカナダ、ブラジルなどから大量に輸入されるようになり、昭和50年頃から平成2年頃にかけて年間35万トン程度のピークを迎え、これまでに推計蓄積量970万トンが輸入されてきた。しかし、昭和47年にILO(国際労働機関)、WHO(世界保健機構)がアスベストに関する癌原性を公表したことから、国内では、昭和50年には吹付け作業の禁止、平成16年には建材、接着剤、ブレーキパッドなどの製造、使用等が禁止となった。さらに、現在では、既設工場における使用環境の厳しい一部のシール材を除いて製造、使用等が全面的に禁止されている。

一方、平成18年9月のアスベストに関する規制の見直しに伴い、アスベスト含有製品の定義が含有率1wt%から0.1wt%に引き下げられたことから、これまで以上に対処すべき製品の量や種類が格段に増大することになった。具体的には、これまでの1wt%含有アスベスト製品の処理推定量が4千万トン程度であったものが、0.1wt%に引き下げられたことにより、今後アスベスト含有廃棄物として適切に処理しなければならないアスベスト含有建材等は、膨大な量にのぼると推計されている。アスベストは多様な建材や工業製品に使用されてきたことから、今後も廃材や廃棄物からの飛散による健康被害が継続的に発生するおそれが指摘されている。このような状況を踏まえ、関係省庁、各自治体では、急速に対策が進められているところであるが、住宅やビル、学校、事業所の建屋、工場などにおいてアスベストがどこに、どれだけの量や割合で使用されているのかが明確に判断しにくく、解体廃棄の際にアスベスト含有製品として適切な処理をすべき対象物の判別ができず、また、大量のアスベスト含有廃棄物について、不法投棄などの問題の発生が懸念されている。さらに、スレート板やサイディング、乾式の吹き付け等、比較的容易に回収が可能なアスベスト含有製品に比べ、高強度で施工された湿式吹き付けについても、人手によらない、安全性・効率性の高い剥離・回収技術の開発が求められている。

このため、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、「NEDO」という。)では、極低濃度アスベスト製品、大量のアスベスト含有廃棄物を適正処理に対応するために必要な革新的技術として、安全性を確保しつつ作業効率性を高めた回収・除去技術、さらに、例えば高温の燃焼炉やマイクロ波等を活用し、アスベストの結晶構造を破壊する技術を開発することを目的とする。

本技術開発により安全性、信頼性の高い無害化・再資源化技術を開発することで、広くアスベストを利用している産業分野における効率的な削減に係る共通基盤技術として大きな寄与が期待できる。

(2)研究開発の目標

本研究開発では、これまでのアスベスト対策技術に比べて、革新的な技術であり大きな波及効果が見込まれる技術を開発する。具体的な研究開発目標は下記の通り。

【研究開発最終目標】

※アスベスト含有製品の簡易探知・計測技術

・アスベスト含有製品の使用時、解体・回収・廃棄時において、簡易に探知・計測できる技術

(開発目標: オンサイト式で検出感度 0.1wt%超レベル)

・アスベストを含む製品(特に微量な混合物系、浮遊状態)使用時、解体・回収・廃棄時における作業現場で、簡易に高精度探知・計測を可能とする技術(破壊方式、非破壊方式、比色技術、光技術等)

①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

・アスベストを含む建材等の回収・除去現場におけるアスベストの飛散及び暴露を最小化し、回収・除去の安全性及び信頼性等を確保する技術

・大量の廃棄が見込まれるアスベスト含有建材のうち、例えば回収が困難な施工法である強固な湿式吹き付け等について、これまでの手作業による作業を減らした、安全性・効率性が高い回収・除去技術(機械化、高速分離・剥離、構造破壊、簡易溶融、固化等)

②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無害化処理又は再資源化段階における安全性、効率性に優れた技術

(開発目標: 処理量 5 トン/日以上)

・大量に発生すると予測されるアスベスト含有廃棄物の適切な処理を確実にを行うため、例えば高温の燃焼炉やマイクロ波を活用するなどにより、アスベストの結晶構造を破壊し、低コストで安全に、大量処理が可能な、無害化・再資源化技術

これら開発の実施により、アスベスト含有廃棄物の種類及び処理工程に対して、主要な部分をカバーすることを目指した。

なお、※アスベスト含有製品の簡易探知・計測技術に関しては、平成19年度及び21年度の公募にて採択に至らなかったため、平成21年7月に基本計画から削除した。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

上記目標①、②を達成するために、平成19年度及び平成21年度に公募を実施し、以下の事業者を委託先として本事業を実施した。

1)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		
①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
②高性能アスベスト剥離・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
2)アスベスト含有廃棄物の無害化・再資源化技術		
①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
②低温過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	戸田建設・大旺新洋
③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
④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

各個別テーマの研究開発目標とその根拠を以下に示す。

研究開発項目 (個別テーマ)	研究開発目標	根 拠
(1)-①遠隔操作による革 新的アスベスト除去 ロボットの開発	主に解体工事対象の除去ロボットの実用化 除去性能 フロア一部人手の 5 倍 エレベータシャフト部人手の 6 倍	人手のみによる除去工事と 比較し、低コスト・短工期化 の達成
(1)-②高性能アスベスト 剥離・回収・梱包クロー ズ型処理ロボットの開発	主にリニューアル工事対象の除去ロボットの実用化 除去性能 人手の 4 倍	人手のみによる除去工事と 比較し、同等以下のコスト・ 工期の達成
(2)-①オンサイト・移動式 アスベスト無害化・資 源化装置の開発	主にレベル2の保温材対象とした実用化 1100℃程度での溶融無害化システムの 確立、処理能力5トン／日以上	環境省の無害化認定制度 の基準は 5トン／日以上
(2)-②低温過熱蒸気によ るアスベスト無害化・ 資源化装置の開発	主にレベル3の建材を対象とした実用化 900℃程度での無害化処理技術の確立と 処理物の資源化の検討、パイロット装置に よる処理能力5トン／日以上の達成	処理量 30～50トン／日での 事業開始を目指しており、 その 1/10 以上での実証 試験が必要
(2)-③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	主にレベル3の建材を対象とした実用化 850℃程度での無害化処理技術と処理物の リサイクル技術の確立、パイロット装置に よる処理能力5トン／日以上の達成	処理量 30～50トン／日での 事業開始を目指しており、 その 1/10 以上での実証 試験が必要
(2)-④アスベスト低温溶 融無害化・再資源化 処理システムの開発	主にレベル1の廃棄物を対象とした実用化 700℃台での無害化処理技術の確立と プラスチックからの燃料回収、パイロット 装置による処理能力1トン／日以上の達成	処理量 10トン／日程度での 事業開始を目指しており、 その 1/10 以上での実証 試験が必要

研究開発スケジュールを以下に示す。

研究開発項目(個別テーマ)	平成19年度	平成20年度	平成21年度
(1)-①遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発			→
(1)-②高性能アスベスト剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボットの開発		→	→ 継続研究
(2)-①オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発			→
(2)-②低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発			→
(2)-③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		→	→ 継続研究
(2)-④アスベスト低温溶融無害化・再資源化処理システムの開発			→

個別テーマ毎の具体的な開発内容等について以下に記す。

(1)-①遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発

a)開発概要

建物解体時において、湿式吹付けアスベスト含有建材の除去、回収を安全、効率的に処理できる革新的な無人化ロボットシステムを開発する。除去性能は、従来の作業員の手作業による工法の5倍以上を目指す。また、エレベータシャフト内アスベスト除去のための昇降式除去ユニットを開発し、除去性能は手作業の6倍以上を目指す。

b)具体的な開発内容

- ・耐久性や耐磨耗性等に優れた、ロボットアーム先端部に装着する剥離用アタッチメント装置を開発する。
- ・剥離・除去後の床面に散乱しているアスベストを回収用ホッパーに投入するための移載装置を開発する。
- ・ロボットの操作性向上のため遠隔移動カメラシステムを開発する。
- ・エレベータシャフト内のアスベストを、位置や形状を自動的に認識することのできる制御機器により、無人化で除去することのできる昇降式除去ユニットを開発する。
- ・開発したアスベスト除去ロボットを、実験設備(模擬アスベスト)及び現場での試験により性能向上を図る。
- ・実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定を行う。

(1)-②高性能アスベスト剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボットの開発

a)開発概要

ビル等のリニューアル工事に対応して、多自由度マニピュレータにより湿式吹付けアスベストを効率よく安全に剥離して、圧縮・梱包できるクローズ型処理装置を開発する。一連の作業を閉鎖されたクローズ型の装置内で行うことにより、外部にアスベストが飛散せず安全性が高いシステムとする。目標は、単位時間あたりの作業面積が従来の人手作業の4倍以上とする。

b)具体的な開発内容

- ・多自由度マニピュレータの力制御プログラム及び操作性の良好な遠隔操作制御システムを開発し、試作システムでの性能確認によりシステムの改善と操作性の向上を図り、実用化に資するシステムを完成させる。
- ・湿式吹付けアスベストに適した打撃・衝撃、回転切削等の各種剥離方式について比較検討し、マニピュレータの先端に取り付ける剥離装置を開発する。
- ・剥離したアスベストを圧縮し、減容後外部に飛散させることなく袋詰め可能な圧縮・梱包装置を開発する。
- ・開発したシステムによる剥離実証実験を行い、性能確認及び生じた課題への解決を図る。
- ・実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定を行う。

(2)-①オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発

a)開発概要

平成18年度の「緊急アスベスト削減実用化基盤技術開発」にて開発した150kW誘導加熱装置でアルカリ融剤の併用によりアスベストが1,100℃で溶融・無害化されることを確認したが、溶融処理の効率向上及び粉塵等防止を図る飛散抑制ユニットを開発して誘導加熱装置と一体化させ、トレーラーに搭載したオンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置を開発する。

b)具体的な開発内容

- ・飛散抑制ユニットの構成要素である破碎、予備乾燥、放熱抑制、攪拌、熱回収及び前置型集塵の各ユニットについて、小型誘導加熱装置での予備試験により最適な機能・構造を決定し150kW誘導加熱装置に対応した実用化飛散抑制ユニットを開発、製作する。
- ・製作した装置をトレーラーに搭載し、火力発電所構内でのアスベスト含有保温材の無害化・資源化処理の連続運転を行い、作業安全、運転操作、機器保守等に係る課題抽出とその解決を図り、更には処理能力の確認及び環境測定により環境省の無害化認定の取得を目指す。
- ・実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定を行う。

(2)-②低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発

a)開発概要

アスベスト含有廃棄物の処理において、900℃程度の過熱蒸気を用いて無害化する装置を開発し、発生した無害化処理物のセメント原料等への再利用を検討する。また、処理物は、位相差顕微鏡、X線回折、電子顕微鏡での無害化の確認に加えて、動物試験を中心とした有害性評価システムを用いて無害性を評価する。

b)具体的な開発内容

- ・基礎試験装置(500kg/日)により、広く市販、利用されているアスベスト含有建材を、過熱蒸気により無害化処理できる最適な処理温度、処理時間、過熱蒸気量を決定する。
- ・基礎試験装置で得られた結果から、パイロット規模装置(5t/日)を設計・製作し、試験運転により無害化の確認及び処理能力の検証を行い、装置の改善へ反映させる。
- ・無害化処理物のセメント原材料として使用可能性を、組成分析及びセメントへの混合試験により検証する。
- ・無害化処理物の安全性について、物理化学的特性試験、試験管内試験、気管内注入試験等により総合的に評価する。
- ・実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定を行う。

(2)-③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

a)開発概要

アスベスト含有建材に含まれるセメント中のカルシウム成分がマイクロ波を吸収し自己発熱する原理をアスベストの無害化に利用できることを核融合科学研究所とともに確認したが、この原理を用いて、アスベスト含有建材にマイクロ波を照射し建材中のアスベストを850℃程度で無害化し、建材を再資源化する実用化技術を開発する。

b)具体的な開発内容

- ・マイクロ波加熱小型試験装置により、高速、安価に無害化できる最適な処理条件に関するデータを収集し、高効率化のための設計仕様を決定する。
- ・得られた設計仕様を基に、小型試験装置を実用化装置に改良し、スケールアップに伴う最適運転条件の抽出、連続運転による再現性の確認等実証確認を行う。
- ・無害化処理した住宅用化粧スレート瓦などを、建材製品(屋根材、外壁材)の強度アップ等の機能性フィラ一化を狙い、製品の試作による確認も含めて再資源化する技術を開発する。
- ・実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定を行う。

2)-④アスベスト低温溶融無害化・再資源化処理システムの開発

a)開発概要

アスベスト含有特別管理産業廃棄物に対し、融解剤を用いた700℃程度での処理によるアスベスト無害化技術、廃棄物中のプラスチック成分からの燃料成分回収技術、回収した炭化水素油や炭化水素ガス分及び排ガス中へのアスベストやPCB等の混入を防止する技術、及び無害化処理物の再資源化技術を開発する。

b)具体的な開発内容

- ・多量のプラスチック分を含むアスベスト含有特別管理産業廃棄物に、融解剤を加えロータリーキルン内で無害化する試験装置を製作し、先ず確実に無害化を達成できる運転条件を確立した上で、効率の向上を図る。
- ・アスベストの無害化を確保した上で、効率的に炭化水素油や炭化水素ガスを回収できる運転条件を確認し、また回収物へアスベストを混入させないための対策を検討する。
- ・回収した炭化水素ガス及び無害化処理物(残渣)の性状を確認し、燃料への利用及び残渣の有効活用法を検討する
- ・実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定を行う。

2.2 研究開発の実施体制

(1)実施者の選定

本研究開発は、NEDO が、原則本邦の企業、研究組合、公益法人、大学等の研究機関(原則、国内に研究開発拠点を有していること、ただし、国外企業の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点からの国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない。)から公募によって研究開発実施者を選定後、委託して実施する。

平成19年度の公募では、26件の応募があり、外部有識者からなる採択審査委員会を経て5事業を採択した。また、平成21年度の公募では11件の応募があり、同様の審査により1事業を採択した。

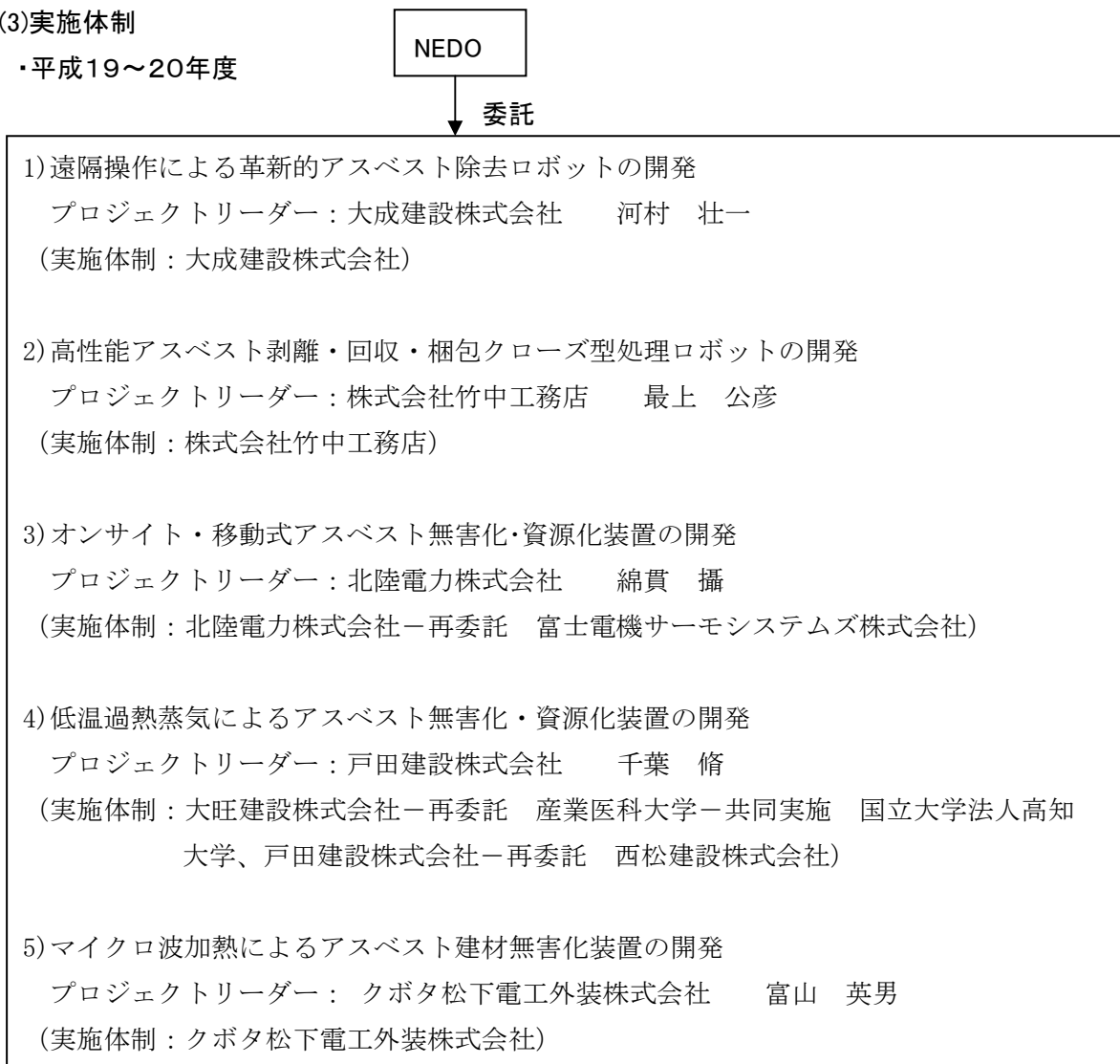
(2)プロジェクトリーダー

本研究開発を実施する各研究開発者の有する研究開発ポテンシャルを最大限に引き出すことにより効率的な研究開発の実施を図る観点から、NEDO が指名する研究開発責任者(プロジェクトリーダー)を置き、研究開発を実施する。

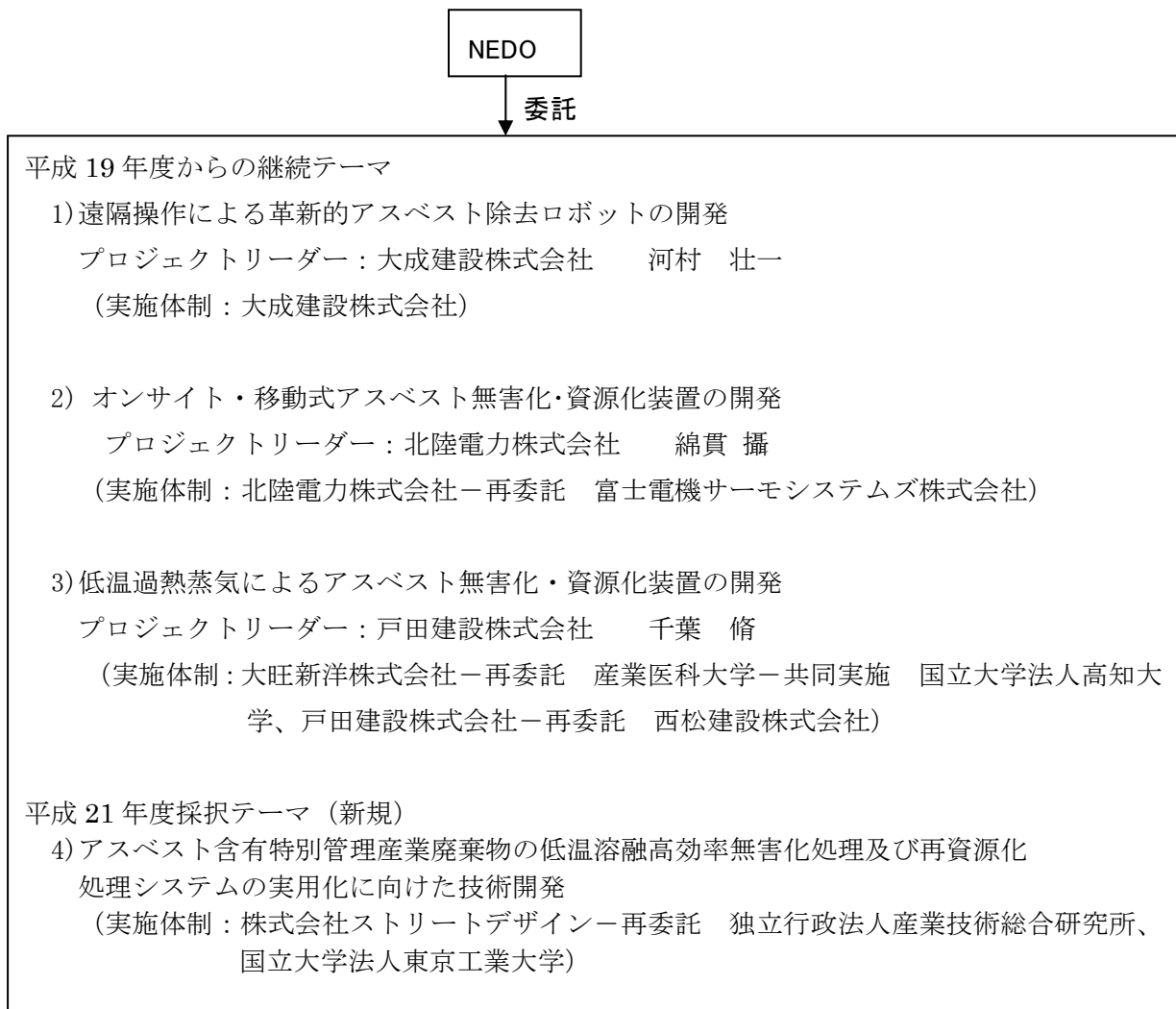
本事業は、広くアスベストを利用している産業分野における効率的な削減に係わる共通基盤技術として大きな寄与が期待できるものであるが、事業開始当初は先ず各々の事業者による基本技術確立が先決のため、個々の研究開発項目(個別テーマ)に対して個別にプロジェクトリーダーを置いて、きめ細やかな研究開発の管理を行える体制とし、その上で、NEDOがプロジェクト全体のマネージメントを行った。

(3)実施体制

・平成19～20年度



・平成21年度



2.3 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO は、経済産業省及び研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして、適切な運営管理を実施した。具体的には、技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度プロジェクトリーダー等を通じて、プロジェクトの進捗について報告を受けること等を行った。

(1)技術検討委員会(NEDO 主催)

・委員リスト(平成19年度～平成20年度)

中杉 修身	委員長、上智大学 教授
藤澤 敏治	名古屋大学 教授
清家 剛	東京大学 准教授
今西 信之	神製リサーチ 特別研究員
幾原 雄一	東京大学 教授
森田 一樹	東京大学 教授
沼口 徹	日本ポール 事業所長

・委員リスト(平成21年度)

神山 宣彦	委員長、東洋大学 教授
藤澤 敏治	名古屋大学 教授
清家 剛	東京大学 准教授
今西 信之	神製リサーチ 特別研究員
名古屋 俊士	早稲田大学 教授
小暮 幸雄	AMCアスベスト処理推進協議会 理事長

- ・平成 19～20 年度は、主に基盤技術開発上の課題を中心に委員会で議論し開発へ反映させた。
- ・平成 21 年度は、事業化上の課題をより多角的に議論すべく、一部委員を追加し開発へ反映した。

(技術検討委員会開催履歴)

<平成19年度>

2007/10/10 第1回 場所:NEDO 川崎本部

参加法人:METI、NEDO、大成建設、竹中工務店、北陸電力、大旺建設・戸田建設、クボタ松下電工外装

2008/02/01 第2回 場所:NEDO 日比谷オフィス

参加法人:METI、NEDO、大成建設、竹中工務店、北陸電力、大旺建設・戸田建設、クボタ松下電工外装

<平成20年度>

2008/07/23(サイト委員会) 場所:大成建設技術センター行田分室

参加法人:NEDO、大成建設

2008/08/07 第1回 場所:NEDO 日比谷オフィス

参加法人:METI、NEDO、大成建設、竹中工務店、北陸電力、大旺建設・戸田建設、クボタ松下電工外装

2008/12/18(サイト委員会) 場所:竹中工務店技術研究所 No.5 会議室

参加法人:NEDO、竹中工務店

2009/02/04 第2回 場所:発明会館 7F 会議室

参加法人:METI、NEDO、大成建設、竹中工務店、北陸電力、大旺建設・戸田建設、クボタ松下電工外装

<平成21年度>

2009/09/14(サイト委員会) 場所:大旺新洋株式会社環境エンジニアリング本部

参加法人:NEDO、大旺新洋、戸田建設、西松建設、高知大学

2009/10/08 第1回 場所:NEDO 川崎本部

参加法人:NEDO、大成建設、北陸電力、大旺新洋・戸田建設、ストリートデザイン

2010/03/03 第2回 場所:NEDO 日比谷オフィス

参加法人:METI、NEDO、大成建設、北陸電力、大旺新洋・戸田建設、ストリートデザイン

(2)委託先による外部有識者からの指導等

各事業者とも外部の有識者等を招聘し、技術指導やビジネス化の課題検討等を行った。各社の実施内容の概略を以下に示す。

- ・大成建設:ワーキンググループとして3名の外部有識者を交え、安全面、技術面、事業化に関する打合せを年3回程度実施し、開発及び事業化検討に反映した。

- ・竹中工務店:3名の外部専門家を招聘し、安全面、ロボット制御等に関する指導を受け、開発に反映した。
- ・北陸電力:ユーザー候補等を交えた7名の外部有識者を交えたビジネスモデル委員会を開催し、事業化の検討に反映した。
- ・大旺新洋・戸田建設:学識経験者等を年1回数名現地に招き、技術指導等を開発に反映した。
- ・クボタ松下電工外装:マイクロ波に関する有識者から無害化技術に関する指導を受け、開発に反映した。
- ・ストリートデザイン:無害化に用いるキルンに関する有識者から技術指導を受け、開発に反映した。

2.4 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

平成20年度までは、一部競合する技術開発に関して、各委託先の知財保護の観点から、プロジェクトの事業者間の情報交換は限定されたものに止め、技術検討委員会や個別の進捗状況確認等により NEDO が全体のマネジメントを行っていた。

平成21年度には、各委託先による技術開発に目処が立ち、また特許出願等も進んだことから、実用化、事業化に向けてプロジェクト全体で取り組むことが可能になり、調査事業と相まって検討を進めた。

具体的には、調査事業の中で、アスベスト対策技術のビジネス化をテーマとして取り上げ、本事業の委託先を調査委員会のオブザーバーとして事業化上の課題等について各社報告し共有化するとともに、同じくオブザーバーとして出席頂いた関係省庁(環境省、国交省、厚労省、経産省)及び委員である学識者と業界団体((社)日本石綿協会、(社)全国解体工事業団体連合会)の方との意見交換を実施した。

また、調査委員会や展示会等においても、各事業者間の交流を促し、廃棄アスベストの収集・処理ルートについて連携する動きにつながった。

なお、この調査事業では本事業をモデルケースとして、実際にアスベストの処理を進めるための課題等も整理して報告書にまとめている。

3. 情勢変化への対応

- ・外部要因 法令等の改訂という情勢変化に以下の対応を行った。

情 勢	対 応
<ul style="list-style-type: none"> ・H19 年度に、トレモライト等の3種類のアスベストが新たに規制対象として追加された。(注 1) ・H20 年度に建材中のアスベストの分析方法が改訂された。(注 2) ・H21 年度に無害化処理生成物に係わる電子顕微鏡を用いた石綿の測定方法が示された。(注 3) 	<ul style="list-style-type: none"> ・追加の3種含めたアスベスト全6種への対応をプロジェクトの対象とした ・改定後のプロトコルに従って評価することとした ・無害化の判定には、従来法に加えて同方法で確認することを指示

注1:厚生労働省 基安化発第 0206003

注2:JIS A1481:2008

注3:環境省 環廃対発第 091225001

プロジェクト期間中も分析法の改正等が相次ぎ、特に期間終了間近での無害化判定方法の提示は大きな影響もあったが、速やかに対処することができた。

・内部要因 成果の上がっているプロジェクトに対して、実用化の加速等を目指し加速財源を投入した。

時 期	件 名	金 額 (百万円)	目 的	成 果
平成 20年 12月	高含水率の処理 物対応のための 予備乾燥ユニットの 能力向上	20	処理物の予備乾燥能力 を強化することにより運 転安定化を図る	<u>高温溶融物の廃熱とスーズヒータ</u> を用いて予備乾燥ユニットの乾燥 能力を向上させることにより、 <u>炉</u> <u>の運転安定化を実現した。</u>
平成 21年 9月	地震・停電時のア スベスト飛散防止の 緊急対応システムの 構築	13	無害化認定に不可欠な 安全対策として、緊急 時もアスベストを飛散させ ないシステムを構築する	<u>地震及び停電時にも、アスベスト</u> <u>を飛散させることなく設備を安定</u> <u>に維持できるシステムを構築し、安</u> <u>全性が向上した。</u>
平成 21年 9月	過熱蒸気循環装 置の設置等によ る熱効率向上対 策及び無害化確 認分析の追加	14	排気工程での熱損失の 抑制等による熱効率向 上の効果を検証し、実 用化時の設計へ反映。 また、新たな無害化判 定基準となる電子顕微 鏡での分析を実施	<u>検証した効果は実用化時の設</u> <u>計へ反映される見込み。電子顕</u> <u>微鏡の分析結果を無害化処理</u> <u>条件の確認・見直しに反映させ</u> <u>た。</u>
平成 21年 9月	エレベータシャフト内ア スベスト除去ロボットの 自律制御化	8	当初遠隔操作を想定し たロボットに立体センサー及 び力センサーを追加して自 律制御化し除去効率向 上を図る	<u>自律制御化により人手の5倍の</u> <u>除去能力は目処、目標の6倍</u> <u>達成に向け検討継続中。</u>

4. 評価に関する事項

本事業に関しては、平成18年度に当時のバイオテクノロジー・医療技術開発部にて、事前評価を実施し、NEDOの実施する事業として適切であると判断した。

また、NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義及び将来の産業への波及効果について、外部有識者による研究開発の事後評価を平成22年度に実施する。

Ⅲ. 研究開発の成果について

1. 事業全体の成果

(1) 目標の達成度

アスベストの安全回収・除去並びにアスベストの無害化・資源化の技術開発については、何れも基本技術は確立できた。回収・除去技術に関しては、ロボットによる除去・回収の基本技術を確認し、現場実証試験による実用化推進に取り組んでいる。また、無害化・資源化技術に関しては、パイロット設備等での無害化処理の実証試験を行い、問題の無いことが確認できている。

開発テーマ毎の達成状況について、以下に記す。

開発テーマ	目標	達成状況	達成度
アスベストの安全回収・除去技術開発	アスベストを含む建材等の回収・除去現場におけるアスベストの飛散及び暴露を最小化し、回収・除去の安全性及び信頼性等を確保する技術を確認	<ul style="list-style-type: none"> ・2つの委託先ともロボットによる除去・回収の基本技術を確認 ・複雑な形状部等の除去について、技術的には一部対応も可能であるが、コスト面から10～20%程度の未除去部を残すこととした ・現場実証試験は、施主の了解を得ることに苦労しており、当初想定ほど進んでいないが、数ヶ所で実施の目処 	達成
アスベストの無害化・資源化技術開発	アスベスト含有廃棄物の無害化処理又は再資源化における安全性、効率性に優れた技術を確認(開発目標:処理量5トン/日以上)	<ul style="list-style-type: none"> ・4つの各委託先何れも無害化処理の実証試験を実施し、周辺環境への影響含めて問題ないことを確認 ・特に北陸電力は本年10月に環境省の大臣認定を受けた ・その他の委託先は昨年12月に示された新たな無害化判定基準に対して運転条件の最適化を検討しており、無害化の大臣認定取得を目指している 	達成

各開発テーマにおける個別開発項目毎の達成状況の達成状況について、以下に記す。

個別開発項目	目標	達成状況	達成度
遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発	主に解体工事対象とした除去ロボットの实用化 除去性能 フロア一部 人手の5倍 エレベータ部 人手の6倍 (H21年度追加項目)	<ul style="list-style-type: none"> ・模擬試験でフロア一部、エレベータ部共に除去性能人手の5倍を達成 ・現場試験で減容化1/3確認 ・現場実証を積み重ね実用化を目指す 	達成
高性能アスベスト剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボットの開発	主にリニューアル工事対象とした除去ロボットの实用化 除去性能 人手の4倍	<ul style="list-style-type: none"> ・現場実証試験で除去性能人手の4倍相当を確認 ・減容化1/3達成 ・現場実証を積み重ね実用化を目指す 	達成

個別開発項目	目標	達成状況	達成度
オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発	主にレベル2の保温材対象とした実用化、1100℃程度での溶融無害化システムの確立、処理能力5トン／日以上	・処理システムを確立し環境大臣の無害化認定を受け、自社の発電所内で処理開始へ ・実績を積んだ上で、自社以外への展開を図る	達成
低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発	主にレベル3の建材を対象とした実用化、900℃程度での無害化処理技術の確立と処理物の資源化の検討、パイロット装置による処理能力5トン／日以上での達成	・新たな無害化判定基準に対する安全率を考慮し、950℃での無害化処理条件を確立 ・処理物のセメント原料化確認 ・事業化に向け検討推進中	達成
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	主にレベル3の建材を対象とした実用化、850℃程度での無害化処理技術と処理物のリサイクル技術の確立、パイロット装置による処理能力5トン／日以上での達成	・850℃での無害化処理条件確立済み、コスト最適化検討中 ・自社建材への再利用確認 ・事業化に向け検討推進中	達成
アスベスト低温溶融無害化・再資源化処理システムの開発	主にレベル1の廃棄物を対象とした実用化、700℃台での無害化処理技術の確立とプラスチック分からの燃料回収、パイロット装置による処理能力1トン／日以上での達成	・実証設備にて750℃での無害化を検証 ・プラスチック分のガス化、回収確認 ・事業体制構築含め事業化検討推進中	達成

(2)成果の意義

○アスベストの安全回収・除去技術開発

- ・人手に比べて4～6倍の除去能力を達成、計算上は工事コスト低減が可能
- ・除去物も1／3への減容化が図れ、輸送及び埋立てコスト低減へ寄与
- ・コスト面も考慮し、10～20%程度は人手による作業との併用を想定し、現場実証試験による調整を進め、早期事業化を目指している

※エレベータシャフト内のアスベスト除去ロボットは、平成22年12月にアスベスト処理を行う予定。

○アスベストの無害化・資源化技術開発

- ・環境省の無害化認定制度適用による1500℃以下(700～1100℃)での処理に技術的な目処がつき、従来の溶融処理に比べて、ランニングコスト・設備コストが大幅に抑制される見込み
- ・無害化認定取得の上で、平成23～24年度頃からの事業開始を目指している

※オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発において、北陸電力は平成22年10月14日に環境省の無害化認定制度による大臣認定を受け(3件目)、自社発電所内にて実際にアスベストの処理を開始している。

(3)知的財産権の取得、(4)成果の普及

各委託先とも、特許出願及び論文投稿等の外部発表にも積極的に実施している

区分 年度	特許出願	論文	研究発表・ 講演等	雑誌・新聞 等掲載	展示会出展
平成19年度	2	5	8	28	4
平成20年度	5	10	15	21	5
平成21年度	8	10	13	33	7

NEDOとしても、エコケミカルシンポジウム(平成19年、平成21年)を開催し、アスベスト問題に対する啓蒙活動を行い、また国内随一のアスベストに関する展示会(アスベスト対策環境展:平成19、20、21年及びアスベスト&環境リスク対策展:平成22年)に出展し、情報発信と成果の普及に努めた。

2. 研究開発項目毎の成果

2.1 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

2.1.1 遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発

開発概要

1. 遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発

(1) 湿式系吹付けアスベスト含有建材除去ロボットの開発（フロア大空間用）

①剥離用アタッチメント装置の開発

剥離用アタッチメント装置の仕様を決定し、アスベストの粗取り用回転式剥離機（鉄筋針付）と仕上げ用回転式剥離機（樹脂製ブラシ）を併せ持つ、多機能型剥離用アタッチメント装置（各々の剥離機を180度反転させて使い分け）を開発した。また、低速で高トルク機能を持った駆動モータを装備した。

②実用規模試作機の製作、及び実証

遠隔操作の標準装備された既往のロボットアーム先端部に、試作した多機能型剥離用アタッチメント装置を装着して、アスベスト除去ロボットによる実験室での模擬吹付けアスベスト除去実験を行った。その結果、概ね15m²/h程度の除去速度を確保できることが判明した。

(2) 湿式系吹付けアスベスト含有建材回収システムの開発

①除去アスベスト移載装置の開発および実用規模試作機の製作、実証

ロボットのブレードによって掻き寄せられた除去アスベストを、効率良くコンベア装置に受け渡すための、ステージ型移載装置の仕様を決定した。また、試設計・試作した後、除去（模擬吹付け）アスベスト移送実験を行い、長尺ベルトコンベア連結部の滑落防止用カバーの設置などの対策を施して、円滑に移送できることを確認した。

②破碎装置の開発および実用規模試作機の製作、実証

2軸式のローリングカッターを使用した、ラス網等の金属片をも裁断することのできる破碎装置の仕様を決定した。また、試設計・試作した後、模擬吹付けアスベスト及びラス網による破碎実験を行い、破碎し切れなかった残骸物を振り分けすることのできる機能を追加することにより、円滑に破碎することができ、概ね1/3に廃棄アスベストを減容できることを確認した。

(3) 高度遠隔操作システムの開発

無線によりパソコン遠隔操作で移動させることのできる、クローラ型移動カメラ装置の仕様を決定した。監視カメラを3.5mの高さまで上昇させることのできるリフター機構や防汚用のワイパー機構、補助輪機構等を持たせることにより、明瞭で安定した遠隔監視操作ができることを確認した。

また、作業区域内のモニターカメラからの映像を、よりリアルにロボットオペレータに伝達するためのグラスモニターシステムを試行し、遠隔操作時の有効性を確認した。

(4) トータルシステムの現場実証試験

湿式系吹付けアスベスト含有建材回収システムを実際の工事現場に導入して実証試験を行い、安全対策の為の改良を行い、廃棄アスベスト等を概ね1/3に減容できることを検証した。

(5) エレベータシャフトへの適応拡大

①エレベータシャフト内昇降式除去ユニットの開発

(エレベータシャフト内アスベスト除去ロボットの開発)

3種類のセンサー（力センサー、カメラセンサー、立体センサー）を装着した、6軸多関節型の知能ロボットのアーム先端部に、粗取り用または仕上げ用の回転式剥離機を装着したアスベスト除去ロボットを製作した。また、4点ワイヤ吊りの為の巻取り機、エアブレーキ、ガイドローラーを装着した昇降ゴンドラ架台を試作した。そして、ロボットとゴンドラ架台を合体させた後、模擬エレベータシャフト実験室において除去実験を行った。その結果、概ね10m²/h程度（3回繰り返し時）の除去速度を確保できることが判明した。

2. 実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定

湿式系吹付けアスベスト無人化除去・回収システムの事業化に向けた、現状の湿式系吹付けアスベストの実態調査を行い、総合的な導入シナリオを策定した。

開発内容

第1章 湿式系吹付けアスベスト無人化除去・回収システムの基本構想

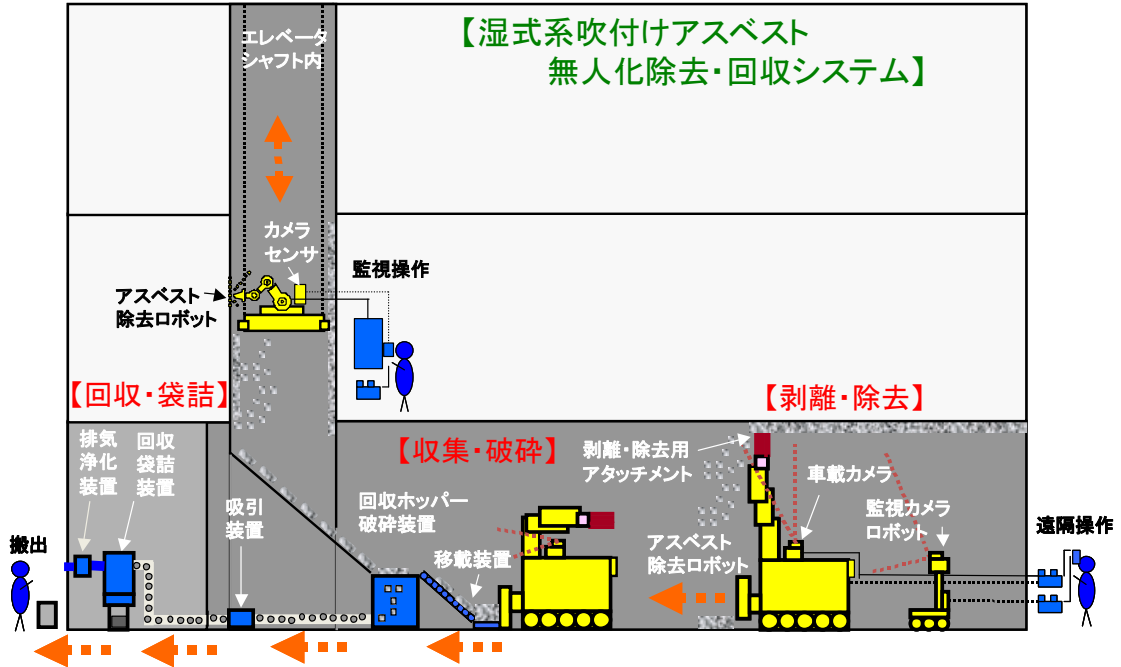


図 1-1 湿式系吹付けアスベスト無人化除去・回収システムの流れ

湿式系吹付けアスベスト無人化除去・回収システムの基本的なシステムフローを図 1-1 に示す。主な作業工程を以下に示す。

①車載カメラおよび監視カメラロボット等からの映像を見ながら、剥離・除去用アタッチメントを装着したロボットを遠隔操作して、建物各部位に吹付けられているアスベスト含有建材を剥離・除去する。(エレベータシャフト内のロボットは、予め除去動作をプログラミングにより教え込ませた上で、自動運転により剥離・除去する。)

↓

②ロボット付属のブレードで、床面上の剥離・除去したアスベストを掻き寄せる。

↓

③移載装置およびベルトコンベアを使って集めたアスベストを回収ホッパーに投入する。

↓

④破碎装置で塊状の除去アスベストを粉砕する。

↓

⑤バキューム装置で粉砕されたアスベストを回収装置まで圧送する。

↓

⑥回収・袋詰装置により、所定の回収袋にアスベストを自動で袋詰めする。

第2章 フロア大空間用湿式系吹付けアスベスト除去ロボットの開発

2-1 湿式系吹付けアスベスト除去ロボットベースマシン

湿式系吹付けアスベスト剥離・除去ロボットのベースマシンとして、先に乾式系吹付けアスベスト剥離・除去ロボット用として使用した、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。本装置の主な仕様を表2-1に示す。

本ロボットベースマシンは、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。

その外観を図2-1に示す。

表2-1 ロボットベースマシンの主な仕様

寸法	
輸送時長さ (アタッチメント無し)	1821mm
輸送時高さ (最低)	1210mm
輸送時 幅 (最小)	780mm
輸送時 幅	1586mm
地面からのクリアランス	150mm
トラック幅	200mm
作業半径 (先端ツールによる)	3.6m
重量	
自重 (アタッチメント無し)	930kg
地面へのトラック圧力 (アタッチメント無し)	0.028MPa (0.29kg/cm ²)
先端ツール最大重量	120kg
性能	
上部回転速度	8sec/245°
最大移動速度	2.3km/h
バケット容量	0.055m ³
ブレーカー 一打あたりのエネルギー	255J (26.00kgf.m)
電動モータ	
出力	11kW
電圧	220-240V 380-420V
起動方法	ソフトスタート
油圧システム	
ポンプ形式	ギヤポンプ
油圧	16MPa (163.2kg/cm ²)
油量	40L/min
制御システム	
制御ユニット	遠隔操作ボックス
信号コード	デジタル
制御モード	ケーブル/無線



図 2-1 湿式系吹付けアスベスト除去ロボットベースマシン

2-2 湿式系吹付けアスベスト剥離用アタッチメント

アスベスト剥離用アタッチメントは、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に、回転数とトルクを設定している。

写真 2-1 に、アスベスト剥離用アタッチメント取付け状況を示す。



写真 2-1 剥離用アタッチメント（粗取り用/仕上げ用）

2-3 車載用監視カメラ

ロボット胴体部に、湿式系吹付けアスベストの除去部位の映像を、リアルタイムで遠隔操作を行うオペレータのTVモニターに送信するため、2台の車載用監視カメラを設置した。

写真 2-2 に車載用監視カメラの設置状況を、また、表 2-2 に主な仕様を示す。



写真 2-2 監視カメラ

表 2-2 監視カメラの主な仕様

■一般仕様	
使用条件	屋外一般
設置条件	正立設置
使用電源	DC24V (22~26V)
電流	動作時 2.0A以下 (ピーク時3.5A参考値) 停止時 約0.8A
使用温度	-15℃~+45℃
使用湿度	90%以下 但し結露なきこと
防水性	JISC0920×5 (防噴流型) 及びIP65に準じる
リモコン形式	RS-485 シリアル信号
転送速度	9600bps
外装部材質	耐食アルミ合金及び合成樹脂
ワイパー	操作指令により2往復
デフロスト	前面ガラスはデフロスト、リモート強制ON/OFFサーモスイッチによる自動ON/OFF
近赤外線照明器	実用照射距離 約30m
質量	約5.4kg
■カメラ仕様	
信号形式	NTSC
撮像デバイス	1/4型 CCD固定撮像素子 総画素数38万画素 実効画素数724×494 約36万画素
解像度	水平480TV本以上 (中心部) 垂直400TV本以上 (中心部)
最低被写体照度	高感度機能 OFF時 3.0lx 高感度機能 ON時 0.03lx (白黒モード時)
■レンズ仕様	
ズーム比	光学23倍 電子ズーム4倍 (組み合わせ最大92倍に通常設定)
焦点距離	f = 3.6~82.8mm
ズーム動作速度	・マニュアル操作時 約3.5~7.8秒デフォルト約6.5秒 ・プリセット動作時 約1.6秒
フォーカス動作速度	・マニュアル操作時 約1.5~40秒デフォルト約8秒 ・プリセット動作時 約2秒以下 ・オートフォーカス時 約2~6秒 (W~T)
最至近距離	100mm (ワード端) ~1000mm (テレ端)
■旋回台仕様	
旋回角度	水平360° エンドレス 垂直+30° (上向き) ~-90° (真下)
旋回速度	水平部 マニュアル動作時 約0.2° /s (テレ側) ~約60° /s (ワイド端) プリセット動作時 約60° /s、90° /s、120° /s オートパン動作時 約3° /s~9° /s 垂直部 マニュアル動作時 約0.2° /s (テレ側) ~約30° /s (ワイド端) プリセット動作時 約30° /s、45° /s

第3章 エレベータシャフト用湿式系吹付けアスベスト除去ロボットの開発

3-1 湿式系吹付けアスベスト除去ロボットベースマシン

エレベータシャフト用の湿式系吹付けアスベスト除去ロボットベースマシンとして、フアナック社製の汎用性の高い、6軸垂直多関節形の智能ロボットを採用した。

ロボットベースマシンの外形および主な仕様を、写真 3-1 および表 3-1 に示す。

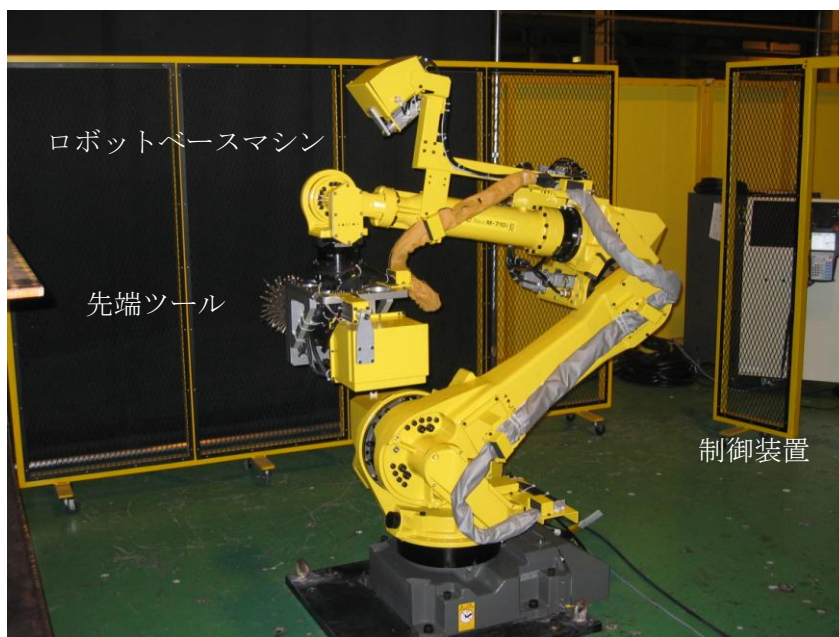


写真 3-1 エレベータシャフト用アスベスト除去ロボットベースマシン

表 3-1 ロボットベースマシンの主な仕様

項目		仕様
		M-710iC/70
動作形態		多関節形ロボット
制御軸		6軸 (J1、J2、J3、J4、J5、J6)
リーチ		2.05m
動作範囲 (最大動作速度)	J1軸回転	360° (160° /sec)
	J2軸回転	225° (120° /sec)
	J3軸回転	440° (120° /sec)
	J4軸手首回転	720° (225° /sec)
	J5軸手首振り	250° (225° /sec)
	J6軸手首回転	720° (225° /sec)
手首部可搬質量		最大70kg
駆動方式		ACサーボモータによる駆動
位置繰返し精度		±0.07mm
ロボット質量		約560kg
設置条件		周囲温度 : 0~45℃ 周囲湿度 : 通常75%RH以下 (結露しないこと) : 短期95%RH以下 (1ヶ月以内) 振動値 : 0.5G以下

3-2 湿式系吹付けアスベスト除去ロボット付属センサー

開発当初においては、フロア大空間用湿式吹付けアスベスト除去ロボットと同様の考え方により、エレベータシャフト内の吹付けアスベストを、図 3-1 の左側に示すように、監視カメラからの映像を、別室のオペレータが TV モニターを見ながら、ロボットを遠隔操作して除去する方式を取り入れる予定であった。しかしながら、ロボットベースマシンが、センサー類を搭載することで知能化でき、予め、アスベスト除去部位における動作データを教え込ませることで、ロボットの自己認識制御により、自動運転でアスベストを効率良く除去することができることから、アスベストを自己認識させるための各種センサー類を装備した。(図 3-1 の右側参照)

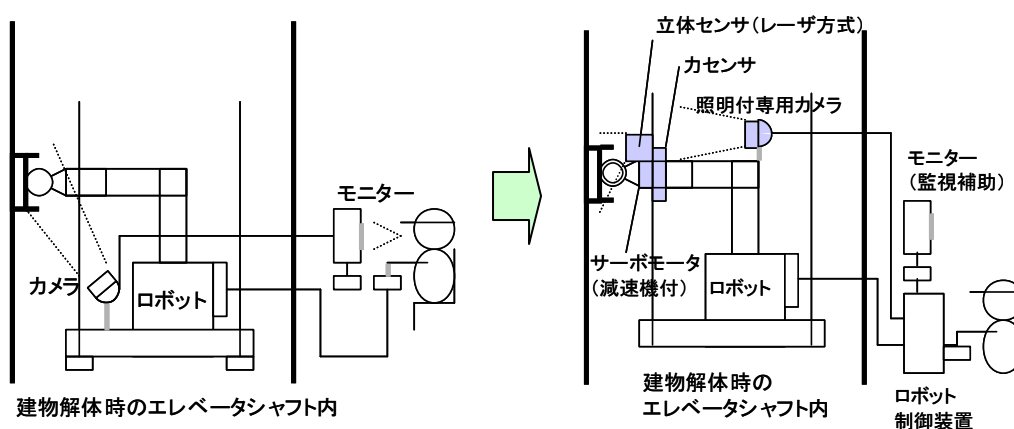


図 3-1 アスベスト除去ロボットの基本構成と各種センサー

(1) カセンサー

知能ロボット用として最適化したカセンサーで正確に感じ取った力を、知能化機能で制御して、熟練作業の力加減を再現することができる。(写真 3-2)

(*外形寸法：φ155×74.5mm、質量 3.2kg)

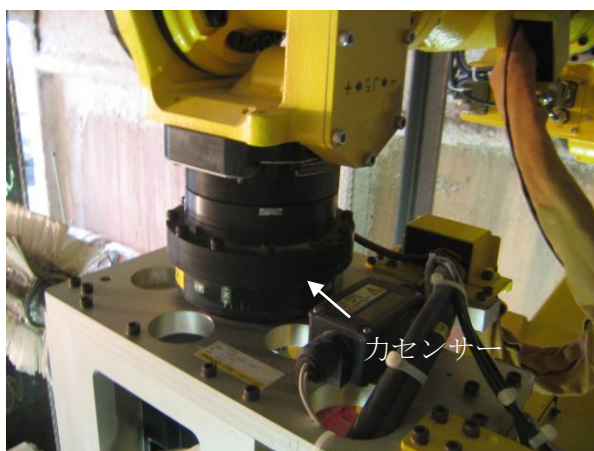


写真 3-2 カセンサー

(2) カメラパッケージセンサー (2次元)

カメラ、レンズ、カメラカバー、LED 照明を一体化しており、アスベストの除去状況等をパソコンの映像で確認することができる。(写真 3-3)

(*外形寸法：φ100×105.6mm、質量 0.76kg)

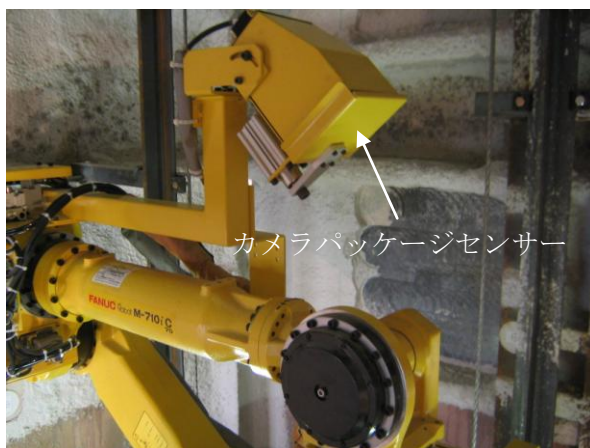


写真 3-3 カメラパッケージセンサー

(3) 立体センサー (3次元)

レーザ方式により、アスベストの付着状況を、3次元で認識することができる。

(*外形寸法：160×116mm、質量 0.9kg) (写真 3-4)



写真 3-4 立体センサー

3-3 湿式系吹付けアスベスト剥離用アタッチメント

フロア大空間用湿式系吹付けアスベスト除去ロボットの剥離用アタッチメントと同様に、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、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製作した。

剥離機の機構・構造を図 3-2 に示す。また、外観を写真 3-5～3-6 に示す

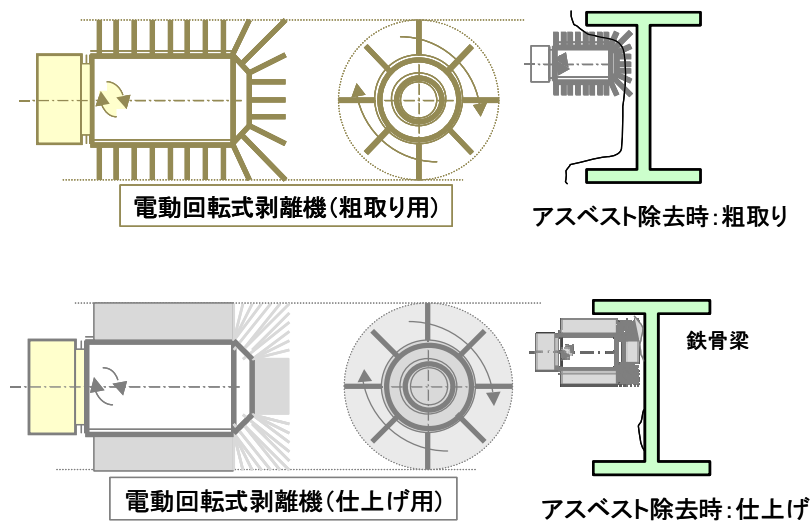


図 3-2 剥離機の構造（粗取り用/仕上げ用）

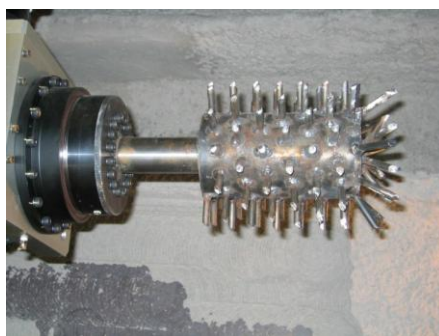


写真 3-5 粗取り用剥離機



写真 3-6 仕上げ用剥離機

3-4 昇降ゴンドラ架台装置

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製作した。このゴンドラ架台は、既存のエレベータカゴおよびカウンターウェイト用のガイドレールを有効利用して、垂直移動時の安定した軌道の確保や架台の固定に用いている。そのため、軌道を確保するためのガイドローラーおよび、ある所定の高さ位置でゴンドラ架台を固定するためのエア式の把持装置（ブレーキ）を取り付けている。また、このゴンドラ架台は4点式のワイヤで吊り下げる構造になっており、このワイヤ類を巻き取るためのワインダーを各々4台設置している。さらに、この架台は、エレベータシャフト内へスムーズに搬出入等を行うため、3分割できるような構造となっている。

その状況を写真3-7～3-8に示す。

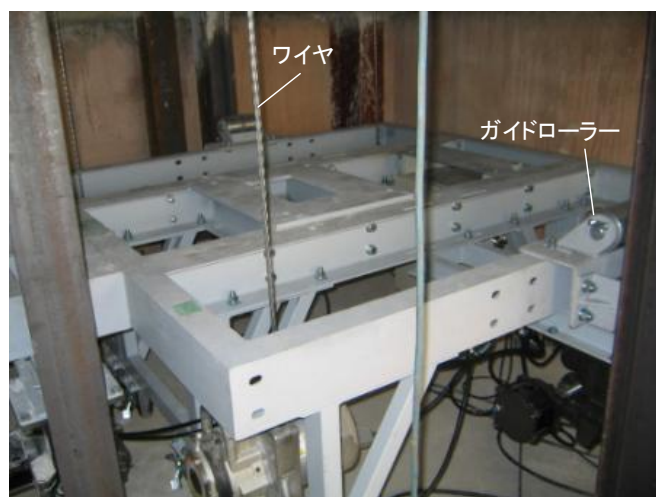


写真 3-7 昇降ゴンドラ架台装置（見下げ）



写真 3-8 昇降ゴンドラ架台装置（見上げ）

そこで、これまでのロボットベースマシンと昇降ゴンドラ架台を合体させて、模擬のエレベータシャフト実験室に設置したときの、エレベータシャフト用のアスベスト除去ロボットの外観を、写真 3-9 に示す。

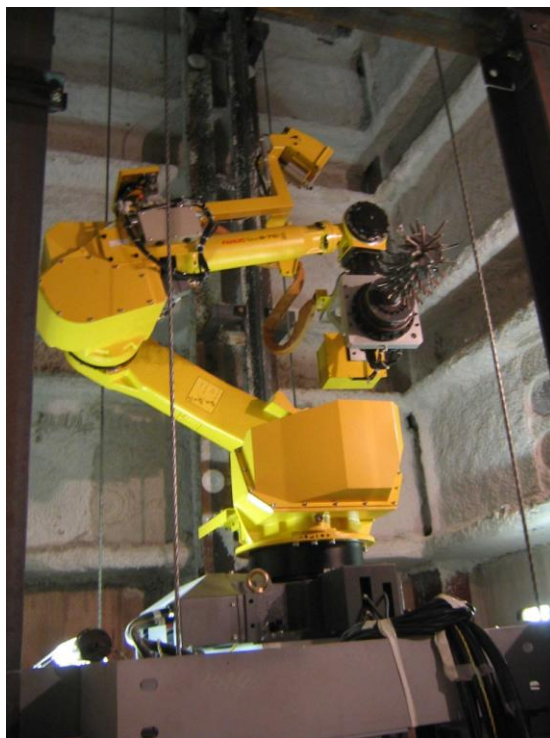


写真 3-9 エレベータシャフト用アスベスト除去ロボット外観

昇降ゴンドラ架台の 4 台のワイヤ巻取り機は、できる限り、ロボット自動運転でのアスベスト除去範囲が広げられるような位置に取り付けている。

また、アスベスト除去作業域の照度を確保するため、昇降ゴンドラ架台上部に照明器具を取り付けている。

第3章 湿式系吹付けアスベスト回収システムの開発

4-1 除去アスベスト移載装置

除去されて床面に散乱したアスベストをロボット付属のブレードで掻き集め、そのブレードで直接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ためのコンベアステージを設置した。そのステージにはブレードでベルトコンベアまで除去アスベストを載せるためのスロープが付いている。その外観を写真4-1～4-2に示す。



写真4-1 移載装置 外観



写真4-2 移載装置 (ロボット操作時)

4-2 除去アスベスト破砕装置

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破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砕装置を設置した。また、破砕し切れなかった塊状の破砕物を選別するための振るい機構を組み込んだ。その外観を写真4-3～4-4に示す。



写真4-3 破砕装置 外観



写真4-4 破砕 (カッター) 部

4-3 除去アスベスト回収・袋詰装置【参考】

破碎された廃棄アスベスト等を所定の廃棄袋に圧送するためのバキューム装置を設置した。また、圧送されたアスベストを所定の廃棄袋に重量制御によって一定量袋詰め（1重）するための回収・袋詰装置を設置した。

各装置の外観を写真 4-5～4-6 に示す。



写真 4-5 バキューム装置



写真 4-6 回収・袋詰装置

第4章 高度遠隔操作システムの開発

5-1 無線式監視カメラ装置

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の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。パンタグラフ式によりに、カメラ高さを最大で3.5mまで高くすることができる。監視カメラ装置の外観を写真5-1に示す。



写真 5-1 無線式監視カメラ装置 外観

(1) 主な仕様

1) 使用環境

- ①使用場所 屋内 ※アスベスト粉塵環境で使用する場合は別途保護カバーが必要
- ②使用環境 雰囲気：大気中
- ③使用温度 0～40℃ ※ベルト(ゴム)の最高使用温度：100～120℃
- ④湿度 結露無き事。
- ⑤保護等級 I P 5 4 相当

2) 機能

①走行性能

- ・平坦な舗装路（傾斜±3°以下）において直進走行（最大走行速度約 1.0 k m / h）が可能。
- ・平坦な舗装路（傾斜±3°以下）において超信地旋回（その場旋回）が可能。
（超信地旋回速度約 0.5 k m / h）
- ・走行可能な、段差高さはパンタグラフを畳んだ状態で 20mm 以下。
- ・幅 150mm 以上、高さ 50mm 以上の配管等の障害物をまたいで並走すると、本体底面と干渉して走行不能となる場合あり

②昇降機能

- ・昇降方式 パンタグラフ伸縮方式
- ・高さ 約 3.5m～約 0.9m（カメラ光軸基準）
- ・昇降速度 約 13 s e c

3) カメラユニット

- ・使用カメラ A X I S 製 A X I S 213
- ・カメラ仕様 最大画素数（30 万画素）、光学 26 倍ズーム、赤外線付（約 3m）
- ・コントロールソフトの画面にて、カメラのパン、チルト、ズーム操作が可能。
- ・カメラには、防振ゴムを取付け、ドーム形状のカバーにて防水・防塵保護。

4) サイズ

- ・長さ：約 860mm、幅：約 500mm
- ・高さ：約 990mm～約 3800mm（パンタグラフ昇降高さによる）

5) 質量

- ・60 k g ±5 k g（バッテリー1 台を含む）

(2) 無線LAN方式遠隔操作

下記の構成により、パソコンから本付属の操作ソフトで無線LAN方式遠隔操作を可能にしている。

1) マイコン：2 台

2) モータドライバ（H i B o t 製 10A D C P o w e r M o d u l e 等）：4 台

3) 無線LAN機器（8 0 2 . 1 1 b、8 0 2 . 1 1 g）：1 式

- ・上位パソコンの動作OSは、Microsoft Windows XP。
 - ・パソコンの画面解像度は1024×768ピクセル。
 - ・パソコンの動作保証スペック：CPU1GHz以上、メモリ512MB以上。
(推奨スペックは、CPU1.5GHz以上、メモリ1GB以上)
 - ・上位パソコンに取り付け可能なUSBアダプタを付属。
 - ・PCカード、もしくはパソコン内蔵型の無線LANでも可能。
- 4) 操作コントローラ (JOYPAD) : 1台
(上位パソコンに取り付けるJOYPADは、USB仕様)
- 5) 遠隔操作プログラム : 上位パソコンへのセットアップCD
- (3) 無線通信可能範囲
- ・無線の届く範囲 : 約15m (使用環境により変動する。)
- (4) バッテリ
- ・Ni-Mh バッテリ (24V9Ah) 2個
- (5) 充電器
- ・専用充電器 1台

5-2 グラスモニターシステム

ロボットを遠隔操作して湿式系吹付アスベストを除去する場合のグラスモニターシステム (視覚情報呈示装置) の適用検討を行った。ロボットを直接操作する場合とは異なり、遠隔操作の場合には得られる情報が意図的に与えられる、あるいは取得する情報に限られるので、遠隔操作ではロボット本体の性能 (操作性を含む) に加え、操作に必要な情報の提供方法も重要となる。

人間は特に視覚で得られる情報から様々なことを判断されているので、遠隔操作でも視覚情報の提供は必須で、ロボットを直接操作する場合と同様の視覚情報の呈示が望ましいと考えている。

遠隔操作の内容によって、呈示する視覚情報は異なり、今回のような湿式系吹付けアスベストを除去する場合は低コントラストの動画像 (複数) であり、手元作業を伴う遠隔操作 (写真5-2) であるため、複数の視覚情報 (手元状況を表現する動画像は含まない) を呈示装置上に表示する装置として、眼鏡型ディスプレイ (グラスモニターシステム) を試験的に評価した。



写真 5-2 ロボット遠隔操作（手元作業）

（1）手元作業を伴う遠隔操作用映像呈示装置の要件

写真 5-3 に示すような、5 台のカメラを用いて遠隔操作用視覚情報（以後、動画像とする）を得る。5 台の内訳はアスベスト除去ロボットに 2 台の車載カメラ、無線式監視カメラ装置に 3 台のカメラ（2 台はカメラ装置移動用）である。カメラの操作も手元作業で、個別の 3 つのコントローラで行う。



写真 5-3 ロボット遠隔操作を行うためのカメラ配置

遠隔操作するオペレータは、必要な動画像を得られるカメラを選び、そのカメラを操作して、動画像を見ながら遠隔でアスベスト除去ロボットを遠隔操作する。従って、オペレータは手元と動画像を見ながら遠隔操作を行う。モニターグラス上の動画像と手元を繰り返し見ることになるので、頻繁な焦点や瞳孔径の調節が必要になる。手元作業を伴う遠隔操作用視覚情報呈示装置の選定には、視覚疲労軽減の配慮が求められる。

今回のアスベスト除去ロボット遠隔操作のように、距離の把握が必要な場合は、立体視が望ましいが、立体視は視覚負担を増大させるため、今後の課題としている。なお、解体工事現場などでは下記のような条件が加わるために、多数のモニターを使うより、1 台の眼鏡型ディスプレイに動画像を切り替えて使うことが適している。

- ・空間が限定される
- ・使用できる電力量が限られる。

(3) アスベスト除去時の遠隔操作映像

前述のように、ロボットの遠隔操作で呈示される動画像は低コントラストである。作業場内は有彩色のものが非常に少なく、粉じんが舞う場合は、写真 5-4 に示すように低コントラストになる。白い粉じんが舞う環境では照度をあげると一層散乱が多くなり、コントラストが下がってしまうため、光環境の改善では動画像の質向上を図れない。

コントラストの低い動画像は見にくいので、見まちがやすく、視覚疲労を伴いやすい。また、遠隔操作時にタイムラグを設けられないため、動画像の質をあげるための画像処理を加えられない。



写真 5-4 ロボット除去作業場内

(4) 眼鏡型ディスプレイ

眼鏡型ディスプレイは VR (バーチャルリアリティ) などで用いられる HMD (ヘッドマウントディスプレイ) の一種で、重量が軽いため首などに負担がかからない。没入型のものとシースルー型のものがある。

遠隔操作には集中できる没入型が適していると考えており、イメージスクリーンがより大きな没入型の眼鏡型ディスプレイ 2 種 (写真 5-4~5-5) を選定した。各仕様を表 5-1 に示す。共に目に相対する位置に 2 つの小さなディスプレイがあり、立体視対応である。A は液晶ディスプレイ、B は有機 EL ディスプレイである。

手元作業を伴い、手元の状況を呈示装置上に呈示しない場合は、眼鏡型ディスプレイを装着した状態で手元が見やすいかどうかは重要である。A を装着した状態で視線を上あるいは下に向ければ、写真 5-4 右の中央の帯状部分以外を見ることはできる。しかし、目が疲れる。B を装着すると、写真 5-5 右のように手で装置をずらさないと手元が見えない。



写真 5-4 眼鏡型ディスプレイ (A)



写真 5-5 眼鏡型ディスプレイ (B)

表 5-1 眼鏡型ディスプレイの主な仕様

	眼鏡型ディスプレイ	
	A	B
解像度	640*480	800*600
視野角	32°	対角40°
イメージスクリーンの大きさ	2.7m先に62インチ	3.6m先に105インチ
色数	1600万色	1677万色
重量	82.2 g	227 g
ディスプレイ	液晶ディスプレイ	有機ELパネル
トラッキングセンサー	内臓	内臓
眼球間距離 (IOD)	6.35 c m	調整可能
備考	瞳距離1.9 c m	
	プログレッシブスキャン搭載	
	更新速度60Hz	

(5) 実験方法

眼鏡型ディスプレイを用いた簡単なキーボード操作作業を行い、眼鏡型ディスプレイ A、B の視認性／操作性／視覚疲労を、5 人（表 5-3 の ID=1～5）で測定した。比較用ディスプレイとして、写真 5-6 に示すモニター 2 種も評価した。

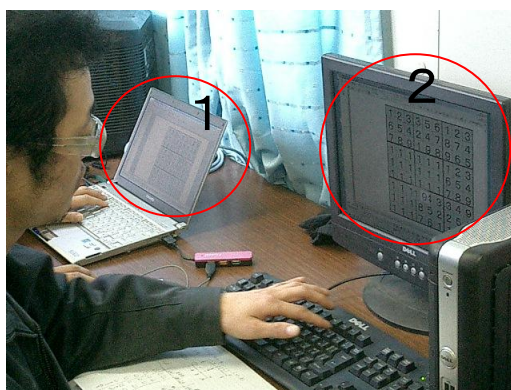


写真 5-6 受像モニター比較

視認性測定では 16 色の無彩色が並ぶ（図 5-1 左側）中から、指定の色と同じ色の部分を選択する作業を課し、視認性（自己申告）とエラー数、所要時間を測定した。操作性では 81 個の「1」が並ぶリスト（図 5-2 左側）を、図 5-2 の右側のように 1～9 の数字が各 9 個並ぶように編集し、操作しやすさ（自己申告）と所要時間を測定した。視覚疲労は一連の作業後に、視覚疲労の自己申告と簡易的フリッカー装置（医療用具番号 62B0234）で測定した。視認性/操作性/視覚疲労に関する自己申告は表 5-2 に示す 4 レベルから、評価者各自の評価に最も近いものを選択した。

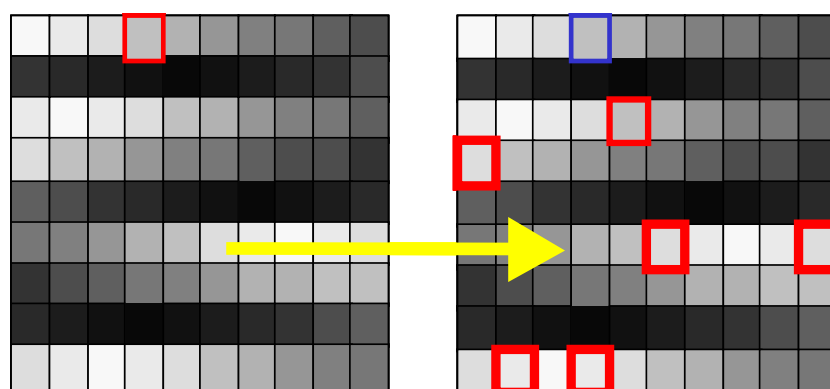


図 5-1 視認性実験呈示刺激

(左側：選択すべき色の指示、右側：選択後の例)

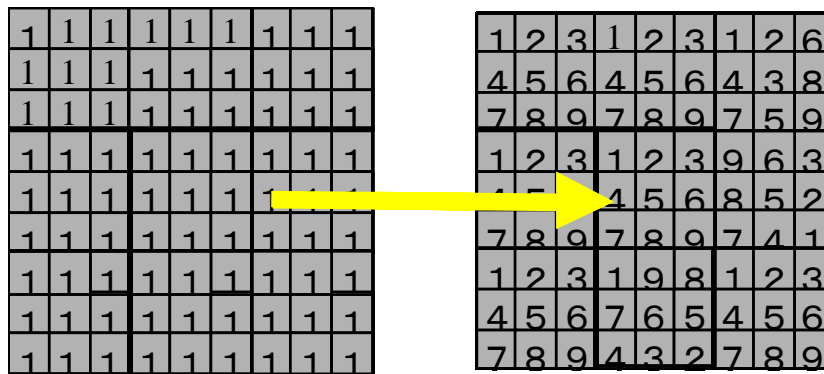


図 5-2 操作性実験呈示刺激
(左側：操作前、右側：操作後)

(6) 実験結果

表 5-3 に測定結果を示す。表中の「2>1=B」は 1 と B の望ましきは同じで、2 が最も望ましいことを示す。表 5-3 中の網掛けは眼鏡型ディスプレイ同士を比較した結果を表し、A の方が望ましい場合を薄い網掛けで、B の方が望ましい場合を濃い網掛けで示した。

操作性と視覚疲労の点で、モニターは眼鏡型ディスプレイよりも評価が高かった。このことから、眼鏡型ディスプレイを用いる場合は、操作性と視覚疲労低減の配慮が一層必要であることがわかる。

眼鏡型ディスプレイ同士の比較から、エラーが少なく、視認に要する時間が短く、視覚疲労の低い B の方が望ましいことがわかる。しかし、操作性の評価が低いので、B を用いる場合の手元作業は手元をあまり見なくてもよいような工夫が今後必要である。

表 5-2 視認性、操作性、視覚疲労の自己申告レベル

	1	2	3	4
視認性	見にくかった	やや見にくかった	やや見やすかった	見やすかった
操作性	操作しにくかった	やや操作しにくかった	やや操作しやすかった	操作しやすかった
視覚疲労	自覚なし	自覚あり (弱)	自覚あり	自覚あり (強)

表 5-3 視認性、操作性、視覚疲労の測定結果

ID	視認性			操作性		視覚疲労	
	申告	エラー数	所要時間	申告	所要時間	自覚	フリッカー
1	2>1=B	2<B<1	B<1<2	2=B>1	1<2<B	みな同じ	2>B>1
2	A>1=2>B	1=2<A<B	1<B<2<A	2=A>1=B	1<2<A<B	みな同じ	B>1>A>2
3	1=2=B>A	B<1=A<2	B<A<1<2	1=2>B>A	B<1<A<2	2<1<A=B	1>2>B>A
4	みな同じ	B<A<2<1	B<A<1<2	みな同じ	2<1<A<B	B<1=2=A	B>2>1>A
5	2>1>A>B	B<A<1<2	1<A<B<2	1=2>A>B	1<2<A<B	1=2<A<B	2>1>A>B

捕捉：ID=1の評価者は眼鏡の上に眼鏡型ディスプレイAを装着しての作業ができなかった。

(7) 考察

手元作業を伴う遠隔操作で、複数の視覚情報（手元状況を表現する動画像は含まない）を表示する装置として、眼鏡型ディスプレイ B が適していることがわかった。

今後の課題としては、長時間作業での視覚疲労を確認し、視覚疲労軽減のために操作者周囲の光環境を整え、手元作業のしやすさを向上させる予定である。



写真 5-7 眼鏡型ディスプレイ (B) の装着例

第5章 実験室実験

6-1 実験施設

湿式系吹付け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システムの回収性能について実験室での実験を行った。

(実験期間：2007年11月～2010年2月)

(1) フロア大空間用湿式系吹付けアスベスト除去ロボット

実験施設の概要を写真-4に示す。今回の除去・回収の対象物は、模擬吹付けアスベストとしてロックウールを使用し、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実験を行った。

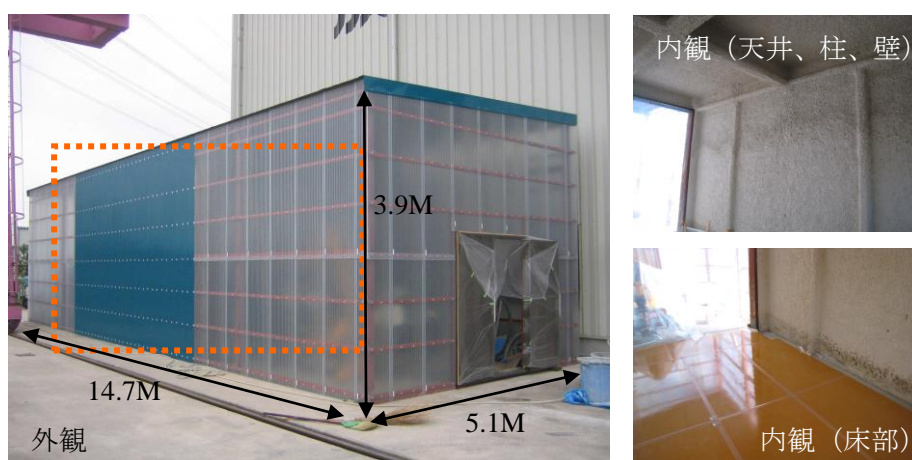


写真 6-1 実験施設 (フロア大空間用)

(2) エレベータシャフト用湿式系吹付けアスベスト除去ロボット

フロア大空間用のアスベスト除去ロボットの試験・評価を行った後、上述の実験施設を模擬のエレベータシャフトに改造した (写真 6-2)。施設内H型鋼の梁部分：45mm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実験を行った。

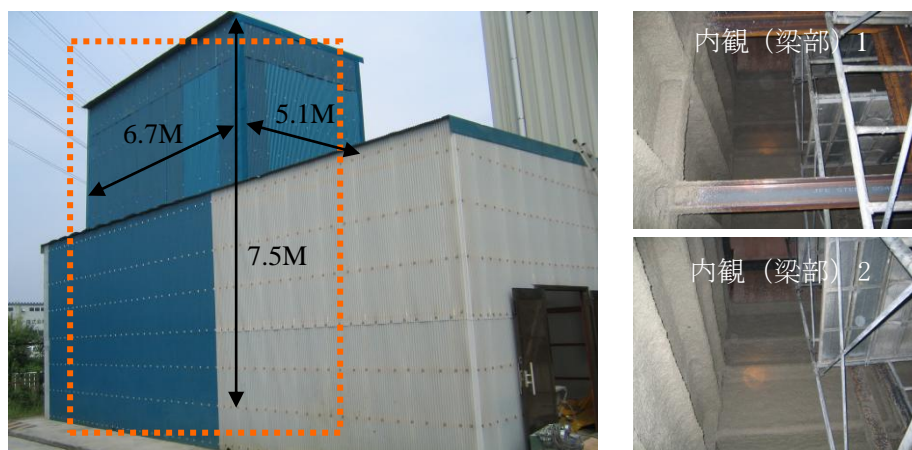


写真 6-2 実験施設 (エレベータシャフト用)

6-2 実験・評価

(1) 吹付けアスベスト剥離用アタッチメントの予備実験

湿式系の強固なアスベストを剥離・除去するための先端ツールの機構・構造を決定するため、従来の各方式による適用検討を行った。

① 高圧水噴射方式

平成 18 年度において開発した、乾式系吹付けアスベスト剥離用のアタッチメントが、そのまま、湿式系の強固なアスベストを剥離できるかについて、模擬の試験体を使用して、確認実験を行った。その実験状況を、写真 6-3 に示す。



使用水量	5.4L/min
吐出圧力	30-140kgf/cm ²
研削材	炭酸カルシウム、重曹等
吸水剤	高分子吸収剤

写真 6-3 高圧水噴射による除去状況

実験の結果より、高圧水（研磨剤混入）を試験体に噴射しても、試験体の表面を少しずつ均すに過ぎず、高速で剥離・除去させるには適していないことが判明した。

② 打撃チッパー方式

従来の手作業にてアスベスト除去を行う場合、写真 6-4 のような電動チッパーを使用していることが多く見受けられる。そこで、写真 6-5 のように、ロボットアームの先端部に、打撃式の大型電動チッパーを取り付けて、模擬の試験体を使用して、確認実験を行った。



写真 6-4 電動チッパー






写真 6-5 打撃式大型チッパー

実験の結果より、実際にロボットを遠隔操作して、剥離作業を行った場合、TV モニターを見ながら操作する作業員が、除去部位を位置決めするために多くの時間を費やしてしまうことが判明した。また、ロボット作業中は騒音・振動が激しいことから、剥離用アタッチメントとしては好ましいものではなかった。

③回転ブラシ方式

土木工事のトンネルを掘削するような、掘削刃のついた回転体によって剥離する方式が効果的であることを想定し、表 6-1 に示すような 3 種類の回転式剥離機を製作して、同一条件で模擬吹付けアスベスト剥離状況について確認実験を行った。

表 6-1 回転式剥離機構の比較

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のL型羽根を取付け回転した時に遠心力で剥離

実験の結果より、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、最も効率的に模擬吹付けアスベストを剥離することができた。

(2) フロア大空間用ロボットの遠隔操作による模擬吹付けアスベスト除去実験

①鉄筋針付の円盤回転式剥離機を横行装置に取り付けた場合

油圧モータの回転数を 50rpm、トルクを 250N・m(25kgf・m)のものを選定して、剥離装置に取付け、模擬吹付けアスベストの除去実験を行った。その除去状況を写真 6-6 に、除去後の壁面を写真 6-7 に示す。

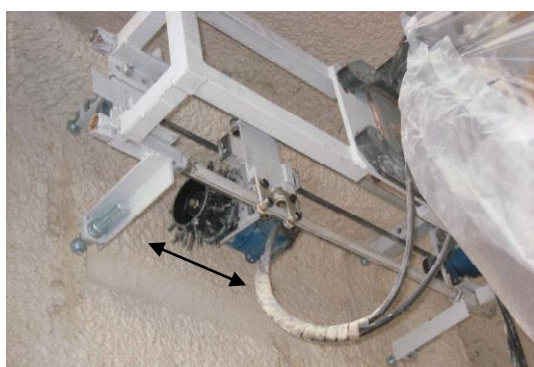


写真 6-6 模擬吹付けアスベスト除去実験状況 写真 6-7 除去後の壁面

除去実験結果から、30 秒間で約 0.08m²除去できた(壁面部)ことより換算すると、除去速度としては、約 9.6m²/H (装置性能)であることが判明した。

②円筒型剥離機を取り付けた場合

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吹付けアスベスト(厚み 25mm)を剥離・除去した。その除去状況を写真 6-8 に、除去後の壁面を写真 6-9 に示す。

また、除去実験結果を表 6-2 に示す。



写真 6-8 模擬吹付けアスベスト除去実験状況 写真 6-9 除去後の壁面

表 6-2 模擬吹付けアスベスト除去実験結果

試行回数 (回)	除去面積 (縦×横) ^{*1} (m ²)	所要時間 (秒)	換算除去速度 ^{*2} (m ² /h)	推定除去速度 ^{*3} (m ² /h)
1	0.25 (0.5×0.5)	25	36.0	18.0
2	0.72 (1.2×0.6)	75	34.6	17.3
3	0.60 (1.5×0.4)	75	28.8	14.4
4	0.40 (1.0×0.4)	40	36.0	18.0
平均			33.9	17.0

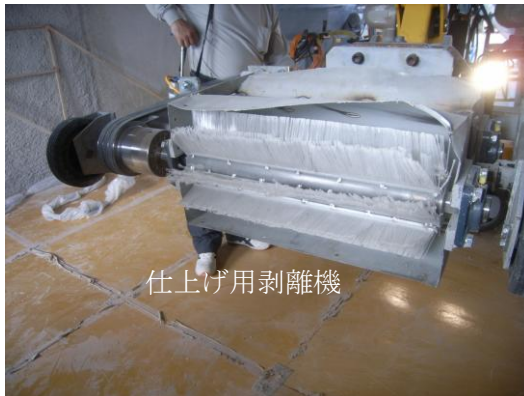
*1: 壁面 (模擬アスベスト厚み: 25mm) の場合

*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) を考慮した場合

上表の実験結果より、壁面に吹付けられた湿式系模擬アスベスト (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 15m²/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。

また、写真 6-10 のように、仕上げ用の剥離機を使用することで、粗取り後の残骸物を円滑にブラッシングすることが確認できた。駆動モータの変更状況、および除去実験状況を、写真 6-11~6-12 に示す。

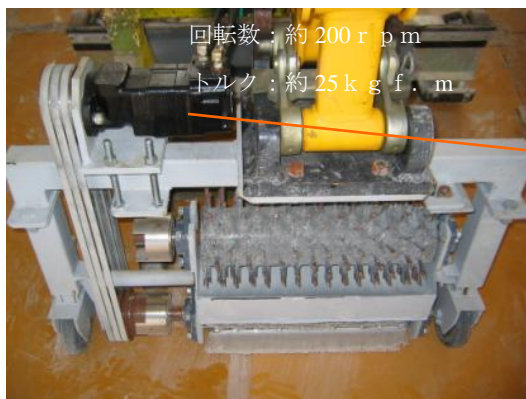


仕上げ用剥離機



ブラッシング状況

写真 6-10 粗取り後のブラッシング



回転数: 約 200 r p m
トルク: 約 25 k g f . m



回転数: 約 100 r p m
トルク: 約 57 k g f . m

写真 6-11 駆動モータの変更



写真 6-12 遠隔操作による除去実験状況

(2) エレベータシャフト用ロボットの遠隔操作による模擬吹付けアスベスト除去実験

①アスベスト除去ロボットの除去性能

模擬エレベータシャフト内にアスベスト除去ロボットを合体させた昇降ゴンドラ架台を据付け、予め模擬吹付けアスベストの除去位置を教え込ませ、また剥離速度や剥離機の回転数、押付力等を設定した上で、エレベータシャフトの所定の高さにおける、H鋼梁の前面部 (H900×350) →側面部 (H900×350) →背面部 (H600×200) の順で、自動運転による除去実験を行った。

粗取り時および仕上げ時のH型鋼梁部の状況を、写真 6-13 に示す。

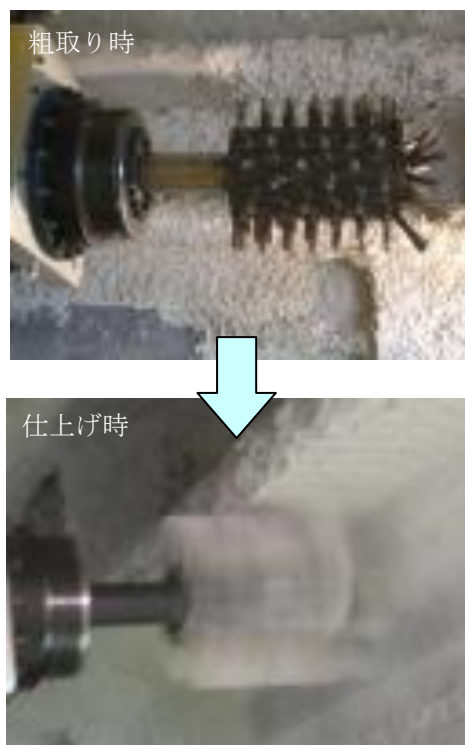


写真 6-13 模擬エレベータシャフト内除去実験状況 (H鋼梁部)

実験の結果より、模擬吹付けアスベストの粗取り時における除去速度としては、約 10m²/h（3回繰り返し時）を確保できることが判明した。

(3) アスベスト回収システムによる模擬吹付けアスベスト回収実験

コンベア装置によって移載され、その後破碎装置によって破碎し、減圧しながら袋詰めされた廃棄アスベストの減容化率について測定した結果を表 6-3 に示す。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による袋詰めよりも約 1/3 に減容化できることが判明した。破碎後の模擬吹付けアスベストの状況を写真 6-14 に示す。

表 6-3 模擬アスベスト回収実験結果（減容化率）

試行回数 (回)	破碎前	破碎後	減容化率 (換算値)
	同一容器内での重量(g)	同一容器内での重量(g)	
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



写真 6-14 破碎後の模擬吹付けアスベストの回収状況

第7章 現場実証試験

湿式系吹付けアスベスト回収システムを実際のアスベスト除去工事現場に試験導入し、実アスベストによるシステム装置類の運転動作を確認し、アスベスト廃棄物の減容効果を検証した。

7-1 現場実証概要

(1) 実証試験期間（装置類の据付準備および片付け等の期間を含む）

2009年6月1日～9月16日

(2) 実証試験場所

東京都内 某ビル解体工事

(3) 実証試験内容

- ・開発したアスベスト回収・減容システムを実際のアスベスト除去工事現場に試験的に導入し、運転動作の確認を行い、課題を整理するとともに、改善策の検討を行った。
- ・単位時間当りの処理量を評価した。
- ・開発したアスベスト回収・減容システムを実際のアスベスト除去工事現場に設置し、アスベスト回収・減容システムによる処理前後の廃棄物の容積を比較・評価した。

(4) 実証試験項目

① 廃ラス網処理

- ・まとまったラス網の廃棄袋の処理前の大まかな個数と容積を測定し、そして処理後の大まかな個数と容積を測定した。
- ・処理した延べ時間を測定した。

② 廃石綿処理

- ・まとまったアスベストの廃棄袋の処理前の大凡の個数と容積を測定し、そして処理後の大凡の個数と容積を測定した。
- ・処理した延べ時間を測定した。

7-2 実証試験・評価

(1) 実証試験準備

①システム装置類の搬入

工事現場内にシステム装置類の搬入を行った。搬入状況を以下に示す。



写真 7-1 システム装置類搬入



写真 7-2 システム装置類積み下ろし



写真 7-3 システム装置類配置

②システム装置類の設置場所

解体ビルの2階部分にアスベスト回収・減容システム専用の隔離養生ゾーン（レベル1）を設けた。（ビル内でアスベストを除去して一旦袋詰めされた廃棄袋を、その隔離室まで持ち込み、隔離室内で廃棄袋を解き、塊状のアスベストを破碎・吸引・減容して、再度袋詰めし、搬出した。）

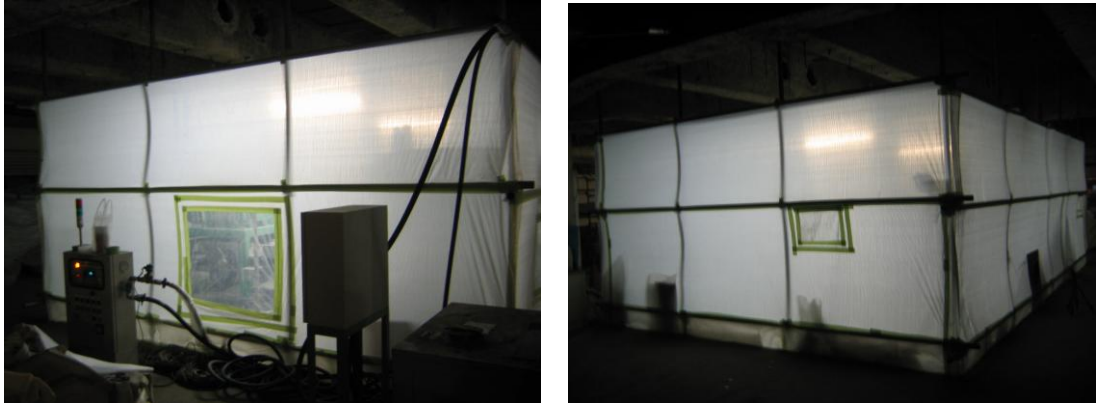


写真 7-4 実証試験場所

③システム装置類の据付

前述の隔離養生ゾーン内に、アスベスト回収・減容システム装置類を搬入・設置した。設置システムの概要図を図 7-1～7-2 に、設置状況を写真 7-5 に示す。また、作業手順を図 7-3 に示す。

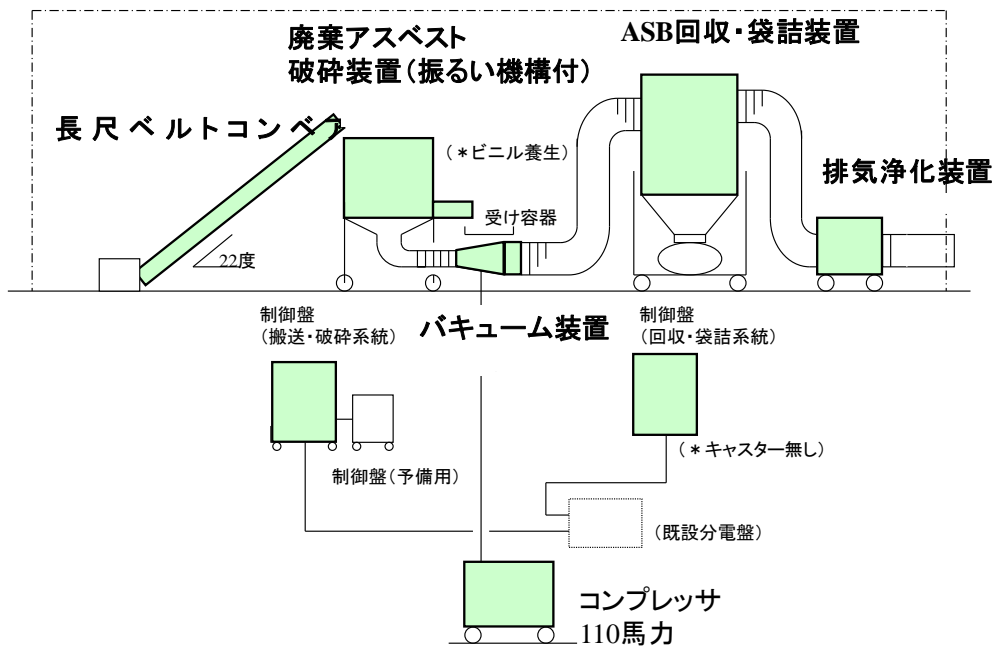


図 7-1 システム概要 (1)

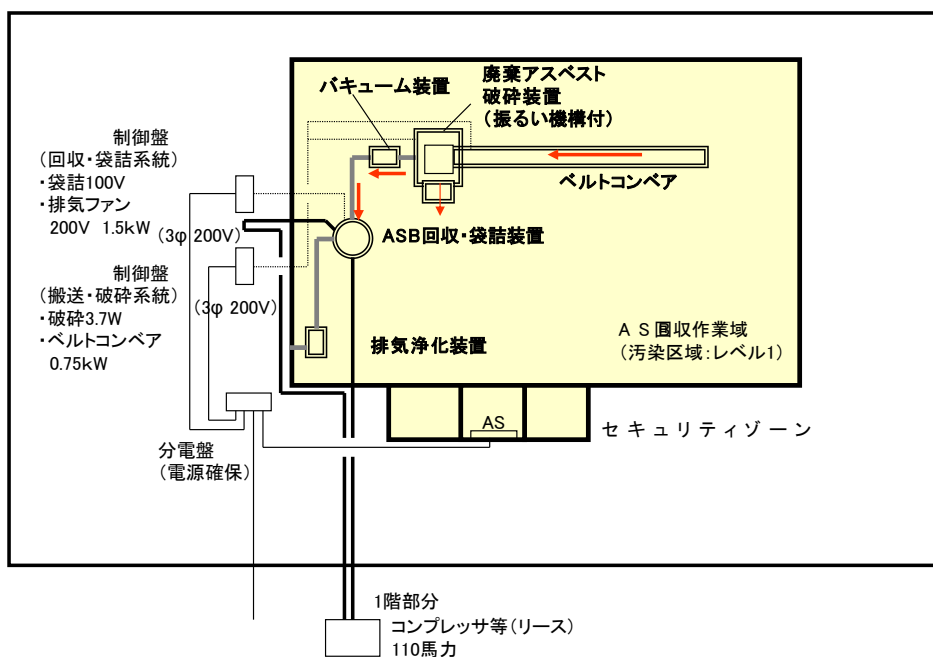


図 7-2 システム概要 (2)



写真 7-5 システム装置類の設置状況

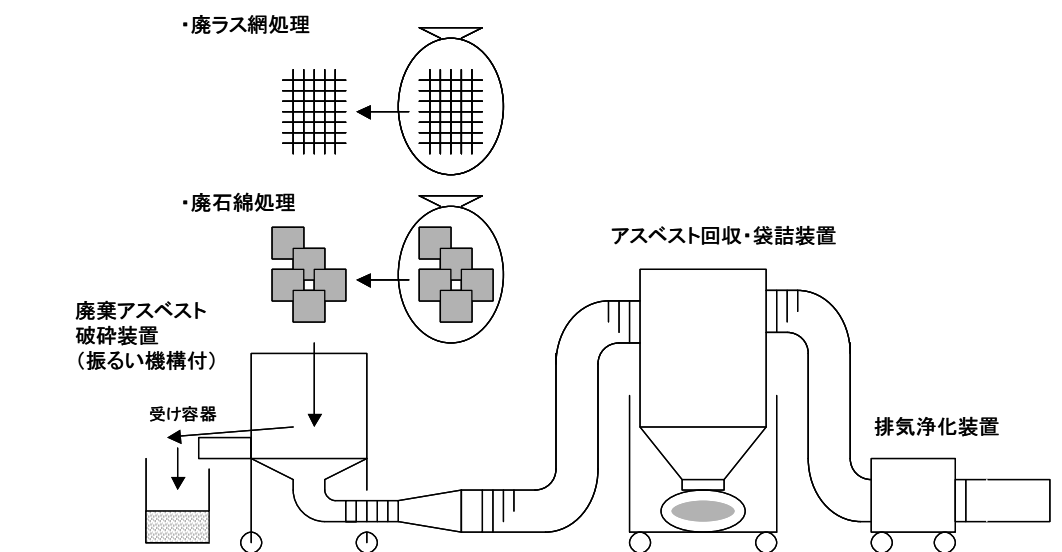


図 7-3 主な作業手順

(2) 実証試験状況

実証試験の作業状況およびシステム装置類の運転状況を以下に示す。



写真 7-6 コンベア装置にアスベスト廃棄物を投入



写真 7-7 アスベスト廃棄物を破砕装置に送り込み



写真 7-8 アスベスト廃棄物の裁断及び振り分け



写真 7-9 破碎後のアスベスト廃棄物の袋詰め

(3) 実証試験結果

写真 7-10 に示すような、アスベスト廃棄物を隔離養生エリア内に持ち込み、システム実証試験を行なった。



写真 7-10 アスベスト廃棄物（処理前の状況）

以下に、アスベスト廃棄物（廃石綿、ラス網）の、処理前後における廃棄袋（中袋）の数量の増減についての結果をグラフ化したものを図 7-4～7-5 に示す。また、処理前後の廃棄袋を比較したものを写真 7-11 に示す。

①ラス網 廃棄物の場合

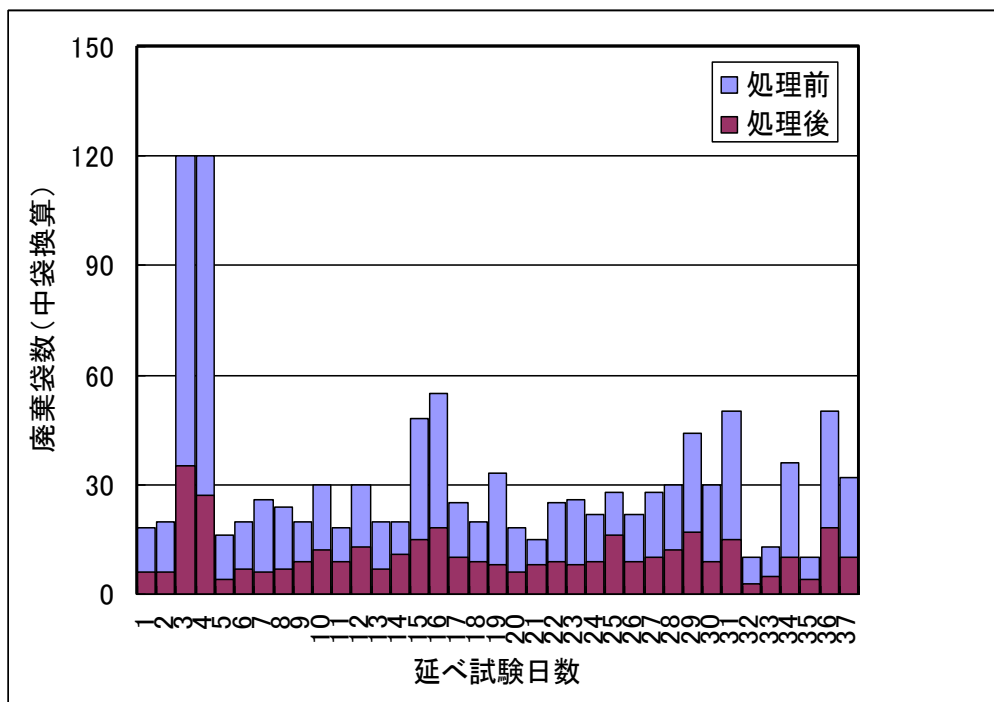


図 7-4 実証試験結果（廃棄物の減容率）

②廃石綿 廃棄物の場合

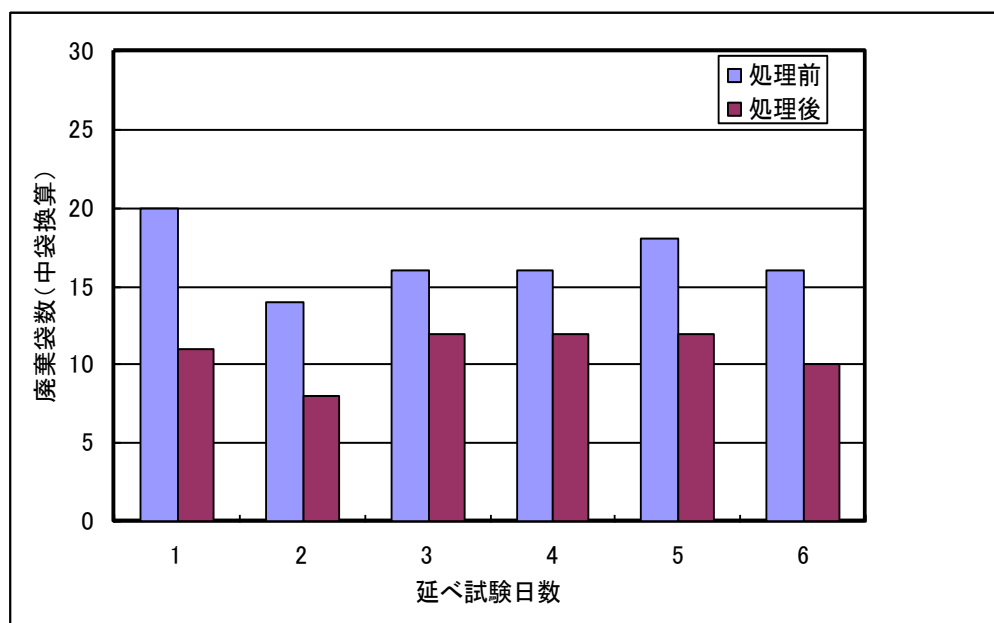


図 7-5 実証試験結果（廃棄物の減容率）



写真 7-11 実証試験結果（処理前後の状況）

（４）実証試験後の片付け

実証試験を終了後、アスベスト回収・減容システムの各装置ごとに高性能真空掃除機（高性能フィルター付）金属ブラシおよびウエス等を使用して、こびり付き等の無いよう、隅々まで十分な清掃を行なった。

実証試験後の片付け状況を以下に示す。

①コンベア搬送装置



写真 7-12 コンベア装置（清掃後）

②破砕装置



写真 7-13 破砕装置（清掃中）



写真 7-14 破碎装置（清掃後）

③バキューム装置



写真 7-15 バキューム装置（清掃後）

④回収・袋詰装置



写真 7-16 回収・袋詰装置（清掃中）



写真 7-17 回収・袋詰装置 (清掃後)

⑤排気浄化装置



写真 7-18 排気浄化装置 (清掃後)

(5) 考察

今回の実証試験により、アスベスト回収・減容システムの効果について以下に整理した。

①アスベスト廃棄物の減容率

・廃ラス網の場合

平均値： $1-397/1172=0.64$ (64%)

(各日の変動幅：43～78%)

今回の破碎装置は、ラス網をも裁断することのできるカッターを装備していたこともあり、円滑に作業することができ、大凡 1/3 に減容できることを実証することができた。

・廃石綿の場合

平均値： $1-65/100=0.35$ (35%)

(各日の変動幅：25～45%)

今回の石綿種は、結果的には半乾式系に近かったこともあり、比較的軟質であったのに対して、今回使用した破碎装置は、強固な湿式系の塊状アスベストを破碎できるように、カッター等を選定していた為、破碎時の食いつきが悪く、廃石綿が絡みこむような状況となった。

今後は、廃石綿の種類に対して事前に調査し、フレキシブルにカッター等を交換できるような工夫が必要と考えられる。

今回の廃石綿の硬さとしては、ある程度柔らかいものではあったが、それでも結果的には 35%程度の減容化を確認することができた。おそらく、廃石綿がより強固な湿式系のものであれば、廃ラス網と同様に、1/3 程度の減容効果が得られるものと推測される。

②アスベスト廃棄物の袋詰作業時間

・廃ラス網の場合

平均値： 121.2 時間/397 体 (中袋) =0.3 時間

回収・減容したアスベスト廃棄物 (ラス網) を取り纏めるのに、大凡中袋 1 体あたり、0.3 時間 (18 分) の時間を要することが判った。

・廃石綿の場合

平均値： 32.5 時間/65 体 (中袋) =0.5 時間

回収・減容したアスベスト廃棄物 (廃石綿) を取り纏めるのに、大凡中袋 1 体あたり 0.5 時間 (30 分) の時間を要することが判った。

第8章 実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定

8-1 湿式系吹付けアスベスト実態調査

アスベスト含有湿式系吹付けロックウールは、ロックウール、石綿、セメント、水等を調合、混練して、圧送装置で吹付けた耐火被覆材である。(以下湿式系吹付けアスベストという)

乾式系および半乾式系のアスベスト含有吹付けロックウールの耐火被覆材は、下記のような欠点があった。(以下、乾式系吹付けアスベストという)

- ① 吹付け時に飛散し易い
- ② 吹き付け後のコテ押え時、押え具合によって比重にムラが生じるため、品質管理が難しい
- ③ 揚重、養生が大変である
- ④ 表面が柔らかくもろい

湿式系吹付けアスベストは、これらの欠点を改善し、施工時に埃がでにくく、高層階への圧送が容易となった為、特に昭和 50 年代後半、比較的延べ床面積の大きい高層ビルや、対流の発生があつて剥離しやすい、エレベータシャフト等に多く採用された。

当時の主な湿式系吹付けアスベスト製品は、下記、表 8-1 のとおりである。

(尚、表 8-1 は国土交通省の Web サイトに掲載されている石綿含有建材データベースの検索結果と社団法人日本作業環境測定協会発行『建築物の解体等に係る石綿飛散防止対策マニュアル』に掲載される表を基に作成したものである。)

表 8-1 湿式系吹付けアスベスト製品

No.	製品名	社名 (製造時)	製造時期	石綿含有率 (%)	石綿種類
1	トムウェット	日本アスベスト㈱	S45 (1970) ~ S62 (1987)	1~5	白
2	ATM-120	同上	S53 (1978) ~ S62 (1987)	1~5	白
3	プロベストウェット	朝日石綿工業㈱	S47 (1972) ~ S62 (1987)	4.8	白
4	バルカウエット	日本リンペット工業㈱	S48 (1973) ~ S62 (1987)	5以下	白
5	サンウエット	日本ゴム㈱	S47頃 (1972頃) ~ S50頃 (1975頃)	不明	白
6	アサノスプレーコート	日本セメント㈱	S48 (1973) ~ H1 (1989)	3~12	白
7	スプレーウェット	日東紡績㈱	S49 (1974) ~ S62 (1987)	4~5	白

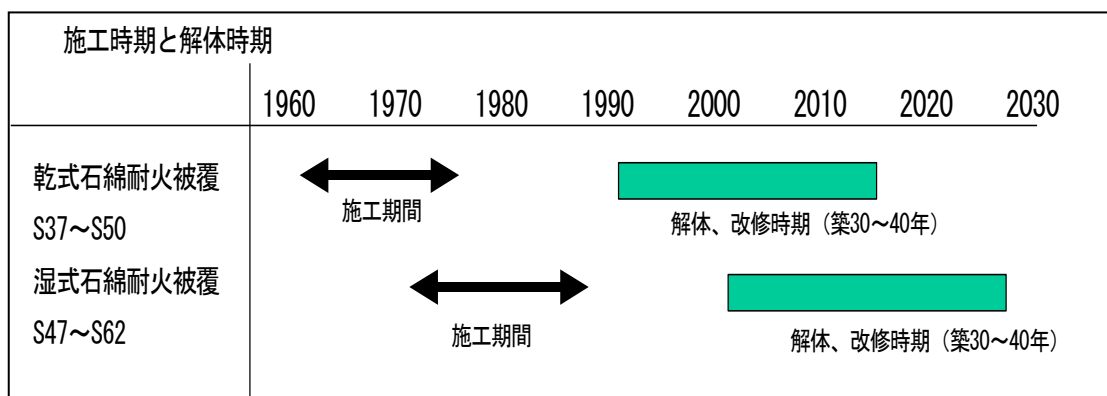
(1) 施工時期と解体時期

上記の表 8-1 の結果、製造期間は昭和 45 年から平成元年までである。大半の業者は昭和 62 年(1989)までに生産を中止している。

生産時期から鑑みて、おおよそ昭和 47 年～昭和 62 年（1987 年）頃が施工時期と考えられる。施工されてから今日まで約 30 年以上が経過し、初期に施工された多くの物件は、リニューアル時期を迎えようとしている。（表 8-2）

湿式吹付けは前述したように、高層階への圧送が容易という利点から、多くが高層ビル等の大型物件に施工されており、小規模な除去業者が工事を手がけにくいこと、建物も解体されずに施工当時の状態で現存しているものがほとんどであることから、乾式系吹付けアスベストの場合と比べて解体、除去により撤去された割合は低いと考えられる。

表 8-2 施工時期と解体時期



（2）賦存量の推計

乾式系吹付けアスベストと湿式系吹付けアスベストに区別された施工量の統計に関する資料が無いため、断言することは出来ないが、大よそ施工面積は 3800 万㎡となる。

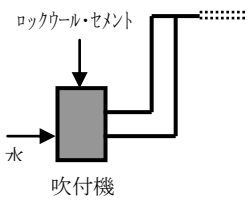
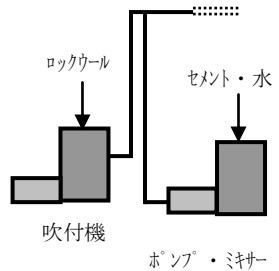
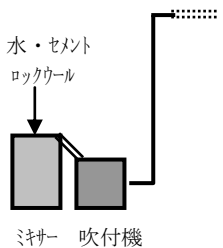
また、吹付け量は、吹付け厚さ 50 mm前後を標準にし、仕上がり比重を 0.5 と仮定すると約 95 万トンと推測される。

（3）乾式系と湿式系の相違

乾式系吹付けアスベストと湿式系吹付けアスベストの最大の違いは吹付け方法にある。この相違が施工後の硬さ等、夫々の特徴に影響している。

以下、乾式系吹付けアスベストと湿式系吹付けアスベストの相違について表 8-3 に示す。

表 8-3 乾式系／半乾式系／湿式系吹付けアスベスト比較

項目	乾式系吹付け	半乾式系吹付け	湿式系吹付け
比重 (g/cm ³)	0.3	0.3	0.45～0.7
材料の特徴 粉塵飛散 施工中 施工後 表面の硬さ コテ仕上の要否 乾燥時間	多い 多い 柔らかい 要 12 時間	比較的少ない 少ない 比較的硬い 要 12 時間	少ない 少ない 硬い 不要 (左官仕上可能) 48 時間
運搬揚重	<ul style="list-style-type: none"> 材料を施工階まで揚げて吹付け 揚程 25m程度 	<ul style="list-style-type: none"> 地上階にプラントを設置し、セメントスラリーはポンプ、ロックウールはフロアで送る 揚程 200m 	<ul style="list-style-type: none"> 地上階にミキサー、ポンプを設置して施工階へポンプアップ 揚程 200m 

(4) 湿式系吹付けアスベストの配合、物性、構造

①配合

一般的に、セメントをバインダー、ロックウールを骨材としていることは各メーカー共通しているが、その他の配合については異なる。

以下、表 8-4 にメーカー別の配合比を示す。

(尚、表 8-4 は 1997 年 3 月の建築技術『湿式吹付けロックウール耐火被覆の問題点』に掲載されているメーカー別配合組成表の抜粋である。)

表 8-4 メーカー別配合組成表

(重量%)

社名	バインダー		骨材				増粘剤等
	セメント	石膏	ロックウール	石綿	ひる石	その他	
①日本アスベスト	34		40	5	20		1
②朝日石綿	20 (20)	(20)	50 (35)	10 (10)	(20)	20	10 (0.3)
③日本バルカー工業	30		40	5		25	[3.02]
④日本ゴム	30		35	10		24.5	0.5
⑤日本セメント	35		55	10			1

※ () は初期から改良がなされ 1977 年時点での配合比

②物性

湿式系吹付けアスベストと乾式系吹付けアスベスト、および ALC、コンクリートの物性を比較したものを表 8-5 に示す。

表 8-5 物性比較表 (4 週強度)

項目	乾式吹付け	湿式吹付け	ALC	コンクリート
密度 kg/m ³ (気乾状態)	300 以上	450~700	600	2300
圧縮強度 N/m ² (kgf/c m ²)	—	0.5 程度 (5 程度)	3.92 (40)	21.4 (210)
曲げ強度 N/m ² (kgf/c m ²)	—	0.5 程度 (5 程度)	0.98 (10)	—
せん断強度 N/m ² (kgf/c m ²)	—	—	0.49 (5)	2.1 (21)
引張強度 N/m ² (kgf/c m ²)	—	—	0.49 (5)	2.1 (21)
付着力 N/m ² (kgf/c m ²)	0.013 以上 (0.13 以上)	0.02~0.04 (0.2~0.4)	—	—

③構造図（例）

湿式系吹付けアスベストの主な施工構造としては、直接鉄骨等に吹付け、ラスを下地材にした吹付け、合成被覆鉄骨吹付けの3パターンが挙げられる。

以下、代表的な施工構造3例と特殊なケースを図8-1～8-4に示す。

A) 鉄骨吹付け（柱・梁）

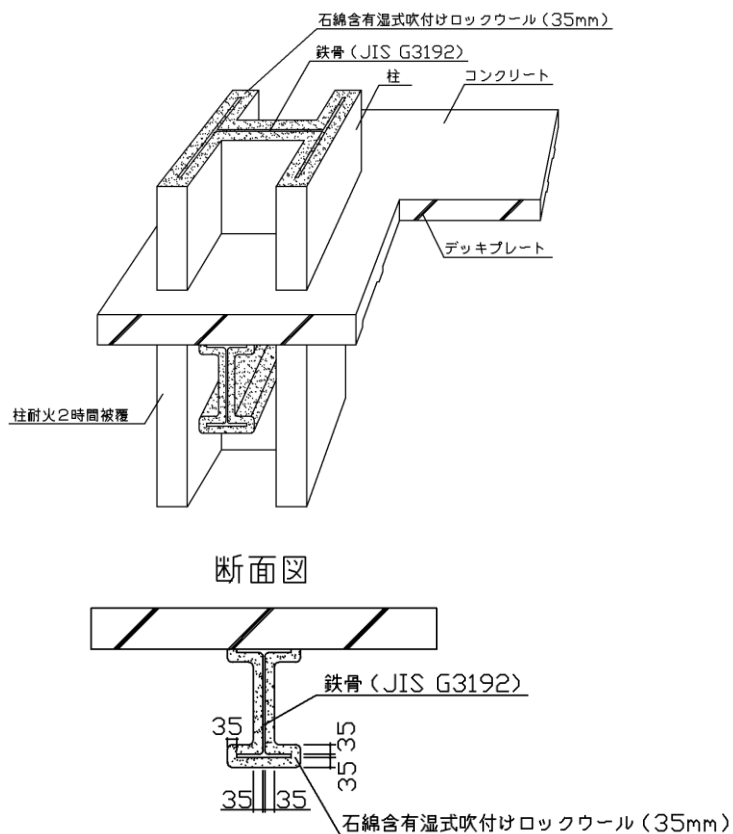


図8-1 施工構造例（1）

B) ラス下地吹付け（梁）

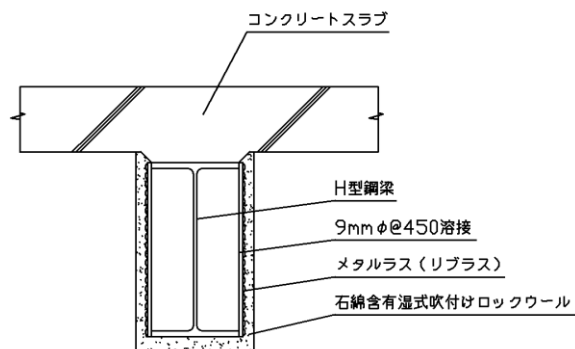


図8-2 施工構造例（2）

C) 合成被覆鉄骨吹付け (梁)

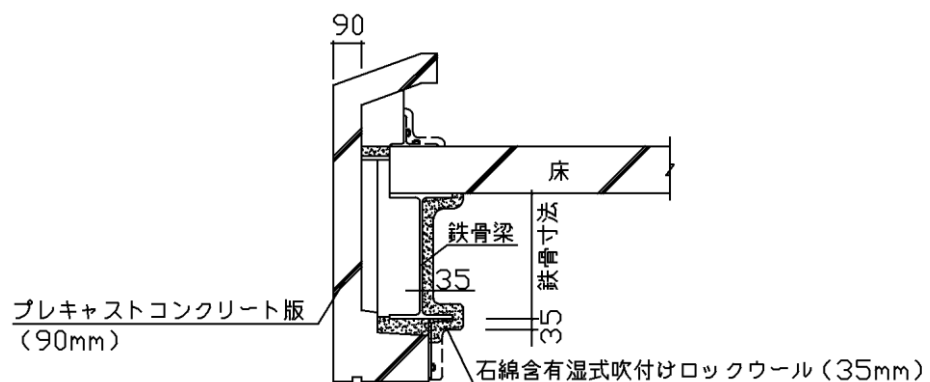


図 8-3 施工構造例 (3)

D) 特殊な例 (成形板の押さえとして亜鉛メッキ鉄線を釘止め)

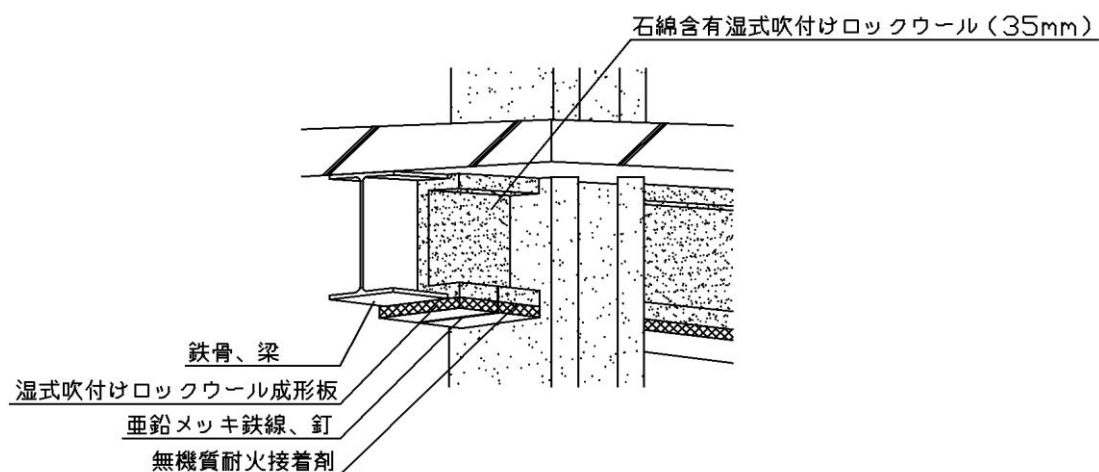


図 8-4 施工構造例 (4)

8-2 実用化に向けた導入シナリオとビジネスモデル展開

本研究開発で得られた成果（湿式系吹付けアスベスト無人化除去・回収工法）については、大手アスベスト処理業者と連携をとりながら、全国の支店、事業所、営業所等に今回の開発技術情報を発信する。そして、国内ネットワークによる各支店、事業所、営業所等からの案件情報により、アスベスト除去工事を必要とする工事案件をリストアップする。そして各案件の工事期間、工事場所、アスベスト処理面積等を確認した上で、実用機の持ち回りによるスケジュールを策定し、可能な限り積極的に適用できるような導入計画を立てる。その導入計画に基づいて、アスベスト除去工事案件に実用機を導入し、新規の無人化工法による湿式系吹付けアスベストの除去・回収作業を実施する。

また、湿式系吹付けアスベスト剥離・除去ロボットおよびアスベスト回収システム装置類については、機械装置リース業者が、工事案件毎に実用機（機械装置類）をリース展開する予定である。

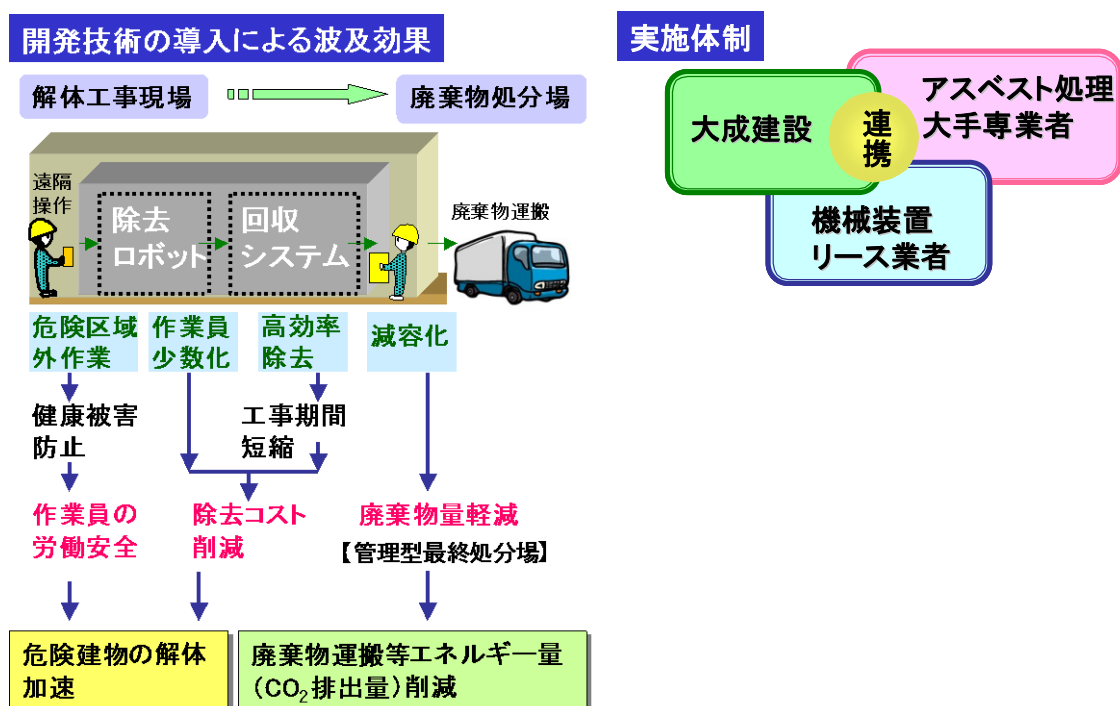


図 8-5 ビジネスモデルの波及効果と実施体制

■研究発表・講演、文献、特許等の状況

【平成 19 年度】

(1) 研究発表・講演

●学会・シンポジウム・セミナー・フォーラム発表 4 件

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2007年8月31日	日本建築学会	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)	森直樹
2007年8月31日	日本建築学会	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)	大山能永
2008年3月13日	日本建築学会	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	森直樹
2008年2月2日	日本大学桜建会 第 218 回定例会	建物の安全解体技術：乾式系吹付けアスベスト除去・回収システムの開発	長瀬公一

(2) 特許出願等

なし

(3) 受賞実績

なし

(4) その他特記事項

成果普及の努力 (プレス発表等)

●新聞発表 10 件

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	備考
2007年 4月 2日	産経新聞	8 面 アスベスト除去ロボ	作業員の安全確保、省力化
2007年 4月19日	日刊建設産業新聞	2 面 遠隔操作で石綿除去・回収	作業員の安全性を向上、実案件への適用めざす
2007年 8月29日	日経産業新聞	13 面 遠隔操作で効率良く	—
2007年 9月23日	朝日新聞	7 面 石綿除去するロボット開発	—
2007年10月12日	建通新聞	8 面 NEDO アスベスト対策開発プロジェクト	安全で効率的な処理秘術の開発を推進
2007年10月29日	日刊建設工業新聞	— 遠隔操作でアスベスト除去	ロボット開発にめど
2007年10月29日	日刊建設通信新聞	— 遠隔操作ロボで乾式石綿除去	高圧水噴射、剥離・回収
2007年10月31日	化学工業日報	— アスベスト無人化除去・回収システム	工期短縮、省コスト効果 実証
2007年11月28日	日刊工業新聞	14 面 ロボット最前線：ゼネコンの石綿除去関連ロボ	安全性・作業効率で成果
2008年 1月11日	日経産業新聞	8 面 アスベスト除去ロボット (日経アーキテクチャ)	石綿除去技術開発盛ん

●TV メディア発表 1 件

発表年月日	発表媒体		発表タイトル	備考
2007年10月27日	NHK	全国ニュース	アスベスト除去ロボット	実証試験はじまる

●論文投稿 4 件

発表年月	発表媒体	発表タイトル
2007年4月	日本建築学会	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)
2007年4月	日本建築学会	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)
2007年8月	日本建設機械化協会	建物解体時の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
2008年2月	日本建築学会建築生産自動化小委員会	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

●雑誌投稿 6 件

発表年月	発表媒体	発表タイトル
2007年9月号	月刊「地球環境」	遠隔操作で無人化施工を実現 乾式系吹付けアスベスト除去ロボット開発
2008年1月号	月刊「コンクリート工学」	建物の安全解体技術：アスベスト自動化除去技術
2007年12月	大成建設技術センター報 第40号	ロボットを使った乾式系吹付けアスベスト除去・回収
2008年4月号	大成建設「たいせい」社報	遠隔操作ロボットによって、吹付けアスベストを除去・回収
2007年6月	大成建設「CSR 報告書」	アスベスト無人化除去・回収システム
2008年3月	月刊「建設機械」(予定)	建物解体時の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

●書籍 (取材対応) 2 件

発表年月	発表タイトル	発表媒体
2007年11月	2007 年版アスベスト調査・処理市場の現状と将来展望	(株)矢野経済研究所
2008年2月	2008 年 企業向けサービスロボットの導入ユーザーの評価と今後の市場	(株)ロボットメディア

【平成 20 年度】

(1) 研究発表・講演

●学会・シンポジウム・ 세미나・フォーラム発表 4 件

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008年9月18日	日本建築学会	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	森 直樹
2008年10月17日	日本建設機械化協会	乾式系吹付けアスベスト除去ロボットの開発実証	森 直樹
2009年2月4日	NEDO 技術開発機構	遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発	家田高好
2009年2月23日	日本建設機械化協会九州支部	乾式系吹付けアスベスト除去ロボットの開発実証	森 直樹

(2) 特許出願等

1 件：「アスベスト含有建材剥離装置」

・出願日 : 平成 20 年 10 月 3 日

・出願番号：特願 2008-258911 (出願人：大成建設株式会社)

(3) 受賞実績

1 件：社団法人 日本建設機械化協会主催

・2008 年 10 月 「平成 20 年度 建設施工と建設機械シンポジウム」

優秀論文賞 受賞

(4) その他特記事項

成果普及の努力 (プレス発表等)

●新聞発表 1 件

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	備考
2009年3月17日	日本経済新聞 (夕刊) 1 面	アスベスト除去「爆弾」触れずに速く	ロボット新景

●論文投稿 3 件

投稿年月	発表媒体	発表タイトル
2008年4月	日本建築学会大会論文集	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
2008年6月	日本建築学会技術報告集	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
2008年6月	日本建設機械化協会	乾式系吹付けアスベスト除去ロボットの開発・実証

●雑誌投稿 3件

掲載年月	発表媒体	発表タイトル
2008年9月号	月刊「地球環境」	遠隔操作の乾式系吹付けアスベスト除去ロボット開発 実用レベルの性能確認ビル建て替え需要増追い風に
2008年9月号	月刊「建設機械」	建物解体時の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
2008年11月号	月刊「資源環境対策」	吹付けアスベスト無人化除去・回収システム

●展示会等 1件

開催年月日	発表媒体	展示内容等
2008年10月8日 ～2008年10月 10日	アスベスト対策環境展08	開発成果の報告（小セミナー）、システム模型等

【平成21年度】

(1) 研究発表・講演

●学会・シンポジウム・ 세미나・フォーラム発表 3件

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2009年8月29日	日本建築学会	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）	森 直樹
2009年8月29日	日本建築学会	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）	大山能永
2010年1月28日	日本建築学会小委員会	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	森 直樹

(2) 特許出願等

1件：「アスベスト含有建材除去装置」

・出願日：平成21年8月7日

・出願番号：特願2009-183975（出願人：大成建設株式会社）

(3) 受賞実績

なし

(4) その他特記事項

成果普及の努力（プレス発表等）

●新聞発表 12件

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	備考
2009年5月29日	日経産業新聞	—	日本のロボット産業

2009年9月8日	日経産業新聞	—	エレベータシャフト内アスベスト除去ロボットの開発	
2010年2月19日	建設通信新聞	—	エレベータシャフト内の石綿ロボット使い安全除去	
2010年2月19日	化学工業日報	—	アスベスト除去ロボット開発	
2010年2月19日	鉄鋼新聞	—	エレベータシャフト内アスベスト除去ロボット	
2010年2月22日	日刊工業新聞	—	エレベータシャフト内アスベストを自動除去	
2010年2月24日	電気新聞	—	エレベータシャフト内アスベスト除去ロボット	
2010年2月26日	建設産業新聞	2面	エレベータシャフト内アスベスト除去作業 知能ロボットで無人化	
2010年2月26日	建設工業新聞	2面	エレベータシャフト内のアスベスト除去 知的ロボットで完全無人化	
2010年3月2日	建設通信新聞	3面	エレベータシャフト内石綿除去ロボ 作業効率は3倍	
2010年3月12日	日本経済新聞(夕刊)	3面	アスベスト ロボが除去	
2010年4月8日	日経産業新聞	17面	エレベータシャフトの石綿除去ロボ	

●ラジオメディア発表 1件

発表年月日	発表媒体		発表タイトル	備考
2009年10月5日	NHK	国際ラジオ放送 18ヶ国語配信	アスベスト除去ロボット関連	

●論文投稿 3件

投稿年月	発表媒体	発表タイトル
2009年4月	日本建築学会	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)
2009年4月	日本建築学会	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)
2009年12月	日本建築学会小委員会	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

●雑誌投稿 2件

掲載年月	発表媒体	発表タイトル
2009年9月号	月刊「地球環境」	遠隔操作による湿式系吹付けアスベスト除去
2009年秋号	季刊「建築施工単価」	アスベスト処理・対策の現況と課題

●展示会等 2件

開催年月日	展示会	展示内容等
2009年10月21-23日	アスベスト対策環境展09	開発成果の報告（小セミナー）、システム模型等
2009年12月10-12日	エコプロダクツ展	システム模型等、技術説明

【平成19年度～平成21年度集計】

(1) 研究発表・講演

●学会・シンポジウム・セミナー・フォーラム発表 11件

(2) 特許出願等

●特許出願 2件

(3) 受賞実績

●平成20年度「建設施工と建設機械シンポジウム」優秀論文賞 受賞 1件

(4) その他特記事項

●新聞発表 23件

●TVラジオメディア発表 2件

●論文投稿 10件

●雑誌・書籍投稿 13件

●展示会等 3件

2. 1. 2 高性能アスベスト剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボットの開発

開発概要

鉄骨等に吹付けられた湿式アスベストを安全に効率よく除去するため、自走式昇降台車に搭載した 7 自由度マニピュレータ、マニピュレータを囲う部分チャンバ、剥離装置および剥離物を吸引して圧縮・梱包する回収・梱包システム等から構成されるクローズ型剥離処理システムを開発し、開発にあたり設定した以下の目標値を達成した。

- (a) 単位時間あたりの作業面積が従来の人手による作業の 4 倍以上の作業効率
- (b) 自動、手動による剥離作業後の剥離残しが剥離対象面積の 5% 以内
- (c) 部分チャンバ外の環境がファイバ数 0.1 本/cm^3 以下
- (d) 剥離したアスベストの体積を 1/3 以下に減容化

1) 剥離ロボットの開発

自走式昇降台車に搭載した 7 自由度マニピュレータにより高さ 5.5m までの剥離作業に対応でき、マニピュレータシミュレーションソフトを利用したオフラインティーチングによる自動操作と、ジョイスティックによる手動操作を行える遠隔操作システムおよび鉄骨のジョイント部や鉄骨を貫通するダクト等の障害物の自動回避機能を開発した。遠隔操作における作業確認のために剥離ロボットにカメラを搭載した。

2) 剥離装置の開発

各種工具による剥離実験を行って粗剥離から仕上げまで工具交換なしで剥離可能な回転研削型の剥離工具を選定し、剥離粉碎したパウダー状のアスベストを後述するバキューム吸引するための集塵カバーを取り付けた剥離装置を開発した。また、自走式昇降台車上に設置した大型モータからフレキシブルシャフトにより回転ワイヤブラシを駆動する駆動装置を開発し、剥離装置の剥離速度、剥離厚さ等の性能向上と小型・軽量化を図った。

3) 回収・梱包装置の開発

剥離粉碎したパウダー状のアスベストを集塵カバーからバキューム吸引し、粉塵を飛散させることなく分離して梱包するために、吸引・分離・梱包の各機能に対する装置の仕様検討を行うとともに装置を試作して性能比較実験等を実施し、自動で連続運転可能なクローズ型の回収・梱包装置を開発した。

4) 剥離実証実験

アスベスト代替のロックウールを吹付けた実大規模の鉄骨梁モックアップを屋内実験場に設置し、試作したクローズ型処理ロボットシステムによる剥離実証実験を実施して、パソコンによる遠隔自動操作で湿式吹付けロックウールの剥離から吸引・分離・梱包までの一連の除去作業を、粉塵を発生させることなく連続的に行えることを確認した。

5) ビジネスモデルの策定

アスベスト除去現場の調査を行ってシミュレーションのためのモデル現場を設定し、剥

離実証実験結果に基づいた作業フローおよびロボットと人手の最適な作業分担等を設定してシミュレーションを行い、本開発システムを適用した場合のコスト、工期および作業員削減による安全性向上等について検討した。また、ロボット販売・メンテナンス会社、リース会社、アスベスト除去工事会社等の協力を得て、ロボット適用による効率向上・コスト等の試算および事業化体制案の策定を行った。

開発内容

1. 開発システムの概要

1.1 ニーズと目標

鉄骨等の湿式吹付けアスベスト処理ロボットシステムに求められているニーズと対応する要求性能を図 1.1-1 に示す。ニーズは大きく分けて安全・安心、ローコスト・短工期、リニューアル工事への対応の 3 つがあり、作業項目ごとに必要な性能を、要求性能としてまとめると、安全・安心に関連する事項としては主に粉塵飛散の防止、人手作業の削減などがあり、ローコスト・短工期に関連する事項は高い作業効率、剥離アスベストの減容化などがあり、リニューアル対応に関連する事項は主に狭く複雑な場所への対応、構造物に損傷を与えないなどがある。

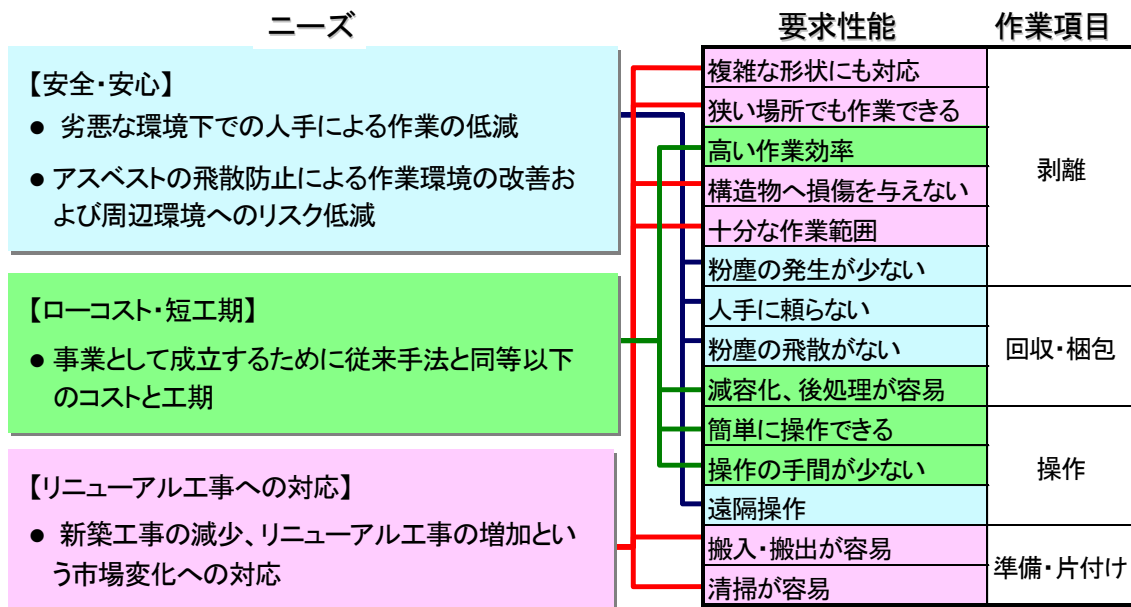


図 1.1-1 システム開発のニーズと要求性能

要求性能のうちコスト・工期に特に関連の強いロボット作業による作業効率と剥離残しおよび減容化、安心・安全およびリニューアル対応に関連の強いロボット周辺の飛散アスベスト濃度について着目し、開発に当たっての目標値を以下の通りに設定した。

【研究開発の目標値】

- 単位時間あたりの作業面積が従来の人手による作業の 4 倍以上の作業効率
- 自動、手動による剥離作業後の剥離残しが剥離対象面積の 5% 以内
- 部分チャンバの外の環境が、ファイバ数 0.1 本/cm^3 以下
- 剥離したアスベストの体積を $1/3$ 以下に減容化

1.2 開発システムの全体構成

鉄骨等に吹付けられたアスベストを除去し、研究開発の目標値を満足するロボット処理システム実現には、現場内の移動機能、作業位置への昇降機能、アスベストの剥離機能、剥離したアスベストの圧縮・梱包機能、粉塵飛散防止機能などの機能が必要である。開発した高性能アスベスト剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボットシステムの全体構成を図1.2-1に示す。システムは、遠隔操作可能な自走式昇降台車に7自由度マニピュレータを搭載した剥離ロボットおよび遠隔操作システム、マニピュレータ先端に取り付ける剥離装置、剥離したアスベストを吸引・圧縮して袋詰めする回収・梱包システム等から構成される。

吹付けアスベストの除去工事では作業する部屋全体をポリシートで隔離養生する必要があり、本システムは隔離区域内の剥離ロボットを安全な隔離区域外から遠隔操作してアスベストの剥離から梱包まで一連の作業を自動で行う。剥離したアスベストを剥離装置から吸引ブローで直接吸引してサイクロンで分離し、圧縮装置で圧縮して梱包するまで密閉したシステムで行うため粉塵飛散が少なく安全性が高い。また、粉塵飛散防止のための散水等が従来と比較して少量済み、周辺を汚さないためリニューアル工事にも適している。事務所、店舗、工場などを適用対象として、高さ5mまでの吹付けアスベストの除去を、高速なマニピュレータの自動剥離により人手と同等以下のコスト、工期で行うことができる。

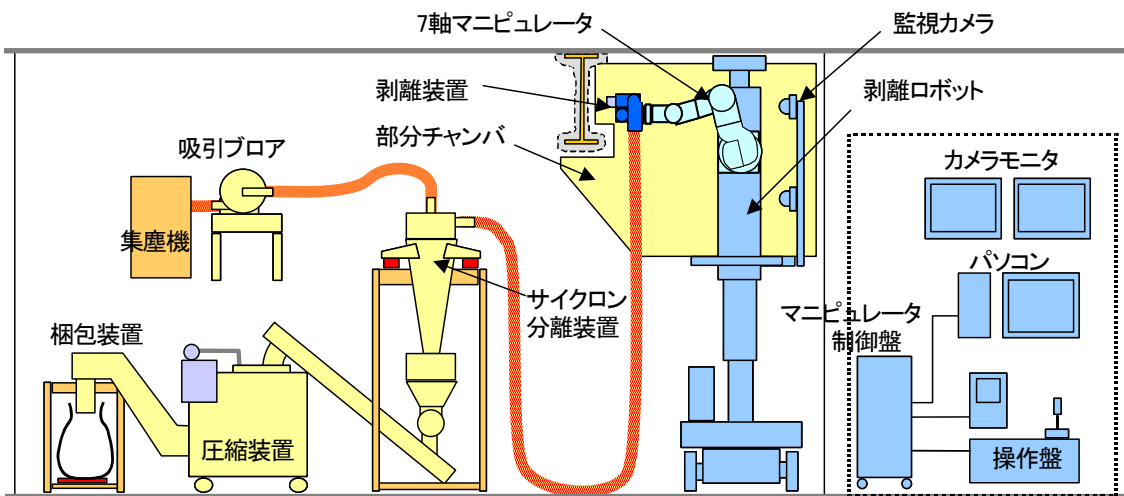


図 1.2-1 開発システムの全体構成

2. 剥離ロボットの開発

2.1 剥離ロボットの概要

剥離ロボットの概要を図 2.1-1、図 2.1-2、仕様を表 2.1-1 に示し、マニピュレータ操作システムを図 2.1-3 に示す。剥離ロボットは、鉄骨梁等の複雑な形状に吹付けられた湿式アスベストの剥離を効率よく行うために、マスト昇降式の自走式高所作業車（SV041、アイチコーポレーション製）に産業用 7 軸マニピュレータ（IA20、安川電機製）を架装し、走行用に 2 台および作業用に 4 台の監視カメラを搭載した。マスト頂部をスラブ下端に押し当てることで剥離ロボットを固定し、マニピュレータは高さ最大 4730mm まで上昇して高さ 5.5m までの作業が可能である。

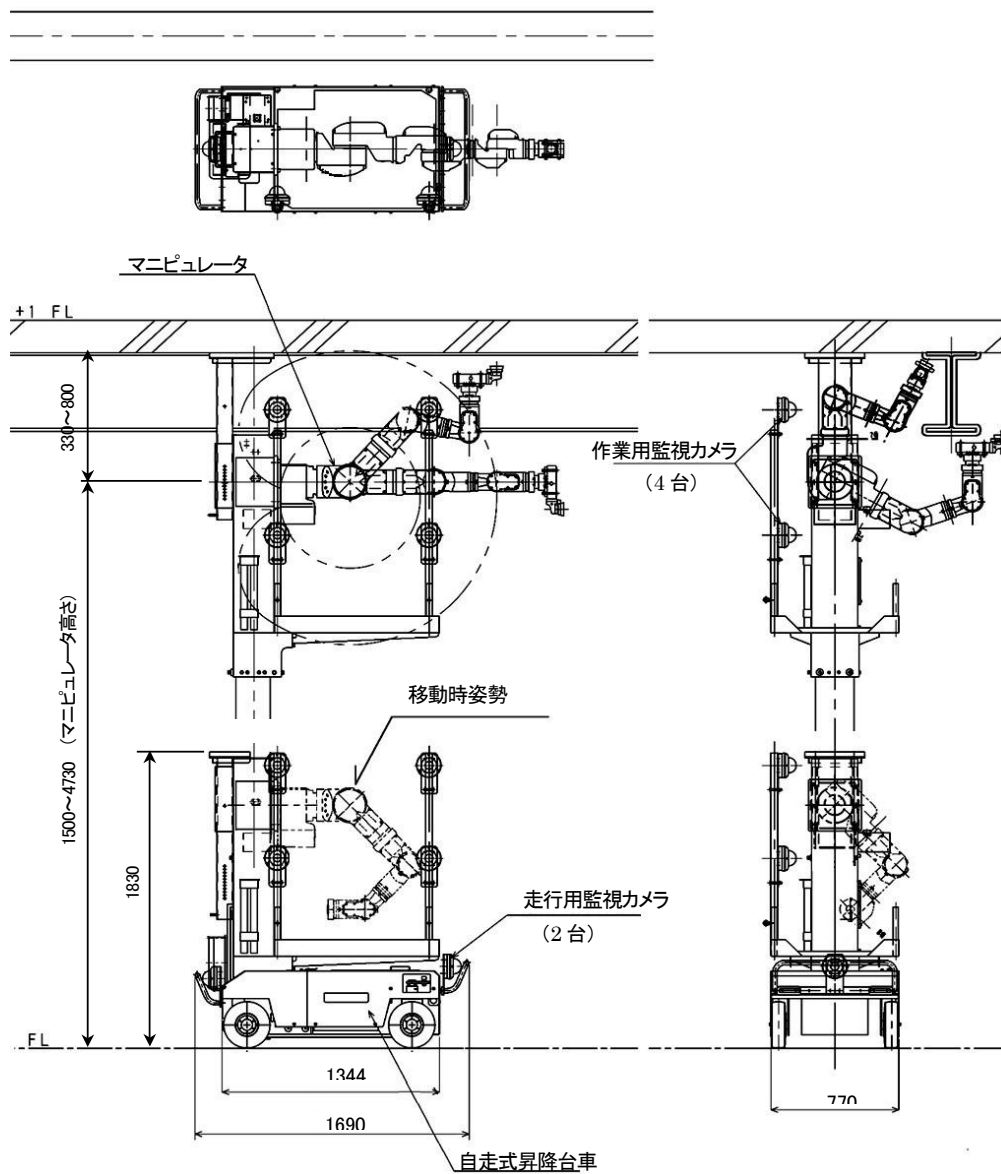


図 2.1-1 アスベスト剥離ロボットの概要

マニピュレータによる剥離作業は図 2.1-3 に示す操作システムによりティーチングプレイバックによる自動剥離と、ジョイスティックを用いた手動遠隔操作を行うことができる。

表 2.1-1 剥離ロボットの主な仕様

●寸法、質量	
外形寸法(走行時)	幅0.77×長さ1.69×高さ1.83(mm)
マニピュレータ高さ	FL+1500~4730
質量	905kg
●能力	
走行速度	高速:0.8km/h 低速:0.6km/h
登坂能力	8°
最小回転半径	1.7m(外側タイヤ中心)
剥離可能高さ	階高最大 5500mm
●マニピュレータ	
構造	7 自由度多関節型
可搬質量	20kg
電源容量	3 相 200V、2.6 kVA
●移動・昇降部動力	
動力源	DC24V バッテリー、100Ah



図 2.1-2 剥離ロボット



図 2.1-3 剥離ロボット操作システム

2.2 マニピュレータ制御システム

2.2.1 マニピュレータの概要

鉄骨梁に吹付けられたアスベストを剥離するためには、ウェブおよびフランジ上下面の全面に対応してマニピュレータ先端の姿勢を変えられる必要がある。本開発の吹付けアスベスト処理ロボットシステムでは、高い自由度と高速な動作が可能な産業用の 7 軸マニピュレータを採用した。表 2.2-1 にマニピュレータの仕様、図 2.2-1 にマニピュレータの形状寸法を示す。

表 2.2-1 7 軸マニピュレータの仕様

名称	MOTOMAN-IA20	
構造	多関節形(7 自由度)	
可搬質量	20 kg	
繰り返し位置決め精度	±0.1 mm	
動作範囲	S 軸	±180°
	L 軸	±125°
	θ 軸	±180°
	U 軸	±125°
	R 軸	±180°
	B 軸	±120°
	T 軸	±360°
最大速度	S 軸	2.62 rad/sec、150°/sec
	L 軸	2.62 rad/sec、150°/sec
	θ 軸	2.97 rad/sec、170°/sec
	U 軸	2.97 rad/sec、170°/sec
	R 軸	5.24 rad/sec、300°/sec
	B 軸	5.24 rad/sec、300°/sec
	T 軸	10.1 rad/sec、580°/sec
本体質量	120 kg	
電源容量	2.6 kVA	

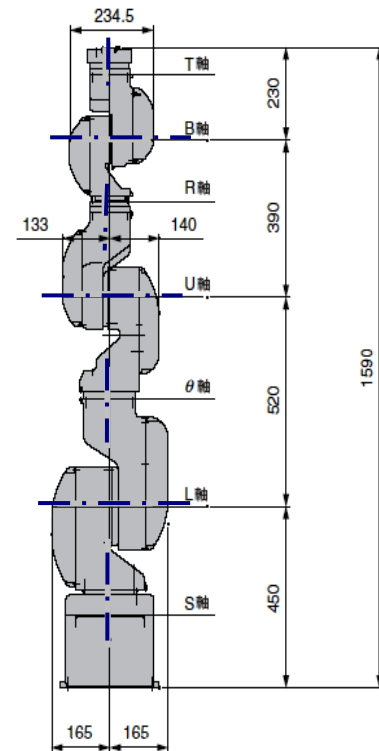


図 2.2-1 マニピュレータ形状寸法

2.2.2 制御システムの構成

本開発システムではあらかじめ作業プログラムをティーチングしておき、作業位置に剥離ロボットを設置してプレイバックすることにより自動で高効率な剥離作業を行う。産業用ロボットは実際の作業に合わせてロボットを動かしながら作業プログラムをティーチングするが、アスベストが吹付けられた鉄骨では鉄骨表面位置のティーチングができないこと、ティーチング作業に時間がかかることなどの問題があり、アスベスト除去現場でティーチングを行うことは困難である。そこで、アスベスト剥離ロボットと鉄骨梁の形状および位置等のデータを入力してパソコン上で作業プログラムのティーチングを行うことができるシミュレーションソフト（MotoSim）を導入することで、オフラインであらかじめ作業プログラムを作成することを可能とした。パソコンとマニピュレータ制御盤を LAN で接続し、作業プログラムをマニピュレータに転送してプレイバックにより自動で剥離作業を実行する。同時にシミュレーションソフトのリアルタイムモニタリング機能により、マニピュレータの動きをリアルタイムにパソコン上に表示して作業状況を監視することができる。図 2.2-2 にマニピュレータ操作システムの概要を示し、図 2.2-3 にオフラインティーチングのパソコン画面例を示す。

現場ではあらかじめティーチングした作業プログラムに従って剥離ロボットを設置し、プレイバックによる剥離作業を行うが、鉄骨には図 2.2-4 に示すようなジョイント部や貫通ダクトなどの障害がありティーチングされた作業プログラムが実行できない場合がある。そこで図 2.2-5 に示すように、パソコン上で必要に応じて剥離作業の開始点および終了点を調整し、障害を避けてから剥離作業を実行する遠隔作業実行ソフトを開発した。図 2.2-6 に遠隔作業実行ソフトの実行画面例を示す。パソコン上で剥離作業の開始点および終了点の調整量を数値入力することで、障害物を避けた部分の剥離作業が実施できる。

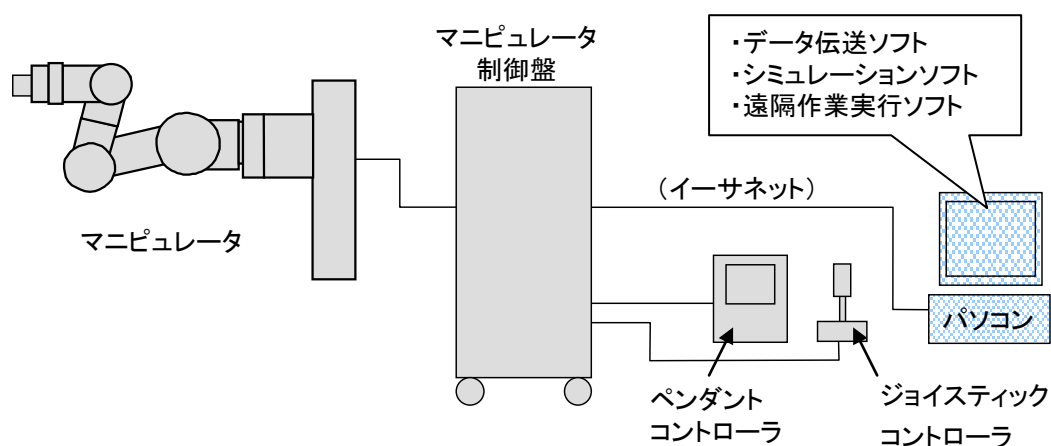


図 2.2-2 マニピュレータ制御システムの構成

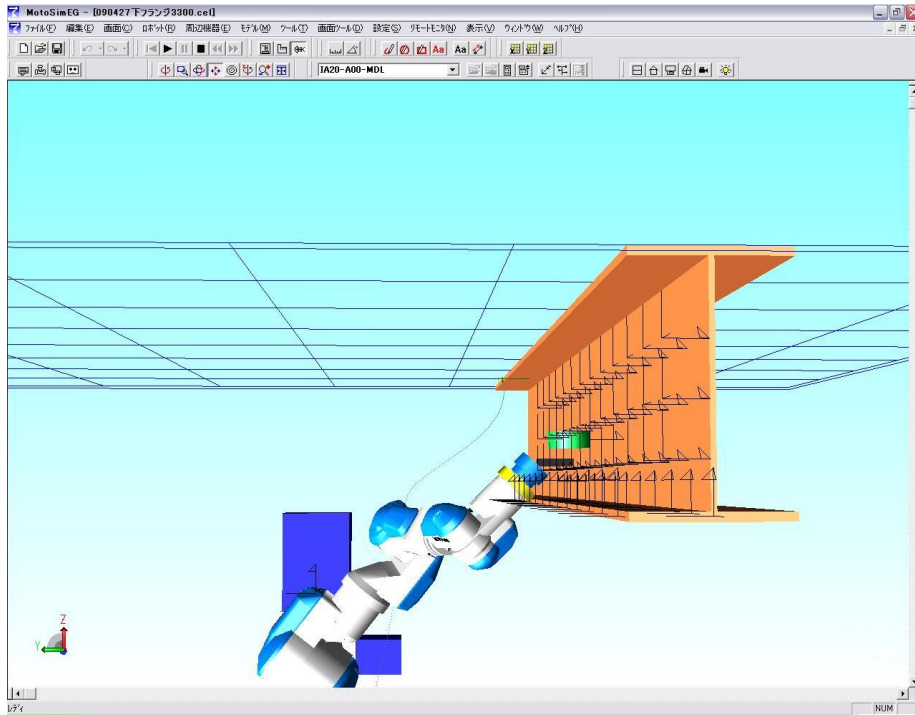


図 2.2-3 オフラインティーチング画面例

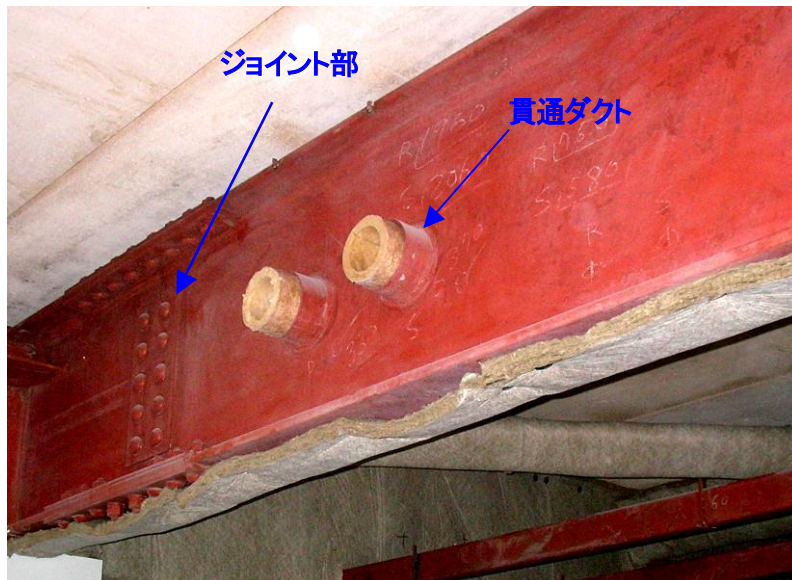


図 2.2-4 鉄骨ジョイント部および貫通ダクト

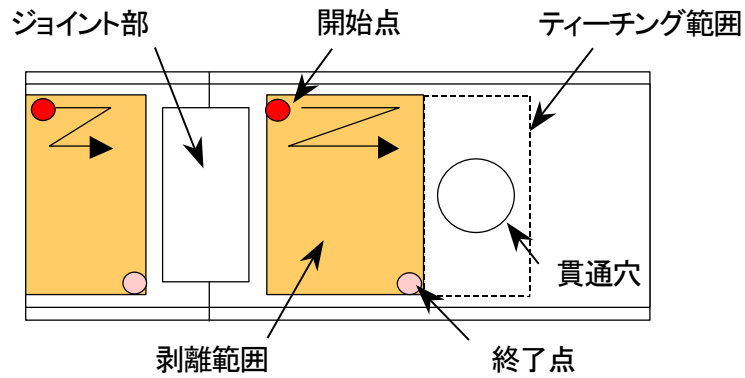


図 2.2-5 障害物回避のための剥離範囲の調整

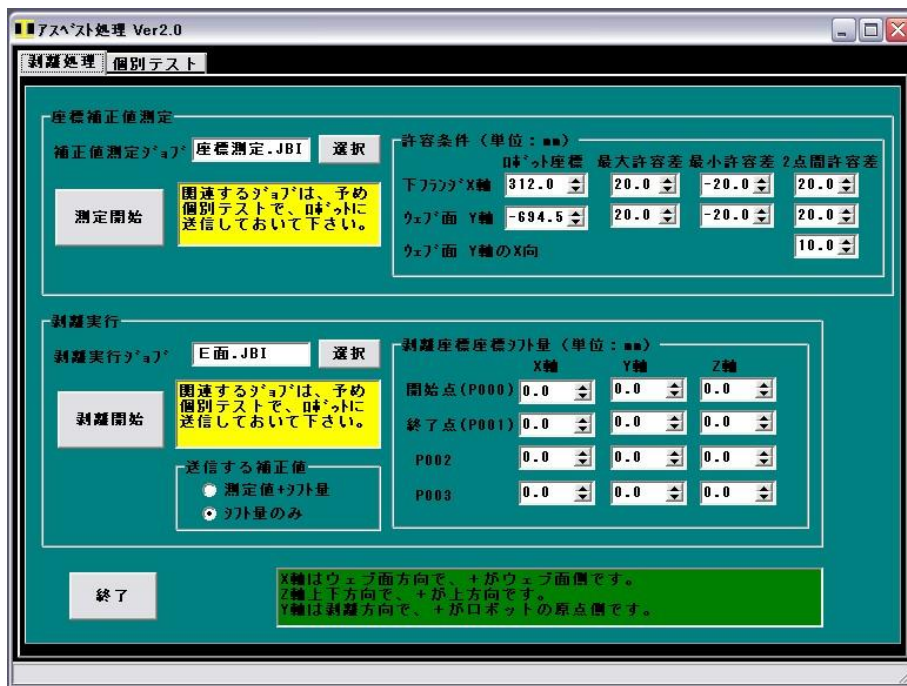


図 2.2-6 遠隔作業実行ソフト画面例

2.2.3 力制御

本開発の剥離ロボットは、移動設置を繰り返しながらマストを伸ばして高所での作業を行うため、マニピュレータを作業場所で高い精度で設置することは難しく、マニピュレータ（ロボット）と鉄骨梁（剥離対象）との位置関係がティーチングで規定したものに対して±10mm程度の誤差が生じる。また、回転型のホイールブラシによる剥離作業は、押し付け力が大きいと回転が停止してしまい、押し付け力が小さいと剥離残しが生じる。よって設置精度の誤差を吸収してスムーズな剥離を行うため、剥離装置に常に最適な押し付け力を加える力制御機能を導入した。力制御による剥離手順を図 2.2-7 に示す。押し付け力の検出は 6 軸力センサで行い、力制御動作範囲内では力制御目標軌道に向かって所定の押し付け力を維持するようにマニピュレータを制御することで、過大な力を生じたり剥離装置が鉄骨表面から離れたりせずに剥離作業が行える。力制御動作範囲および目標軌道はパラメータとして遠隔作業実行ソフトにより設定することができる。また、力制御を正確に行うため、力制御開始直前に力センサの 6 軸力を全て測定して演算を行い、剥離装置や吸引ホースなどのマニピュレータの先端に加わっている重量をキャンセルする機能を有している。

【力制御剥離作業手順】

- ① 力制御 ON、目標軌道に向かって剥離装置を移動開始
- ② アスベスト剥離開始、所定の力が発生するまで移動続行
- ③ 鉄骨表面で所定の力を加えて押し付け
押し付け力が安定するまでタイマーで時間調整
- ④ 所定の力で押し付けながら鉄骨表面に沿って剥離
- ⑤ 剥離終了で力制御 OFF
- ⑥ ジョブプログラムに応じて①から繰り返し

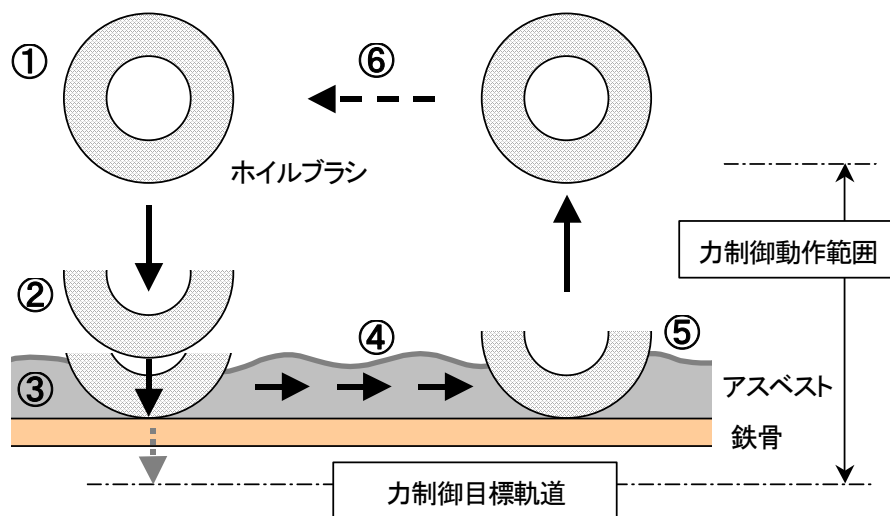


図 2.2-7 力制御による剥離手順

2.2.4 障害物回避機能

剥離装置の押し付け力を制御する力制御により、±20mm 程度の鉄骨面の誤差やなだらかな変位には追従して剥離が可能であるが、鉄骨のジョイント部のボルトや貫通ダクトなど（図 2.2-4）に衝突した場合は、進行方向の力を制御していないため、過大な力が発生してマニピュレータや構造物等の損傷をまねく可能性がある。そのため 2.2.2 項で述べたように、障害物のある場合はあらかじめティーチングしたマニピュレータ作業プログラムの作業範囲の調整が必要であり、手間がかかるとともに剥離残しが生じる。そこで、現場におけるマニピュレータの操作を簡易化し、剥離残しを減らすため、力制御を利用して鉄骨のジョイント部などの障害物を自動的に回避しながら剥離作業を継続して行うことができる障害物回避機能を開発した。

アスベスト剥離作業時に剥離装置の押し付け力とともに剥離進行方向の反力を測定し、障害物に衝突した場合に回避動作を行う。回避動作は、図に示す回避高さ設定値と回避距離をあらかじめ設定しておき、障害物への衝突を検出した時に設定に従って回避動作を行う。剥離作業は回避中も継続するため回避軌道上のアスベストは剥離される。障害物が設定値より大きな場合は、設定した動作を繰り返すことにより回避動作を行う。図 2.2-8 はジョイント部のボルトを想定して回避動作を 3 回繰り返して回避する例を示す。最初の障害物への衝突による力 F_1 を検出して回避高さ設定値 H_a の回避動作を行い、第 2 回目の衝突 F_2 においても同じ回避動作を行うが、第 3 回目の衝突では鉛直方向の力が大きいため設定値 H_b による回避動作を行い回避幅 L_b によりボルトを乗越える。障害物が連続する場合は図のように繰り返して剥離しながら障害物を回避することができる。繰り返し動作回数数の最大値を設定することで、最大値を超える障害物（貫通ダクト等）の場合はその列の剥離動作を終了して次の列の最初から剥離動作を継続する。また、衝突する力の向きにより回避動作量は 2 種類設定することができる。

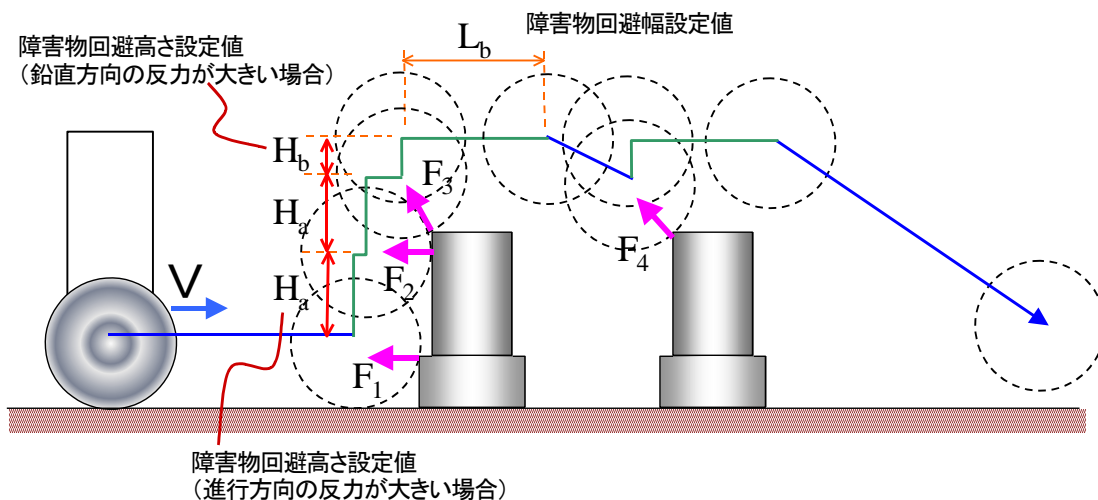


図 2.2-8 障害物回避動作の原理

2.2.5 ジョイスティック操作システム

アスベスト処理ロボットシステムはあらかじめ作成した作業プログラムに基づいた自動剥離を主体とするが、手動による遠隔操作を行うため、図 2.2-9 に示すような操作盤に 6 軸ジョイスティックおよび 1 軸操作のためのトグルスイッチを装備しており、自動剥離で生じた部分的な剥離残しの除去作業などを行うことができる。ジョイスティックは制御盤上の有効スイッチで ON/OFF を行い、マニピュレータの 7 軸のうち 6 軸 (S、L、U、R、B、T) はジョイスティックの軸にそれぞれ割振られているが、 θ 軸は操作盤上のトグルスイッチで操作する (図 2.2-10)。マニピュレータの動作速度はジョイスティック各軸の操作により可変であるが、 θ 軸はトグルスイッチによる ON/OFF 制御である。図 2.2-11 にジョイスティック制御システムの構成を示す。

ジョイスティックの操作モードには、各軸がマニピュレータの各関節軸に対応して個別に動作する各軸モードと、剥離装置の姿勢を保ったまま 3 軸 (X、Y、Z) 方向に動作する直交モードがある。直行モードでは同時に剥離装置のホイールブラシ先端位置を固定して剥離装置を 3 軸 (RX、RY、RZ) まわりに回転させて姿勢を変えることができる。剥離作業は平行移動で行うため直行モードで行うが、直行モードでは直線補間のための演算を行うため動作速度が遅くなること、マニピュレータの動作が不可能となる特異点が生じる場合があるため、必要に応じて各軸モードを使用して手動遠隔操作を行う。モードの設定はペンダントコントローラ上で切り替えることができる。

6 軸が一つに集約されているため操作には慣れが必要である。また、ジョイスティックによる操作では約 0.1 秒程度の時間遅れがあるが、特に問題なくスムーズに操作することが可能である。ジョイスティック制御では力制御を用いることができないため、操作はカメラのモニタ画像を見ながら注意深く行う必要がある。

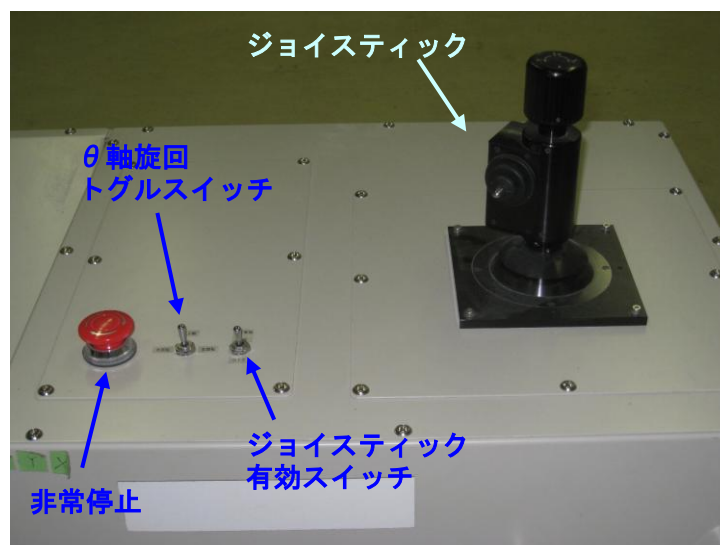


図 2.2-9 マニピュレータ操作盤の概要

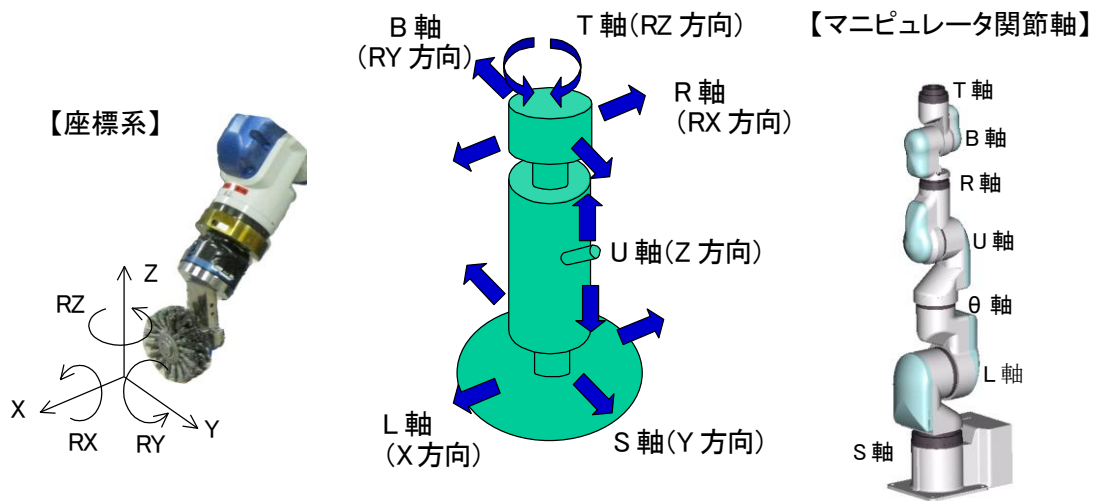


図 2.2-10 ジョイスティックの概要

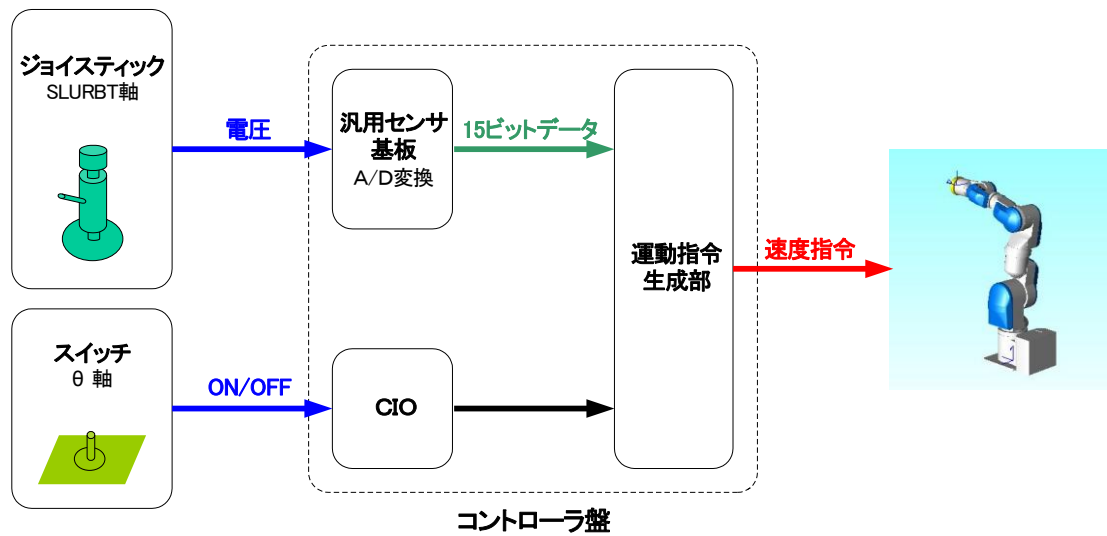


図 2.2-11 ジョイスティック制御システムの構成

2.2.6 作業監視カメラ

剥離作業を監視するため、図 2.2-12 に示すように剥離ロボットに 4 台の監視カメラを搭載した。上部に鉄骨梁のウェブとフランジ内側の監視用、下部に鉄骨梁のフランジ下端の監視用を左右にそれぞれ取り付けることで、剥離作業を常に監視することができる。モニタ画像を図 2.2-13 に示す。モニタ画像は切り替え装置により 4 分割による 4 台の表示と 1 台ごとに全画面表示の選択が可能である。



図 2.2-12 剥離作業監視カメラ取付け状況



図 2.2-13 剥離作業監視用モニタ

2.3 自走式昇降台車

2.3.1 自走式昇降台車の選定

本開発のアスベスト剥離ロボットは、隔離区域の外から遠隔操作で移動しながら高所の鉄骨梁のアスベストを剥離する必要がある。本開発では床上を自走する昇降台車にマンピュレータを搭載して剥離作業を行う構成とし、自走式昇降台車の要求仕様を検討した。

① 作業高さの検討

図 2.3-1 に 1978 年から 1992 年に竣工し、アスベストを使用していると考えられる当社施工の建物 97 棟の階高を調査した結果を示す。ロボットの最高作業高さを 4m とすると基準階は全ての建物に適用可能であるが、階高の高い 1 階を含めると適用可能な建物が 69% となる。作業高さ 5m とした場合は 1 階も含めて 96% の建物に適用可能となる。本開発では最高作業高さの要求仕様を 5m 以上と設定した。

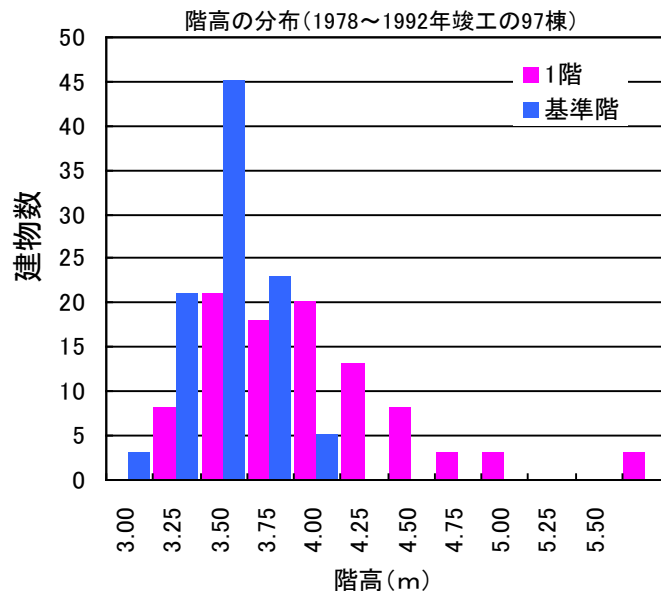
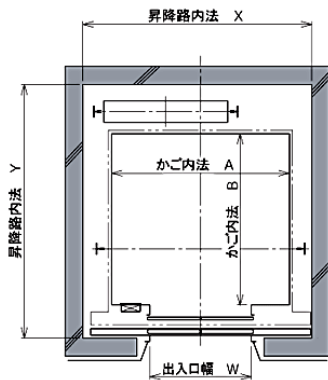


図 2.3-1 建物の階高調査結果 (当社施工建物)

② 寸法・質量の検討

自走式昇降台車は、移動時に一般的なオフィスビル等の出入口を通過可能とし、上下階移動のために本設エレベータに積載可能な寸法・質量とした。エレベータの能力・形状は様々であるが、一般的なオフィスビルのエレベータ寸法を図 2.3-2 のように設定し、この寸法のエレベータに乗降できる寸法 (長さ 1400×幅 800×高さ 1900 以下) とした。質量は、約 200kg のマンピュレータを搭載した状態でエレベータに積載可能な質量 (昇降台車+マンピュレータ+作業員 1 名で 1000kg 以下) とした。



15人乗り
 積載荷重：1000kg
 内寸：(A)1600(mm)×(B)1500(mm)
 入口寸法：幅(W)900(mm)、高さ2100(mm)

図 2.3-2 エレベータ能力、寸法

③自走式昇降台車の要求仕様

以上の検討により設定したベースマシンの要求仕様を表 2.3-1 に示す。

表 2.3-1 自走式昇降台車の要求仕様

項目	要求仕様
作業高さ	5m 以上
移動時寸法	長さ 1400×幅 800×高さ 1900 (mm) 以下
質量	700kg 以下

④自走式昇降台車の選定

要求仕様と機械の入手しやすさ等を考慮して、アスベスト剥離ロボットに使用する自走式昇降台車をマスト昇降方式の自走式高所作業車から選定した。高所作業車の走行装置にはホイール式とキャタピラ式の 2 種類があり、ホイール式は直進性が良好で床を傷つけたり汚したりせずに走行可能であるが段差や凹凸のある床面の走行が困難であること、キャタピラ式は段差や凹凸面の走行が可能でその場旋回など機動性が良好であるが床を傷つけたり汚す恐れがあることなどそれぞれに特徴がある。アスベスト除去現場の床には 2 重ポリシートによる養生が義務付けられており、走行時およびステアリング時にポリシートを乱すという懸念がある。そこで、図 2.3-3、図 2.3-4 に示すように 2 重のブルーシートを敷いた床上で走行実験を行った結果、キャタピラではステアリング時にシートを大きく巻き込むが、ホイール式では大きな問題はなかった。それぞれの特徴、実験結果を総合的に評価して、剥離ロボットのベースマシンには車輪式の高所作業車を採用した。



図 2.3-3 シート上走行実験 (キャタピラ式)



図 2.3-4 シート上走行実験 (ホイール式)

2.3.2 作業時の走行台車固定方法

剥離作業時の剥離装置の押し付け反力によるマニピュレータの揺れを防ぐため昇降台車を固定する必要があり、マスト頂部に固定板を取り付けてマスト上昇時にスラブ下端に押し付けて固定する方法を採用した。図 2.3-5 に固定機構の概要を示す。剥離対象によりマニピュレータの高さを調整する必要があるため、固定板をマニピュレータ取付け高さから 330mm～800mm の間で手動により調整可能とした。また、頂部にネオプレンゴム 20mm+硬質ゴム 10mm を貼り付けて多少の不陸を吸収可能とした。



図 2.3-5 マスト頂部押し当て式固定機構

マニピュレータ等の約 220kg を積載して、押し付け力が 200N 程度得られるように昇降用油圧ポンプのリリーフ圧を調整し、作業時の反力によるマニピュレータの変位量を把握するため加力実験を行った。加力実験は、図 2.3-6 に示すように固定板を天井面に押し付けて剥離ロボットを固定し、マニピュレータアームの固定板から 1000mm の位置に 150N まで加力してその点の変位量を測定した。図 2.3-7 に示す測定結果から、加力したときの変位量は比例関係にあり 100N の力を加えた場合の変位量が 3.4mm 程度であった。本開発ロボットの剥離作業の最大反力は 100N 以下と考えられ、力制御を行っているためこの程度の変位は問題ないと考えられる。

スラブ下端に押し付けて油圧ポンプを停止した場合、油圧のリークにより時間とともに押し付け力が低下することが考えられるため、油圧ポンプを停止した状態で放置したとこ

ろ、2時間程度では押し付け力の低下はほとんど見られなかった。実際のアスベスト除去作業では1ヵ所にとどまって行う剥離作業は10~20分であり、運用上30分以上置いて作業を行う場合には必要に応じて油圧ポンプにより押し付ける動作を行うこととした。

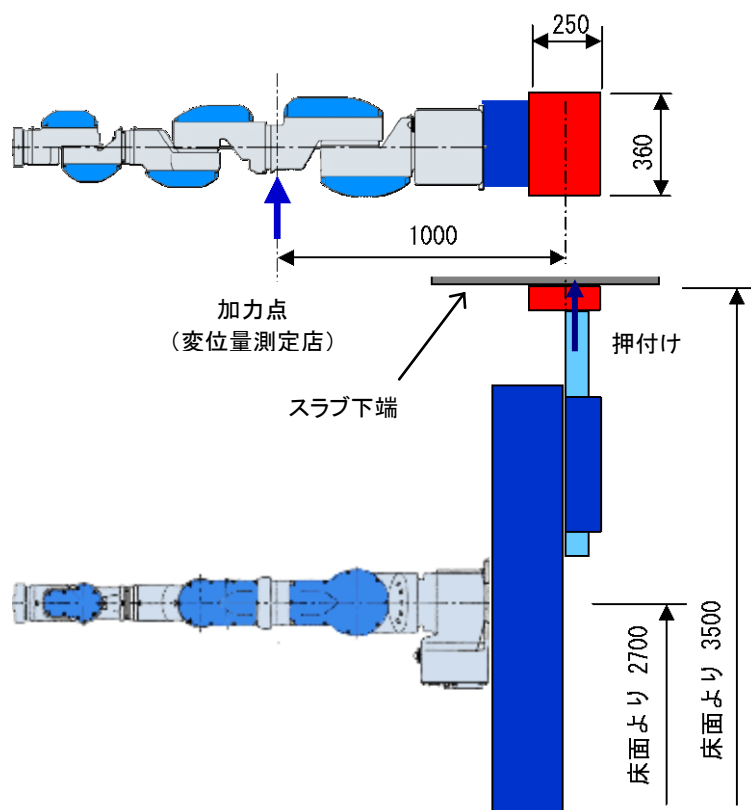


図 2.3-6 剥離ロボット剛性測定方法

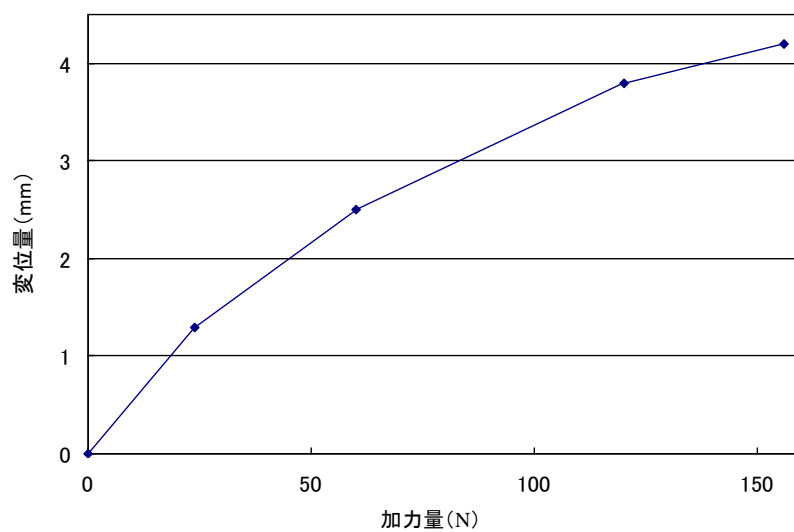


図 2.3-7 剥離ロボット変形測定結果

2.3.3 走行装置

採用した高所作業車の仕様では荷重 75kg の積載で移動することを前提に速度や登坂能力が設定されているが、本開発の剥離ロボットではマニピュレータ搭載により高所作業車の最大積載能力に当たる約 220kg の荷重を常時搭載して走行することになるため、そのままでは登坂能力が不足する。また、遠隔操作で剥離ロボットの位置決めを行う場合、走行速度が速いとステアリング操作が難しく精度の良い位置決めができないため、走行速度を減速して操作性を向上させる必要があった。そこで、当初はチェーンの 1 段減速で減速比 2.15 であった高所作業車の走行装置に 2 段の sprocket を追加して減速比 4.08 に増加させた (図 2.3-8、図 2.3-9)。これにより走行トルクが約 1.9 倍になり、マニピュレータ搭載による剥離ロボット総質量の増加約 1.2 倍に対し十分な能力が得られたと考えられる。走行速度は約 1/2 に減速されているが、さらにステアリング操作性を向上させるため走行用モータの電気回路に抵抗を入れ、スイッチの切り替えにより低速時にはさらに 25% の減速を図った。

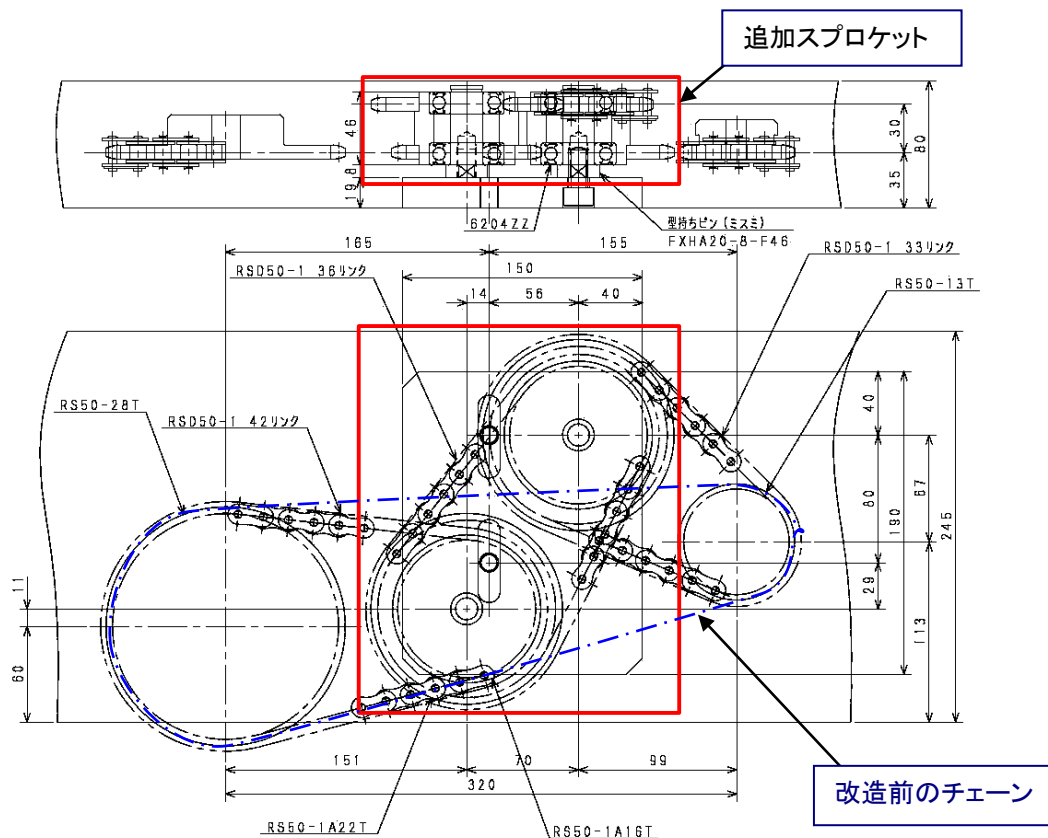


図 2.3-8 走行装置のスプロケット追加

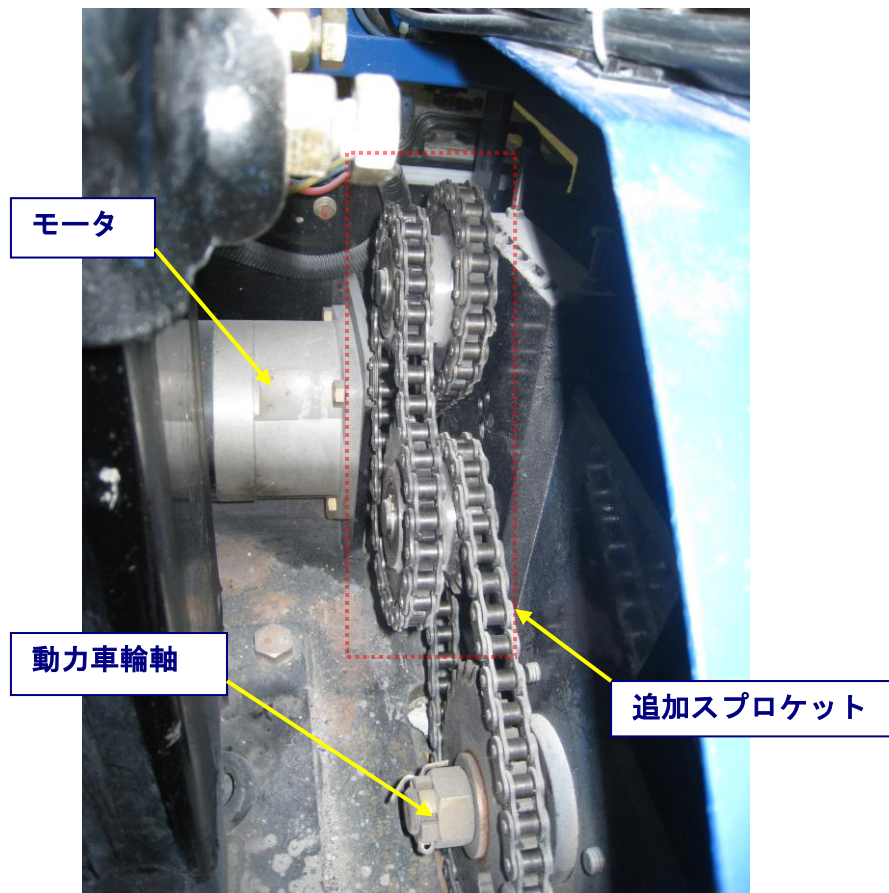


図 2.3-9 スプロケット取付け状況

2.3.4 走行用操作装置および監視カメラ

剥離ロボットの走行操作は図 2.3-10 に示す操作装置により遠隔操作を行う。剥離ロボットは鉄骨に沿って移動しながら剥離作業を実行するため、あらかじめ鉄骨に沿ってラインを引いておき、図 2.3-11 に示すように昇降台車の前後に取り付けた走行用監視カメラ（作業監視用と同じ型式）のモニタ画面（図 2.3-12、図 2.3-13）を見ながら、照準板を床のラインに合わせるように操作する。モニタ画面は分割画面と全画面を選択することができ、操作には慣れが必要であるが、前後左右とも±10mm 程度の位置決め精度を得ることが可能である。

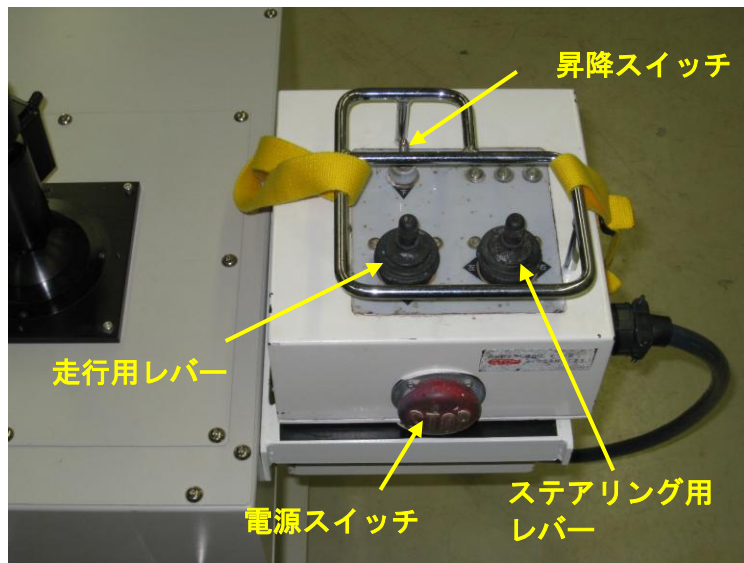


図 2.3-10 走行走査装置

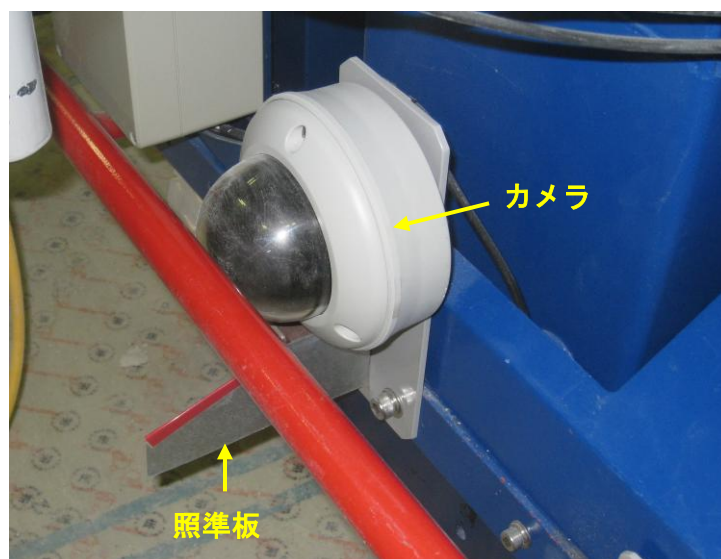


図 2.3-11 走行用監視カメラ取付け状況

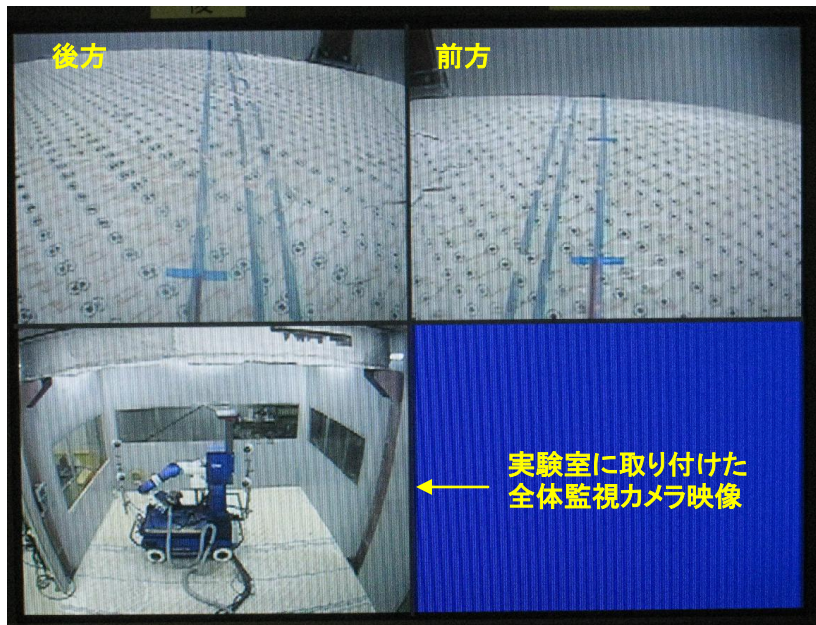


図 2.3-12 走行用モニタ画面（分割画面）

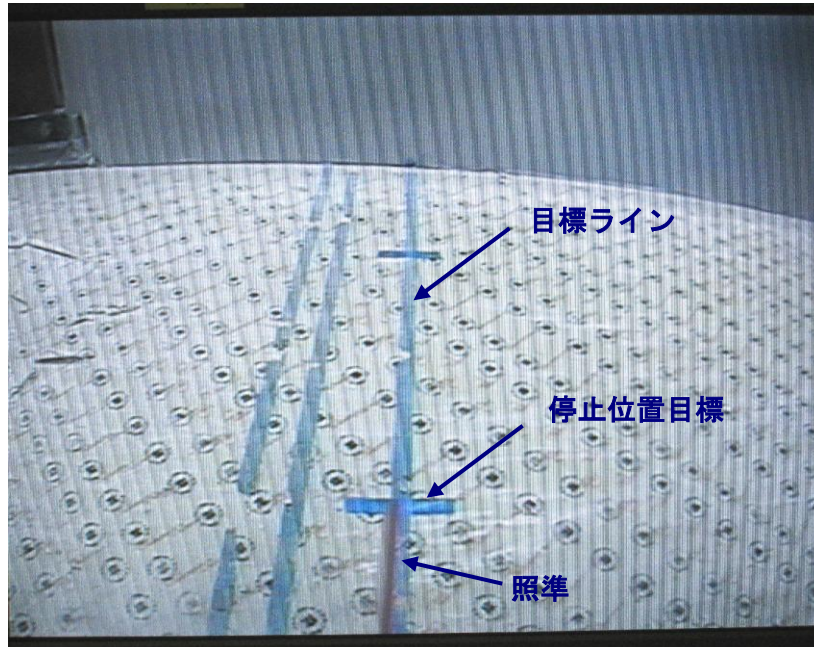


図 2.3-13 走行用モニタ画面（全画面）

3. 剥離装置の開発

3.1 湿式アスベストの物性

湿式吹付けアスベストの物性を推測するため、代替として湿式および半乾式ロックウールで吹付けた試験体を作成して強度試験を行った。その結果を表 3.1-1 に示す。曲げ、圧縮強度ともに半乾式の約 7 倍、かさ比重が約 2 倍あり、固く、緻密に吹付けられている。

表 3.1-1 耐火被覆の強度試験結果

	曲げ強度 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	かさ比重
湿式 (ウエットN)	0.39	0.54	約0.55
半乾式 (モエンダンネツ)	0.06	0.08	約0.28
湿式/半湿式	6.5倍	6.8倍	約2倍

3.2 回転研削型剥離装置の開発

3.2.1 剥離装置の性能比較

湿式吹付けアスベストは非常に固く（表 3.1-1）吹付けられているため、乾式、半乾式を対象とした平成 18 年度の開発で用いた剥離装置をそのまま使用することが難しいと考えられた。そこで、表 3.2-1 に示す 8 種類の剥離工具を用いて、湿式ロックウールを 25mm 厚で吹付けた鉄骨試験体を手作業で剥離する実験を行い、剥離効率（D）、剥離残し（Q）、粉塵発生量（E）の 3 項目で性能を比較した。剥離実験状況の例を図 3.2-1～図 3.2-3 に示す。

工具①のジェットタガネは手作業では仕上げまで行えるが、厚さのある部分では掻き落とすために時間がかかり剥離効率が低かった。工具②は木工用ルータービットをドリルに取り付けたもので、回転数約 2500rpm で切削することができるものの、刃が鉄骨表面に軽く接触しただけで食い込みが生じ、刃先および鉄骨が傷つくという問題が生じた（図 3.2-1）。工具③の横回転のカップブラシは回転数 5000rpm 以上で効率よく剥離可能であったが、粉塵が非常に多く発生したため実験を中断した（図 3.2-2）。カップブラシは回転数を下げると効果を発揮せず剥離効率が大幅に低下する。工具④の縦回転のホイールブラシでは回転数 3000rpm で粗剥離から仕上げまで比較的効率よく剥離可能であることが分かったが、粉塵発生は多かった。工具⑤、工具⑥は集塵式の塗膜剥離機で、両方とも固いものを削るのには適しているが厚さがある吹付けロックウールの剥離は効率が悪く、集塵カバーが干渉するため剥離残しが多かった。工具⑤は集塵機に接続するもので粉塵発生は少なかったが、工具⑥は本体に吸引羽根を備えたものであまり効果がなく粉塵発生が多かった。工具⑦、工具⑧は高周波振動スクレーパであり剥離能力、剥離残し、粉塵発生とも比較的良好であったが、掻き落とすために工具を起こす操作が必要であり、人間の判断を要するためロボット化は難しいと考えられる（図 3.2-3）。

剥離実験の結果、工具③、工具④の回転ブラシ型は一つの剥離装置で粗剥離から仕上げまで行え、剥離効率が高く、剥離残しが少ないことが分かった。粉塵発生が多いため粉塵

防止対策が必要であるが、ロボット化にも適していると考えられることから回転ブラシ型を採用することとした。

表 3.2-1 剥離用工具による比較実験結果

項目	工具①	工具②	工具③	工具④
本体	電動ジェットタガネ 	電動ドリル 	電動ディスクグラインダ 	電動ディスクグラインダ 
質量	4.5kg	1.9kg	1.6kg	1.6kg
性能	無負荷打撃数 3,000rpm	回転数 0 ~ 3,000rpm	回転数 2,800 ~ 11,000rpm	回転数 2,800 ~ 11,000rpm
先端ツール	ニードル 	ルータービット 	カップナイロンブラシ (回転数9000rpm) 	ホイールブラシ (ひねり鋼線) (回転数4500rpm) 
D: 剥離効率	0.41m ² /h	0.71m ² /h	実験中断のため評価不能	1.65m ² /h
Q: 剥離残し	非常に少ない 	少ない 	実験中断のため評価不能 	少ない 
E: 粉塵発生量	非常に少ない	少ない	非常に多いため実験中断	多い
項目	工具⑤	工具⑥	工具⑦	工具⑧
本体	集塵式電動塗膜剥離機 	集塵式サンダー 	超音波塗膜剥離機 	振動剥離機 
質量	3.7kg	1.6kg	0.77kg	2.2kg
性能	回転数 1,800 ~ 5,000rpm	回転数 12,000rpm	振動数21,000Hz	振動数 12,000Hz
先端ツール	遊星回転型カッターホイール 	研磨カップホイール 	スクレーパ 	スクレーパ 
D: 剥離効率	剥離残し多く評価不能	剥離残し多く評価不能	1.29m ² /h	1.59m ² /h
Q: 剥離残し	多い 	非常に多い	非常に少ない 	非常に少ない 
E: 粉塵発生量	非常に少ない	多い	少ない	多い



図 3.2-1 工具②ルータービット



図 3.2-2 工具③カップブラシ



図 3.2-3 工具⑧振動剥離機

3.2.2 集塵カバー

回転ブラシ型は高速回転するため剥離粉碎された粉塵が多量に発生し、回転による遠心力で勢いよく周辺に飛散することになるため、ブラシの周囲を集塵カバーで覆って直接バキュームで吸引する。回転ブラシには横回転のカップブラシと縦回転のホイールブラシがあり、横回転のカップブラシの場合は 5000rpm、ホイール型の場合 3000rpm 程度の回転数で剥離残しのない仕上げ状態まで剥離が可能であった。カップブラシは接触面積が大きく、全方向に剥離が可能であるためマニピュレータのジョブが簡易になり効率も良いというメリットがあるが、この場合粉塵の飛散方向も定まらないという問題がある。ホイールブラシは接触面積が小さく剥離方向が決まってしまうが粉塵の飛散は一方向のみである。

カップブラシについて図 3.2-4 に示すように、周囲のゴム製のスカートが 10mm 程度の凹凸になじむように構成した集塵カバーを試作して性能確認実験を行った。その結果周囲を凹凸のある吹付け材表面に密着させることが困難であり、高回転数で飛散の勢いが強いいため多量の粉塵飛散を防止することができなかった。また、ホイールブラシについては図 3.2-5 に示すようにホイールブラシをカバーで覆い、開口部周囲にシールブラシを取り付けた集塵カバーを試作して性能確認を行った。その結果、集塵カバーの周囲が吹付け材に限り密着するように設置して吸引した場合は粉塵の漏洩はほとんどなく剥離が可能であるが、集塵カバー周囲の隙間が大きくなると吸引性能が低下して粉塵が飛散することが分かった。図 3.2-6 に性能確認実験に使用した集塵機を示す。

縦回転のホイールブラシの場合は回転数が比較的 low、粉塵飛散が剥離方向に対して前方のみであるため粉塵飛散防止のシール等の対策が比較的容易であると考えられるため、縦回転のホイールブラシ（径 125mm、幅 50mm）を採用することとした。

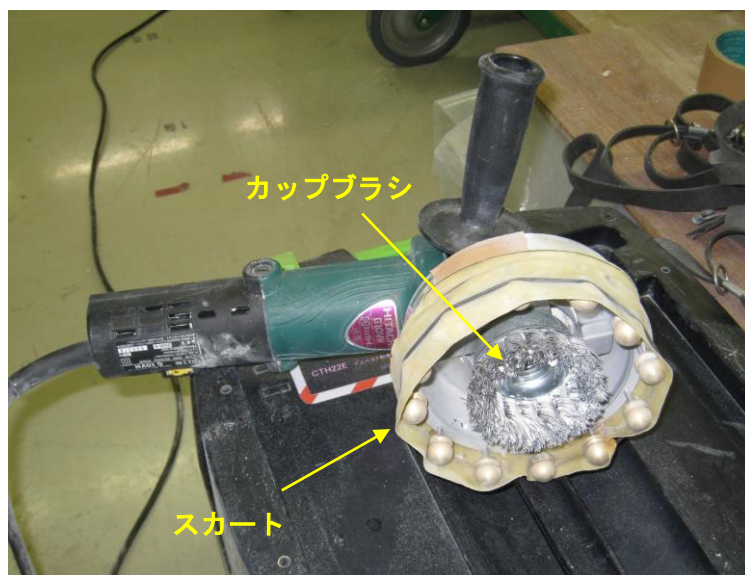


図 3.2-4 集塵カバー付きカップブラシ



図 3.2-5 集塵カバー付きホイルブラシ



図 3.2-6 集塵機の概要

アスベストの剥離厚さを確保するためには集塵カバーからのホイールブラシの突出量を大きく取る必要があるが、集塵カバー周囲の間隙が大きくなり集塵能力が低下する。ホイールブラシで飛散する粉塵は前方に集中して噴出するため、図 3.2-7 に示すようにホイールブラシの前方にシールブラシと吸込み口を設け、粉塵をシールブラシで止めて吸込み口から吸引することで粉塵飛散防止を図った。吸込み口は集塵カバー内部にも設け、空気の流路を作ることによって吸込み口の空気の流速を確保し（吸込み口面積の合計で流速が決まる）、集塵カバーの周囲の間隙にかかわらず集塵能力が確保される。

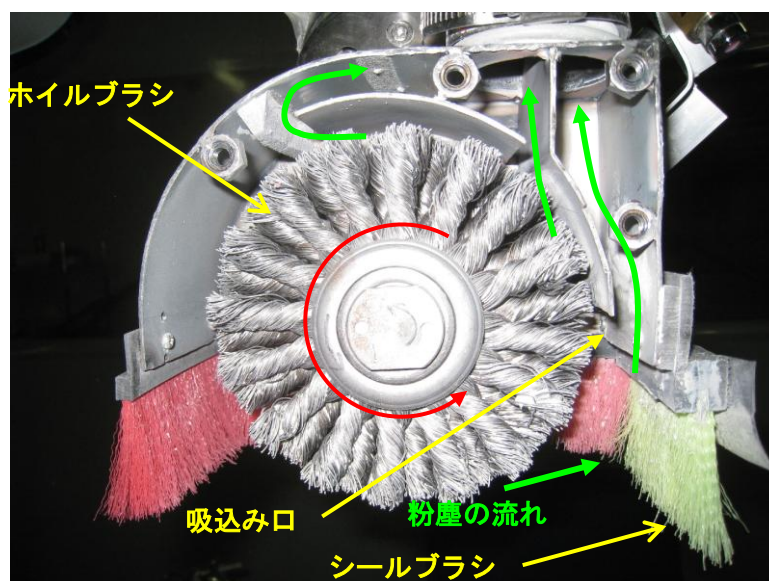
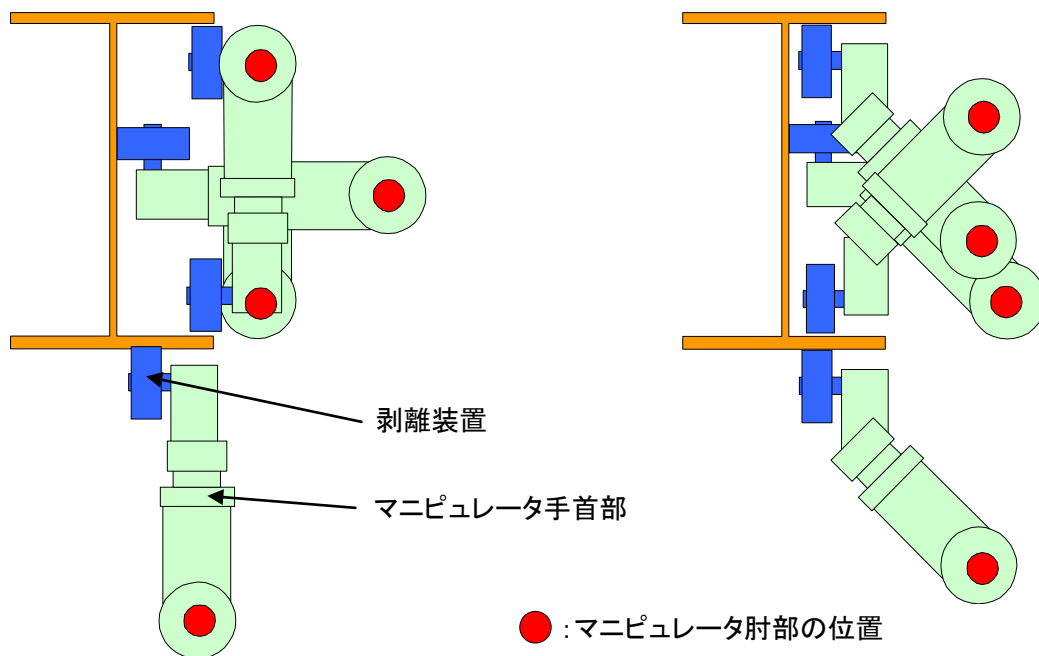


図 3.2-7 粉塵飛散防止型集塵カバー

3.2.3 剥離装置取付け角度

鉄骨梁の剥離では上下フランジとウェブ面の 3 方向に対して剥離装置を正対させて作業を行う必要がある。図 3.2-8 に剥離装置の取付け角度とマニピュレータ手首部の姿勢を示す。図 3.2-8(a) に示すように、マニピュレータの手首部に対して直行方向に剥離装置を取り付けると、3 方向に正対させるためには手首の姿勢をそれぞれ 3 方向に向ける必要があり、マニピュレータ肘部の関節の作業範囲が広く要求される。また鉄骨フランジと手首の干渉などが生じて剥離作業ができない場合がある。そこで、図 3.2-8(b) に示すように剥離装置を手首に対して 45° に取り付けることにより、手先の回旋により直交方向の作業が可能となり、手首部の 2 方向の姿勢で 3 方向に剥離装置を正対させることができ、鉄骨との干渉も避けることができる。



(a) 直交方向への取付けの場合

(b) 45° 方向への取付けの場合

図 3.2-8 剥離装置取付け角度

3.2.4 剥離工具駆動装置

鉄骨細部の剥離作業の作業性を考慮するとマニピュレータ先端の剥離装置の寸法・質量はでき限り小さい方がよく、固く吹付けられた湿式アスベストの剥離のためにはパワーの大きな動力が望ましい。そこで、図 3.2-9、図 3.2-10 に示すように剥離装置から駆動用モータを離し、フレキシブルシャフトを用いて回転を伝達する駆動装置を開発した。フレキシブルシャフトは鉄骨フランジとの干渉を避けるため、ホイールブラシの回転軸からベベルギアを介して直角方向に取り付けた。駆動用モータは、当初はインバータ制御の 0.4kw・3 相モータを使用していたが、力制御の確認実験で出力が小さいことが判明したため 0.75kw に大型化した。

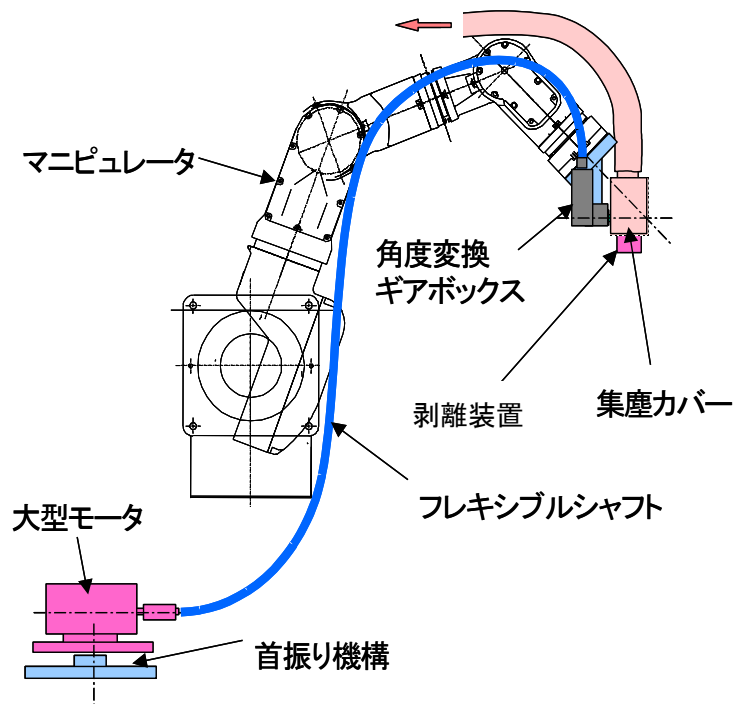


図 3.2-9 剥離工具駆動装置の構成

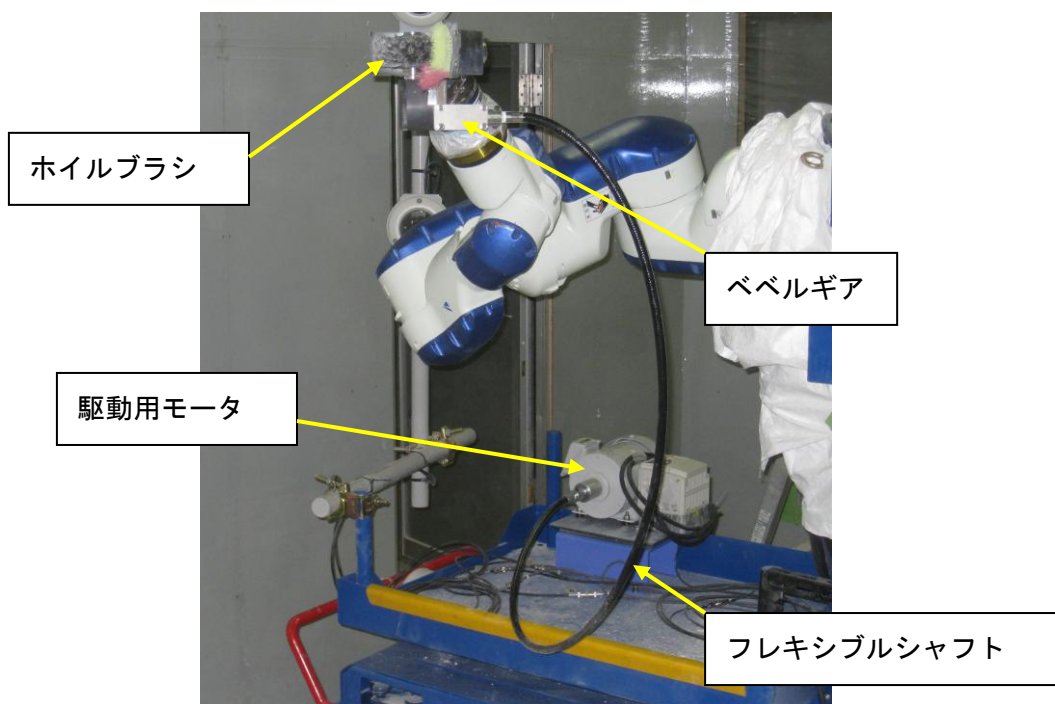


図 3.2-10 剥離装置駆動装置

3.3 剥離装置の性能確認

剥離装置を試作して剥離性能および集塵性能を確認するため、厚さ 25mm の湿式ロックウールを吹付けた試験体で剥離動作確認実験を行った。図 3.3-1 にその状況を示す。剥離装置は径 125mm×幅 50mm のホイールブラシ（図 3.3-2）を用いて 3000rpm で剥離し、集塵カバーから粉塵を集塵機で吸引した。性能確認実験の結果、力制御を使用したマニピュレータのティーチングプレイバックによる自動剥離により問題なくスムーズに剥離作業が行え、剥離速度 23mm/sec が得られた。また、厚さ 25mm の湿式吹付けロックウールをほぼ 1 回で鉄骨表面まで剥離可能であり、粉塵発生はほとんど見られなかった。



図 3.3-1 剥離装置の動作確認状況



図 3.3-2 ホイールブラシ型剥離装置

4. 回収・梱包システムの開発

4.1 回収・梱包システムの概要

粉体状に剥離したアスベストを回収して圧縮・梱包するシステムの構成を図4.1-1に示す。本システムでは、剥離したアスベストを剥離装置から吸引ブロアで直接吸引し、サイクロンで空気と分離してロータリバルブで圧縮装置に供給し、袋詰めする。袋詰めしたアスベストの質量を荷重計で測定して、設定値（10kg～15kg）に達した時にランプと警報を発して袋の交換時期を知らせるとともにロータリバルブを停止する。また、サイクロンとホッパの質量を測定し、ホッパが満杯となった場合に警報を出すとともに吸引ブロアを停止する。一連の作業は密閉された環境で行うことができ粉塵の飛散はないが、アスベストの袋を外して新しい袋と交換する必要があるため、システム全体を隔離エリア内に設置するものとする。本システムは、アスベストの剥離作業と平行して自動で袋詰めまで行うため、従来作業で必要であった掻き落したアスベストを回収・梱包して清掃する作業が軽減される。

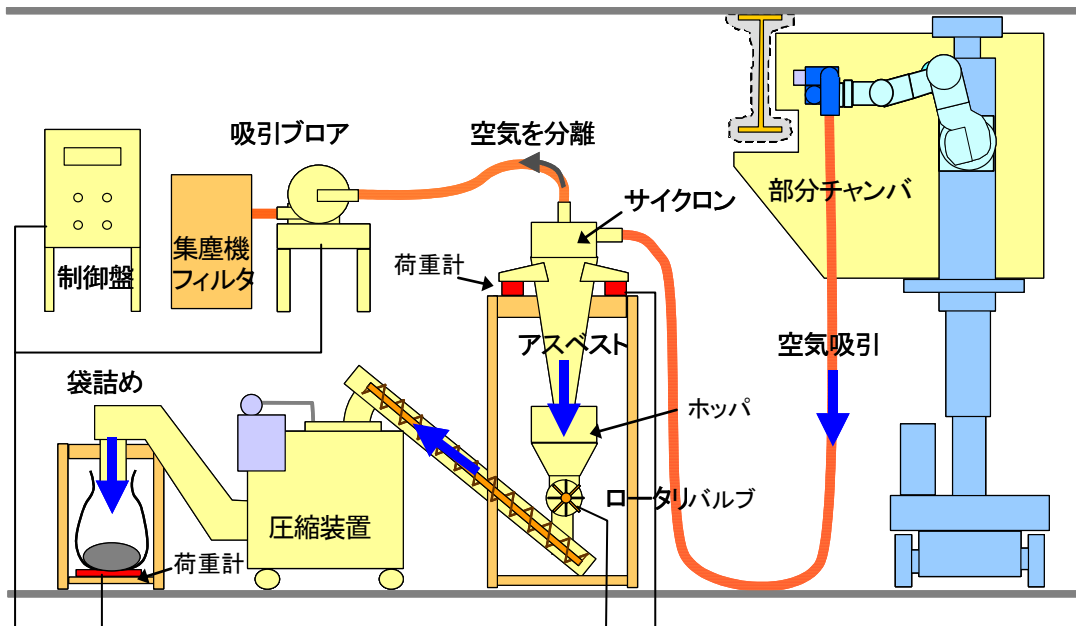


図 4.1-1 回収・梱包システムの構成

4.2 部分チャンバ

本開発システムの構成では、マニピュレータ全体を囲う部分チャンバを設置して粉塵飛散防止を図っている。図 4.2-1 に、フレームにポリシートを張り、剥離ロボット昇降時に鉄骨と干渉しないようにスライド機構を設けた部分チャンバ構成例を示す。平成 18 年度の開発で、部分チャンバ内が負圧となるように空気を吸引し、開口部や隙間部から流入する空気の流速が 0.55m/sec 以上に保てば部分チャンバから粉塵が飛散することを防ぐことができることが分かっている。部分チャンバの隙間の周長を 7m と仮定し、隙間を 20mm 以内に収めれば隙間の総面積が 0.085m^3 となり、空気の流速を 0.55m/sec 以上確保するためには、風量 $5\text{m}^3/\text{min}$ 程度のブローで吸引すればアスベストの部分チャンバ外部への飛散を防止することが可能と考えられる。

アスベスト除去現場では石綿障害予防規則により、作業場所をビニールシートで覆う隔離措置と集塵機により内部を負圧に保つことが規定されている。隔離養生内部のファイバ本数などの規制値は現状では特にないが、使用が義務づけられている全面形取替え式防塵マスクの推奨濃度はファイバ本数 $7.5\text{本}/\text{cm}^3$ 以下である（平成 21 年 4 月より電動ファン付に改定、推奨濃度 $15\text{本}/\text{cm}^3$ 以下）。部分チャンバを設ければ隔離措置が不要となる程度の非常に高い環境（ $0.01\text{本}/\text{cm}^3$ ）を得ることが可能と考えられるが、実際の作業では規定により隔離措置を省略することはできない。

本開発における環境目標値はアスベストファイバ数 $0.1\text{本}/\text{cm}^3$ であり、本開発システムでは剥離装置から直接吸引するため部分チャンバを使用しなくても目標値は達成可能と考えられる。部分チャンバを設けることは、剥離ロボットの移動盛替え時に手間がかかり、マニピュレータ部質量の増大などの問題があることから、本システムでは部分チャンバは現場や周辺環境などの状況により選択するオプションと考えることとした。

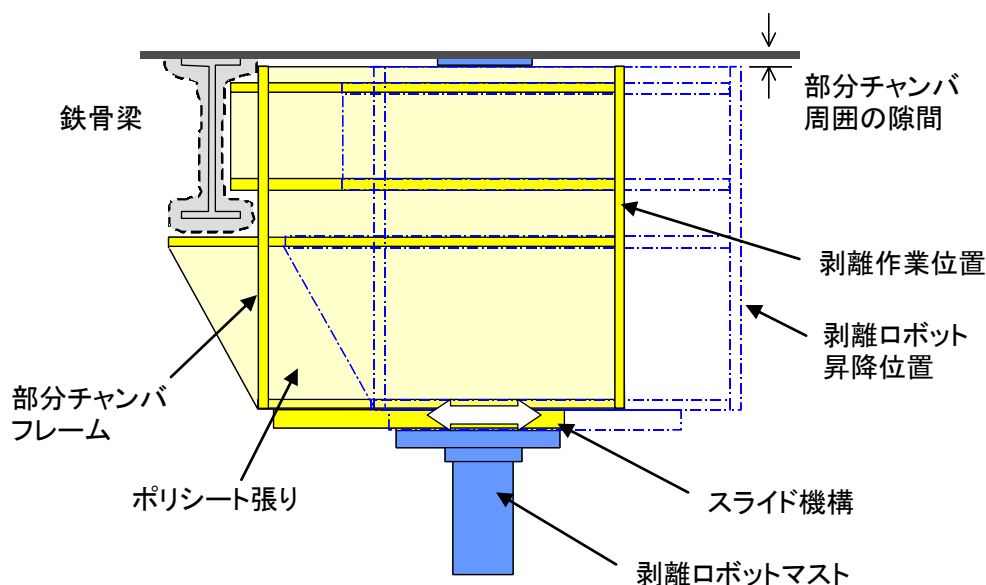


図 4.2-1 部分チャンバ構成例

4.3 分離装置

粉体状に剥離されたアスベストは剥離装置の集塵カバーからブロアにより吸引し、分離装置で空気と分離して梱包装置で袋詰めされる。剥離装置より圧送された剥離物を空気から分離するための分離装置として、気流分離方式とサイクロン分離方式について実験装置を試作してその性能を検討した。

4.3.1 気流分離方式

図 4.3-1 に気流分離方式の概要を示す。気流分離方式は、吸引ブロアで圧送された剥離アスベスト混入の空気を分離筒の下部に吹き込み、風量がバランスするように分離筒の上部から集塵機で吸引することで筒内の上昇気流の中で比重の重い粒子が沈降する。気流分離方式は気流のバランスが取れているため、落下した粒子のみが分離筒下部の開口に設置した圧縮装置の定量供給部に連続的に排出される。微細な粉体は沈降し難いため、筒内部に水を噴霧することで凝集して分離可能とした。図 4.3-2 に示す気流分離装置を試作して、湿式吹付けロックウールを粉砕して粉体状にした試験体を用いて分離実験を行った。実験では、粉体の試験体は定量供給部から供給して分離筒で分離し、圧縮装置に排出した。

試作した気流分離装置による性能確認実験の結果、噴霧する水の添加量が適切であれば粉体のほとんどが分離して落下し、上部から集塵機に吸引された空気に湿った粉体が混入することはほとんどなかった(図 4.3-3)。圧縮装置に供給される剥離アスベストと加水量が適切な場合は圧縮装置による圧縮固化が可能であるが、加水量のバランスが悪いと正常な圧縮固化が困難となることが分かった。圧縮装置性能については次節で述べる。

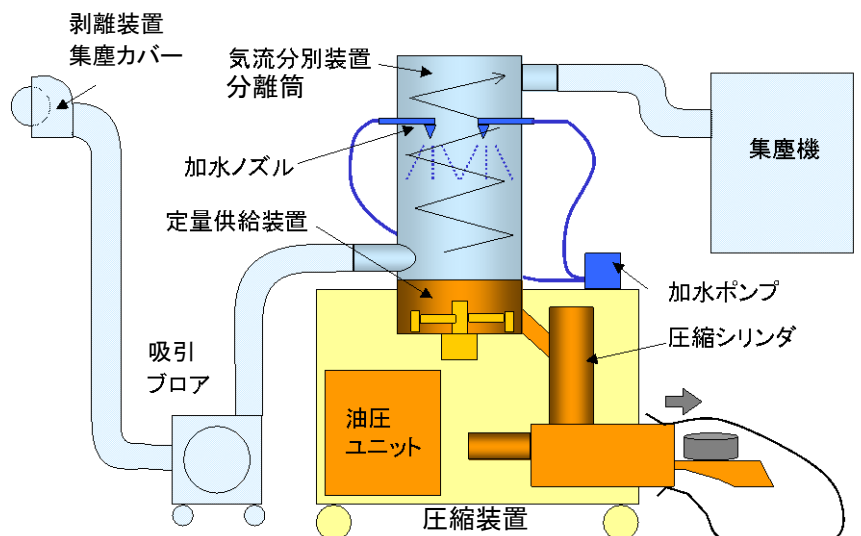


図 4.3-1 気流分離装置の概要

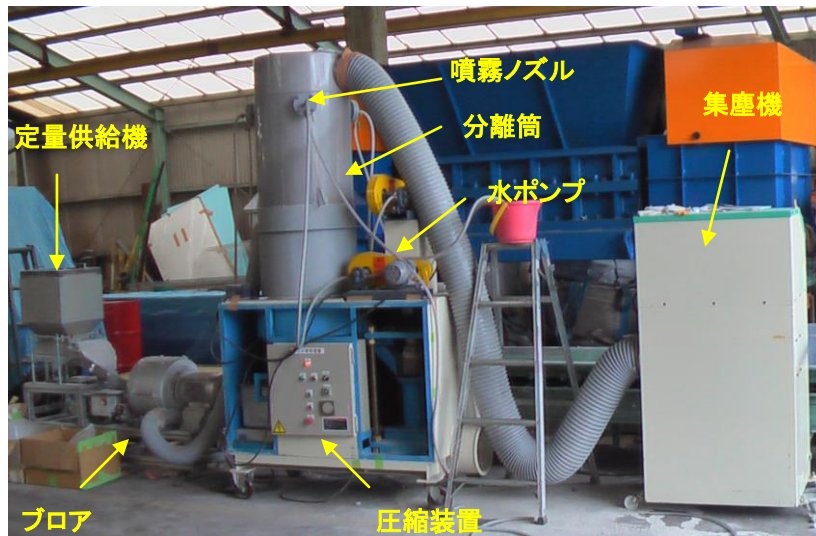


図 4.3-2 気流分離装置試作機

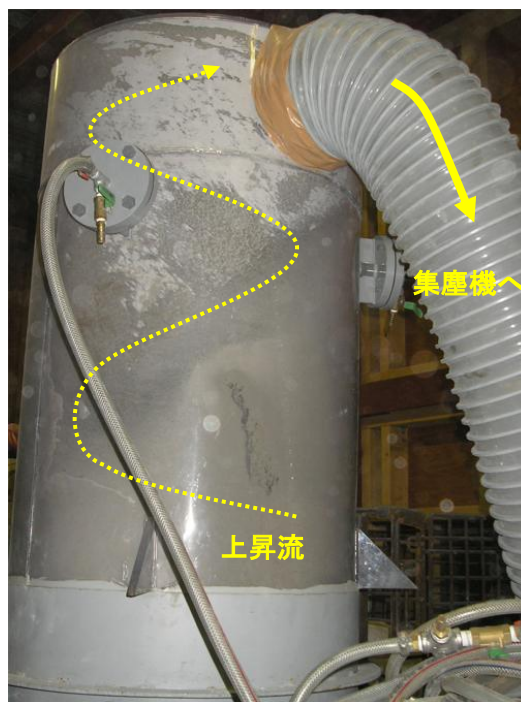


図 4.3-3 分離実験の状況

4.3.2 サイクロン分離方式

もう一方の分離方法として図 4.3-4 に示すサイクロン分離方式を検討した。サイクロン分離方式は、剥離したアスベストが混入した空気をサイクロンに送り、遠心力で分離して下部のホッパに回収する。サイクロン稼動時には空気の流路全体が密閉されている必要があるため、ホッパからの排出は吸引ブローを止めるバッチ式か、機密性の高いロータリバルブにより連続的に排出する必要がある。本開発システムではロータリバルブを用いた連続排出とした。サイクロン方式で微細な粒子をどの程度分離可能か確認するため、図 3.4-5 に示す小型のサイクロンを試作して分離実験を行った。

性能確認実験の結果、粉体状のアスベスト剥離物は重量比 98%以上がサイクロンで回収されることが分かった。サイクロンで分離できなかった微細な粉塵はフィルタで回収する。

4.3.3 分離装置の選定

以上の検討結果から、気流分離方式は剥離アスベストの量と噴霧による加水量の管理を精度よく行うことが難しいこと、サイクロン方式で微細な粉体を十分連続的に分離可能であることから、本開発システムではサイクロン分離方式を採用した。

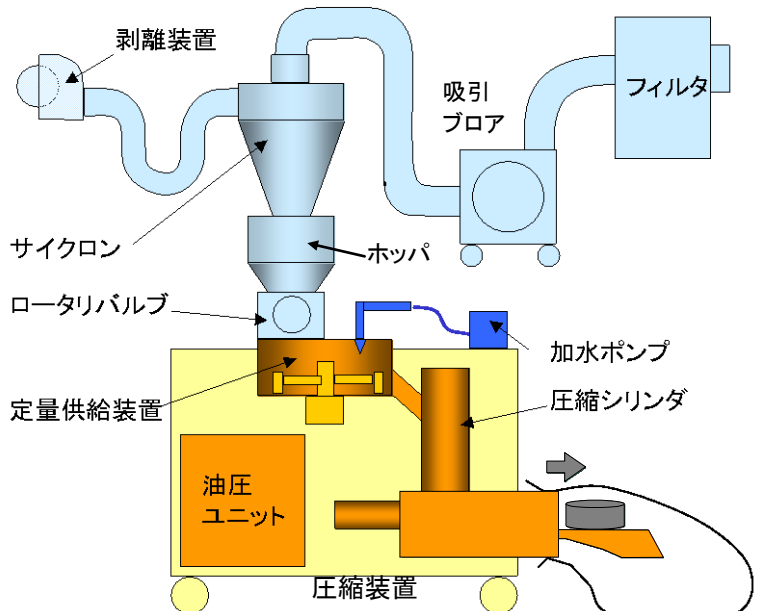


図 4.3-4 サイクロン分離装置の概要



図 4.3-5 小型サイクロンおよび吸引ブロア

4.4 圧縮装置

ホイールブラシによる粉体状に剥離することで減容化することが考えられる。手作業による剥離では吹付けアスベストの剥離は、スクレーパ等を用いて図 4.4-1(a)に示すようにブロック状に掻き落とすことになるが、本システムのホイールブラシによる剥離では図 4.4-1(b)に示すように粉体状に剥離粉砕される。両者のかさ比重を測定するとロボットシステムでは従来の手作業の約 1/2 の体積に減容化されることが分かった。



(a) 手作業の場合



(a) ロボットシステムの場合

図 4.4-1 剥離物の状況

次に、図 4.4-2 に示す一軸圧縮装置を使って湿式吹付けロックウールを粉砕した試験体による圧縮実験を行った。圧縮実験結果をまとめて表 4.4-1 に示す。湿式アスベストをホイールブラシで粉体状に剥離粉砕することで従来の人手によるブロック状の剥離物より約 1/1.9 の減容化が実現される。さらに重量含水比約 20%になるように適切な水分を加えて、一軸圧縮装置により 6.9Mpa の圧力で圧縮することで約 1/1.6 に減容化される。よって、両方合わせた体積は約 1/3.1 に減容化となり目標値の 1/3 を達成することができる。

微細な粉体状の湿式吹付けロックウール試験体では、加水量が多く重量含水率約 30%に加水分した試験体ではヘドロ状になり、圧縮による過剰水の脱水は困難であった。また、加水量が少ない重量含水率約 16%の試験体では、水分が全体に行き渡らず固まらない状態であった。湿式アスベストの粉体状の剥離物を圧縮固化するためには、シビアな加水量のコントロールが必要であると考えられる。

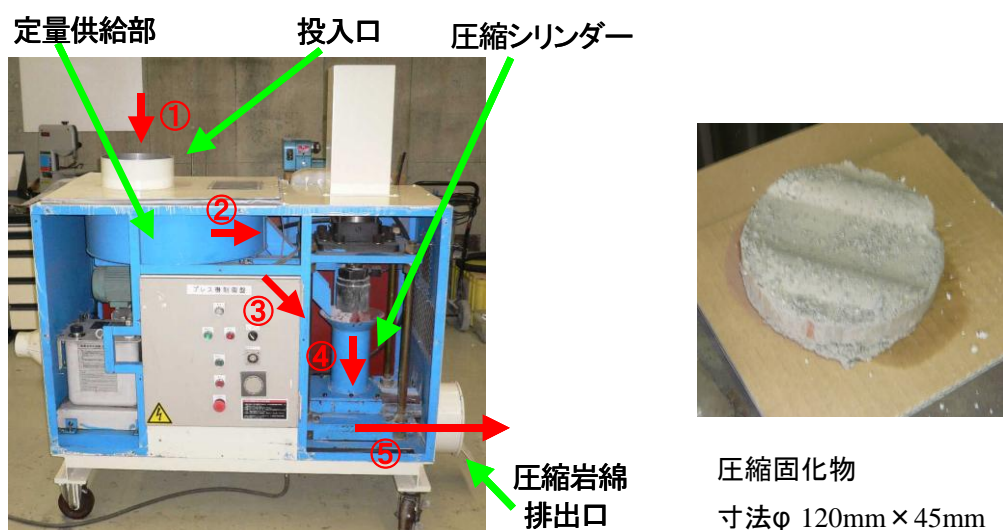


図 4.4-2 一軸圧縮装置の概要

表 4.4-1 圧縮実験結果

	かさ比重	一軸圧縮 減容化	合計減容化 (②×③/①)
ロボットによる粉体状態	① 0.64	③ 1/1.6	1/3.1
手作業によるブロック状態	② 0.33	—	—

5. 剥離実証実験

5.1 実証実験用試作システムの概要

試作したアスベスト処理ロボットシステムの性能を確認するため、実大の鉄骨梁モックアップを用いて実際の剥離作業と同等な剥離実験を行った。試作システムは図 5.1-1 に示すように剥離ロボットと回収・梱包装置から構成されている。実験ではロックウールを使用するため回収・梱包装置は隔離領域外に設置した。図 5.1-2 に剥離ロボットを示し、図 5.1-3 に回収・梱包装置、図 5.1-4 に吸引ブローア、表 5.1-1 に主な機器の仕様を示す。

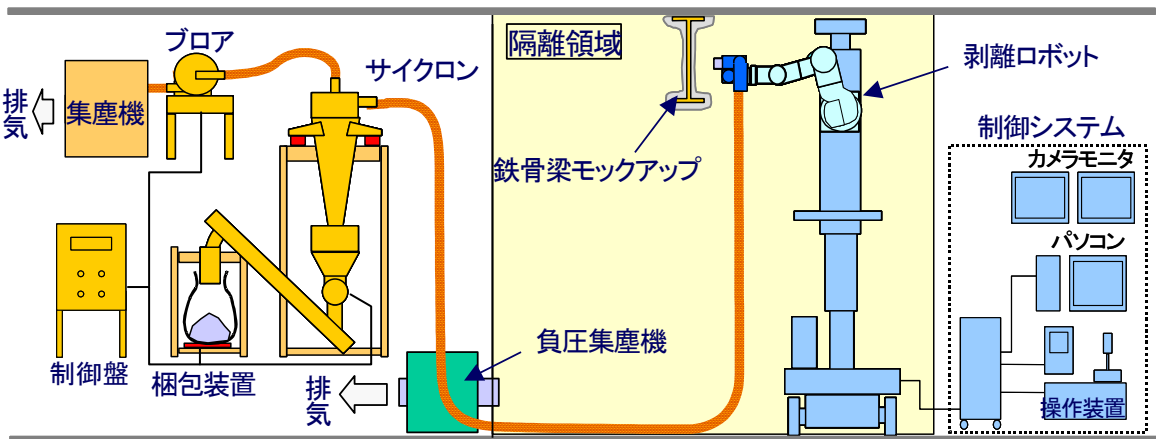


図 5.1-1 実証実験用試作システムの概要



図 5.1-2 剥離ロボット全景



図 5.1-3 回収梱包システム



図 5.1-4 吸引ブロア

表 5.1-1 回収・梱包システム機器の主な仕様

機 器	仕 様
吸引ブロア	動力 4.0kw、最大風量 5.2m ³ /min、最大静圧 38kPa
ロータリバルブ	排出量 0.013m ³ /min、ロータ 径φ 128×幅 90(mm)
スクリーンコンベヤ	排出量 0.013m ³ /min、径φ 100、P = 100、搬送率 30%(概算)
梱包装置	設定荷重①でアラーム、設定荷重②でシステム自動停止

隔離領域からの粉塵漏出を防ぐため図 5.2-5 に示す負圧集塵機（静圧 3.1kpa、最大風量 60m³/min）を設置した。実験時の粉塵を速やかに排出するためサイズの大きな集塵機を設置したため、環境測定時には流量を絞って実験を行った。



図 5.1-5 実大実証実験室負圧集塵機

剥離装置集塵カバーと剥離対象との隙間が大きい剥離開始時に、粉塵が多く発生するため、剥離装置の前方に向けてミストノズルを取り付けて粉塵飛散の防止を図った。図 5.1-6 にミストノズル（吐出量 0.07L/min）、図 5.1-7 に噴霧ポンプ（最大圧力 2.5Mpa、最大吐出量 1.9L/min）を示す。

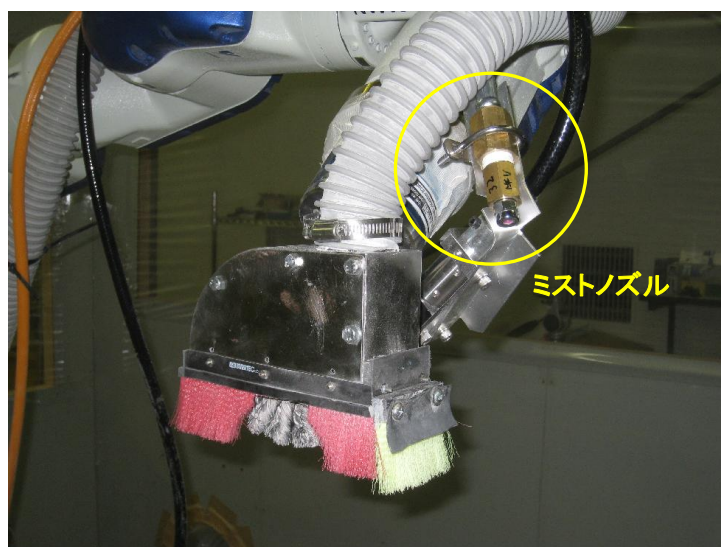


図 5.1-6 ミストノズル



図 5.2-7 噴霧ポンプ

5.2 実大規模鉄骨モックアップの製作

実大規模の実証実験を行うため、鉄骨梁のモックアップを製作した。実験時の粉塵の外部飛散を防止するため屋内に外寸法で幅6.7m×奥行5m×高さ3.7mの鉄骨フレームを組み、パネルとポリシートで密閉した実大実証実験室を製作した(図5.2-1)。実大実証実験室全景を図5.2-2、実大実証実験室内部状況を図5.2-3に示す。実験室の中に鉄骨梁モックアップとしてH型鋼(H-488×300×11×18)を鉄骨下端の高さが3mとなるように設置した(図5.2-4)。鉄骨梁は交換できるようになっておりアスベストの代替として厚さ25mmの湿式吹付けロックウールを吹付けて1ヵ月以上養生した。吹付け厚さは20mm～50mm程度のばらつきがあり、ロボット剥離性能の定量的な確認が難しいと考えられるため、定量的な剥離性能を把握するため1m×1mの鉄板に厚さ20～25mmにコテ塗りした平板モックアップを天井面に取り付けた(図5.2-5)。

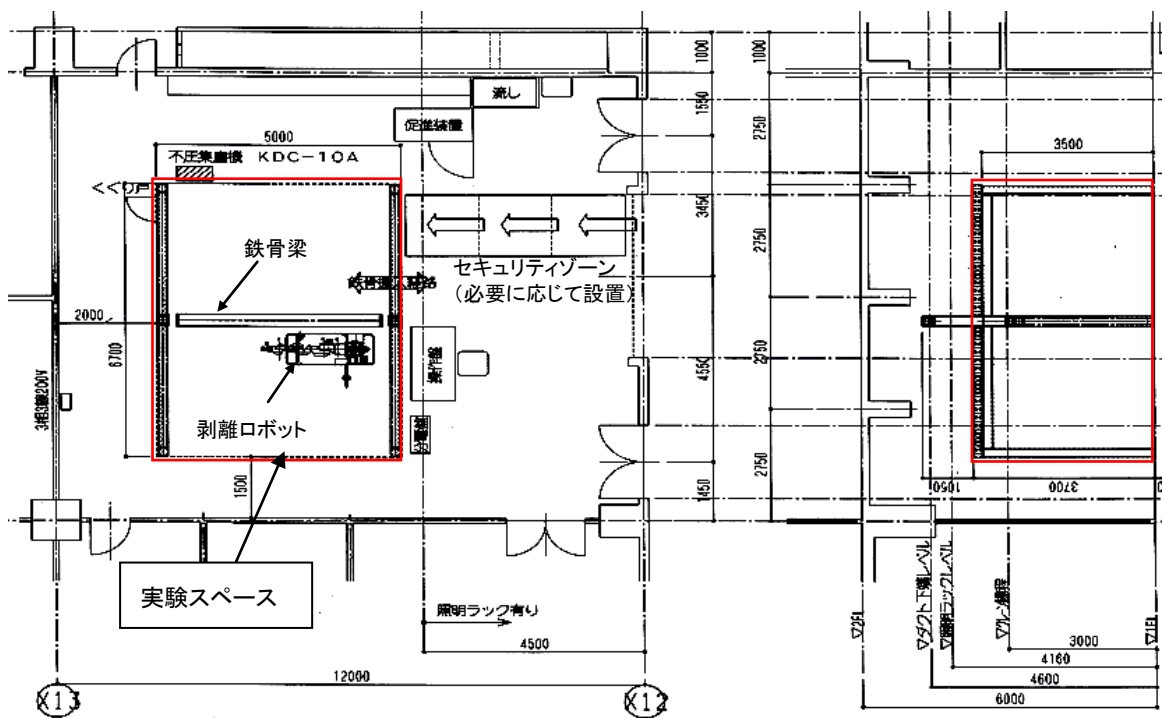


図 5.2-1 実大実証実験室の概要



図 5.2-2 実大実証実験室全景



図 5.2-3 実大実証実験室内部状況



図 5.2-4 実大鉄骨梁モックアップ



図 5.2-5 平板モックアップ

5.3 剥離実証実験

5.3.1 モックアップ剥離実験

試作したアスベスト剥離処理ロボットシステムにより、パソコンのシミュレーションソフトでオフラインティーチングによりジョブプログラムを作成し、剥離ロボットを作業位置に設置して、剥離装置を動作させない空運転による動作確認を行った後、プレイバックによる自動剥離を実行した。剥離装置は径 125mm φ、幅 50mm、3000rpm のホイールブラシを使用した。剥離実験状況を図 5.3-1 に示す。



図 5.3-1 剥離実証実験状況

鉄骨梁モックアップ試験体を剥離した結果、押し付け力 20N、剥離目標軌道を鉄骨表面 -20mm（表面よりさらに 20mm 先の位置）の設定で剥離速度 50mm/min の剥離が可能であり 9m²/h の剥離能力が得られたが、力制御による押し付け力が安定するまで時間を要し、安定する前に剥離を開始すると初期に剥離残しが生じるという現象が起きた。図 5.3-2 に剥離状況を示す。力制御起動後の試験体へ向かう速度を 10mm/sec に設定し、鉄骨表面まで進んだ後に力制御が安定するまでタイマーを 5 秒設けることで、これらの現象をほぼ回避することができた（図 5.3-3）。これらのパラメータは対象物の種類や固さなどの物性により最適値が異なるものと考えられ、実際の施工時には現地でテストして調整する必要がある。

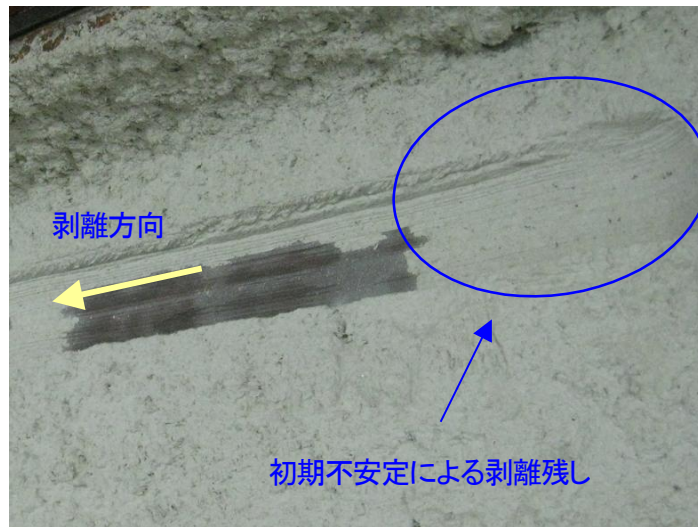


図 5.3-2 初期不安定による剥離残し



図 5.3-3 剥離状況

本システムの剥離装置能力は剥離厚さが最大 35mm であり、35mm を超える場合は 2 回繰り返し剥離する必要がある。また、剥離実験で使用した梁せいが 488mm 鉄骨梁では、マニピュレータの姿勢により天井との干渉が生じるため、鉄骨梁全面を剥離するためにはその干渉を回避するための剥離手順が必要であった。剥離手順は図 5.3-4 に示すように、天井面にマニピュレータが干渉部分は剥離装置を 15° 傾斜させ、剥離装置のギアボックスの当たりを避けるため図の①～⑬の順序で剥離を行う。剥離装置の傾斜による剥離残しと吹き付け厚さが 35mm を超える部分の剥離残しは、同じ作業を繰り返すことでほぼ全面の剥離が可能であった（図 5.3-5）。剥離装置の集塵カバーが鉄骨と干渉するため鉄骨の入隅部に約 20mm の剥離残しが生じた（図 5.3-6）。

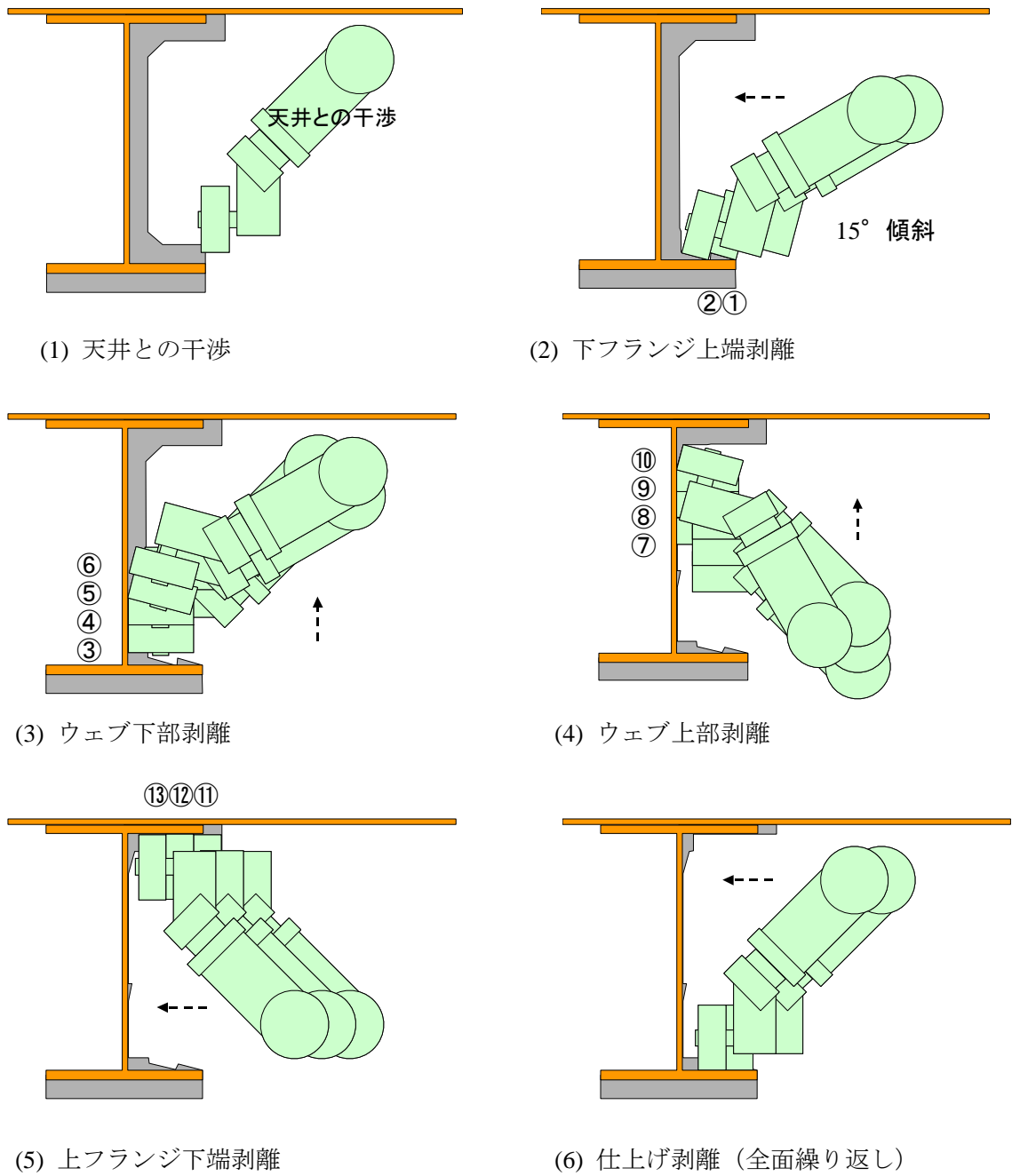


図 5.3-4 鉄骨梁剥離手順



図 5.3-5 全面剥離後の状況



図 5.3-6 入隅部の剥離残り状況

次に、天井面に取り付けたロックウール吹き付け厚さ 20～25mm の試験体を剥離した結果、押付け力 20N、剥離目標軌道を鉄骨面-20mm（鉄骨面よりさらに 20mm 先の位置）の設定で剥離速度最大 100mm/sec の剥離が行え、18m²/h の剥離能力が得られた。また、鉄板面まで達する剥離が行われており、1回で十分仕上げ剥離まで可能であった。図 5.3-7 に剥離状況を示す。



図 5.3-7 平板モックアップ剥離実験状況

5.3.2 障害物回避機能を用いた剥離実験

障害物回避機能の動作の可能性を検討するために、鉄骨梁モックアップに図 5.3-8 に示すジョイント部を設けて障害物回避機能を使って剥離実験を行った。押し付け力 20N、剥離速度 25mm/sec、障害物回避高さ 20mm、回避長さ 50mm で剥離実験を行った結果を図 5.3-9 に示す。ジョイント部を乗り越える回避動作は十分可能であったが、障害物接触時の抵抗で剥離装置が停止する、障害物回避動作による剥離装置の浮き上がりによる剥離残しが大きい、回避動作に時間がかかるなどの問題が把握できた。本システムで使用しているマニピュレータの制御システムではこのような使用方法が想定されていないため、現状では信号処理に時間がかかり、改善するためにはマニピュレータの基本制御ソフトを改造する必要があるため、今回は問題を解決することは困難であったが、障害物回避機能の可能性を確認することができたと考えられる。

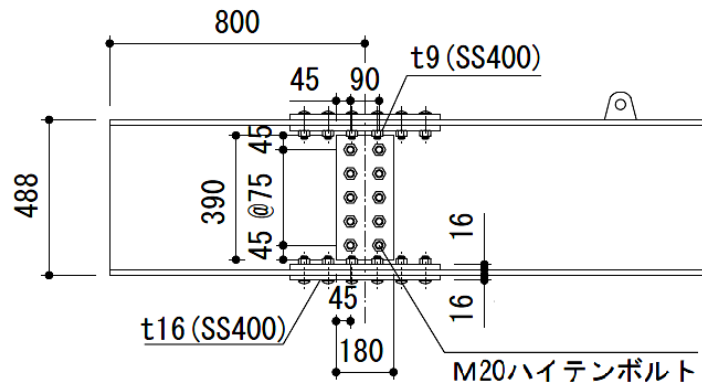


図 5.3-8 鉄骨モックアップジョイント部概要



図 5.3-9 障害物回避機能を用いた剥離実験

5.3.3 環境測定

本開発システムによる剥離実験時の環境測定として、図 5.3-10 に示すように剥離作業付近、負圧集塵機付近および隔離区域外の操作卓付近の 3 ヶ所にフィルタを設置して PCM 法によるロックウール繊維濃度の測定を行った。実証実験室の容積は 117m³ あり、1 時間に 4 回換気するための負圧集塵機の必要な能力は 7.8m³/min となるため、実証実験室で使用している集塵機 (60m³/min) の吸引口を 7cmφ に絞り、吸引ダクトに 15cmφ の穴を開けて外気を吸引することで 10.7m³/min (計算値) の吸引能力とした (図 5.3-11、図 5.3-12)。

剥離装置における剥離物の吸引により、剥離装置のシールブラシが吹付け材に接触している状態では粉塵発生はほとんど見られなかったが、剥離開始時などで隙間が開く場合に若干の漏出が見られた (図 5.3-13)。剥離開始時などの粉塵発生防止を目的としたミスト噴霧を行う場合 (5.1 参照) と行わない場合を比較した。環境測定結果を図 5.3-14 に示す。繊維濃度測定結果は、ミストなしの場合は排気近傍で 0.088 本/cm³ で、作業直近で 0.183 本/cm³、ミストありの場合は排気近傍で 0.034 本/cm³ で、作業直近で 0.079 本/cm³ であった。参考として 2006 年度の委託事業における研究開発課題で測定した人力作業 (半湿式吹き付けロックウール) の結果を示した。剥離装置からの直接吸引とミスト噴霧を加えることにより空气中繊維濃度を低減し、周辺への繊維の飛散拡散を大幅に削減して目標値 0.1 本/cm³ を達成することができた。

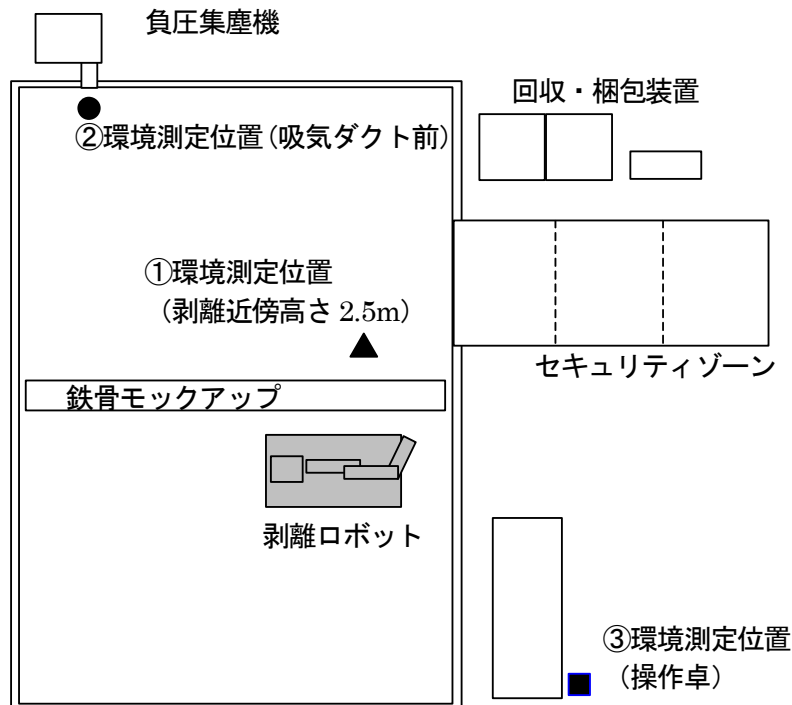


図 5.3-10 環境測定位置



図 5.3-11 実験室内吸気口



図 5.3-12 集塵機ダクト部の外気吸気口



(a) 剥離開始時の粉塵発生 (b) 一般部剥離時の状況

図 5.3-13 剥離時の粉塵発生状況

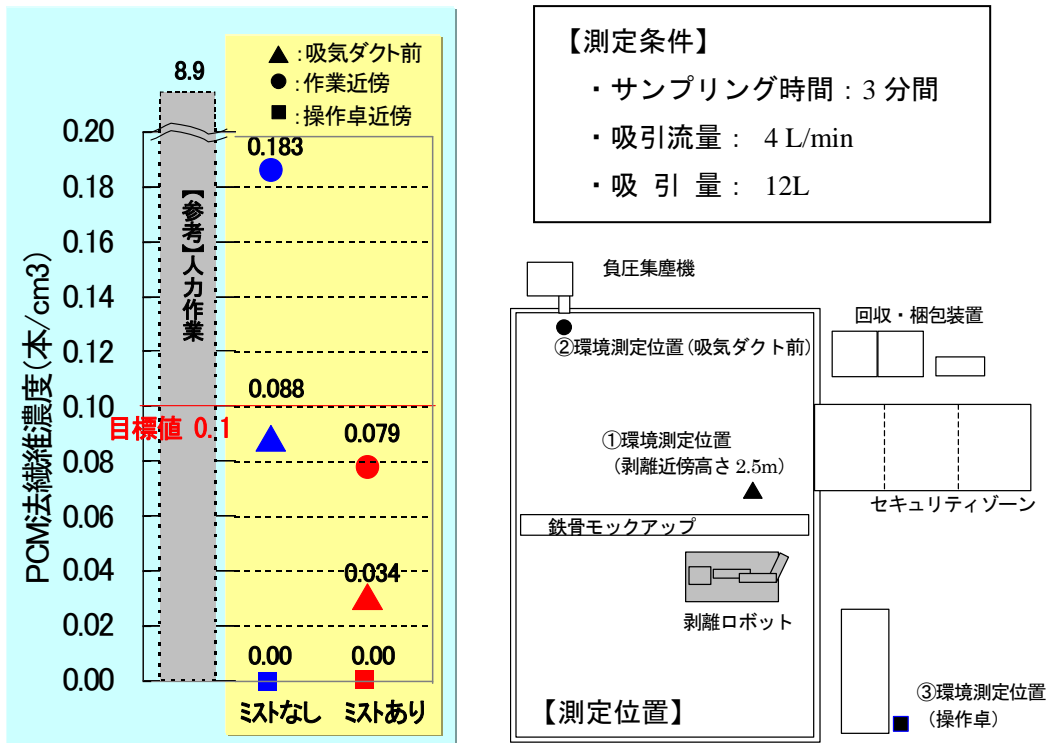


図 5.3-14 環境測定結果 (PCM 法評価)

6. 実用化に資するビジネスモデルの策定

人手作業によって行われている現在のアスベスト除去工事に対し、開発したロボットシステムでは安全性の向上を最上位の目的としているが、一方では、事業として採算性の取れるシナリオが当然ながら求められる。

ロボットシステムを用いたビジネスモデルを策定する上で、人手による在来工法との比較検討は欠かせないが、考慮すべき条件は後述の通り、非常に複雑かつ広範に及び、また、各工事現場によっても事情は大きく異なってくる。

従って本章では、ロボットシステムによるビジネスモデルの可能性、事業成立性の一つの目安を得るために、検討用のモデル現場、並びに、各種パラメータ（ロボット台数、配置要員、剥離効率、単価等）を設定し、その条件下で工期、コスト等の概略試算と在来工法との比較を行う。

6.1 標準的な作業フロー

アスベスト除去工事は飛散・曝露防止のために、法令で定められた手順に則って行う必要がある。現行の人手作業による標準的なフローチャートを図 6.1-1 に示す。

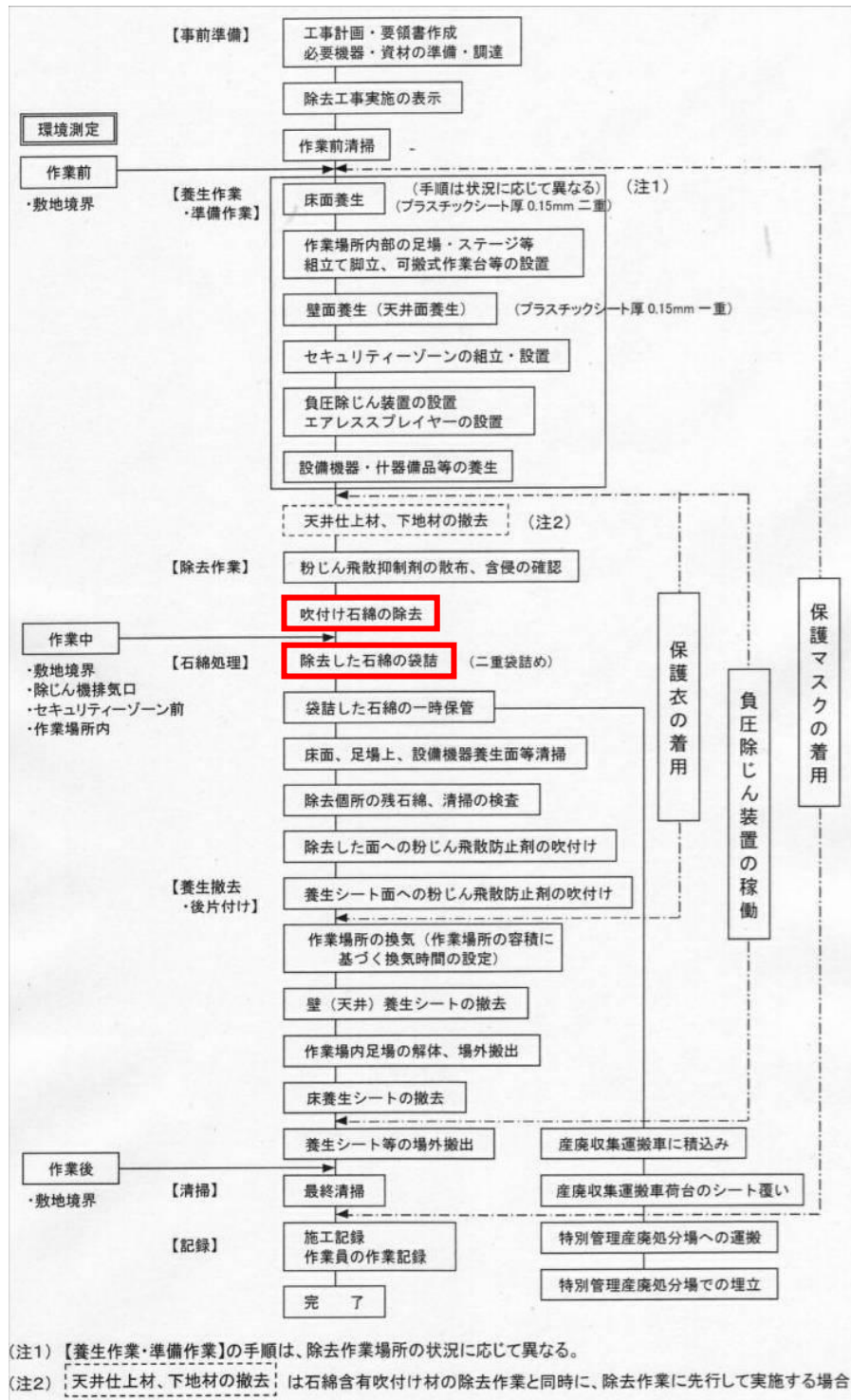


図 6.1-1 石綿含有吹付け材の除去作業のフローチャート
(「石綿粉塵への曝露防止マニュアル」建設業労働災害防止協会より)

開発したロボットシステムを適用する場合についても、図 6.1-1 の作業フローに基づいて事前準備、養生作業並びに、工事終了後の養生の撤去作業等が同様に発生する。人手作業と異なるのはアスベストの剥離作業と、剥離したアスベストの袋詰（圧縮・梱包）の工程である（図 6.1-1 中の赤枠部分に該当）。さらにロボットを適用する場合、ロボットの搬入・組立・設置作業、及び、工事終了後の搬出作業が別途に必要となる。

実証実験結果に基づいて、ロボット適用時の標準的な作業フローおよび各作業の所要時間を図 6.1-2 に示すように設定した。すなわち、ロボット 1 台あたり、搬入・組立・設置に約半日（4 時間）、同様に撤去・搬出に約半日（4 時間）を要する。また、梁 1 スパンの中でロボットの固定作業等を除く剥離作業時間を 20 分/時間、また、別通りスパンへのロボットの大きな移動・盛替えを 3 回/日（所要時間 30 分/回）と考え、1 日あたりの剥離作業時間は、2.5 時間/日と算出される。

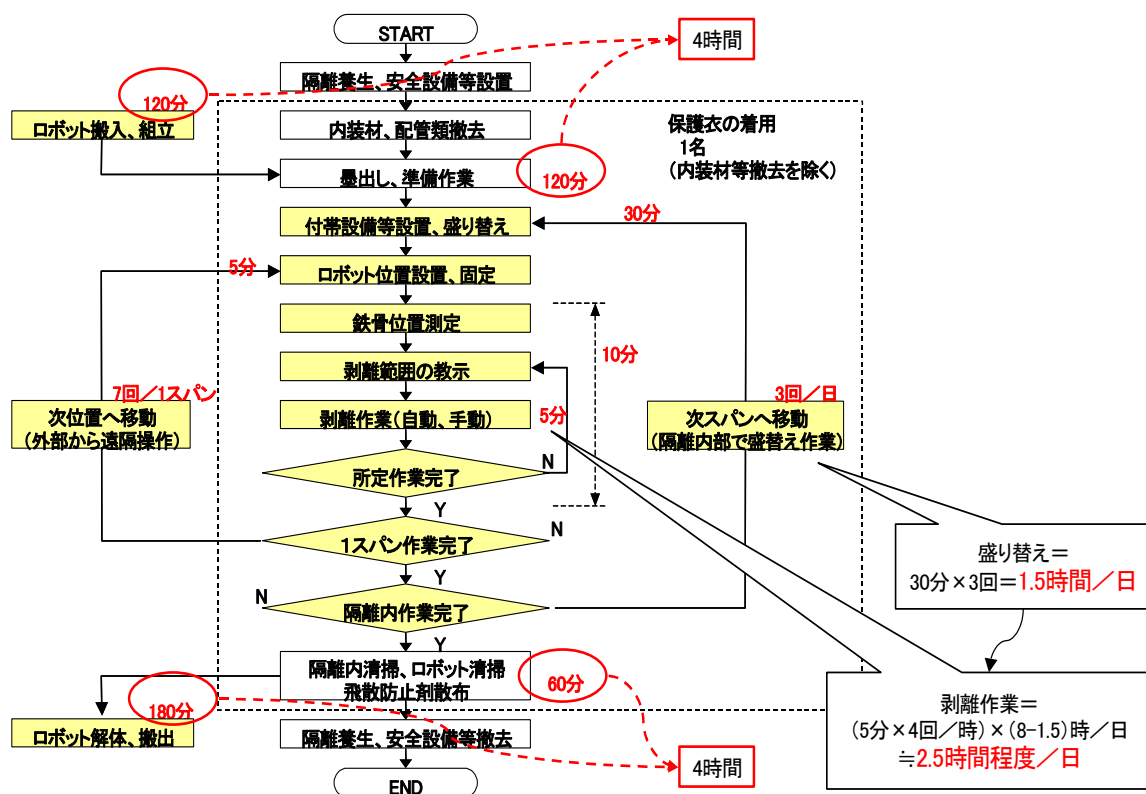


図 6.1-2 ロボット適用時の標準的な作業フローと所要時間

6.2 検討用モデル現場の設定、及び、工期・コストの試算

現行の人手作業によるアスベスト除去工事と、開発したロボットシステムを適用した場合の比較検討を行うため、検討用にモデル現場を設定すると共に、概略の工期・コストの試算を行った。

6.2.1 検討用モデル現場の設定

検討用のモデル現場として、図 6.2-1 に示す基準階プランの鉄骨造ビルを想定した。ここでは、鉄骨梁に吹付けられた湿式アスベスト（厚さ 35mm）を対象とし、建物 1 フロアのアスベスト剥離工事に対して検討を行う。

前工程（準備、天井下地・ダクト類の撤去、養生等）、並びに、後工程（養生の撤去等）の各作業については、人手作業とロボット適用時で共通と考え、アスベスト除去に直接関わる作業について比較を行った。また、剥離作業開始時の現場条件として、図 6.2-2 に示すように、天井、下地、並びに、ダクト配管類は全て撤去されているものとした。

検討用モデル現場の条件を以下に記す。

■基準階面積	約 2,500 m ²
■階高	階高 3,750 mm
■アスベストの条件	湿式アスベスト／厚さ 35 mm
■アスベスト吹付け部	鉄骨大梁、及び、小梁
■アスベスト被覆面積	約 2,100 m ² ／階
／内訳	大梁： 2.1 m ² /m（単位長当り）×804 m（総延長／階） 小梁： 1.4 m ² /m（同）×324 m（同）

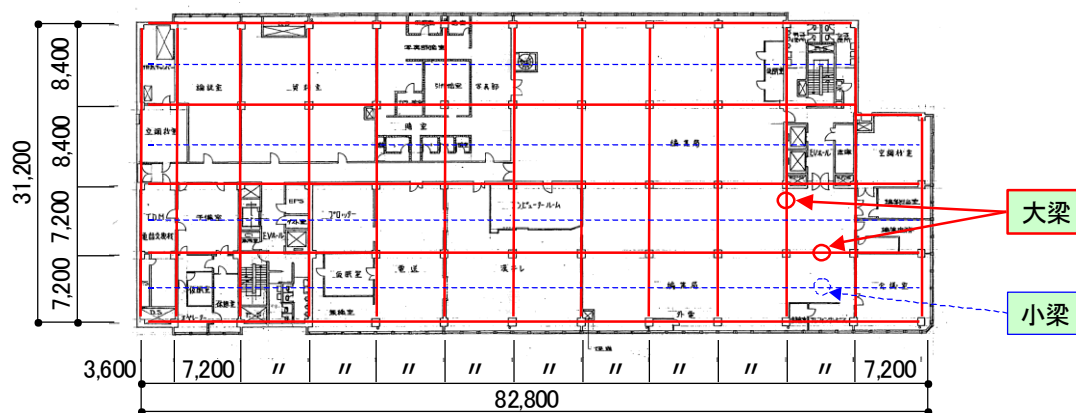


図 6.2-1 検討用モデル現場の平面図（1フロアあたりでの検討）



図 6.2-2 現場の状況・イメージ

6.2.2 人手作業の場合の試算結果

まず、検討のベースとなる現行の人手作業の場合について試算を行う。試算を行う上で最も難しい点は、人手作業の剥離効率の設定である。当然ながら、現場の条件（階高、足場、作業スペース、設備配管の有無等）、アスベストの条件（湿式・乾式、厚さ）、アスベスト吹付け部位（梁、壁、天井）、作業員の経験他、多くの要因で剥離効率は大きく変化する。実際、これまでに公表されている各種資料（例えば、BCS：「建設作業のロボット化に関する調査研究報告書（その11）」（H15.6）、P70等）によると、剥離効率は4～20m²/人・日と非常に大きくばらついている。従って、本検討では上記図 6.2-1、6.2-2 の検討用モデル現場の条件に対して、工事専門業者へのヒアリングを行い、これまでの経験から妥当と判断される剥離効率として10m²/人・日を設定した。

設定した条件について、全工事項目に対するコスト並びに、剥離作業部分（除去工事）に対する工数、工期、及び、コストの試算結果を表 6.2-1 に記す。また、全工事に対する各工事費用の内訳を図 6.2-3 に示す。

表 6.2-1 人手作業の試算結果（剥離効率 10 m²/人・日）

試算項目	試算結果	備考
工数（除去工事）	210 人・日	=2,100 m ² /（10 m ² /人・日）
工期（除去工事）	21 日	10 人組の想定
コスト（除去工事）	約 750 万円	飛散抑制剤吹付け作業等を含めれば、 約 1,500 万円
コスト（全工事）	約 4,870 万円	アスベスト単位面積あたり、約 2.3 万円/m ²

除去工事関連の占める割合は全体の 3 割程度であり、副資材・消耗品や産廃処理に比較的多くの費用がかかることが知れる。

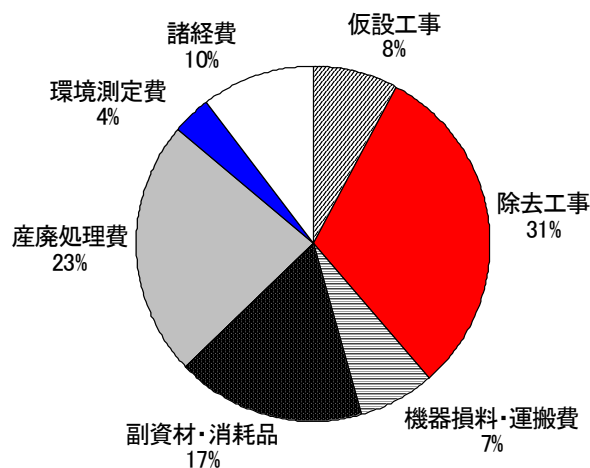


図 6.2-3 工事費用の内訳（人手作業、湿式アスベスト対象）

なお、工事費用の一つの目安として、図 6.2-4 に示す、国土交通省の報道発表資料がある。同資料に拠れば、アスベスト処理面積が 1,000 m² 以上の場合（本検討は 2,100 m²）、10,000 ～30,000 円/m² であり、上記結果（約 23,000 円/m²）は妥当な範囲であると言える。

平成20年4月25日

石綿(アスベスト)除去に関する費用について

平成19年1月から平成19年12月の1年間における、施工実績データ(別紙)より算出。

吹き付けアスベスト処理費用(1m²あたり単価)の目安としてはおおよそ以下の通りである。(仮設、除去、廃棄物処理費等全ての費用を含む)

1. アスベスト処理面積300m²以下の場合
20千円/m² ～ 85千円/m²
2. アスベスト処理面積300m²～1,000m²の場合
15千円/m² ～ 45千円/m²
3. アスベスト処理面積1,000m²以上の場合
10千円/m² ～ 30千円/m²

図 6.2-4 アスベスト除去工事費用 国土交通省・報道発表資料より
(http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo13_hh_000002.html)

6.2.3 ロボット作業の場合の試算結果

次に開発したロボットシステムを適用した場合について検討する。

ロボット適用時の究極の目標は、「100%ロボット化・完全無人化」であるが、実際の工事現場には作業スペースの確保、障害物の存在、床面の段差他、多くの制約条件や特殊条件があるのが常であり、無理にロボットを使うことはむしろ非合理になると言える。また、剥離作業の前後工程では養生やロボットの搬出入等、人手に頼らざるを得ない作業が必ず発生するため、これらの作業要員も剥離工事にうまく活用してロボットと人手作業の平準化を図った方が、コスト及び、工期的に合理性は高くなる。

以上の観点から現実的、かつ、ロボット利用のメリットが十分生かせるシナリオとして、剥離作業が比較的容易な平坦な部位（鉄骨梁の一般部）についてはロボット、一方、ロボットの作業効率が大きく低下する複雑な部位（柱梁接合部、ボルト周り、設備配管用の貫通口等）については人手作業とする、組合せ方式を基本と考える。

なお、ロボットと人手作業の組合せ方（作業比率）は各工事現場の条件により様々なパターンが考えられるが、図 6.2-5 に示すように鉄骨梁の一般部と接合部・開口箇所面積比率は 80%対 20%程度であるケースが多いので、ここでは図 6.2-6 に示す通り、アスベスト面積比に対して 80%をロボットで、残りの 20%を人手で剥離するシナリオを設定した。

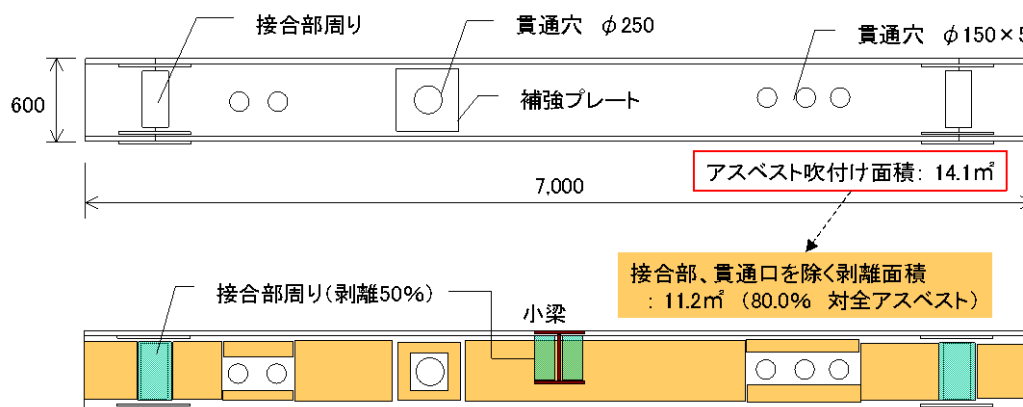


図 6.2-5 鉄骨梁における一般部と接合部・開口箇所の面積比の例

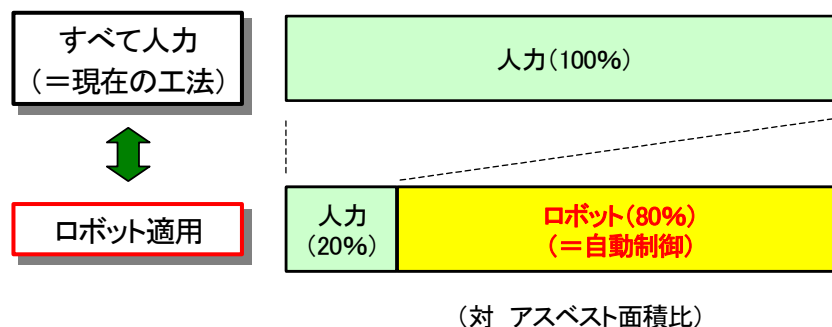


図 6.2-6 ロボット適用のシナリオ（ロボットと人力の剥離作業比率）

ロボットの場合についても剥離効率の設定をはじめ、ロボット台数、要員の配置パターン等、多くのパラメータが存在し、かつ、これらは各現場条件に大きく左右されるため、条件を下記に限定して比較検討を行うこととした。

ロボットの搬出入工数（6.1 節参照）、及び、剥離効率については、過去に実施した室内、及び、現場での実証実験結果をベースに設定すると共に、図 6.2-7 に示すようにモデル現場の規模を考慮して、ロボット台数は 2 台、相判要員はロボット 1 台につき 1 人とする。また、ロボットは用意したジョブプログラムにより自動運転されるため、オペレータ要員 1 人が 2 台のロボット監視する条件とした。なお、ロボット相判要員は、主に配線の取り回しやロボット位置確認、トラブル時の対応等を担当するが、空き時間には剥離作業も兼務するものとする。従ってアスベスト全体の 20%にあたる人力剥離部分は、この相判要員と別途に投入する専用要員が共同で作業を行う。

また、作業時間として通常の場合（昼間 8 時間）と、ロボット特性を生かした 24 時間稼働の 2 つのケースに対して試算を行った。なお、24 時間稼働のケースにおける専用要員による人力剥離は、昼間（8 時間）のみの作業と考えた（相判要員による剥離は 24 時間）。

設定した各種条件・パラメータを表 6.2-2～4 に示す。

表 6.2-2 ロボット台数、要員数の条件

項目	設定条件	備考
ロボット台数	2 台	
ロボット搬入工数	2 人・日/2 台	
ロボット搬出工数	2 人・日/2 台	
ロボット相判要員	2 人	1 人/1 台
ロボットオペレータ	1 人	1 人/2 台
人力剥離の専用要員	3 人/日（通常） 6 人/日（24 時間稼働）	【補足 1、2】参照

表 6.2-3 剥離効率の条件

項目	設定条件	備考
ロボット（通常）	45 m ² /台・日	室内実験結果（18 m ² /台・時）×剥離作業時間（2.5 時間/日）
ロボット（24 時間）	135 m ² /台・日	通常の 3 倍
人手（専用要員）	10 m ² /人・日	前項 6.2.2 に同じ
人手（相判要員）	5 m ² /人・日	専用要員の半分の想定

表 6.2-4 単価の条件

項目	設定条件	備考
ロボット（通常）	10 万円／台・日	
ロボット（24 時間）	15 万円／台・日	通常の 1.5 倍の想定
ロボット・精密機器 清掃費	15 万円／台	
人件費（通常）	3 万円／人・日	
人件費（夜間）	4.5 万円／人・日	通常の 1.5 倍の想定

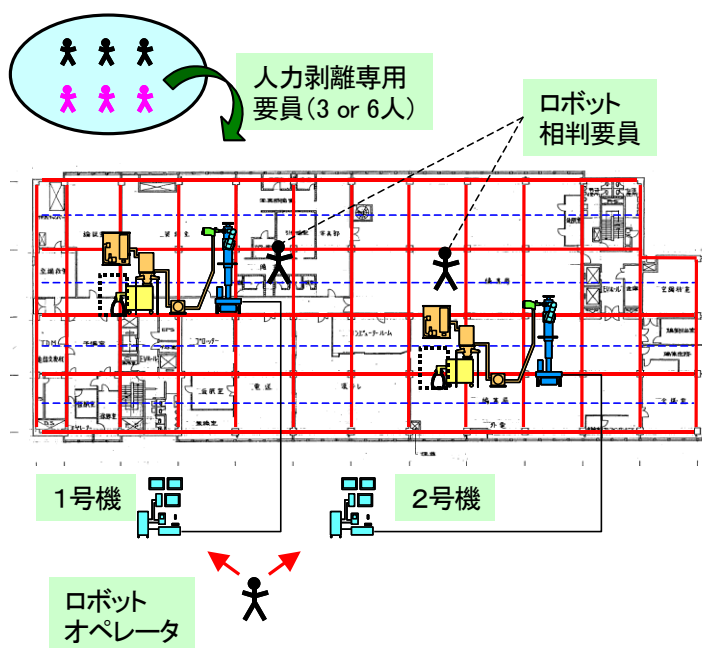


図 6.2-7 ロボット適用時の条件（ロボット 2 台、相判 2 名、オペレータ 1 名）

剥離作業（除去工事）に対し、人力（専用要員と相判要員）による剥離作業の総工数（＝安全性の指標に相当するもので、本工数が少ないほど人間がアスベストに触れる時間も少なく安全性が高い）、工期、及び、コストの試算結果を、前項 6.2.2 の人手作業の場合に対する比と併せて、表 6.2-5～6 に示す（計算の詳細は【補足 1、2】参照）。

表 6.2-5 ロボット作業の試算結果（通常の場合） 【補足 1】 参照

項目	設定条件	全て人手作業の場合に対する比
人力剥離の総工数 （安全性の指標）	61 人・日	= 0.29 ×全て人手
工期	21 日	= 1.00 ×全て人手
コスト	693 万円	= 0.92 ×全て人手

表 6.2-6 ロボット作業の試算結果（24 時間稼働の場合） 【補足 2】 参照

項目	設定条件	全て人手作業の場合に対する比
人力剥離の総工数 (安全性の指標)	61 人・日	= 0.29 ×全て人手
工期	9 日	= 0.42 ×全て人手
コスト	583 万円	= 0.78 ×全て人手

これらの試算結果より、現状の人手作業に対して工期・コストは同等のレベル、安全性（人力剥離作業の総工数）は大幅な向上が見込めることが分かる。特に 24 時間稼働の場合、工期の大幅な短縮が可能であることを示唆しており、ロボット特性を生かせるシナリオとして有効であると言える。

なお上記検討は、ロボット適用時の一つの目安になるものではあるが、想定したモデル現場における、想定したパラメータ・条件下での結果である。先述の通り、扱うパラメータが非常に多い上に、個々の工事現場には現場ごとの特殊条件があり、また、数値化が難しい要素も多い（他種工事からの制約、必要要員の確保、施主の理解・協力等）。

事業を軌道に乗せるためには、ロボットを実際の工事現場に適用し各種データを収集する中で、施工効率やコストの予測精度を高めていくことが欠かせない。これらについては今後の課題としたい。

【補足 1】 計算の詳細（通常の場合）

・人力による剥離面積 $2,100 \times 0.2 = 420 \text{ m}^2$. . . ①

・ロボットによる剥離面積 $2,100 \times 0.8 = 1,680 \text{ m}^2$. . . ②

・工期

$1,680(=②) / (2 \text{ 台} \times 45 \text{ m}^2 / \text{台日}) + 1 \text{ 日 (搬入)} + 1 \text{ 日 (搬出)} = \boxed{20.7 \text{ 日}}$. . . ③

・ロボットによる剥離作業期間内に、ロボット相判要員だけで剥離できる面積
 $(20.7(=③) - 2) \text{ 日} \times 2 \text{ 人} \times 5.0 \text{ (m}^2 / \text{人日)} = 186.7 \text{ (m}^2)$. . . ④

・人力剥離に必要な専用要員の工数
 $(420(=①) - 186.7(=④)) / 10 \text{ (m}^2 / \text{人日)} = 23.3 \text{ (人日)}$. . . ⑤

⇒専用要員 3 人を投入する。(専用要員の作業工期 $23.3 / 3 = 7.8 \text{ 日}$)

・人力剥離の総工数（専用要員＋相判要員）

$23.3(=⑤) + 186.7(=④) / 5 \text{ m}^2 / \text{人日} = \boxed{60.6 \text{ 人日}}$. . . ⑥

・コスト（専用要員＋相判&オペ要員＋ロボット）

$23.3(=⑤) \times 3 \text{ 万}$
 $+ (3 \text{ 人} \times (20.7(=③) - 2) + 2 \text{ 人日 (搬入)} + 2 \text{ 人日 (搬出)}) \times 3 \text{ 万}$
 $+ 20.7(=③) \times 2 \text{ 台} \times 10 \text{ 万} + 15 \text{ 万} \times 2 \text{ 台 (ロボット清掃費)} = \boxed{693 \text{ 万円}}$. . . ⑦

【補足2】計算の詳細（24時間稼動の場合）

・工期

$$1,680(=②) / (2 \text{ 台} \times 135 \text{ m}^2 / \text{台日}) + 1 \text{ 日 (搬入)} + 1 \text{ 日 (搬出)} = \boxed{8.2 \text{ 日}} \quad \dots \textcircled{8}$$

- ・ロボットによる剥離作業期間内に、ロボット相判要員だけで剥離できる面積

$$(8.2(=⑧) - 2) \text{ 日} \times 2 \text{ 人} \times 5.0 \text{ (m}^2 / \text{人日)} \times 3 \text{ (3 交替)} = 186.6 \text{ (m}^2) \quad \dots \textcircled{9}$$

- ・人力剥離に必要な専用要員の工数

$$(420(=①) - 186.6(=⑨)) / 10 \text{ (m}^2 / \text{人日)} = 23.3 \text{ (人日)} \quad \dots \textcircled{10}$$

⇒専用要員6人を投入する。(専用要員の作業工期 23.3/6=4日)

- ・人力剥離の総工数（専用要員+相判要員）

$$23.3(=⑩) + 186.6(=⑨) / 5 \text{ m}^2 / \text{人日} = \boxed{60.6 \text{ 人日}} \quad \dots \textcircled{11}$$

- ・コスト（専用要員（昼間のみ）+相判&オペ要員（昼間と夜間）+ロボット）

$$\begin{aligned} & 23.3(=⑩) \times 3 \text{ 万} \\ & + (3 \text{ 人} \times (8.2(=⑧) - 2) + 2 \text{ 人日 (搬入)} + 2 \text{ 人日 (搬出)}) \times 3 \text{ 万} \\ & + (3 \text{ 人} \times (8.2(=⑧) - 2) \times 2 \text{ (夜間 2 交替分)}) \times 4.5 \text{ 万} \\ & + 8.2(=⑧) \times 2 \text{ 台} \times 15 \text{ 万} + 15 \text{ 万} \times 2 \text{ 台 (ロボット清掃費)} = \boxed{583 \text{ 万円}} \quad \dots \textcircled{12} \end{aligned}$$

6.3 事業化体制の構築

開発したロボットシステムの適用・展開に関して、検討した体制（案）を図 6.3-1 に示す。当社がロボットシステムの開発とプロジェクト全体のマネジメントを行い、実質の工事は、別途に設立予定のロボット施工協会に所属する工事会社が担当する。ロボットシステムの制御やメンテナンスについては、極めて高度な専門知識・技術が必要なため、既に専門のロボット関連メーカーには協力を得ることで合意を得ている。

事業展開としては、当初 2 年間程度は当社の現場において試験施工を実施し、実際の現場における課題の把握とシステムの改良を行い、次フェーズで他社の現場を含め、広くロボットシステムを普及させていく計画である。

また、アスベスト処理という社会に与える影響が大きい事業であるため、安全性・環境保全性の観点から、外部機関・行政より適時に指導・監督を受けることも必要であり、各関係方面には働きかけを行っていく予定である。

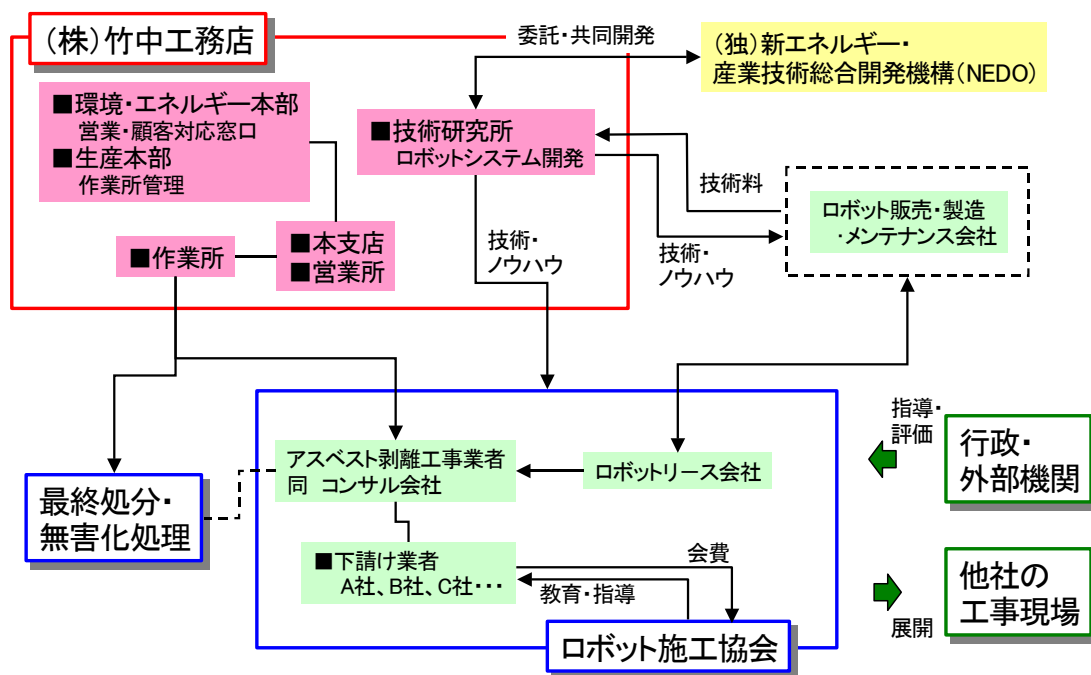


図 6.3-1 事業化体制（案）

(2) 目的に照らした達成状況

本開発では鉄骨等の複雑な形状に吹付けられた湿式吹付けアスベストを飛散させることなく、安全に剥離・回収・梱包するクローズ型処理ロボットの開発を目的として、自走式昇降台車に架装した複雑な部分にも対応可能な7自由度マニピュレータ、効率よく剥離が可能なホイールブラシを集塵カバーで覆って粉塵を飛散させることなく吸引する剥離装置および空気吸引・分離・梱包の各装置から構成される高性能アスベスト剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボットを試作し、実証実験によりその性能を確認した。当初の目標と達成状況を以下に示す。

(a) 単位時間あたりの作業面積が従来の人手による作業の4倍以上の作業効率：

粗剥離から仕上げまで効率よく行えるホイールブラシ式の剥離装置を使用し、7軸マニピュレータをオフラインであらかじめティーチングしておき、現場では比較的簡単な操作で自動剥離を行うことで最大剥離速度 100mm/sec が得られ、剥離ロボットの設置、盛替え等を含めて人手の約4.5倍(45m²/日)の作業効率を得られた。

(b) 自動、手動による剥離作業後の剥離残しが剥離対象面積の5%以内

マニピュレータの自動剥離では対象鉄骨面積の80%程度までの剥離が可能と考えられるが、自動剥離では対応できないジョイント部やダクト周りなど残された部分について、監視カメラ映像を確認しながらジョイスティックを使用して手動遠隔操作を行うことで試算した結果、対象面積の95%までが剥離可能であることが確認された。

(c) 部分チャンバの外の環境が、ファイバ数0.1本/cm³以下

ミスト噴霧を併用し、集塵カバーで覆った剥離装置のホイールブラシで粉体状に剥離したアスベストをバキュームで直接吸引して梱包まで一貫して行う回収・梱包システムにより、全体構想(図1.2-1)に示した部分チャンバを設けなくても作業場所のファイバ本数0.079本/cm³を達成した。部分チャンバを設ければミスト併用なしで更に高い環境を得ることが可能であり、様々な現場の状況に対応することができる。

(d) 剥離したアスベストの体積を1/3以下に減容化

湿式アスベストをホイールブラシで粉体状に剥離粉碎することで、従来の人手作業によるブロック状の剥離物に比べて約1/1.9の減容化が実現できた。さらに重量含水率20%程度になるように適量な水分を加えて一軸圧縮装置で圧縮することで約1/1.6に減容化され、両方合わせることで体積比約1/3.1の減容化を達成することができた。

Ⅱ. 研究発表・講演、文献、特許等の状況

1) 研究発表・講演

- ・ 星野, 高橋, 竹内, “吹付けアスベストのクローズ型処理ロボットシステムの開発”, アーバンインフラテクノロジー推進会議, 第 19 回技術研究発表論文集 CD-ROM, 2007 年 10 月 10 日, (環境・エネルギー部門 奨励賞受賞)
- ・ 嘉本, 星野, 竹内, “吹付けアスベストのクローズ型除去ロボットシステムの開発”, 建築学会, 第 17 回建築施工ロボットシンポジウム予稿集, 2008 年 3 月 13 日
- ・ 星野, 嘉本, 菅田, 竹内, “吹付けアスベストの高機能クローズ型処理ロボットの開発”, 建設ロボット研究連絡協議会, 第 11 回建設ロボットシンポジウム論文集, 2008 年 9 月 2 日, (優秀論文賞受賞)

2) 文献

なし

3) 特許等

- ・ 特許公開 2008-190279, “吹き付け耐火被覆のクローズ型剥離処理システムおよび剥離処理工法”
- ・ 特許出願 2009-56254, “クローズ型除去処理システムの除去装置”

4) その他の公表

【新聞】

- ・ 日経新聞, 2008 年 11 月 29 日
- ・ 建設工業新聞, 建設産業新聞, 建設通信新聞, 日刊工業新聞, 2008 年 12 月 2 日

【雑誌】

- ・ 資源環境対策, 2008 年 11 月号, “吹付けアスベストの剥離・圧縮・梱包クローズ型処理ロボット”
- ・ 建築技術, 2009 年 2 月号, “遠隔操作により密閉環境でアスベストを処理する技術”

2.2 アスベスト含有廃棄物の無害化・再資源化技術

2.2.1 オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発

開発概要

アスベスト廃棄物による環境リスク低減に資するため、アスベスト含有保温材を解体現場で速やかに溶融・無害化まで完結させる「オンサイト式アスベスト溶融・無害化処理システム」の実用化を目指し研究開発を行った。主な成果として、従来の溶融処理（1,500℃以上）に比べ低い温度でアスベストを溶融・無害化できる処理システムを開発するとともに、処理システムをトレーラに搭載した移動処理車を開発し実用レベルにあることを確認した。以下に、取り組んだ研究課題とその成果について概要を示す。

1. 飛散抑制ユニットの設計・製作

(1) 実用化飛散抑制ユニットの設計

平成18年度に開発した150kW誘導加熱溶融炉によるアスベスト溶融・無害化処理試験で判明した技術的課題を解決するため、①処理速度の向上、②保温材水分削減、③熱損失抑制を目指し、構成要素である破砕、予備乾燥、放熱抑制、攪拌、熱回収及び前置型集塵の各ユニットについて、予備試験及び方式選定調査を行った。その結果をもとに最適な機能・構造を決定し、実用規模の150kW誘導加熱溶融炉に対応した実用化飛散抑制ユニットを設計した。

(2) 実用化飛散抑制ユニットの製作

1.(1)の設計に基づいて各ユニットの仕様を決定し、トレーラへの搭載を想定したレイアウトで実用化飛散抑制ユニットを製作するとともに、実際の処理を模擬したノンアス保温材による溶融試験を実施し、不具合の洗い出しを行った。不具合を解消した後、アスベスト含有保温材による溶融処理試験を実施し、安定的な連続運転を行うための運転条件の見極めを行った。また、溶融物及び集塵装置排ガス、装置周辺大気いずれからもアスベストは検出されず、実用化飛散抑制ユニットが実用レベルにあることを確認した。

2. 「吹付けアスベスト無害化・資源化処理の研究開発」

(1) 溶融ラボ試験

3kW誘導加熱溶融炉を用いて、クロシドライト、クリソタイルを含有する2種類のアスベスト含有吹付け材の溶融ラボ試験を行った。アスベスト含有保温材処理と同じアルカリ融剤を用いて、溶融温度1,100℃以下、融剤混合比（融剤添加重量／処理対象物重量）0.5の溶融条件で処理したところ、いずれの溶融物からもアスベストは検出されず、無害化されていることを確認した。

(2) 実用規模での溶融・無害化試験

150kW誘導加熱溶融炉を用いてクリソタイルを含有するアスベスト含有吹付け材の溶融処理を行ったところ、2.(1)と同様の条件で溶融処理することができた。また、溶融物からアスベストは検出されず、無害化されていることを確認した。

3. オンサイト式溶融・無害化処理システムを用いた実証試験

(1) 実用化飛散抑制ユニットの改良とトレーラの設計

開発の最終形態であるトレーラ搭載型のオンサイト式溶融・無害化処理システム（以下、「オンサイトシステム」という。）には、アスベストを飛散させることなく安全に保温材を投入できる自動投入機構や、溶融物の熱回収と取出しを容易にするユニットが必要なため、実用化飛散抑制ユニットを改良するとともに、道路運送車両法に則り公道を安全に走行できるトレーラの設計を行った。

(2) トレーラへの架装および商用運転を想定した長時間連続運転

150kW 誘導加熱溶融炉と飛散抑制ユニット、自動投入機構を製作したトレーラに架装するとともにアルミパネルの外壁で覆い、前室、中室、後室の3室構造とした。なお、アスベスト飛散の可能性のある主要機器は全て負圧室となる中室に配置した。

開発したオンサイトシステムを移動させて屋外に設置し、発電所構内で6昼夜（うちアスベスト含有保温材は1昼夜）の連続運転試験を行い、各装置の機能に問題がないことを確認した。また、溶融物および周辺大気からアスベストは検出されず、本システムの確実な無害化と安全性を確認した。

(3) 実証試験による安全性及び実用化評価

長時間連続運転後に若干の改良を加えたいうえで、オンサイトシステムによる最終的な実証試験を実施し、目標とする処理能力（208kg/時(5ト/日)以上）を確認した。また、溶融物および集塵装置排ガス、周辺大気からアスベストは検出されず、オンサイトシステムの確実な無害化と安全性を改めて確認した。

(4) 緊急時対応システムの構築と作動確認試験

地震や停電等の緊急事態が発生してもアスベスト飛散や機器損傷などのリスクを回避し、自動的に安全停止できる緊急時対応システムを構築した。実証試験に合わせて地震や停電状態を模擬した作動確認試験を行い、装置の安全な自動停止や電力・冷却水喪失時のバックアップ状況などシステムの有効性を確認した。

4. 実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定

本プロジェクトで開発したシステムの実用化に関するビジネスモデルを検討するため、アスベスト含有保温材処理の市場規模や適用先業種とオンサイト処理にあたっての技術的制約事項等を調査した。また、アスベスト含有吹付け材の処理については、オンサイト処理にあたっての技術的制約事項等を調査した。また、アスベスト削減効果、事業化、コスト、波及効果についての検討を行った。

開発内容

第1章 研究開発の概要

1. 目的

アスベストによる健康被害が顕在化しクローズアップされている中、今後も引き続き年間100万トンの以上のアスベストを含む建材等が解体・更新に伴い排出されるものと予想されている。

一方、アスベスト廃棄物の殆どが最終処分場で埋立てされ、既存の熔融処理施設による無害化は1割にも満たないのが現状である。しかし、アスベスト廃棄物の受入が可能な最終処分場は立地地点や埋立て容量が限定されるため、処分費の高騰や受入忌避が現実のものとなってきた。このような状況が今後も続くようであれば、アスベスト廃棄物の滞留、引いては不適正処理が頻発して、人の健康又は生活環境に深刻な悪影響を及ぼす事態が懸念される。

特に、優先的な解体・廃棄が必要な飛散性アスベスト廃棄物については、その無害化処理技術の早期確立が喫緊の課題となっており、電力会社においても、大量に保有する飛散性のアスベスト含有保温材の処理は切実な問題である。

このような背景のもと、最終処分場の負荷を軽減し、アスベスト廃棄物の無害化処理を促進・誘導するため、平成18年10月に高度な技術を用いた無害化処理を環境大臣が認定する制度が施行された。

本事業は、アスベスト廃棄物の安全かつ効率的な熔融・無害化技術の開発を行い、国の認定制度を活用して速やかに実用化し、アスベスト廃棄物による環境リスクの低減と国内での水平展開を図ることを目的とする。

2. 概要

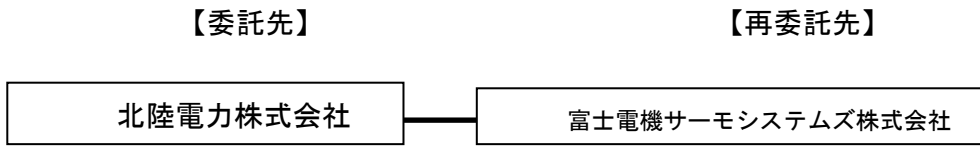
平成18年度、NEDO技術開発機構より「緊急アスベスト削減実用化基盤技術開発」として「オンサイト式（移動式）熔融・無害化処理システムの研究開発」を受託し、確実に熔融・無害化処理が行える実用規模の150kW誘導加熱熔融炉を開発するとともに、火力発電所で実施したアスベスト含有保温材を用いた熔融処理試験では、アルカリ融剤を併用することにより従来の熔融処理温度(1,500℃以上)より低温の1,100℃以下で熔融・無害化できることを確認した。

その成果を基に本事業では、オンサイト式アスベスト熔融・無害化処理システムの完成を目指す。具体的には、実用化に向け熔融処理の効率向上と粉塵飛散防止等を図る飛散抑制ユニットを開発して150kW誘導加熱熔融炉と一体化させ、それらをトレーラに搭載したオンサイト式アスベスト熔融・無害化処理システム（以下、「オンサイトシステム」という）を開発するものとする。また、北陸電力が自ら保有するアスベスト含有保温材を用いたトレーラを用いてオンサイトシステムによる長時間連続運転試験を実施し、条件の最適化、一層のコスト削減、機器の信頼性・安全性の確認を行うとともに、オンサイトシステムの安全・安定運転の更なる向上に向けた緊急時対応システムを構築し、発電所における実証試験の中で作動確認を行い、その有効性を確認する。

さらに、もうひとつの飛散性アスベスト廃棄物である吹付け材については、熔融ラボ試験の結果を踏まえ、開発したオンサイトシステムをベースに熔融・無害化処理方法の検討を行う。

3. 研究体制

① 研究体制スキーム



(飛散抑制ユニットの設計・製作及びオンサイト式
溶融・無害化処理システムを用いた実証試験の
一部を再委託)

第2章 研究開発成果の内容

1. 飛散抑制ユニットの設計・製作

平成18年度の研究実施により、熔融・無害化処理技術の核となる150kW誘導加熱熔融炉を開発したが、以下の解決すべき問題点が明らかとなった。

・ 熔融処理スピード

アスベスト飛散防止を極力抑制するため、原形サイズの保温材を誘導加熱熔融炉に投入し熔融・無害化処理を行ったが、原形サイズのままではかさ比重が小さく浮遊することに加え、比表面積が小さくて保温材内部にアルカリ融剤が浸透しにくいため、十分な熔融処理スピードが得られない。

・ 保温材に含まれる水分

実際に解体現場から廃棄されるアスベスト含有保温材は、設置されていた環境や解体前の飛散防止対策（散水、湿潤）により、50%程度の水分を含んでいることが判明した。

水分を多く含んだ保温材を誘導加熱熔融炉に投入すると、内部の水分が蒸発し保温材表面から噴出するため、アルカリ融剤の浸透が阻害され、熔融完了までに余分な時間を要する。また、一気に多量の水分を含む保温材を投入した場合は、突沸が起こる危険性もあり、安全面からも問題である。

・ 熔融処理に伴う熱損失

誘導加熱熔融炉の熔融処理試験では、原形サイズの保温材の投入、それを熔融したララス状の湯（以下、「湯」という）中に沈める押込み作業を繰り返したことから、炉上部を開放した状態で熔融処理を行わざるを得なかった。熔融処理に係る熱収支からは、坩堝側面輻射損、湯面輻射損による大気への放熱は投入エネルギーの約30%と試算され、この熱が十分利用されていない。また、熔融処理後に取り出し（以下、「出湯」という）した熔融物についても、冷却の過程で保有する大量の熱が大気中に無駄に捨てられて利用されていない。

以上の3つの技術的問題点を解決するため、図1に示すとおり破碎、予備乾燥、放熱抑制、攪拌、熱回収および集塵の6つのユニット（以下、「実用化飛散抑制ユニット」という。）を開発することとした。

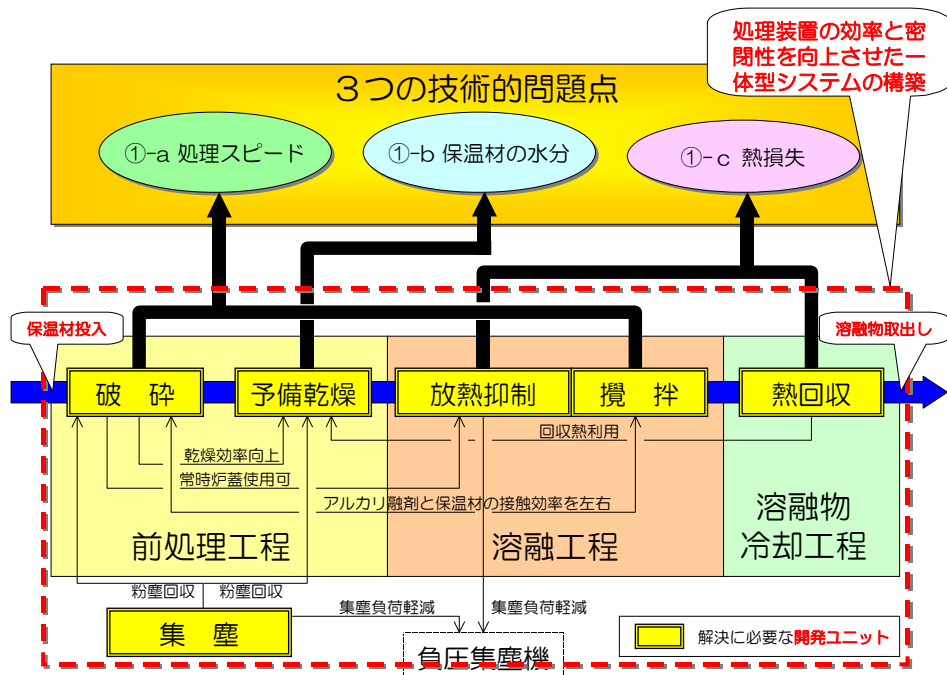


図1 3つの技術的問題点と6つの開発ユニット

(1) 実用化飛散抑制ユニットの設計

飛散抑制ユニットの構成要素である破碎、予備乾燥、放熱抑制、攪拌、熱回収及び集塵の各ユニットについて、以下のとおり 60kW 誘導加熱溶融炉等を用いて予備試験を行い、最適な機能・構造を決定し、実用規模の 150kW 誘導加熱溶融炉に対応した実用化飛散抑制ユニットを設計した。



① 破碎ユニット



溶融処理スピードを向上させるため、解体された大きな保温材を細かくして比表面積を大きくする破碎ユニットを開発することとした。しかし、細かく破碎すれば比表面積増大により保温材内部にアルカリ融剤が浸透しやすくなる反面、粉体も多く発生し、破碎の後工程である予備乾燥、誘導加熱溶融炉での粉体発生量増大の原因となる。そこで、各種破碎機で保温材の破碎試験を行い、粉体の発生を極力抑えつつ溶融に適したサイズの破碎物が得られる最適な破碎機を検討した。

a. 破碎方式選定試験

調査した各種破碎機の中から表1に示す破碎機を選定し、ノンアスベストのケイ酸カルシウム保温材を用いて破碎試験を行った。

表1 選定した各種破碎機と主な特徴




破碎機	主な特徴	写 真
①せん断式二軸破碎機	2軸の回転刃が噛み合って低速回転させて発生するせん断力で破碎	
②薄刃式二軸破碎機	2軸の薄刃を互いに逆回転で低速回転させ、両刃間に挟み込んで原料をひねり割ることにより破碎 (①の改良型)	
③鬼歯式二軸破碎機	突起付きのローラーを互いに逆回転で低速回転させて、突起間に原料を挟み込んで折りながら破碎	



破砕機	主な特徴	写 真
④せん断式一軸破砕機	ロータに固定された三角形状の回転刃が比較的高速で回転し、ノコギリ状の固定刃と噛み合った時のせん断力により破砕	
⑤衝撃式破砕機	高速で回転するロータとスクリーンの間で切削により破砕	

投入する保温材の大きさは、解体・除去後の標準的サイズである 30cm 角程度とした。各種破砕機の破砕試験の状況を表 2 に示す。また、破砕された保温材はふるいにかけて、その粒度分布を測定した。

破砕後の各破砕機の破砕保温材粒度分布を図 2 に示すが、低速回転の二軸破砕機は、高速回転の一軸破砕機や衝撃式破砕機と比較して、粒度の小さな粉体の発生量が少ないことがわかった。

表2 各種破砕機の処理状況

破砕機	粉体発生状況	写 真
①せん断式二軸破砕機	せん断部分ですりつぶされた保温材から粉体が発生する。	
②薄刃式二軸破砕機	薄刃がスリット状の溝を作るだけで、簡単にひねり割ることができないため、薄刃通過毎に粉体が発生する。	
③鬼歯式二軸破砕機	スクリーンより落下しない保温材が何度も鬼歯に当たり粉体が発生する。	

破碎機	粉体発生状況	写真
④せん断式一軸破碎機	二軸破碎機よりも回転数が高い分、回転刃にて保温材を削り、粉体が発生する。	
⑤衝撃式破碎機	スクリーンより落下しない保温材は、何度も削られて粉体が発生する。 回転数が高いため、ロータに当たった保温材が崩れて粉体する。	

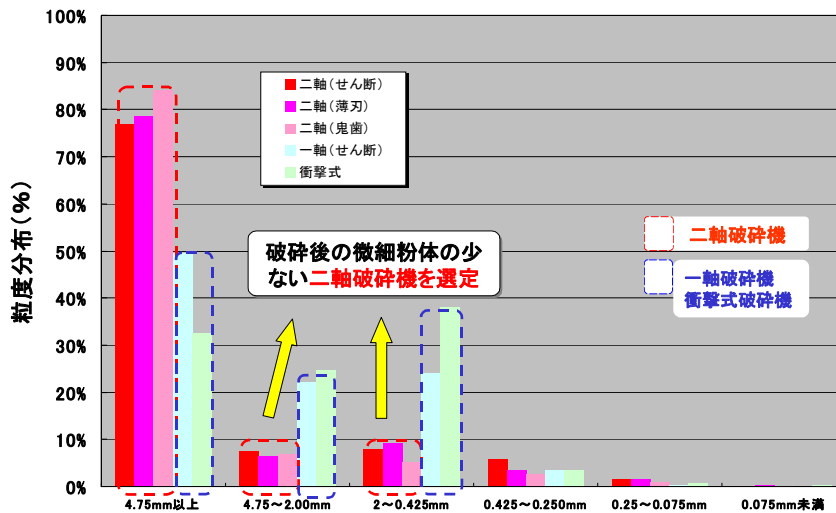


図2 各破碎機の破碎保温材粒度分布グラフ

b. 各種破碎機の評価

試験時の破碎状況の目視確認及び破碎後の保温材粒度分布の結果から、保温材破碎時の粉体発生メカニズムについて考察を行った。比重が軽くポーラス状で無機質のケイ酸カルシウム保温材からの粉体発生は、図3に示す「衝撃(高速)」、「圧縮」、「せん断」、「削取」、「滞留・反すう」などの工程が順に寄与していることがわかった。

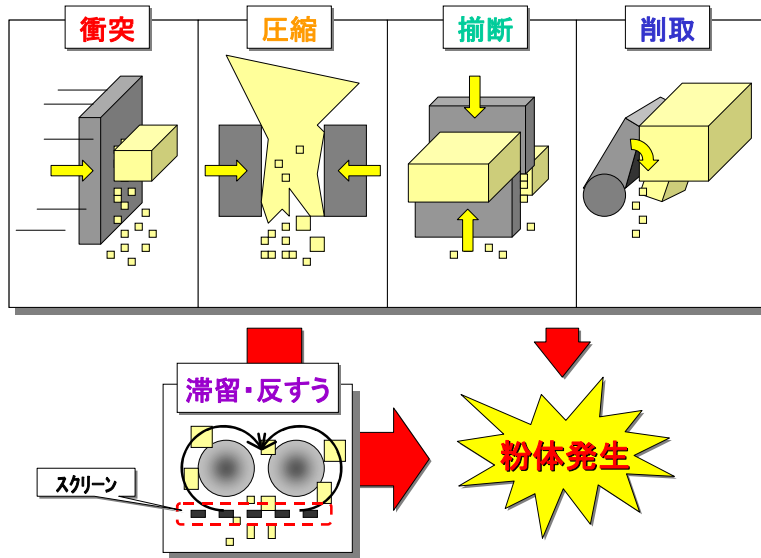


図3 保温材破碎時の粉体発生メカニズム

表3に各種破碎機の評価結果を示す。評価項目としては、破碎後の保温材粒度分布からみた「粉体発生量の少なさ」の他、トレーラに搭載することを前提にした「装置のコンパクトさ」、廃棄物中の異物混入による装置トラブルを考慮した「異物への適応性」を掲げた。評価の一例を示すと、粉体発生量の少なさからは、鬼歯式二軸破碎機が最も優れているが、一方で解体時に発生する細長い針金（保温材固定用）などの異物が軸に絡まりやすい構造で不適となる。以上の3項目を総合的に評価し、せん断式二軸破碎機を選定することとした。

表3 各種破碎機の総合評価結果

評価項目	粉体発生量の少なさ	装置のコンパクトさ	異物への適応性	総合評価
せん断式二軸破碎機 (10rpm)	○	○	○	◎
薄刃式二軸破碎機 (10rpm)	○	○	×	△
鬼歯式二軸破碎機 (60rpm)	○	○	×	△
せん断式一軸破碎機 (90rpm)	×	×	○	×
衝撃式破碎機 (100rpm)	×	○	△	×

c. 破碎ユニットの設計

前述の評価結果を踏まえ設計した破碎ユニットの仕様を表4に、外観図を図4に示す。

表4 破碎ユニットの主な設計仕様

項目	内容
概要	アスベスト含有保温材を熔融無害化する装置へ供給するための前処理破碎
処理対象物	ケイ酸カルシウム保温材
処理物の大きさ	最大寸法 500×500×100mm 程度
処理方式	二軸破碎機
処理量	250kg/h 以上
破碎サイズ	3～5cm 角程度
処理物投入間隔	一括投入 100L/回 [間隔 20回/h 程度]
稼動時間	24時間運転 (5日間程度連続運転)
外観寸法	長さ2m以内×幅1m以内×高さ2m以内
その他	極力、破碎に伴って粉塵を飛散させないこと トレーラに搭載することを想定したコンパクトな構造

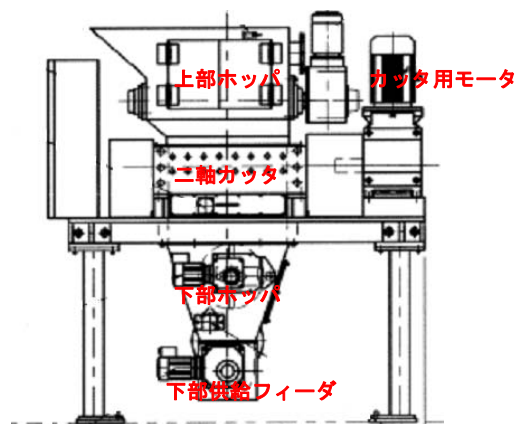


図4 破碎ユニット外観図

② 予備乾燥ユニット

水分を多く含む保温材をそのまま高温の炉へ投入すると、水分の蒸発に加えて水蒸気の過熱も伴うため、炉の熱損失が増えてしまう。従って、事前に保温材中の水分をできるだけ低減させておくことによりシステム全体のエネルギー使用の合理化を図ることができる。そこで、熔融工程の前処理として、粗破碎した保温材を予備乾燥するユニットを開発することとした。

本システムでは、熔融処理後の溶融物は高温で排出されるが、その後溶融物固化のため急速に冷却させる必要があり、高温の溶融物の廃熱をうまく利用することで、エネルギーの合理化

(省エネ化)にもつながることから、後述の熱回収ユニットで高温の溶融物から回収した熱空気を予備乾燥ユニットに活用することとした。

そこで、熱空気を媒体として乾燥を効率良く行える予備乾燥ユニットについて検討した。

a. 乾燥方式の決定

熱空気を活用した乾燥技術は、その大半が効率良く乾燥させるために熱空気を原料と直接接触させる方法である。しかし、対象としている原料はアスベスト含有保温材であり、乾燥に伴うアスベスト粉塵飛散抑制が重要な要素となる。また、トレーラ搭載を前提としており、限られたスペースで効率よく乾燥時間を稼ぐことができるコンパクトな構造が必要である。

そのため、乾燥ユニットには図5に示すスパイラルフィーダ式の乾燥機を採用することとした。本方式を用いれば、以下のようなメリットがある。

- 乾燥機のボックス内に熱空気が通過する際、保温材には直接風が当たらず、粉塵の飛散を抑制できる。
- 設置面積が小さく、コンパクトな構造でかつ乾燥時間を稼ぐことができる。
- 破砕機下部から誘導加熱溶融炉投入口へのリフトアップ(上昇搬送)機能も兼用できる。(全体システムのコンパクト化にも寄与)

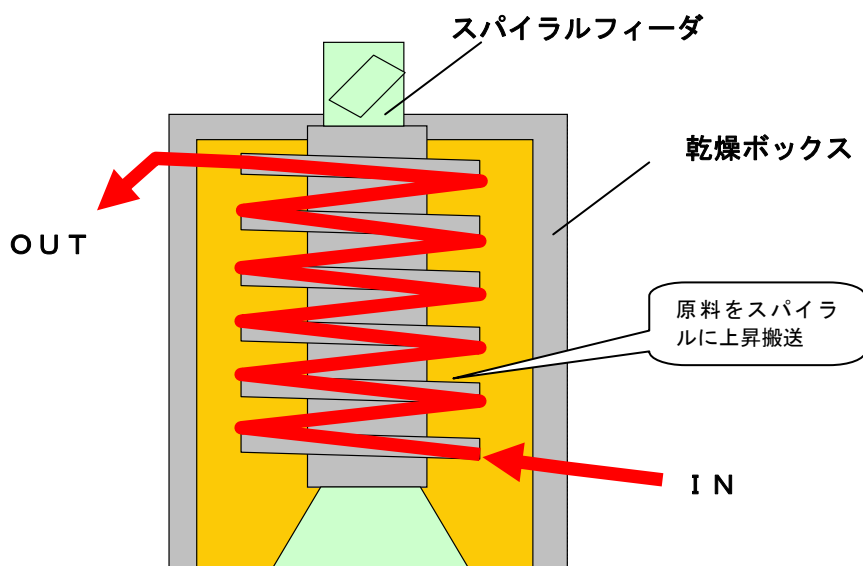


図5 スパイラルフィーダ乾燥機

b. 乾燥基礎試験

含水した保温材の乾燥特性を確認するため、オープンによる乾燥基礎試験を行った。金属トレーに含水率既知の破砕保温材 100g をセットし、雰囲気温度を一定に保持したオープン内に入れて乾燥させた。なお、保温材水分率と含水率の変化は、10分間隔でトレーを取出し、保温材重量を測定することにより把握した。

図6に乾燥基礎試験結果を示す。オープンを 130℃と 200℃の2パターンで乾燥試験を行っ

たが、いずれも乾燥時間 20 分までに保温材の水分蒸発が急速に進行しており、保温材の予備乾燥には少なくとも 10 分以上の乾燥時間をかける必要があることがわかった。

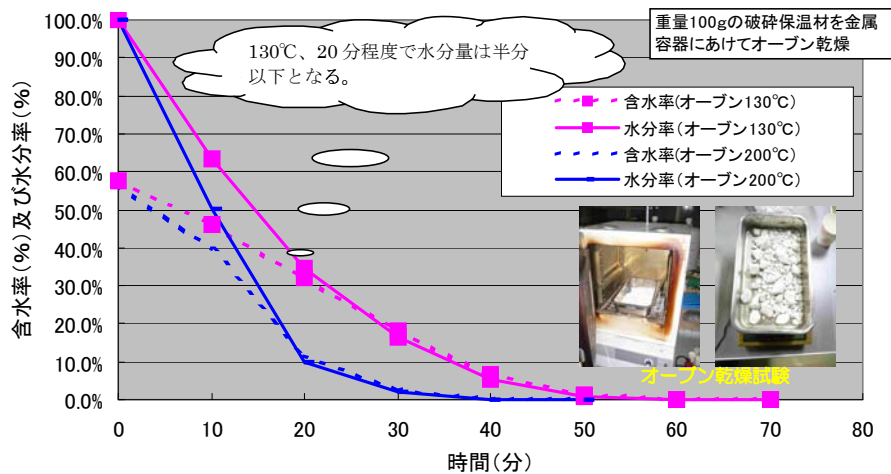


図6 オープンによる保温材乾燥基礎試験結果

c. 搬送・乾燥試験

(a) 搬送試験

小型スパイラルフィーダを用いて、破碎したノンアス保温材の搬送テストを行った。スパイラルフィーダによる破碎保温材の搬送状況を図7に示すが、破碎保温材がスパイラル状のトレイを停滞することなく連続的に上昇搬送できること、搬送中でも、振動に伴う粉塵発生がないことを目視で確認した。



装置サイズ (外径 650φ-内径 350φ、16 段 (搬送距離: 約 25m))

図7 小型スパイラルフィーダによる搬送試験風景

表5に搬送試験結果を示す。スパイラルフィーダの搬送能力を超えて保温材を供給すると、搬送中のトレーからあふれ出して（オーバーフロー）してしまうが、いずれのパターンでもオーバーフローすることなく搬送できることがわかった。また、スパイラル下部より投入して上部より排出されるまでの通過時間は10分程度で、搬送周波数を低下させることにより搬送（滞留）時間を稼げることがわかった。

表5 スパイラルフィーダによる搬送試験結果

No.	供給速度 (kg/h)	スパイラル通過時間(m's'')	搬送周波数(Hz)	状況
T-1	102	3'00''	50	トレーからオーバーフローなく搬送(約5分目)
T-2	41	10'00''	36	トレーからオーバーフローなく搬送(約5分目)
T-3	82	9'00''	36	トレーからオーバーフローなく搬送(約7分目)

(b) 乾燥試験

小型スパイラルフィーダを用いて乾燥試験を行った。図8に乾燥試験概念図を、図9に乾燥試験風景を示すが、小型スパイラルフィーダを乾燥ボックスで囲い、ボックス内に熱空気を送風した状態で、破碎したノンアス保温材をスパイラルフィーダで搬送させながら乾燥を行った。なお、熱空気の熱源には、約600℃に金属るつぼを加熱した60kW誘導加熱溶融炉を用いた。

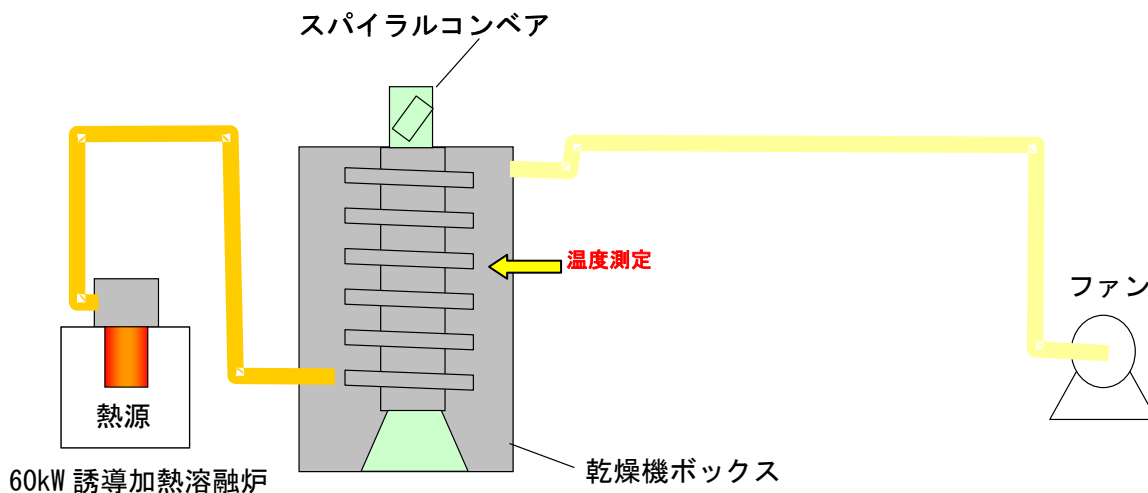


図8 乾燥試験 概念図



図9 乾燥試験風景

乾燥試験結果を表6に示す。なお、試験に用いた小型スパイラルフィーダの最長通過時間は10分程度しかないことから、20分程度の乾燥時間を模擬するため、スパイラルフィーダを2回通過させて乾燥状況を確認した。

表6 スパイラルフィーダによる乾燥試験結果

	乾燥時間（累積）（分）	含水率（%）
乾燥前	—	50.2
搬送1回目	12.2（12.2）	38.9
搬送2回目	13.8（26.0）	20.5

【乾燥条件】乾燥ボックス内の雰囲気温度：約130℃

スパイラルフィーダ搬送周波数：36Hz

乾燥試験結果から、乾燥時間20分まで乾燥が急速に進行していることがわかった。先に行ったオープンによる乾燥基礎試験結果と今回のデータを比較したところ、図10に示すとおり、乾燥状況は同じ傾向であった。

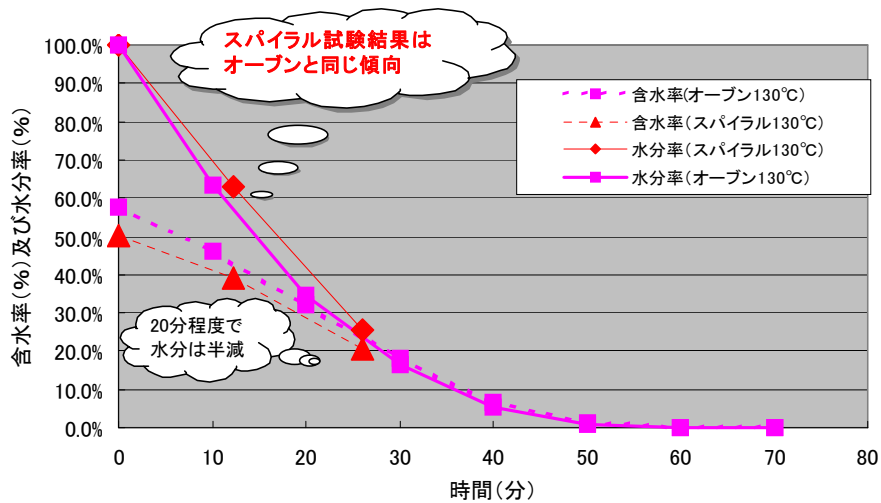


図 10 2種類の乾燥方法による乾燥状況

d. 予備乾燥ユニットの設計

前述の試験結果を踏まえ、設計した予備乾燥ユニットの仕様を表7に、外観図を図11に示す。

表7 予備乾燥ユニットの主な設計仕様

項目	内容
概要	破碎後のアスベスト含有保温材を溶融無害化装置への搬送、その間の乾燥
処理対象物	ケイ酸カルシウム保温材
処理物の大きさ	5cm 角アンダー（2軸破碎機による破碎物）
処理物の含水率	50%程度
処理方式	スパイラルフィーダ乾燥機
処理量	250kg/h 以上
搬送（乾燥）時間	10分以上
処理物投入間隔	連続投入
稼働時間	24時間運転（5日間程度連続運転）
外観寸法	長さ 1.5m 以内×幅 1.5m 以内×高さ 2.5m 以内
加熱源	熱空気
その他	極力、乾燥に伴って粉塵を飛散させないこと トレーラに搭載することを想定したコンパクトな構造

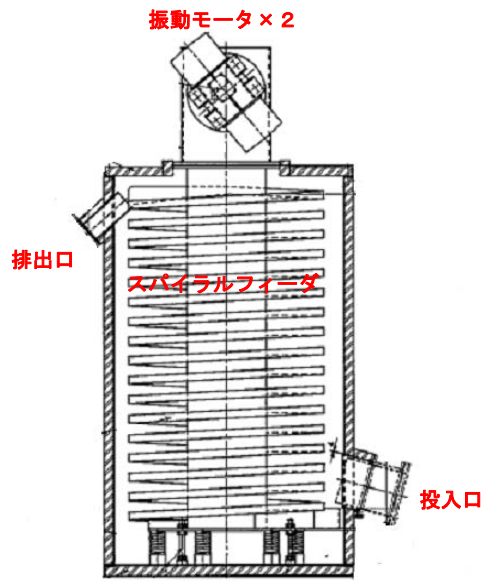


図 11 予備乾燥ユニット外観図

③ 放熱抑制・攪拌ユニット

誘導加熱溶融炉の坩堝側面や湯面から大気中に放熱している輻射損を抑制するため、溶融処理中も蓋を閉めた状態で保温材を連続投入できる断熱性に優れた放熱抑制ユニットを開発することとした。

合わせて、溶融処理速度を向上させるため、かさ比重が小さく浮遊しやすい保温材を効率的に攪拌し、溶融した湯中に沈み込ませる攪拌ユニットを開発することとした。

なお、攪拌ユニットは誘導加熱溶融炉上部に位置するため、放熱抑制ユニットと一体型の構造とすることとし、これらユニットの仕様を決定するため、以下のとおり 60kW 誘導加熱溶融炉を用いて溶融試験を行った。

a. 放熱抑制および攪拌効果の確認試験

放熱抑制および攪拌効果を確認するため、図 12 および図 1 に示すとおり、60kW 誘導加熱溶融炉上部に断熱材入りの放熱抑制用蓋および攪拌機を設置し、これらの有無による保温材の溶融時間および消費電力の違いを調べた。

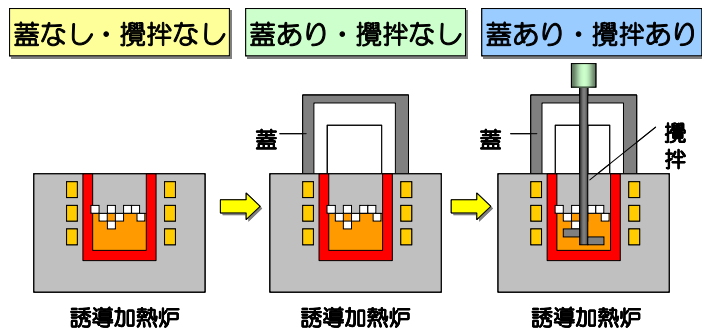


図 12 放熱抑制および攪拌効果の確認試験概念図

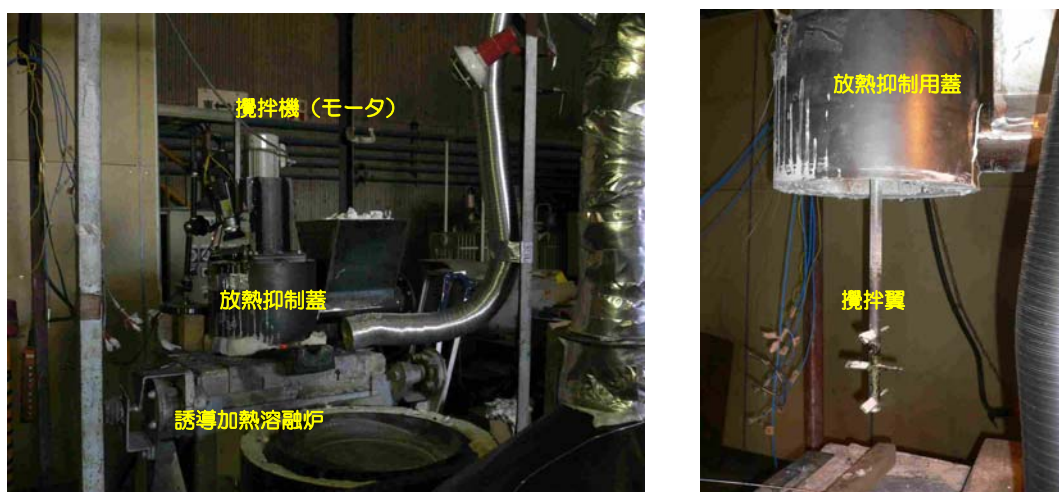
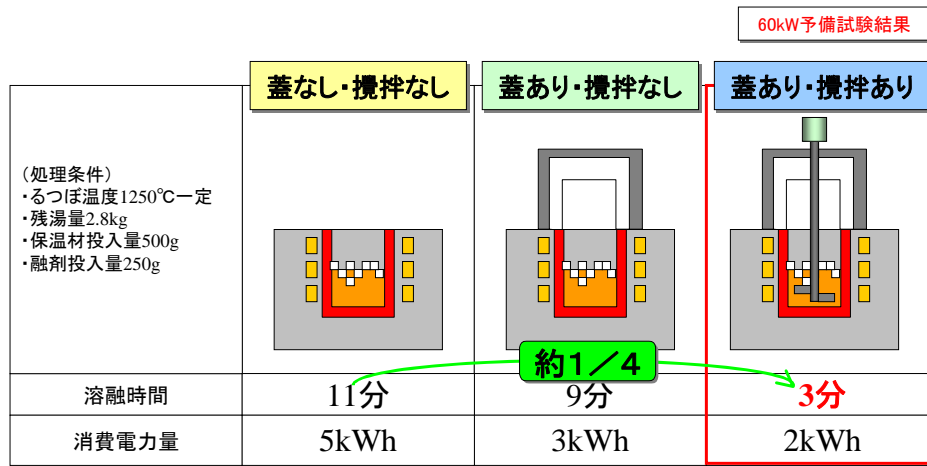


図 13 60kW 誘導加熱溶融炉放熱抑制蓋設置図

図 14 に溶融処理能力比較試験の結果を示す。蓋がない状態と比べ、蓋を設置、さらに蓋+攪拌機を設置することにより、溶融に必要な時間および消費電力量が大幅に減少し、溶融速度の向上、エネルギーロスの低減に寄与していることがわかった。また、溶融状況を観察したところ、攪拌がない場合は、投入された保温材が溶融した湯表面に浮遊したままゆっくりと溶融していくのに対して、攪拌がある場合は、保温材が回転する攪拌翼で湯中に押し込まれ速やかに溶融していくことがわかった。



蓋および攪拌の効果大

図 14 保温材溶融処理能力比較試験結果（放熱抑制・攪拌効果）

b. 攪拌方法選定試験

図 15 に攪拌羽根構造による溶融時間の比較結果を示す。同一回転数で回転させた場合、基準となる3段水平2枚の攪拌翼と比較して、枚数を変えずに千鳥で段数を増やした攪拌翼のほうが溶融時間を短縮できることがわかった。また、同じ枚数であっても、羽根の向きを水平から斜め下に傾斜させたほうが、より溶融時間を短縮できることがわかった。

溶融時間が異なる理由としては、図 16 に示すとおり、溶融進行に伴い浮遊する保温材位置（湯レベル）が上昇するため、攪拌翼の軸（高さ）方向に段数を増加させるなどしたほうが、浮遊する保温材位置の変化に対して押込効果を持続できるためと考えられる。

また、最も効率の良い攪拌翼Cを用い、回転数を変化させた溶融試験を行ったところ、図 17 のとおり、回転数を 60rpm 程度まで上昇させたほうが、溶融時間を短縮できることがわかった。

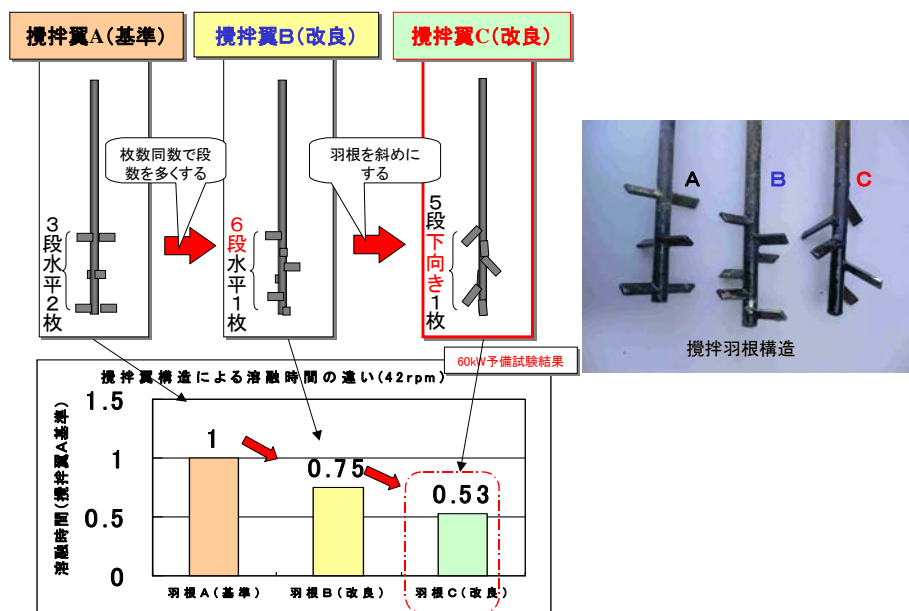


図 15 攪拌羽根構造による溶融時間の比較結果

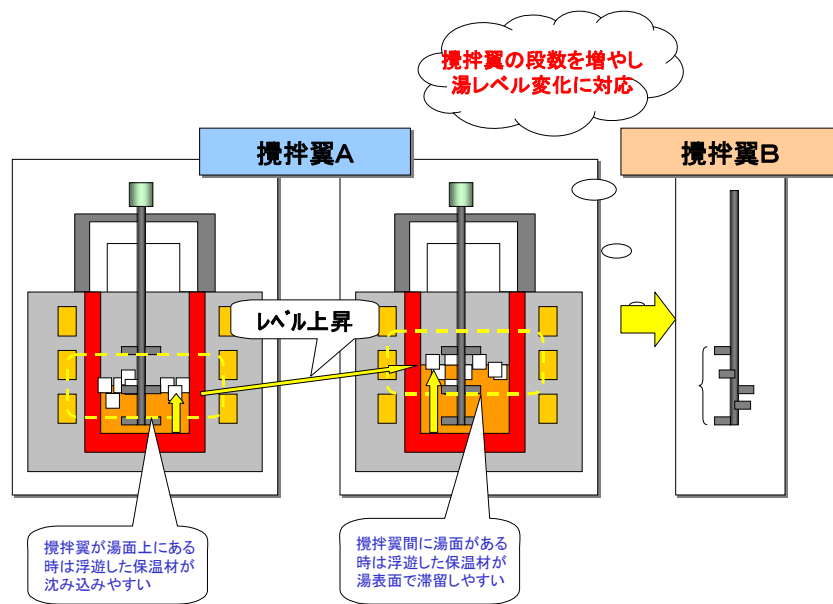


図 16 溶融処理における攪拌翼段数増加の効果

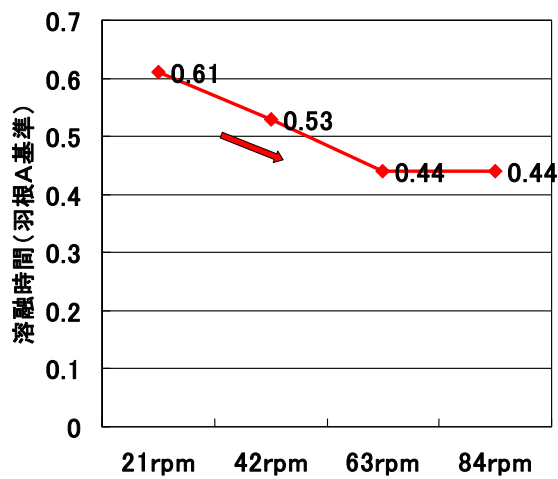


図 17 攪拌翼C 回転数による溶融時間の変化

c. 放熱抑制・攪拌ユニットの設計

前述の結果を踏まえ設計した放熱抑制ユニットおよび攪拌ユニットの仕様を表 8、表 9 に、両ユニットの外観図を図 18 に示す。

(a) 放熱抑制ユニット

表8 放熱抑制ユニットの主な設計仕様

項目	内容
概要	150kW 誘導加熱熔融炉上部からの輻射損失を低減
その他	中央上部には、攪拌ユニットを設置 炉内を監視できる覗き窓及びカメラを設置 炉内を負圧に保つための排気ダクトを設置

(b) 攪拌ユニット

表9 攪拌ユニットの主な設計仕様

項目	内容
概要	放熱抑制ユニット上部に設置した攪拌モータにより炉内を攪拌
モータ回転数	最高回転数 60rpm 以上
その他	表面に浮遊する保温材の押し込み効果が高い攪拌翼構造 高温でも強度が保てる構造

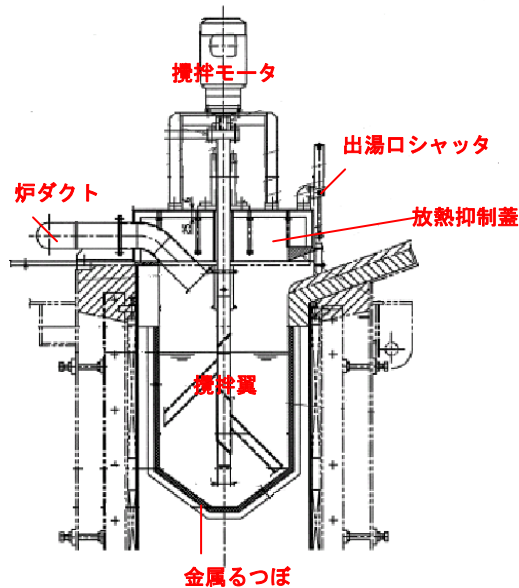


図18 放熱抑制ユニット及び攪拌ユニットの外観図

④ 熱回収ユニット

出湯直後の熔融物は高温（1,100℃以下）であるため、熱回収することにより保温材の予備乾燥に利用できることから、効率的に熔融物の廃熱を回収できる熱回収ユニットを開発することとした。

a. 熱回収量確認試験

60kW 誘導加熱溶融炉で溶融した溶融物を用い、図 19 に示す試験方法で回収した熱空気の温度および風量を測定した。

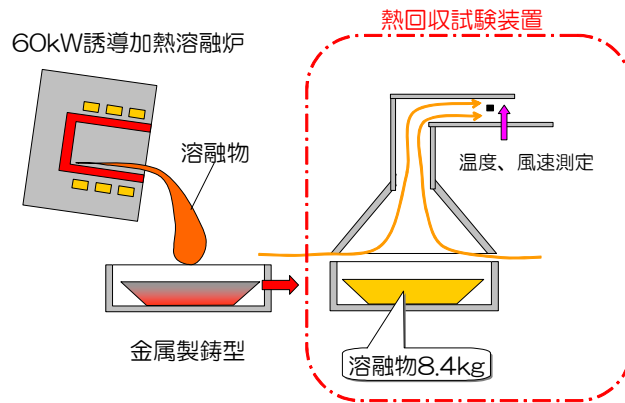


図 19 熱回収量確認試験概念図

熱回収開始からの溶融物及び熱空気の温度特性を図 20 に示す。溶融物は熱回収直後から冷却により温度が低下、これに合わせて熱空気温度が上昇している。熱空気温度特性からは、乾燥に必要となる高温の熱空気を回収可能であること、熱空気は風量が少ないほど高温を維持できることがわかった。

また、温度変化から単位時間当たりの熱量及び累積の総熱量を試算した。図 21 に示すとおり、熱空気の風量を多くしたほうが単位時間当たりの熱量は大きいものの、その後の低下も大きいことがわかった。また、溶融物の総熱量は 16,000kJ 程度と見積もられ、風量が最も少ない 1.4m³/min とした場合でも、30 分程度で溶融物の全熱量の 50%以上が回収できることを確認した。

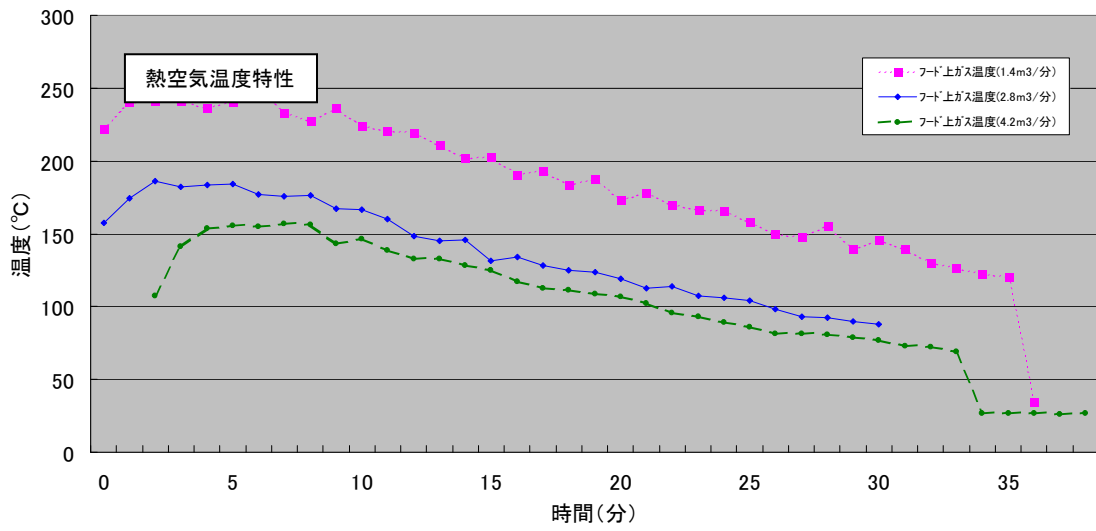
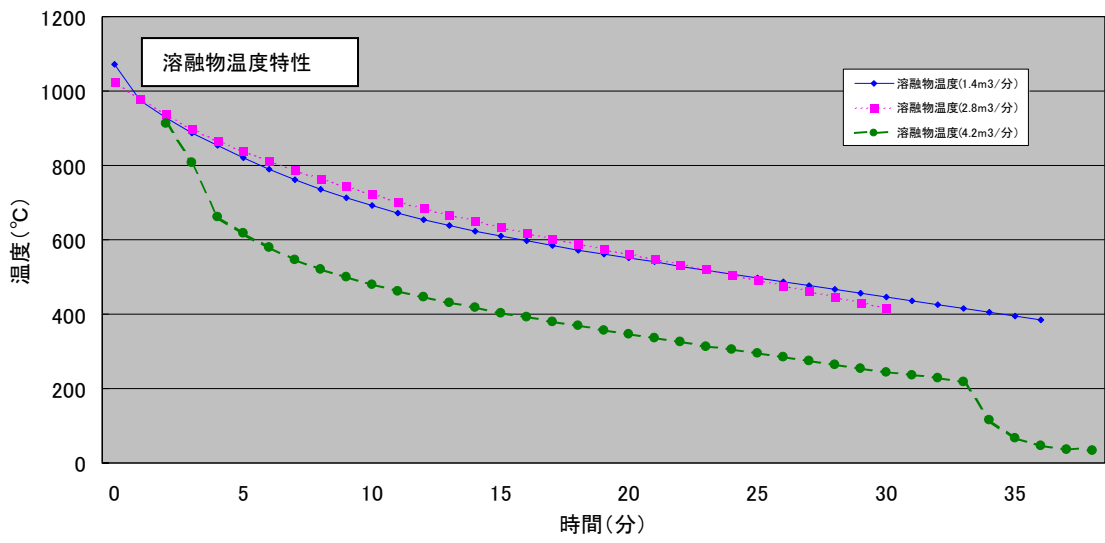
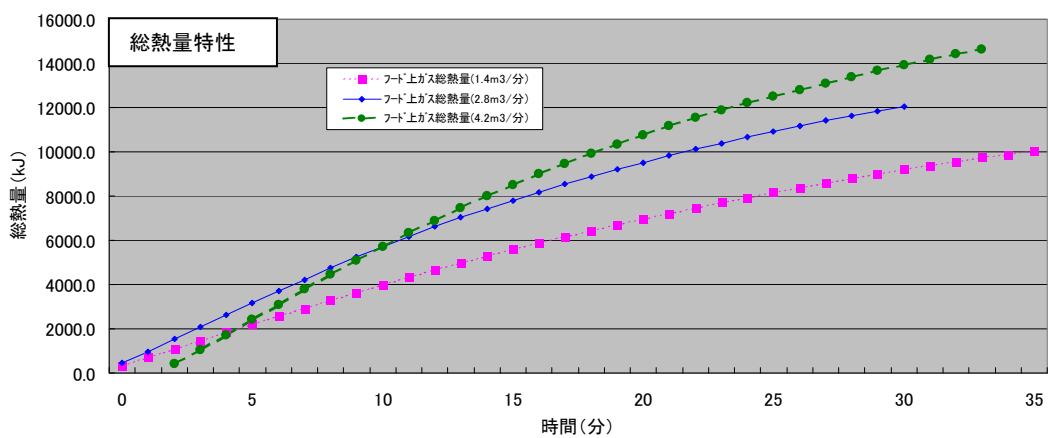
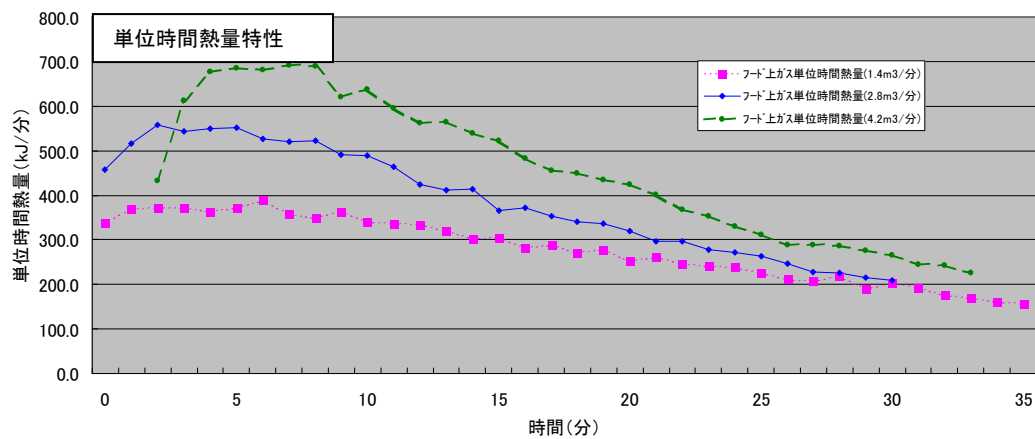


図 20 溶融物熱回収に伴う熱空気温度特性



※ 空気比熱は 1.007kJ/kg・K、空気比重は 1.24kg/m³ として熱量試算を行った。

図 21 溶融物熱回収に伴う熱量特性

b. 熱回収ユニット（プロトタイプ）の設計

熱回収ユニットは、類似する技術もなく新規開発する必要があること、開発した各ユニットを地上に据置く場合、トレーラを想定したレイアウトが模擬できないことを踏まえ、まずはプロトタイプを試作して様々な課題抽出を行うこととした。設計した両ユニット仕様を表 10 に、外観図を図 22 に示す。

表 10 熱回収ユニットの主な設計仕様

項目	内容
概要	溶融炉から排出された溶融物を鋳型で受け、その保有熱を熱空気として回収
その他	鋳型収納エリアは負圧室と区切られたボックス構造 溶融炉のトラブル発生時にも炉内の溶融物を全排湯できる構造 輻射熱をうまく熱空気として回収できるフード

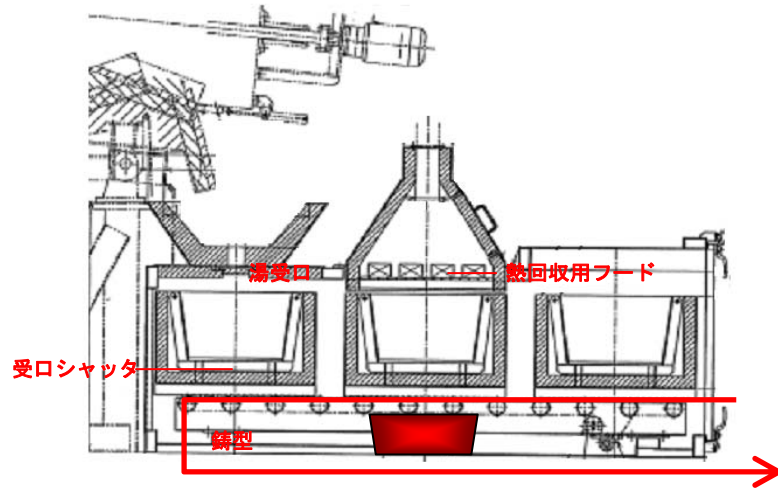


図 22 熱回収ユニット外観図

⑤ 集塵ユニット

150kW 誘導加熱溶融炉に破碎・予備乾燥プロセスが新たに追加されることに伴い、粉塵発生量の増加が危惧されることから、誘導加熱溶融炉と破碎・予備乾燥ユニットの内部を負圧状態に保つことができる集塵ユニットを開発することとした。

a. 集塵ユニット構成の最適化

集塵ユニットの仕様としては、コンパクトな構造以外に、連続集塵ができ、かつ万が一のことがあってもシステムから外部へアスベストを飛散させないことが大前提となる。図 23 に示すとおり、3つのケースを想定して、それぞれのケースのメリット・デメリットを整理した。装置と負圧室の集塵をひとつの集塵装置で行うケース 1、ケース 1 に前置集塵機を追加したケース 2、さらに 2つの集塵機能を独立させたケース 3 について評価したが、装置用集塵装置、室内用負圧集塵機いずれかのトラブル時も、外部へアスベストを飛散させない多重防護（フェールセーフ）の観点からケース 3 を採用することとした。

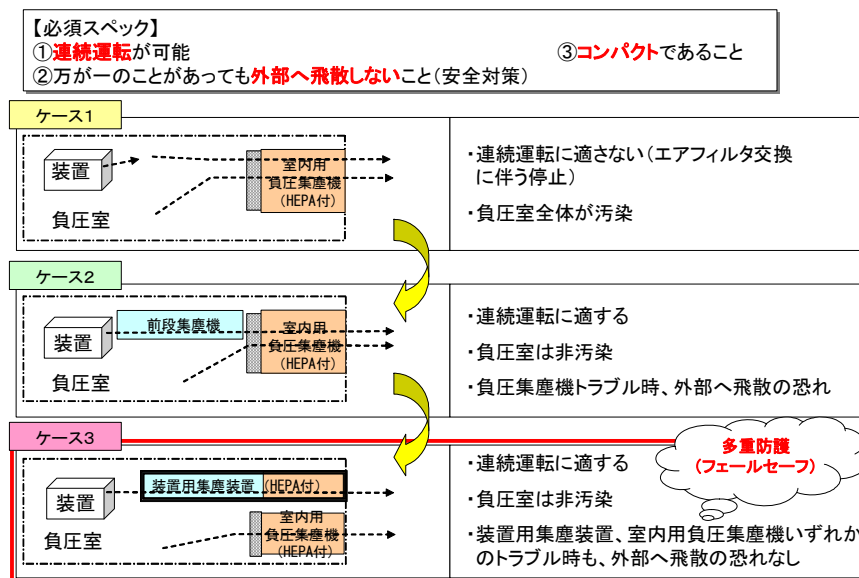


図 23 集塵ユニット構成比較

また、集塵ユニットの集塵方式として表 11 に示す 4 種類を選定し、集塵効率、連続運転、排水処理、装置サイズ、熱空気風量変化対応、動力といった項目毎に評価を行ったが、最も重要となる集塵効率の高さや連続運転への対応の観点から、バグフィルタ（自掃式）集塵機を選定することとした。

表 11 各種集塵方式の評価

粗集塵方式	集塵効率	連続運転	排水処理	装置サイズ	風量変化対応	動力	備考	評価
サイクロン集塵機	△	○	－	△	△	△	・微細粒子は集塵効率が低い ・装置側の排気風量に変動がある場合、サイクロンの集塵能力に影響	△
エアフィルタ（取替え式）集塵機	○	×	－	○	○	○	・目詰まり発生毎のフィルタ交換が必要	×
バグフィルタ（自掃式）集塵機	○	○	－	△	○	○	・一定範囲内の風量変化には追従性あり ・据付面積が大きい ・捕集粉の処理が容易 ・パルス運転により連続運転可能	◎
湿式集塵機	○	○	×	△	○	△	・アスベストを含む排水の処理が必要	×

b. 集塵ユニットの設計

前述の検討結果を踏まえ設計した集塵ユニットの仕様を表 12 に、外観図を図 24 に示す。

表 12 集塵ユニットの主な設計仕様

項目	内容
概要	アスベスト含有保温材溶融・無害化システムから局所的に発生する粉塵を集塵
処理対象物	ケイ酸カルシウム保温材破碎粉等
粉塵濃度	15 g/m ³ 程度（予想）
最大風量	20m ³ /分
処理方式	HEPA付き自掃式バグフィルタ
稼動時間	24 時間運転（5 日間程度連続運転）
外観寸法	長さ 2.3m 以内×幅 2.3m 以内×高さ 2.2m 以内
その他	粉塵による目詰まりが発生しにくく、連続運転できること 集塵機本体はトレーラに搭載することを想定したコンパクトな構造

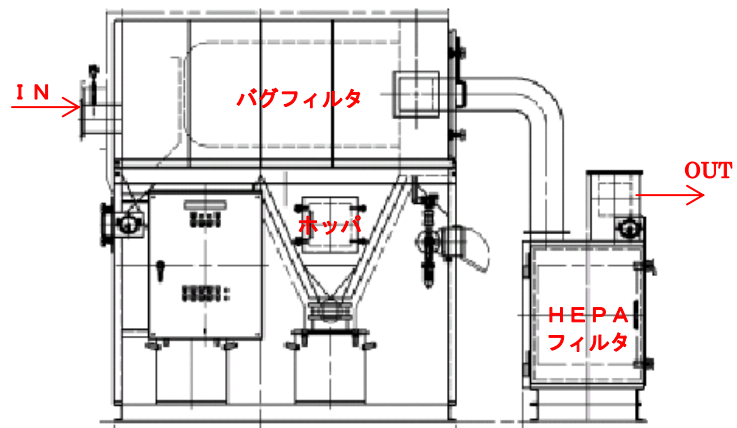


図 24 集塵ユニット外観図

(2) 実用化飛散抑制ユニットの製作

① 一体化システムの開発

(1) で設計した各ユニットを集結した飛散抑制ユニットと 150kW 誘導加熱溶融炉を北陸電力株式会社の火力発電所構内に設置して一体化したシステム（以下、「一体化システム」という。）を構築した。

図 25 にシステムのイメージ図を示すが、処理物の流れに沿って、破碎機、搬送乾燥機、攪拌機、熱回収装置、集塵装置で構成されている。さらに、集塵装置を除く各装置はビニール養生で囲い別に負圧集塵することでアスベスト飛散防止の多重防護化を図っている。一体化システムの配置レイアウトを図 26 に、配置状況を図 27 に示す。

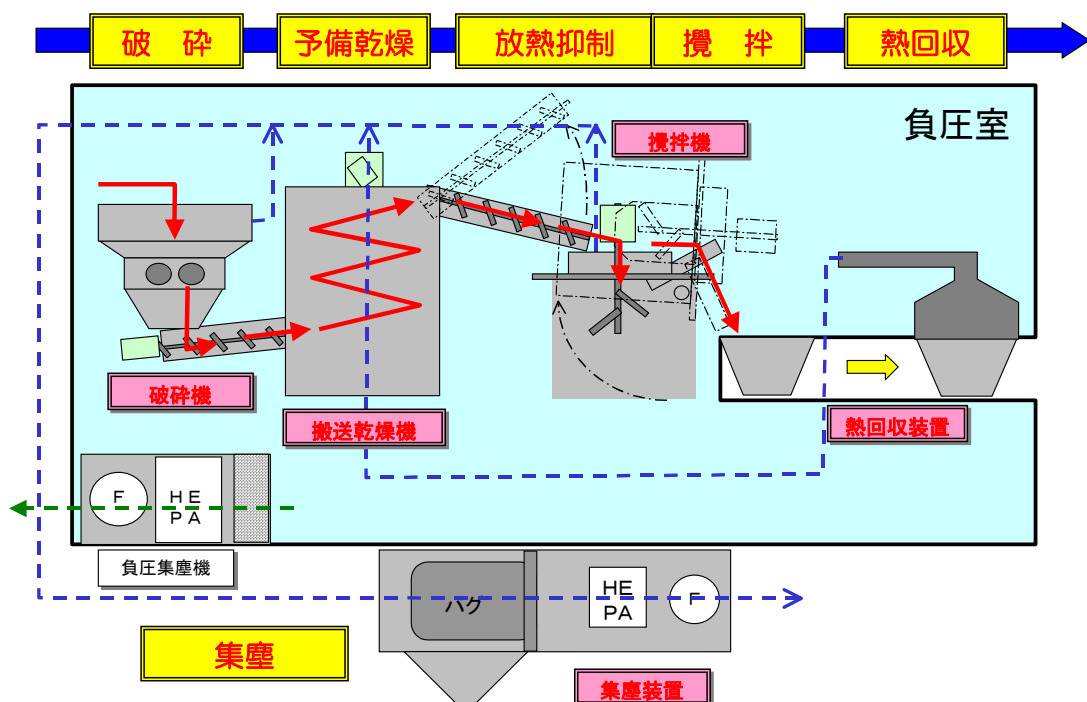


図 25 一体化システムの構成イメージ図

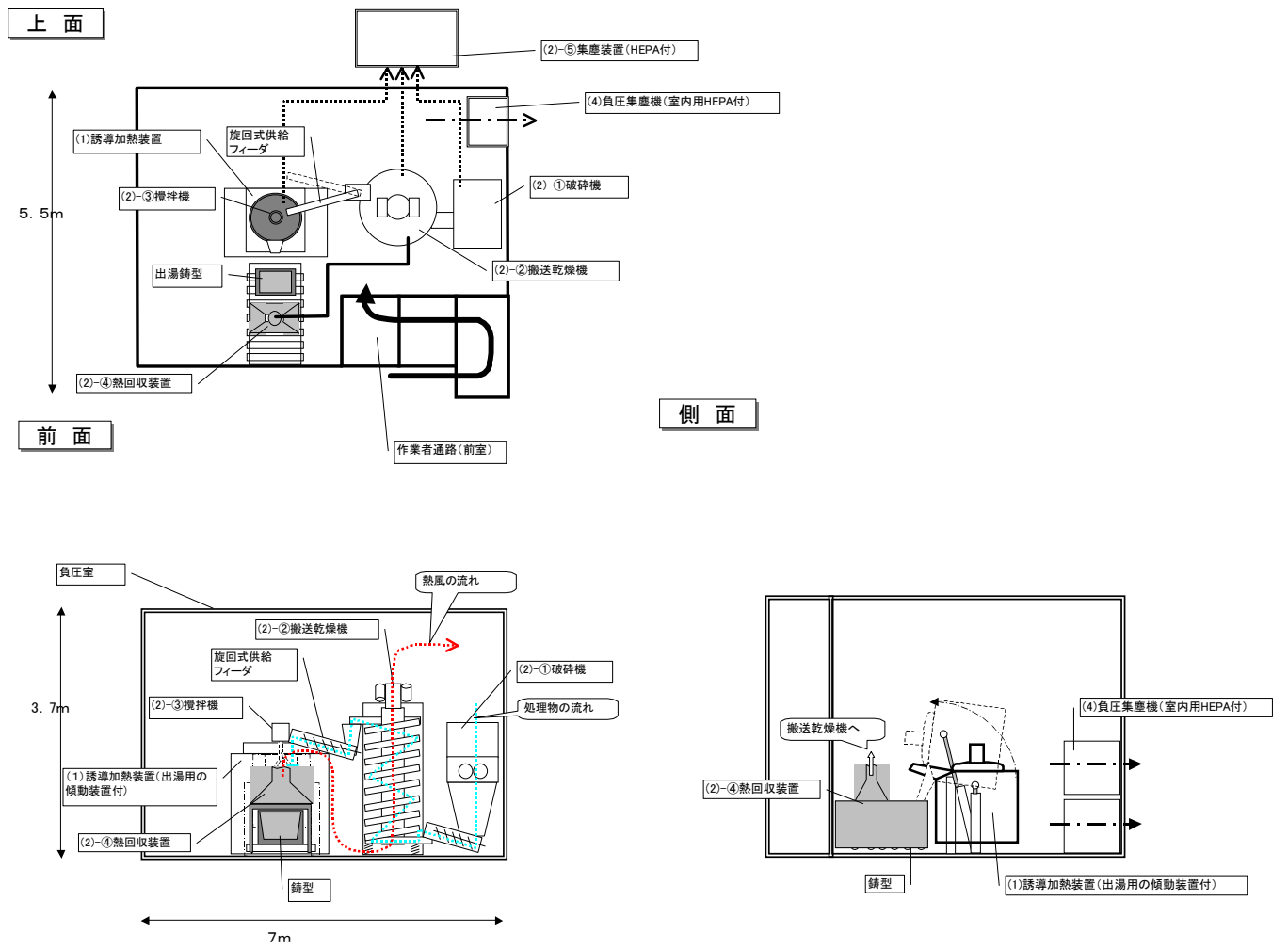


図 26 一体化システムの配置レイアウト



図 27 一体化システムの配置状況

② 課題の抽出と対策

a. 課題の抽出

アスベスト含有保温材での熔融試験前に、ノンアス保温材を用い一体化システムで事前の熔融試験を行った。負圧室内で破砕機上部ホッパに保温材を投入する操作を除き、負圧室外からの遠隔操作で処理を行った。処理中は、今回開発の各ユニットを連動させて正常に機能することを確認したが、一方で図 28 に示す不具合が発生した。

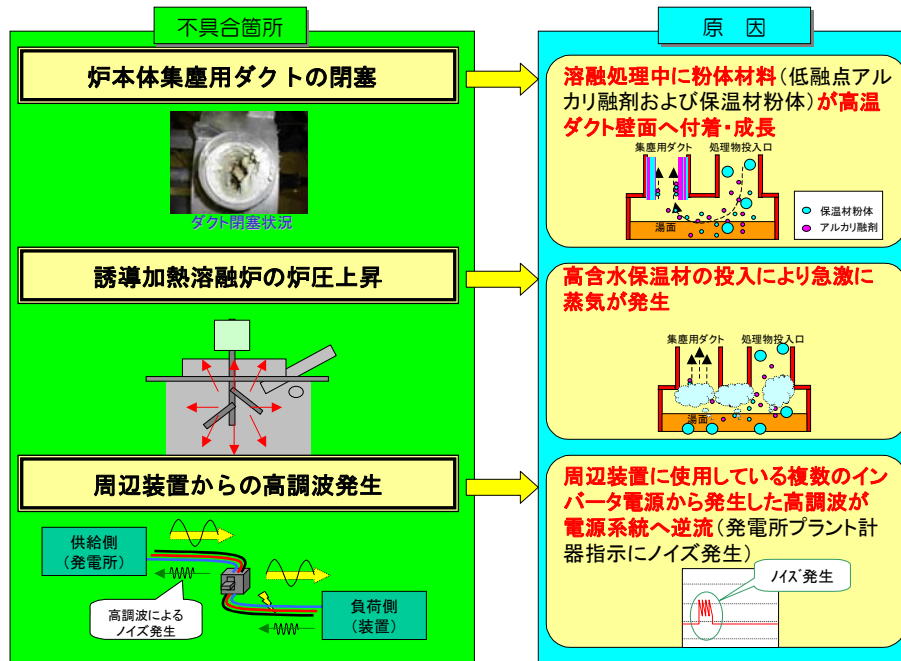


図 28 熔融試験時の不具合箇所

炉本体集塵用ダクトの閉塞原因について調べるため、停止中にダクト入口部の点検を行ったところ、低融点のアルカリ融剤と粉体材料が高温ダクト壁面へ付着し、積層していることが判明した。

また、誘導加熱熔融炉の炉圧上昇は、連続で投入される保温材からの水分蒸発に起因しており、特に保温材中水分が多い場合、炉圧が正圧となって炉から水蒸気が噴出す恐れもある。このような炉内圧力の変動に対しては、集塵装置ブロワ回転数を変化させて炉内圧力を制御する仕組みとなっているが、急激な変化には十分追従しきれていないと考えられる。

さらに、周辺装置からの高調波発生により火力発電所プラント計器指示値にノイズが混入する事象が発生した。(ただし、発電プラント運転状態に影響はなし。) これは、新たに開発した飛散抑制ユニットの各モータに設置されているインバータから高調波ノイズが発生し、発電所電源系統に逆流していることが原因であると考えられる。

b. 対応策と効果確認

(a) 炉本体集塵用ダクトの閉塞対策

炉本体集塵用ダクト閉塞対応策として、図 29 に示すとおり、投入口に落下した粉体が集塵ダ

クト側へ流入しないよう、近接していた投入口と集塵ダクト位置を隔離し、粉体の巻き込みを抑制する構造とした。

また、投入口と集塵ダクト間に邪魔板となるフードを設置し、投入口から粉体が炉内へ落下せずにショートカットしてダクト側へ吸引されるのを抑制する構造とした。

さらに、集塵ダクト側には、閉塞を防止するためのダクトスクレーパを新設し、付着・固化した粉体材料を炉側へ掻き落とす構造とした。

以上の対応策に加え、現状より粗い粒度のアルカリ融剤に変更し、ダクトへの融剤吸引抑制を図ることとした。

これらの対応策を全て実施した後に再度溶融試験を行ったところ、ダクト閉塞は解消され、安定した連続処理が行えるようになった。

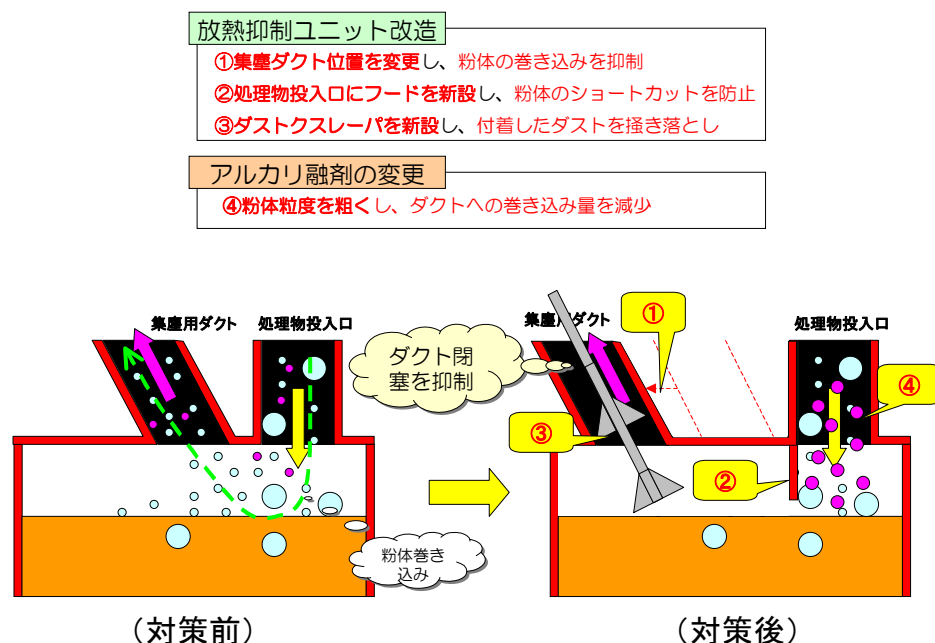


図 29 炉本体集塵用ダクト閉塞対策

(b) 炉圧上昇対策

溶融処理中に炉内圧を正圧にしないためには、想定される最大水蒸気発生量以上に常時吸引しておけば問題はないが、炉内吸引量の増加は、炉本体集塵用ダクトの閉塞を誘発したり、炉内熱の排気によるエネルギーロス増加にもつながるため、一定の炉圧を維持したうえで炉圧変動を調整することが望ましい。

そのため、炉内圧を監視して急激な炉圧上昇に対して即座に追従できる新しい炉圧制御システムを構築した。図 30 に改良型炉圧制御システムの系統を示す。従来は、集塵装置ブロワの回転数を変化させ炉圧変動に追従させる方法であったが、新システムではブロワ吸引量を固定したうえで、炉ダクト近傍に設置した複数の大気導入弁を開閉させることにより炉圧変動に追従する方式を採用することとした。この方法によれば、炉圧上昇時に大気導入弁を瞬時に閉とすることで吸引バッファを即座にカットできるため、急激な炉圧変動にも対応が可能となる。

また、炉圧上昇抑制には、炉へ投入される保温材のさらなる水分低減が効果的であることか

ら、熱空気を利用した予備乾燥ユニットの乾燥能力の更なる向上を目的に、図 31 に示すとおりスパイラルフィーダトレイ上部に遠赤外線式シーズヒータを新たに設置することとした。

以上の対応策を実施した後に再度溶融試験を行ったところ、溶融処理中、若干の炉圧変動はあるものの、安定した炉内の負圧維持ができるようになった。

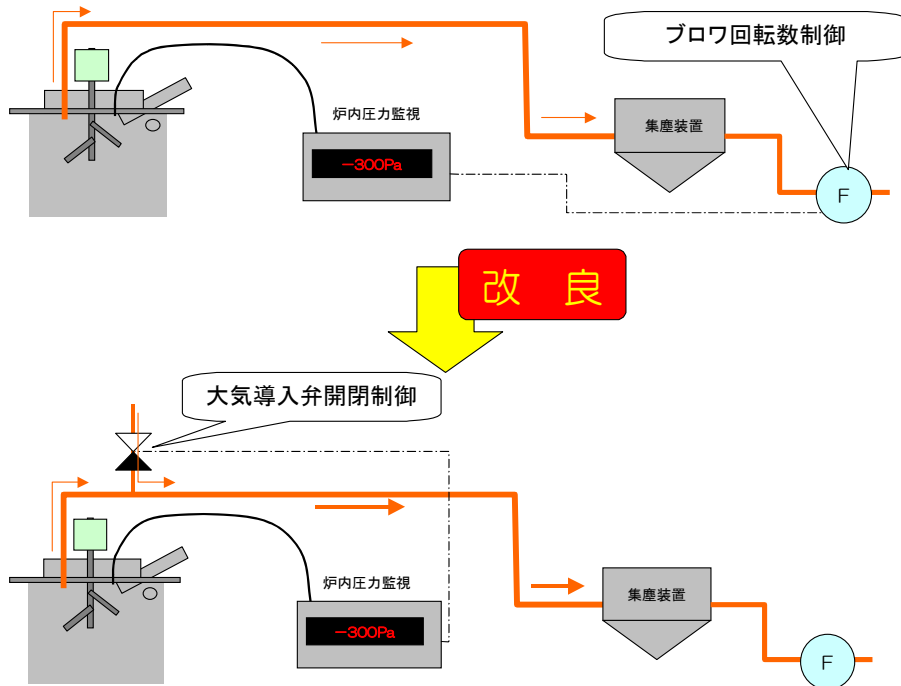


図 30 改良型炉圧制御システム

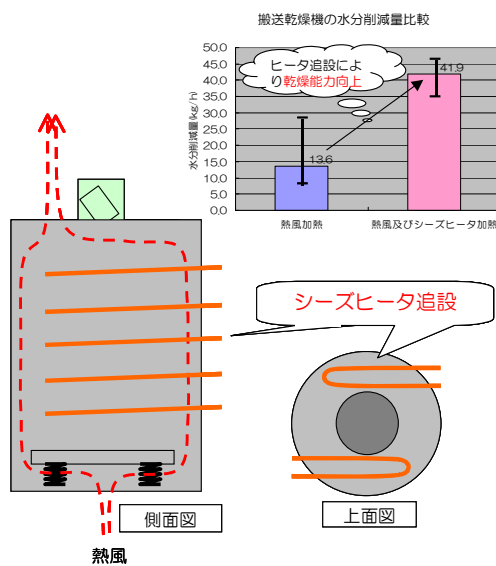


図 31 改良型予備乾燥ユニット

(c) 周辺装置からの高調波抑制対策

高調波を抑制するため、図 32 のとおり、一体化システムの電源系統内で特にノイズが多いと考えられる 200V 系統に力率コンデンサ及び絶縁トランスを仮設し、一体化システムの運転を行ったところ、発電所プラントの計器指示値へのノイズ混入を解消することができた。

一方、運転中の発電プラントに悪影響を及ぼさないよう万全の対策を図るためには、別系統で受電する誘導加熱溶融炉用のインバータも含めたトータルの高調波抑制対策が必要であることから、一括受電しつつ高調波を抑制できる受電ユニットの開発を新たに検討することとした。

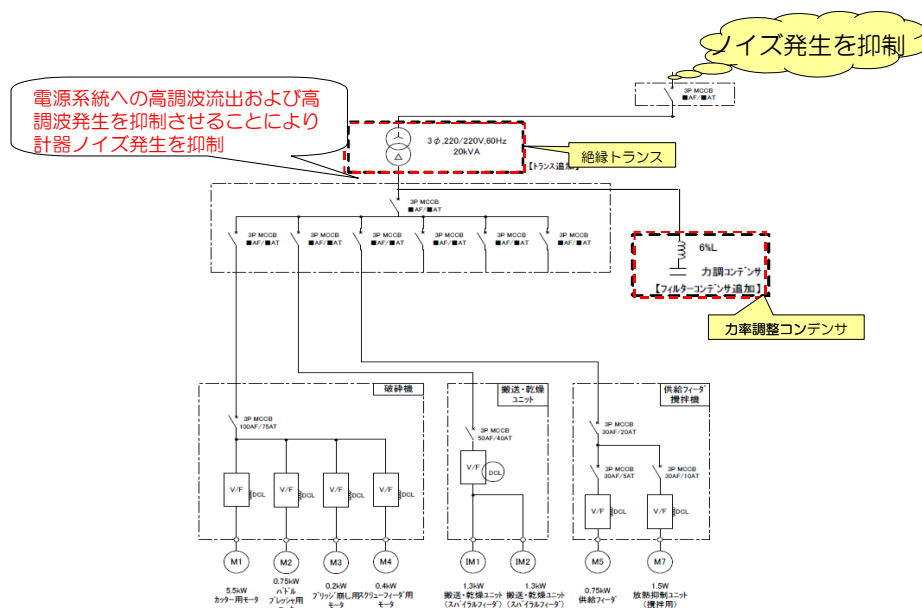


図 32 高調波抑制対策

③ 一体化システムによるアスベスト含有保温材料溶融試験

対応策を施した一体化システムによりアスベスト含有保温材料を用いた溶融・無害化試験を行った。図 33 に溶融処理中の各種データトレンドを示す。これまでの 150kW 誘導加熱溶融炉の溶融試験結果から、金属るつぼ温度を 1,200°C程度とすることで、溶融温度を 1,050°C以上に保持できることがわかっている。今回の試験でも、処理中や出湯前において金属るつぼ温度は 1,200°C程度であり、1,050°C以上で溶融処理されていることがわかる。なお、出湯時に温度が一時的に低下しているのは、溶融炉の加熱を停止していたためである。

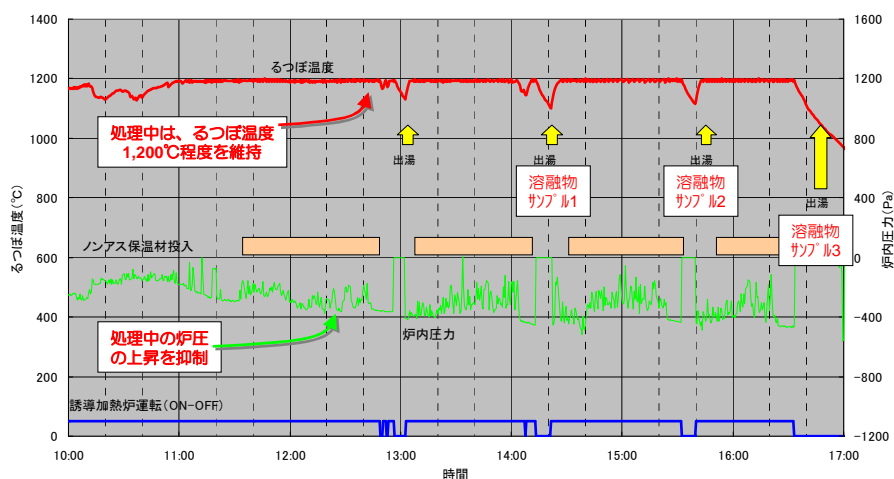


図 33 溶融処理中の各種データおよび試験風景

溶融試験結果を表 13 に示す。溶融処理後の溶融物のサンプル 3 回分について、公定法である JIS A1481 によりアスベスト濃度を測定したが、アスベストは検出されず、確実に無害化処理できていることを確認した。また、図 34 に X 線回折分析結果を示すが、アスベストに起因するピークは消失し、それ以外の結晶ピークも消失していることから、溶融物はきれいにガラス化していることがわかる。

表 13 アスベスト含有保温材および溶融物のアスベスト濃度測定結果

分析項目	試料	分析方法	分析結果	定量下限
石綿含有量	保温材	JIS A1481	アモサイト 0.6% 〔それ以外の 5 種類の 石綿は不検出〕	0.1%
石綿含有量	溶融物	JIS A1481	不検出	0.1%

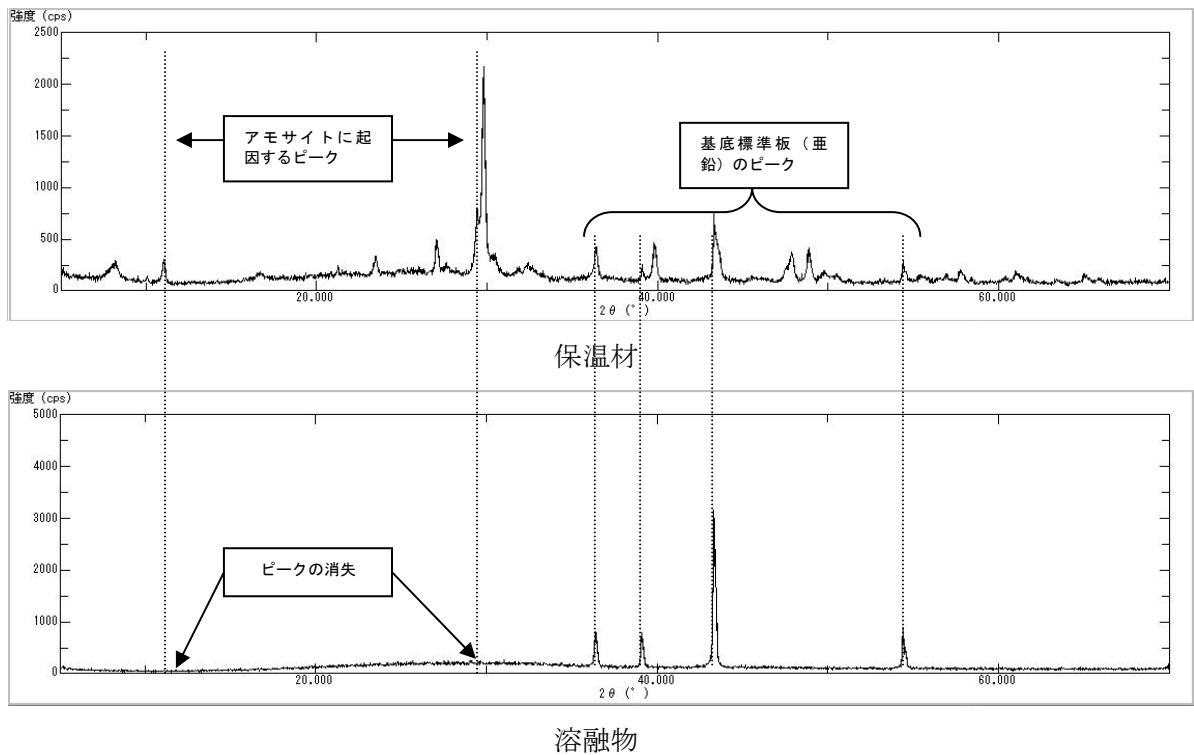


図 34 溶融前後サンプルの X線回折分析結果

また、図 35 に示す箇所で溶融処理中の集塵装置排気および周辺大気環境中のアスベスト濃度を測定したが、表 14 に示すとおりアスベストは検出されず、一体化システムの安全性が確認できた。

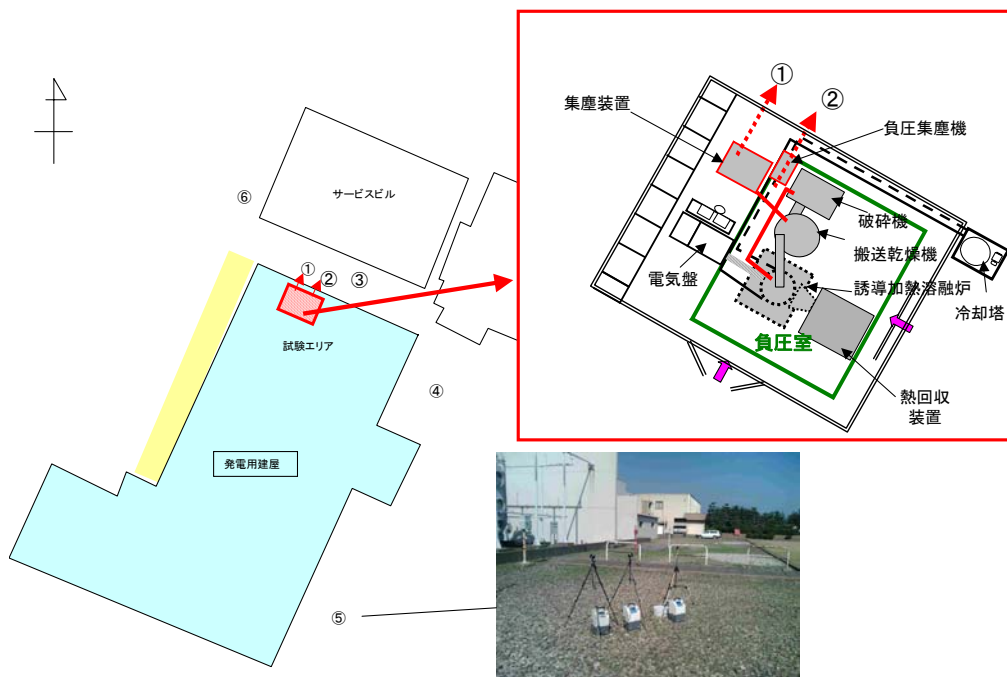


図 35 集塵装置排気および周辺大気のアスベスト濃度測定位置

表 14 集塵装置排気および周辺大気のアスベスト濃度測定結果

(装置排気)

分析項目	採取場所		分析方法	分析結果	定量下限
石綿濃度 (単位：本/L)	①	集塵装置排気口 (HEPA 出口)	石綿を含む廃棄物における 無害化処理認定制度申請の 手引き(第1版) 別添1 廃棄物処理施設に係る石綿 のサンプリング・分析方法 の概要[暫定版]	不検出	0.3
	②	トレーラ負圧室排気口 (HEPA 出口)		不検出	

(周辺大気)

分析項目	採取場所		分析方法	分析結果	定量下限
石綿濃度 (単位：本/L)	③	測定点 1	石綿に係る特定粉じんの濃 度の測定方法 (平成元年環 境庁告示第 93 号)	不検出	0.3
	④	測定点 2		不検出	
	⑤	測定点 3		不検出	
	⑥	測定点 4		不検出	

2. 吹付けアスベスト無害化・資源化处理の研究

(1) 熔融ラボ試験

アスベスト含有吹付け材には、施工時にセメント、水、アスベストを一緒に吹付ける「乾式吹付け材」、施工時にセメント、水、アスベストを予め混合して吹付ける「湿式吹付け材」があるが、特に「乾式」の吹付け材は、アスベスト含有率が10%以下である保温材に比べ30~40%と高いこと、保温材とは成分構成の異なるセメントが含まれていることから、出力3kW誘導加熱熔融炉を用いて熔融ラボ試験を行った。

熔融ラボ試験には、北陸電力建物から除去された2種類の乾式吹付け材サンプルを用いた。ひとつはクロシドライト（青石綿）を35%含有する吹付け材、もうひとつはクリソタイル（白石綿）を24%含有する吹付け材である。

図36に熔融ラボ試験装置、表15および図37に試験結果を示すが、添加するアルカリ融剤の種類や添加量を保温材と同様にしたところ、表中写真に示す、きれいなガラス状の熔融物となった。この熔融物を公定法であるJIS A1481でアスベスト濃度を分析したところ、アスベストは検出されず、確実に熔融・無害化できることがわかった。

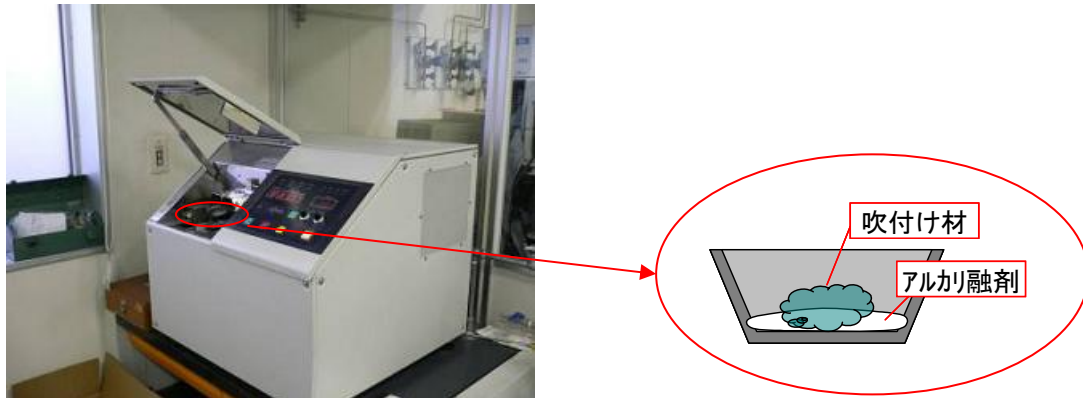
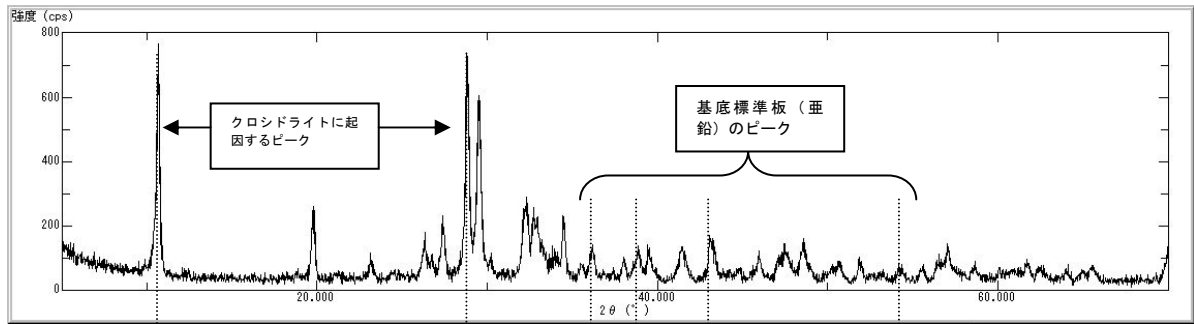


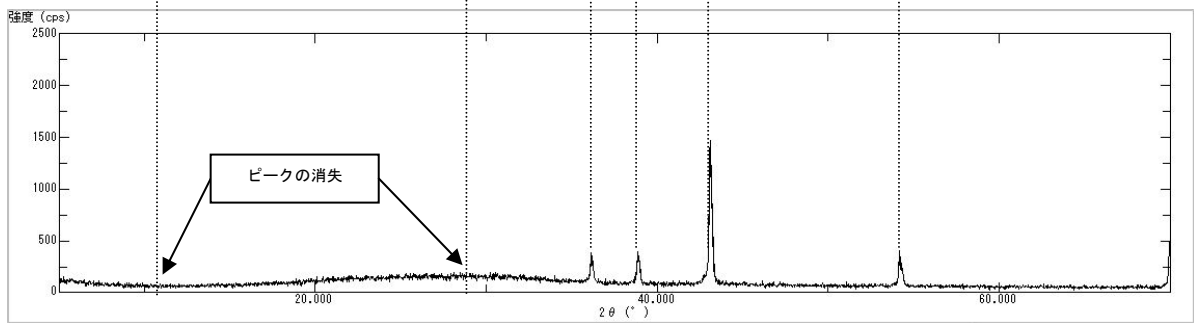
図 36 熔融ラボ試験装置 (3kW 誘導加熱熔融炉)

表 15 アスベスト含有吹付け材の溶融試験結果

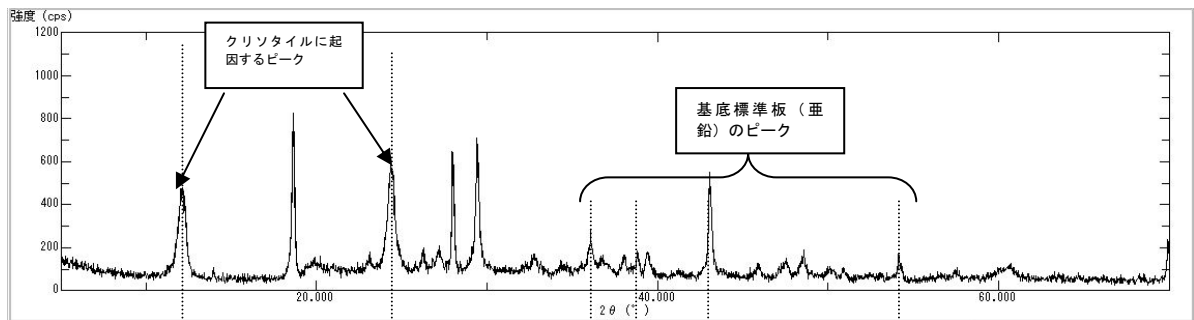
テスト	クロシドライト吹付け材	クリソタイル吹付け材
吹付け材/融剤比	1 : 0.5	1 : 0.5
設定/実測温度	1,100℃ (るつぼ内温度 約1,050℃)	
溶融処理時間	3 m i n	
吹付け材 石綿濃度 (JIS A-1481)	クロシドライト : 35% それ以外の5種類の 石綿は不検出 (X線回折結果は図 37 参照)	クリソタイル : 24% それ以外の5種類の 石綿は不検出 (X線回折結果は図 37 参照)
溶融状況	○	○
	溶融物内に溶け残りや 濁りは認められない	溶融物内に溶け残りや 濁りは認められない
溶融物 石綿濃度 (JIS A-1481)	不検出 (X線回折結果は図 37 参照)	不検出 (X線回折結果は図 37 参照)
溶融前		
溶融後		



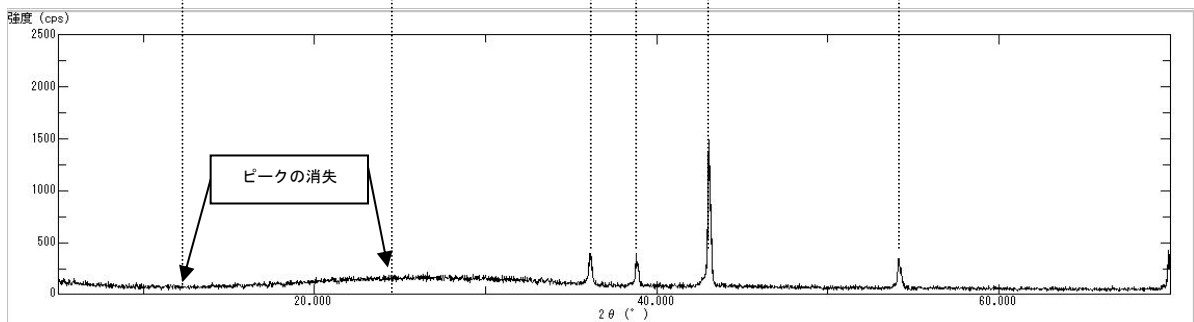
クロシドライト吹付け材 (溶融前)



クロシドライト吹付け材 (溶融後)



クリソタイル吹付け材 (溶融前)



クリソタイル吹付け材 (溶融後)

図 37 溶融前後サンプルの X線回折分析結果

(2) 実用規模での溶融・無害化試験

① 溶融試験

実用規模の 150kW 誘導加熱溶融炉を用いてアスベスト含有吹付け材の溶融試験を行った。図 38 に示すとおり、実用化飛散抑制ユニットを経由せず、温度上昇前のるつぼ内にアスベスト含有吹付け材とアルカリ融剤を事前投入した後、溶融処理を行った。なお、アスベスト含有吹付け材は北陸電力建物から除去されたクリソタイル 3.1%を含む乾式吹付け材をサンプルとして用いた。

表 16 に公定法 JIS A1481 による溶融物のアスベスト濃度測定結果を、図 39 に X 線回折分析結果を示すが、溶融物からアスベストは検出されず、実用規模の誘導加熱溶融炉での溶融処理が可能であることがわかった。

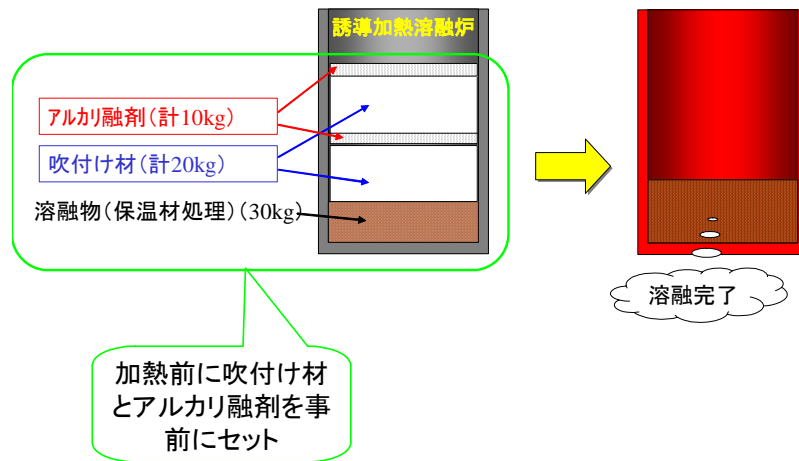


図 38 150kW 誘導加熱溶融炉による吹付け材溶融試験概念図

表 16 吹付け材および溶融物のアスベスト濃度測定結果

分析項目	試料	分析方法	分析結果	定量下限
石綿含有量	吹付け材	JIS A1481	クリソタイル 3.1% 〔それ以外の5種類の 石綿は不検出〕	0.1%
石綿含有量	溶融物	JIS A1481	不検出	0.1%

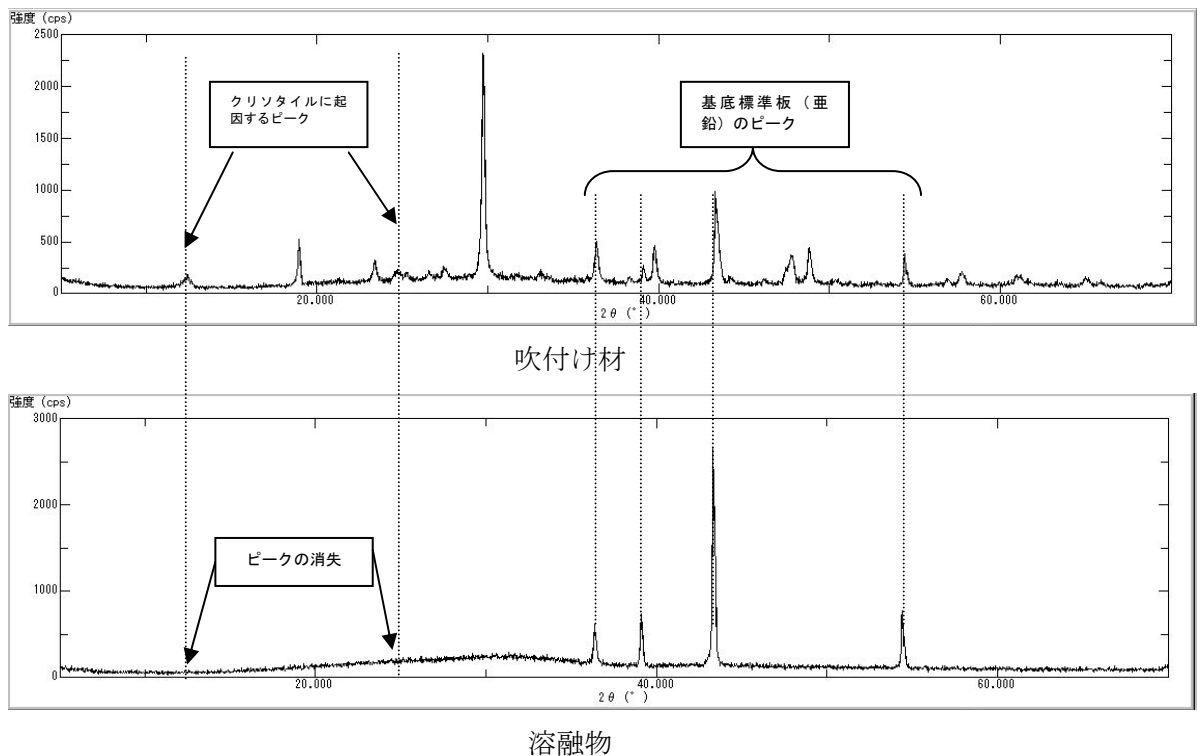


図 39 溶融前後サンプルの X 線回折分析結果

② 一体化システム適用にあたっての課題

今回、実用規模の誘導加熱溶融炉でアスベスト含有吹付け材処理が可能であることは確認できたが、一体化システムに適用するには、これまでの保温材を対象とした実用化飛散抑制ユニット開発プロセスと同様、入念な事前調査と予備試験が必要である。具体的には、現場で解体除去される吹付け材の廃棄状況（吹付け材種類、水分量、固化剤処理など）の調査、実用化飛散抑制ユニットからの粉塵飛散量の違いによる排気系統の変更、保温材との比重の違いに伴う攪拌方法の変更など、吹付け材の各種物性を十分考慮して開発を進めていく必要がある。

特に廃棄される吹付け材は多種に渡っているため、それら全て満足するシステムとする場合は装置の大型化も予想される。トレーラ搭載型の移動式処理を目指す場合は、処理の対象とする吹付け材を限定することも必要である。

3. オンサイト式溶融・無害化処理システムを用いた実証試験

(1) 実用化飛散抑制ユニットの改良とトレーラの設計

これまでに開発した一体化システムは、破砕機上部への保温材の投入を作業者が行っていたが、開発の最終形態であるトレーラ搭載型のオンサイト式溶融・無害化処理システム（以下、「オンサイトシステム」という。）には、アスベストを飛散させることなく安全に保温材を投入できる自動投入機構や、溶融物の熱回収と取出しを容易にするユニットが必要となることから、実用化飛散抑制ユニットを改良するとともに、道路運送車両法に則り公道を安全に走行できるトレーラの設計を行った。

① 保温材自動投入機構の開発

オンサイトシステムは、名前のとおり現地で解体除去された廃棄物を同一敷地内で処理することを想定している。廃棄されたアスベスト含有保温材の梱包には、従来、使い捨ての2重ビニール袋が使用されているが、オンサイトシステムではオンサイト処理のメリットを活かし、堅牢で密閉性が高く何度も繰り返し利用できるプラスチックドラム（以下、密閉容器という。）を使用することとしている。なお、密閉容器には、危険物の海上輸送などに用いられるUN規格品を選定した。

図 40 に改良した実用化飛散抑制ユニットを組み込んだオンサイトシステムの構成イメージ図を示すが、自動投入機構は処理フローの最も上流に位置し、図 41 に示すとおり、密閉容器を自動投入機構にセットした後は、容器の傾動（上昇）～蓋開け～保温材の落とし込み～蓋閉め～傾動（下降）までを自動的に行うことができる。

なお、保温材投入時の外部へのアスベスト飛散を防止するため、自動投入機構内部は常時負圧状態を維持している。

また、投入された保温材はベルトコンベアで水平搬送された後、後段のバケットリフタにより破砕機上部ホップへ上昇・投入される。なお、ベルトコンベア搬送中に万が一異物を発見した場合は、グローブバックのハンドホールを用いて異物を除去できる構造となっている。

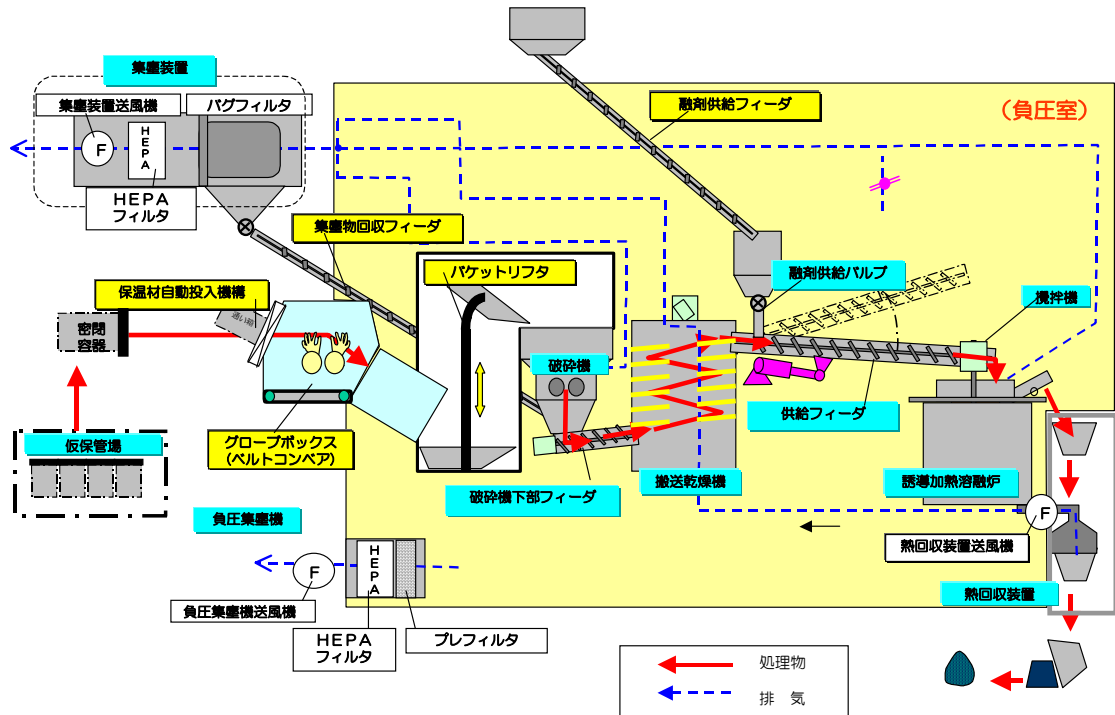


図 40 オンサイトシステムの構成イメージ図

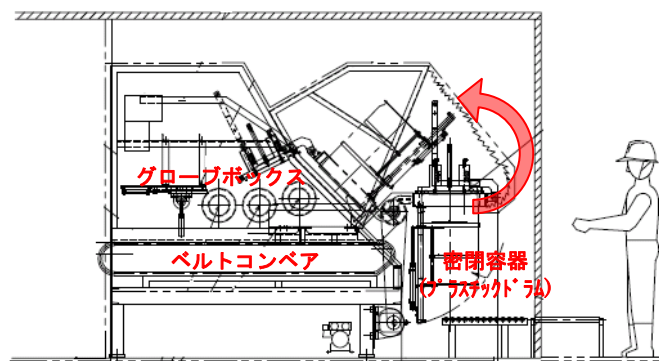


図 41 保温材自動投入機構

② 改良型熱回収ユニットの開発

1. (2) ③「一体化システムによるアスベスト含有保温材溶融試験」結果からは、試作したプロトタイプ熱回収ユニットの安全性及び有効性を確認することができた。一方、炉から排出される溶融物を受ける鋳型を一箇所の開口部から出し入れするため、鋳型移動時には熱回収を中断せざるを得ないなど連続処理には不向きであることから、今回、改良型の熱回収ユニットを開発することとした。

表 17 に示すとおり、処理後の溶融物を受ける鋳型は、「スタンバイ位置」→「出湯位置」→「熱回収位置」→「取出位置」の順に移動させていく必要がある。図 42 に改良型の熱回収ユニットを示すが、4つの鋳型の移動は同じタイミングで行う必要があるため、熱回収ユニットには二箇所の開口部を設け、鋳型は一方方向にワンスルーで移動可能な構造とした。具体的には、

熱回収ユニット入口に連結した鑄型を4台配置し、「スタンバイ位置」→「出湯位置」→「熱回収位置」→「取出位置」の順にローラコンベアで一方向に水平移動できるようにした。これにより、溶融物からの熱回収を連続的に行えるようになった。

表 17 実処理における鑄型の移動パターン

	溶融 処理	出湯	溶融 処理	出湯	溶融 処理	出湯	溶融 処理	出湯
処理工程	[Diagram showing processing steps with hatched rectangles and triangles]							
鑄型 1	出湯位置	熱回収位置	取出し位置	自然冷却 (取出し後)				
鑄型 2	スタンバイ位置	出湯位置	熱回収位置	取出し位置	自然冷却			
鑄型 3		スタンバイ位置	出湯位置	取出し				
鑄型 4			スタンバイ位置	出湯位置	熱回収位置			
・	・	・	・	・	・	・	・	・
・	・	・	・	・	・	・	・	・
・	・	・	・	・	・	・	・	・

4つの鑄型が同時に移動すれば最も効率的

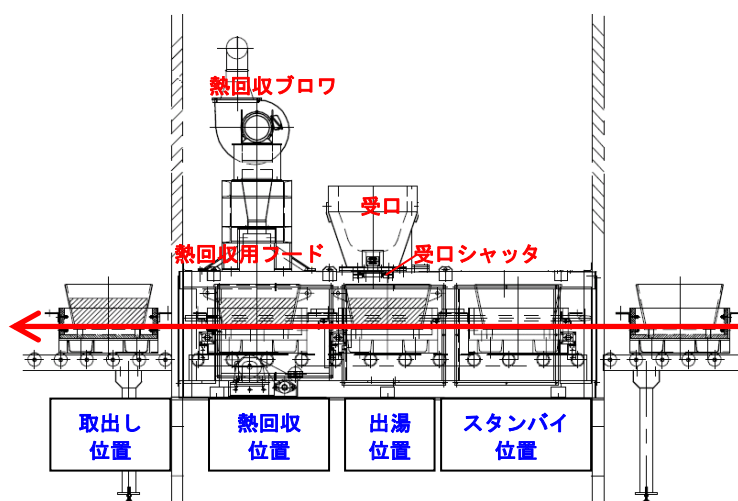


図 42 改良型熱回収ユニット

③ トレーラ仕様の検討

保温材自動投入機構や熱回収ユニットなど追加した一体化システムを搭載できるトレーラ台車の構造を検討した。台車は牽引用のトラクタと切り離し可能なセミトレーラとした。図 43 で示すとおり、セミトレーラには、低床式、中低床式、平床式などいくつかの種類があるが、機器をトレーラに搭載する際には高さ制限がクリチカルとなることから、車体中央部分が低く最も収納高さを確保できる中低床式セミトレーラを採用することとした。

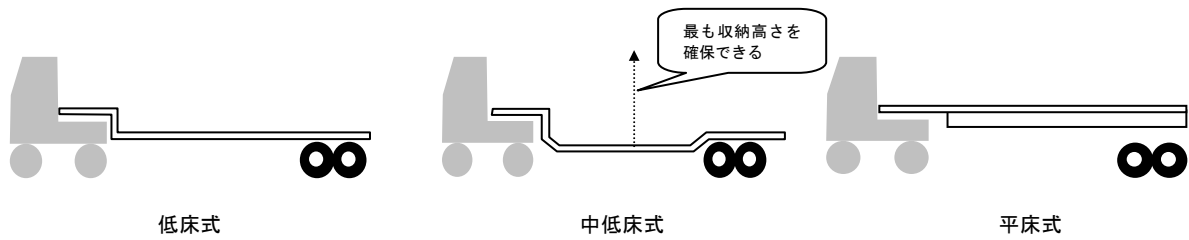


図 43 セミトレーラの種類

また、セミトレーラが公道を走るために遵守すべき必要な道路運送車両法の車両保安基準を表 18 に示すが、外寸法の他、重量や転倒防止角など様々な基準を満足させる必要がある。

これらの基準を満足しつつ、処理の動線を最適化したセミトレーラの装置搭載レイアウトを、図 44 に示す。なお、セミトレーラへの装置搭載に当たっては、目的に応じて、誘導加熱溶融炉をはじめとする処理装置を収めた「処理エリア」、保温材投入機構や集塵装置を収めた「処理物投入・集塵エリア」、制御盤をはじめ操作員が監視・操作を行う「制御・操作エリア」を3つのゾーンに区分けしアルミパネル外壁で覆った。特に、処理エリアは、負圧状態に維持することにより、アスベスト飛散防止の多重化を図っている。

表 18 セミトレーラの主な車両保安基準と仕様

項目	制限値	設計値
全長	12m 以下 (連結装置中心から当該セミトレーラ後端までの水平距離)	11.9m
幅	2.5m 以下	2.48m
高さ	3.8m 以下	3.79m
総重量	28t 以下 (連結装置中心から最後部の車軸中心までの水平距離が 9.5m 以上の場合)	28t 以下
安定性	転倒防止角 30° 以上 (車両総重量が車両重量の 1.2 倍以下の自動車の場合)	35° 以上

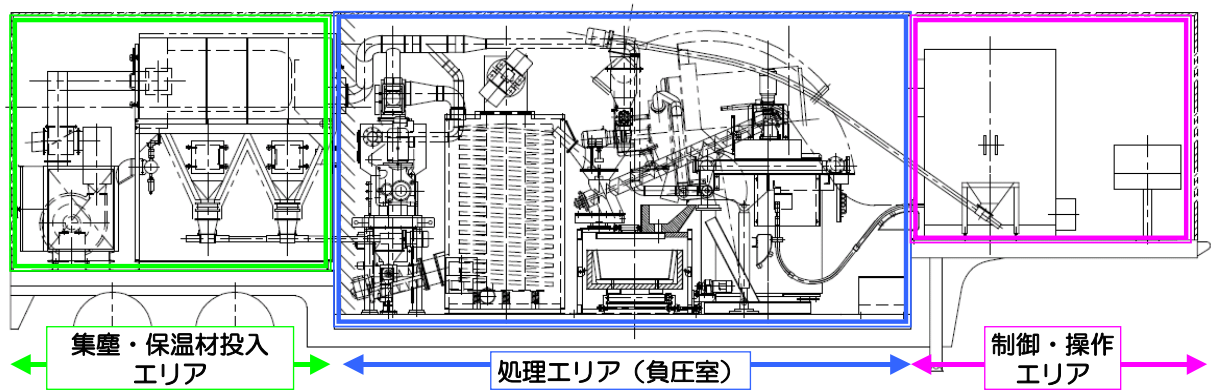


図 44 セミトレーラの装置搭載レイアウト

(2) トレーラへの架装および商用運転を想定した長時間連続運転

① トレーラへの架装

3. (1) の設計に基づき、機器が損傷しないよう細心の注意を払いながら、トレーラに機器とアルミパネルの架装を行った。

図 45 に完成したオンサイトシステムを示すが、トレーラの前室には操作者の出入口が、中室には点検用の扉が、後室には作業用作業台を兼ねた扉が設置されている。



図 45 完成したオンサイトシステム

② 商用運転を想定した長時間連続運転

a. 長時間連続運転

完成したオンサイトシステムを北陸電力の火力発電所に搬入・設置して、昼夜を通じた長時間連続運転試験を行った。試験時の状況を図 46 に示すが、実用化を念頭に今回、初めてトレ

ーラを屋外に設置し、雨じまい対策も施したうえで連続運転試験を行った。

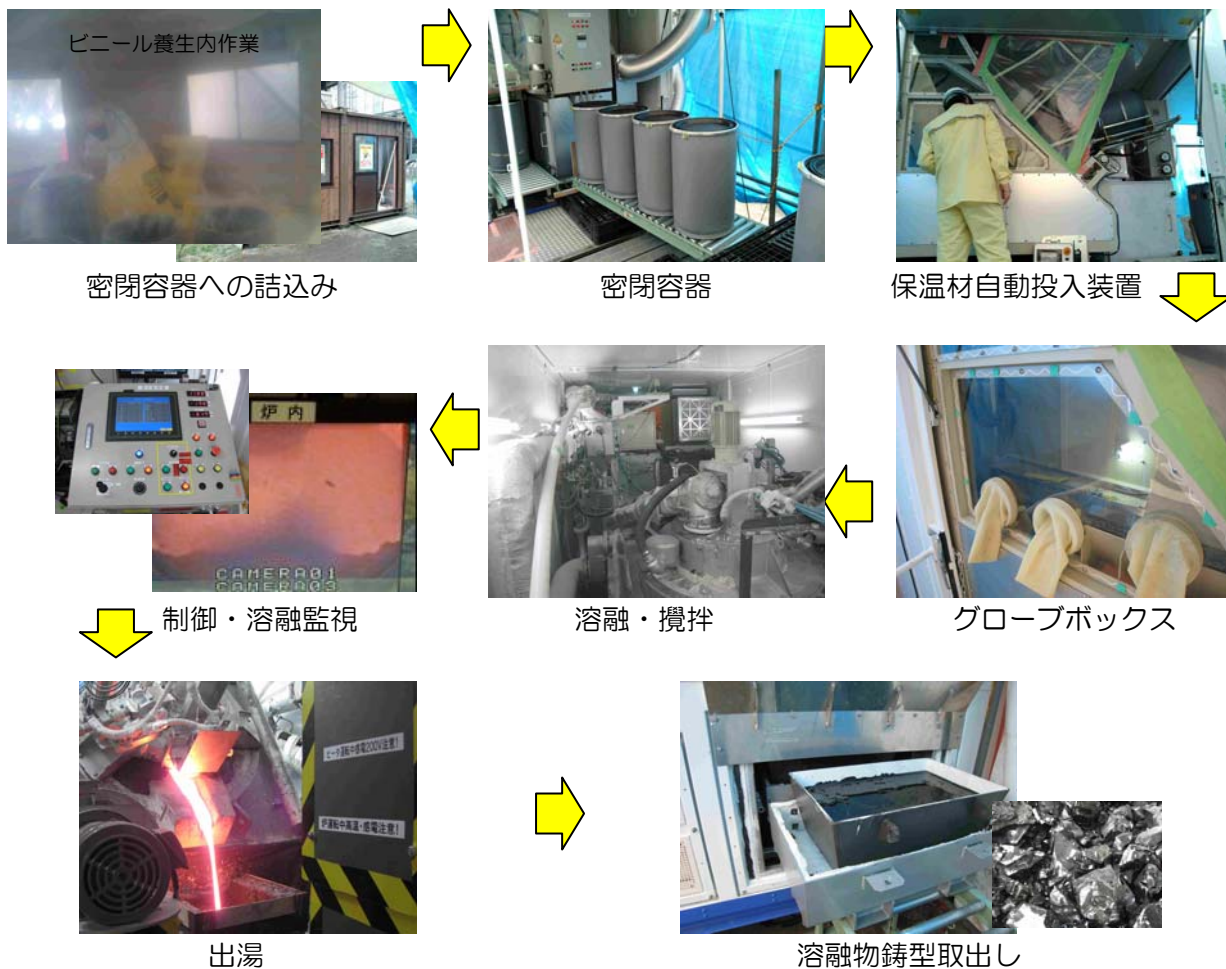
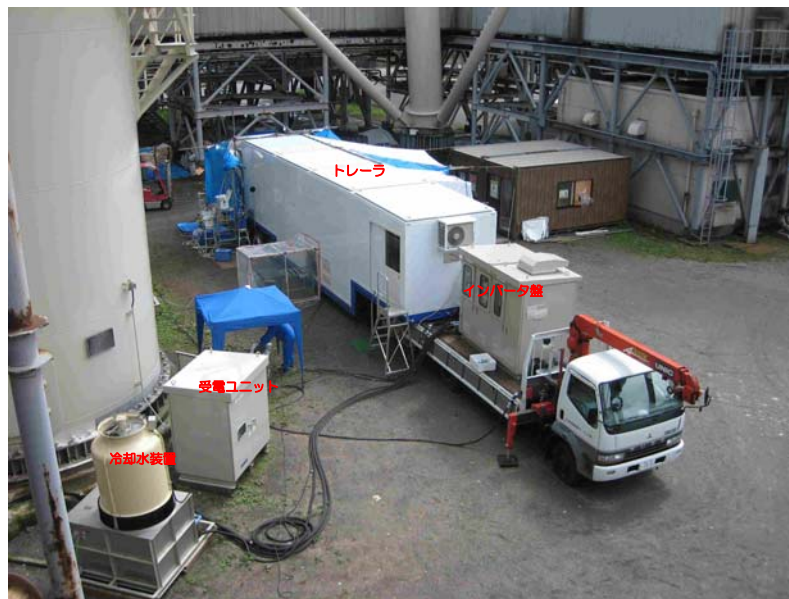


図 46 連続運転試験状況

図 46 に工程毎の状況を示すが、溶融処理に用いるアスベスト含有保温材は、プラスチック

製の専用の密閉容器（UN規格適合品）に詰め、重量を測定して、順次、保温材自動投入装置に持ち込みセットした。保温材自動投入装置により密閉容器から投入されたアスベスト含有保温材は、グローブボックス内のベルトコンベア上で異物の有無を確認した後、破砕機、搬送乾燥機の前処理工程を経て、アルカリ融剤とともに誘導加熱溶融炉へ供給される。誘導加熱溶融炉では、アスベスト綿含有保温材とアルカリ融剤を強制攪拌し、速やかに溶融物の中に分散させ溶融する。溶融物が一定レベルに達したことを炉内監視モニタで確認したら保温材の供給を停止し、溶融温度が 1,050℃以上（金属るつぼ温度 1,200℃）に回復するまで保持した後、誘導加熱溶融炉を傾動し溶融物の半量程度を金属製鋳型へ排出して 1 バッチが完了する。

なお、溶融物が入った金属製鋳型は、熱回収装置で空気と熱交換して高温の熱空気として搬送乾燥機に送り、保温材の乾燥に有効利用した。

図 47 に連続運転試験実績を示す。搬入・設置後からノンアス保温材で 4 日間、アスベスト含有保温材で 2 日間の計 6 日間、誘導加熱溶融炉を停止させることなく運転したが、各装置の機能面での大きな不具合は発生しなかった。

(連続運転試験実績)

	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目
ノンアス保温材 溶融試験						
アスベスト含有 保温材溶融試験						
ノンアス保温材 ラインパージ処理						□

図 47 連続運転試験実績

また、図 48 に、試験中の各種データを示すが、溶融温度を制御している金属るつぼ温度は、1,190～1,200℃の範囲で推移しており、溶融処理中の炉内圧力も変動がみられるものの負圧状態を維持している。

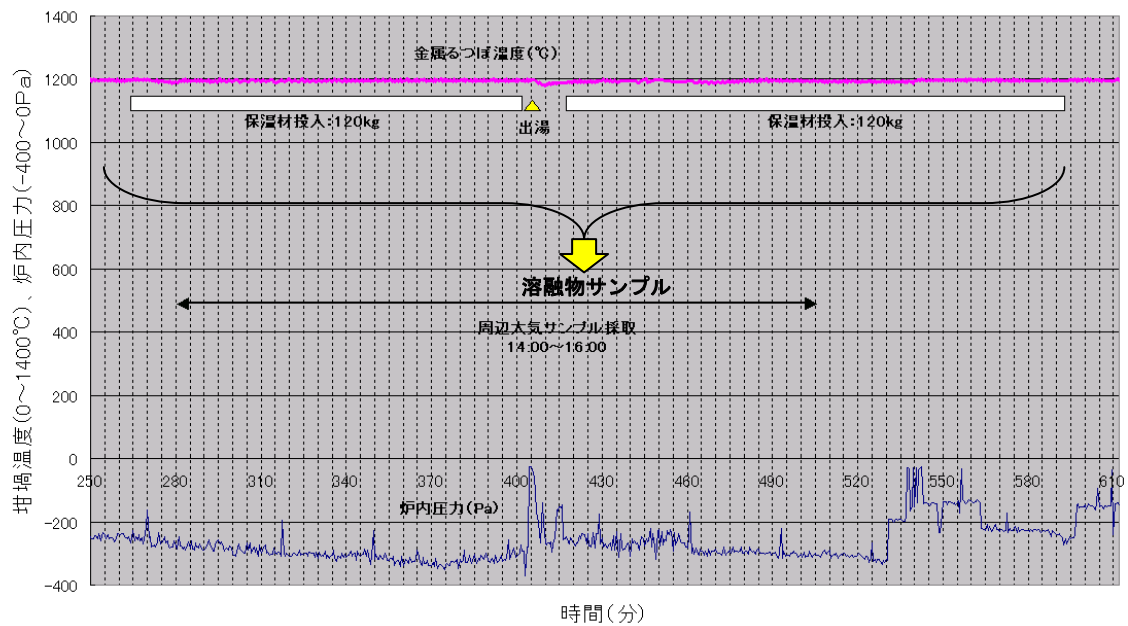


図 48 試験データ

さらに、溶融処理を行った 2 回分の溶融物のサンプルについて、公定法 JIS A1481 によりアスベスト濃度を測定したところ、表 19 に示すとおりアスベストは検出されず、確実に無害化処理できていることを確認した。X線回折分析結果でも図 49 に示すとおり、アスベストに起因するピークは消失し、それ以外の結晶化ピークも消失していることから、溶融物はきれいにガラス化していることがわかる。

表 19 アスベスト含有保温材および溶融物のアスベスト濃度測定結果

分析項目	試料	分析方法	分析結果	定量下限
石綿含有量	保温材	JIS A1481	アモサイト 0.3% 〔それ以外の 5 種類の 石綿は不検出〕	0.1%
石綿含有量	溶融物	JIS A1481	不検出	0.1%

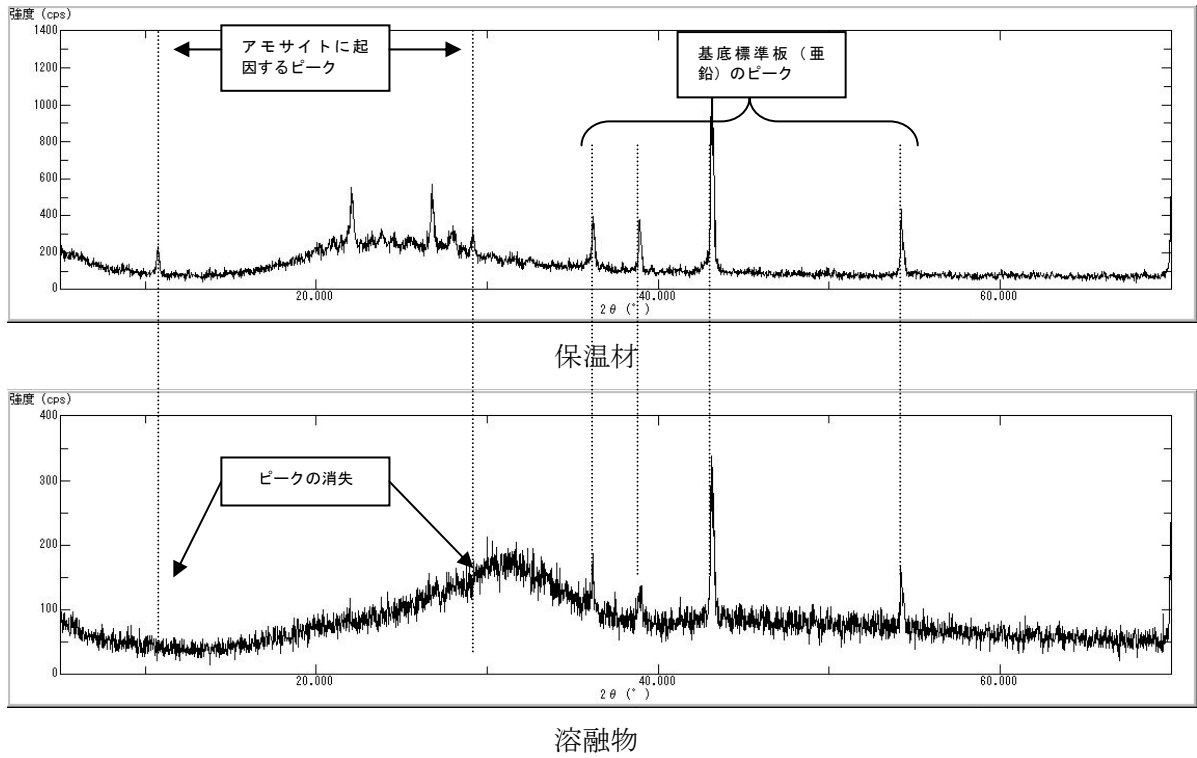


図 49 溶融前後サンプルの X線回折分析結果

一方、図 50 に示す箇所で溶融処理中に周辺大気環境中のアスベスト濃度を測定したが、表 20 のとおりアスベストは検出されなかった。

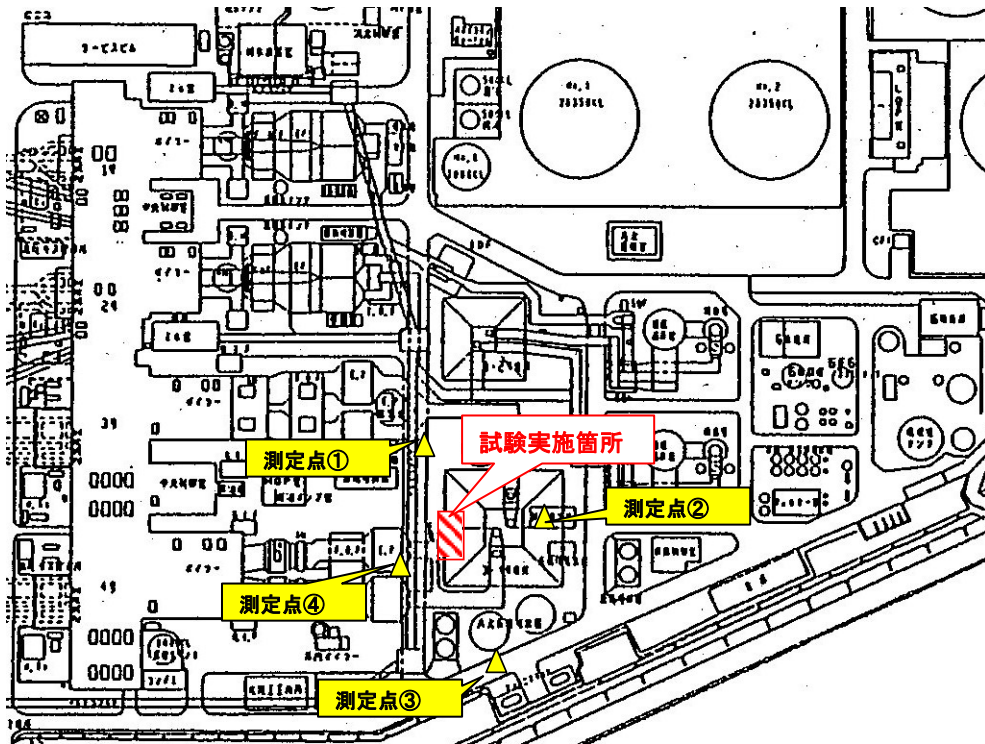


図 50 装置周辺大気の測定点

表 20 周辺大気のアスベスト濃度測定結果

(周辺大気)

分析項目	採取場所		分析方法	分析結果	定量下限
石綿濃度 (単位:本/L)	③	測定点 1	石綿に係る特定粉じんの濃度の測定方法(平成元年環境庁告示第 93 号)	不検出	0.3
	④	測定点 2		不検出	
	⑤	測定点 3		不検出	
	⑥	測定点 4		不検出	

b. 受電ユニットの開発

これまでの装置受電方法は、誘導加熱溶融炉用インバータ盤は440V系統から、トレーラ内の各装置は210V系統と別々の電源系統で受電していたが、電源接続のしやすさなど一括受電できる場合のメリットは大きい。また、(2)②の試験で判明した受電機器からの高調波発生に対して、事業化するには電源供給元となる客先のプラント制御などに外乱を与えることのないよう、一括受電したポイントで高調波抑制することが望ましい。

以上の理由から、新たに高調波抑制のためのフィルタを内蔵した一括受電可能な受電ユニットを開発することとした。図 51 に開発した受電ユニットを示すが、高調波フィルタは、事前にフィルタ接続前の高調波成分を調査したうえでの設計した。また、図 51 に受電ユニット接続前後の高調波測定結果を示すが、電圧ひずみ率が目標以下まで低下するとともに、各高調波成分も高調波抑制対策技術指針の基準値以下まで低減していることがわかり、十分高調波抑制がなされていることがわかった。

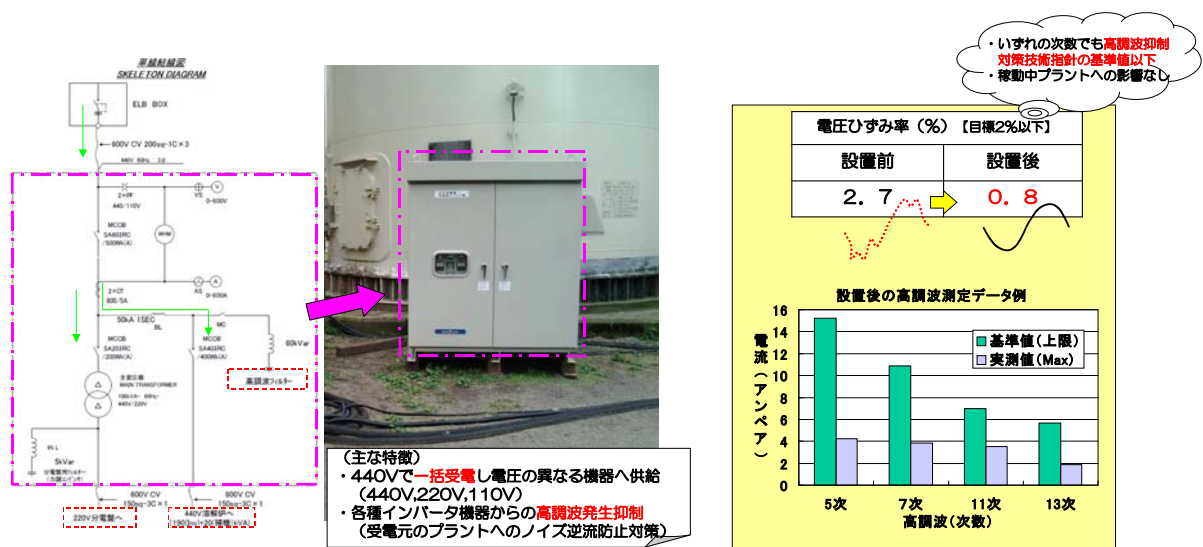


図 51 受電ユニット設置効果の確認

(3) 実証試験による安全性および実用化評価

① 実証試験

前述の長時間連続運転試験結果を踏まえ、誘導炉本体や周辺装置の点検・保守を行った後、別の火力発電所に移動し最終の実証試験を行った。試験時の状況を図 52 に示す。

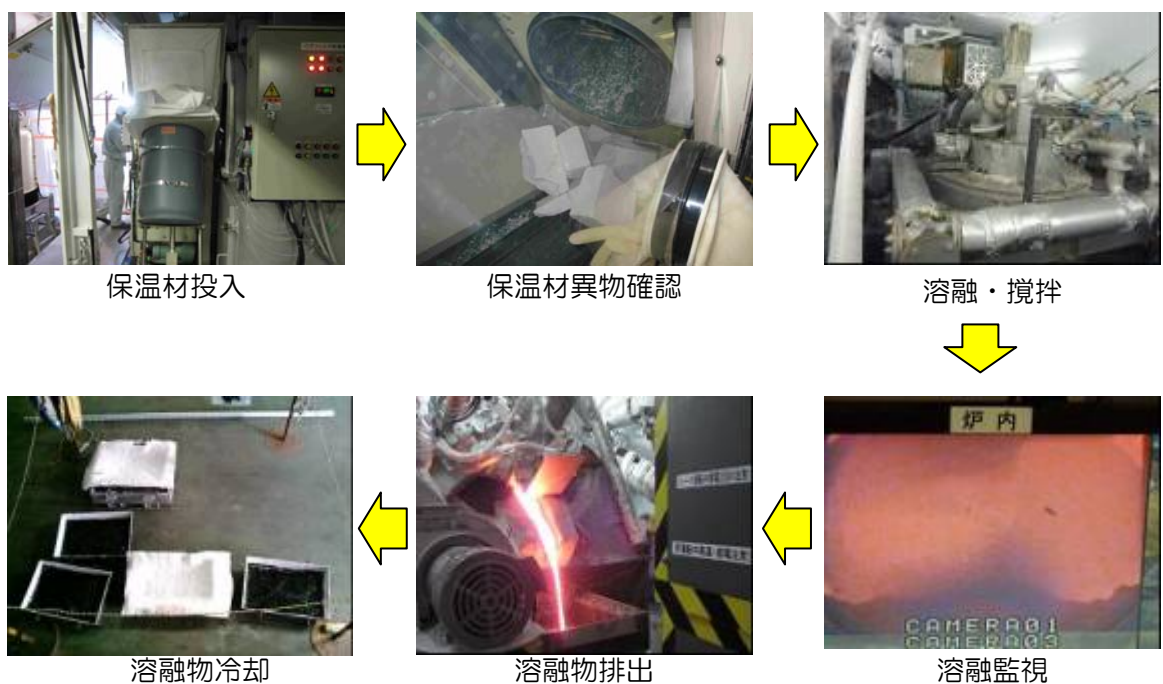


図 52 実証試験状況

図 53 に実証試験時のデータを示すが、アスベスト含有保温材の投入は、安全安定運転を最優先に限られた試験材料の中で分析試料のサンプリング時間を確保するため、4 バッチに分けて投入した。

溶融温度を制御している金属るつぼ温度は、1,190～1,200℃の範囲で維持しており、溶融温度が一定に保たれていることがわかる。なお、金属るつぼ温度を 1,200℃で制御することにより、溶融設定条件である 1,050℃以上を保持できることを事前に確認している。

また、アスベスト含有保温材の投入は、炉内監視モニタにより溶融状態及び湯面レベルを定期的に監視しつつ行った。溶融処理中の炉内圧力は変動がみられるものの負圧状態を維持しており、投入完了後は、金属るつぼ温度の 1,200℃復帰と溶融状態の確認を行い、誘導加熱溶融炉を傾動させ金属製鋳型に溶融物を排出した。

なお、溶融物のサンプルは、翌日、放冷した溶融物から、集塵装置排ガス、負圧集塵機排気及び周辺大気のサンプル採取は、溶融処理中に 4 時間かけて採取した。

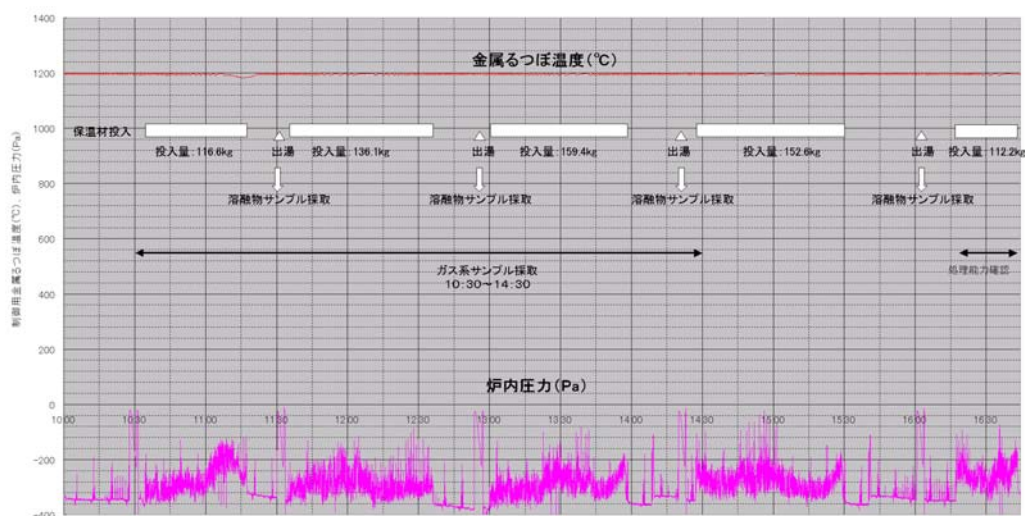


図 53 実証試験データ

溶融物のサンプルについて、公定法である JIS A1481 によりアスベスト濃度を測定したところ、表 21 に示すとおりアスベストは検出されず、確実に無害化処理できていることを確認した。また、図 63 に X 線回折分析結果を示すが、アスベストに起因するピークは消失し、それ以外の結晶化ピークも消失していることから、溶融物はきれいにガラス化していることがわかる。

さらに、環境省の「石綿を含む廃棄物における無害化処理認定制度申請の手引き(第 1 版)」に基づく電子顕微鏡分析 (TEM 法) も実施したが、アスベストが検出されなかった。

表 21 アスベスト含有保温材および溶融物のアスベスト濃度測定結果

分析項目	試料	分析方法	分析結果	定量下限
石綿含有量	保温材	JIS A1481	アモサイト 0.3% { それ以外の 5 種類の 石綿は不検出 }	0.1%
石綿含有量	溶融物	JIS A1481	不検出	0.1%
		TEM 法	不検出	1Mf/g

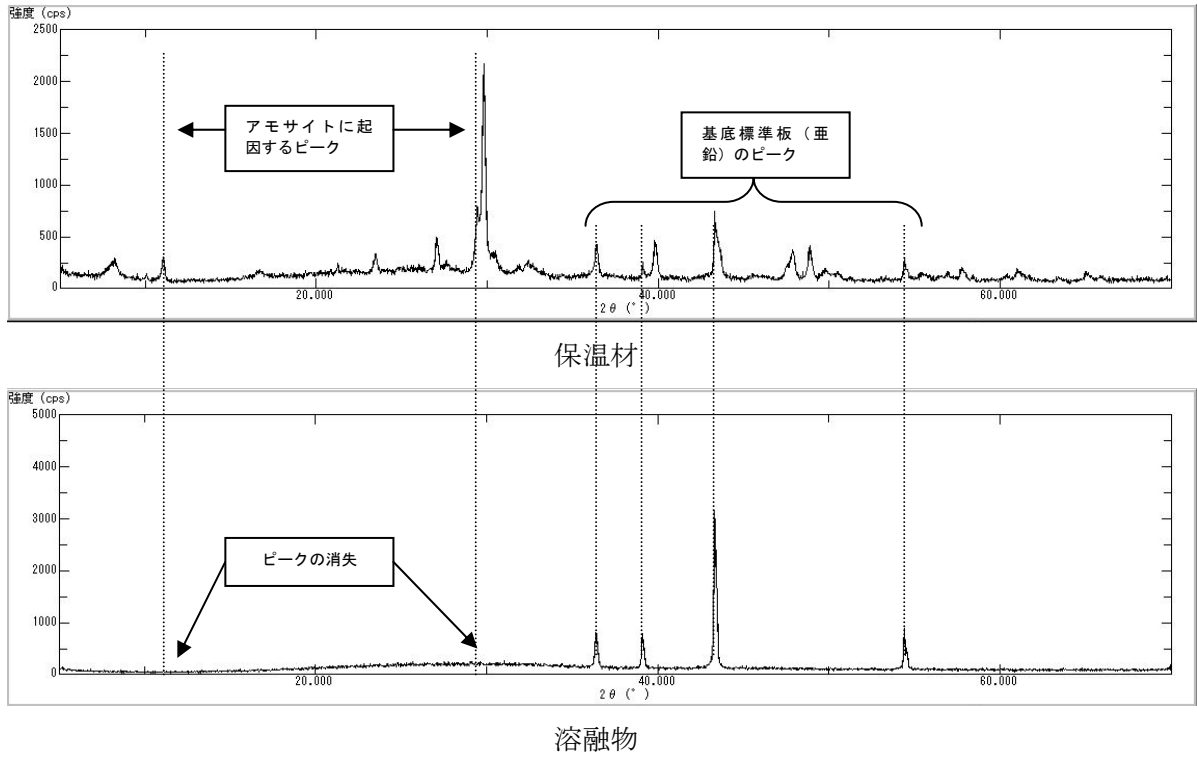


図 54 溶融前後サンプルの X線回折分析結果

溶融処理中の排気および装置周辺大気環境中のアスベスト濃度を図 55 に示す箇所で測定したが、表 22 に示すとおりアスベストは検出されず、システムの安全性を確認した。

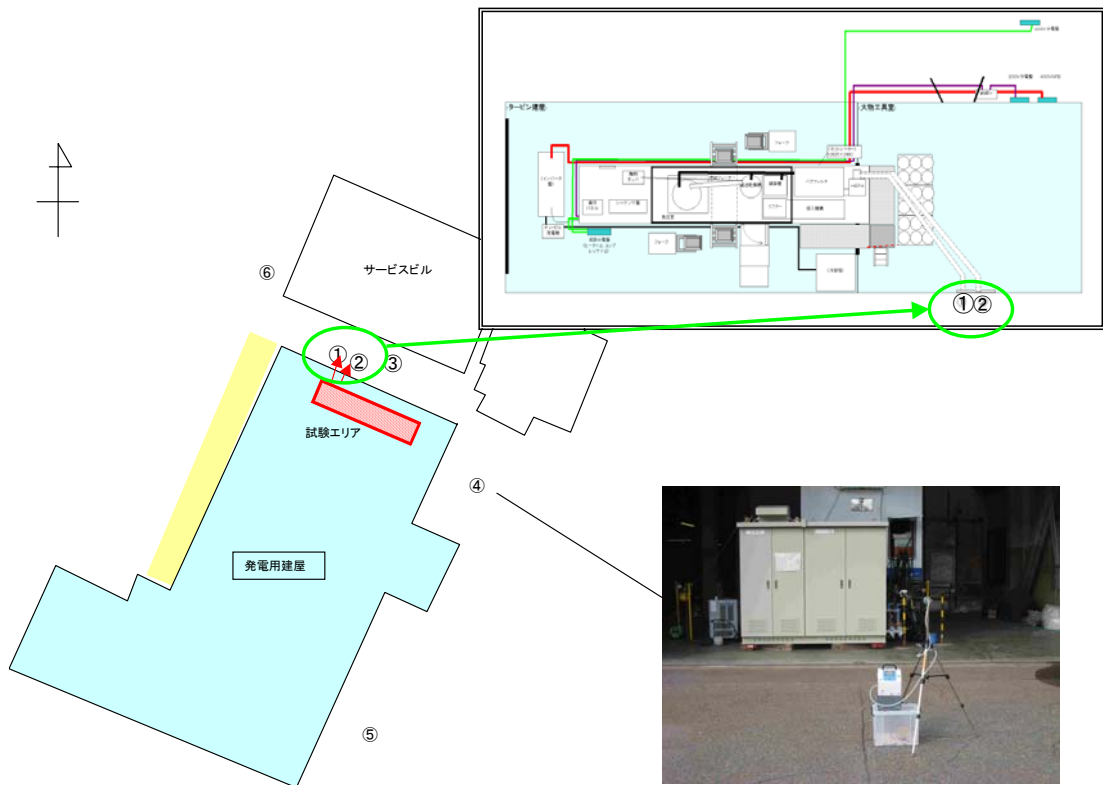


図 55 装置排気および周辺大気のアスベスト濃度測定位置

表 22 装置排気および周辺大気のアスベスト濃度測定結果

(装置排気)

分析項目	採取場所		分析方法	分析結果	定量下限
石綿濃度 (単位：本/L)	①	集塵装置排気口 (HEPA 出口)	石綿を含む廃棄物における 無害化処理認定制度申請の 手引き(第1版) 別添1 廃棄物処理施設に係る石綿 のサンプリング・分析方法 の概要[暫定版]	不検出	0.3
	②	トレーラ負圧室排気口 (HEPA 出口)		不検出	

(周辺大気)

分析項目	採取場所		分析方法	分析結果	定量下限
石綿濃度 (単位：本/L)	③	測定点 1	石綿に係る特定粉じんの濃 度の測定方法(平成元年環 境庁告示第93号)	不検出	0.3
	④	測定点 2		不検出	
	⑤	測定点 3		不検出	
	⑥	測定点 4		不検出	

② 生活環境影響評価

国の無害化処理認定を取得するためには、生活環境影響評価の実施が不可欠であることから、発電所敷地周辺大気中のアスベスト濃度や騒音・振動を評価項目として選定し、現況調査や拡散シミュレーションを行った。

なお、大気質予測は、廃棄物処理施設生活環境影響調査指針(環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部平成18年9月)の資料2-2大気質関連の小規模施設の簡易的長期平均濃度(年平均値)予測手法に基づき、表23の排ガス条件を用いて行った。また、騒音・振動については表24の条件を用いて距離減衰の計算を行った。

表 23 予測に用いた排出ガスの条件

項目	単位	集塵装置出口	負圧集塵機出口
排ガス量	m^3_N/h	1,200	2,700
排ガス温度	°C	100	50
排気口高さ	m	4	4
石綿濃度	本/ℓ	0.3	0.3

表 24 予測に用いた騒音・振動の条件

項目	単位	条件
基準点での騒音レベル (L_{Aeq})測定値 L_0 ※	dB	72
基準点での振動レベル (L_{10})測定値 VL_0 ※	dB	50
音源から基準点までの距離 r_0	m	1.0
計画地から敷地境界地点までの距離 r		250

※ 実証試験結果に基づく実測値

表 24 に発電所敷地周辺での現況把握と影響評価結果を示すが、いずれの項目も現況と変わらず、オンサイトシステムによる環境への影響はないと考えられる。

表 24 発電所敷地周辺での影響評価結果

環境要素	現況の把握	予測結果																																										
大気質／石綿	<p>(単位：本/ℓ)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>季節</th> <th>結果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>春季</td> <td>不検出</td> </tr> <tr> <td>夏季</td> <td>不検出</td> </tr> <tr> <td>秋季</td> <td>不検出</td> </tr> <tr> <td>冬季</td> <td>不検出</td> </tr> </tbody> </table> <p>注) 不検出とは、定量下限値の0.3本/ℓ未満をいう。</p>	季節	結果	春季	不検出	夏季	不検出	秋季	不検出	冬季	不検出	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">最大着地位置</th> <th rowspan="2">単位</th> <th colspan="2">発電所の設置予定での最大影響濃度</th> </tr> <tr> <th>設置予定地 北北西 35m</th> <th>設置予定地 南西 35m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>付加される影響濃度</td> <td>本/ℓ</td> <td>0.00000136</td> <td>0.00000063</td> </tr> <tr> <td>現況濃度</td> <td>本/ℓ</td> <td>不検出 (0.3 未満)</td> <td>不検出 (0.3 未満)</td> </tr> <tr> <td>将来予測濃度</td> <td>本/ℓ</td> <td>不検出 (0.3 未満)</td> <td>不検出 (0.3 未満)</td> </tr> <tr> <td>敷地境界許容限度</td> <td>本/ℓ</td> <td colspan="2">10</td> </tr> </tbody> </table>	最大着地位置	単位	発電所の設置予定での最大影響濃度		設置予定地 北北西 35m	設置予定地 南西 35m	付加される影響濃度	本/ℓ	0.00000136	0.00000063	現況濃度	本/ℓ	不検出 (0.3 未満)	不検出 (0.3 未満)	将来予測濃度	本/ℓ	不検出 (0.3 未満)	不検出 (0.3 未満)	敷地境界許容限度	本/ℓ	10											
季節	結果																																											
春季	不検出																																											
夏季	不検出																																											
秋季	不検出																																											
冬季	不検出																																											
最大着地位置	単位	発電所の設置予定での最大影響濃度																																										
		設置予定地 北北西 35m	設置予定地 南西 35m																																									
付加される影響濃度	本/ℓ	0.00000136	0.00000063																																									
現況濃度	本/ℓ	不検出 (0.3 未満)	不検出 (0.3 未満)																																									
将来予測濃度	本/ℓ	不検出 (0.3 未満)	不検出 (0.3 未満)																																									
敷地境界許容限度	本/ℓ	10																																										
騒音	<p>(単位：dB)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">区分</th> <th rowspan="2">時間帯</th> <th colspan="2">調査地点</th> </tr> <tr> <th>①</th> <th>②</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">平日</td> <td>昼間</td> <td>44</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>夜間</td> <td>39</td> <td>37</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">休日</td> <td>昼間</td> <td>41</td> <td>42</td> </tr> <tr> <td>夜間</td> <td>36</td> <td>37</td> </tr> </tbody> </table>	区分	時間帯	調査地点		①	②	平日	昼間	44	45	夜間	39	37	休日	昼間	41	42	夜間	36	37	<p>(単位：dB)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">区分</th> <th rowspan="2">時間帯</th> <th colspan="2">予測地点</th> <th rowspan="2">協定値</th> </tr> <tr> <th>①</th> <th>②</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">平日</td> <td>昼間</td> <td>44</td> <td>45</td> <td rowspan="4">55</td> </tr> <tr> <td>夜間</td> <td>39</td> <td>37</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">休日</td> <td>昼間</td> <td>41</td> <td>42</td> </tr> <tr> <td>夜間</td> <td>36</td> <td>37</td> </tr> </tbody> </table>	区分	時間帯	予測地点		協定値	①	②	平日	昼間	44	45	55	夜間	39	37	休日	昼間	41	42	夜間	36	37
区分	時間帯			調査地点																																								
		①	②																																									
平日	昼間	44	45																																									
	夜間	39	37																																									
休日	昼間	41	42																																									
	夜間	36	37																																									
区分	時間帯	予測地点		協定値																																								
		①	②																																									
平日	昼間	44	45	55																																								
	夜間	39	37																																									
休日	昼間	41	42																																									
	夜間	36	37																																									
振動	<p>(単位：dB)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">区分</th> <th rowspan="2">時間帯</th> <th colspan="2">調査地点</th> </tr> <tr> <th>①</th> <th>②</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">平日</td> <td>昼間</td> <td>31</td> <td><30</td> </tr> <tr> <td>夜間</td> <td><30</td> <td><30</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">休日</td> <td>昼間</td> <td><30</td> <td><30</td> </tr> <tr> <td>夜間</td> <td><30</td> <td><30</td> </tr> </tbody> </table>	区分	時間帯	調査地点		①	②	平日	昼間	31	<30	夜間	<30	<30	休日	昼間	<30	<30	夜間	<30	<30	<p>(単位：dB)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">区分</th> <th rowspan="2">時間帯</th> <th colspan="2">予測地点</th> </tr> <tr> <th>①</th> <th>②</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">平日</td> <td>昼間</td> <td>31</td> <td><30</td> </tr> <tr> <td>夜間</td> <td><30</td> <td><30</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">休日</td> <td>昼間</td> <td><30</td> <td><30</td> </tr> <tr> <td>夜間</td> <td><30</td> <td><30</td> </tr> </tbody> </table>	区分	時間帯	予測地点		①	②	平日	昼間	31	<30	夜間	<30	<30	休日	昼間	<30	<30	夜間	<30	<30		
区分	時間帯			調査地点																																								
		①	②																																									
平日	昼間	31	<30																																									
	夜間	<30	<30																																									
休日	昼間	<30	<30																																									
	夜間	<30	<30																																									
区分	時間帯	予測地点																																										
		①	②																																									
平日	昼間	31	<30																																									
	夜間	<30	<30																																									
休日	昼間	<30	<30																																									
	夜間	<30	<30																																									

③ 処理能力確認試験

解体・除去されたアスベスト含有保温材は、使用上の制約が多いうえ、含水率のバラツキが大きく安定状態における処理能力を把握できないことから、製品のノンアスベストのケイ酸カルシウム保温材を一定含水率に調整したサンプルを用いて処理能力確認試験を行った。なお、保温材の含水率は、本オンサイトシステムの想定範囲の上限値で蒸発潜熱によるロスも大きい50%に調整した。

溶融処理試験時の各種データを図 56 に示すが、1 バッチ処理でトータル 96kg の保温材を投入し、溶融完了後に溶融物を金属製鋳型に排出して投入を再開するまでの一連の操作を 26 分間で終了した。この結果を基に 1 時間当たりの処理量を計算すると 222kg/h となり、要求される 208kg/h 以上の処理能力を有していることが検証された。

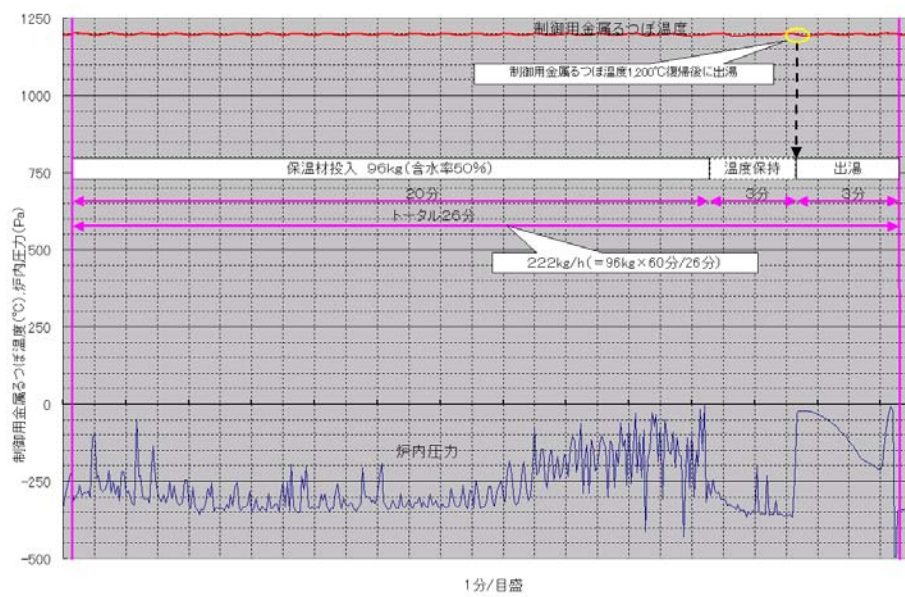


図 56 処理能力確認試験各種データ

(4) 緊急時対応システムの構築と作動確認試験

トレーラの実用化には、地震や停電などの緊急時、トラブル時のアスベスト飛散や機器損傷などのリスクを回避し、自動的に安全停止するシステムの構築が不可欠である。図 57 に示す不安全事故に対する対応策について、システム構築に必要な仕様・諸元を検討し、緊急時対応システムを構築した。

	緊急事態	不安全事故	対応策
停電時	制御・監視機能喪失	・シーケンサおよびセンサ機能喪失 ⇒ 装置の状態把握不能	(停電時) ・保安用電源バックアップシステム開発 ・保安上重要な電源系統の集合化及び電源供給 (シーケンサ、集塵系、冷却水装置等) (地震時) ・炉、搬送系自動停止のインターロック化
	負圧維持機能喪失	・集塵系(集塵装置および負圧集塵機)ファン停止 ⇒ トレーラから大気へのアスベスト飛散の恐れ	
	冷却水喪失	・誘導加熱炉冷却水ポンプ停止 ⇒ 誘導コイルの破損の恐れ	
地震発生時		・機器の干渉による密閉性破壊 ⇒ トレーラから大気へのアスベスト飛散の恐れ	

緊急時にもアスベストを外部に漏洩させない保安機能が必要

緊急時対応システムの開発

図 57 緊急事態発生時の不安全事故と対応策

図 58 に示す電源バックアップシステムは、シーケンサ用と動力用の 2 系統の UPS を一体化したシステムと長時間の停電補償を行うディーゼル発電機から構成されている。

UPS システムは、オンサイトシステム専用に回路を見直すことで、市販の UPS より小型でコンパクトに仕上がったことから、トレーラ室内への設置も実現できた。さらに、UPS システムを可搬式とすることで、処理装置本体が長期スタンバイ状態となった場合でも、UPS システムだけを充電しておくことが可能となった。

また、発電所構内での実証試験期間中、構築した緊急時対応システムの作動確認試験を行った。図 59 に示すとおり、地震状態や停電状態を模擬し、装置の自動的な安全停止状況や、周囲へのアスベスト粉塵飛散防止するためのブロウ運転継続状況などの作動確認を行い、システム構築によるトラブル時の安全性向上策の有効性を確認した。

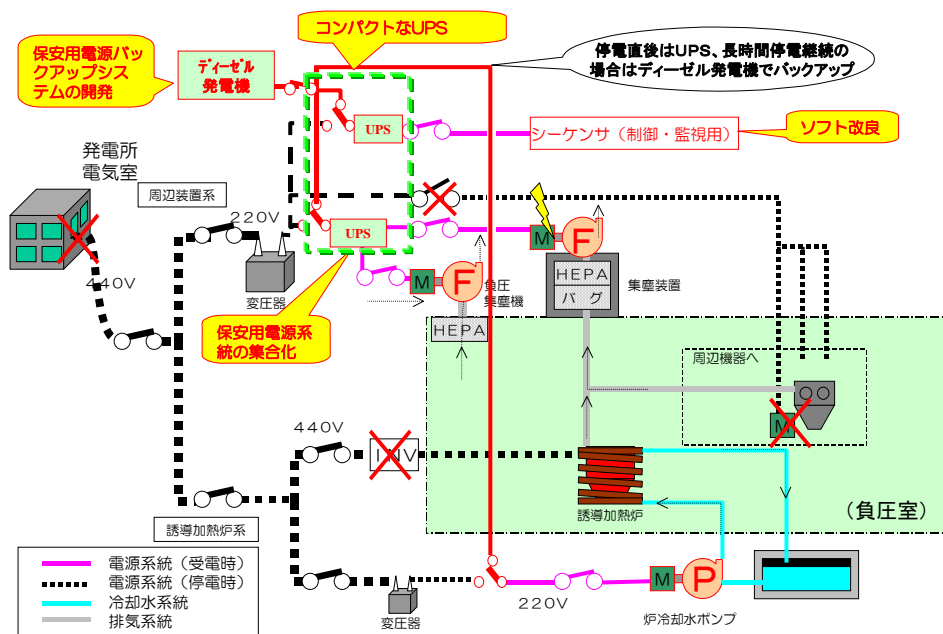


図 58 緊急時対応システム（電源バックアップシステム）



試験	結果	備考
電源バックアップ作動試験	作動良好	<ul style="list-style-type: none"> ・排気系運転継続 ・機器停止異常なし ・1分50秒でディーゼル負荷移行
地震時停止インターロック作動試験	作動良好	<ul style="list-style-type: none"> ・機器停止異常なし ・排気系運転継続

図 59 緊急時対応システム作動試験結果

4. 実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定

(1) ビジネスモデルの検討

① オンサイト式溶融・無害化処理システム

本プロジェクトが目指すビジネスモデルは、これまで開発したオンサイトシステムを活用したアスベスト処理の事業化であるが、これは以下の背景や課題を踏まえたものである。

- ・ 健康被害に対する住民不安から、今後、溶融処理施設の新規建設が難航すると予想されること
- ・ 安全かつ低コストの無害化技術の早期開発が期待される中、当社で誘導加熱とアルカリ融剤を併用した溶融・無害化($< 1,100^{\circ}\text{C}$)技術を確立したこと
- ・ アスベストの高度な無害化処理技術を環境大臣が認定する制度が創設されたこと（平成 18 年 10 月施行）

具体的には、オンサイトシステムをアスベスト建材等の解体現場に搬入・設置して、解体・除去から無害化までを一貫して安全かつ短期間に完結する事業を目指している。

本事業が実現すれば、アスベスト処理に関する住民不安が軽減し、アスベスト無害化処理の進展が図られることが期待される。

② 国内への水平展開とネットワーク化

a. 国内ネットワークの構築

トレーラに搭載したオンサイトシステム 1 台の処理能力は限られていることから、オンサイト式の特徴を活かして図 60 に示すような全国的なネットワークを構築すれば、ピーク時に相互応援することが可能となり、設備稼働率の向上については経営環境の安定化が期待できる。

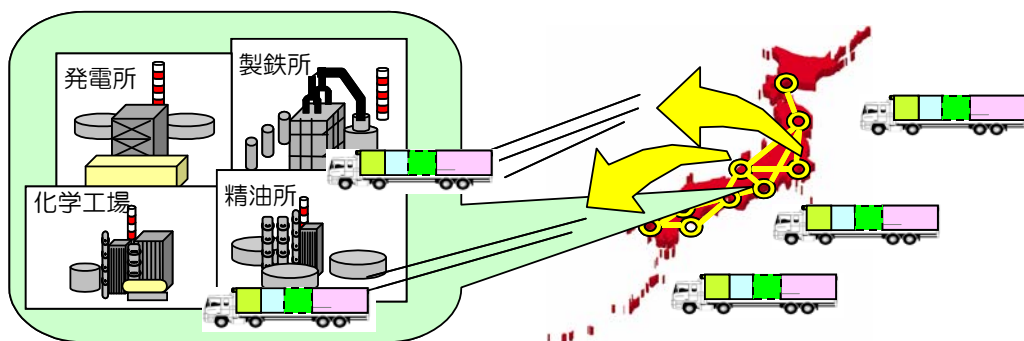


図 60 国内ネットワークのイメージ図

b. ネットワークの規模と参入対象

ネットワーク構築にあたっては、処理の対象となるアスベスト含有保温材の発生箇所や発生量についての事前調査が重要である。

今回、ネットワーク構築の参入対象として想定している電力会社の他、鉄鋼会社、石油会社、化学会社の各1社に対してアンケート調査を行い、アスベスト含有保温材の排出実態について調査した。表22に各業界4社のアスベスト含有保温材排出実態調査結果を示す。

表 22 各種業界 4 社のアスベスト含有保温材排出実態調査結果

	A社	B社	C社	D社
使用用途	配管保温材	配管保温材	蒸気配管保温材 タンク保温材	配管保温材
廃棄される タイミング	定期修理時	定期修理時	保温ラッキング 補修時 解体撤去作業時	定期検査時
発生頻度	未回答	1回/年	1回/2年程度	1回/年 (プラント当り)
発生量	未回答	約60t/回	10~20t/ 回	約100m ³ /回

表 22 に示すとおり、4 業界いずれもアスベスト含有保温材の排出実態は似通っており、ネットワーク構築の際には、参入対象候補として有望であることがわかった。

また、アスベスト含有保温材の発生予想箇所は、火力・原子力発電所、自家用発電プラントだけでも大小合わせ全国に約3,200あり、発生量は当社だけでも数千m³、一般電気事業者全体に拡大すると20~30万m³、さらに製鉄所、化学工場および石油精製工場が加わるとより膨大な量が解体・廃棄されると推計される。

c. 吹付け材処理への適用について

これまで、オンサイトシステムの開発は、アスベスト含有保温材の処理に特化してきた。特化した理由としては、①開発者自らが大量に保温材を保有する排出事業者であること以外に、②保温材の大量廃棄が期待できるのは大規模工場であり、トレーラに搭載したオンサイトシステムの搬入・設置が容易である、③廃棄保温材は比較的均一な素性であり、過剰な設備増強を省いたコンパクトなシステム作りが可能である、といった保温材の廃棄実態とオンサイトシステムの技術的特徴がうまく合致していることがあげられる。

一方、もうひとつの飛散性アスベスト廃棄物である吹付け材についても、無害化処理の推進が大きな課題となっており、本オンサイトシステムのビジネスモデルを適用する際の課題について検討を行うこととした。なお、「3. 吹付けアスベスト無害化・資源化処理の研究」でも述べたが、開発したオンサイトシステムを吹付け材にも適用する際には、さらなる技術的検討が重要である。従って今回のこの検討は、これら技術的課題がクリアされ

たことを前提としていることに注意されたい。

吹付け材の排出実態の特徴として、処理箇所（＝解体現場）として工場の他あらゆる建物が対象となることや、廃棄される吹付け材の物性も多種多様となることが想定される。オンサイトシステムを用いたビジネスモデルを適用する際には、まず処理箇所および廃棄される吹付け材種類の限定が重要となる。

処理箇所については、処理のための十分なスペース（設置場所、廃棄物仮置き場等）とユーティリティ（電気、水等）確保が可能な場所に限定される。また、排出される頻度は、大規模工場のような定期検査に伴う定期的な排出と異なり、大半が解体を行う1度に限られることから、処理箇所ごとに行う必要がある認定申請など手続きの煩雑さなども大きな課題になると考えられる。

また、吹付け材の物性については、多量の有機物を含む加工がなされているような場合、排ガス処理設備増強など追加の対応が必要でオンサイトシステムへの適用が困難となるため、事前に廃棄される吹付け材の十分な調査を行い無害化処理の可否を判断すべきである。

また、スクラップアンドビルトを行う建物の解体工事の場合は、工期の関係上、特に短期間で解体を終了する必要があることから、解体業者との綿密な工程管理や調整も重要となる。

(2) 導入シナリオ

前述したとおり、オンサイトシステムによるビジネスモデルの最終形は、国内ネットワークの構築にある。オンサイトシステムの国内ネットワーク化に向け、課題を整理したうえで、導入シナリオを検討することとした。

① 課題の整理

a. ハード面の課題

(a) 装置の信頼性向上

これまでのプロジェクトでは、試験に伴い必要となる最低限のアスベスト含有保温材で実証試験を行い、アスベスト飛散防止や無害化の確実性を主眼にオンサイトシステムの開発を行ってきた。

従って、開発したオンサイトシステムの商用化には、長期間にわたって数多くのアスベスト含有保温材処理の実績を重ねながら、装置の信頼性を向上させていく必要がある。特に設備面およびコスト面で鍵となる誘導加熱溶融炉の消耗部材の信頼度向上と修繕コスト低減に向けた検討は重要である。

(b) 処理箇所の拡大

これまで処理箇所としては、発電所構内を想定してきたが、ビジネス化にあたっては他業種工場へも適用を拡大する必要がある。しかし、他業種工場でオンサイトシステムを搬入・設置する場合の課題についてアンケート調査したところ、発電設備以外の工場には、オンサイトシステムの受電電圧である 400V の電源供給設備がないことが判明した。従って、商用電源を利用するための変圧器など新たな設備の設置が必要である。

(c) 溶融物の再資源化

平成 18 年度に行った研究開発では、溶融物を路盤材として再利用できることを確認した。しかし、路盤材製造会社側は、溶融物の「一定量以上の安定供給」と「仕様の満足」を購入の条件としており、少量の溶融物が分散して発生するオンサイトシステムには不利な条件となる。また、元々アスベストを含有していたことに対する再資源化物の風評被害の懸念や、無害化された溶融物の利用先までのトレーサビリティが困難であるといった理由から、現状、溶融物を埋立処分せざるを得ない状況にある。埋立処分費は処理コストアップの要因にもつながることから、今後も利用先および方法について、検討していく必要がある。

b. ソフト面の課題

(a) リスクマネジメント整備

本ビジネスモデルの特徴は、オンサイトによる解体・除去から無害化までの一貫処理することにあるが、根本的な大前提として安全性は欠かせない。人的、設備的なミスで住民不安を招くような事態に陥れば、マスコミや口コミで一気に事業の存続を揺るがすことにも成りかねな

い。そのため、以下のリスク対策の整備を処理事業開始までに講じておくことが重要である。

- ・ リスク管理体制の整備
- ・ 利害関係者への情報開示方法の決定
- ・ 作業者の質を確保するための選定基準や資格審査基準の決定
- ・ 通常運転時の運転操作マニュアルの整備
- ・ 事故／災害発生時の緊急対応・操作マニュアルの整備
- ・ 処理作業員および監督者への安全教育プログラムの整備
- ・ 排出事業者および解体業者に対する安全対策依頼書の準備

なお、まずは必要最低限の項目を盛り込んだものを作成し、処理事業開始後よりP D C Aサイクルを回して順次改善しながら完成度を上げていくことが望ましい。

(b) 準備・片付け期間および作業量の削減

発電所でのオンサイトシステムによる処理試験結果を踏まえ、1サイトでのアスベスト処理の標準処理工程について検討を行った。標準処理工程例を図61に示すが、現状、オンサイトシステムで処理を行う場合、処理前後にそれぞれ2日程度の準備・片付け期間が必要となると考えられる。特に、処理運転前後の作業期間短縮あるいは作業量削減に向けた対応が重要である。

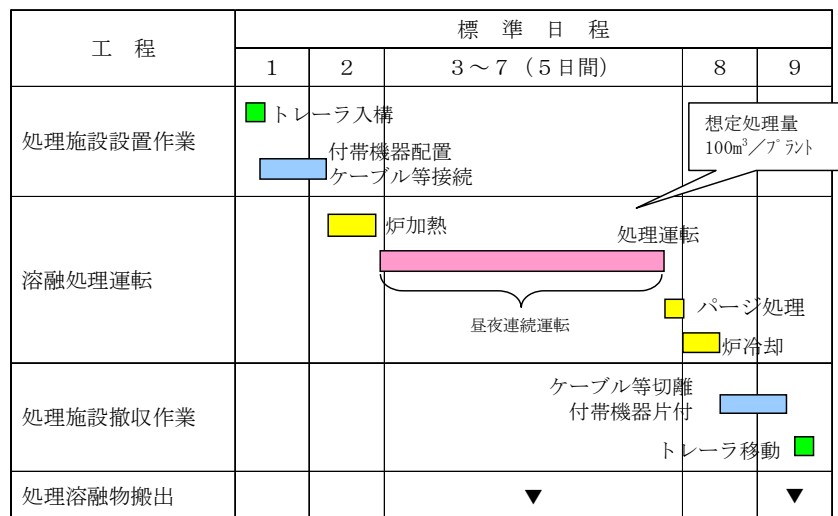


図 61 処理の標準工程例

(c) 処理コストの低減

1事業所での処理数量を100m³とした場合、目標としている処理コスト6万円/m³以下での処理が可能であるとの見通しが得られたが、事業収益を向上させるためには、排出量が100m³規模以上となるような解体工事の受注と工事の計画的な処理実施が重要である。

(d) 手続きの合理化

アスベストの無害化処理を行う場合には、事業者による環境大臣認定申請が必要となるが、

現状では処理箇所毎の申請が必要で、かつ認定取得までには時間もかかることから、手続きに係る規制緩和も必要である。

(e) 無害化処理に対するインセンティブ

アスベストの無害化処理は、事業として埋立処分と競合できる処理コストを目指すのは当然のことではあるが、一方で、排出事業者側のアスベスト処理に対する基本的な考え方も重要な要素となる。他業種の会社に対してアスベスト処理の方針に関するアンケートを取ったところ、「危険度の高い箇所から早急に除去」という回答が最も多く、一部の会社では、「アスベスト含有保温材については、溶融処理を基本とする」との回答もあった。今後、排出事業者側に対して、アスベスト無害化処理へのインセンティブが強く働く仕組みが形成されることも重要である。

② 導入シナリオの策定

先の課題を整理し、以下のような導入シナリオを策定した。

a. 自社処理の推進

様々な性状のアスベスト廃棄物を処理するとなると、それぞれの性状に合わせた追加施設の設置など過剰な設備が必要となり、オンサイト式の優位性が損なわれるため、まずは事前の調査により素性がはっきりした自社のアスベスト含有保温材を対象として処理実績を積み、システム信頼性向上と、コスト低減策の検討を進めていくことが先決である。

b. 処理の国内展開

自社処理により実績を積み重ねると同時に、他社を対象とする国内展開に関するビジネスモデルについてブラシアップを行ったうえで、最終的な事業性評価を行い、国内展開事業の可否について判断する。

c. 国内ネットワーク化

処理の国内展開により、様々な業種工場での処理実績を積み重ねるとともに、事業として更なる拡大が見込まれると判断される場合は、複数の業者間で国内ネットワークに係るビジネスモデルについて調整を図り、国内ネットワーク拡充を図っていくこととする。

d. その他事業性評価に係る各種調査

(a) アスベスト処理費用

アスベストを含有する特別管理産業廃棄物の処理コストは、排出事業者と処理業者との相対取引により決定され相場が明確になっていないが、他社を対象とする処理の国内展開を評価する際には、埋立処分や溶融処理に係る既存業者の処理コストの把握は大変重要となる。

これまでの調査から、埋立処分費用は単位容積当たりで計算し、運搬費込み4~7万円/m³が相場と考えられ、開発目標である処理費用設定の根拠とした。容積の測量は、フレコンバック

1袋単位（約1 m³）、あるいは詰め込みにより生ずる空隙を含めた車両の詰め込み容積で評価されるのが一般的である。一方、熔融処理の場合は単位重量当たりの費用となっており、埋立処分費用との単純比較はできない。

今後、競合他社の処理費用把握と合わせて、国内展開を想定した処理費用の単位（容積 or 重量）設定についても検討していく必要がある。

（b）受注見込量

受注見込量をなるべく正確に把握することは、競合する方式の処理費用把握と同様に投資リスクの評価に大きな影響を与える。

大量にアスベスト含有保温材を保有する電気事業については、潜在量は概ね把握されているものの、定期点検、改良・修繕工事の計画に基づく年間排出量や季節による排出量の変動は把握されておらず、今後、事業化までの間に速やかに調査する必要がある。

具体的な把握方法としては、電力会社はもちろんオンサイト処理の対象と考えられる他業種企業へのヒアリングが最適だが、事業化の仮定段階で企業の内部情報、特に社会問題化したアスベスト廃棄物に関して、多くの事業所から個別に排出量を聞き出すことは容易ではないと考えられる。

そのため、P R T R法（特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善に関する法律）に基づく事業所単位の移動量報告や、産業廃棄物処理事業者が公表している埋立処分量など、公開されている情報入手・推計し、調査対象をスクリーニングしておくことが有効と考えられる。

参考として、過去のP R T R法に基づく移動量報告データからピックアップした石綿排出量データを表23に示す。H17年度データで業種別移動量を見ると、窯業・土石製造業が53%、鉄鋼業が16%、化学工業が13%、電気業(電力)が11%の順となっており、15年度からの傾向を見れば窯業・土石製造業からの排出量がH15年度で全体の約90%、16年度で約70%、17年度で50%強と相対的割合は低下してきているものの依然最大の排出源となっている。その他業種を見ると、電気業(電力)では16年度から、鉄鋼業・化学工業では17年度から排出量が急増しており、これら業界における近年の積極的な石綿への対応がうかがえる。

表 23 業種別アスベスト排出量データ

石綿排出量 (単位：t/年)

業種	H 1 7 年度	H 1 6 年度	H 1 5 年度
窯業・土石製造業	299.5	409.3	1674.8
鉄鋼業	90.1	1.3	0
化学工業	74.3	8.4	1.2
電気業(電力)	60.7	123.4	7.4
石油・石炭	6.6	3	0
鉄道	6.1	2.7	7.7
その他	27.1	16.7	174.1
合計	564.4	564.8	1865.2

(出典:(社)日本石綿協会 石綿にかかるPRTR集計結果 より)

第3章 目的に照らした達成状況

1. 飛散抑制ユニットの設計・製作

(1) 実用化飛散抑制ユニットの設計

【開発目標値】 処理能力 208kg/時(5ト/日)以上、装置周辺アスベスト濃度 10 本/L以下、負圧室空間容積 100m³以下

(2) 実用化飛散抑制ユニットの製作

【開発目標値】 処理能力 208kg/時(5ト/日)以上、装置周辺アスベスト濃度 10 本/L以下

飛散抑制ユニットの予備試験や各ユニットの方式選定調査を行い、実用ユニットの仕様を決定して製作するとともに、トレーラへの搭載を想定したレイアウトで実用化飛散抑制ユニットを配置してアスベスト含有保温材の溶融処理試験を実施した。溶融処理により得られた溶融物及び集塵装置排ガス、装置周辺大気のアスベスト濃度を公定法により測定したが、アスベストは検出されなかった。

また、同試験では、試験場所の制約から負圧室空間容積は約 140m³となったが、余分な空間を除くと 100 m³以下となり、想定するトレーラ内に収納できる見通しを得た。

一方、処理能力については、最終的なオンサイトシステムにおいて確認することとした。

2. 「吹付けアスベスト無害化・資源化処理の研究開発」

(1) 溶融ラボ試験

【開発目標値】 アルカリ融剤の選定及び最適混合比率の決定

アスベスト含有保温材と同様のアルカリ融剤を用いて 3kW 誘導加熱溶融炉によるアスベスト含有吹付け材の溶融ラボ試験を行った。その結果、アスベスト含有保温材と同様、加熱温度は 1,100℃以下、融剤添加量は処理対象量に対し重量比 0.5 の溶融条件で溶融できるとの結論を得た。クロシドライト 35%、クリソタイル 24%の吹付け材を先の溶融条件で溶融処理し、公定法により溶融物のアスベスト濃度を測定したが、いずれの溶融物からもアスベストは検出されず、無害化されていることを確認した。

(2) 実用規模での溶融・無害化試験

【開発目標値】 無害化処理の最適化、処理能力 208kg/時(5ト/日)以上

150kW 誘導加熱溶融炉を用いて先の最適混合比率によるアスベスト含有吹付け材の溶融処理を行ったところ、アスベスト含有保温材と同様、1,100℃以下の加熱温度で溶融処理することができた。また、公定法により溶融物のアスベスト濃度を測定したが、溶融物からアスベストは検出されず、無害化されていることを確認した。

また、今回、飛散抑制ユニットを通したトータルのシステムでの処理は実施できなかった

め、処理能力の確認はできなかったが、保温材を対象としたこれまでの実用化飛散抑制ユニット開発の際と同様、入念な事前調査と予備試験を行い最適な飛散抑制ユニットの仕様を決定すれば目標とする処理能力の達成は可能と考えられる。

3. オンサイト式溶融・無害化処理システムを用いた実証試験

(1) 実用化飛散抑制ユニットの改良とトレーラの設計

【開発目標値】 実用化規模(5 トン/日)処理できる移動用トレーラのスペック決定

高水分保温材からの水蒸気や炉ダクトへのアルカリ融剤付着に伴う炉内圧力変動による不具合を改良した実用化飛散抑制ユニットと 150kW 誘導加熱溶融炉を一体化したシステムにて実証試験を行い、炉内圧力変動抑制効果を確認するとともに、安定的な連続運転を行うための運転条件の見極めを行った。また、アスベスト含有保温材の溶融試験では、溶融物および集塵装置排ガス、装置周辺大気のアスベスト濃度測定を行ったが、アスベストは検出されず確実な無害化と装置の安全性を確認した。

さらに、これまで開発した機器をトレーラに架装するにあたり、車両保安基準（総重量 28t 以下、車高 3.8m 以下、車幅 2.5m 以下、転倒防止角 30 度以上）を満足する機器配置となるよう詳細設計を行った。

なお、負圧室空間容積は目標値である 100m³ を十分下回る 49m³ (6.13×2.48×3.19) となり、コンパクトに装置を搭載することができた。

(2) トレーラへの架装および商用運転を想定した長時間連続運転

【開発目標値】 連続安定運転 5 日間以上、溶融物 TEM 分析不検出、受電システムの構築

(3) 実証試験による安全性および実用化評価

【開発目標値】 処理能力 208kg/時(5 トン/日)以上、装置周辺アスベスト濃度 10 本/L 以下、同システムによるアスベスト廃棄物処理コスト 40,000～60,000 円/ m³

開発したオンサイトシステムにより、発電所構内で 6 日間、昼夜の連続運転試験を行い、各装置の機能に問題がないことを確認した。

長時間連続運転および最終的な実証試験では、処理後の溶融物及び集塵装置出口排ガスや周辺大気について、公定法および TEM 法（溶融物分析）による分析を行ったが、アスベストは検出されず、本システムの確実な無害化と安全性を確認した。

また、最終的な実証試験において処理能力確認試験を行い、208kg/時(5 トン/日)以上の処理能力を検証した。

さらに 440V での一括受電と高調波発生を抑制する受電システムを構築し、連続運転試験において性能を満足することを確認した。

ビジネスモデルの検討における処理コスト試算結果から、一定量以上の処理を受注できた場合は、処理コストは目標値である 60,000 円/ m³ 以下を達成できる見通しを得た。今後、処

理コストについては、さらに自社での処理実績を積み重ねながら、精査していくこととしている。

(4) 緊急時対応システムの構築と作動確認試験

【開発目標値】 緊急時対応システムの構築とその有効性確認

地震や停電等の緊急時のアスベスト飛散や機器損傷などのリスクを回避し、自動的に安全停止できる緊急時対応システムを構築した。実証試験に合わせて地震や停電状態を模擬した作動確認試験を行い、装置の安全な自動停止や電力・冷却水喪失時のバックアップ状況などシステムの有効性を確認した。

第4章 まとめおよび今後の検討課題

アスベスト廃棄物による環境リスク低減に資するため、アスベスト含有保温材を解体現場で速やかに溶融・無害化まで完結させる「オンサイト式アスベスト溶融・無害化処理システム」の実用化を目指し研究開発を行った。主な成果として、従来の溶融処理（1,500℃以上）に比べ低い温度でアスベストを溶融・無害化できる処理システムを開発するとともに、処理システムをトレーラに搭載した移動処理車を開発し実用レベルにあることを確認した。以下に、取り組んだ研究課題とその成果について概要を示す。

1. 飛散抑制ユニットの設計・製作

(1) 実用化飛散抑制ユニットの設計

平成18年度に開発した150kW誘導加熱溶融炉によるアスベスト溶融・無害化処理試験で判明した技術的課題を解決するため、①処理速度の向上、②保温材水分削減、③熱損失抑制を目指し、構成要素である破砕、予備乾燥、放熱抑制、攪拌、熱回収及び前置型集塵の各ユニットについて、予備試験及び方式選定調査を行った。その結果をもとに最適な機能・構造を決定し、実用規模の150kW誘導加熱溶融炉に対応した実用化飛散抑制ユニットを設計した。

(2) 実用化飛散抑制ユニットの製作

1.(1)の設計に基づいて各ユニットの仕様を決定し、トレーラへの搭載を想定したレイアウトで実用化飛散抑制ユニットを製作するとともに、実際の処理を模擬したノンアス保温材による溶融試験を実施し、不具合の洗い出しを行った。不具合を解消した後、アスベスト含有保温材による溶融処理試験を実施し、安定的な連続運転を行うための運転条件の見極めを行った。また、溶融物及び集塵装置排ガス、装置周辺大気いずれからもアスベストは検出されず、実用化飛散抑制ユニットが実用レベルにあることを確認した。

2. 「吹付けアスベスト無害化・資源化処理の研究開発」

(1) 溶融ラボ試験

3kW誘導加熱溶融炉を用いて、クロシドライト、クリソタイルを含有する2種類のアスベスト含有吹付け材の溶融ラボ試験を行った。アスベスト含有保温材処理と同じアルカリ融剤を用いて、溶融温度1,100℃以下、融剤混合比（融剤添加重量／処理対象物重量）0.5の溶融条件で処理したところ、いずれの溶融物からもアスベストは検出されず、無害化されていることを確認した。

(2) 実用規模での溶融・無害化試験

150kW誘導加熱溶融炉を用いてクリソタイルを含有するアスベスト含有吹付け材の溶融処理を行ったところ、2.(1)と同様の条件で溶融処理することができた。また、溶融物からアスベストは検出されず、無害化されていることを確認した。

3. オンサイト式溶融・無害化処理システムを用いた実証試験

(1) 実用化飛散抑制ユニットの改良とトレーラの設計

開発の最終形態であるトレーラ搭載型のオンサイト式溶融・無害化処理システム（以下、「オンサイトシステム」という。）には、アスベストを飛散させることなく安全に保温材を投入できる自動投入機構や、溶融物の熱回収と取出しを容易にするユニットが必要なため、実用化飛散抑制ユニットを改良するとともに、道路運送車両法に則り公道を安全に走行できるトレーラの設計を行った。

(2) トレーラへの架装および商用運転を想定した長時間連続運転

150kW 誘導加熱溶融炉と飛散抑制ユニット、自動投入機構を製作したトレーラに架装するとともにアルミパネルの外壁で覆い、前室、中室、後室の3室構造とした。なお、アスベスト飛散の可能性のある主要機器は全て負圧室となる中室に配置した。

開発したオンサイトシステムを移動させて屋外に設置し、発電所構内で6昼夜（うちアスベスト含有保温材は1昼夜）の連続運転試験を行い、各装置の機能に問題がないことを確認した。また、溶融物および周辺大気からアスベストは検出されず、本システムの確実な無害化と安全性を確認した。

(3) 実証試験による安全性及び実用化評価

長時間連続運転後に若干の改良を加えたうえで、オンサイトシステムによる最終的な実証試験を実施し、目標とする処理能力（208kg/時(5ト/日)以上）を確認した。また、溶融物および集塵装置排ガス、周辺大気からアスベストは検出されず、オンサイトシステムの確実な無害化と安全性を改めて確認した。

(4) 緊急時対応システムの構築と作動確認試験

地震や停電等の緊急事態が発生してもアスベスト飛散や機器損傷などのリスクを回避し、自動的に安全停止できる緊急時対応システムを構築した。実証試験に合わせて地震や停電状態を模擬した作動確認試験を行い、装置の安全な自動停止や電力・冷却水喪失時のバックアップ状況などシステムの有効性を確認した。

4. 実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定

本プロジェクトで開発したシステムの実用化に関するビジネスモデルを検討するため、アスベスト含有保温材処理の市場規模や適用先業種とオンサイト処理にあたっての技術的制約事項等を調査した。また、アスベスト含有吹付け材の処理については、オンサイト処理にあたっての技術的制約事項等を調査した。また、アスベスト削減効果、事業化、コスト、波及効果についての検討を行った。

5. 今後の検討課題

これまでのプロジェクトでは、試験に伴い必要となる最低限のアスベスト含有保温材で実証試験を行い、アスベスト飛散防止や無害化の確実性を主眼に処理システムの開発を行ってきた。

一方、最終目標となる商用化に当たっては、他社事業所での大量処理をトラブルなく、かつ市場で競争力のある処理コストで実現することが不可欠である。

国による無害化処理認定を取得し、本システムによる実処理が可能となった暁には、自社発電所での長期実処理運転を行い実績を積み上げるとともに、特に設備面およびコスト面での鍵となる誘導加熱熔融炉の消耗部材の信頼度向上と修繕コスト低減に向けた検討を行っていくこととしている。

第5章.研究発表・講演、文献、特許等の状況

1. 研究発表・講演（口頭発表も含む）

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
平成19年11月29日	第2回エレクトヒートシンポジウム論文発表会	「高周波誘導加熱炉を用いたアスベスト無害化・資源化装置の開発」	北陸電力株式会社 山田 真一
平成20年10月23日	平成20年度 火力原子力発電大会	「アスベスト含有保温材の溶融・無害化処理システムの開発」	同 上
平成21年10月8日	平成21年度 火力原子力発電大会	「オンサイト式アスベスト溶融・無害化処理システムの開発」	同 上

2. 文献

年月日	出典先	タイトル	著 者
平成20年1月10日	月刊誌「電気評論」	「オンサイト式アスベスト溶融・無害化処理システムの研究開発」	北陸電力株式会社 久和 進
平成20年7月15日	月刊誌「エレクトヒート」	「高周波誘導加熱炉を用いたアスベスト無害化・資源化装置の開発」	北陸電力株式会社 山田 真一、別森 敬一、綿貫 撰 富士電機サーモシステムズ株式会社 岡山 栄、古城 靖彦、藤田 満、加納 利行 国立大学法人 東北大学 谷口 尚司
平成21年3月10日	平成20年度 火力原子力発電大会 論文集	「アスベスト含有保温材の溶融・無害化処理システムの開発」	北陸電力株式会社 山田 真一、別森 敬一 富士電機サーモシステムズ株式会社 岡山 栄、山本 勝也 国立大学法人 東北大学 谷口 尚司
平成21年1月10日	月刊誌「電気評論」	「オンサイト式アスベスト溶融・無害化処理システムの研究開発」	北陸電力株式会社 久和 進
平成22年3月3日	平成21年度 火力原子力発電大会 論文集	「オンサイト式アスベスト溶融・無害化処理システムの開発」	北陸電力株式会社 山田 真一、別森 敬一 富士電機サーモシステムズ株式会社 岡山 栄、山本 勝也
平成22年12月10日	月刊誌「電気現場技術」	「オンサイト式アスベスト溶融・無害化処理システムの開発」	北陸電力株式会社 山田 真一
平成22年1月10日	月刊誌「電気評論」	「オンサイト式アスベスト溶融・無害化処理システムの開発と連続運転試験」	北陸電力株式会社 久和 進

3. 特許等

発明等の名称	「廃アスベスト無害化装置」
出願日	2009年7月7日
出願番号	特願 2009-161257 特願 2009-161258 特願 2009-161259 特願 2009-161260

4. その他公表（プレス発表等）

掲載年月日	発表媒体
平成 20 年 1 月 23 日	電気新聞
平成 20 年 1 月 31 日	電気新聞
平成 20 年 6 月 17 日	電気新聞
平成 21 年 2 月 21 日	北日本新聞
平成 22 年 7 月 9、10 日	日経新聞、日経産業新聞、朝日新聞、読売新聞、北陸中日新聞、北日本新聞、電気新聞

2. 2. 2 低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発

開発概要

アスベスト含有建材のストックは4,000万トン以上あり、今後、建築物の解体に伴って、大量に廃棄されることが予想されている。

本開発では、低温過熱蒸気を利用して、アスベスト含有建材を大量に無害化・資源化できる新技術を開発し、実用化を図った。以下、本開発で得られた成果の概要を示す。

(1) 無害化処理条件の決定

アスベスト含有建材の無害化処理に最適な処理温度、処理時間を基礎実験により決定した。また、過熱蒸気によるアスベストの無害化機構を科学的に立証した。

(2) アスベスト含有建材の大量無害化処理技術の開発

アスベスト含有建材を大量処理するために開発した大型装置を用いて、上記の最適条件に基づいた無害化処理を実施し、アスベスト含有建材を大量に処理できることを確認した。8時間連続実験により、大型装置の安全性及び実用性を確認した。

(3) アスベスト無害化処理物の資源化に関する検討

アスベスト無害化処理物の成分分析を行い、ポルトランドセメントの品質・性能要件を満足することを確認した。また、アスベスト無害化物を用いたセメントを製造し、JISに基づいた強度試験等を実施し、セメント材料として問題がないことを確認した。

(4) 実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定

アスベスト含有建材の廃棄処分に関する市場調査を実施し、実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルを策定した。

開発内容

1. 研究開発の概要

(1) 事業目的

本研究開発では、平成22年頃までにアスベスト全廃を実現するために必要となる実用化基盤技術を確立する。これまでのアスベスト対策では未着手な技術あるいは大きな波及効果が見込まれる技術として、以下の3項目が上げられている。

- 1) 0.1%以上のアスベスト含有製品や解体・回収・廃棄時における浮遊アスベストを簡易に探知・計測できる技術
- 2) アスベストを含む建材等の廃棄・除去、及び回収・処分段階において安全、効率的に処理できる技術
- 3) 大量に排出されるアスベスト製品を安価で無害化、資源化できる革新的な技術

本研究開発では、このうち3)に資する技術を用いた無害化・資源化装置の開発を目指す。ここでの「無害化」とは、JIS A 1481;2006 およびその解説に則りアスベスト6種が0.1%以下と判定される状態を示す。また、JIS A 1481;2006 が改定された場合、改定版により改めて確認するとともに、判定基準の変化については JIS 改訂のみに依拠せず、日本作業環境測定協会のプロトコルなども取り入れて、世の中の状況変化に柔軟に対応する。

図-1 にアスベスト含有建材の処理ルートを示す。赤矢印が、本研究開発での目指す処理ルートとなる。

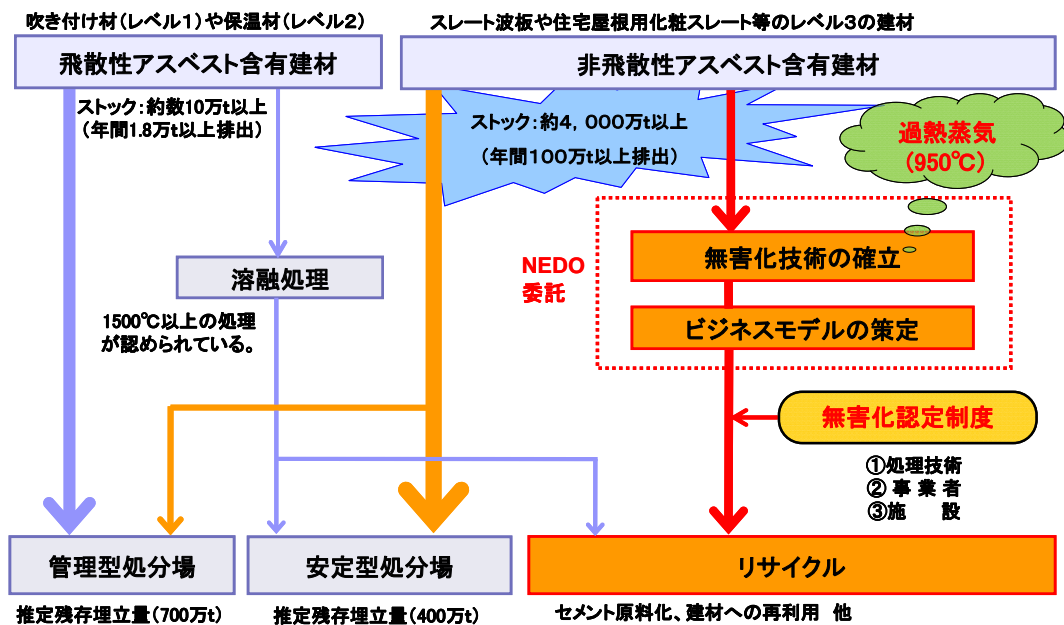


図-1 アスベスト含有建材の処理ルート

(2) 事業概要

アスベスト含有建材の無害化処理において、過熱蒸気を用いて無害化を可能にする装置を開発する。また、この処理によって発生した無害化処理物は、セメント原料に転換する。無害化処理物は、無害化工場で破砕し、それをセメント工場に受け入れてもらうことで、セメント化が可能である。

基礎試験装置（500kg/日）における試験（以下、「基礎試験」）を実施し、その結果を踏まえ、バッチ式パイロット規模装置（処理能力5t/日）を製作、試験を実施する。その後、バッチ式パイロット規模装置を連続的に改造し、8時間の連続試験を実施、無害化・資源化を確認する。将来の事業化に際しては処理量30t/日が可能な無害化処理システム（以下、「実機」）の実現を目指しており、その1/6スケールとなる連続式パイロット規模装置を確立することで早期の実用化が可能となる。

無害化された材料は、位相差顕微鏡、X線回折、電子顕微鏡での無害化の確認に加えて、動物試験を中心とした有害性評価システムを用いて、自然界に存在する他の物質と比較して評価する。

本研究開発の検討項目を以下に示す。

- ・ 低温過熱蒸気によるアスベストの無害化処理技術の開発
- ・ アスベストの大量・無害化処理技術と資源化に関する研究
- ・ 実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定

図-2に本研究開発でのアスベスト無害化・再資源化のサイクルを示す。

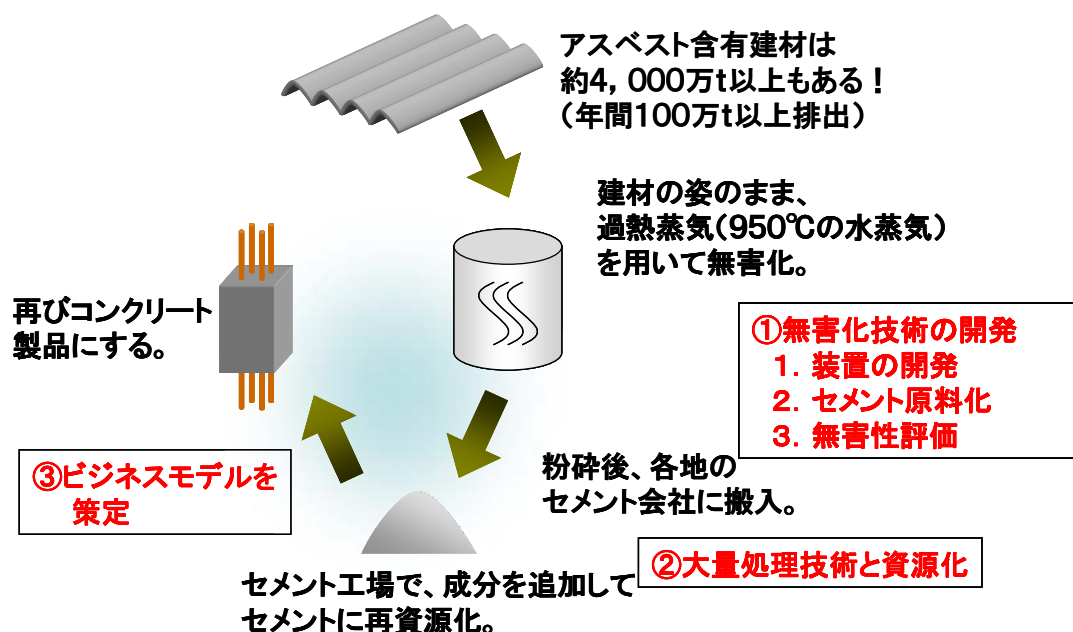


図-2 アスベスト無害化・再資源化のサイクル

(3) 研究開発内容

テーマ①「低温過熱蒸気によるアスベストの無害化処理技術の開発」

①-a) パイロット規模装置による無害化処理条件の決定 (大旺新洋株式会社-共同実施先：高知大学)

以下の4点の特徴を基に、連続式パイロット装置の開発を目指す。

- ・ アスベスト含有建材の破砕を必要とせずに無害化する。
- ・ 熔融処理よりも低温でアスベスト含有建材を無害化する。
- ・ アスベストの脱結晶水に必要な温度雰囲気以上に昇温後、過熱蒸気を用いることにより、短時間で無害化する。
- ・ アスベスト含有建材中に含まれる結晶水、水和物等を高温加熱により脱水させ、それを過熱蒸気として利用してアスベストを無害化する。

①-b) アスベスト無害化物のセメント材料としての有効性確認 (大旺新洋株式会社)

アスベスト無害化物にある品質のバラツキを建材ごとに調査し、普通ポルトランドセメントの品質・性能要件として適切な材料か否かを検討し、アスベスト無害化物がセメント原材料として有効利用が可能であることを検討する。

①-c) アスベスト無害化物のセメント原料への転換技術 (大旺新洋株式会社)

①-b)で得られる建材ごとの化学成分のバラツキを踏まえ、処理物をセメント原料とするために必要な処理前の分別方法等を検討する。

①-d) アスベスト無害化物の無害性評価 (大旺新洋株式会社—再委託：産業医科大学)

過熱蒸気によって無害化処理されたアスベスト含有建材の安全性について、動物試験を中心とした評価システムに基づき評価試験を実施する。対象物質に対して物理化学的特性試験、試験管内試験、気管内注入試験を行って総合的に評価する。

テーマ②「アスベストの大量・無害化処理技術と資源化に関する研究」

②-a) 連続運転による装置の最適化および実機の検討 (戸田建設株式会社)

バッチ式パイロット規模装置での無害化処理試験結果をもとに、最適な連続式パイロット規模装置の運転システムを検討し、設計・製造する。連続式パイロット規模装置の試験結果から、材料投入、加熱及び過熱蒸気の供給、排気ガスの処理工程等、抽出した問題を検討し、実機の設計に反映する。

②-b) アスベスト無害化物による大量セメント生産プロセスの開発 (戸田建設株式会社－再委託：西松建設株式会社)

アスベスト含有建材の無害化後の連続大量粉砕処理技術の検討を行い、実機の設計への適用を検討する。アスベスト無害化物をセメント原料に調合し、セメント材料に関する検討を JIS R 5201 及び JIS R 5202 に基づく試験により検証する。

テーマ③「実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定」

(戸田建設株式会社)

装置の適用先業種や市場規模などを調査し、アスベスト削減効果、事業化、コスト、波及効果を検討し、実用化に関するビジネスモデルを策定する。また、事業化のための処理能力向上とコスト低減に関するモデルを提案し、導入シナリオとビジネスモデルを策定する。

2. 研究開発の成果

(1) 「低温過熱蒸気によるアスベストの無害化処理技術の開発」

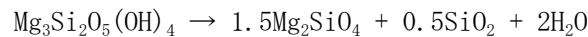
①-a) パイロット規模装置による無害化処理条件の決定

以下の4点の特徴をもとに、連続式パイロット規模装置の開発を行った。

- ・ アスベスト含有建材の破碎を必要とせずに無害化する。
- ・ 熔融処理よりも低温でアスベスト含有建材を無害化する。
- ・ アスベストの脱結晶水に必要な温度雰囲気以上に昇温後、過熱蒸気を用いることにより、短時間で無害化する。
- ・ アスベスト含有建材中に含まれる結晶水、水和物等を高温加熱により脱水させ、それを過熱蒸気として利用してアスベストを無害化する。

1) 無害化処理条件の最適化

本処理方法は、アスベスト中の結晶水を脱水して非アスベスト化して無害化する。その反応式は、以下のとおりである。



i) 脱水温度について

ア) アスベスト純品の場合

以前より、アスベストは 1,500°C以上で熔融しなくとも、700°C程度の比較的低温で脱水し、他の物質へと変質することが知られていた。このアスベストの脱水温度については様々な資料がある。アスベストとは、天然に産出する繊維状ケイ酸塩鉱物の総称であり、過去に製品材料に用いられたアスベストの多くは、クリソタイルである。このクリソタイルの脱水温度は、一般的に 450~700°Cとされている。一方で、JIS A 1481 に基づく分析により検出されなくなるには、1,000°Cで3時間を要するという発表もある。

以上より、最適な脱水温度は 700°C~1,000°Cの間にあることが推察できる。今回、この温度帯から最適な処理温度を選択するため、以下の確認試験を行った。

クリソタイルを大気雰囲気にて TG-DTA 分析にかけた TG の結果を図-1.1 に示す。対象重量は約 5mg とし、分析条件は 10°C/min で昇温で、その後所定の温度で1時間保持した。その温度で1時間保持している間に重量減が無い場合、脱水が完了しているといえる。所定の温度は 700°C、800°C、900°C の3条件とした。

結果として、700°Cでは1時間の重量減が 4.1%であった。これに比べ 800°Cでは、重量減が 0.3%とほぼ完了しており、更に 900°Cでは重量減は起こらなかった。

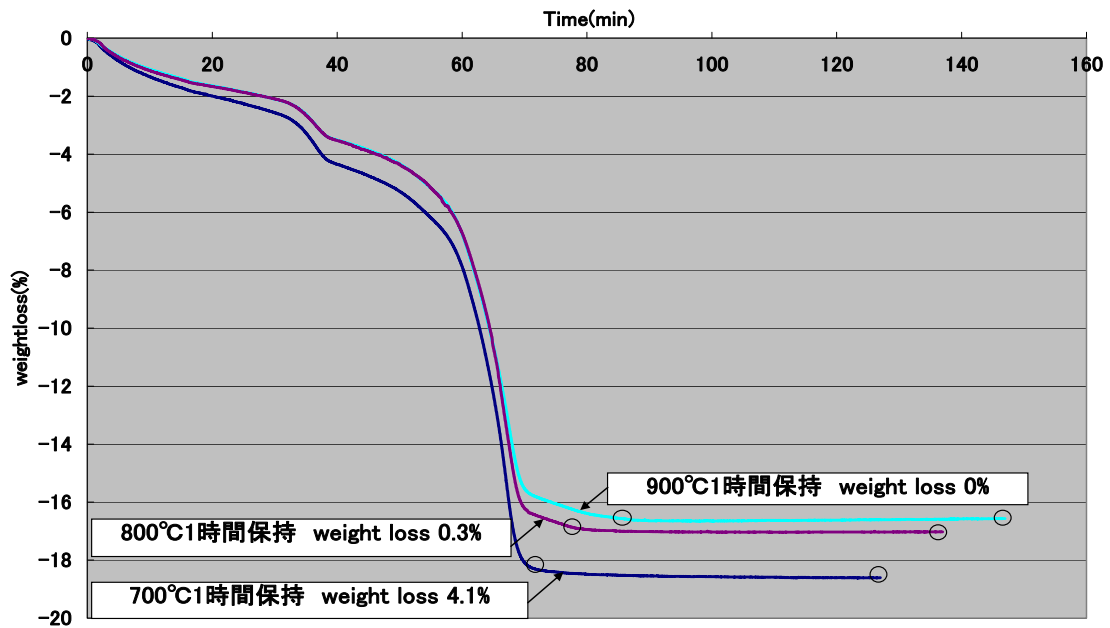


図-1.1 各温度における TG グラフ

以上の結果から 900°C に達することで脱水は完了するといえる。なお、クリソタイルは理論上 13% の重量減となる。各温度における重量減に、理論値から最大で 6% 程度の差がみられた。理由は、2 つに大別できる。

ひとつは、昇温開始当初から差として見られ、表面に付着した水分などの影響を受けたためと考えられる。

もう一つの理由は、70 分 (700°C) でひらいた差は、元々が天然鉱物であるため、 $Mg(OH)_2$ を主とする不純物が混入していることが原因と考えられる。

また、TG-DTA にかけたサンプルを X 線回折装置で分析した結果を図-1.2 に示す。

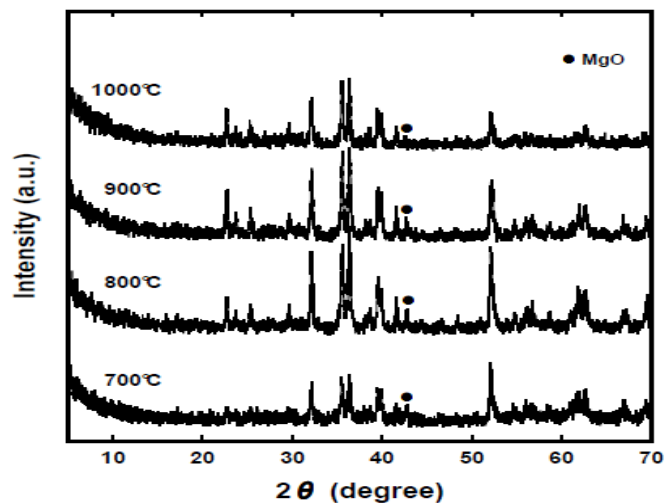


図-1.2 各温度における X 線回折結果

クリソタイルのピークは全てのサンプルで見られない。今回測定に利用した X 線回折装置では判別できない量(0.1%)以下になったといえる。また、MgO 以外のピークは、クリソタイルの熱分解生成物として知られているフォルステライト (Mg_2SiO_4) である。特に 35 度付近の高いピークに注目すると、900°Cで最大、1,000°Cにおいては更に別の物質へ変質していく為、ピークが小さくなっていることがわかる。なお、クリソタイルのもうひとつの熱分解生成物である SiO_2 は、ピークが見えないことから非晶質になっていると推定できる。

イ) アスベスト含有建材

スレート波板と住宅屋根用化粧スレートというアスベスト含有建材を代表する 2 種類を TG-DTA 分析にかけた。その TG 結果を図-1.3 に示す。分析条件は、10°C/min で昇温し、900°C で 30 分保持とした。

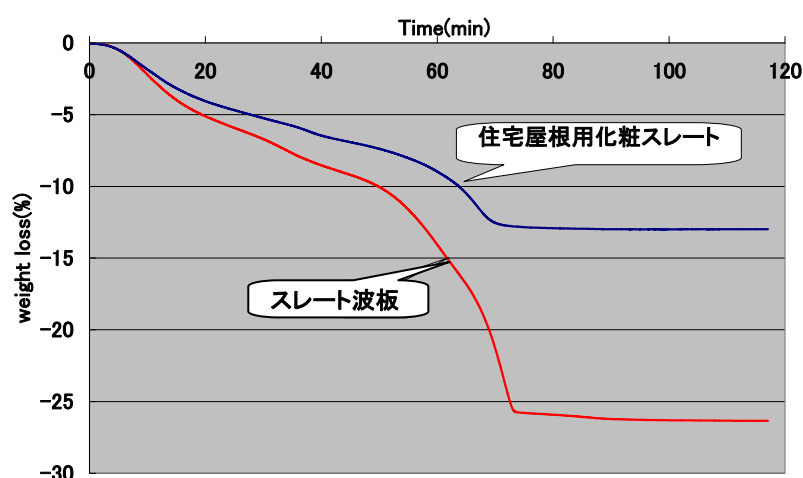


図-1.3 アスベスト含有建材の TG グラフ

アスベスト含有建材の主成分はセメントである。60~70 分 (600~700°C) 台の大きな重量減は、セメント成分に由来する。図-1.1 よりアスベストの重量減も同じ温度帯で大きな重量減を生じているといえる。さらに、900°Cで 30 分保持しても重量減が見られないことから、建材を 900°Cとすることで脱水は完了するといえる。

なお、アスベスト含有建材のアスベスト含有量は、多くは 10%以内である。図-1.1 からわかるように、そのアスベストが脱水により仮に 13%減量しても、建材重量中では 1.3%程度の減量しか示さない。なお、セメントは経年劣化するに伴い、一部が炭酸カルシウム ($CaCO_3$) に変質することが知られている。この炭酸カルシウムの熱分解 ($CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$) 温度が 894°Cである。サンプルによっては、これに起因する重量減が生じることも考えられるが、今回のサンプルでは確認されなかったことから、 $CaCO_3$ の含有量も僅かであったと推測できる。

ウ) 酸素の影響について

大気雰囲気での試験の場合、酸化による発熱反応により脱水反応が促進されている可能性も考えられる。その影響を確認する為に TG-DTA 分析を窒素雰囲気中でも行った。結果、雰囲気による差異は見られなかった。このことから酸素の影響は無視できるといえる。

以上より、非アスベスト化する温度は 900°Cといえる。一方で、本委託事業と時期を同じくして、環境省から公表された無害化基準は、残存する繊維数から判断されることとなった。よって、本報告書においての無害化とは、主に JIS A 1481 に基づき判定している。

ii) 基礎試験装置(500kg/日)による無害化処理試験の実施

ア) 建材の種類への対応

アスベスト含有建材として広く市販、利用されている6種類の建材に対して図-1.4に示す基礎試験装置で試験を実施し、「建材製品中のアスベスト含有率測定方法」(JIS A 1481;2006)に則り、位相差顕微鏡、X線回折によりアスベスト含有の有無の判定を行った。また、一部のサンプルについては、平成21年12月環境省通知「石綿含有一般廃棄物等の無害化処理等に係る石綿の検定方法」に準じての判定も行った。建材は種類ごとに写真-1.1に示すように約10cmに束ねて試料とした。表-1.1は基礎実験に用いたサンプルである。

表-1.1 基礎実験に用いた建材

対象物	寸法 (mm)		厚さ (mm/ 枚)	枚数 (枚)	使用量 (kg)
	横	縦			
A. スレート波板	200	200	5.5	18	5.9
B. 住宅屋根用化粧スレート	200	200	5.4	18	7.8
C. スレートボード	150	90	3.2	※60	5.1
D. けい酸カルシウム板(2種)	200	200	25.7	4	2.9
E. スラグせつこう板	200	200	6.2	16	5.0
G. 押出セメント板	150	150	50	2	2.6

※スレートボードは30枚の2列置き。

結果、試料を設置して、過熱蒸気を供給しながら、基礎試験装置の雰囲気温度を1000℃まで上昇させ、試料の中心温度が950℃に達してから5分保持することで無害化を確認した。

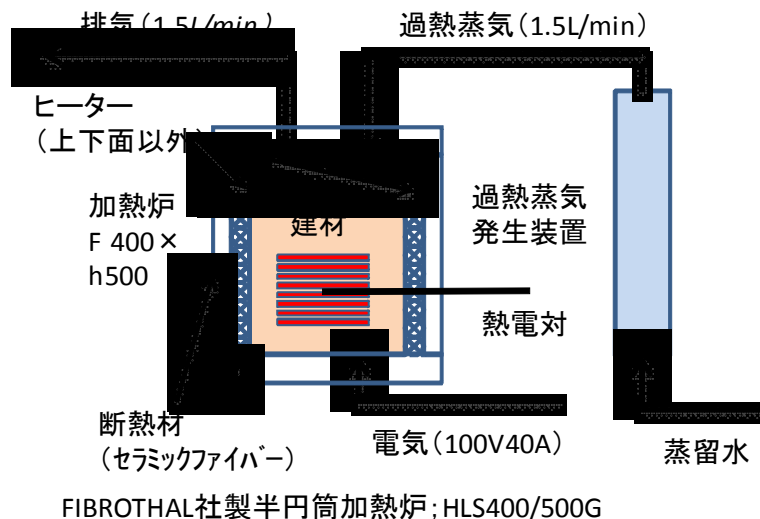


図-1.4 基礎試験装置の概要

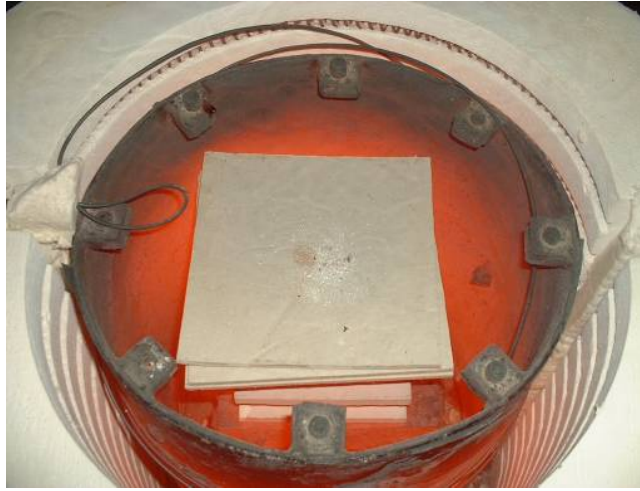


写真-1.1 基礎試験終了直後炉内状況

イ) 処理条件の抽出

パイロット規模試験における処理条件を決定するため、荷姿から試料採取位置まで表-1.2の9種類の因子、各因子3水準を設定、実験計画法によるL27で割付、実験に供した。対象アスベストはクリソタイル、クロシドライト、トレモナイトの3種類、これらのうち1種類を含んだ試験体を作成し、住宅屋根用化粧スレート（厚さ 4.0mm；20cm 角）の束の真ん中に挟みこんだ。（各 13 枚重ね・上、中、下、図-1.6）。

表-1.2 実験の因子と水準

因子		水準1		水準2		水準3	
A	荷姿	A-1	袋なし	A-2	袋あり	A-3	袋なし
B	アスベスト含有量	B-1	1%	B-2	5%	B-3	10%
C	アスベストの種類	C-1	クリソタイル	C-2	クロシドライト	C-3	トレモライト
D	雰囲気	D-1	空気一定量	D-2	密閉雰囲気	D-3	蒸気一定量
E	建材の厚み	E-1	5cm	E-2	10cm	E-3	5cm
F	建材の大きさ	F-1	10cm角	F-2	20cm角	F-3	10cm角
G	保持温度	G-1	950℃	G-2	1000℃	G-3	1050℃
H	保持時間	H-1	5分	H-2	30分	H-3	60分
R	試料採取位置	R-1	上側	R-2	中央	R-3	下側

実験装置は、図-1.4 に示す基礎試験装置を用いた。この加熱炉は 1,050℃まで加熱できる。電気容量は 4KW である。過熱蒸気量は 1.5L/min で排気は過熱蒸気を送った量に合わせてある。今回の判断基準は、無害化処理条件を決定するための「相対的」な評価のため、分散位相差顕微鏡で観察できる繊維数とした。処理したサンプルは図-1.5 の建材の真ん中の位置でサンプリングした。

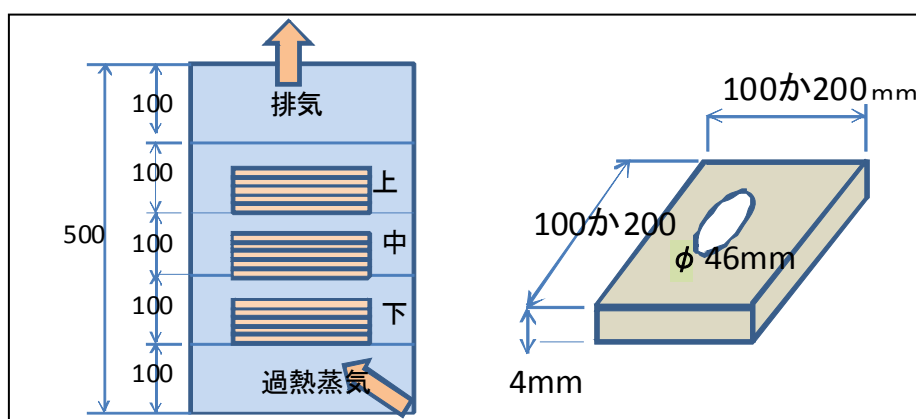


図-1.5 加熱炉と試験体設置位置

表-1.3 に分散位相差顕微鏡で観察された繊維数を示す。繊維は、 $0.5\mu\text{m}$ 以上であり、アスペクト比 3 以上のものであるが同繊維数が 4 本以上の結果は、実験 No. 3 と No. 10 であった。No. 3 は温度が低いのが原因であり、No. 10 は空気条件下が原因と考えられる。また、トレモナイト（脱結晶水温度が最も高い 1040℃）の処理温度と処理時間は、950℃、30 分の条件下では過熱蒸気雰囲気下であっても無害化はできなかった。しかし、1000℃では無害化が可能であることがわかる。処理温度 1,050℃以上（保持時間は 5 分以上）か 1000℃以上、保持時間 30 分以上であれば無害化は可能である。

一方、寄与率を計算すると、寄与率が高いのは、①アスベストの種類×保持時間；18.1%、

②保持時間；12.6%、③雰囲気×保持時間；8.7%、④試験体設置位置5.5%、であった。即ち、アスベストの種類、保持時間、雰囲気の寄与率が高いことが判明した。

表-1.3 分散位相差顕微鏡で観察された繊維数

実験 No.	保持温度(°C)	保持時間(分)	厚さ(cm)	幅(cm)	雰囲気	アスベスト	アスベスト濃度	袋	試料位置	繊維本数(本)
1	950	5	5	10	空気	クリソ	1	袋無	上	0
2					密閉	クロシ	5	袋有	中	0
3					蒸気	トレモ	10	袋無	下	10
4	950	30	10	20	空気	クロシ	10	袋無	下	0
5					密閉	トレモ	1	袋無	上	1
6					蒸気	クリソ	5	袋有	中	1
7	950	60	5	10	空気	トレモ	5	袋有	中	2
8					密閉	クリソ	10	袋無	下	0
9					蒸気	クロシ	1	袋無	上	0
10	1000	5	10	10	空気	クリソ	1	袋有	下	8
11					密閉	クロシ	5	袋無	上	0
12					蒸気	トレモ	10	袋無	中	0
13	1000	30	5	10	空気	クロシ	10	袋無	中	0
14					密閉	トレモ	1	袋有	下	0
15					蒸気	クリソ	5	袋無	上	0
16	1000	60	5	20	空気	トレモ	5	袋無	上	0
17					密閉	クリソ	10	袋無	中	1
18					蒸気	クロシ	1	袋有	下	0
19	1050	5	5	20	空気	クリソ	1	袋無	中	1
20					密閉	クロシ	5	袋無	下	0
21					蒸気	トレモ	10	袋有	上	2
22	1050	30	5	10	空気	クロシ	10	袋有	上	0
23					密閉	トレモ	1	袋無	中	0
24					蒸気	クリソ	5	袋無	下	0
25	1050	60	10	10	空気	トレモ	5	袋無	下	0
26					密閉	クリソ	10	袋有	上	0
27					蒸気	クロシ	1	袋無	中	0

以上の結果を踏まえ、最適な処理条件を構成する因子として処理温度と雰囲気および保持時間の3因子を選択し、それぞれ3水準を表-1.4のように設定し、図-1.5に示す基礎試験装置を用いて試験を行った。なお、対象アスベストは、クリソタイルとし、化粧スレートを10cm角にし、13枚重ねを加熱炉に束ねて投入した。投入位置は加熱炉の中央とした。

表-1.4 実験の因子と水準

因子		水準1		水準2		水準3	
A	保持温度	A-1	700°C	A-2	800°C	A-3	900°C
B	雰囲気	B-1	空気一定量	B-2	密閉雰囲気	B-3	蒸気一定量
C	保持時間	C-1	5分	C-2	30分	C-3	60分

分散位相差顕微鏡による観察の結果を表-1.5に示す。

繊維本数の減少に対する寄与率は、雰囲気の寄与率が45.8%もあり、温度が28.3%であった。処理温度および雰囲気の影響が顕著である。この場合、注意が必要なのは「密閉条件」と「蒸気流通条件」は同じ「過熱蒸気下」の雰囲気と判断できる。その場合、「蒸気流通条件」では、常時高い熱量を保有する過熱蒸気を炉外へ排出することとなり、その分、熱量をロスすることになる。よって、過熱蒸気雰囲気に保たれた「密閉条件」が経済性の面から適している。ただし、安全性の担保として、処理物からの熱分解ガスの置換できる程度の過熱蒸気の供給が最適といえる。

表-1.5 分散位相差顕微鏡で観察された繊維数

実験 No.	保持温度 (°C)	保持時間 (分)	雰囲気		
			空気	密閉	蒸気
1	700	5	8	1	1
2		30	3	0	5
3		60	2	3	0
4	800	5	4	1	0
5		30	2	1	2
6		60	0	0	0
7	900	5	1	0	0
8		30	1	0	0
9		60	1	1	0

ウ) 過熱蒸気の触媒効果

高知大学では、ケイ酸塩の固相反応合成において過熱蒸気の効果を確認していた。同様にアスベスト含有建材においても、フォルステライトの生成が抑制され、アケルマナイトが生成されることを確認した。アケルマナイトはセメント成分のひとつである。具体的には、セメント中の酸化カルシウムとアスベストの反応が促進された。ポルトランドセメントの成分は、エーライト ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)、ビーライト ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)、アルミネート ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)、フェライト ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) および硫酸カルシウム ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) である。これらの成分は水和反応により硬化物に化学変化する。硬化物が高熱にさらされると、一部に酸化カルシウム CaO が生じる。

図-1.6 に示すラボ装置において過熱蒸気雰囲気および空気雰囲気で任意のサンプルを対象に、温度を変えて処理 ($600^\circ\text{C} \sim 1,000^\circ\text{C}$) し、X線回折においてアスベストおよびフォルステライトのピークが検出されない温度を確認した。

蒸気発生装置で蒸留水を加熱して所定の温度に上げて、電气管状炉に蒸気を送り込む。過熱蒸気量は $2.2\text{L}/\text{min}$ である。試料は、乳鉢で $100\ \mu\text{m}$ 以下に粉碎した試料をあらかじめアルミナボートに $0.5\text{g}/\text{回}$ 載せて使用した。その他装置仕様は表-1.6 に示す。

表-1.6 装置仕様

■電气管状炉：ADVANTEC 社製 [FUT542FB]
■炉外形寸法：W560×D360×H380
■炉心管寸法：D1000×φ42
■熱電対：白金-ロジウム製 (D950)、■ボート：アルミナ製

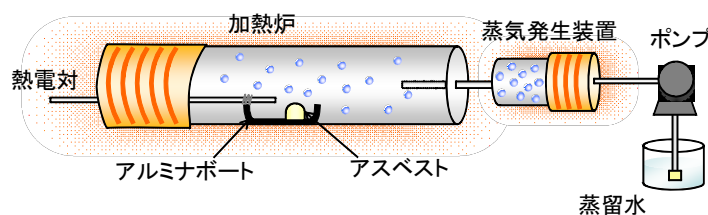


図-1.6 装置概略図

図-1.7は、クリソタイルを過熱蒸気雰囲気下で700°C、800°C、1,000°Cで30分間、処理した結果である。クリソタイルのピークは全ての温度において見つからない。一方で、フォルステライトのピークは、1,000°Cで処理しても消えていない。つぎに、アスベスト含有建材を模擬した図-1.8では、700°Cでクリソタイルのピークが消えて、800°Cからアケルマナイトのピークが出現している。

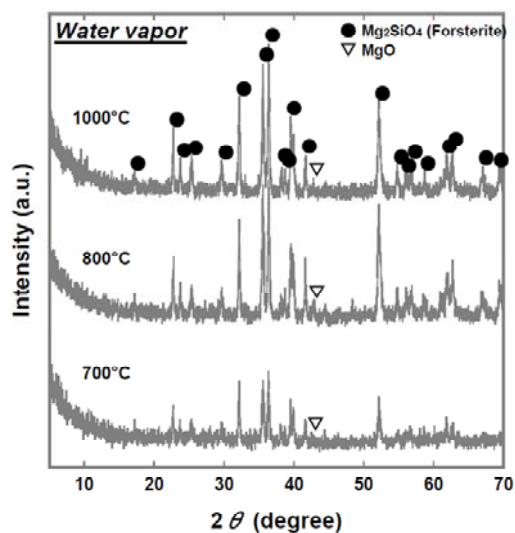


図-1.7 クリソタイル処理物のX線回折

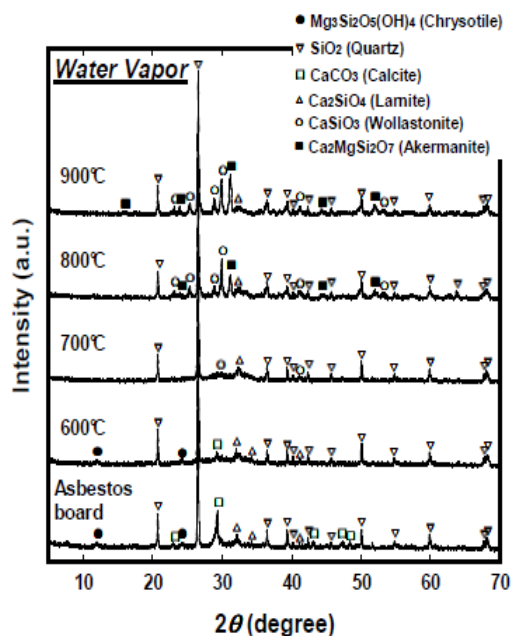
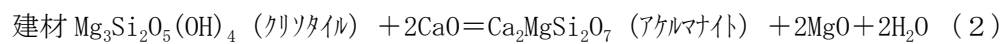
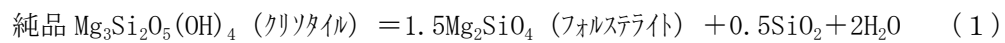


図-1.8 アスベスト含有建材処理物のX線回折

アスベスト含有建材を過熱蒸気雰囲気下で無害化处理すると、(2)式のようにクリソ
タイルとセメント中のカルシウム分との反応が低温で促進されるため、フォルステライト
の生成が抑制されると考えられる。



エ) 過熱蒸気の電磁波効果

放射熱は電磁波に形を換えて伝わるため、熱の伝わる媒質を必要としない。熱エネルギーを放射する波長域は大部分が赤外線領域にあり、 γ 線や電波は熱エネルギーには変換されない。この電磁波の波長による分類を図-1.9に示す。

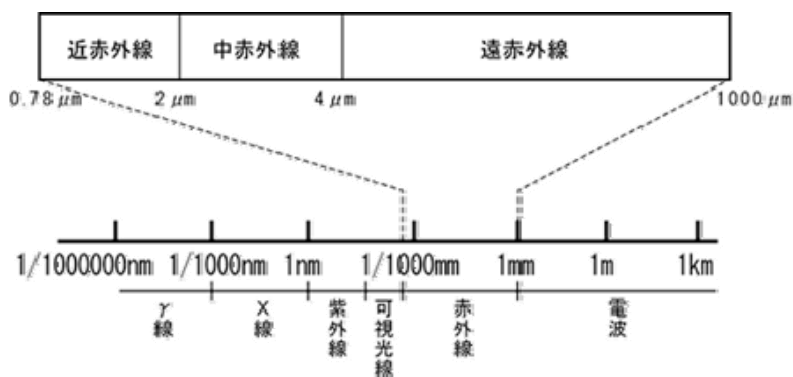


図-1.9 電磁波の波長による分類

赤外線領域を主とする放射熱は、すべての物質に備わっているが、気体では物質により差が大きく、水蒸気やCO₂など吸収の大きい物質を除いて無視することができる。熱放射線の吸収、放射、散乱の機構は、対象とする物質が気体、液体、固体のいずれであるかによってその様子が異なってくる。水蒸気、CO₂などの気体の場合には、それらの気体が存在する空間内を連続的な赤外線が通過すると、それぞれの気体によって定まるいくつかの波長領域において吸収を受ける。これらの気体が高温になると逆にその波長領域の赤外線を放射し、その放射エネルギーはかなり大きくなる。この波長領域を吸収バンドあるいは熱放射バンドと呼ぶ。熱放射バンドの位置は、気体分子内での振動の特定の基準振動数によって決まる。

代表的な気体の持つ熱放射バンドを表-1.7に示す。

表-1.7 代表的な気体が持つ熱放射バンド

気体	代表波長(μm)				
	CO ₂	2.0	2.7	4.3	15
H ₂ O	1.4	1.9	2.7	6.3	20
CO	2.35	4.7			
NO	2.7	5.3			

ガス種および温度による放射エネルギーの違いを確認するため、空気と蒸気をそれぞれ所定の温度まで加熱し、大気中に放出させ、その放出直後のガス体の放射エネルギーを分光放射計により測定した。2つのガス体は、同温度における供給熱量が等しくなるよう流量を調節した。結果を図-1.10に示す。

温度が高くなるほど、過熱蒸気を表-1.7に示される波長域に強いピークが現れた。特に波長2.7μmのピークは、OH伸縮振動に由来することが知られている。

一方で、加熱空気には、測定範囲内において、特異なピークは見られなかった。

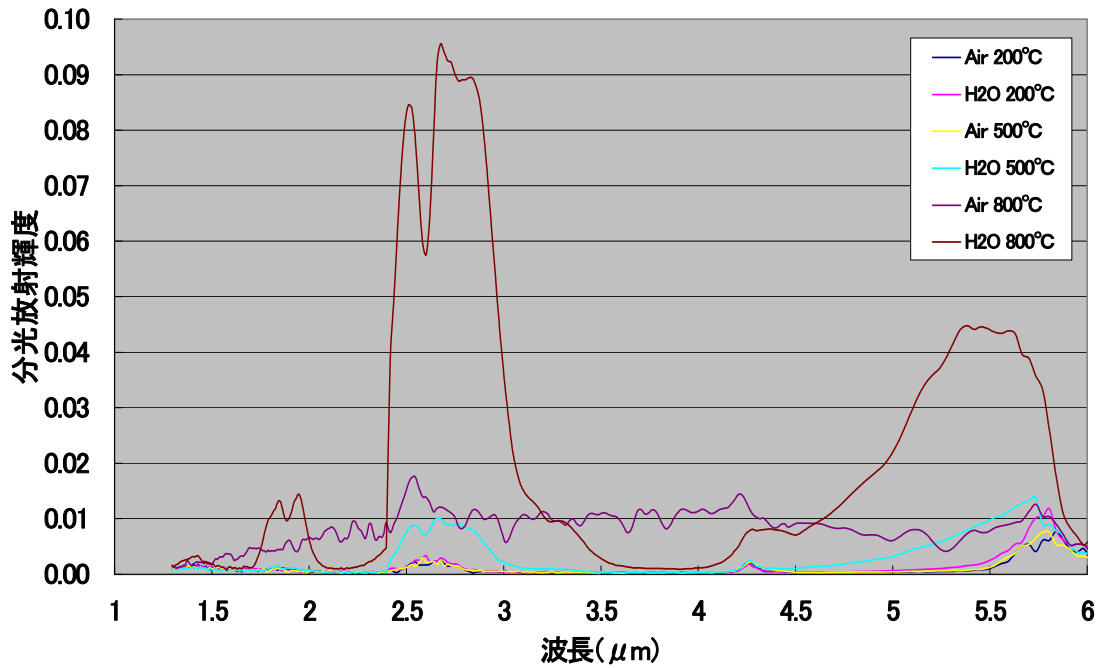


図-1.10 各波長における分光放射輝度

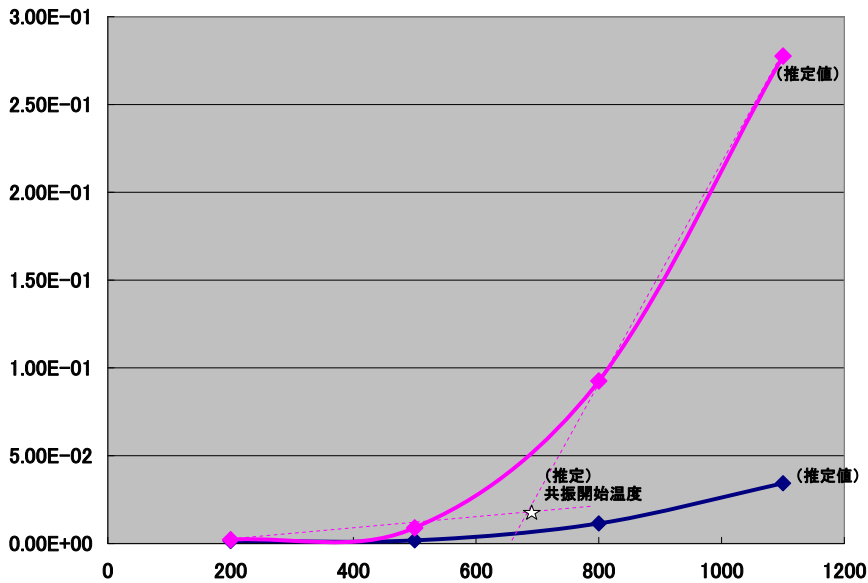


図-1.11 温度別ガス体の分光放射輝度

800°Cの過熱蒸気における 2.7 μ m 近傍の波長域が突出して高い値を示している。この波長を各温度から抜粋し、プロットしたグラフを図-1.11 に示す。

過熱蒸気の場合のみ、おおよそ 700°Cを境に、2.7 μ m 近傍の波長域における放射エネルギーが強くなっていることがわかった。

対流伝熱は、アスベストの飛散に繋がるため抑制している中で、期待できない。さらに、アスベスト含有建材という強固な断熱材を対象としており、通常のヒーターのみでは表面にある建材の影や裏になった部分の建材を熱伝導のみによって温度上昇させるには多くの時間を要する。そこで、過熱蒸気が建材束の内部に侵入し、放射熱として建材全体を均一に加熱できる効果は大きいと考えられる。

ところで、電子レンジの加熱周波数は、日本では 2.45GHz である。この周波数のマイクロ波を水に照射すると、水分子が集団で作る分極 P が相互作用、つまり共振する。これが電子レンジによる加熱の原理である。水分子の集団であり、個々の水分子ではない。水分子の分子内振動は、OH 伸縮振動、逆対象伸縮振動、変角振動などがあるが、いずれも赤外線周波数のところであり、マイクロ波よりは 3~4 桁ほど高い。水素結合を介した分子間振動は THz 領域にあるが、それでもマイクロ波より 2 桁高い周波数のところである。従って、電子レンジで使われている電磁波が水分子の分子内振動や分子間振動に直接エネルギーを与えることはない。

ちなみに、周波数 f と波長 λ には以下の関係が成り立つ。

$$f = \frac{v}{\lambda} [\text{Hz}]$$

v :電磁波の速度

ここで、過熱蒸気とアスベストが持つ共通項に注目した。ともに OH 基として等しい基準振動数を持ち、過熱蒸気を持つ放射エネルギーを対象物の持つ OH 基が吸収、共振する。さらに、加熱対象物である石綿含有スレートは非金属無機材料であり、放射エネルギーに対して半透明といえる。

この効果について、試験により確認した。試験概略図を図-1.12 に示す。OH 基がある対象建材は、過熱蒸気を持つ放射バンドを吸収すると考えられる。裏面から加熱空気ないし過熱蒸気で 700°C まで熱したサンプルで、表面に発生する電磁波のうち、 $2.7\mu\text{m}$ の波長における分光放射輝度を測定した。また、あわせて赤外線カメラによりサンプルの表面温度を測定した。結果を図-1.13 に示す。なお、OH 基を持たない比較対象物として鉄板を用いて同様の試験を行った結果を図-1.14 に示す。



写真-1.2 分光放射計

<分光放射計の測定原理>

SR5000は、集光系にニュートン式反射集光系を採用しています。集光された光はチョッパーにより変調され連続可変フィルターで分光される。分光された光は、楕円ミラーをへて検出器に入射する。またチョッパーの羽根はミラーになっており、内部黒体炉の基準赤外線を反射し被測定物からの放射を透過するので、検出器は両者の差を測定し絶対値を得ることができる。

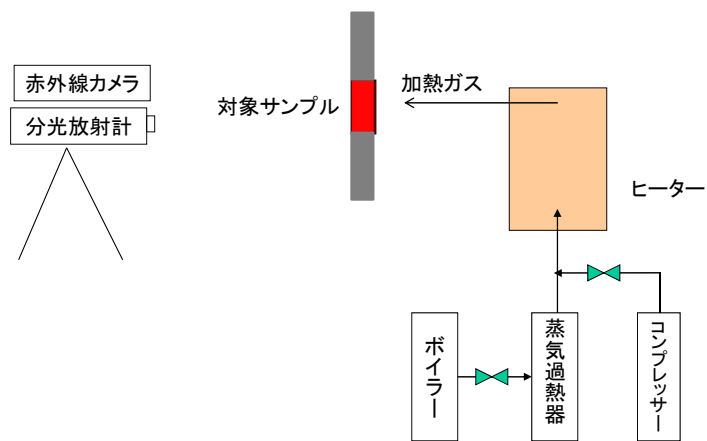


図-1.12 試験概略図

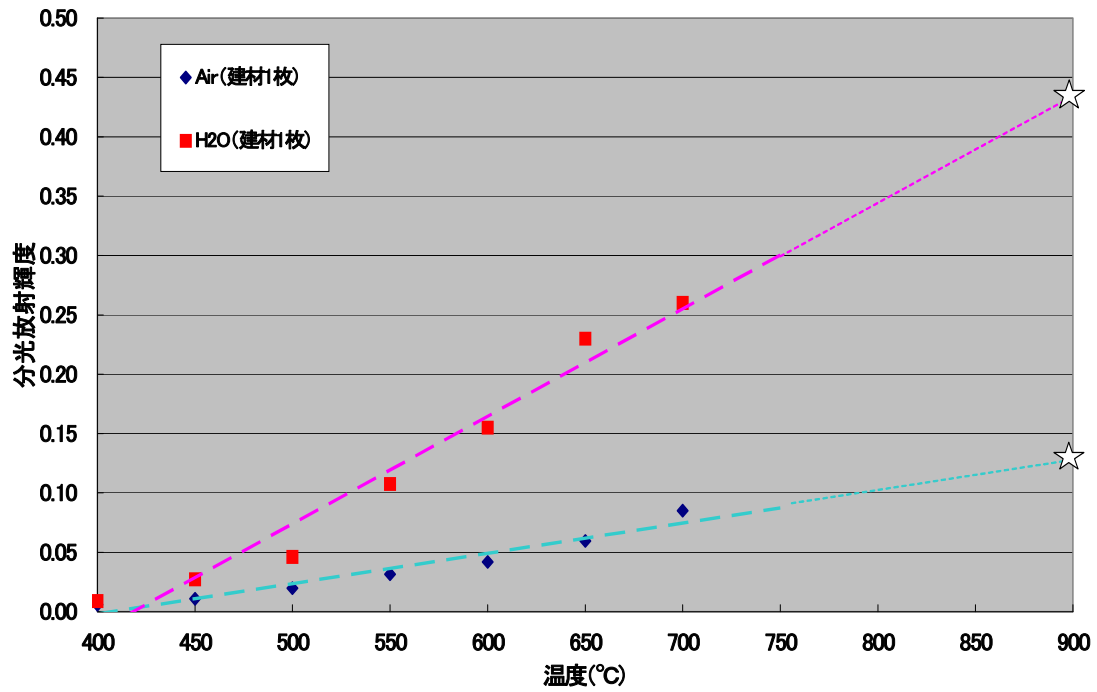


図-1.13 異なるガス体で加熱した建材から発生した $2.7\mu\text{m}$ の分光放射輝度

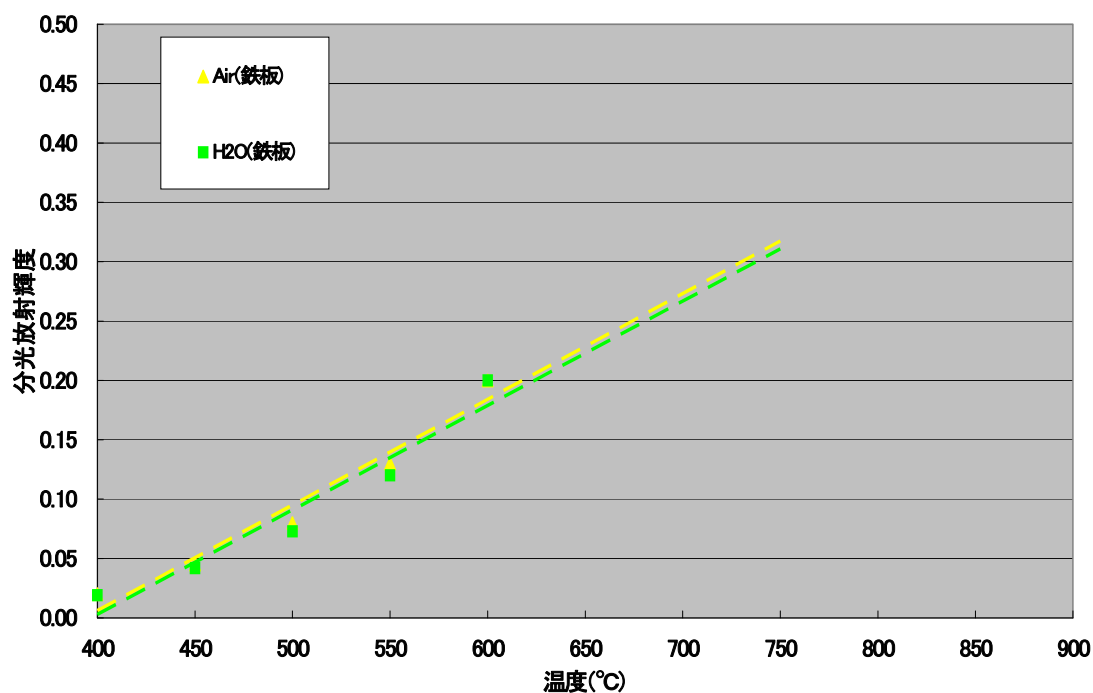


図-1.14 異なるガス体で加熱した鉄板から発生した 2.7 μm の分光放射輝度

鉄板にどちらの加熱ガスを吹き付けても、分光放射輝度に違いは見られなかった。一方で、アスベスト含有建材に過熱蒸気を吹き付けた場合、同じ温度の加熱空気の場合と比べて強くなっていた。これには以下の理由が考えられる。

- ・ 赤外線カメラで測定しているのは建材の表面温度である。建材表面から放射されるスペクトルのうち、特定の波長域を計測し、温度に換算している。測定波長域はガス体からの影響を排除できる範囲であるため、2.7 μm の影響は無視される。
- ・ 分光放射計では建材表面のみならず、建材内部から発生する OH 基由来の 2.7 μm の分光放射輝度を測定している。過熱蒸気を吹きかけられている裏面から測定している表面にかけて温度勾配が発生しており、表面温度から推定される輝度より大きい値になっていると考えられる。結果、同じ温度に達するまでの昇温時間は、過熱蒸気で加熱した場合のほうが早かった。外部からのみの加熱となっている鉄板の加熱に比べ、建材内部の OH 基が共振し、周囲より早く高い温度になることで、建材全体の効率的な熱伝達が行われ、結果的に対象物全体の温度上昇を促進したと考えられる。

オ) 無害化処理条件の決定

以上の実験結果から総合的に判断し、処理温度 950°C、保持時間 5 分を、本技術の無害化処理条件とした。

iii) パイロット規模装置(5t/day)の設計・製作

基礎試験の結果を踏まえ、パイロット規模装置(5t/day)の設計・製作を実施した



写真-1.3-上) パイロット規模処理炉



写真-1.4-右上) 建材設置状況



写真-1.5-右下) 炉内状況

パイロット規模装置の処理炉は写真に示すように、900mm×1,800mmのアスベスト含有建材がそのまま入る面積である。内法で幅1,200mm×奥行き2,000mm×高さ1,200mmで、下面以外は電気のパネルヒータで覆われる構造とした。必要な入熱量を満足するヒーターが限られていたため、できるだけヒーター設置面積を広く確保することを主目的に高さを決定した。加熱方式と、過熱蒸気と電気加熱の併用とした理由としては、大きくは2点ある。ひとつは、一般的な加熱方式である燃焼ガスの吹き込み式では、多量の排ガスの発生、同時に、その中へのアスベストの飛散が懸念される。また、その対応に相当の費用が生じる。もう一点は、過熱蒸気のみを吹き込んだ場合の熱ロスの抑制がある。過熱蒸気を主体とする排ガスを冷却することで、ほぼ水に戻るというクリーンなイメージがある一方で、過熱蒸気のみ入熱では、相当量の過熱蒸気の供給が必要となり、排気による熱ロスを避けられないことから、電気ヒーターを併設した。

iv) バッチ式パイロット装置(5t/day)による試験の実施

実験に供した建材は厚さ5mmの500mm角の住宅屋根用化粧スレート波板を15枚重ねた。ヒーターの容量は168kWである。処理炉下部から950℃の過熱蒸気を1.5kg/hr投入した。内部の圧は一定に保ち、余分な排ガス等は排出した。

200kgの建材を処理した際の、温度トレンドグラフを以下に示す。常温からの昇温であり、予備加熱に時間を要したものの、概ね3時間で一連の処理が完了した。

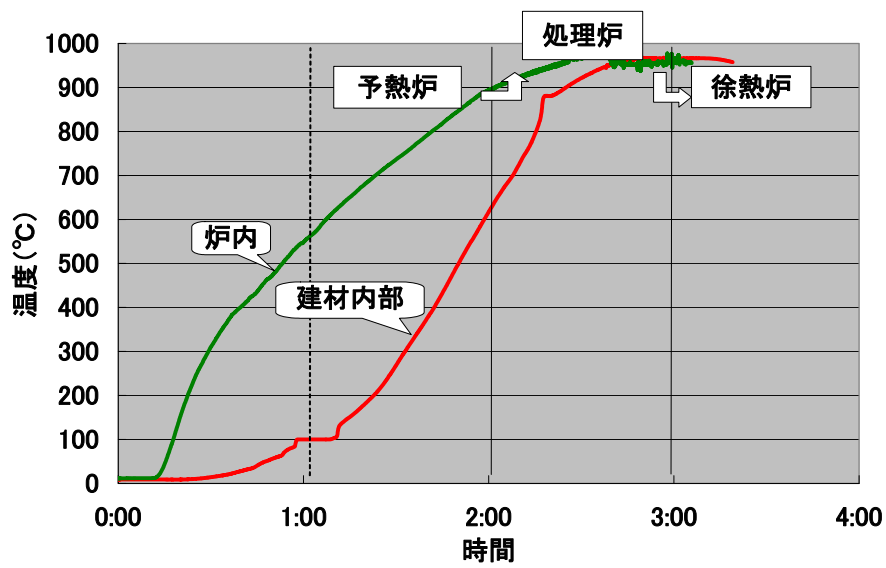


図-1.15 建材内部温度のトレンドグラフ

図-1.15 に示すように加熱開始後、1 時間内に過熱炉内の雰囲気は 500℃を越え、約 2 時間で 900℃を越えた。建材内部の温度は遅れて温度が上昇し、900℃を越えるまでに 2 時間 20 分かかった。2 時間 40 分で 950℃に達した。温度上昇は、建材の投入量とヒーターの容量によって決まるものである。最も昇温速度の遅い建材束の中心からサンプリングし、無害化を確認した。

2) 材料投入・排出工程・排気工程の最適化

バッチ式パイロット規模装置での試験結果を踏まえ、図-1.16 に示すように 500°C以上の予備加熱ができ、連続供給・排出ができるパイロット規模装置に改造して、8時間の連続運転を実施した。対象物には、波板および住宅屋根用化粧スレートを用い、ともに JIS A 1481;2008 に則りアスベストの無害化を確認した。なお、サンプリングは、建材束の上・中・下3段から1段あたり9か所、計27か所から採取した。

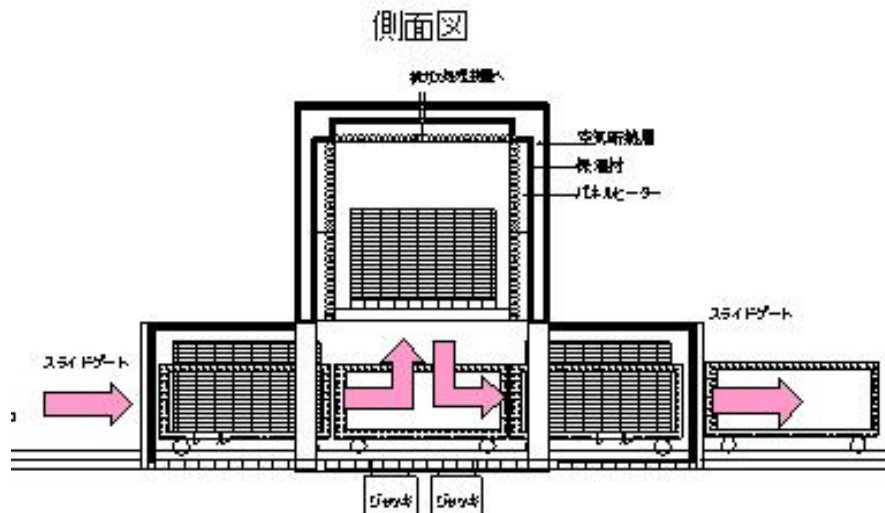


図-1.16 パイロット規模装置



写真-1.6 連続式パイロット規模装置



写真-1.7 連続試験状況

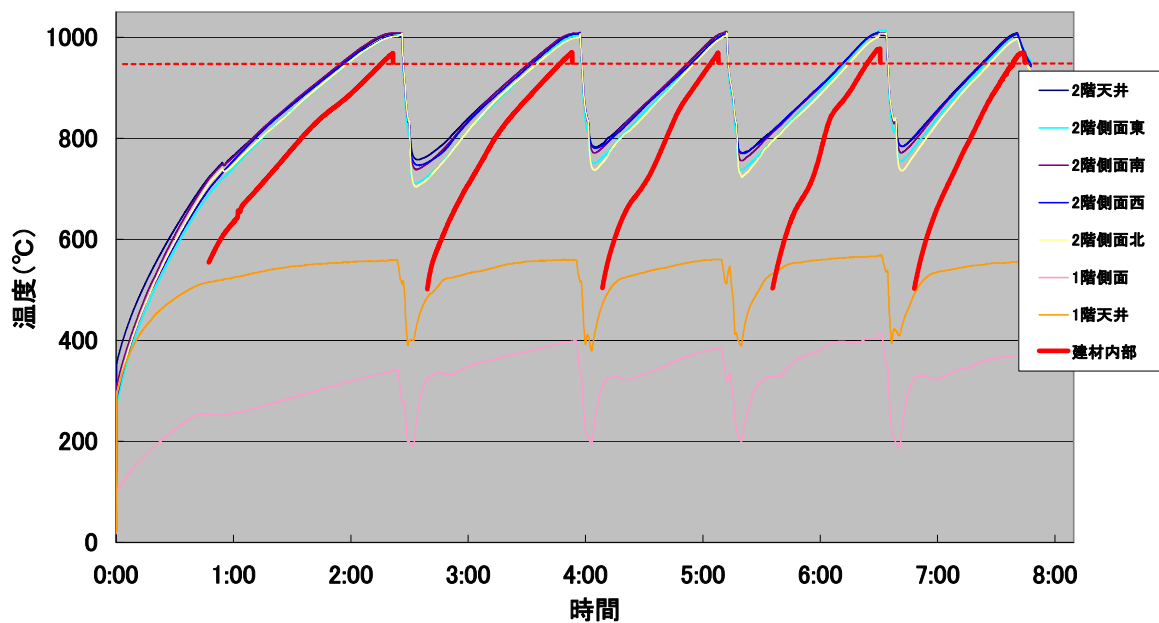


図-1.17 連続試験における温度トレンド

更に、上記連続試験結果から排気工程等での熱損失が大きいことが判明したため、対策として過熱蒸気循環装置の設置および過熱蒸気の供給温度アップを実施した。その上で、8時間連続運転の試験を3回行い、無害化の再現性について確認を行った。図-1.17に連続運転における温度トレンドを示す。赤いラインが、処理炉における建材束の中心温度である。

JIS A 1481:2008に則り無害化の再現性について確認を行った。また、パイロット規模装置の最大処理能力として6t/日を確認した。

①-b) アスベスト無害化物のセメント材料としての有効性確認

アスベスト含有建材を無害化处理した材料がセメント原材料として使用可能であるかどうかを以下の順で調査、検証した。

1) アスベストの化学成分の把握→2) 主な建材のアスベスト含有率→3) 主な建材のアスベスト以外の構成原料→4) セメント原料としてのアスベスト含有建材の可能性
以下、結果を示す。

1) アスベストの化学成分の把握

アスベストは、産地により化学成分が多少違うが概ね表-1.8のように分類できる。

蛇紋石系のクリソタイルと角閃石系のアモサイト・クロシドライトの化学組成の違いは、クリソタイルが SiO₂ と MgO が主体なのに対し、アモサイト、クロシドライトは SiO₂ と FeO が主体となっている。トレモライトとアクチノライトは、同じ結晶構造を持ち、化学成分の鉄分の多少で区別されている。鉄分の少ないのがトレモライトで多くなるとアクチノライトと呼ばれる。

表-1.8 アスベストの化学成分

	蛇紋石系	角閃石系				
	クリソタイル	アモサイト	クロシド ライト	アンソフィ ライト	トレモライト	アクチノ ライト
SiO ₂	38～42	49～52	49～56	53～60	55～60	51～56
Al ₂ O ₃	0～2	0～1	0～1	0～3	0～3	0～3
Fe ₂ O ₃	0～5	0～5	13～18	0～5	0～5	0～5
FeO	0～3	35～40	3～21	3～20	0～5	5～15
MgO	38～42	5～7	0～13	17～31	20～25	12～20
CaO	0～2	0～2	0～2	0～3	10～15	10～13

出典：「アスベストの鉱物学」労働衛生 神山憲彦

2) 主なアスベスト含有建材のアスベスト含有率

主なアスベスト含有建材のアスベスト含有率を表-1.9 に示す。

表-1.9 アスベスト含有建材中のアスベスト含有率

アスベスト含有建材名	アスベスト含有率(重量%)
スレート波板	5～20
住宅屋根用化粧スレート	5～20
スレートボード	10～30
珪酸カルシウム板第一種	5～25
スラグせっこう板	5
窯業系サイディング	5～15
押出成形セメント板	5～25

出典：(社)日本石綿協会

一つの建材で含有率に幅があるのは、“年代による変遷”である。建材中のアスベスト含有率は、おおむね古い年代の物ほど多く、近年は少なくなってきた。 (社) 日本石綿協会の資料は昭和46年(1971年)からあるがその間でも含有率は変化をしている。高価であったため添加量を低減させる為に、解綿技術や代替繊維の研究開発がなされた。一方で、アスベストによる肺がん等の健康被害が問題となり、労働安全衛生法等によるアスベストの使用が規制され、アスベスト含有建材中のアスベスト含有量(含有率)の低下に拍車がかかった。アスベストの使用規制は昭和50年の5%規制、平成7年の1%規制、そして平成16年の製造禁止がある。

3) 主なアスベスト含有建材のアスベスト以外の構成原料

アスベスト含有建材ごとの主要構成材料を以下に示す。また、製造各社は法規制以前からパルプ繊維等をアスベストと混合し製造しており、混入されている可能性のある繊維もあわせて示す。

A) スレート波板およびC) スレートボード

主要構成材料はセメントと石綿である。硝子繊維(主成分は二酸化珪素(SiO_2))やパルプ繊維も混合して使用されている。更にオートクレーブ処理にも耐えられるビニロン繊維(ポリビニールアルコール系合成繊維の総称)やポリプロピレン繊維(プロピレンの重合体)が登場し、使用目的によっては、これらも混入されている。

B) 住宅屋根用化粧スレート

主要構成原料は「基材」と「(表面)化粧層」に大別される。基材はセメント、石綿、珪砂、(表面)化粧層はセメント、珪砂、アクリル樹脂。更にパルプ繊維やポリプロピレン繊維も使用された。

D) 珪酸カルシウム板

主要構成材料は、珪酸カルシウム、石綿、有機繊維。アスベストの代替として、パルプ繊維が使用されたものもある。

E) スラグ石膏板

主要構成材料は、二水石膏、スラグ、石綿。基本的には、石綿(1~5%)の他に硝子繊維等を併用して使用してきた。その他パルプ繊維等有機質繊維も使用された。

F) セメント押出成形板

主要構成材料はセメント、石綿、珪砂。パルプ繊維やポリプロピレン繊維も使用された。

4) セメント原料としてのアスベスト含有建材の可能性

上記で判明した材料がセメント原料として利用した場合に考えられる影響を以下の表-1.10 に示す。

表-1.10 セメント原料としての影響

材料名	問題点
セメント	セメント製造原料の一部としても化学成分として問題は無いと考える。
珪酸カルシウム	SiO ₂ と CaO の化合物であり、セメント製造原料の一部としても化学成分として問題は無いと考える。
二水石膏	化学組成は CaSO ₄ ・2H ₂ O で、セメント原料として悪影響が懸念される化学成分の「三酸化硫黄」に関わる物質と考える。
アスベスト	アスベスト含有建材中の MgO 等の量も建材の種類、年代及び用途によりバラツキがあることを考慮しなくてはならないと考える。
珪砂	主として SiO ₂ 。セメント製造原料の一部として化学成分として問題は無いと考える。
スラグ	炉で金属を融解するときに生成される人工的な混合物で、化学成分は主として SiO ₂ であり、セメント製造原料の一部としても化学成分として問題は無いと考える。
有機繊維	アクリル樹脂、パルプ繊維、ビニロン繊維、ポリプロピレン繊維等有機質は、アスベスト含有建材の無害化時の加熱処理によりガス化するものと考ええる。
硝子繊維	SiO ₂ が主成分であり、セメント製造原料の一部としても化学成分として問題は無いと考える。

①-c) アスベスト無害化物のセメント原料への転換技術

処理物は、以下の2パターンでの資源化を想定した。

- ・ 処理物を粉砕し、そのまま成分を調合することでセメントもしくはフィラーとする。
- ・ 処理物をセメント工場に搬入し、セメント原料とする。

前者では、セメント化は不可能であることがわかった。含まれる化学成分としては、非常にセメントに近い成分であるが、セメントとして利用するには1,450℃で焼結体を作る必要がある為である。また、フィラーとするには、現状、例えば「コンクリート用フライアッシュ；JIS A 6201」などのようなフィラーとしての規格が存在しない。早期事業化の目的にそぐわない。

後者では、処理物に含有される成分の組成比が判明すれば、セメント工場に受け入れてもらえることがわかった。この場合、処理物はその他原料と一緒にセメントキルンにて焼成され、クリンカーとなる。これを用いたセメントが、例えば「ポルトランドセメント；JIS R 5210」の品質に適合すれば良い。

セメントの主な原料は、石灰石、粘土、珪石、酸化鉄原料である。最近では、多くの廃棄物・副産物（高炉スラグ、石炭灰、汚泥、建設発生土、非鉄鉱滓等）を熱エネルギーや原料の代替として活用している。原料代替として使用するものは、その成分を有効活用できるように混合している。アスベスト無害化物は、この原料・粉砕工程で現在使用されている各種廃棄物・副産物と同様、もしくはそれ以上に有効利用できる可能性が高い。セメント原料として利用するにあたり、アスベスト含有建材6種を無害化処理したサンプルの化学成分含有率を分析した。結果を表-1.11に示す。

表-1.11 無害化物の化学成分分析結果

建材の種類	化学成分(%)								R ₂ O %	Cl %
	ig-los s	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TS	total		
スレート波板	6.9	24.9	6.0	4.0	49.9	4.9	2.2	99.8	0.45	0.078
住宅屋根用化粧スレート	1.0	55.5	5.7	3.7	23.7	7.5	0.9	99.7	0.99	0.026
スレートボード	4.2	26.1	5.4	2.9	47.5	8.3	4.0	99.8	0.46	0.145
珪酸カルシウム板	1.0	49.8	3.7	3.6	38.9	1.7	0.4	99.8	0.24	0.010
スラグ石膏板	3.5	24.7	8.1	2.2	37.1	5.8	16.8	99.9	0.63	0.042
押出成形セメント板	2.2	47.0	4.8	2.7	35.0	6.8	0.4	99.9	0.47	0.024
比較:普通ポルトランドセメント	-	20 ~ 23	3.8 ~ 5.8	2.5 ~ 3.6	63 ~ 65	<5	<3.5	-	<0.75	<0.035

黄色抜きした MgO と TS、Cl が普通ポルトランドセメントに比べて含有率が高い傾向にある。

青抜きした SiO₂ は建材によってばらつきが大きい。特に市場占有率の高いスレート波板と住宅屋根用化粧スレートにおける含有量の差は、調整する必要がある。均一な成分を求めるセメント工場に日々、成分が変動してしまえば受け入れてもらえない。

スラグ石膏板にふくまれる「石膏」は、セメント材料として添加するものではあるが、キルンの後で添加するのが一般的なプロセスである。よって、石膏含有建材は、別途取り扱う必要がある。

以上より、アスベスト含有建材は 11 種類存在し、そのどれもが原料として問題はないが、建材の種類により成分にバラつきがある為、受け入れ時、もしくはそれ以前において、ある程度の分別が必要であることがわかった。

仮にアスベスト含有建材全てを供給した場合におけるアスベスト含有建材ごとのセメント原料 1t 当たり混ぜることのできる量を計算した結果を表-1.12 に示す。ただし、アスベスト含有建材を 1 種類ごとに特定して供給した場合、供給できる量は大きく変化する。特に、スラグ石膏板にふくまれる「石膏」は、セメント材料として添加するものではあるが、キルンの後で添加するのが一般的なプロセスである。よって、石膏入りアスベスト含有建材は、別途取り扱う必要がある。

表-1.12 各アスベスト含有建材の供給量

建材の種類	各建材原単位 (kg/t)
A スレート波板	20
B 住宅屋根用化粧スレート	30
C スレートボード	10
D 珪酸カルシウム板	100
E スラグ石膏板	1
F 押出成形セメント板	30

ビジネス化において対象とするアスベスト含有建材の出所は大きく 2 種類に大別される。一戸建ての解体ないしリフォームか、主に工場などからである。まずは、その出所に応じて分別回収し、かつその中でも市場占有率の高い住宅屋根用化粧スレートおよびスレート波板とそれ以外のアスベスト含有建材に大別して受入れる。ただし、受入品目としてスラグ石膏板は除外する。そうすることで、万が一に石膏が混入した際にも、石膏含有率をセメントキルン前で許容されている割合に抑えることが可能である。これらは目視でも識別しやすいというメリットもある。

無害化処理工場におけるアスベスト含有建材の受入においては、ストックヤードを上記種類ごとに設け、分別して受入れる。

無害化されたアスベスト含有建材をセメントメーカーに引き渡すまでは、SiO₂の含有量および市場占有率の大きい住宅屋根用化粧スレートと、それ以外の建材にストックヤードを分け、保管する。こうすることで、市場占有率の高い 2 種類のアスベスト含有建材に関しては、セメント原料として求められる均一な成分比を許容誤差の範囲内に担保する。

①-d) アスベスト無害化物の無害性評価

アスベストがアスベストで無くなる温度は、例えばクリソタイルであれば最大でも 850°C といわれていた。今回、過熱蒸気を用いた処理物も、この熱処理物に該当する。事業化にあたって必要な安全面での確認事項として、無害性評価を実施した。

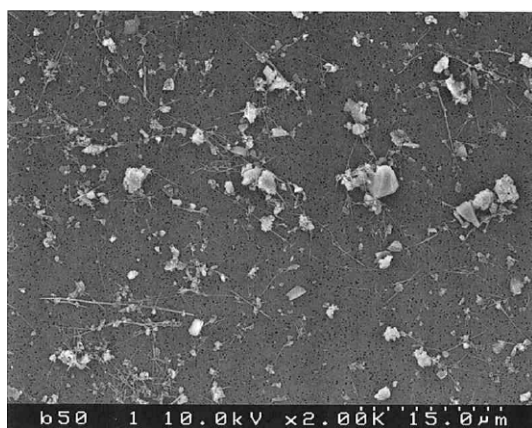
1) 物理化学的特性試験の実施

無害化処理したアスベスト含有建材の粒子の凝集性を確認するために、蒸留水に懸濁させたアスベスト無害化処理物質を、走査型電子顕微鏡で観察した。

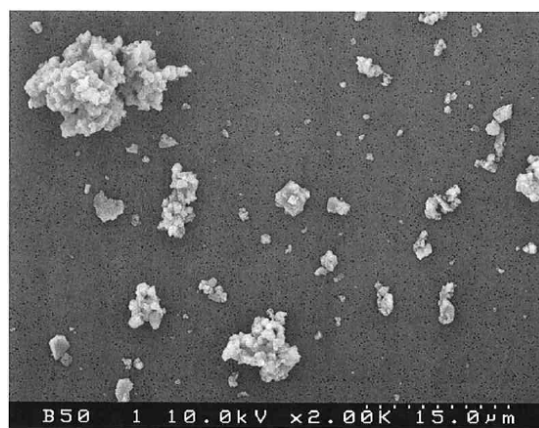
対象サンプルは、スレート波板、住宅屋根用化粧スレート、珪酸カルシウム板、スラグ石膏板の未処理物、処理物の 8 種類とした。対象サンプルの蒸留水懸濁液をメンブランフィルター上に回収し、白金コーティングして走査型電子顕微鏡で観察した。

スレート波板、住宅屋根用化粧スレート、珪酸カルシウム板、スラグ石膏板の処理物に関しては、10 μm 以上の凝集体は、ほとんどなく、吸入に可能なレベルであると思われた。また、スレート波板、住宅屋根用化粧スレート、珪酸カルシウム板、スラグ石膏板の未処理物に関しては、繊維状物質が認められたが、各々の処理物において、繊維状物質の存在は認められなかった。

図-1.18 に住宅屋根化粧スレートの処理前後の走査型電子顕微鏡の画像を示す。



住宅屋根化粧スレート 未処理物



住宅屋根化粧スレート 処理物

図-1.18 走査型電子顕微鏡画像

2) 試験管内試験

無害化試験を実施する 4 種類の建材を選択して、無害化する前のアスベスト含有建材と無害化後のアスベスト含有建材について、培養した細胞を用いて細胞毒性解析を行った。使用した細胞は、II 型肺胞上皮細胞のセルラインである A549 細胞を用いた。フラスコ (75cm²) で培養した A549 細胞をトリプシン処理にて回収し、0.5% fetal calf serum (FCS) (牛胎児血清) を含む Dulbecco's Modified Eagle Medium (D-MEM) 溶液に $2.5 \times 10^5/\text{ml}$ になるように調整した。この A549 細胞浮遊液を、2ml ずつ 6 穴の細胞培養プレートに加え、 $5.0 \times 10^5/\text{well}$ に調整し、CO₂ インキュベーターにて一晩培養した。翌日、上清を取り除き、無害化対象建材である 4 試料を、0.5% FCS を含む D-MEM 溶液に懸濁させ、最終濃度 25 μg 、50 μg 、100 $\mu\text{g}/\text{well}$ として A549 細胞に曝露した。また、4 試料の各々未処理サンプルも、最終濃度 50 $\mu\text{g}/\text{well}$ にて曝露した。CO₂ インキュベーターにて 18 時間培養した後、上清を回収し、-40°C で凍結保存した。培養上清中の TNF 濃度の測定には、Human TNF- α 用の ELISA を用いた。

スレート波板、住宅屋根用化粧スレート、珪酸カルシウム板、スラグ石膏板の処理物、未処理物及びクリソタイルは、A549細胞における明かなTNF産生亢進作用は示していなかった。肺胞上皮細胞は、様々な炎症に係わるサイトカインなどを産生しているため、TNF以外のサイトカインなどに刺激をしていることが考えられる。そこで、無害化試験を実施する4種類の建材を選択して、無害化処理前後について培養した細胞を用いて細胞毒性解析を行うことを目的に、IL-8とH0-1濃度等を測定した。

IL-8とH0-1は陽性対照と陰性対照で産生に差があり細胞毒性を評価するに適していると思われる。アスベスト無害化処理物質は、いずれのマーカーにおいても陰性対照と同じようなレベルであり、細胞毒性を示していなかった。しかし、IL-8が試験管内試験で有害性の有用なスクリーニングとして使用されており、この産生量が、4種類の建材において一番高い値を示したスラグ石膏板を気管内注入の候補サンプルとして決定した。

3) 気管内注入試験

アスベスト無害化処理物をラットに気管内注入し、3日、1週間、1ヵ月、3ヵ月後に肺の病理、肺障害マーカーの発現検討を行った。

- i) 肺炎症におけるアスベスト無害化処理物質と処理前物質の比較では、試験の急性期において処理前物質は、アスベストと同様な炎症を示した。一方、処理後物質は、陰性対照物質よりは炎症を亢進していたが、処理前物質より低下していた。試験の慢性期においては、両者とも徐々に低下していき、陰性対照と同等のレベルまで低下した。
- ii) 肺の線維化に関しては、本試験期間においてアスベスト処理前後物質で有意な線維化形成を認めなかった。
- iii) 肺障害のマーカーであるH0-1遺伝子発現に関しては、アスベスト処理前後物質とも持続的発現を認め、程度は不明であるが、有害性を有することが示唆された。ただし、アスベスト含有建材に含有されるアスベスト以外の成分が関与していたとしても、このマーカーでは判断できない。

図-1.19に注入後の観察期間別肺炎症スコアを示す。今回の反応はあくまで急性期の反応であり、中皮腫のようなアスベストの健康影響を評価する場合、1年や2年後などの慢性期の影響を検討する必要がある。

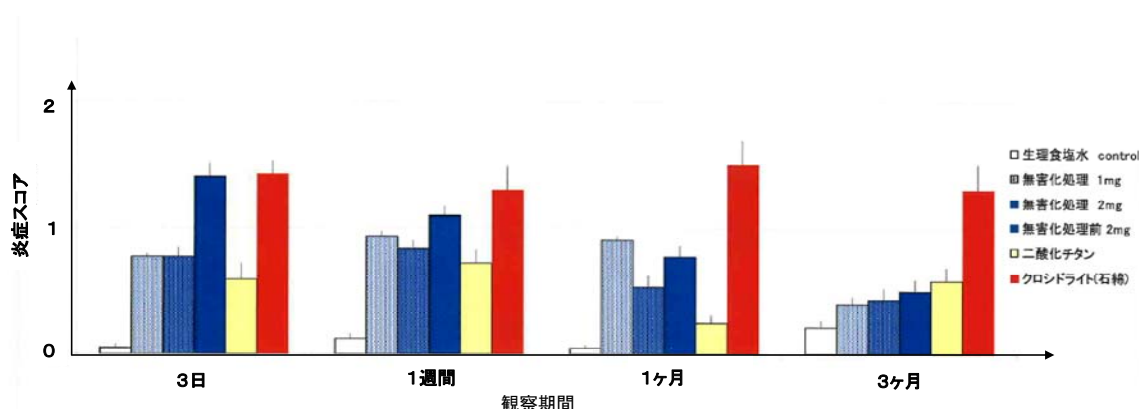


図-1.19 注入後観察期間別肺炎症スコア

(2) アスベストの大量・無害化処理技術と資源化に関する研究

②-a) 連続運転による装置の最適化および実機の検討

1) 連続式パイロット装置の検討

バッチ式パイロット装置での実験結果を踏まえ、図-2.1 に示す連続式パイロット装置を設計した。装置は、予熱エリア、無害化処理エリア、徐熱エリアに分かれている。アスベスト含有建材は専用容器に投入し、台車に乗せて移動する。エリア間の移動は油圧シリンダーでの押し込み形式とした。無害化処理炉は 2 階部分にあり、ジャッキアップし炉内に専用容器を投入する方式とした。

予熱エリアで 600℃まで加熱されたアスベスト含有建材は、無害化処理エリアで過熱蒸気雰囲気内でさらに加熱する。所定の温度に達したのち、降下し徐熱炉で自然冷却される。

本装置にて、8 時間連続実験を実施し、1 バッチあたり約 1 時間で無害化処理できることを確認した。

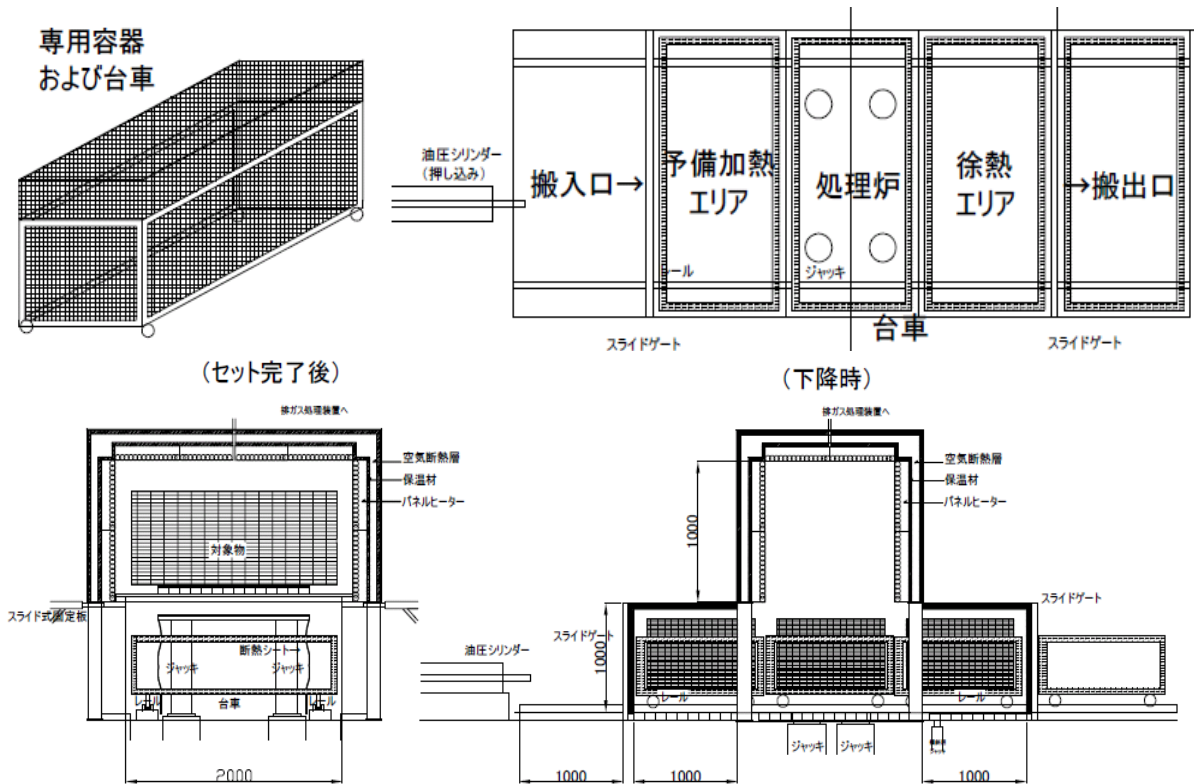


図-2.1 連続式パイロット装置

2) 材料投入方法の検討

i) アスベスト含有建材の解体回収方法の検討

実機を検討するにあたり、建設現場、解体業者等からヒアリングを行い、解体材の搬入荷姿についての確認をおこなった。現状では、外壁の解体は手ばらしで行い、ボードの形状のままトラックに積み込み、全体をシートで覆って搬出している。一方、天井ボード、住宅屋根化粧スレートは機械等で細かく解体され二重ビニール袋に入れて搬出されている。そのため、この2タイプの荷姿に対応できる材料投入方式を検討する必要があることがわかった。当初、環境省の指導にしたがって、「可能な限り破砕しないで」解体した場合、25kg/枚のアスベスト含有建材を2～3枚毎にシートに包んで回収する方法が適切と思われた。そのため、シート毎、ラインに乗せる前提で検討を進めた。しかし、実験のためにアスベスト含有建材を回収したところ、「可能な限り破砕しないで」解体しても一般的に建材は荒破砕されることが判明した。



写真-2.1 建材の回収の状況（出典：関東建廃協）

ii) 1バッチ分の収納容器の検討

これに関しては、解体現場からいかに効率的に無害化工場に運搬し、無害化ラインに載せるかの検討をする目的であった。しかしながら、i)と同様に、丁寧に解体しても荒破砕されることがわかったので、そのままトラックに現場に混合搭載し、無害化工場でストックして、処理量ごとにバケットに載せる方法が適切と考えられる。そのため、エキスパンドメタル等で作成したバケットに投入して、ラインに載せる方法が適切と考えられる。

iii) 収納容器ごとに冷却する方法の検討

バケット毎に処理ラインに乗せ、950℃までの昇温に1時間、無害化処理に1時間、冷却に1時間を考えている。冷却後300℃程度まで冷却されてから、破砕して(40mmアンダー)ストックすると計画していた。連続実験の結果、下記2点が観察された。

- ・ 無害化後1時間経過すると約300℃程度までアスベスト無害化建材の温度が低下している。
- ・ 無害化し、冷却後のアスベスト無害化建材は、多少力を加えるだけで小破砕できる。

以上により、無害化ラインで無害化された後に、バルコン(搬送機)のまま水冷の筒状冷却機を通過すれば300℃程度まで温度を下げる事が可能である。

3) 実機の構成の検討

i) 加熱炉に用いる電源の検討及び経済性、耐久性の検討

現在試験で用いている電気パネルヒーターは、高温でかつ過熱蒸気雰囲気耐えるものを選定した。しかし、過熱蒸気雰囲気での長期運転における実績がなく、保守維持費用にかかる費用が想定の域を超えない。一方、適当な加熱源の調査検討を進めた結果、ラジアントチューブバーナーによる加熱が経済的に効果を得られる可能性が高く、また実績が多いことが判明した。ラジアントチューブ方式とは、炉内に直接バーナーを吹き込んで加熱するのではなく、特殊な鋼管の内部をバーナー等で加熱することによる間接過熱方式である。そのため、メンテナンス方法は鋼管を交換するだけで良いため、保守維持費用も安く抑えることができる。この熱源は、中圧の都市ガスを検討している。

ii) 実機の検討

連続式パイロット規模装置での試験結果から、実機が連続式パイロット規模装置を6台並べて30t/日処理するシステムか、更に6倍にスケールアップした加熱炉一つでの処理、または連続炉が適当かを検討した。

本開発の検討結果として、図-2.2 に示すバッチ式加熱炉を計画した。実機をバッチ式とした理由は、アスベストは6種類あり、処理温度が変わる可能性がある事、装置の故障の際に大型の加熱炉ではラインがすべて止まってしまう可能性があるからである。30t/日の処理のために、連続実験の結果から可能な設計として、5t/日の加熱炉を6基設置する必要がある。実施段階においては、連続処理とバッチ式処理のどちらが有利か、コスト及び処理能力の観点を含めて再度、検討する必要がある。

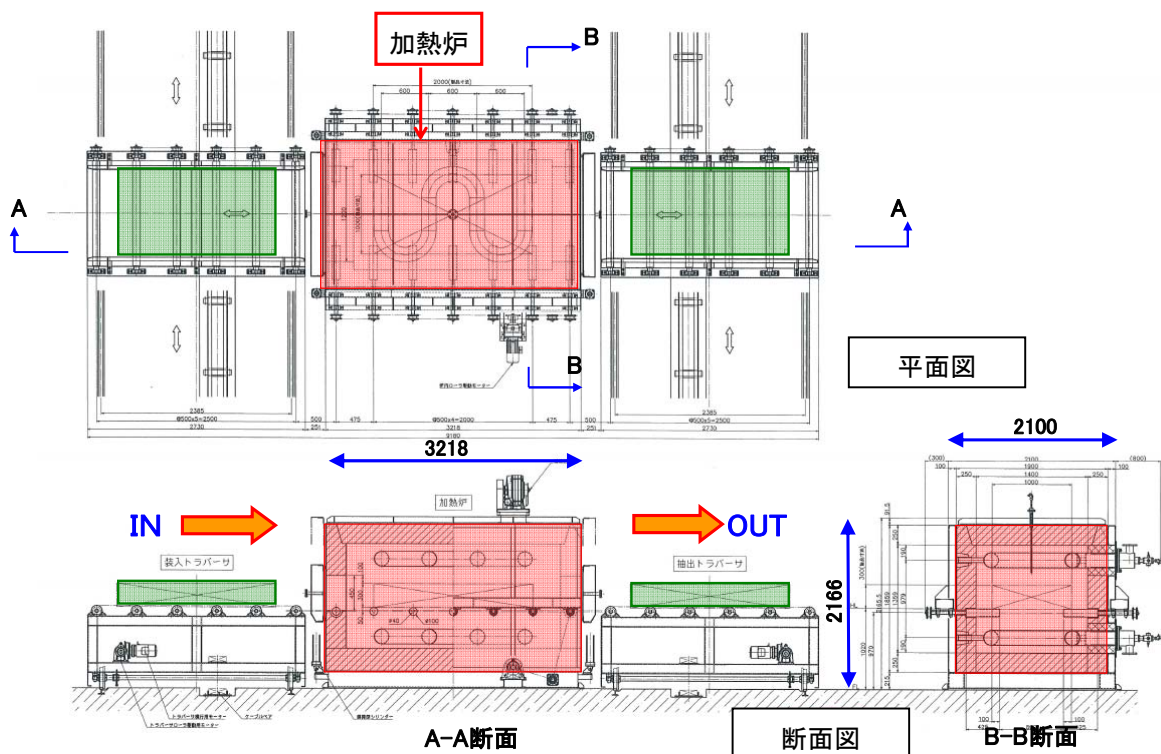


図-2.2 バッチ式加熱炉

②-b) アスベスト無害化物による大量セメント生産プロセスの開発

1) 破砕装置の検討

セメントメーカーとの検討の結果、無害化されたアスベスト含有建材を、全国どこのセメント工場でも、搬入してセメント生産プロセスにのせるためには40mmアンダーの大きさまで粉砕することが望ましいことがわかった。また、粉砕は無害化後を想定しているためアスベストの飛散に関しては問題ないが、破砕時に発生する粉塵、運搬時の粉塵の飛散対策が必要である。

アスベスト含有建材は、一度950℃まで加熱され、その後常温まで冷却されてセメントメーカーに運ばれる。その運搬前に、破砕する必要があるが、加熱された後のアスベスト無害化処理物は非常に脆く、高温状態で急速冷却すると簡易に粗粉砕される可能性があることがわかった。

写真-2.2が破砕装置による実験状況で、図-2.3が破砕粒度分布である。本実験により15枚束の同時破砕を行い、40mmアンダーに破砕できることを確認した。



写真-2.2 破砕装置による実験状況

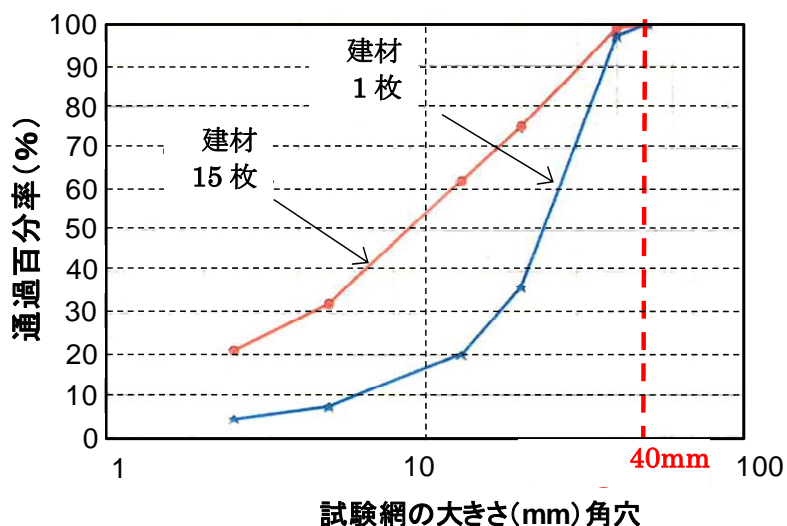


図-2.3 破砕粒度分布

2) 加熱炉から出た建材の冷却方法、貯蔵方法と運搬方法

i) 冷却方法について

加熱炉から外に出た直後のアスベスト含有建材は、900℃近い高温であり自然冷却に任せると、次のサイクルの1時間では自然冷却では400～500℃までしか温度低下が見込めない。したがって、平成20年度の課題であった冷却方式は以下のように検討した。水冷を採用すると、加熱で生じたCaOとH₂Oの反応が生じると排水の処理が必要になるので、これを防ぐために水冷は採用しない。加熱炉からゲートを開けて外のトラバーサに出した。

無害化されたアスベスト含有建材は下部から冷却空気を当てて冷却する。この方法で、次のサイクルの間に、建材の温度は約300℃まで低下すると考えられる。したがって、貯蔵庫の前に設置する破碎装置における冷冷却は考慮しない。

破碎装置については処理量200kg/hの加熱炉が20基設置された場合でも、全体の処理量は4,000kg/hなので、破碎器は1台で能力的に充分である。写真2-2に示すタイプの破碎器を据え付ける。

ii) 分別貯蔵について

アスベスト含有建材は11種類存在するが、その内、スラグ石膏板は成分に含まれる石膏の存在がセメント化に悪影響があるのと、建材全体に占めるシェアも少ないので、本研究開発では除外している。残りの、住宅屋根用化粧スレート（成分CaOが25%）、スレート波板（成分CaOが50%）、それ以外のスレート系の建材（成分CaOが約50%）の大きく3種類に分けて貯蔵することが望ましいと考える。これは、セメント化とセメント化以外の再利用方法を考えた場合に、成分比で近いものをまとめた方が良いからである。

iii) セメント化を考えた場合の運搬方法について

ここで述べる運搬とは、「無害化工場」から、セメントメーカーの工場までの無害化建材への運搬方法についてである。先に述べたように、加熱して無害化したアスベスト含有建材に、水噴霧して冷却すると建材が発熱して固化するおそれがあるので、水噴霧すべきでない。したがって、破碎器で40mm以下に破碎された無害化建材は、密閉式の運搬車でセメントメーカーの工場に運搬する。この運搬される建材は、環境省の規定する「無害化物」であって、アスベスト含有物ではないので、粉じんが飛散しない対策を取れば良い。

3) セメント原料化

平成 21 年の 12 月の 8 時間連続実験で無害化処理した「住宅屋根用化粧スレート」、「スレート波板」を原料の一部として利用したセメントを実験室で製造し、JIS R 5201 及び JIS R 5202 に基づく試験を実施した。作業工程と使用した装置を表-2.1 に示す。セメントの製造は高知県工業試験センターの装置を使用した。JIS に準拠した試験を実施するために約 10kg のセメントを必要としたので、材料の原料の減損を考慮して試薬、建材は合計で 15kg 分準備した。セメント原料への建材混合量は混合比率 10%とした。建材以外の原料は、試薬を使用した。Ca(OH)₂、SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、MgO、Ca₂SO₄・2H₂O である。写真-2.3 にセメント製造の状況写真を示す。

表-2.1 作業工程と装置

No.	作業名	作業内容	装置名
①	粗粉碎	アスベスト無害化物を 2mm 以下に粗粉碎する	ジョークラッシャー
②	混合・微粉碎	材料を計量・混合し 90 μm 以下に粉碎する	遊星型ボールミル (250rpm で 30 分間)
③	造粒 乾燥	焼成し易いように造粒し、乾燥炉で乾燥する	パン型造粒機 乾燥炉 (110°C、24 時間)
④	焼成	加熱炉で 1400°Cまで加熱する	電気加熱炉 (1400°Cで 60 分保持)
⑤	粗粉碎	クリンカーを 2mm 以下に粗粉碎する	ジョークラッシャー
⑥	混合・微粉碎	石膏を加えて混合し、微粉碎する	遊星型ボールミル (250rpm で 30 分間)

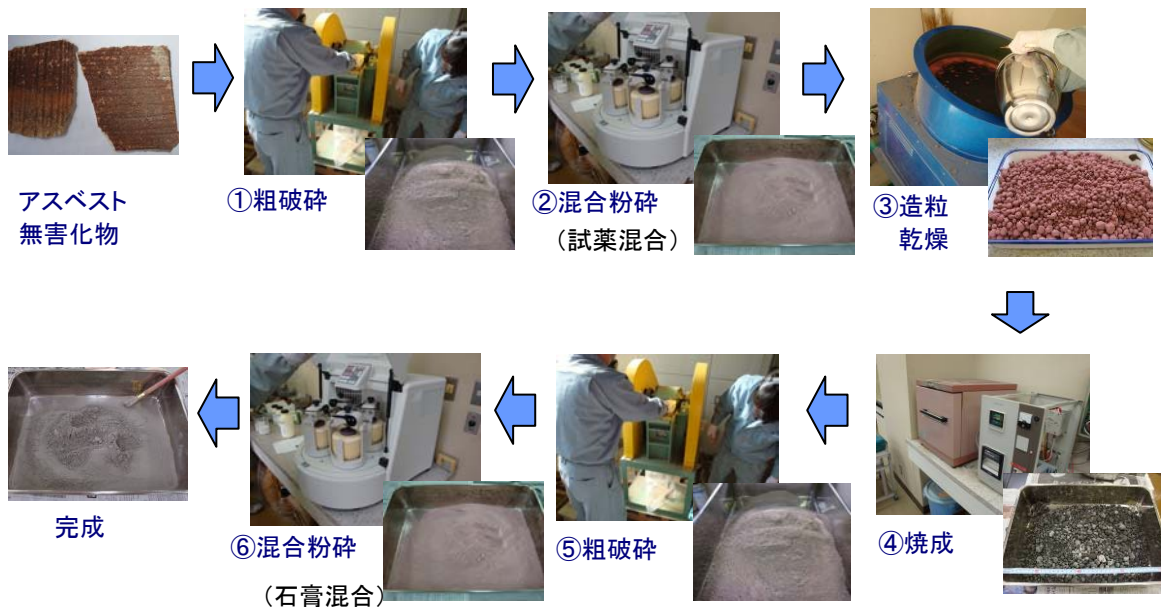


写真-2.3 作業状況写真

焼成したクリンカーのX線回折解析を行い組成鉱物の確認を行った（図-2.4 参照）。同解析は、高知県工業技術センターで実施した。また、製造した「住宅屋根化粧スレート」と「スレート波板」の化学成分分析を行った（表-2.2 参照）。結果として、製造されたセメントは、JIS 基準と比較して規格値内であることがわかる。さらに、「スレート波板」含有セメントについては、物理試験を実施した（表-2.3 参照）。比表面積、凝結、安定性、圧縮強度に関して、いずれも JIS 基準を満たす値となっていることがわかった。この JIS に基づく試験は、（財）建材試験センターに依頼した。

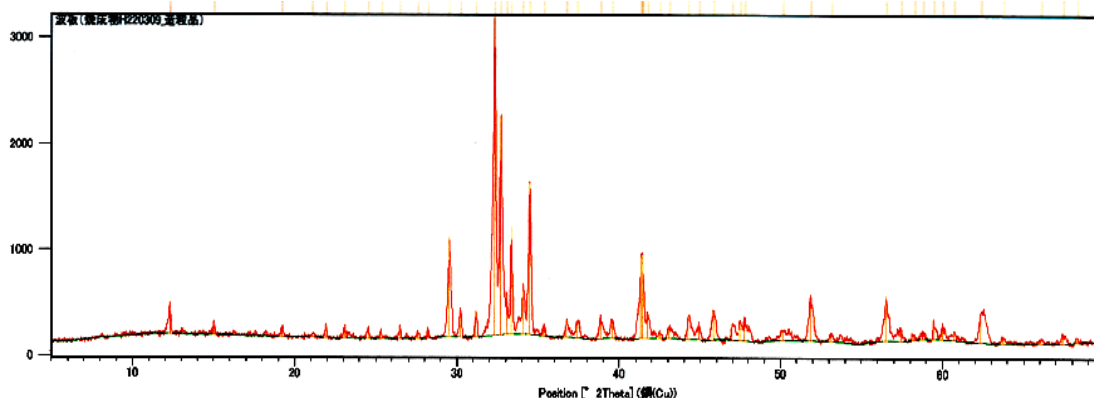


図-2.4 焼成物のX線回折測定

表-2.2 化学成分分析結果

セメントの種類	強熱減量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Cl
スレート波板含有セメント	0.92	21.9	5.56	2.88	65.2	2.05	1.82	0.021
住宅屋根化粧スレート含有セメント	0.93	21.8	5.49	2.67	65.5	1.99	1.64	0.021
JIS基準	<3	20 ~ 23	3.8~5.8	2.5~3.6	63~65	<5	<3.5	<0.035

表-2.3 物理試験結果

セメントの種類	密度 g/cm ³	比表面積 cm ² /g	安定性 試験	凝結		圧縮強度 N/mm ²		
				始発 min	終結 h	3日	7日	28日
スレート波板含有セメント	3.19	4000	良	146	3.1	37.7	48.8	66.2
JIS基準	—	2500 以上	良	60 以上	10 以下	12.5 以上	22.5 以上	42.5 以上

4) 大量生産プロセス

セメント原料の大量生産プロセスにおいて、以下のような課題が明らかになった。

- ・ 無害化工場に搬入されたアスベスト含有建材の種類、成分を明らかにしてストックしておくこと。
セメント工場における必要成分から、処理工場に受け入れた建材を種類ごとに仕分けして時系列で処理できる仕組みとする。
- ・ ストックされているアスベスト含有建材を無害化装置に連続的に投入する方法。
ストックヤードから10~15枚単位で、処理炉への搬送装置に載せられるよう分別する。また、回収時点からそのような仕分けができる仕組みの検討が必要。
- ・ 無害化が完了した無害化建材を冷却する方法。
空冷で300℃まで一気に冷却する。
- ・ 冷却された無害化建材を破砕し、種類ごとに分別し、搬出するために分別すること。
破砕後、建材の種類ごとに材料ビンにベルコンで投入し、時系列でストック、搬出する。

図-2.5 に実機でのアスベスト無害化施設の処理プロセス検討図を示す。

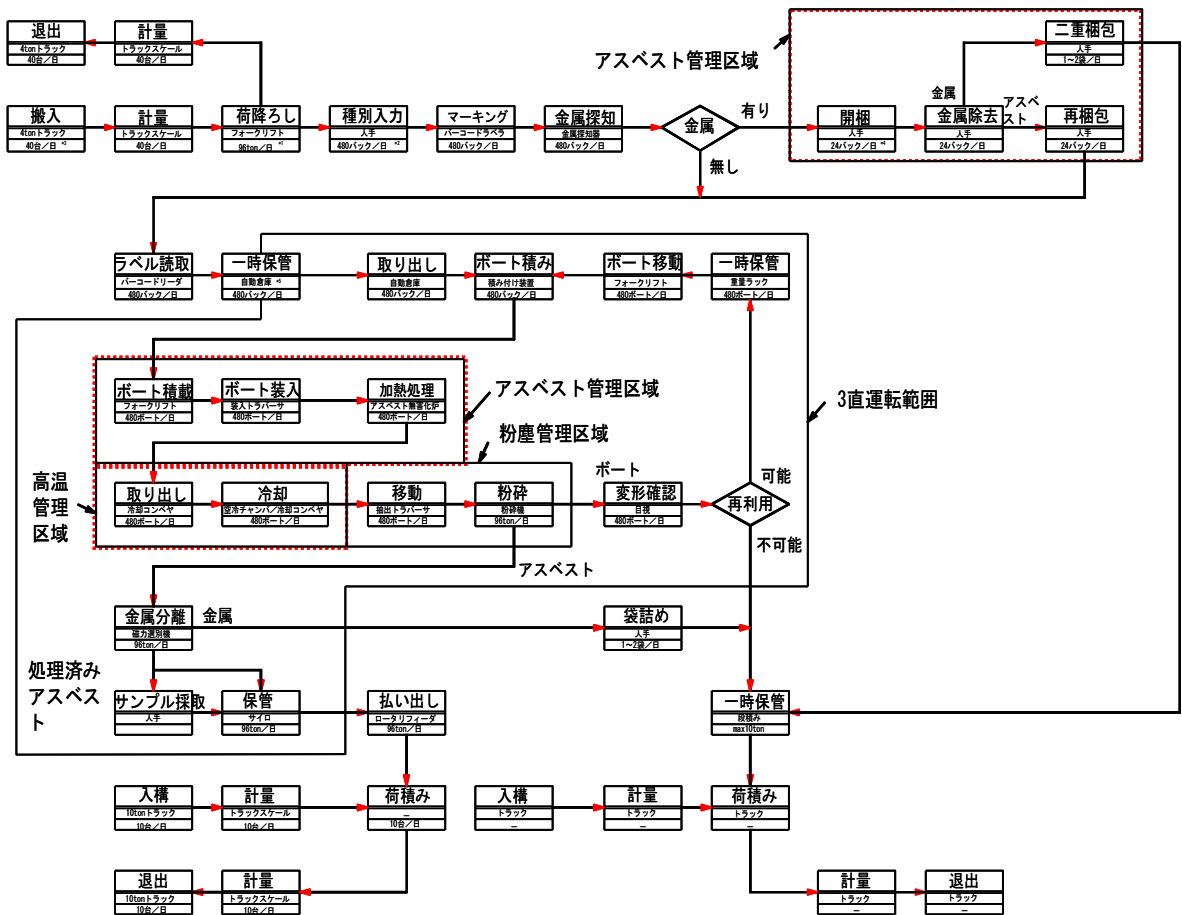


図-2.5 処理プロセス

(3) 実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定

1) コスト低減の検討

アスベスト含有建材（レベル3）は、通常の廃棄物と同様に、安定型処分場に埋め立てることが許可されているため、産廃処理会社等にヒアリングするなど、アスベスト含有建材の保存先、保存量等を調査した。

i) 埋め立て処理コストの調査

研究開発当初に調査した際は、アスベスト含有建材の収集運搬費は平均的に1万円/t程度、最終処分場に持ち込む費用で4~5万円/t程度であった。しかし、昨今の不況の影響により建物の解体処分が減少し、処分費用は減少傾向にある。地域によっても差があるが、特に、準公共的埋立処分場がある地域は費用が安い傾向がある。

無害化処理事業では、処理単価5~8万円/t程度での事業化を検討しているが、事業化のスタートに当たって競争力を失わないように、工場の規模、アスベスト含有建材の収集方法等コスト削減を検討する必要がある。

ii) 建材量の調査

アスベスト含有建材の年間排出量について、レベル3の建材はストックが4,000万トンで、年間100万トン排出されると言われているが、実態調査は行われておらず、実際の排出量は明確になっていない。日本石綿協会の調査では、地方自治体で1年間の排出量を把握している地域は3地域のみで合計排出量は3,754t/年であった。一般戸建て住宅のような小規模な建物では分別解体が進んでいない場合が多いと想定される。

尚、解体数量はある程度明確なレベル1の吹付けアスベストに関しては、レベル3と同様の扱いが可能であるが、加熱炉のラインをレベル3と別にすることが必要であり、初期コスト増加の要因になるわりに、利益増大の要因にはならないことが判明したので、ビジネススタート時には取り扱わないこととした。レベル1の場合、加熱炉中で飛散する可能性が大きく、作業員、工場の安全性担保の観点からも当面、問題があると判断した。

iii) 工場用地の検討

無害化した建材を搬入する予定のセメントメーカーのある川崎市、神奈川県、埼玉県、千葉県等において工場用地を探した。

第一工場として処理能力が年間22,500tの工場を計画しているが、それに適合する工場の用地は以下の条件が必要である。

- ・ 工業専用地域であること。
- ・ 工業用地を管理する自治体（あるいは民間）の条件に合うこと。
- ・ 高速道路のインターに近いことが望ましい。
- ・ 1,500坪程度の広さであること。

以上の条件で工場用地を探すと、まず管理者から「製造業であること」という条件を提示されるのが一般的であった。契約としては長期の契約が前提であった。候補地を決定する際には、この二つの条件がネックとなる。

iv) 環境アセスメントの検討

環境省の「個別認定」を取得するには、申請を提出するまでに 4 シーズンの環境アセスメントを終えている必要がある。環境アセスメントを実施するには約 2,000 万円の費用を必要とする。環境アセスメント実施するには、工場用地の取得あるいは特定が必須である。これらの費用を支出するには経営母体として、「ビジネス化可能である」との企業判断が必要である。

環境省の「個別認定」を得るために前提条件を明らかにし、来年度以降、土地の特定→環境アセスメントの実施→個別認定の申請、という手順を進める予定である。

v) セメントメーカーとの無害化物引き取りの検討

セメントメーカーなどと検討会を持ち、無害化物の引き取りに関して意見交換を行った。その結果、各メーカーとも現在引取っている汚染土壌の引き取り価格と同等で受け取ることが可能であるとの見解であった。ただし、引き取るには、アスベストが確実に無害化されていることが証明されることが必要であるとのことである。また、一部のメーカーで当面は引き取れないとの見解もあった。

昨今の建設需要低迷によるセメント使用量の減少により、引き取り価格は値上がり傾向にあり、今後の無害化処理のコスト低減を考えると、セメント原料以外に建材を再利用する（有償譲渡）等の用途開発が必要である。

2) アスベストの削減効果と波及効果の検討

環境省、東京都、神奈川県、川崎市、埼玉県等の関連団体、熔融無害化工場、最終処分場等にヒアリング調査をするなど、アスベスト含有建材の保存先、保存量の把握、今後の動向等を調査した。これにより、以下のことがわかった。

- ・ 非飛散性アスベスト含有建材は現在、安定型処分場で処分されているが、処分場の不足（産業廃棄物の最終処分場の残余年数は平成 16 年度予測では全国であと 7.4 年、首都圏に至ってはあと 3.4 年。出所；環境省発表資料）予測もあり、また、安定型、管理型ともに今後の建設が危ぶまれている。そのため、将来的に無害化が望まれている。
- ・ 飛散性アスベストは減っていく方向にあるが、まだ民間も含めた市場には多く残されており、その処分も含めた無害化処理がのぞまれている。
- ・ 現在、アスベスト含有建材のストックは 4,000 万 t 以上とされているが、昨年の法律改正でこのストック量は倍以上に増えると予想されている。
- ・ 熔融による無害化処理は、高温であるがゆえに装置の耐久性に問題があり、効率が悪い。その為、20 万円／t 近い処理費用がかかると言われている。
- ・ 現状では、高効率、低コストのアスベスト含有建材の無害化処理技術は開発されていない。

3) 実機の実用化検討

i) 適用建材の検討

わが国に普及していたアスベスト含有建材の 11 種類の内、入手可能なものは 7 種類であるが、それだけでマーケットシェアは 97% 程度になる。さらにその中で、スラグ石膏板は、硫黄分が多いので無害化工場には回収しない方針とした。さらに、残り 6 種類の内、ビジネス化における採算性を重視して、シェアの大きな 4 種類、スレート波板、住宅屋根用化粧スレート、スレートボード、珪酸カルシウム板を対象とすることとした。

ii) 建材の回収の検討

回収現場から、どのようにアスベスト含有建材を回収し、安全に運搬し、無害化処理し、再資源化処理するのか、運搬コストも含め検討した。アスベスト含有建材の荷姿は、「破碎されない状態」が前提ではなく、荒く破碎された状態を前提とする。実験の結果は、たとえば、住宅屋根用化粧スレートの場合、破碎されたものを積み上げた状態の建材より、破碎されない住宅屋根用化粧スレートをきれいに積んだものの方が無害化の処理は早かった。

解体現場から回収されたもので、まったく破碎されないアスベスト含有建材ではなく、荒く破碎されたアスベスト含有建材を前提とする。したがって、運搬のトラックの荒く破碎されたアスベスト含有建材を搭載し、飛散防止の措置をとって、工場まで運搬する。

iii) 法規制等の検討

法規制動向を調査し、環境アセスメント、住民へのアセスメントを検討し、どのようにして環境省の認定を取得し、実機を実用化するのか、実用化時期も含めて検討した。ビジネスを実施するには環境省の行政判断が大きな鍵を握っているのが現状である。

図-3.1 に、本開発で検討した無害化処理施設の配置計画図を示す。

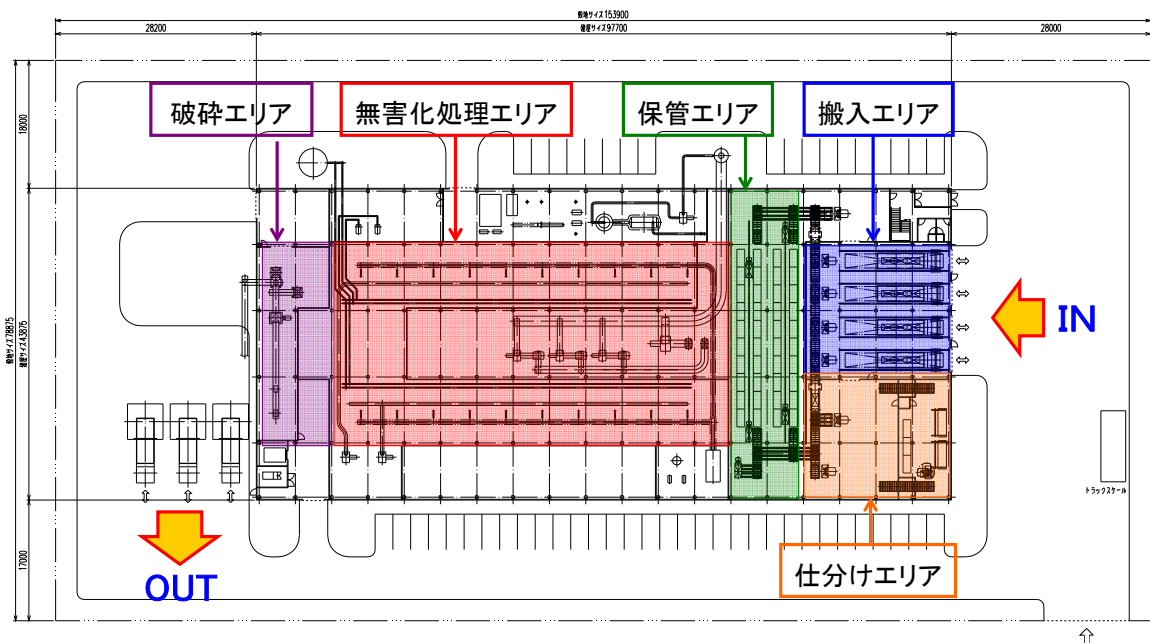


図-3.1 無害化処理施設配置

4) 事業化の枠組み、導入シナリオの検討

i) SPC（特別目的会社）設立を中心とする事業の枠組み

実際にビジネス化するに当たって、SPC 設立を含めた事業の枠組みを検討した。当初は、プロジェクトメンバー会社で合同会社を設立し、資金調達を行って、工場設立との構想を検討した。しかしながら、個別認定の見通しの問題から時期尚早との結論に至った。

ii) 幅広い業界・業種と連携し、早期に市場占有率を上げられる枠組み

本研究開発では、幅広い業界・業種と連携し、可能な限り早期に市場占有率を上げられる枠組みについて以下の検討をした。

ア) アスベスト含有建材回収（IN）の検討

アスベスト含有建材を回収する枠組みを、廃棄物収集運搬会社および中間処理会社の数社と検討した。

アスベスト含有建材の出所は大きく分けて、工場と住宅に大別される。

工場から搬出されるアスベスト含有建材の確保に関しては、工場を解体する解体業者との連携が有効である。工場解体の後、不動産の売買を得て、新たな建物の建設に入るが、解体工事までは売主が責任を持つ場合が多いからである。地域の産業廃棄物共同組合等との連携が不可欠である。

住宅から搬出されるアスベスト含有建材の確保に関しては、ハウスメーカーや建材メーカーとの連携が有効である。住宅解体の場合、大家や不動産屋による建て替え需要に因り、メーカーが解体まで面倒をみる場合が多いからである。

イ) 無害化処理物の資源化（OUT）の検討

無害化した建材を引き取るメーカーとの枠組みについて、セメントメーカー等と検討した。

大量に発生する無害化建材を一手に引き受けられるのはセメント工場だけである。セメント原料としては、質・量ともに受入条件を満たしていること確認した。早期の事業化の為には、本成果をもとにセメント原料を前提に事業化を進める必要がある。セメント工場への受入は有償である。

将来的には、更なる処理費低減を目指しており、そのためのセメント原料以外の用途開発が重要となる。

ウ) 事業場所の検討

アスベスト含有建材の出所は地域性が強い。特に都市部およびその近郊の工業地域に多い。出所にできるだけ近いほうが、IN 側の運搬コストを抑えることができ、施主の処理費低減に繋がる。しかし、都市部は産業廃棄物処理施設の設置に関して近隣住民の抵抗が強い。

一方、資源化用途に近い場所であることで、OUT 側の運搬コストを抑えることができる。既存事業でアセスメントの終わっている土地が確保できると、早期事業化に繋がる。

全体としてのサイクルは、大量に排出される地域内でできるだけ小さく回すことが理想である。

iii) 地方自治体、中央官庁を巻き込んだより大きな連携

事業主である企業にとって、初期投資の緩和は大きなメリットがある。2009 年度から 3 年間の期間である地域グリーンニューディール基金の延長、増強が望まれる。また、認可が取れた場合、享受できる利益を適正化するには、競合となる埋め立て、および不適正処理への規制強化を必要と思われる。(認可取得)

今後、排出責任者である施主にとって、処理費用が負担となることは明らかであり、これを緩和するには、国の新たな施策が必要である。現状、アスベスト含有建材の回収が、推定量である 100 万 t/年に達していないと推測できる集計結果が出始めている。今後、本廃棄物の適正処理について議論する必要性は多いにある。(広域処理)

例えば、PCB の広域処理のようなシステムがあると、適切な処理が推進される。アスベスト含有建材は、PCB と比較しても処理量が大きく、多額の税金投入が必要とされることなどを懸念し、積極的なコメントは得られていない。つまり、経済性の伴う無害化処理技術であることが必須である。その上で、アスベスト含有建材の危険性の周知および、それを処理できる新たな安心・安全な技術として本技術が世間一般に広く認められると、広域処理システムの実現可能性が出てくる。

図-3.2 に現段階での事業化にむけた導入シナリオの案を示す。

	2009年度		2010年度		2011年度		2012年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期	上期	下期
研究開発	パイロット試験 科学的立証実験 TEM確認		装置の安定性・再現性の検討 無害化処理物の再資源化の検討					
			▼ NEDO委託終了					
含有建材の回収 (IN)		回収業者ヒアリング選定			建設会社(排出元)への営業			
処理物の資源化 (OUT)		セメント会社ヒアリング選定			セメント会社との契約交渉		契約	
事業	事業スキーム・ビジネスモデル						一号工場立上げ●	
			事前技術評価				本申請	
			場所の選定	生活環境影響調査	設計	建設		
国内の施策動向					安定型埋立処分場の逼迫			
	飛散性(レベル1・2)の対策				レベル3の対策			
	地域グリーンニューディール基金(3年間)							

図-3.2 導入シナリオ (案)

3. 目的に照らした達成状況

①-a) パイロット規模装置による無害化処理条件の決定

(1) 無害化処理条件の最適化

- ・ 開発目標：無害化できる処理温度、最適処理時間の決定
- ・ 達成度：処理温度 950℃、最適処理時間 5 分を決定

(2) 材料投入・搬出工程・排気工程の最適化

- ・ 開発目標：パイロット規模装置により 8 時間程度の連続運転を 3 回以上行い、最適なトータルシステムを決定
- ・ 達成度：3 回の連続運転により 6 t / 日の処理能力を確認した。

①-b) アスベスト無害化物のセメント材料としての有効性確認

- ・ 開発目標：アスベスト無害化物の品質バラツキを調査し、アスベスト含有建材ごとのセメント材料としての有効性を確認
- ・ 達成度：主なアスベスト含有建材の主要構成材料を調査し、セメント原料に利用した場合の影響を検討し問題ないことを確認した。

①-c) アスベスト無害化物のセメント原料への転換技術

- ・ 開発目標：ポルトランドセメントとしての品質を確保するための要件決定
- ・ 達成度：6 種類のアスベスト無害化物の化学成分を分析し、セメント 1 トン当たりに混入可能な数量を算出した。

①-d) アスベスト無害化物の無害性評価

- ・ 開発目標：無害化判断基準及びその試験評価法の提示と無害化処理物が無害であることの検証
- ・ 達成度：気管内注入試験において、試験の急性期における処理後物質は処理前物質に比べて炎症が低下したことを確認した。

②-a) 連続運転による装置の最適化および実機の検討

- ・ 開発目標：パイロット規模装置により 8 時間程度の連続運転を実施し、その性能の実証確認
- ・ 達成度：8 時間連続運転を実施し、所定の温度に達することを確認し、アスベスト含有建材の無害化についても確認した。

②-b) アスベスト無害化物による大量セメント生産プロセスの開発

- ・ 開発目標：建築基準法 37 条に定める「レディミクストコンクリート」の品質・性能要件の決定
- ・ 達成度：アスベスト無害化物を 10% 混入したセメントを製造し、JIS R 5201 及び JIS R 5202 の試験に適合することを確認した。

③ 実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定

- ・ 開発目標：導入シナリオとビジネスモデルの策定
- ・ 達成度：アスベスト含有建材の廃棄処分に関する市場調査を実施し、実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルを策定した。

4. 研究発表・講演、文献、特許等の状況

(1) 研究発表・講演（口頭発表も含む）

発表月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2007/10/17 ～19	アスベスト対策 環境展 2007	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・ 資源化装置の開発	パネル展 示
2007/11/14	アスベスト対策 ビジネス研究会	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・ 資源化装置の開発	百代 淳一
2008/7/31	京大環境工学シン ポジウム	過熱蒸気によるアスベスト含有建材の無 害化と再資源化	高浪 哲郎
2008/9/10	土木学会第 63 回 年次学術講演会	過熱蒸気を用いたアスベスト 6 種類の非 石綿化実験	稲葉 力
2008/9/19	日本建築学会大会 2008	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・ 再資源化に関する研究開発 その 1, 2	三浦 勇雄 高浪 哲郎
2008/10/8 ～10	アスベスト対策 環境展 2008	過熱蒸気によるアスベスト含有建材の無 害化と再資源化	稲葉 力 三浦 勇雄
2008/11/19	廃棄物学会大会 2008	過熱蒸気を用いたアスベスト無害化技術 の開発	稲葉 力
2009/2/4	第 4 回エコケミカ ルシンポジウム	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化と 再資源化装置の開発 パネルディスカッション	高浪 哲郎 千葉 脩
2009/7/31	京大環境工学シン ポジウム	過熱蒸気を用いたアスベスト含有建材無 害化技術の連続実験	稲葉 力
2009/8/26 ～29	日本建築学会大会 2009	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・ 再資源化に関する研究開発 その 3	三浦 勇雄
2009/9/2 ～4	土木学会第 63 回 年次学術講演会	過熱蒸気を用いてアスベスト含有建材を 非石綿化できる境界温度に関する実験 過熱蒸気を用いたアスベスト含有建材の 無害化基礎実験 (2)	稲葉 力 百代淳一
2009/9/17 ～19	廃棄物学会大会 2009	過熱蒸気によるアスベスト含有建材無害 化物の無害性評価	稲葉 力
2009/10/21 ～23	アスベスト対策 環境展 2009	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・ 再資源化技術の開発	稲葉 力 三浦 勇雄 澤田 晃也 高浪 哲郎
2009/11/4	アスベストロード マップ委員会	過熱蒸気によるアスベスト無害化・再資 源化技術の開発	澤田 晃也
2010/9/1 ～3	土木学会第 64 回 年次学術講演会	アスベスト含有建材の無害化とセメント 原料化実験	稲葉 力
2010/9/9 ～11	日本建築学会大会 2010	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・ 再資源化に関する研究開発 その 4, 5	三浦 勇雄 澤田 晃也

(2) 特許等

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2007/ 9/21	2007-244797	アスベスト含有廃棄物の再生処理方法	戸田建設株式会社、 西松建設株式会社、 大旺新洋株式会社
2007/11/12	2007-293061	アスベスト含有廃棄物の加熱処理システム	戸田建設株式会社、 西松建設株式会社、 大旺新洋株式会社
2008/ 9/10	2008-231929	アスベスト含有建材の無害化装置	戸田建設株式会社、 西松建設株式会社、 大旺新洋株式会社
2010/ 3/26	2010-72519	アスベスト含有建材の加熱処理システム	戸田建設株式会社、 西松建設株式会社、 大旺新洋株式会社

(3) 成果普及の努力（プレス発表等）

掲載日	媒体
2007/11/21	日経新聞四国版、日経産業新聞、高知新聞
2007/12/11	日刊工業新聞、建設産業新聞、建設工業新聞、建設通信新聞、KEN-Plats、セメント新聞
2009/ 1/14	環境新聞
2009/ 2/24	日経産業新聞
2010/ 3/ 3	建設産業新聞、建設工業新聞、建設通信新聞
2010/ 3/13	日経新聞四国版、高知新聞
2010/ 3/15	日経産業新聞

(4) その他

- 2008/11/25 (資源環境対策 vol. 44 No. 14(2008))
- 2010/ 2/19 (日経コンストラクションアンケート提出)
- 2010/ 3/ 1 (環境浄化技術 2010.6 Vol.9 No.6)
- 2010/ 4/ 8 (エンジニアリング振興協会奨励特別賞推薦)

5. 問題点と今後の課題

1. 技術的な問題点

(1) 無害化の確認

現在認められている溶融処理の場合、アスベスト無害化物がガラス化されることで、無害化の証明（日常管理指標）となる。熱処理の場合は、処理後は目視だけでは無害化の確認ができないので、処理直後に安心感を与えることはできない。無害化の証明および日常管理をどうするのか、維持管理時に分析の頻度を増やす等の検討が必要となる。

(2) 無害化の基準

無害化処理認定制度における認定条件は、「位相差顕微鏡を用いた分散染色法及び X 線回折分析法によるものとし、同定が困難な場合は、電子顕微鏡を用いた検定を行うこと。」になっている。

これまで、主に位相差顕微鏡で無害化の確認を実施してきたが、昨年度に透過型電子顕微鏡にて無害化の確認の指針が環境省から提示されたが、その基準は非常に厳しいものであった。今後もパイロット規模装置で実験を継続し、再現性の確認が必要である。

900℃と想定していた処理温度が 50℃上がったのは、「石綿含有一般廃棄物等の無害化処理等に係る石綿の検定方法」の厳しい基準値を満足するためである。一方で、低濃度のクリソタイルは地殻環境(空気、水、氷冠および土壌)でも検出されるという事実がある。それと比較して、現実的な基準値といえるか検討された資料は見あたらない。現状、埋立処分と競合しなければならない無害化処理技術は、処理コストの低減が市場原理において当然の課題となる。その処理温度が 50℃でも低くなれば、消耗品の長期使用が可能になるなど、さらに経済的な処理方法になる可能性がある。

2. 事業化に向けた問題点

(1) 含有建材の回収について

レベル3のアスベスト含有建材のストックは全国で 4,000 万トン以上あり、年間 100 万トン以上排出されると言われているが、排出量の実態調査は行われておらず、実際のアスベスト含有建材の排出量は不透明である。小規模な建物の解体では分別解体が進んでいない。特に一般戸建て住宅では分別が進んでいないと推定される。

埋め立て処分費用は、処分量の減少により値下がり傾向にある。特に、近畿・中国地方は、準公共的な廃棄物処分場でアスベスト含有建材を受け入れている準公共的な施設があり、費用が安い。

(2) 再資源化について

セメント生産量の 5% にアスベスト無害化物を混入させると、アスベスト無害化物のすべてが資源化できる。セメントメーカーがアスベスト無害化物を受け入れるには、明確に無害化されていることが証明する必要がある。現状では、セメントメーカーは慎重な姿勢を崩していない。

(3) その他

アスベスト無害化処理施設は、近隣住民にとって迷惑施設であり、近隣住民が納得するような、アスベストが漏洩しない施設設計と維持管理が必要である。

アスベスト含有建材の処理量を増やす為には、大型連続式の装置が有力であるが、装置の故障時の事業の継続性を考慮すると小型バッチ式になる可能性も有る。

以上

2. 2. 3 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

開発概要

1 事業目的

スレート製品等の非飛散性のアスベスト成形板の国内における累積出荷量は4,300万トンとされる。(更に、アスベスト含有率が1wt%から0.1wt%に引き下げられたことからその量は格段に増大することになった。)非飛散性廃棄物はセメントで固化されており直接人体に健康被害を及ぼすことはなく、解体・改修時には石綿障害予防規則により、割らずに手ばらしするなどのレベル3としての対策を講じることとされており、現在は殆どが最終処分場に埋め立てられている。

しかしながら、量的に年間およそ100万トンの廃棄物が発生するため最終処分場が一層の不足を来すという問題がある。更に最終処分場がアスベスト含有品の受け入れを拒んだり、処理費が高騰したりなどして廃棄・処分に困るという状態が発生している。将来何らかのきっかけで地上への露出を懸念する声もある。そのため、スレート製品等の大量の非飛散性アスベスト含有廃棄物を確実に無害化処理できる安全かつ効率的な処理技術の開発が強く求められている。

「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」(以下、本研究テーマ)ではこのような社会的要求に応えるため、マイクロ波を活用し、アスベストの結晶構造を破壊し、低コストで安全に、大量処理が可能な無害化装置の開発を行うことが目的である。

マイクロ波を使うことで、アスベスト含有建材を破碎によって二次飛散させることなく、そのままの大きさで均一・迅速に高効率で加熱し無害化することを可能とし、更に無害化したものは建材などに再資源化する技術を開発する。

2 事業概要

電子レンジに使われているマイクロ波は食品を温めるときに、食器は加熱せず、食品に含まれる水分だけを温めるので、エネルギーのムダがなく高速で加熱される特徴を持っている。マイクロ波は周波数が300MHzから30GHzの電波であり、国内では電波法の規制もあり2.45GHzが多く使用される。水などの誘電体損失の大きい物質にあたると、分子摩擦によって熱エネルギーに変わる。建材の主成分であるセメントには65%前後の酸化カルシウムが含まれ、これが水と同じようにマイクロ波を吸収して局所加熱される。

アスベストはマイクロ波を吸収しないが、カルシウム成分と隣接して加熱される。また、そのとき材料内に微視的に発生する非熱平衡により結晶転移が加速されることも期待される。

図1に、処理試験対象としたアスベスト含有スレート瓦(住宅屋根用化粧スレート、以下スレート瓦という)のマイクロ波による加熱特性を示す。マイクロ波を照射することで、SiC系やジルコニア系材料は短時間に1,000℃にも達するが、マイクロ波を吸収しないアルミナ系では発熱しない。スレート瓦はSiC系とジルコニア系の間の発熱特性を有しておりマイクロ波をよく吸収する材料であることがわかる。

本研究テーマでは、アスベスト含有建材にマイクロ波を照射し建材中のアスベストを無害化し、建材を再資源化する実用化技術の開発を行った。

M波発熱試験結果(出力2.4kw)

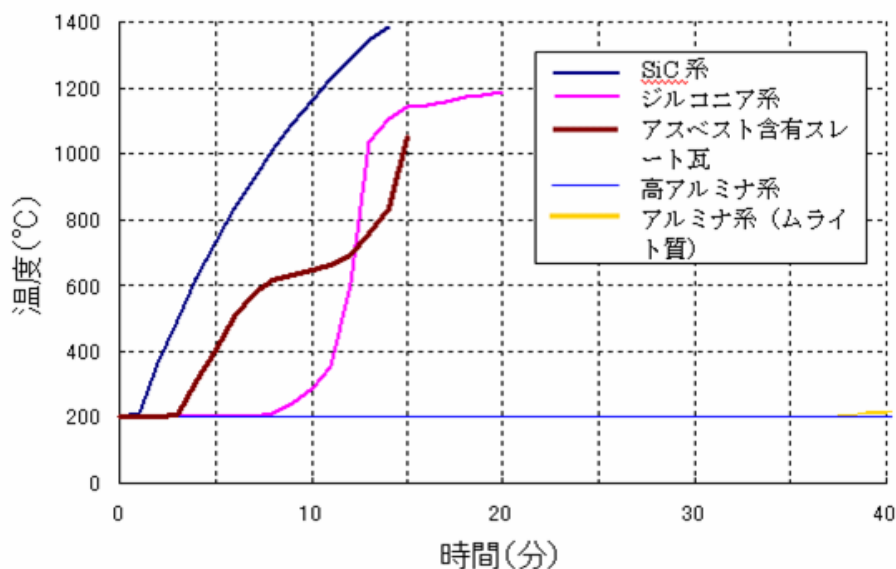


図1 マイクロ波発熱特性

3 研究開発の成果

本研究テーマでは、平成19～20年度に、アスベスト含有建材にマイクロ波を照射してアスベストの結晶構造を破壊・無害化し、建材を再資源化する実用化技術を開発した。

既設の試験炉にマイクロ波発振器を12台から20台に増設し、マイクロ波加熱の最適化条件を検討した。マイクロ波の出力、照射する位置、搬送速度、昇温速度や保持時間などの温度プロファイル、積重ねるアスベスト含有建材の枚数を検証パラメーターとして、最も効率的な処理条件を検討した。結果、50kW(20台)照射で下記処理条件と合わせ、処理能力1.5倍(2→3トン/日)を達成でき、実用化装置の基本設計の構想ができた。平成20年度は、平成19年度に基本設計を行った実用化装置の設計完成度を高めるための試験検討を行い、マイクロ波の照射位置については、高温部に集中させることが有効で、350℃程度まではゆっくり昇温し、爆裂を発生させないこと、850℃までに約30分で昇温できること、マイクロ波の出力は大きくするほど処理できる量、すなわち積載枚数は増えるが、トン当たり消費電力コストにすると実証試験機のスケールでは30kW(12台)が最も高効率という結論が得られた。電気ヒーターは雰囲気温度を作るのに加熱ゾーン全体に渡り使うが、マイクロ波で加熱するゾーンは、電気ヒーターの消費電力がかなり小さくなる。積載枚数は投入するセットあたり7枚が最大。これはマイクロ波の浸透深さ、処理物の誘電損失係数から計算される電力半減深度が数十mmであることとも整合する。マイクロ波のインピーダンスチューニング装置を設備に付加して検討を行ったが、本炉方式では効果が少なく、実用機設計に織り込む必要が

ないことが判った。

無害化するアスベスト含有建材はセッターと呼ぶ搬送用の受け板に載せて処理するが、その材質（SiC、ムライト等）、形状、大きさの仕様を比較検討し、最適な仕様をつかんだ。セッターは処理物が加熱による反りや割れでローラーの間から落ちないためのものであるが、エネルギーを奪うため、いかにこれを少なくするかもひとつのポイントである。種々検討の結果、マイクロ波をよく吸収し、アスベスト含有建材と共に自己発熱する材質がよく、耐久性とも合わせ酸化珪素結合SiC炭化珪素製で厚さ10mm程度のものが適当である。

処理物のラッキング（横積み又は縦積み）の検討を行い、マイクロ波の浸透深さ（電力半減深度）データから横積み方式に決定した。また、スレート瓦の形状が三角形に欠けている部分にも処理物を置くことで、現状の1.5倍量まで無害化範囲を拡張でき、4.5トン/日まで処理能力が大きくなることを把握できた。

実証試験機の規模で消費電力が110kW、処理コストにするとトン当たり1万円程度であることが8時間程度の長時間安定運転で確認できた。人件費や償却費などを合計すると処理コストは2万円/トン程度になると予測できる。

その他のアスベスト製品の無害化処理開発、無害化アスベストの再資源化技術開発として、波板とサイディングについて、ラボレベル（マイクロ波ラボ実験炉）で無害化処理条件の試験を行った。処理後の建材を用いて、再資源化（外装材などへの添加）試験、品質評価試験を実施し数%添加できることを把握できた。

事業化に向けてのビジネスモデル・事業展開へのシナリオの策定を実施した。

開発目標値に対する到達度は、処理能力、環境安全性、非アスベスト化、処理費の各項目について概ね達成することができた。

研究開発内容

(1) 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

本報告書において、「石綿が検出されないこと」（無害化）の判定基準は、平成20年公示のJIS A 1481に定められた位相差顕微鏡を用いた分散染色法とエックス線回折分析法により判定した。分析は、積み重ねて加熱処理した全ての枚数について実施して、中央部まで無害化されたことを確認した。

(1) - 1 マイクロ波加熱小型試験装置による無害化処理の最適化

無害化処理を最適化するにあたり、下記の3つの事柄に関して検討を行った。

a. マイクロ波の出力と処理能力のバランス

マイクロ波の出力を増やすと、処理量がどうなるか ⇒ 出力対効果の最適点

b. 適当なセッターの選択（搬送用）

マイクロ波エネルギー損失の少ない材質、厚さ、形状などの選択

c. ラッキング（処理物の投入方法）

マイクロ波が処理物中を減衰せずに加熱できるラッキング方式の決定

a. マイクロ波の出力と処理能力のバランス

既設の試験炉にマイクロ波発振器を増設し（12台→20台）マイクロ波加熱の最適化条を検討した。マイクロ波の出力、照射する位置、搬送速度、昇温速度や保持時間などの温度プロファイル、積重ねるアスベスト含有建材の枚数を検証パラメーターとして、表1に示した様々な処理条件を検討し、その結果を図2、表2に示した。図2から、マイクロ波出力を増加させる（30kW→50kW）と石綿含有率は、比例して減少していることがわかった。また、表2から、搬送速度を4.2（m/h）から6.3（m/h）にあげても無害化積載枚数は7枚が可能になったので、処理能力が1.5倍（1日あたりの処理量：2トンから3トン）を達成した。このことを基に実用化装置の基本設計の構想をたてた（詳細は（1）-2で説明）。

表1 試験検討組み合わせ

パラメーター	試験水準
マイクロ波出力	0,30,50kW
処理単位置 (積重ね枚数)	5~10枚
搬送速度	4.2~10.2m/h
(マイクロ波照射時間)	50~20分
(炉内滞留時間)	加熱ゾーン75~30分
(最高温度保持時間)	25~10分

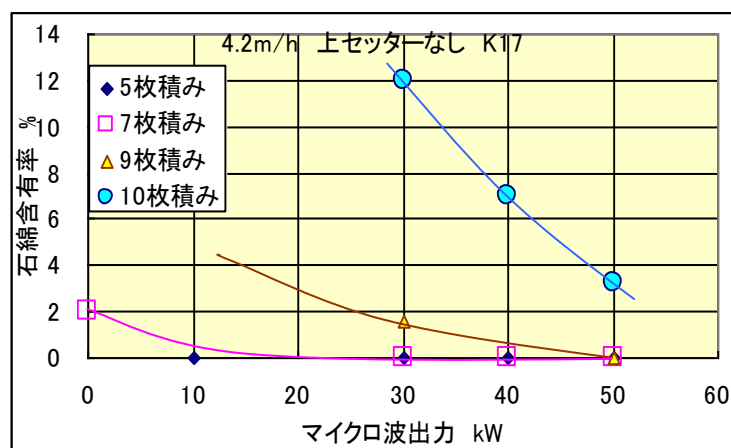


図2 マイクロ波出力に対する石綿含有率の変化

表2 試験結果

マイクロ波出力	搬送速度	最大無害化積載枚数	1日あたりの処理量	マイクロ波照射時間	最高温度保持時間	加熱ゾーン内時間
0 kW	4.2m/h	6枚	1.7トン	50分	25分	75分
30kW	4.2m/h	7枚	2.0トン			
50kW	4.2m/h	9枚	2.6トン			
30kW	6.3m/h	6枚	2.6トン	33分	17分	50分
50kW	6.3m/h	7枚	3.0トン			

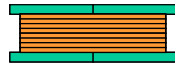



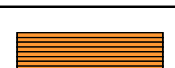

b. 適当なセッターの選択 (搬送用)

アスベスト含有建材は、搬送用の受け板 (セッター) に載せて処理を行う。これは、処理物が加熱による反りや割れ等で、ローラーの間から落ちないようにするために必要不可欠である。そこで、最適なセッターを検討するため、セッターの材質、形状、大きさの仕様を変え、様々な試験を行った (表3)。この試験は、無害化に対して有効性が高いセッターを選択するため、積載枚数10枚中の芯部の石綿残存率で評価することにした。まず、材質について、マイクロ波の使用、高温 (850°C以上) 処理である事を考慮すると、マイクロ波を吸収し、高温耐火物であるという条件を満たす必要がある。その観点から、SiCまたはムライトを選択した。また、SiCについては、表4に示したように様々な種類があるが、市販品のD (酸化物結合SiC) を選択して1通り実験を行った。

図3に、セッターの材質、配置をかえたときの結果を示した。まず、材質について検討する。図3のSiC (No. 3)、ムライト (No. 6) の石綿残存率を比較すると、SiCの方がムライトよりも少ないため、無害化に対して効果があり適しているといえる。次に、セッターの置き方について検討する。図3のNo. 1~No. 5を比較すると、セッターの量を少なくするほうが効率よく無害化している傾向がみられた。このことは、セッターに熱を奪われている事を示唆している。また、無害化処理を行っている炉内において、アスベスト含有建材 (屋根板) が反

る事が確認できているので、反りを防止するために、おもしろを載せておく必要がある。そこで、図3のNo. 3、No. 4をみると、石綿残存率にほとんど差が無い結果が得られたので、No. 3の置き方が最適であるといえる。同様に、これら以外の材料及び10mm厚で試験を行った結果、耐久性については材料Fについては問題があった（割れが発生）が、その他の材料では問題が無かった。また、石綿無害化に有効なのは、材料E（酸化物結合SiC）の10mm厚が最適であることを確認した。したがって、セッターとして最適なのは、置き方はNo. 3、材質として酸化物結合SiC、10mm厚である。

表3 セッター配置の一覧表

	セッター情報					サンプル		
	簡易図	材質	上	下	1枚あたりのサイズ	石綿含有率	積載枚数	評価(芯部)
No. 1		SiC	7.5kg×2枚	7.5kg×2枚	上 : 500 × 500 × 12 下 : 500 × 500 × 12	14%	10枚	6枚目
No. 2		SiC	7.5kg×1枚	7.5kg×2枚	上 : 500 × 500 × 12 下 : 500 × 500 × 12	14%	10枚	6枚目
No. 3		SiC	0.65kg×2枚	7.5kg×2枚	上 : 破片 下 : 500 × 500 × 12	14%	10枚	6枚目
No. 4		SiC	なし	7.5kg×2枚	上 : なし 下 : 500 × 500 × 12	14%	10枚	6枚目
No. 5		SiC	なし	一部欠損	上 : なし 下 : 500 × 500 × 12	14%	10枚	6枚目
No. 6		ムライト	なし	3.5kg×2枚		14%	10枚	6枚目

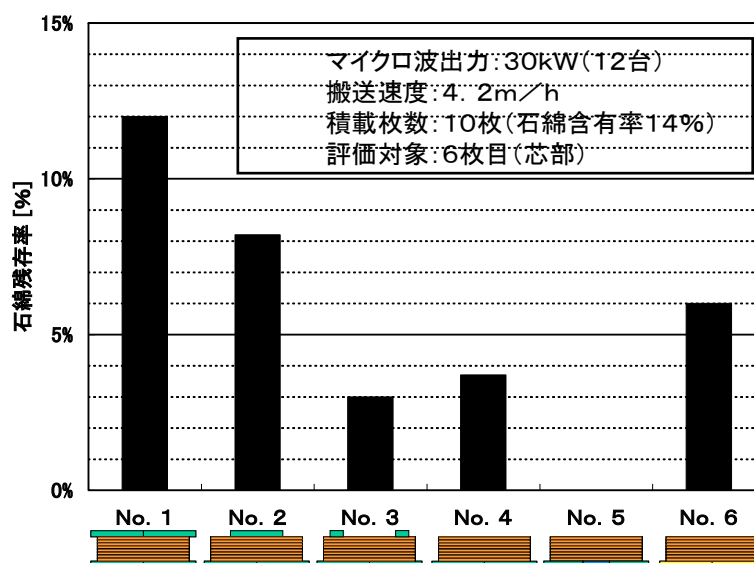


図3 セッター種類、配置による比較（SiCは、表4のDのデータ）

表4 SiCの詳細なデータ

材料(系統)		反応焼結品		酸化物結合品			窒化物結合品	
		Si-SiC		SiO ₂ bond SiC			N-SiC	
材料名		A	B	C	D	E	F	G
化学組成 wt %	SiC	80	88	90	82	89.9	66	80
	Si	20	12					
	SiO ₂			10	10.5	8.9		5
	Si ₃ N ₄						25	15
密度	嵩比重	3.00	3.05	2.80	2.50	2.80	2.80	2.70
	気孔率 %	0.0	0.0	7.0	17.0	6.5	1.0	7.0
曲げ強度 MPa		250	250	50	8		160	60
熱膨張係数 × 10 ⁻⁶		4.5	4.1	4.5	4.8	4.8	4.4	4.5
最高使用温度 °C		1350	1380	1500	1500	1500	1550	1550
熱伝導率		180	35	20		16	20	20
マイクロ波吸収特性 損失係数 ε tanδ			500°C 0.04		500°C 1.71 1000°C 0.98		500°C 0.72 1000°C 0.47	
備考		600×360×9mm 5.9 kg/枚			標準品 500×500×12mm 7.5 kg/枚	500×500×12mm 8.3 kg/枚	メッシュプレート 640×535×8mm 3.8 kg/枚	

c. 処理物のラッキング

処理物を一度に、経済的に効率よく処理するための積載方法（ラッキング）の検討を行った。処理物のラッキング（図4）について、処理物の量を30kg（10枚相当）にし、5cm、9cmと高さを変えて試験を行い、その結果を表5に示した。まず、縦積みについては、5cmについては無害化できたが、9cmについては、上部は無害化できたが、下部は無害化されずにのこった。この結果をマイクロ波の電力半減深度から考察する。マイクロ波の電力半減深度は、式（1）のように表される。式（1）に、マイクロ波の周波数をf、建材の比誘電率をε、誘電正接をtanδとして値を代入して計算を行った結果、8.3cmという結果が得られる。よって、試験結果がマイクロ波の電力半減深度が数十mmの範囲であることと整合する。



図4 縦積み検討

$$D_{1/2} = \frac{3.32 \times 10^9}{f \sqrt{\epsilon \tan \delta}} \quad (1)$$

電力半減深度： $D_{1/2}$ [cm]

周波数： $f = 2.45 \times 10^9$ [Hz]

比誘電率： $\epsilon = 6.06$

誘電正接： $\tan \delta = 0.066$

表5 縦積み方式での結果

ラッキング	高さ	重量	マイクロ波出力	搬送速度	無害化
縦積み	5cm	30kg(10枚分)	50kW (30kW)	4.2m/h	○
	9cm	30kg(10枚分)	50kW	4.2m/h	上部は無害化されるが、 下部は無害化されずにのこる

次に、横積みにおいて高効率化(処理量増加)可能かどうかを検証した。図5に示したように、従来、処理物は五角形で空き部分がある。そこで、この部分に5枚相当分(重量)をのせて、幅方向拡張について検証した。その結果、この空き部分に5枚相当分を載せることで、従来の1.5倍程度処理できることを確認した。

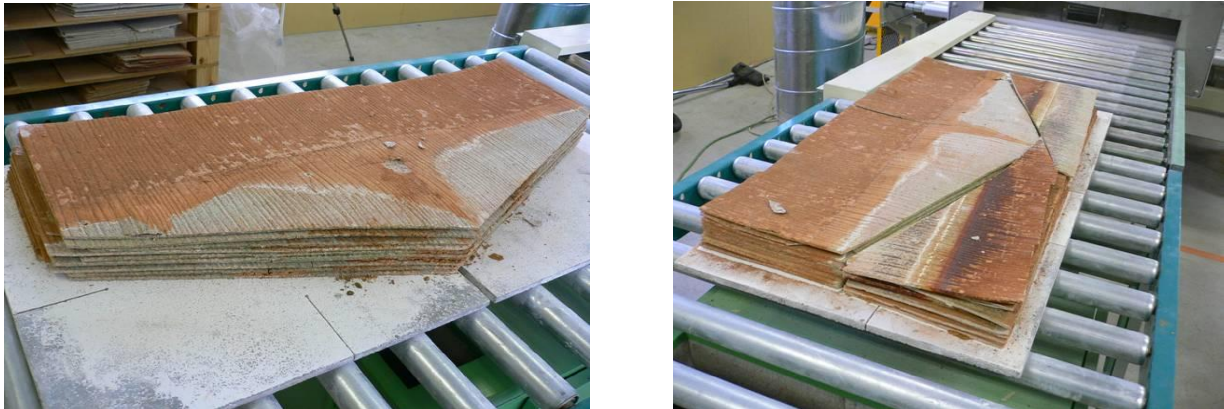


図5 ラッキングの様子。左：従来の積載、右：従来の積載に処理物追加した状態。

(1) - 2 実用化装置の製作及び実証試験

平成19年度に実施した実証試験のデータを基に、10(トン/日)規模の処理能力を有する実用化装置の基本設計を行った(図6、表6)。平成20年度は、平成19年度に基本設計を行った実用化装置の設計完成度を高めるための試験を行った。マイクロ波の照射位置については高温部に集中させることが有効、温度プロファイル(図7)は、爆裂を発生させないように350℃程度まではゆっくり昇温し、850℃までに約30分で昇温することが重要であることがわかつ

た。また、マイクロ波の出力を大きくするほど処理量（積載枚数）は増加するが、1トン当たりの消費電力コストに換算すると、実証試験機のスケールでは30kW（12台）が最も高効率という結論が得られた（この時の積載枚数は7枚）。これは、電気ヒーターは雰囲気温度を作るのに加熱ゾーン全体に影響するが、マイクロ波を照射するゾーンは、電気ヒーターの消費電力がかなり小さくなるためだと考えられる。また、8時間程度の長時間安定運転を行い、消費電力が110kW、処理コストは1トン当たり1万円程度であることを確認した。人件費や償却費などを合計すると処理コストは2万円/トン程度になると予想される。

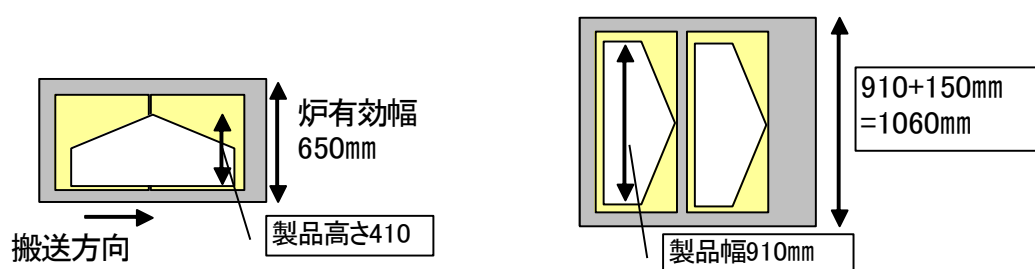


図6 投入方法（左：実証試験、右：実用機）

表6 実証試験炉から実用機へ

		実証試験炉		実用化炉
		μ波2列	μ波1列	μ波2列
処理量	トン/日	3(4.5)トン/日		10トン/日
搬送速度	m/h	6.3		10
処理物	kg/台板	21(7枚積み)		21(7枚積み)
投入ピッチ	min	9.5		3
処理量	kg/h	132		420
	トン/日	3.2		10.1
炉有効幅	mm	650		1060
炉全長	m	12.6		20
加熱ゾーン長さ	m	5.25		8
マイクロ波出力	kW	50	25	90
マイクロ波設備電力	kW	84	42	(152)
設備電気容量	kW	210	168	
ヒーター電気容量	kW	130		
μ波照射ゾーン長さ	m	3.2		6
μ波発振器取付ピッチ	mm	320		320
μ波発振器台数	台	20	10	36

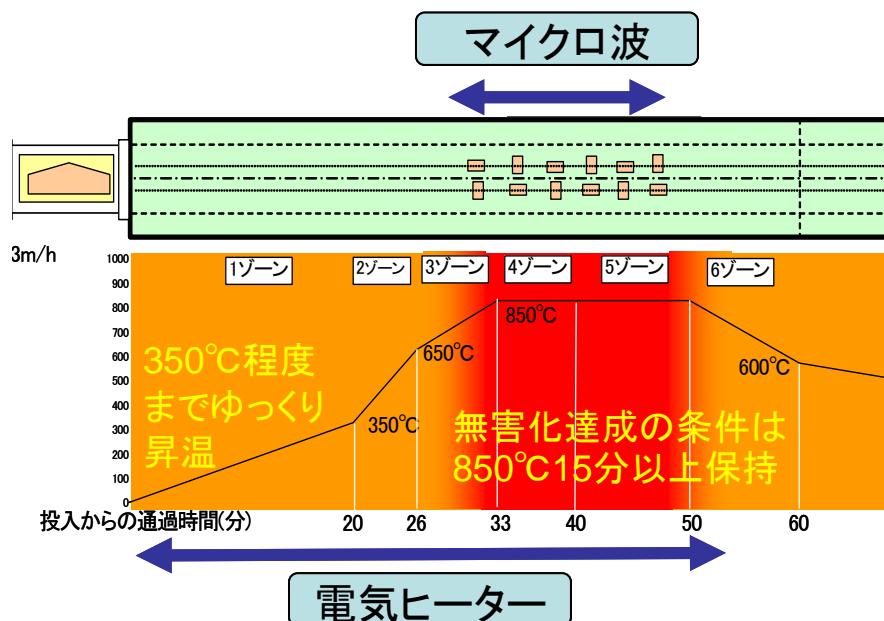


図7 温度プロファイル

マイクロ波加熱装置では、導波管を介してマイクロ波を照射し誘電加熱している。マイクロ波の吸収の度合は、被加熱物の減量等の経時変化によって変動する。負荷インピーダンスが変わると、導波管における電圧定在波比（VSWR値）が変化して、マイクロ波エネルギーを効率よく吸収させることができなくなる。そこで、VSWR値の変化による効率低下を防止するため、導波管内におけるマイクロ波の入射電力及び反射電力のデータを見ながらスタブチューナーを調整し、インピーダンス整合することでVSWR値を整合良好範囲内に収めることを試みた。表7に、マイクロ波のインピーダンスチューニング装置を設備に付加して検討を行った結果を示した。また、図8にはインピーダンスチューニング前後の反射率、VSWR値をグラフ化し、分散分析を行うと5%有意という結果が得られた。インピーダンスチューニングにより、VSWR値は有意差があるが、実証試験で石綿無害化の度合いを検討すると若干の効果はみられるが、処理枚数が増加する程の効果は得られなかった。これらの結果から、本炉方式では効果が少なく、実用機設計に織り込む必要がないことが判った。

表7 スタブチューナー調整前後での結果 (VSWR)

		$VSWR = \frac{1+S}{1-S}$ $S = \sqrt{\frac{Pr(\text{反射})}{Pi(\text{入射})}}$								20台同時稼動(1ゾーンのみヒーターON)							
発振器NO	パワーモニタNO	チューニング前					チューニング後					パワーモニタNO	入射 mA	反射 mA	VSWR		
		入射 mA	反射 mA	入射(Pi) kW	反射(Pr) kW	VSWR	入射 mA	反射 mA	入射(Pi) kW	反射(Pr) kW	VSWR						
1	2	0.93	0.20	3.214	0.304	1.89	0.84	0.11	2.698	0.142	1.59						
2	4	0.90	0.20	3.037	0.304	1.93	0.90	0.17	3.037	0.245	1.79						
3	3	0.92	0.27	3.154	0.460	2.24	0.85	0.20	2.753	0.304	2.00						
4	5	0.88	0.15	2.922	0.209	1.73	0.85	0.10	2.753	0.126	1.54						
5	4	0.95	0.24	3.334	0.390	2.04	0.91	0.18	3.095	0.264	1.83	4	0.90~0.92	0.19~0.20	1.88~1.90		
6	2	0.95	0.30	3.334	0.535	2.34	0.86	0.20	2.809	0.304	1.98						
7	3	0.85	0.26	2.753	0.436	2.32	0.82	0.23	2.590	0.368	2.21						
8	5	0.90	0.20	3.037	0.304	1.93	0.85	0.09	2.753	0.111	1.50	5	0.83~0.83	0.08~0.13	1.47~1.69		
9	3	0.90	0.25	3.037	0.413	2.17	0.85	0.17	2.753	0.245	1.85						
10	2	0.90	0.20	3.037	0.304	1.93	0.89	0.12	2.979	0.158	1.60						
11	5	0.85	0.15	2.753	0.209	1.76	0.83	0.12	2.644	0.158	1.65	2	0.84~0.85	0.10~0.15	1.55~1.76		
12	4	0.89	0.20	2.979	0.304	1.94	0.84	0.10	2.698	0.126	1.55						
13	3	0.79	0.22	2.431	0.346	2.21	0.75	0.22	2.227	0.346	2.30						
14	2	0.90	0.21	3.037	0.325	1.97	0.85	0.10	2.753	0.126	1.54						
15	5	0.84	0.12	2.698	0.158	1.64	0.78	0.04	2.379	0.044	1.32						
16	4	0.92	0.23	3.154	0.368	2.04	0.85	0.20	2.753	0.304	2.00						
17	3	0.96	0.34	3.395	0.641	2.54	0.88	0.29	2.922	0.509	2.43	3	0.80~0.83	0.16~0.23	1.87~2.19		
18	4	0.91	0.15	3.095	0.209	1.70	0.89	0.14	2.979	0.191	1.68						
19	5	0.88	0.14	2.922	0.191	1.69	0.86	0.13	2.809	0.174	1.66						
20	2	0.95	0.24	3.334	0.390	2.04	0.92	0.16	3.154	0.227	1.73						
		平均					2.00						1.79				
		σ					0.24						0.29				

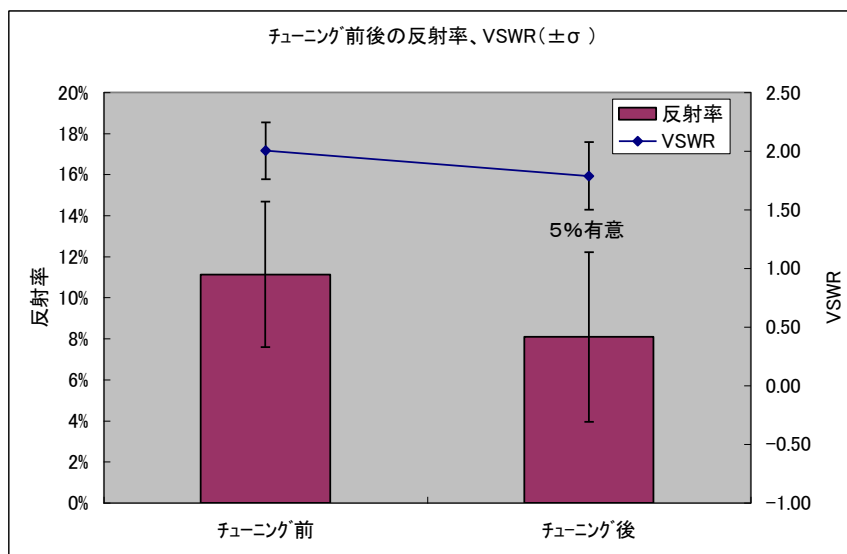


図8 インピーダンスチューニング前後の反射率、VSWRへの影響

(1) - 3 その他のアスベスト製品の無害化処理開発

波型スレートとサイディングについて、ラボレベル(マイクロ波ラボ実験炉)で無害化処理条件の試験を行った。波型スレートとサイディングも、スレート瓦と同様の条件(850℃)でクリソタイルを無害化できることを検証した。(図9、図10)ビジネスモデル検討結果から本テーマではクリソタイルのみを含有するスレート瓦を処理対象とすべきであると結論を得たが、その他のアスベスト製品については万一少量の混入があることを想定し、確認試験を実施した。

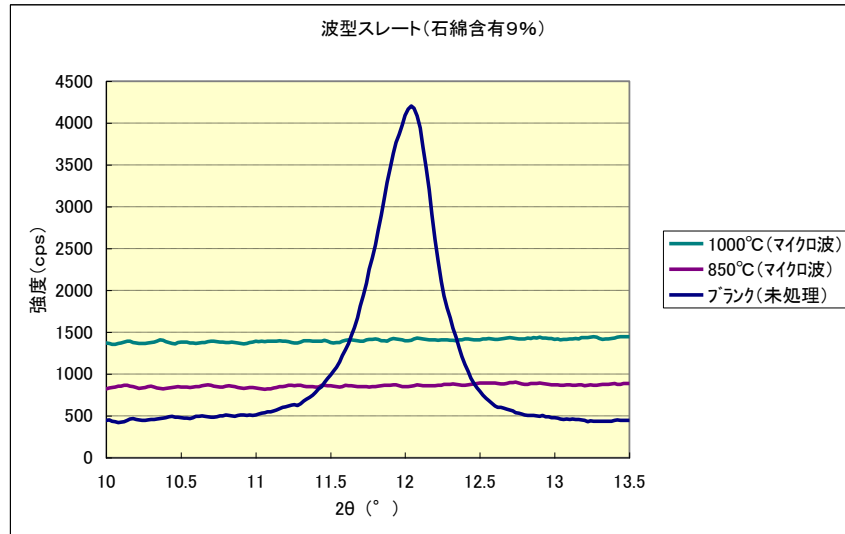


図9 マイクロ波ラボテスト品(波型スレート)のクリスタル第1ピークX線回折チャート

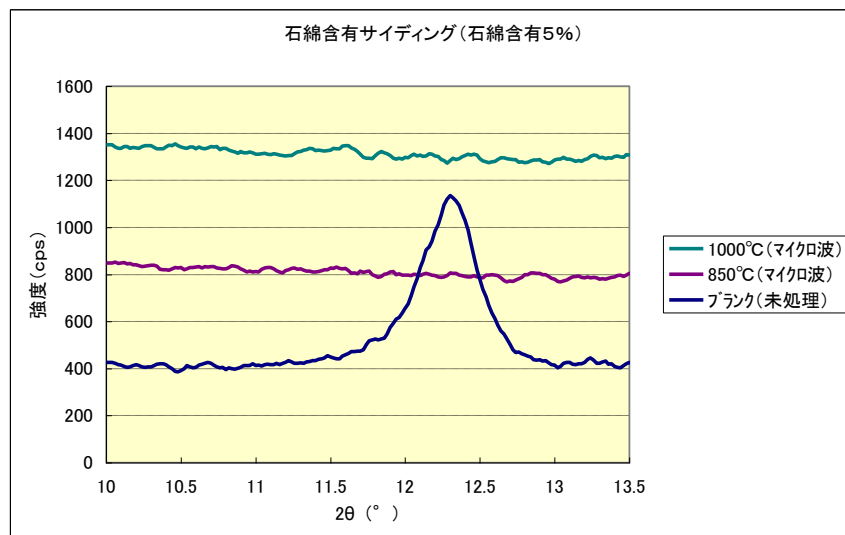


図10 マイクロ波ラボテスト品(サイディング)のクリスタル第1ピークX線回折チャート

(1) - 4 無害化アスベストの再資源化技術開発

無害化したものを粉砕し、粉砕のしやすさと反応性の評価を行った。粉砕は現行の屋根材と無害化したものを同粉砕条件で行うと無害化したものが粉砕粒度は小さくなり、比較して容易であることがわかる。(図11)

反応性の評価(活性度)は粉砕したものを水で練り固めてオートクレーブ養生したときの硬化体の曲げ強度で表した。無害化品はセメントの3分の1程度の強度が発現し、珪石粉は単独では硬化しないので、珪酸カルシウムの水熱反応性があることを示している。また、粗粉砕(270 μm程度)より、微粉砕(18 μm程度)の方が25%程度活性度は高い。特に粉砕粒度が20 μm程度になるとオートクレーブ養生で反応・硬化する性質があることが把握できた。(表8)

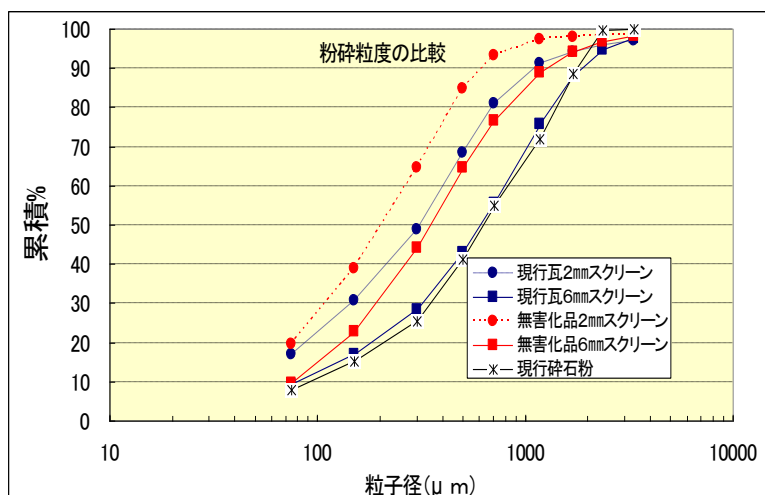


図 1 1 ハンマーミル粉砕による現行スレート瓦（無石棉品）との比較

評価項目		石棉無害化品		珪石粉	備考
		粗粉砕 ハンマーミル	微粉砕 ボールミル		
粒度	メジアン径 μm	272.3	17.7	49.9	
成分	SiO_2 %	60.2	62.7	89.0	
	CaO %	24.9	21.9	0.05	
活性度	曲げ強度 MPa	5.3*	6.6*	0	セメント:17.7

表 8 無害化品のオートクレーブ養生生活活性度確認

無害化処理後の建材を用いて、再資源化（外装材などへの添加）する基礎的なラボレベル試験、品質評価試験を実施した。無害化したものを $20\mu\text{m}$ 程度の平均粒径に粉砕し、外壁材の原材料の一種である珪石粉に、5%代替し添加したものは、現行の品質（曲げ強度や吸水率、収縮率、耐凍害性など）同等であることを確認できた。（図 1 2）

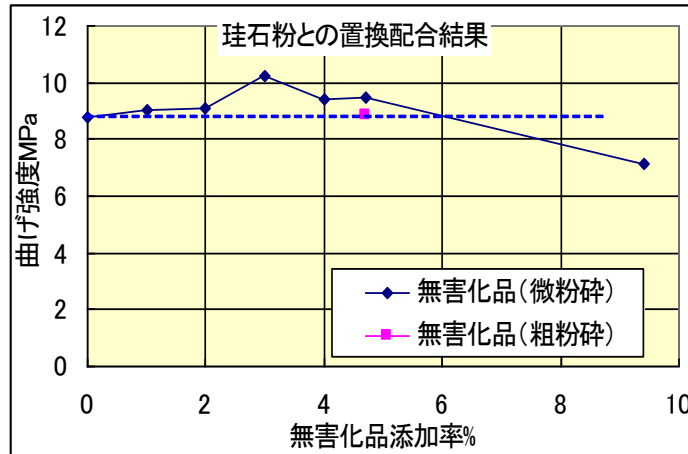


図 1 2 再資源化試験曲げ強度 (珪石粉との置換配合)

(2) 実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定

事業化を実現するために、アスベスト建材廃材の分別回収システム、排出から回収～運搬～無害化処理の事業実施体制、妥当な処理コストを見極めるため、処理実態把握と今後の動向予測などを行った。

事業化に向けてのビジネスモデル・事業展開へのシナリオの策定を実施した。環境省の無害化認定を取得して事業を開始するに当たり、必要な要件を調査抽出し、具体的な、回収システム、事業実施体制、施設立地などの検討を開始した。処理対象物については、分別回収の容易性、クリソタイルのみを含有しており処理条件が一元化でき、事業立上げが比較的シンプルにできると思われることより、国内累積量の3分の1を占めるスレート瓦 (住宅屋根用化粧スレート) (図 1 3) に絞り込むこととした。

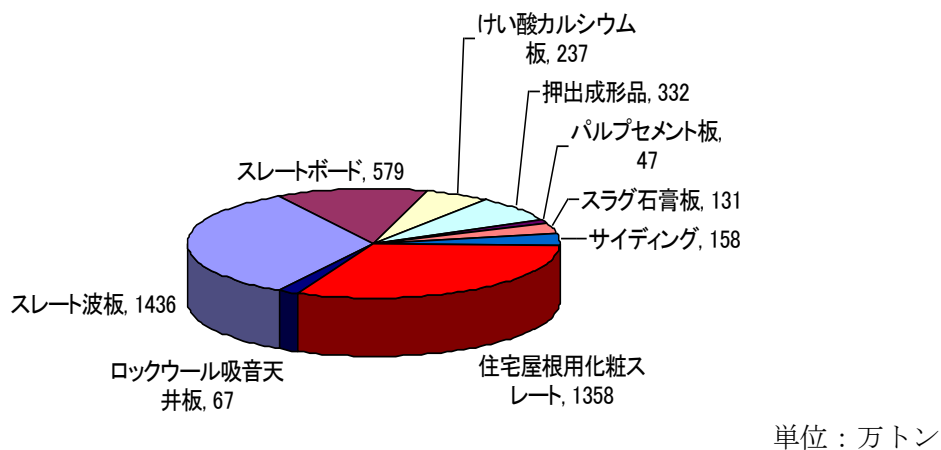


図 1 3 石綿含有建材の累積出荷量 (※ (社) 日本石綿協会資料より)

また現状では、健康被害リスクについて科学的な検証はなされていないが、フォーステライト等の副生成物に対する技術的な対応が確立できないと、実際の無害化処理事業は実施できない危険が大きいことが明らかとなり、将来のビジネス展開のためにも、対応技術の検討を開始することとした。

(3) 目的に照らした達成状況

以上の研究開発により、次の能力・仕様を有する装置を開発し、10トン/日規模の処理能力の実用化装置の製作が可能であることを見極めた。

開発目標値に対する達成度

項目	目標	実績	備考
処理能力	5～6トン/日	4.5トン/日	小型実用化装置
	30トン/日	30トン/日（但し、10～15トン/日・機を2～3機設置する方が効率的）	事業規模実用化装置の設計上の仕様
環境安全性	2次飛散させず処理できること（事前粉碎処理ゼロ）	可能	
非アスベスト化	残存石綿量ゼロ	認められない	JIS A 1481の分析方法でアスベストが認められないこと
処理費	2万円/トン	2万円/トン程度の見込み	

(4) 研究発表・講演、文献、特許等の状況

(4) - 1 研究発表・講演

平成19年度アスベスト処理技術研究セミナー 財団法人 廃棄物研究財団主催

平成19年9月20日 札幌

平成19年10月23日 仙台

平成19年11月27日 福岡

(4) - 2 文献

小泉昌士、守田孝士、松井健一：マイクロ波によるアスベスト含有建材の無害化、環境
浄化技術 Vol. 7 No. 7 (2008) pp. 57-60

小泉昌士：マイクロ波加熱によるアスベスト建材無害化技術、資源環境対策、Vol.
44 No. 14 (2008) pp. 68-69

(4) - 3 特許等

PCT/JP2006/318602 (特願2007-536513) アスベストの変
成方法

特願2008-332230 アスベストの無害化処理方法

特願2009-9893 アスベストの無害化処理法

2.2.4 アスベスト低温溶融無害化・再資源化処理システムの開発

開発概要

(1) 事業目的

アスベストに関する健康被害は深刻な社会問題となっている。これまでに建材等日本国内で使われたアスベストの回収は行われているものの、まだそのほとんどは生活している周辺地域に存在する。特に危険度レベル1とされる飛散性アスベストの現場から除去回収されたアスベストは、非飛散対策もせずにポリエチレン製回収用二重袋にそのまま詰め込まれ、その約98%以上を管理型最終処分場に埋立てにて処分されているが、何年たっても土に返ることがないことと、その袋が破ければ飛散してしまう危険な状況である。そのため後世・次世代に有害となる原因そして被害を大量に残してしまっていることとなっている。

有害な形状をしたアスベスト繊維を人体に影響のない形状へ、そして公定法にて分析後の結果がアスベストとして検出されないとなる無害化処理するには、1,500℃の高温で溶融する必要があるため、そのためには1,500℃溶融設備を設置し無害化処理しなければならず、設備コスト面、事業採算面等様々な問題から無害化処理が進まない現状がある。1,500℃での溶融無害化処理受入れコストは、埋立て処理と比較すると約4倍ものコストになっている。大量に排出され、今後さらに増加傾向にある排出されるアスベスト含有建材を埋立てコスト同等あるいは低コストで溶融して無害化処理する技術及び設備を早急に確立し事業化されることが望まれている現状がある。

本研究テーマでは、アスベスト含有特別管理産業廃棄物の低温溶融無害化・再資源化処理システムの実用化に向けた技術開発を目指し目的とした。

(2) 事業概要

その様な背景の中、弊社は独自のアスベスト低温溶融無害化および熱分解によるガス化・油化再資源化技術を開発し、低温(700℃台)で処理できる化学的分解メカニズムを駆使した無害化を実現させた。この技術は、アスベスト含有建材廃棄物そのものと、アスベスト付着可能性のある回収工事時に発生する多量の養生材や副資材等のプラスチック系廃棄物に付着したアスベスト繊維も無害化処理し、そのプラスチック系廃棄物を熱分解によりガス化・油化することで再資源化リサイクルを可能にした。ガス化された再生資源をこのアスベスト低温無害化装置と熱分解装置自体を稼働させる燃料として約15%再利用することでリユースし、リサイクルされた残りのガス・油資源は、収集運搬の車の燃料や発電などに利用した、特別管理産業廃棄物の低コスト循環型無害化処理技術である。

この基礎技術に対し、低温溶融高効率無害化処理および再資源化処理システムの実用化に向けた技術開発を行い事業化することは、今後のアスベストによる被害を食い止め、次世代に負の遺産を残すことなく処理し、資源の有効利用3R(リデュース・リユース・リサイクル)にも貢献することは、社会的に大きな意義がある。

この目標を達成するために、飛散性アスベスト除去回収現場より発生するアスベスト含有吹付け材をアルカリ系融解剤との化学反応により減容固化し飛散しない安全な形態へととして収集運搬し、そのアルカリ系融解剤を用いて低温溶融処理によるアスベスト無害化技術、飛散性アスベスト除去現場から発生する特別管理産業廃棄物中のプラスチック成分から燃料成分回収技術、回収した炭化水素ガス分、炭化水素油分及び排ガス中へのアスベスト繊維やPCB等の混入を防止する技術及び無害化処理生成物の再資源化技術を開発し実用化するために必要な研究開発項目を実施した。

(3) 研究開発成果

本委託研究テーマにおいて平成21年単年度で、飛散性アスベストを除去回収現場で後の工程で必要とするアルカリ系融解剤と硬化剤を用いて化学反応により減容固化し、飛散しない安全な形で回収・収集運搬、その減容固化されたアスベスト含有物を低温(700℃台)溶融炉に投入しアスベストを分解無害化、さらに生成され

た残渣、ガス、油を再資源化有効利用し安全に低コストで無害化・再資源化する実用化技術を開発した。

ラボ実験、ベンチプラントによる諸条件最適化のデータを基に、環境省の無害化認定取得を視野に入れ、実用化した際の1日のアスベスト無害化処理量の1/10サイズ(1t/d)の実証機でアスベスト低温熔融無害化・再資源化の実証試験を行った。

飛散性アスベスト除去回収現場において、減容固化する際には、関係する法的制約条件、後工程への影響のない無害化条件、作業工数条件、コスト的条件など現状の工程と比較してデメリットの少ないものにする必要があったため、後工程で必要とするアルカリ系融解剤と硬化剤で化学反応を利用した無機ポリマー化を開発し飛散しない形態でのアスベスト安全回収・安全収集運搬、安全貯留を実現させた。

アスベスト無害化実証試験においては、ラボ実験・ベンチプラント試験のデータに基づき、炉内温度平均753℃、滞留時間min30分の条件で連続投入による24h連続運転を行い、無害化され排出された残渣については、

- ・ 熔融残渣体積比：投入廃棄物 50%アスベスト×原料嵩密度 0.46 (実測値) / 残渣嵩密度 1.6 (実測値) = 0.15 (85%減)、
- ・ 熔融残渣重量比：投入廃棄物 460.5kg×50%アスベスト排出残渣重量 150.4kg 重量比=0.653 (約 35%減) 但し、キルン炉内にある残渣は計測に含まれていない。460.5kg×50%プラスチック分×35%=80.59kg (計算上キルン内)、約 85%の減容と約 35%の軽量化
- ・ 投入された特別管理産業廃棄物のプラスチック系廃棄物より熱分解によって生成されたガス生成量については、700℃のガス化率 75wt%、比重 0.901kg/m³ 42kg/h 投入×50%プラ×75wt%/0.901=14.19 m³/kg、実測ガス生成量 194.2 m³/18h 投入量 460.5kg×50%プラ×収率 wt%/0.901=194.2 m³ 実測収率 75.99%

というガス化を実証することができた。

肝心な無害化についてであるが、石綿分析(排ガス、生成ガス JIS K3850-1:2006-6.2)、石綿粉塵試験(平成元年12月27日環境庁告示第93号)、生成物石綿測定(JIS A 1481-7.1,7.2)にて確認した。その結果、排出された残渣、プラスチック分を熱分解によって生成されたガス・油は、環境省無害化判定基準より判断し、無害化が実証された結果を得ることができた。

無害化処理生成物の再資源化技術開発については、それぞれの生成物、残渣、ガス、油について、生成物成分分析(TEM、SEM、ICP 定性)、XRD:結晶構造分析、EXD:半定量分析、ICP:元素判定定性分析、土壤環境溶出試験(カドミウム、鉛、六価クロム、水銀、砒素、セレン、シアン)を行った。残渣については、危険な成分は検出されず、元素判定では、Al 2.3%、Ca 6.9%、Cu 0.2%、Fe 0.4%、K 0.2%、Mg 1.9%、Mn 0.2%、Na 2.1%、S 0.3%、Si 10.1%、Ti 0.4%と Si, Ca,などが多く含まれており、建材や精錬時に使用される低融点化添加材などとして再利用(再資源化)可能であった。

油については、炭化水素油(沸点範囲300℃以下灯油・軽油相当)であり、そのまま再生資源として発電機等への使用が可能であった。

ガスについては、組成 H₂ 26.0%、CH₄ 25.4%、CO 5.70%、CO₂ 4.71%、C₂H₄ 21.4%、C₂H₆ 3.3%、C₂H₂ 0.3%、C₃H₆ 3.13%、C₃H₈ 0.17%、(i-C₄H₁₀、n-C₄H₁₀) 0.02%、C₄H₈ 1.2%、C₆H₆ 1.82%、C₇H₈ 0.14%、N₂ 0.36%、(O₂、H₂O、C₅炭化水素)等 6.4%、熱量は、総発熱量 40,640kJ/m³、真発熱量 37,390kJ/m³ というガス成分で、LPG 代替品として充分使用可能な再生ガスであった。実証試験機では、その実証炉において熱分解し生成したガスをエネルギーとして使用し、熱源とする熱風炉で24h稼働させ実証試験を行った。再資源ガスとして使用可能なことと、実用機においても供給エネルギーコストは、“0”(点火時エネルギーを除く)で稼働できることを実証した。

実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定を実施した。開発目標に対する到達度は、環境安全性、アスベスト無害化、再資源化、実用化(環境省無害化認定実証試験)、事業化(収益事業性)各項目について

充分達成することができた。

開発内容

I. 研究開発成果及び達成状況

- i 低温溶融処理によるアスベスト無害化技術の開発

① 無害化装置の処理条件（低温溶融）最適化

a. 循環型熱分解プラントによるアスベスト無害化実証実験

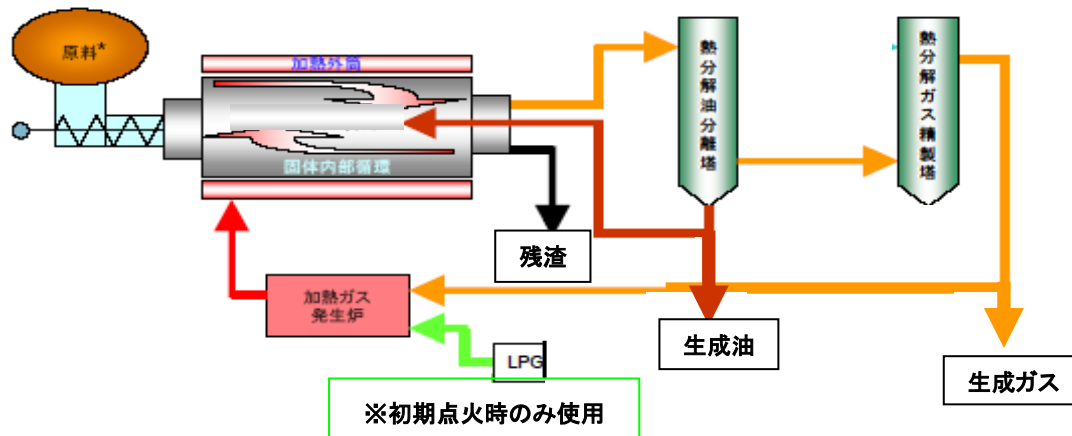


図1 実証試験機構成・フロー

1. 滞留時間設定試験

アスベスト無害化及び熱分解再資源化において上記構成実証試験機設備面で必要となる条件は、炉内温度とその温度下における滞留時間である。炉内温度は、熱風炉により熱供給調整可能なので炉内温度計にて平均750℃を狙い調整した。滞留時間は、無害化に大きく影響するので、30分以上滞留を確保するための投入に対するロータリーキルン炉回転数を求めた。

試験条件

原料 名称 : ポリプロピレン (PP) ペレット
総量 : 20 kg^{※1}
嵩密度 : 0.355 kg/ℓ
供給速度 : 53.6 ℓ/h (19.0kg/h)

ロータリーキルン炉^{※2} : 5 rpm (暫定)

※1 : 投入したすべての原料 (PP) を供給後に押し出すため、原料供給終了後に珪砂を連続的に投入。

※2 : ロータリーキルン炉は、加熱せずに回転させ滞留時間設定回転数試験を行った。



滞留時間確認用ポリプロピレン (PP) ペレット

試験結果

結果を、表 1 および図 1 に示す。最短滞留時間 25 分であった。残渣排出のピークは 120min~180min であった。

表 1 滞留時間測定データ

測定時間 [min]	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80
排出原料(PP)重量 [kg]	0	0	0.001	0.003	0.005	0.013	0.045	0.26
滞留時間 [min]	5	15	25	35	45	55	65	75
残渣排出割合 [%]	0	0	0.01	0.02	0.03	0.07	0.23	1.3
原料供給速度 [ℓ/h]	53.6	53.6	53.6	53.6	53.6	53.6	0	0

測定時間 [min]	80-90	90-100	100-110	110-120	120-130	130-140	140-150	150-160
排出原料(PP)重量 [kg]	0.65	0.97	1.05	1.47	1.36	1.47	1.3	1.33
滞留時間 [min]	85	95	105	115	125	135	145	155
残渣排出割合 [%]	3.25	4.85	5.25	7.33	6.8	7.35	6.5	6.65
原料供給速度 [ℓ/h]	0	0	0	0	0	0	0	0

測定時間 [min]	160-170	170-180	180-200	200-230	230-260	260-290	290-350
排出原料(PP)重量 [kg]	1.25	1.25	1.55	1.53	0.97	0.96	1.6
滞留時間 [min]	165	175	190	215	245	275	320
残渣排出割合 [%]	6.25	6.25	3.88	2.55	1.62	1.6	1.33
原料供給速度 [ℓ/h]	0	0	0	0	0	0	0

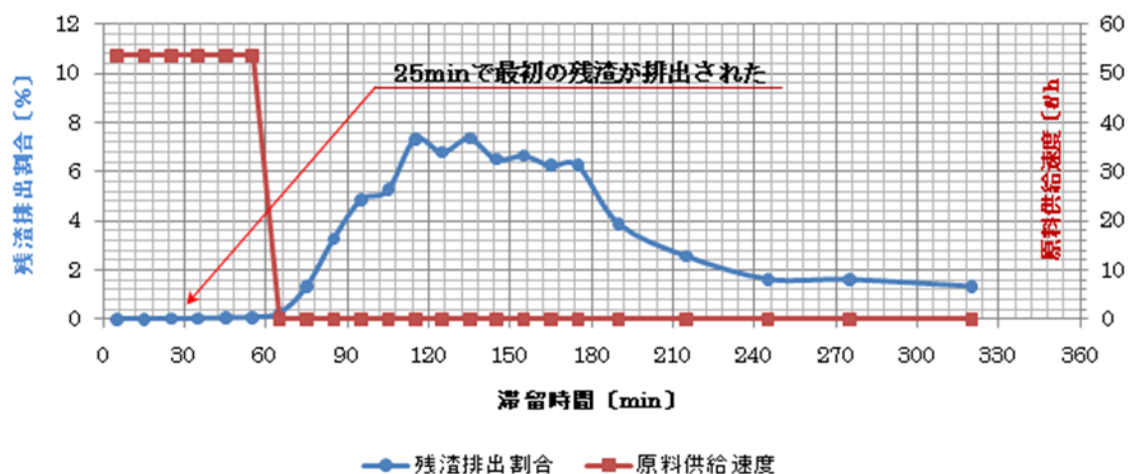


図 1 ロータリーキルン内での原料投入速度・滞留時間と残渣排出割合の関係

考察

今回の実証試験で使用したロータリーキルンは、その内部構造に特殊構造配列の壁を複数設け、原料が炉内で循環され滞留時間を確保できることと、炉内保有率をアップできる構造にしている。そのため、上記のような投入と排出の関係分布のようになったものと考えられる。

この実験結果では原料の滞留時間は最短で 25 分であったが、投入した原料は、アスベスト含有廃棄物ではなく代替物としての PP を用いている。この実験では、熱をかけずに常温で残渣排出割合を見ている為、(原料) = (残渣) となっているが、実際のアスベスト含有廃棄物の場合は、投入原料の内、約 50wt% がアスベスト含有無機物で残渣として排出されるので、排出する重量は、投入原料の約半分と考えられる。排出される残渣の嵩密度は、実測値で約 1.6 kg/ℓ、実際に投入されるアスベスト含有廃棄物の嵩密度は、実測値で約 0.46 kg/ℓ であるため、排出される残渣の体積は投入される原料の体積に対して、 $50\% \times 0.46 / 1.6 \approx 0.15$ となる。今回使用したロータリーキルン内の滞留時間は炉内の体積と反比例するため、同じ速度で原料を供給した場合、この実験結果の $1/0.15 = 6.6$ 倍滞留時間は長くなると考えられる。

このことから単純に計算すると、この設備設定条件下では、供給速度 53.6 ℓ/h でアスベスト含有廃棄物を供給した時の最短の滞留時間は、25 分 \times 6.6=165 分になると考えられる。なお、10 t/d の処理の 1/10 サイズの実証試験機なので処理量が 42kg/h (重量換算)、91.3ℓ/h (体積換算) となり、滞留時間は、102 分となる。

結論

無害化・熱分解ロータリーキルンの回転数が 5rpm の際、アスベスト含有特別管理産業廃棄物原料を 42kg/h で供給速度としたときには、滞留時間 (min) を 30 分以上確保できると考える。

2. 無害化処理実証実験 1

アスベスト含有廃棄物の低温溶融無害化が、ベンチプラント及びラボ実験での条件で実証機実機の 1/10 サイズで無害化できることを、処理によって排出される大気放出排気ガス、生成ガス、生成油、生成残渣について分析し、確認した。また、連続投入による安定的な連続運転の可否を判断した。

試験条件

原料 名称 : アスベスト含有特別管理産業廃棄物 (現場より採取) + 現場使用済プラスチック系アスベスト付着廃棄物 (PE) (現場より採取) + 無害化融解剤 (20wt%)
→ 減容固化したワーク

投入アスベスト含有吹付け材アスベスト含有率及び成分

クリソタイル : 5.2% アモサイト : 14.5% クロシドライト : 15.5%
トレモライト/アクチノライト : 1.4%

アスベスト含有投入サンプル I C P 成分 (定性)

A L 2.3%、C a 6.7%、F e 1.0%、k 0.2%、M g 2.4%、M n 0.2%、N a 0.4%、
S 0.3%、S i 1.0%、T i 0.3%

嵩密度 : 0.46 kg/ℓ

供給速度 : 21.0 kg/h ~ 44.0 kg/h 連続投入

総実験量 : 240 kg

無害化ロータリーキルン回転数 : 5rpm

無害化処理滞留時間 : 30min 以上

炉内無害化処理温度 : 炉内中心部気中温度 750°C 平均 (700°Cmin~800°Cmax)

設備能力 : 1 t / 24 h 処理 (42kg/h) 連続投入式外熱ロータリーキルン無害化・熱分解化炉



投入原料



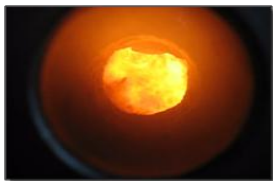
無害化・熱分解炉

試験結果

結果無害化ロータリーキルン内部温度御平均は、743°Cであった。無害化ロータリーキルン内部気中温度は、697°C～785°Cとばらつきがあった。

表 2 無害化分析結果

測定内容	項目	分析判定結果	備考
大気放出 排気ガス	流速	19.0 m/s	
	温度	174°C	
	水分	2.0 %	
	SOx	0.2 ppm	
	NOx	2.0 ppm	
	ダスト	<0.01mg/m ³ N	
	O ₂	20 %	
	石綿粉塵	不検出	アモサイト繊維 1 本確認
生成ガス	石綿粉塵	不検出	石綿繊維なし
生成油	石綿	不検出	X線回折でトレモライト/アクチノライトピーク確認、石綿繊維なし
溶融残渣	石綿	不検出	X線回折でクロシドライト・トレモライト/アクチノライトピーク確認、石綿繊維なし



生成ガスを燃焼し加熱熱源



溶融無害化後残渣

考察

-1). 無害化炉・熱分解ロータリーキルン炉内部温度について

内部温度がばらついているのは、温度測定部（熱電対先端）が、温度変化をしやすい炉内部中心の気体温度を測定している為である。経過時間 390 分のところで、一時その内部気中温度が 700°Cを下回り 697°Cとなった。これは、内部気中温度が 750°Cよりも低くなったため、原料の投入を一旦停止した時、それに伴い生成ガスの生成量・燃焼量が少なくなったためである。この時、内部温度が一時 700°Cを下回り 697°Cとなったが、ロータリーキルン内部の構造上、炉内には一定量の残渣が常に存在していることと、外側より加熱している外部加熱構造の為、投入されたアスベスト含有特別管理産業廃棄物原料の温度は、700°C以上になっていたと推測できる。

結論

ラボ実験・ベンチプラントでの結果を実証機稼働条件とし実証試験を行った結果、アスベストの無害化を確認することができ、処理条件の最適化、熱分解条件の最適化、各生成物へのアスベスト混入防止、大気放出排気ガスのアスベスト及び PCB 等有害ガスの混入防止も確認することができた。21 kg/h で連続投入し、12h 連続運転を生成ガスによる稼働を安定的に運転することができた。

b. アスベスト無害化最適化条件の検討：ラボ実験

ここでは、アスベスト無害化処理の最適条件を検討するため、実験室において電気炉や熱重量分析装置(TG)を利用して各種アスベストと薬剤を加えたサンプルを熱処理し、その状態を調べた。アスベストには純粋な繊維のみの3種類のアスベスト(クリソタイル、アモサイト、クロシドライト)を用いた。一方、薬剤には実証試験で利用している珪酸ソーダ(3号： $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ +等量の水)に水酸化カルシウムや炭酸カルシウムを加えたものである。重量比でアスベスト：珪酸ソーダ：水酸化カルシウム=1:2:1の混合物を電気炉にて700℃、60分加熱したものは、クリソタイルでは多少の熔融が観測されるものの、拡大すると繊維が確認され、一方、アモサイトやクロシドライトではほとんど処理が行われていない結果が得られた。また、処理後のX線回折結果からも、クリソタイルでは、クリソタイルを示すピークが検出されなかったが、アモサイトやクロシドライトでは、ピークが検出された。これらの結果より、クリソタイル以外では700℃の処理では不十分であると考えられた。処理温度を750℃、処理時間を90分とした場合には、熔融状態が少し進む様子がうかがわれた。特にクリソタイルでは繊維が見られなくなっているが、アモサイト、クロシドライトではまだ一部、繊維状のものが観測された。

この様に温度の上昇によりアスベスト処理の進行を確認したものの、アモサイト、クロシドライトでは未だ十分とは言えず、その一方で、電気炉実験の場合の問題点として、正確な炉温度の管理やつぼ内の薬剤とアスベストとの混合状態が挙げられた。そこで、前者の解決としてTGによる精密な温度管理による処理を、後者に関しては薬剤を過剰(アスベスト：薬剤 1:20)に加えた状態で処理を行った。900℃、60minでのアモサイトとクロシドライトの結果から、水酸化カルシウムを加えずともアモサイトでは熔融が進み、繊維が無くなった。また、クロシドライトも繊維が見られているものの熔融物に埋もれている様子がうかがわれた。水酸化カルシウムを加えて750℃、60minで行った結果を以下に示す。クリソタイルだけは薬剤過剰で実験をせず、処理時間も1minである。結果を見ると、どのアスベストも比較的熔融が進み、繊維が独立して存在していないことがわかる。

これらのことより、アスベストは900℃程度であれば、珪酸ソーダとの混合で熔融が可能であること、カルシウムの存在下ではさらに低温熔融化が図られることが示唆された。これらはこれまでのアスベスト等の処理においても経験的に観測されていることであり、また $\text{Na}_2\text{O-SiO}_2$ 系や $\text{Na}_2\text{O-SiO}_2\text{-CaO}$ 系の相図から推測された。また、当然のことであるが、混合状態は熔融条件に大きく依存することもわかる。

以上を総括すると、アスベストの低温熔融処理には、珪酸ソーダにカルシウム成分を加えることは効果があり、また処理前には十分に薬剤との混合を行うことにより、725℃以上で熔融処理が可能と考えられるが、安全サイドに寄ることを考えると、処理温度は750℃程度以上であることが好ましいと言える。

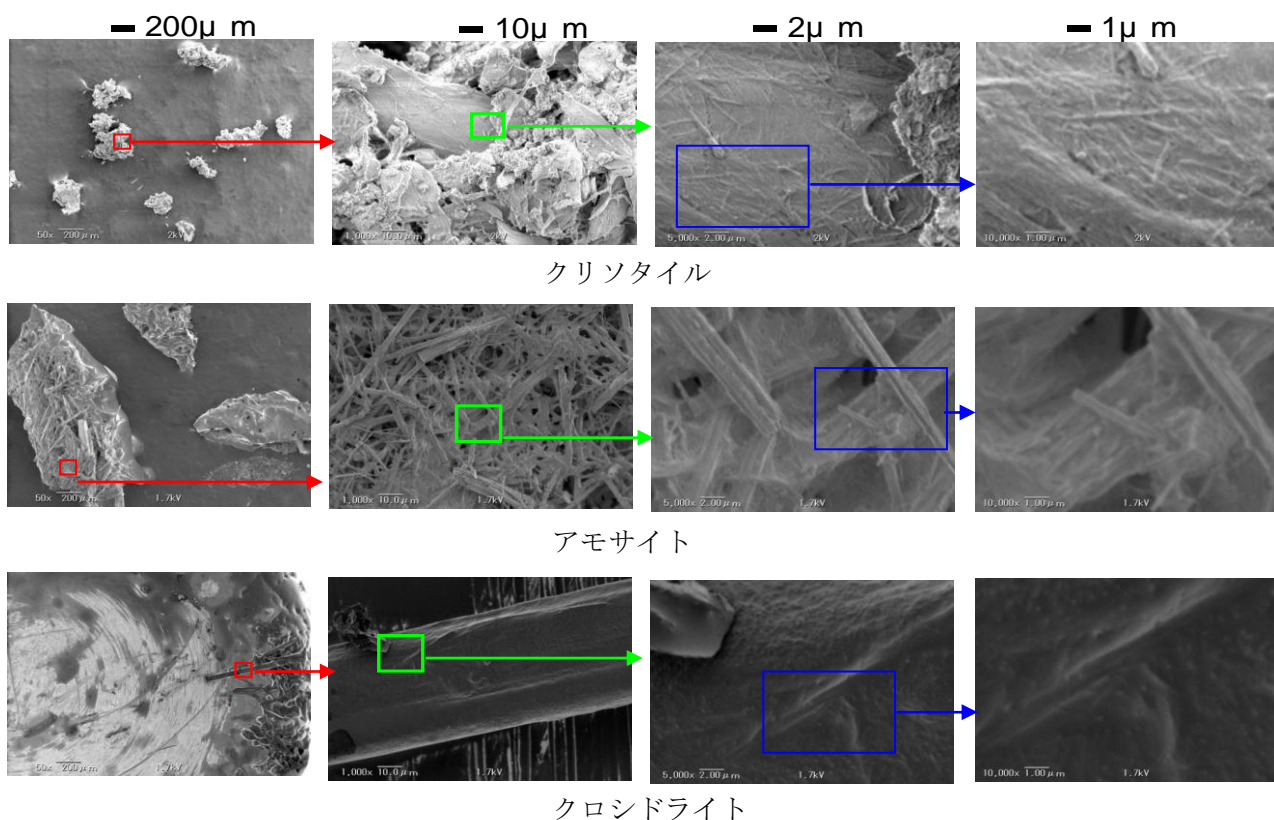


図 TG での処理後の SEM 観察結果 (750°C,60min)

- ii 熱分解条件の最適化

① 熱分解条件の最適化：アスベスト系廃プラ燃料ガス化実験

本プロジェクトでは、溶融促進剤を利用し、温度を 700°C 程度に下げ、滞留時間を 20 分程度にすることでアスベスト繊維の溶融・無害化できることが別途明らかになっている。ポリエチレンを主体とする廃プラスチックを燃料化する際に、アスベスト繊維の溶融・無害化を行うのと同じ加熱装置で熱分解し燃料を製造するのか、アスベスト無害化加熱装置とは別の加熱装置で廃プラスチックからの燃料製造を行い、得られた燃料をアスベスト無害化加熱装置に供給するのがシステム構築上の課題となった。設備コスト削減、エネルギー消費低減を考えると、アスベスト加熱無害化と廃プラスチック加熱燃料化を同一の装置で共用できることが望ましい上、廃プラスチックに付着している可能性のあるアスベスト繊維を無害化することを考えても十分な加熱処理が必要となると考えた。

廃プラスチックを燃料化する場合、固形燃料、液体燃料、ガス燃料の 3 種が候補となる。アスベストがわずかでも付着していることを念頭に置くと、700~800°C 程度でアスベストの無害化処理をしながら、廃プラスチックも同じ条件で処理することで、それに含まれる微量のアスベストをも無害化することが望まれる。

廃プラスチックからの固形燃料の製造は 200°C 程度の温度域の固化成形で行われる。アスベスト繊維は残留したままとなる。これを燃料として、アスベスト無害化熱処理装置に供給すると、固形燃料は溶融・油化しながら燃焼するが、アスベスト繊維が熱履歴を十分受けずに燃焼排ガスに混入し、アスベスト繊維が排ガスとして施設外に排出される恐れがある。また、固形燃料を用いた連続燃焼と温度制御が可能な実用装置が国内メーカーを調査した範囲では見当たらず、廃プラスチックから固形燃料を製造し、これをアスベスト無害化熱処理装置に供給し、温度制御するシステムは実用化できないと判断した。

液体燃料の製造は、一般的にはタンク式反応器を用いてタンク内表面温度 500~600℃で実施される。熱可塑性樹脂の熱分解自体は容易であるものの、その主体がポリエチレンである場合、ワックス状に固化しやすい生成物が得られることがよく知られている。特に冬期には、燃料油の貯蔵やバーナーへの供給に加温が必要となる。さらに加熱温度が 500~600℃であることから、含有されるアスベスト繊維は無害化できない。これを 700℃以上に加熱した場合でも、プラスチック自身の熱分解は 400℃前後でおき、炭化水素油に変化した場合、炭化水素油の沸点は高々 400℃なので炭化水素油が揮発するときに、アスベスト繊維は炭化水素油やより高分子量のオリゴマーに随伴して気相に留出されることが懸念される。

廃プラスチックを熱分解してガス化する手法は、これまで流動床や噴流床反応器といった秒単位の短い滞留時間と 1000℃を超える高温で実施される例が一般的であった。容器包装リサイクル法のもと、酸素や水蒸気をプラスチックと反応させ、水素と一酸化炭素を発生させ、アンモニアやメタノールの合成原料を製造した例がある。これは、装置が大型で流動化ガスを用いるなど高コスト施設となるのが避けられず、運転も容易とはいえない。さらに、短い滞留時間は、廃プラスチックとアスベストの性状、熱的挙動が異なるなど、装置内の気流の状況によっては、アスベスト無害化が不十分となることも考えられる。一方、スクリー搬送機を用いた水平移動床方式の廃プラスチック熱分解が発表されている。文献 (Y. Kodera, et al., Energy Fuels, 20, 155-158, 2006) によれば、装置温度 700℃、滞留時間 20 分の条件で、ポリプロピレンが 80 重量%以上の収率で炭化水素ガスへとガス化された例がある。装置は硅砂を熱媒体として用いた移動床方式である。本プロジェクトで使用可能な実証プラントは水平移動床方式については存在しないが、バイオマスガス化に実証例のある循環移動床方式外熱キルンが原理的に共通している。すなわち、熱媒体として硅砂を含む固形物を使用していること、内部のフィンが固形物を装置内で移動させ、一様な加熱処理を実現していること、この加熱固形物中にある廃プラスチックが徐々に溶解、分解、気化し、かつ気化物がフィンの作用でタンク式反応器とは異なり、気化して直ちに加熱装置外へ留出することなく、反応を継続しガス化にいたること、などアスベスト無害化と同じ反応器内で、同様な加熱温度域でガス化反応が進行すると期待される。

以上の検討から、アスベスト無害化および廃プラスチックガス化を同一の装置内で行うことをシステムとして構成した。実証には、実証プラントとして循環移動床方式外熱キルンを採用することを念頭に、アスベスト繊維が廃プラスチックの分解生成物にどのように分配されるかについて、水平移動床方式熱分解ベンチプラントを用いて検討することとした。アスベスト繊維の行方については、(株) ストリートデザインで実施することとし、アスベスト繊維の模擬試料として、無害のロックウールを使った廃プラスチックガス化を (独) 産業技術総合研究所で実施した。

スクリー搬送機と管状反応器からなる水平移動床熱分解ベンチプラント (図 1 2) を使用し、ロックウール廃プラスチック混合試料の熱分解を行った。反応管は全長 1200mm、内径 70mm で、電気ヒーターで加熱されている。均熱体の長さは 600mm である。スクリー搬送機はインバーターモーターを使用して、試料の搬送の速さを変えることで、熱媒体として加える硅砂と随伴して移動する固形試料や溶解プラスチックおよび高沸点の熱分解油が均熱帯で滞留する時間を制御することができる。プラスチックの滞留時間は硅砂 5 号が均熱帯を通過するに要する時間を測定し、プラスチックの滞留時間とした。また、本反応器では、揮発した低沸点の熱分解油もスクリー歯と硅砂のため、反応管から容易には留去することなく、伝熱が行われ、低分子化が促される特徴がある。

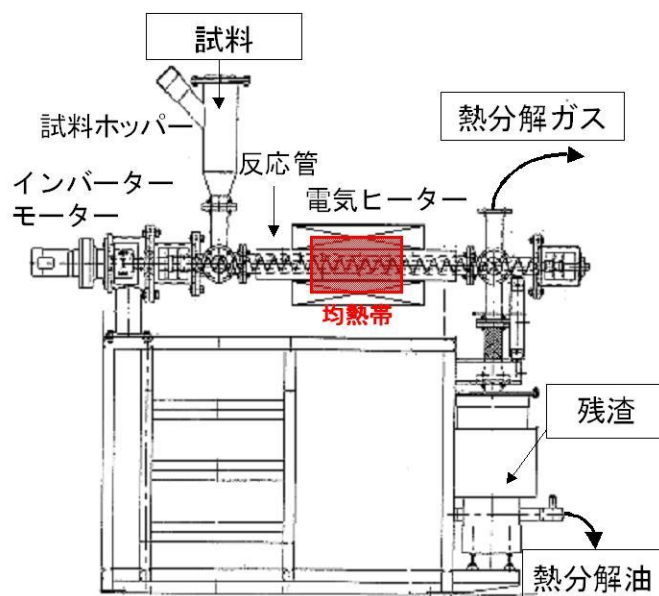


図 1 2 水平移動床方式熱分解ベンチプラント

プラスチック試料として、(株) ストリートデザインから提供されたポリエチレンを主成分としたプラスチック粉碎品を用いた。試料組成や特徴を表 4 にまとめた。熱媒体として用いた珪砂 5 号 (粒径 0.3-0.8 mm) である。アスベスト模擬物質としてロックウールを使用した。イビデン (株) 製のイビウール綿状品を破碎し、プラスチック粉碎品、珪砂と混合して熱分解試料とした。熱分解試料はあらかじめ試料ホッパーに充填し、ベンチプラント内部を窒素で置換し反応器外表面温度を 700°C に加熱した。窒素気流を止め、インバーターモーターでスクリー搬送機を作動させ、試料を均熱帯に搬送した。試料が加熱帯に移動し、熱分解ガスが生成した。珪砂が均熱帯を通過する時間は 20 分とした。熱分解ガスは冷却管を経て、ガスメーターで体積が計量され、水封器を通過して排気された。熱分解残渣と熱分解油は残渣受器で貯えられた。受器には、パンチングメタル製の容器があり、残渣は容器内に、熱分解油は容器の下に流下し、貯えられる。表 5 に実験条件と発生ガス量をまとめた。

表 4 ロックウール含有混合試料の特徴

組成：珪砂 5 号 3.60 kg
ポリエチレングラッシュ加工品 0.40 kg
ロックウール破碎物 0.02 kg
ポリエチレングラッシュ加工品の内容：養生材、防護服等の PE t=0.15mm シートを破碎機にて破碎した試料
ロックウールの特徴：イビウール繊維 (イビデン社製セラミック繊維) 融点 1260°C

表5 ロックウール含有混合試料の代表的な熱分解結果*

番号	反応条件	生成物
S14A	反応管外表面温度 700°C 滞留時間 5分 (モーター制御 14Hz)	熱分解ガス 121.7 L
S14B	反応管外表面温度 700°C 滞留時間 5分 (モーター制御 14Hz)	熱分解ガスの採取のため、ガス量は未測定。熱分解油 336.3 g (残渣からの分離回収分)
S15A	反応管外表面温度 700°C 滞留時間 20分 (モーター制御 4Hz)	熱分解ガス 229.8 L (ガス温 24.1°C)。 熱分解油 31.77 g。 残渣 (付着油を含む) 3.724 kg
S18	反応管外表面温度 500°C 滞留時間 20分 (モーター制御 4Hz)	熱分解ガス 20.8 L (ガス温約 24°C)。 熱分解油 26.20 g。残渣 (付着油を含む) 3.801 kg
S25	反応管外表面温度 600°C 滞留時間 20分 (モーター制御 4Hz)	熱分解ガス 208.5 L (ガス温約 24°C)。 熱分解油 71.11 g。残渣 (付着油を含む) 3.841 kg

*試料は表4に示したロックウール含有試料 4.02 kg を用いた。

反応温度は、反応管の外表面温度でモニター、制御される。4mm厚の SUS316 の反応管を用いており、入熱 52.0 W、SUS316 の熱伝導度を 22.4 W/m・K、外表面温度を 700°C とすると、反応管内表面温度の計算値は 596°C であった。

熱分解過程で生成したロックウールの粉砕物やその繊維を、熱分解ガス、熱分解油、熱分解残渣それぞれの分画についての分析結果を表6にまとめた。

表6 ロックウール含有混合試料の熱分解生成物でのロックウール検出結果*

番号	温度,滞留時間	試料、検出数 (Mf/g)	各試料の回収量	各試料への分配量 (計算値) (Mf)
S14B	700°C, 5分	ガス、— 液体、0.069 残さ、66	ガス、121.7 L 液体、336.3 g 残さ、—	— 23 —
S15A	700°C, 20分	ガス、0.00030 Mf/L 液体、0.033 残さ、530	ガス、229.8 L 液体、31.77 g 残さ、3.724 kg	0.069 1.0 1970000
S25	600°C, 20分	ガス、— 液体、0.0081 残さ、58	ガス、208.5 L 液体、71.1 g 残さ、3.841 kg	— 0.58 220000
S18	500°C, 20分	ガス、— 液体、0.0020 残さ、8.1	ガス、20.8 L 液体、26.20 g 残さ、3.801 kg	— 0.052 31000

*試料は表4に示したロックウール含有試料 4.02 kg を用いた。

熱分解ガスの平均分子量は推算をもとに、30 g/mol とすると、229.8 L (24℃) から 283 g が与えられ、原料中のポリエチレン重量 400 g から収率 71% が得られた。生成物分布については、ベンチプラントによる実験であるので、前実験からの残渣の残存や装置内や残渣への油の付着などのため、物質収支はある程度不正確にならざるをえない。しかしながら、ガス、液体、残さでのイビウル繊維の検出結果から、繊維は大部分が残渣に分配しており、ガス生成物への分配は残渣中の繊維本数の 10^8 分の 3 程度であることがわかった。このことから、実証研究で残さ中のアスベストが十分に少ないことが確認できれば、アスベスト繊維の熱分解ガス中の繊維数は無視できる量であると結論できる。

ポリエチレンペレットを反応管外表面温度 700℃、滞留時間 20 分の条件でガス化したときの反応結果を表 7 にまとめた。ポリエチレンペレット ((株) プライムポリマー製 Hizex6300M) を用いた。C1 はメタン、C2 はエチレン、C3 は主にプロピレン、C4 はブタンおよびブテンの異性体混合物である。また、C5, C6 に相当する炭化水素化合物もガスクロマトグラム上に観察された。ガス発生量から算出された収率は 75 重量% であった。

表 7 ポリエチレンペレットガス化の結果 (700℃、20 分)

発生ガス量	421 L, 収率 75.0 重量%
生成油	78.4 g, 収率 19.6 重量%
ガス組成 (単位、重量%)	C ₁ 12.7, C ₂ 34.3, C ₃ 21.1, C ₄ 17.6, C ₅ 12.4, C ₆ 1.9
平均分子量	33.0 g/mol

②アスベスト含有廃プラスチックの熱分解実験：繊維行き先確認実験

アスベスト繊維含有廃プラスチックの熱分解ガス化実験を水平移動床方式熱分解ベンチプラントを用いて、(株) ストリートデザインの実験場で実施した。廃プラスチックガス化はアスベスト繊維が溶融促進剤存在下で溶融する温度よりも低い温度で進行する。反応管外壁温度 700℃ であれば内表面は約 600℃ となると推算される。このとき、炭化水素ガスが 75% 収率で得られた。そこで、アスベスト繊維の溶融無害化が完結しない反応管外壁温度 700℃ (内壁推算温度 600℃)、滞留時間 20 分でポリエチレンガス化を行う際に、熱分解ガス、熱分解油、残渣にどのように分配されるかを確かめるために実験を行った。用いた試料の組成と性状を表 8 に、また、無害化と熱分解ガス化の結果を表 9 にまとめた。得られた各種生成物中のクリソタイルおよび疑フォルステライト (以下、これらをアスベスト繊維と総称する) を分析し、表 10 に分析結果をまとめた。

表 9 で、溶融促進剤が添加された試料の熱分解では、ガス化収率が 10% 低下した。これが有意な差であるとする、溶融促進剤添加のため、投入した熱量の一部が溶融促進剤の加熱や溶融反応に利用されたため、熱量不足でガス化やそれに先立って起きるプラスチックの溶融、熱分解油化に時間を要し、収率低下につながった可能性がある。

反応管内壁の温度は約 600℃ と推算され、この温度で残留するアスベスト繊維の量 (表 9) は、溶融促進剤を添加した場合、添加しない場合に比べて、残渣における量比は分析検体同士の比較で、 $66/360 = 0.18$ であった。分析検体の繊維量 (Mf/g) と残渣量 (kg) から総量を推算した場合、 $(66 \times 6730) / (360 \times 6609) = 0.19$ であった。いずれの場合もおよそ 5 分の 1 以下となったことがわかった。

ガスおよび残渣中の繊維数の比は、溶融促進剤を添加した場合で、 1.7×10^{-8} : 添加しない場合で、 $1 : 9.6 \times 10^{-6}$: 1 であった。アスベスト繊維が溶融せず、試料中に存在する反応条件で、繊維はガスよりも残渣に百万倍以上の本数が観察された。

試料として組成 A の固形化物を使用した場合（番号 D21）、ガス、液体、残渣中のアスベスト繊維はそれぞれ、0.00059 Mf/L、0.029 Mf/g、63 Mf/g であった。ガスおよび残渣中の繊維数の比は、 $9.4 \times 10^{-6} : 1$ となった。破砕品（番号 OC30A）を試料として使用した場合とその固形化物（番号 D21）を使用した場合では、残渣中のアスベスト繊維の検出量は 66 および 63 Mf/g と近く、いずれも溶融剤の効果が現れていると考えられる。一方、熱分解ガスから検出された繊維数は、破砕品においては 37 f/L、固形化物においては、590 f/L と 10 倍以上の濃度で検出された。有意な差であるか否かはさらに検討を要するが、固形化物の場合、伝熱速度が遅いため、繊維溶融が進行する前に、プラスチックガス化に伴い繊維が気相に揮散した可能性もある。

表 8 アスベスト繊維含有混合試料の特徴

組成 A : 珪砂 5 号 7.20 kg
ポリエチレングラッシュ加工品 0.40 kg
クリソタイル 6%含有吹付け材 0.40 kg
溶融促進剤 0.08 kg
組成 B : 珪砂 5 号 7.20 kg
ポリエチレングラッシュ加工品 0.40 kg
クリソタイル 6%含有吹付け材 0.40 kg
ポリエチレングラッシュ加工品の内容 : 養生材、防護服等の PE t=0.15mmシートを破砕機にて破砕した試料

表 9 アスベスト繊維含有混合試料の代表的な熱分解結果*

番号	試料、反応条件	生成物
OC30A	試料 : 組成 A (表 3) 反応管外表面温度 700°C 滞留時間 5 分 (モーター制御 14Hz)	熱分解ガス 206.6 L (収率 70.0 重量%) 熱分解油 141.0 g (残渣からの分離回収分*) 残渣 6.73 kg
OC30B	試料 : 組成 B (表 3) 反応管外表面温度 700°C 滞留時間 20 分 (モーター制御 4Hz)	熱分解ガス 238.5 L (収率 80.8 重量%) 熱分解油 87.14 g (残渣からの分離回収分*) 残渣 6.61 kg

*使用した珪砂の湿分由来の水分を含む。

表 10 アスベスト含有混合試料の熱分解生成物でアスベスト繊維の検出結果

番号	試料、検出数 (Mf/g)	各試料の回収量	各試料への分配量 (総量の計算値) (Mf)
OC30A	ガス、0.000037 Mf/L 液体、<0.01 残さ、66	ガス、206.6 L 液体、141.0 g 残さ、6.732 kg	0.0076 <1 440000
OC30B	ガス、0.095 Mf/L 液体、0.02 残さ、360	ガス、238.5 L 液体、87.14 g 残さ、6.609 kg	23 2 2400000

- iii 排ガス中への飛散アスベストやPCB等ハロゲン系有害物質の混入防止

①大気プラズマによる疑似アスベスト繊維の処理

飛散性アスベストは空中に浮遊しているアスベストであり、環境や人体への影響が大きい。特に本処理施設から排出される可能性を想定し、ここでは、排気ガスに含まれる飛散性アスベストをマイクロ波空気プラズマによって処理する方法を検討した。用いるマイクロ波空気プラズマは、マイクロ波をエネルギーとする無電極放電で生成され、高温ガスを持つ他、小型装置のため、実施される処理施設に簡単に取り付けられる特徴を持つ。更に数百Wから空気を安定にプラズマ化することが可能で、また排ガスを同時に処理することもできる。ここでは、アスベスト疑似物質として市販のセラミックウールとステンレス繊維を実際にプラズマ処理し、その処理状態の解析を行った。

実験装置図を以下に示す。粒子はプラズマ上部より粒子供給装置とキャリアガス（空気）で定常に導入し、水中に張ったろ紙によってプラズマ処理された後の粒子を回収し、その後、SEMによって変形や熔融状態を観察するとともに、X線回折で相変化を調べた。試料としてセラミックス繊維（IBI Wool）、ステンレス繊維（SMF300UE）、ムライト繊維（Fiber max）の3種を使用した。実験パラメータは粒子供給速度、投入電力である。

プラズマ処理前後の繊維粒子のSEM画像解析により実験前では針状粒子が含まれ、球状の粒子はほとんど見あたらないが、実験後ではIBI WoolとSMFについて球状粒子が現れ、また粒子も大きくなるなどプラズマ処理の効果が見られた。しかしながら、Fiber maxではあまり処理効果が見られなかった。

SEM画像の結果からアスペクト比（AR）や針状消失率（V）を以下の（1）と（2）式を用いて計算した。ここで、WHOによって定められた危険なアスベストはアスペクト比が0.33以下のものなので、針状含有率を0.33以下の投影面積の粒子の割合とした。

$$AR = \frac{W}{L} \quad (1)$$

$$V = \frac{\sum AR \leq 0.33 \text{を持つ粒子の投影面積}}{\sum \text{粒子の投影面積}} \times 100\% \quad (2)$$

解析の結果、個数平均アスペクト比の変化はすべてのファイバーで大きくなったことより、プラズマにより細長い粒子が消失していることが示唆された。針状含有率については、IBI Woolは減少し、ステンレス繊維では減少した後上昇、ムライト繊維ではあまり変化しない結果となった。これらはそれぞれの繊維の融点や繊維同士の融合状態に起因すると考えられた。本実験条件の粒子濃度は実際の排出条件と比較すると相当大きいものと思われるが、IBI Woolの融点が約1600℃、アスベスト類はクリソタイルで同程度、アモサイトやクロシドライトはこれより数百℃低いことから、マイクロ波プラズマ処理法は飛散性アスベスト処理に十分、効果があるものと考えられた。

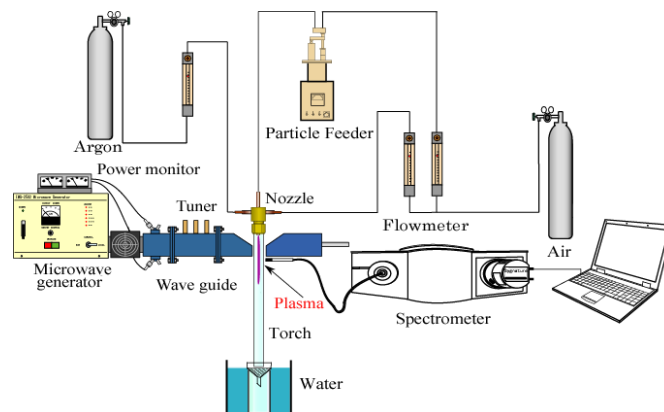


図 プラズマ処理実験装置図

- iv 無害化処理物の再資源化および CO₂排出削減効果

無害化処理物の再資源化および CO₂排出削減効果について検討した。結果を表 1 2, 1 3, 1 4 に示す。残差は Si 10.1%、Ca 6.9%、Al 2.3%、Mg 1.9%等が主成分となる再生資源なので、精錬融解剤、土壌改良剤、路盤材等再生製品原料として検討可能である。生成ガスについては、実験時、実証試験時に実際熱風炉燃焼ガスとして連続使用し十分な熱量を確保できた。再生ガスとしての再生エネルギーとして利用可能である。

表 1 2 生成残渣成分分析データ表

元素	成分分析結果	
	イニシャル(%)	無害化後残渣(%)
Al	2.3	2.3
Ca	6.7	6.9
Cu	N. D.	0.2
Fe	1.0	0.4
K	0.2	0.2
Mg	2.4	1.9
Mn	0.2	0.2
Na	0.4	2.1
S	0.3	0.3
Si	1.0	10.1
Ti	0.3	0.4

表 1 3 生成ガス成分分析データ表 (濃度 %)

水素	H ₂	26.0
メタン	CH ₄	25.4
CO	CO	5.70
CO ₂	CO ₂	4.71
エチレン	C ₂ H ₄	21.4
エタン	C ₂ H ₆	3.30
アセチレン	C ₂ H ₂	0.30
プロピレン	C ₃ H ₆	3.13
プロパン	C ₃ H ₈	0.17
イソブタン	i-C ₄ H ₁₀	0.00
ノルマルブタン	n-C ₄ H ₁₀	0.02
ブテン+ブタジエン	C ₄ H ₈	1.20
ベンゼン	C ₆ H ₆	1.82
トルエン	C ₇ H ₆	0.14
窒素	N ₂	0.36
他	O ₂ 、H ₂ O、C ₅ 炭化水素 等	6.40
総発熱量	40,640 kJ/m ³	
真発熱量	37,390 kJ/m ³	

10t/dのアスベスト処理のCO₂排出量の比較（理論値）

原料：10t/d（アスベスト含有特別管理産業廃棄物 5t/d、プラスチック（PE）系アスベスト付着特別管理産業廃棄物 5t/d）を処理する場合、原料あたりのCO₂発生量は、下記ようになる。

但し、この理論値計算は、処理する原料のプラスチック（PE）系アスベスト付着特別管理産業廃棄物を熱源として使い発生するCO₂とガス化した生成ガスを燃料としたときのCO₂発生量の比較であり、高温熔融炉でメインとして使われるガスまたは油などの新たな化石燃料から発生するCO₂については、不明なため含まれていない。

①焼却の場合

原料中の炭素は、ポリエチレンの分子が(C₂H₄)_nなので

$$5\text{t/d} \times (12 \times 2) / (12 \times 2 + 4) = 4.286 \text{ t/d}$$

炭素 1g でのCO₂は、(12+16×2) / 12 = 3.667g 発生することになるので

$$4.286 \text{ t/d} \times 3.667\text{g} = 15.72\text{t/d}$$

よって、原料あたりのCO₂発生量は、

$$15.72\text{t/d} / 10\text{t/d} = \underline{1.572 \text{ t-CO}_2/\text{t-f}}$$

②ガス化（油）させた場合

原料の炭素分はすべてガス、油または残渣に付着して排出されるためCO₂発生はないものと考えられる。（原料のガス化に必要な熱量は考慮しない）

③プラスチック系（PE）を熱分解しガス化させた生成ガスを燃料として使用した場合

燃料の使用量：2.708 t/d（10t/dの設計データより）

このうち炭素 C 成分は、128.79N m³/d（実証試験生成ガスデータより）

CO₂は、5.85N m³/h であるので、プラスすると合計 134.64N m³/h となる。

よって、原料あたりのCO₂発生量は、

$$(134.64\text{N m}^3/\text{h} \times 44 / 22.4 + 24) / (10\text{t/d}) = \underline{0.635 \text{ t-CO}_2/\text{t-f}}$$

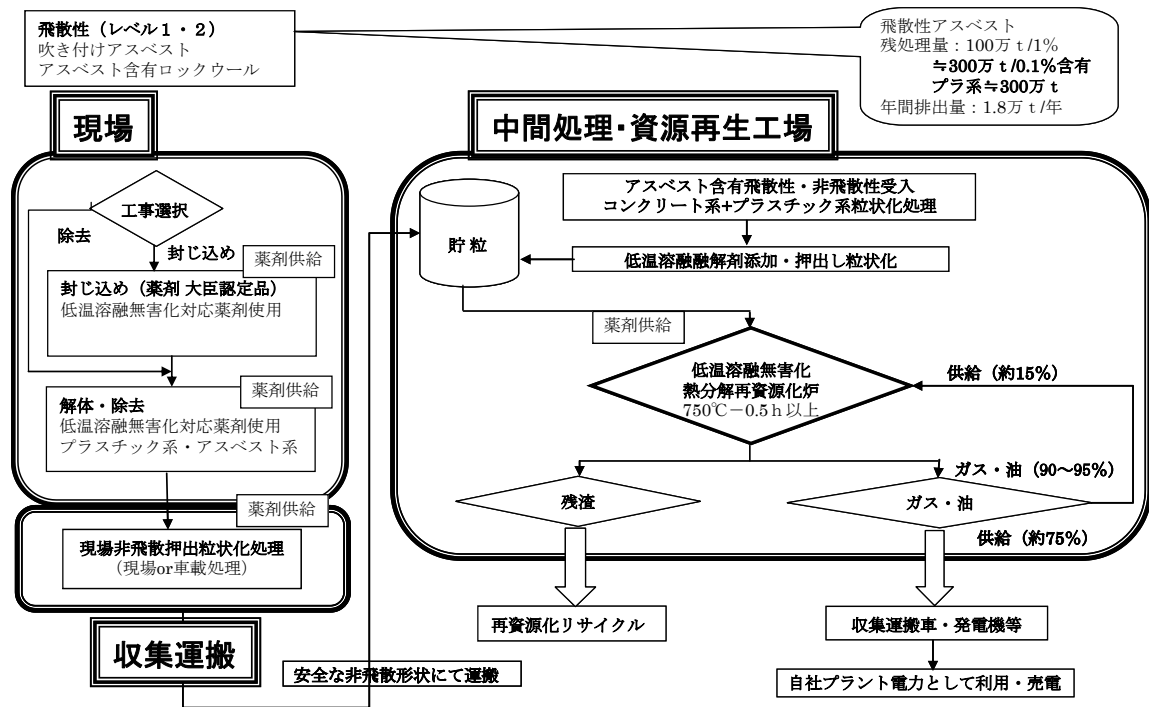
表 1 4 CO₂発生量比較表

CO ₂ 削減量試算	高温熔融炉	無害化・熱分解炉 (発生ガスを燃料として利用)
無害化処理温度	1500°C	700°C
原料処理量	10,000kg/d	10,000 kg/d
プラ系(PE)含有量	5,000kg/d	5,000 kg/d
アスベスト系含有量	5,000kg/d	5,000 kg/d
熱源	原料 PE+ガス or 油	生成ガス
熱源使用量		2,980N m ³ /d(実績値)
		2,708 kg/d(比重 0.908)
CO ₂ 発生量(原料由来)	15,720kg/d	0 kg/d
CO ₂ 発生量(熱源由来)	不明	6,347 kg/d
CO ₂ 発生量(合計)	15,720 kg/d+α	6,347 kg/d
原料当りのCO ₂ 生成量	1,572+α t _{CO2} /t	0.635t _{CO2} /t

化石燃料燃焼より発生するCO₂発生量を除き原料あたりのCO₂発生量だけ見てもCO₂発生量削減には、大きく貢献することができる。

- v 実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定

結果から得られるビジネスモデルと試算



ビジネスモデルフロー図

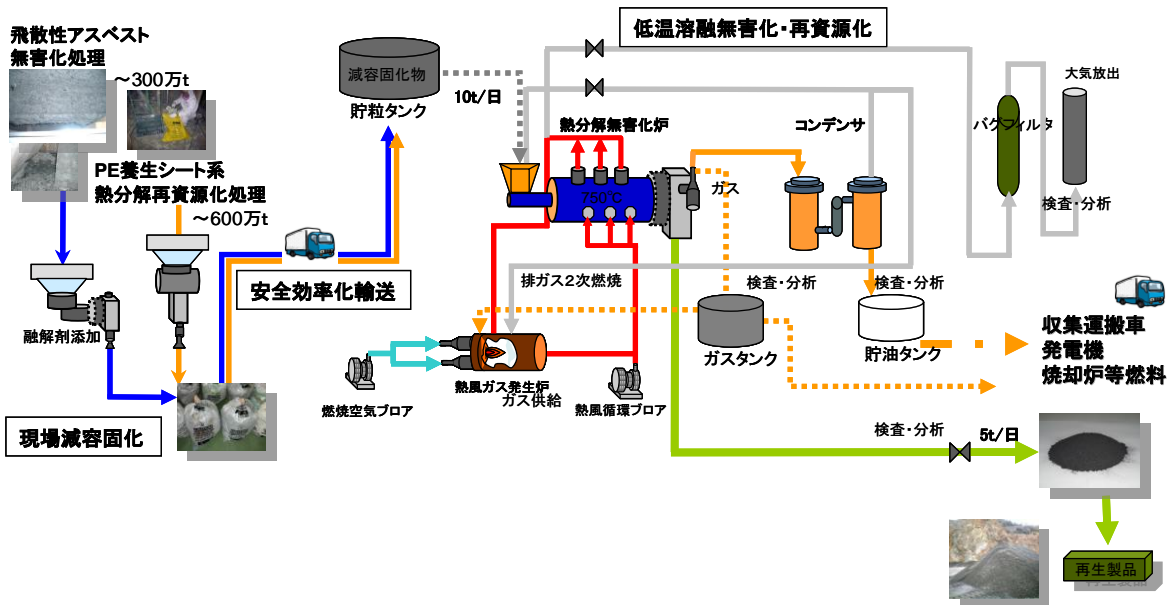
上記、ビジネスモデルフローにおいて現場、収集運搬工程では、現状工程と比較した場合、

減容化率 $1 - (6.6 \text{ m}^3 / 57.6 \text{ m}^3 \times 100) = 88.55\%$

コスト削減率 $1 - (1,735,300 / 3,476,160 \times 100) = 50.11\%$ (差異発生部のみ)

の効果があることになり、アスベスト処理工程における除去回収現場、収集運搬工程より安全性を確保し、事業性のあるビジネスモデルを確立できる。

アスベスト除去回収現場から無害化处理・再資源化までの概要構成図



一方、ビジネスモデルフローにおいて、中間処理・資源再生工場側での経済性試算は、10t/d 処理した際の収支（10t/d 処理機 1 台を稼働）を検討した。

10t/d 処理機 1 台あたりの事業初期投資から回収までの試算

必要資金		収支計算	
土地購入費用	100百万円	溶融売上	420百万円
環境アセスメント	15百万円	(+再資源収入	299百万円)
造成・建築費用	100百万円	売上合計	420百万円
設備製造費用 (製造原価)	600百万円	原価	84百万円
運転資金等	50百万円	人件費	36百万円
合計	865百万円	減価償却費	37百万円
		その他費用	39百万円
		費用合計	196百万円
		営業利益	223百万円
		キャッシュ・フロー (税引後)	149百万円

キャッシュ・フローベースで約17%の収益性
投下資金は約4.5年で回収可能

実用化した際の経済性は、十分に魅力あるものとして事業化は可能である。

- vi 実用化（1/10 スケール）装置による実証試験（環境省無害化認定実証試験）

これまでの試験の結果を踏まえ技術的検討を重ね、事業として実用化を図るため環境省無害化認定実証試験内容に則り実証試験を行った。

1. 実証試験概要

ここでは、環境省無害化認定制度申請基準に則った、石綿を含有する一般廃棄物（及び産業廃棄物）を低温溶融無害化・再資源化処理（以下、本処理、という）により「廃棄物の処理及び清掃に関する法律第 9 条の 10 第 1 項（及び法第 15 条の 4 の 4 第 1 項）」で定める基準に適合する無害化処理が行え、かつ同時に再資源化処理が行えることを実証するために行った試験に関し、その結果について以下にその内容を述べる。

2. 試験の目的

(1) 無害化の確認

- ①本処理により回収された固体残渣中の石綿濃度が、規制値以内であること。
- ②本処理により回収された生成ガス中の石綿濃度が、規制値以内であること。
- ③本処理により回収された生成油中の石綿濃度が、規制値以内であること。
- ④本処理における排ガス中の石綿濃度が、規制値以内であること。
- ⑤本処理中の施設内外の大気中の石綿濃度が、規制値以下であること。

(2) 再資源化の確認

- ①本処理により回収された生成ガスあるいは生成油を、熱風ガス発生炉用の燃料として正常に利用できること。

②本処理により回収された固体残渣がスラグのような塊状ではなく、更々とした粒状であり建材用骨材等として再利用が容易な形態であること。

3. 試験実施場所

岐阜県飛騨市神岡町1-1 三井金属エンジニアリング株式会社 神岡支店内

4. 試験実施体制

実施責任者 : 株式会社ストリートデザイン

5. 実証試験施設

(1) 実証機器設計製作

三井金属エンジニアリング株式会社

(2) 実証炉性能緒元

- ①方式 : 外熱式資源循環型ロータリーキルン炉
- ②処理能力 : 42kg / 時間 → 1ton/日 (24 時間連続運転として)
- ③滞留時間 : 30 分以上
- ④処理温度 : 炉内中心ガス温度として 700~800°C (750°C±50°C)
- ⑤熱風ガス発生炉燃料 : アスベスト無害化時に生成したガス (点火時のみ LP ガス)

(3) 実証炉の設計

①設計条件

運転時間	24 hr/日		
原料	1 ton/日	-	42 kg/hr
	重量比	重量 kg/hr	比熱 kcal/(kg·°C)
	廃石綿	20	0.19
	PE	21	0.55
	薬剤	1	0.19
	平均		0.31
	合計	42	-
生成物	重量 kg/hr		
	生成残渣	22	← 廃石綿+薬剤+(PEの
	生成ガス	18	←(生成ガス+生成油)の
	生成油	2	
	合計	42	

②熱収支計算

室温	20	°C	
ガス化温度	700	°C	
PE熱分解温度	500	°C	←400~500°Cで分解安全側で500°C

a) 設計データ

原料廃石綿比熱	0.19	kcal/(kg·°C)	←石綿比熱より
原料PE比熱	0.55	kcal/(kg·°C)	←PE比熱より
原料薬剤比熱	0.19	kcal/(kg·°C)	←石綿とみなす
PE分解熱	455	kcal/kg	←実験データより
生成残渣比熱	0.19	kcal/(kg·°C)	←石綿比熱より
生成ガス比熱	0.82	kcal/(kg·°C)	←実験データより
生成油比熱	0.82	kcal/(kg·°C)	←実験データより

b) 必要熱量

入	原料石綿	$0.19 \text{ kcal}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C}) \times 20 \text{ kg} \times 20^\circ\text{C} =$	76 kcal/hr
	原料PE	$0.55 \text{ kcal}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C}) \times 21 \text{ kg} \times 20^\circ\text{C} =$	231 kcal/hr
	原料薬剤	$0.19 \text{ kcal}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C}) \times 1 \text{ kg} \times 20^\circ\text{C} =$	4 kcal/hr
	小計		311 kcal/hr
出	原料昇温熱量(～500℃)	$0.37 \text{ kcal}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C}) \times 42 \text{ kg} \times 500^\circ\text{C} =$	7,770 kcal/hr
	PE分解熱量	$455 \text{ kcal}/\text{kg} \times 21 \text{ kg} =$	9,555 kcal/hr
	生成残渣持出熱量	$0.21 \text{ kcal}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C}) \times 22 \text{ kg} \times 200^\circ\text{C} =$	924 kcal/hr
	生成ガスタール持出熱	$0.82 \text{ kcal}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C}) \times 20 \text{ kg} \times 200^\circ\text{C} =$	3,280 kcal/hr
	キルン炉からの熱ロス	$10 \text{ kcal}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C}) \times 4.1 \text{ m}^2 \times 30^\circ\text{C} =$	1,230 kcal/hr
小計		22,759 kcal/hr	
必要熱量			22,448 kcal/hr

c) ガス化実証炉供給熱量

ガス化炉の熱伝達計数	41 kcal/(h・m ² ・℃) [実験値]
安全率	0.8 とすると
設計熱伝達係数	32.8 kcal/(h・m ² ・℃)
キルン炉内面積	2.3 m ²

	ガス化炉入口部	ガス化炉出口部
熱風温度	700 °C ←	1100 °C
残渣温度	450 °C →	700 °C
温度差	250 °C	400 °C
平均温度差	325 °C	

よって、供給熱量は 24,518 kcal/hr ≥ 22,448 kcal/hr
したがって、原料 42 kg/hr の処理は可能である。

6. 実証試験試料

(1) 試料の作製

- ①石綿含有吹き付け材を石綿除去工事現場より採集、工事に用いた養生シート・防護服・マスク等のプラスチック系廃棄物と共に二重プラスチック袋に梱包保管。
- ②破砕機にてプラスチック系廃棄物を破砕。
- ③石綿含有吹き付け材と破砕プラスチック系廃棄物の混合物に薬剤を配合・混練。
- ④加熱押出機に投入し、プラスチック系廃棄物を溶融させペレット化。
- ⑤破砕機にかけ、フレーク状の試料とし、二重プラスチック袋に梱包保管。

(2) 組成 : 石綿含有吹き付け材 47.5%・廃プラスチック (PE) 材 50.0%・薬剤 2.5%

(3) 石綿含有量 : 実証試験に用いた吹き付け材中の石綿含有量は、以下の通り。

クリソタイル	アモサイト	クロンドライト	トレモライト/ アクチノライト
5.2 %	14.5 %	15.5 %	1.4 %

7. 実証試験状況

①実施月日：平成 21 年 12 月 18 日

②試験条件：

- a) 試料名称 : 石綿含有フレーク状廃棄物（現場減容固化処理品）
- b) 試料かさ密度 : 0.46 kg/L
- c) 処理温度 : 725～800℃（炉内中心気中温度 750℃－25℃）
- d) 処理速度 : 17.9～35.7 kg/hr
- e) キルン回転速度 : 5rpm（滞留時間 30min 以上確保）

③試験結果：

- a) 炉の連続運転時間は 28 時間以上におよび、試料の総処理量は 660kg に達した。
- b) 処理温度の平均値は 763℃であり、725～800℃内で無害化処理連続運転ができた。
- c) 試料中のプラスチック系成分は熱分解・ガス化され、計画通り熱風ガス発生炉の燃料として正常に使用することができ、LP ガスの使用は点火時のみ使用することで新たな化石燃料使用量を大幅に削減することができた。
- d) 処理速度を 30kg/hr とした場合でも、安定して連続運転をすることができた。
- e) 処理速度を 35kg/hr 以上とすると、ガス生成量が多くなりすぎ、設備上のガス送気容量を越えてしまい、安定した運転ができなかった。
- f) 熱分解後に排出される固体残渣は塊状ではなく、更々とした粒状であることを確認した。ただし、生成油（タール成分）と炭化物が多量に付着しており、精錬等の添加剤として使用する際には高カロリー熱源とした利用ができる。また、建材の骨材等として再利用するのであれば、適切な前処理が必要。

8. 無害化試験分析結果

本試験により、本処理にて石綿含有廃棄物は無害化されたことを確認した。

(1) 固体残渣

- ①位相差顕微鏡・分散染色法による定性分析の結果、計数した 3,000 粒子中石綿は 4 繊維状粒子未満であった。
- ②X 線回折による定性分析の結果は、いずれの石綿のピークは確認されなかった。
- ③透過型電子顕微鏡（TEM）による観察の結果、クリソタイルが検出されたが、その繊維数濃度は 1.7Mf/g であり、定量下限値(=4.9Mf/g)未満であった。他の石綿は検出されなかった。

(2) 生成ガス

- ①位相差顕微鏡・分散染色法による定性分析の結果、石綿濃度は定量下限値（=0.3f/L）未満であり、石綿は検出されなかった。
- ②X 線回折による定性分析の結果、いずれの石綿のピークも確認されなかった。
- ③透過型電子顕微鏡（TEM）による観察の結果、石綿は検出されなかった。

(3) 生成油

- ①位相差顕微鏡・分散染色法による定性分析の結果、計数した 3,000 粒子中、石綿は 4 繊維状粒子未満であった。
- ②X 線回折による定性分析の結果、トレモライト/アクチノライトのピークが確認された。石綿繊維は確認されなかった。
- ③透過型電子顕微鏡（TEM）による観察の結果、石綿は検出されなかった。

9. 環境関連試験結果

本処理施設の対環境性能を確認するため、排ガスの組成、排ガス中の石綿濃度と規制物質濃度、並びに作業環境中の石綿濃度を測定した。その結果を以下に示す。

(1) 排ガス

①組成

	CO_2 (%)	O_2 (%)	N_2 (%)	CO (ppm)
1回目	0.5	20.3	79.3	9.7
2回目	1.9	18.4	79.7	7.8

②石綿濃度

- a)位相差顕微鏡・分散染色法による定性分析の結果、石綿濃度は定量下限値(=0.3f/L)未満であり、石綿は検出されなかった。
- b)X線回折による定性分析の結果、いずれの石綿のピークも確認されなかった。
- c)透過型電子顕微鏡(TEM)による観察の結果、石綿は検出されなかった。

③規制物質濃度

	ダスト (g/m^3N)	Sox (volppm)	NOx (volppm)	O_2 (%)
1回目	不検出	不検出	2.0	20.3
2回目	不検出	0.5	10.5	18.4

(2) 作業環境

試験開始前・試験中の本処理施設が設置されている建屋の敷地境界における大気中の石綿粉じん濃度、並びに試験中の施設内作業場、施設外のセキュリティールーム出入口、及び負圧集塵機出口の大気中の石綿粉じん濃度を測定した。その結果を以下に示す。

①敷地境界

試験開始前、及び試験中の石綿粉じん濃度は、いずれも定量下限値(=0.3f/L)を下回り、石綿は検出されなかった。

②施設内作業場

試験中の石綿粉じん濃度は、定量下限値(=50f/L)未満であり、石綿は検出されなかった。

③施設外セキュリティールーム・負圧集塵機出口

試験中の石綿粉じん濃度は、定量下限値(=0.5f/L)未満であり、石綿は検出されなかった。

(3) ダイオキシン濃度の測定に関して

以下の理由により本処理ではダイオキシンが発生しないため、その濃度の測定は行っていない。

- ①処理に用いるプラスチック系廃棄物としては、養生シート・防護服・梱包袋等の基材であるポリエチレンのみであり、ダイオキシン発生の原因である塩素を含んだ材料は混入されない。
- ②本処理では、外熱式ロータリーキルン炉を用いるため、プラスチック系廃棄物を酸素と共に直接燃焼させることはない。

10. 生成物成分分析結果

(1) 生成ガス

①組成 H_2 :26.0% / CH_4 :25.4% / CO :5.7% / CO_2 :4.71% / C_2H_2 :0.3% / C_2H_4 :21.4%
/ C_2H_6 :3.3% / C_3H_6 :3.13% / C_3H_8 :0.17% / C_4H_8 :1.2% /

(i- C_4H_{10} , n- C_4H_{10}):0.02% / C_6H_6 :1.82% / C_7H_8 :0.14% / N_2 :0.36% /

(O_2 , H_2O , C_5 炭化水素等):6.4%

②熱量 総発熱量 = 40,640 kJ/m³ 真発熱量 = 37,390 kJ/m³

③生成速度 平均 19.22m³/hr

(2) ICP 発光分光分析法による元素定量分析

①溶融処理前試料 (%)

AL	Ca	Fe	K	Mg	Mn
2.3	6.7	1.0	0.2	2.4	0.2
Na	S	Si	Ti		
0.4	0.3	1.0	0.3		

②溶融処理後固体残渣 (%)

AL	Ca	Fe	K	Mg	Mn
2.3	6.9	0.4	0.2	1.9	0.2
Na	S	Si	Ti	Cu	
2.1	0.3	10.1	0.4	0.2	

II. 研究発表・講演、文献、特許等の状況

- 1 研究発表・講演

関口 秀俊, Aulia Averroes, 坂本 佳次郎, “大気圧マイクロ波空気プラズマを用いた繊維状微粒子の処理”,
化学学会第 75 回年会研究発表講演要旨集(CD-ROM), O106, 2010.3.18, 鹿児島大学

- 2 文献

内野 英宏, 坂本 佳次郎, 府内 洋一, 中村 秀明, 宮本 文穂 “アスベスト含有廃棄物の低温加熱溶融処理
に関する基礎的研究” 土木学会論文集 : Vol163No.4, 263-277

- 3 特許等

特願 2006-025057、特願 2006-134554、特願 2007-061291、特願 2009-82864、特願 2009-255215
特願 2010-45835、WO02008/111512A1(PCT)

IV. 実用化、事業化の見通しについて

1. 実用化、事業化の見通し

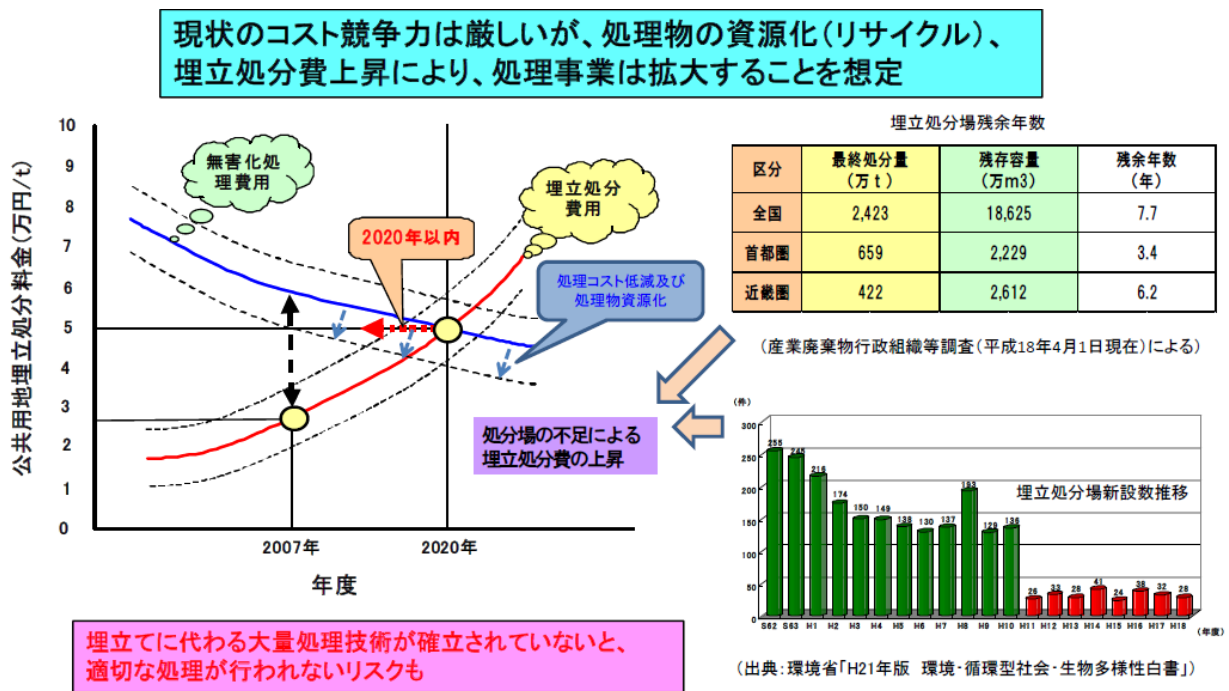
(1) 成果の実用化可能性

Ⅲ. 研究開発の成果でも記載した通り、アスベストの安全回収・除去並びにアスベストの無害化・資源化の技術開発については、何れも基本技術は確立されている。

回収・除去技術に関しては、実用化、事業化に関して特別な法規制等はなく、基本的には既存工法に対するコスト面での優位性が鍵となる。今後も、現場実証試験により、多彩な除去現場に対応したロボット操作のチューニング等を進め、信頼性向上及びコスト改善を図ることで、実用化が進むものとする。

無害化・資源化技術に関しては、既に環境省の無害化認定を取得した事業もあるが、その他の事業についても、実用化、事業化を進めるためには同制度による認定が必須である。認定取得のためには、技術面のみではなく事業計画等も必要であり、各事業者とも事業としての採算性も考慮して検討を進めている。採算性には、現状で競合する埋立て処分費等の外部要因の影響も大きいですが、近い将来には埋立て処分場の逼迫が予想されるため、本事業の実用化は大きな社会的意義を有するものと思われる。

参考として、埋立て処分費用(安定型処分場)と無害化処理費用の推移イメージを示す。

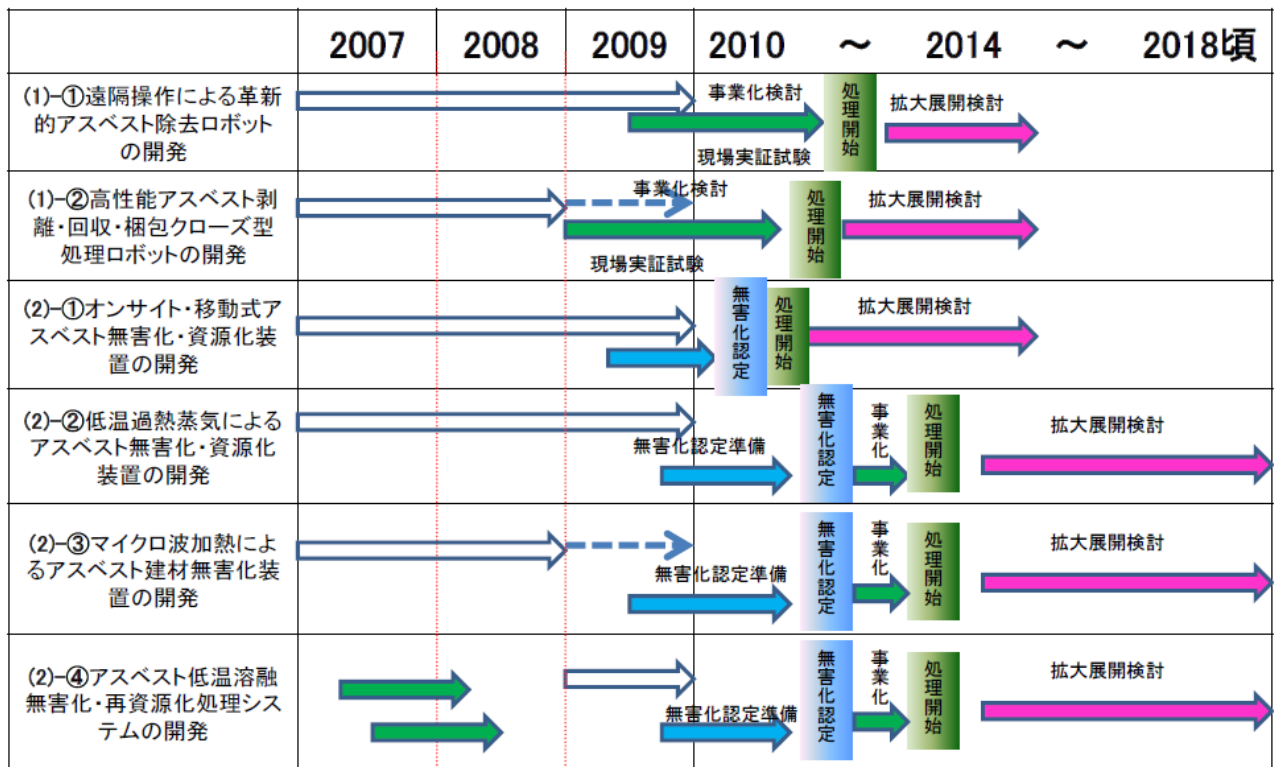


(2) 事業化までのシナリオ

本事業の全委託先とも実用化、事業化を目指しており、事業委託期間終了後も開発、事業化検討を進めている。NEDO としても、5件については継続研究事業として、1件は実用化助成事業として、事業化に向けて引き続き支援を行ない、また、各事業者間及び官公庁、有識者との連携にも努めている。

想定する事業化のスケジュールを次に示す。

市場規模としても、I. 事業の位置付け・必要性で触れた通り、回収・除去で数千億円、無害化・資源化で数兆円の潜在市場も見込まれる。



(3)波及効果

本事業の実用化により、安全性の高いアスベストの処理が促進されることが期待される。

○アスベストの安全回収・除去技術開発

・過酷で危険である吹付け材の除去作業の一部をロボット化することによる暴露リスク低減効果に加え、低コスト化を進めることにより、アスベストの処理が加速されることが期待される。

○アスベストの無害化・資源化技術開発

・レベル1～3全てに対応した、従来の熔融法より低温での無害化技術を開発。熔融以外の無害化処理は先例が無く、資源としての再利用化は世の中の流れに合致している。

・埋立て処分場の逼迫前に大量処理法を確立することは不法投棄等の防止に繋がる。

・無害化認定の取得により、熔融、埋立てに代わる今後のアスベスト処理の指針となり、NEDO 以外の技術開発含めて広く検討が進むことも期待される。

また、アスベストの処理を進めるには以下の点も考慮する必要があると思われる

・負の遺産である残存アスベストの処理を速やかに進めるため、分別・回収ルートの確立、処理物の資源化・再利用ルートの確立含めた全体コスト最適化を目指したネットワークの構築。

・アスベストに対する住民不安への対応、及び処理ネットワークの構築には、正確でタイムリーな情報の発信を行い、また、適切な処理が行われるよう監視・指導を行う「官」の関与も重要。

添付資料

- ・環境安心イノベーションプログラム基本計画添付資料1
(2009年度イノベーションプログラム基本計画から一部抜粋)
- ・化学物質総合評価管理分野技術戦略マップ添付資料2
(2009年度技術戦略マップから抜粋)
- ・プロジェクト基本計画添付資料3
- ・事前評価関連資料
 - ・NEDO POST 2添付資料4-1
 - ・パブリックコメント募集の結果添付資料4-2
 - ・事前評価書添付資料4-3
- ・特許、論文等リスト添付資料5
- ・関連省庁アスベスト対策等関連資料
 - ・内閣府(アスベスト問題に関する関係閣僚による会合)添付資料6-1
 - ・経済産業省(アスベスト含有建材データベースの公表について)
.....添付資料6-2
 - ・環境省(パンフレット 私たちの環境とアスベスト添付資料6-3
 - ・厚生労働省(パンフレット 建築物の解体等の作業における石綿対策)
.....添付資料6-4
 - ・国土交通省(パンフレット 建築物のアスベスト対策)添付資料6-5

平成 21・03・24 産局第 1 号
平成 21 年 4 月 1 日

環境安心イノベーションプログラム基本計画

1. 目的

資源制約を克服し、環境と調和した持続的な経済・社会の実現と、安全・安心な国民生活を実現するため、革新的な技術開発や低炭素社会の構築等を通じた地球全体での温室効果ガスの排出削減、廃棄物の発生抑制（リデュース）、製品や部品の再使用（リユース）、原材料としての再利用（リサイクル）推進による循環型社会の形成、バイオテクノロジーを活用した環境に優しい製造プロセスや循環型産業システムの創造、化学物質のリスクの総合的な評価及びリスクを適切に管理する社会システムの構築を推進する。

2. 政策的位置付け

第 3 期科学技術基本計画（2006 年 3 月閣議決定）及び分野別推進戦略（2006 年 3 月総合科学技術会議）における国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点推進分野である環境分野及び国の存立にとって基盤的であり国として取り組むことが不可欠な研究開発の推進分野であるエネルギー分野に位置付けられるものであるほか、次のとおり位置付けられている。

新産業創造戦略 2005（2005 年 6 月経済産業省）

先端的新産業分野として揚げられた戦略 7 分野の一つの「環境・エネルギー・機器・サービス」及び「健康・福祉・機器・サービス」に該当し、「技術戦略マップ」を活用し、効果的な研究開発を促進することが今後の取組として指摘されている。

「新・国家エネルギー戦略」（2006 年 5 月経済産業省）

省エネルギーフロントランナー計画において省エネルギー技術開発の一層の推進を図ることとしている。

経済成長戦略大綱（2006 年 7 月財政・経済一体改革会議）

「環境と経済の両立を図るため、金融面からの環境配慮を進めるとともに、環境技術の開発、3R イニシアティブやアジア環境行動パートナーシップ構想による優れた技術・制度の国際的な普及と標準化等に向けた取組を進める」との方針が示されている。

イノベーション 25（2007 年 6 月閣議決定）

イノベーション立国に向けた政策ロードマップ - 社会システムの改革戦略 - 早急に取り組むべき課題「環境・エネルギー等日本の科学技術力による成長と国際貢献」において、「環境・資源・エネルギー等の世界的制約となる課題の解決に貢献し、技術開発や環境整備を通じて持続可能な産業体系・社会基盤・生活を実現することにより世界と日本の経済成長の原動力とするエコイノベーションを実現すべきである。」との方針が示されている。

イノベーション立国に向けた政策ロードマップ - 技術革新戦略ロードマップ「世界的課題解決に貢献する社会 ものづくり技術分野」の中で「3R 型設計・生産・メンテナンス技術、製品の設計・製造段階でのリサイクル阻害物質の使用排除を可能とする技術、製品中の有用・有害物質管理技術の開発・標準化」が資源を有効利用し、環境に配慮したものづくり技術として位置づけられている。

21 世紀環境立国戦略（2007 年 6 月閣議決定）

今後 1、2 年で重点的に着手すべき八つの戦略の中で「3R 関連法制度等の充実や技術開発の支援を通じて、製品のライフサイクル全体での天然資源投入量の最小化や

再生資源の高付加価値製品への利用を促進し、資源生産性の更なる向上と環境負荷の低減を図る」との方針が示されている。

同じく、今後1、2年で重点的に着手すべき八つの戦略のうち「環境・エネルギー技術の中核とした経済成長 - 環境技術・環境ビジネスの展開」において「環境重視・人間重視の技術革新・社会革新を図る「エコイノベーション」というコンセプトの下、我が国の強みである「ものづくり」と「環境・省エネ」の技術力を梃子に、持続可能な生産システムへの転換、ゼロエミッション型社会インフラ整備、環境価値を重視した持続可能な生活の実現に向けた技術革新と社会システム改革を一体的に推進し、その成果をOECD等を通じて世界に発信する。」との方針が示されている。

「地球温暖化対策技術研究開発の推進について」(2003年4月総合科学技術会議)

総合科学技術会議重点分野推進戦略専門委員会に設置された温暖化対策技術プロジェクトチームでまとめられた上記報告書における研究開発推進戦略に対応するものである。

京都議定書目標達成計画(2005年4月閣議決定)

目標達成のための対策と施策のうち地球温暖化対策技術開発の推進に位置づけられるものである。

Cool Earth - エネルギー革新技术計画(2008年3月経産省公表)

重点的に取り組むべきエネルギー革新技术「21」を含むものである。

低炭素社会づくり行動計画(2008年7月閣議決定)

「低炭素社会を目指し、長期目標を実現するために重要な革新的技術開発の推進及び既存先進技術の普及促進を行う。」とされている。

産業構造審議会廃棄物・リサイクル小委員会基本政策ワーキンググループ報告書(2008年1月)

「近年、安定供給が懸念されているレアメタルの中には、使用製品からの回収・再利用技術が確立していないものもあることから、回収された使用済製品から効率的に抽出するための新たな技術の開発にも取り組むべきである。」とされている。

バイオマス・ニッポン総合戦略(2006年3月閣議決定)

バイオマスの変換に関する戦略として、経済性の向上、革新的な変換技術の開発に取り組むこととしている。

ドリームBTジャパン(2008年12月BT戦略推進官民会議取りまとめ)

バイオテクノロジー(BT)を活用して、環境に優しい低炭素社会の実現と環境修復のための技術開発と実用化支援を行うこととしている。

3. 達成目標

・地球温暖化防止新技術

- (1) 世界全体の温室効果ガス排出量を現状に比して2050年までに半減するという長期目標を達成するため、経済成長と温室効果ガスの排出削減の双方を同時に達成できる革新的技術を開発するとともに、低炭素社会モデル構築に向けた取り組みを推進。

【目標】 世界全体の温室効果ガス排出量を現状に比して2050年までに半減

- (2) 「京都議定書」で課せられた温室効果ガス削減目標の達成

(「京都議定書目標達成計画」に示された各部門の目安としての目標(基準年比)は以下のとおり)

【目標】

エネルギー起源CO₂: +1.3~2.3%

非エネルギー起源CO₂: 0.04%

メタン: 0.9%

一酸化二窒素： 0.6%
代替フロン等3ガス： 1.6%

() 「京都議定書目標達成計画」とは、「地球温暖化対策の推進に関する法律」に基づき、「京都議定書」の6%削減約束を確実に達成するために必要な措置を定めるものをいう(平成17年4月閣議決定、平成18年7月一部改定、平成20年3月全部改定)

・資源制約克服 / 3R

「第2次循環型社会形成推進基本計画(平成20年3月閣議決定)に基づき、2015年度までに以下の目標の達成を図る。

資源生産性：約42万円/トン(2000年度：約26万円/トン)

循環利用率：約14~15%(2000年度：約10%)

最終処分量：約23百万トン(2000年度：約57百万トン)

(備考)

資源生産性 = (GDP) / (天然資源等投入量)

循環利用率 = (循環利用量) / (循環利用量 + 天然資源等投入量)

・環境調和産業創造バイオ

バイオプロセスによって有用物質を生産し、廃棄物や汚染物質を発酵等により処理又は再資源化するという、循環型の産業システムを実現するために必要な技術基盤の構築を図るとともに、遺伝子組換え体の産業利用における安全性管理の充実を図る。具体的には、工業プロセスにバイオテクノロジーを導入することや、微生物や植物機能等を活用したモノ作り技術の開発、バイオマス利用、及びバイオ技術による産業廃水等処理技術の開発等を通して、環境調和型産業の創出に資する。

・化学物質総合評価管理

化学物質のリスクの総合的な評価を行いつつ、リスクを評価・管理するための技術体系を構築する。そのために、化学物質のリスクに係る国民の理解増進のための基盤、事業者が自らリスクを判断する手段及び国が規制等の施策を講ずる際の手段として、化学物質のライフサイクルにわたるリスクの総合的な評価管理を行うための手法を確立するとともに、リスクの削減に資するプロセス、手法の開発、さらには知的基盤を整備する。

4. 研究開発内容

- 1. CO2固定化・有効利用技術

地球温暖化対策のため、排出される二酸化炭素を分離回収・固定化することや、有用物質に変換する技術を開発し、低炭素社会の構築に資する。

() 共通技術開発等

(1) プログラム方式二酸化炭素固定化・有効利用技術開発

概要

二酸化炭素の固定化・有効利用技術開発は、現時点においては基礎的な段階に属する研究が多く、長期的観点からの取り組みが必要不可欠。このため本事業では将来において実現可能性の高い二酸化炭素固定化・有効利用技術に関する革新的な技術シーズを発掘し、実現可能性を確認した上で、基盤技術として確立する。

事業期間

1999年度～2011年度

実施形態

適切な研究課題等を選定して研究開発を実施。

(2) 地球環境国際研究推進事業

概要

地球温暖化問題の解決に向け、CTI（気候変動技術イニシアティブ）等の国際的な枠組みを活用し、諸外国の先進的取組との研究協力や、発展途上国への技術普及を進めることにより、世界的な温暖化問題への取り組みを強化する。

事業期間

2002年度～2011年度

実施形態

諸外国との連携のもと、テーマ毎に適切な体制を構築し実施。

() 二酸化炭素回収・貯留(CCS)に関する技術開発

(1) 分子ゲート機能CO₂分離膜の技術研究開発

概要

二酸化炭素回収・貯留(CCS)の実用化に向け、最大の課題のひとつであるCO₂分離回収コストの大幅低減を目指し、圧力を有するガスからのCO₂/H₂の分離用に期待されている膜分離技術の実用化のため、分子ゲート機能CO₂分離膜の高圧下におけるCO₂/H₂選択性の向上、分離膜モジュールの大型化等に取り組む。

技術目標及び達成時期

2015年頃において、石炭ガス化複合発電(IGCC)等で発生する圧力ガスから従来の3分の1程度(1,500円/t-CO₂程度)のコストでCO₂を分離回収することを可能とする膜分離技術の確立を目指す。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(2) 二酸化炭素貯留隔離技術研究開発

概要

二酸化炭素回収・貯留(CCS)(地中貯留及び海洋隔離)の実用化に向け、CCS実施における安全性評価・社会的信頼醸成に必要な基盤技術や手法の開発に重点的に取り組む。本事業の実施にあたっては、国内外で実施される実証事業等と必要な連携をしながら取り組む。

また、本事業で獲得した安全性評価等に関する知見を活用し、CCS事業を計画する上での基礎情報である、貯留隔離ポテンシャルの調査を行う。

技術目標及び達成時期

貯留した二酸化炭素のモニタリング技術、挙動予測手法、環境・生物影響評価、安全性評価手法の開発、及び全国貯留層賦存量調査を行う。

研究開発期間

フェーズ1：2000年度～2004年度

フェーズ2：2005年度～2012年度

注) 本事業は、平成20年度までの「二酸化炭素地中貯留技術研究開発」(うち実証試験を除く)と「二酸化炭素の海洋隔離に伴う環境影響予測技術開発」を統合したもの。

(参考：「二酸化炭素海洋隔離に伴う環境影響予測技術開発」の研究開発期間)

フェーズ1：1997年度～2001年度

フェーズ2：2002年度～2006年度

フェーズ3：2007年度～2011年度

当初単独事業として2011年度まで実施する予定であったが、2009年度

より地中貯留技術研究開発と事業統合。海底下帯水層への地中貯留等に係る、安全性評価・環境影響評価等にこれまでの成果を活用する。

(3) 二酸化炭素削減技術実証試験委託費

概要

二酸化炭素回収・貯留(CCS)技術の実用化に向けた実証試験を行う。具体的には、火力発電所等の大規模発生源から分離回収したCO₂を年間約10万トン規模で地下帯水層(地下1,000m程度)等へ貯留する技術を実証するとともに、長期挙動予測可能な二酸化炭素挙動予測シミュレーション技術、モニタリング技術等の基盤技術の確立を行う。

技術目標及び達成時期

2015年度までに、CCS技術の本格導入となる、100万トン/年規模での地中貯留を実現するために必要な基盤技術を確立する。

研究開発期間

2008年度(補正)~2013年度

() 環境調和型製鉄プロセス技術開発(運営費交付金)

概要

高炉ガスからの効率的な二酸化炭素分離と中低温排熱の有効活用及び水素を炭素(コークス)の一部代替として鉄鉱石を還元する革新的製鉄プロセスの開発を行う。

技術目標及び達成時期

最終的な技術開発目標として製鉄プロセスにおけるCO₂排出量を30%削減することを目指し、2050年までに実用化する。

研究開発期間

2008年度~2017年度

() 大規模植林

(1) バイオ技術活用型二酸化炭素大規模固定化技術開発

概要

バイオエタノール化に適した樹木への環境耐性付与を遺伝子技術により実施し、これら原料樹木の不良環境下での効率的な植林技術を開発する。

技術目標及び達成時期

事業4年目までに、未利用の不良環境地でも生育できる高セルロース樹木を遺伝子技術により開発し、実証植林を行う。

研究開発期間

2008年度~2011年度

- 2. 脱フロン等技術

代替フロンの排出量を抑制するため、代替フロンを削減する技術(脱フロン等技術)を開発する。

(1) 革新的ノンフロン系断熱材技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、住宅・建築物の省エネルギーという社会適用性に応えるため超微細発泡等による断熱性能の向上のための技術開発を行う。

技術的目標及び達成時期

既存のノンフロン断熱材では達成できていない断熱性能を実現し、更には従来のフ

ロン断熱材の断熱性能を超える高断熱性能を実現する断熱材を2012年頃を目途に開発する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(2) ノンフロン型省エネ冷凍空調システムの開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、家庭用・業務用及び運輸用エアコン及びショーケース等に使用可能なノンフロンかつ高効率を達成でき、安全性についても配慮された新たな冷凍システムの開発を行う。

技術的目標及び達成時期

2009年度までに、ノンフロン(自然冷媒等)型省エネ冷凍・空調システムを開発する。

研究開発期間

2005年度～2009年度

・資源制約克服/3R

() 金属資源等3R対策

(1) 希少金属等高効率回収システム開発(再掲)

概要

小型電子・電気機器にはベースメタルや、金、銀等の貴金属の他、インジウム、ニッケル等の希少金属等を含有している。現状では、これらの機器が廃棄された後は、非常に高温で処理する乾式製錬技術を用いてリサイクル・処理されているため、多大なエネルギーを消費するばかりか、回収可能な金属が銅、金、銀等に限定されており、その他の希少金属等は回収できずに廃棄処分されている。このため、湿式製錬技術を活用した高効率な最適技術の開発等を通じて、回収工程の省エネルギー及び希少金属等の回収率向上を図る。

技術目標及び達成時期

- ・従来方法(乾式製錬)で処理する場合に比べて、大幅な省エネルギーの実現(省エネルギー効果:原油換算で約78万k1/年削減)
- ・廃小型電子・電気機器、廃超硬工具等中に含まれる希少金属等の回収率の向上(インジウム0% 90%、ニッケル50% 95%、コバルト0% 95%、タンタル0% 80%、タングステン90% 95%、レアアース0% 80%)

研究開発期間

2007年度～2010年度

(2) 希土類金属等回収技術研究開発

概要

今後、普及拡大が見込まれる製品の製造工程において排出されるレアアースを含む不要物など技術的・経済的に抽出が困難なレアアース含有物について、レアアース等有用金属のリサイクル技術の研究開発を行う。

具体的には、液晶パネル用ガラス、ハードディスク用ガラスの製造工程等で使用された低品位状態のレアアースについて高品位化し再利用するための技術開発を実施する。

技術目標及び達成時期

液晶パネル用ガラス、ハードディスク用ガラスなどの精密な表面処理が必要な製品の研磨に使用されているセリウム等のレアアースを含有する研磨剤について、

研磨廃滓中のレアアース成分と不純物の分離に新たな低温での化学的・物理的プロセスを確立・導入（具体的には低温での効率的な化学処理や、研磨剤成分ではなく不純物を物理的に分離する回収プロセスに変更する等）することでレアアース回収プロセスの低コスト化及びエネルギー使用合理化を目標とする。

研究開発期間

2008年度（補正）～2012年度

（3）希少金属代替材料開発プロジェクト（再掲）

概要

希少金属は、特殊用途において希少な機能を発揮する一方で、その希少性・偏在性・代替困難性から、市場メカニズムが必ずしもうまく機能せず、その供給停止は川下の経済成長の制約要因となりうるリスクを伴っている。近年、「コンピュータによる材料設計」、「ナノテクによる微細構造制御」等が飛躍的に向上した結果、従来できなかった、「コンピュータによる最適制御設計による候補元素系の探索」、「結晶粒界、界面の制御等マイクロ構造の制御」等が可能となりつつあることから、こうした最先端技術を用いることで、希少金属の新たな代替/使用量低減技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、以下希少金属元素の使用原単位について現状と比較して以下の低減ができる製造技術を開発し、ユーザー企業、大学等の外部機関に対して機能評価のためにラボレベルで提供できる（試料提供）水準に至るまでの技術を確立することを目標とする。また、製品の機能や製造コストは現状と同等を少なくとも維持することを前提とする。

- ・透明電極向けインジウム（In）：現状から50%以上低減
- ・希土類磁石向けディスプロシウム（Dy）：現状から30%以上低減
- ・超硬工具向けタングステン（W）：現状から30%以上低減

研究開発期間

2007年度～2011年度

（ ）水資源制約克服

（1）環境調和型水循環プラント実証事業（運営費交付金）

概要

我が国が強みを持つ、膜技術を始めとする水処理技術を活用し、省水型・環境調和型の水循環システムを開発するとともに、海外展開等を支援する。

技術目標及び達成時期

2013年度までに省水型・環境調和型の水循環システムを確立し、以降、国内外の水不足が深刻な地域へ当該水循環システムを順次普及させる。

研究開発期間

2009年度～2013年度

（2）環境調和型水循環技術開発（運営費交付金）（再掲）

概要

我が国が強みを持つ、膜技術を始めとする水処理技術を強化し、省水型・環境調和型の水循環システムの開発に資する省エネ・省水型の要素技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2013年度までに、以下の技術を開発する。

- 革新的膜分離技術の開発：

従来法に比べ膜透過加圧エネルギー等を50%以上削減。

- 省エネ型膜分離活性汚泥法（MBR）技術の開発：
従来法に比べ膜洗浄の曝気（空気気泡）エネルギー等を30%以上削減。
- 有用金属・有害物質の分離・回収技術の開発：
従来法に比べ汚泥の削減により汚泥処理・処分エネルギーを80%以上削減。
- 高効率難分解性物質分解技術の開発：
従来法に比べ窒素処理に係るエネルギーを50%以上削減。
オゾン酸化法等のエネルギーを50%以上削減。

研究開発期間

2009年度～2013年度

・環境調和産業創造バイオ

(1) 植物機能を活用した高度モノ作り基盤技術開発

() 植物利用エネルギー使用合理化工業原料生産技術開発（運営費交付金）

概要

現在の化学工業プロセスに代わる、植物の有する有用物質生産能を活用した省エネルギー・低環境負荷型の工業原料生産プロセスへの変換を促進する。具体的には、工業原料の生産に関わる重要な物質生産プロセスに関する代謝系をゲノム情報に基づき解析するとともに、有用物質生産制御に必要な一連の代謝遺伝子群の発現を統一的に制御する技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、工業原料として有望なバイオマスとしてイソプレノイド、油脂などの有用物質生産に関わる代謝経路とその調節メカニズム及び生産物質の蓄積・移動に係るメカニズムの解析を行い、関連遺伝子情報を整備するとともに、統括的発現制御技術を開発する。

研究開発期間

2002年度～2009年度

(ii) 植物利用高付加価値物質製造基盤技術開発

概要

動物や微生物による物質生産と比較して、安全性が高い、生産コストが低い、省エネルギーで環境調和型といった特徴を有する植物を活用した高機能タンパク質等の高付加価値物質生産（モノ作り）の基盤技術を開発するために、有用物質を高効率に高生産させる組換え植物の基盤技術を開発するとともに、閉鎖型人工環境下での高効率な栽培技術の開発を一体的に進める。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、実用植物において実用可能なレベルまで有用物質を効率的に高生産・高蓄積させる組換え植物を開発するとともに、目的有用物質を安定かつ均一に生産・蓄積させる栽培技術を確立し、その生産の実用性を閉鎖型人工環境下において確認する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(2) 微生物機能を活用した環境調和型製造基盤技術開発（再掲）

() 微生物機能を活用した高度製造基盤技術開発（運営費交付金）

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、省エネルギーかつ環境負荷が少ないといった特徴を有する微生物機能を活用した有用物質の革新的な生産プロセス（モノ作り）の技術を構築するため、産業用途に必要な機能既知遺伝子で構成されたゲノムを持ち、物質生産性向上につながる性能を備えた高

性能宿主細胞の創製や、微生物反応の多様化・高機能化技術を開発するとともに、バイオマスを原料として有用物質を体系的かつ効率的に生産する（バイオリファイナリー）ための基盤技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、物質生産性向上につながる性能を備えた高性能宿主細胞を創製するとともに、バイオプロセスの実用化適用範囲の拡大のための微生物反応の多様化・高機能化技術の開発を行う。バイオリファイナリー技術については、バイオマスを高効率で糖化し、糖から高効率で各種化成品の基幹物質を生産するバイオプロセス体系を構築する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(ii) 微生物群のデザイン化による高効率型環境バイオ処理技術開発（運営費交付金）

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、従来エネルギー多消費・廃棄物多排出型であった廃水・廃棄物処理において、微生物群の構成及び配置等を人為的に制御（デザイン化）することで、その処理効率を大幅に向上させ、省エネルギーで廃棄物も少ない高効率型廃水、廃棄物処理の基盤技術を確立する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、特定有用微生物群を人為的に安定導入・維持もしくは人為的に空間配置・優先化させる等のデザイン化技術を開発し、従来の廃水、廃棄物処理に比べより高効率で省エネルギーな処理技術を開発するとともに、実用化に資するための実証可能なテストプラント規模にて評価する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(3) バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発（再掲）

概要

食料と競合しないセルロース系バイオマスからバイオ燃料を製造する革新的技術の開発を軸に、バイオ燃料生産に有用な遺伝子組み換えによる植物・微生物の開発等、バイオ燃料のコスト競争力強化に資するバイオリファイナリーの一環として、ブタノール、プロピレン等の製造技術の実用化を目指した開発を行う。

技術目標及び達成時期

2013年度までに、セルロース系バイオマスを原料とし、バイオ燃料製造の従来技術に比べて画期的に優れた効率や低コスト化を可能とする糖化・発酵等の基盤技術を開発するとともに、バイオマス利用に資する微生物の利用基盤技術の開発を行う。さらに、プロパノール等の高効率取得のための触媒開発等により、化成品製造の実用化を目指した技術開発を行い、バイオマスに関する燃料分野と化成品分野の融合・連携を図る。

研究開発期間

2007年度～2013年度

- 1. 化学物質総合評価管理

(1) 化学物質の最適管理をめざすリスクトレードオフ解析手法の開発（運営費交付金）

概要

化学物質のリスクを共通指標で比較、検討し、事業者等における代替物質の選択の際に、リスクの相互比較が可能となるリスク評価手法及び社会経済分析等リスクトレードオフ解析手法を構築する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、代表的な化学物質用途群につき、化学物質のライフサイクルに応じたあらゆる暴露を考慮した排出量推計手法や室内暴露評価手法等環境動態解析手法を構築する。さらに、用途群内の物質間でのリスクトレードオフ解析手法を開発する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(2) ナノ粒子の特性評価手法開発(運営費交付金)(再掲)

概要

ナノ粒子のキャラクタリゼーション、計測技術の確立とともに、生体影響等評価手法、暴露評価手法及びナノテクノロジーによるリスク不安に対処したリスク管理手法を開発する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、生体影響等評価手法、暴露評価手法及びリスク評価手法を開発し、ナノ粒子のリスク評価及び管理の考え方の提言を行う。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(3) 構造活性相関手法による有害性評価手法開発(運営費交付金)

概要

従来動物実験による反復投与毒性試験に代わり、*in silico* や類推等を用いた予測・評価を可能とするため、既知の毒性情報を整備したデータベースを基に、よりの確に効率よく毒性を評価可能とする有害性評価支援システムを構築する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、公開されている反復投与毒性試験データや毒性作用機序情報が搭載されたデータベース、肝臓における代謝産物・代謝経路を予測する手法、及び対象とする化学物質の標的臓器・症状やその毒性の強さの範囲等を予測する手法を開発する。さらに、それらを統合して毒性判断に必要な情報を効率的に抽出する有害性評価支援システムを構築する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(4) 石油精製物質等簡易有害性評価手法開発(運営費交付金)(再掲)

概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から、石油製品等に含まれる化学物質によるリスクを把握し、必要な対策を適切に行うことを可能とするため、*in vitro* 培養系技術等の活用により遺伝子組換え細胞等を用いた *in vitro* 系簡易有害性予測手法、また、トキシコゲノミクスを活用した短期動物試験結果と相関する遺伝子発現データセットを開発する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、遺伝子導入技術、幹細胞分化誘導技術、生物発光技術等を適用した培養細胞を用いて、試験期間1ヶ月程度、発がん性、催奇形性及び免疫毒性を予測評価できる試験手法を開発し、また、遺伝子発現解析技術を短期動物試験に適用し、28日間反復投与試験結果と相関する遺伝子発現データセットを完成させる。また、標準的な試験プロトコルを策定する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

- 2 . 化学物質リスク削減技術開発

アスベスト含有建材等回収・処理等技術開発事業（運営費交付金）

概要

今後、大量の排出が予測されるアスベスト含有建材等の廃棄物を対象として、そのアスベスト含有状況について簡易かつ確実な探知・分析を可能とし、安全性、信頼性の高い回収・処理を実現する関連機器・システムの技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、アスベスト含有製品の使用時、解体・回収・廃棄時においてオンサイト方式で検出感度0.1wt%超レベルに検出できる計測技術を確立し、アスベストを含む建材等の回収・除去現場におけるアスベストの飛散及びばく露を最小化し、回収・除去の安全性及び信頼性等を確保する技術を確立する。また、アスベスト含有廃棄物の無害化処理における安全性、効率性に優れた技術を確立する。

研究開発期間

2007年度～2009年度

・その他

エコイノベーション推進・革新的温暖化対策技術発掘・実証プログラム（運営費交付金）

概要

エコイノベーション（環境重視・人間重視の技術革新・社会革新）の創出および、低炭素社会の構築のため、それに資するテーマを公募し、その実現可能性調査や地域実証試験を実施する。発掘された技術シーズや実証された有望な社会システムモデルは広く国民に示し、民間におけるエコイノベーション推進や低炭素社会構築に関する研究や取組を加速させる。

技術目標及び達成時期

F S 結果や実証モデルから生み出された公的機関の実施する研究開発件数や民間主導の取り組みモデル件数を事業のアウトカムとしてモニタリングする。

また、OECDにおいて、エコイノベーション・ロードマップとともに、その進捗を測る指標の2010年を目処にした作成が検討されているところ。こうした指標を参考とし、エコイノベーションが進展する度合いの数値化を可能にした上で調査段階でこれらの指標を設定し国際比較を行う。

研究開発期間

2008年度～2012年度

5 . 政策目標の実現に向けた環境整備（成果の実用化、導入普及に向けた取組）

【導入普及促進】

排出量の多い品目・業種や処理困難物を中心にリサイクルシステムなどの実証・市場化対策に関するフィージビリティ・スタディを実施する。

サプライチェーングループを対象に、部品等の仕様と原材料の使用・副産物の発生状況等に関する診断を実施し、製品設計及び製造プロセスの同時改善の方向性に関する提案、指導を行うとともに、取組事例を分析・評価し、資源投入量の抑制効果の高い優良な事例を公開する。

商品選択に資するわかりやすい3R配慮情報（省資源性や再生資源・部品の使用状況等）を消費者に提供し、環境配慮型製品の市場拡大を推進するため、指標の策定や、情報提供手法の確立、製品の情報検索が可能なシステムの検討・開発を行う。

3R対策が講じられている製品等の市場開拓を促進するため、政府が環境物品等を率先購入することを定めたグリーン購入法について、同法の判断基準が引き続き3R対策

を適切に反映するようにしていく。

化学物質の有害性評価、暴露分析、リスク評価等のデータベースの構築を図るとともに、それらの手法の各種活動（事業者の自主管理活動、事業者、地方自治体等が国民とリスクコミュニケーションを図る活動等）等への導入を図る。

公害防止設備に対する優遇税制等の支援を行う。

【法規制・制度改革】

二酸化炭素回収・貯留（CCS）の国内での本格実施に必要な法規制・制度の整備等に関して検討を行う。

資源有効利用促進法等のリサイクル関連法制度によるスキームを活用して、3R対策を網羅的に講じることにより、循環型社会の構築を図る。

遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律（カルタヘナ法）に基づく立入検査で査収した生物が遺伝子組換え生物であるか否かを判断するための基盤的な技術の高度化や収去方法を確立すること等により、的確な法律の執行体制を整備する。

【ガイドライン】

事業者による自主的取組を促進する観点から、産業構造審議会において策定している「業種別・品目別廃棄物処理・リサイクルガイドライン」（自主的な目標の設定）について、3R対策を加速する観点から適宜フォローアップを行い、改定を行う。

【基準・標準化】

各プロジェクトや民間における技術開発等で得られた成果のうち、標準化すべきものについては、適切な標準化活動（国際規格（ISO/IEC）、日本工業規格（JIS）その他国際的に認知された標準の提案等）を実施する。

CO₂回収・貯留後のモニタリング、植林等によるCO₂固定化量の計算、バイオマス利用時のCO₂排出削減量の評価、環境影響や安全性評価手法など、CO₂固定化・有効利用を推進するに当たって標準化が必要となる事項については、研究・開発状況や社会情勢を常に意識しながら計画的に標準化を推進する。

リサイクル品などの3R配慮製品に対する需要の創出・拡大を図るため、「環境JIS策定促進のアクションプログラム」に基づき、リサイクル品等の品質基準及び試験評価方法の規格（環境JIS）の策定を引き続き推進する。

バイオマス由来プラスチックにおけるバイオマス含有量測定の標準化を推進するとともに、生分解性プラスチックに係る微生物嫌気分解試験方法の国際標準化を着実に実施する。

石油精製物質等簡易有害性評価手法開発については、開発された簡易有害性評価手法等を2014年度を目途に経済開発協力機構（OECD）にテストガイドラインとして提案することを検討し、国際標準化を推進する。

【調達促進】

バイオマス由来プラスチック等、生物機能を用いた生産プロセスにより生産された製品について、グリーン購入法に基づく調達品目として位置付けられるべく検討を行う。

【広報・啓発】

研究開発プロジェクトの成果について広く普及啓発を図るため、シンポジウム等を行う。

3Rの普及・促進を図るため、毎年10月を「3R推進月間」とし、この期間を中心として、3R活動への関係者の取組を促すための「3R推進功労者等表彰」や、循環ビジネス振興のための「資源循環技術・システム表彰」等の普及啓発活動を実施する。

【知的基盤整備】

国内外との共同研究等を通じ、革新的な温暖化対策技術や方策についての情報交換に資する、情報ネットワークの構築等を行う。

物質生産用に関与された汎用宿主細胞や取得した生物遺伝資源は、独立行政法人製品

評価技術基盤機構に整備し、社会に幅広く提供する。

独立行政法人製品評価技術基盤機構の化学物質管理センターにて事業者・国民・公的機関の化学物質管理に関する冷静な対話（科学的知見の共有）を促進するための知的情報基盤整備を図る。

【国際協力】

生物多様性条約に基づく遺伝子資源へのアクセス促進事業において、日本のバイオ関連企業の遺伝子資源保有国（途上国）の遺伝子資源に対するアクセスを促進するための技術的環境整備及び遺伝子資源へのアクセス実施の調整を行う。

【他省庁との連携】

総合化学技術会議が推進する科学技術連携施策群の「食料・生物生産研究」及び「総合的リスク評価による化学物質の安全管理・活用のための開発技術」、ライフサイエンスPT、社会還元プロジェクトの下での関係府省間における適切な連携の実施。

【プロジェクト等との連携】

CO₂固定化・有効利用技術のロードマップに基づき、技術シーズ発掘型技術開発事業成果のプロジェクトへの取り込みや、プロジェクト間の連携により、低炭素社会モデルの構築に資する効果的なCO₂固定化・有効利用システムの実現を図る。

植物機能を活用したモノ作り基盤技術開発に係る2つのプロジェクト間での、遺伝子高発現技術やモデル植物での基盤技術及び実用作物への技術展開に関する情報交換を推進する。

6. 研究開発の実施に当たっての留意事項

- ・事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金により実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したものは、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。
- ・プログラム目標等については、京都議定書目標達成計画の評価・見直しプロセスに伴う対応を行う。
- ・各プロジェクトを横断的観点からマネジメントする体制を整備し、技術の進捗状況や社会情勢等を踏まえた適切な資源配分、技術成果のレビュー、普及施策の検討、実施すべき技術開発テーマ・領域・分野等の検討等を実施する。

7. 改訂履歴

- (1) 平成12年12月28日付け、生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画、化学物質総合評価管理プログラム基本計画制定。
- (2) 平成14年2月27日付け、生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画制定。生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画（平成12・12・27工総第15号）は、廃止。平成14年2月28日付け、革新的温暖化対策技術プログラム基本計画、3Rプログラム基本計画、化学物質総合評価管理プログラム基本計画制定。化学物質総合評価管理プログラム基本計画（平成12・12・27工総第14号）は、廃止。
- (3) 平成15年3月10日付け制定。革新的温暖化対策技術プログラム基本計画（平成14・02・25産局第16号）、3Rプログラム基本計画（平成14・02・25産局第13号）、生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画（平成14・02・25産局第5号）、化学物質総合評価管理プログラム基本計画（平成14・02・25産局第7号）は、廃止。
- (4) 平成16年2月3日付け制定。革新的温暖化対策技術プログラム基本計画（平成15・03・07産局第18号）及びエネルギー環境二酸化炭素固定化・有効利用プログラム基本計画（平成15・03・07産局第19号）は、革新的温暖化対策技術プログラム基本計画に統合することとし、廃止。3Rプログラム基本計画（平成15・03・

- 07産局第6号) 生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画(平成15・03・07産局第3号) 化学物質総合評価管理プログラム基本計画(平成15・03・07産局第8号)は、廃止。
- (5)平成17年3月31日付け制定。地球温暖化防止新技術プログラム基本計画(平成16・02・03産局第13号) 3Rプログラム基本計画(平成16・02・03産局第5号) 生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画(平成16・02・03産局第15号) 化学物質総合評価管理プログラム基本計画(平成16・02・03産局第3号)は、廃止。
- (6)平成18年3月31日付け制定。地球温暖化防止新技術プログラム基本計画(平成17・03・25産局第8号) 3Rプログラム基本計画(平成17・03・29産局第1号) 生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画(平成17・03・25産局第2号) 化学物質総合評価管理プログラム基本計画(平成17・03・25産局第10号)は、廃止。
- (7)平成19年4月2日付け制定。地球温暖化防止新技術プログラム基本計画(平成18・03・31産局第9号) 3Rプログラム基本計画(平成18・03・31産局第10号) 生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画(平成18・03・31産局第3号) 化学物質総合評価管理プログラム基本計画(平成18・03・31産局第11号)は、廃止。
- (8)平成20年4月1日付け、環境安心イノベーションプログラム基本計画制定。地球温暖化防止新技術プログラム基本計画(平成19・03・19産局第6号) 3Rプログラム基本計画(平成19・03・19産局第5号) 生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画(平成19・03・16産局第2号) 化学物質総合評価管理プログラム基本計画(平成19・03・20産局第2号)は、本イノベーションプログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (9)平成21年4月1日付け制定。環境安心イノベーションプログラム基本計画(平成19・03・25産局第7号)は、廃止。

化学物質総合評価管理分野

現在、世界中で数万種類を超える化学物質が製造され、幅広い産業で様々な用途に使用されて、快適な生活の実現に大きく貢献している。

しかしながら、それぞれの化学物質には固有の性質として何らかの有害性（ハザード）があり、人や生物が空気、水、食物等を通してこれにさらされると（暴露）、悪影響を及ぼす可能性（リスク）がある。化学物質の有用性をいかすためには、化学物質のリスクを適切に管理していく必要がある。

リスクの管理には、リスクの科学的な評価技術と削減技術が必要である。本分野は二つの技術体系に分けられる。一つは「化学物質リスク評価・管理技術開発」で、その目的は数万に及ぶ化学物質のリスクを正確に把握し、必要な対策を適時適切に行うため、有害性（分解性、蓄積性等を含む）、暴露等の基盤情報の収集とこれに基づくリスク評価を行うとともに、それらの情報に基づき各種評価手法の開発等を行うことである。もう一つは、「化学物質リスク削減技術開発」であり、化学物質の製造・利用に伴う環境負荷の低減、省資源及び省エネルギーを図るため、製造工程において有害化学物質を使用しない、使用による排出の削減等のプロセスを開発することである。

化学物質総合評価管理分野の研究開発では、化学物質のリスクに係る国民の理解増進のための基盤、事業者が自らリスクを判断する手段及び国が規制等の施策を講ずる際の手段として、化学物質のライフサイクルにわたるリスクの総合的な評価管理を行うための手法を確立するとともに、リスクの削減に資するプロセス、手法の開発、さらには知的基盤を整備する。

これにより、化学物質のリスクの総合的な評価を行いつつ、リスクを評価・管理するための技術体系を構築する。

化学物質総合評価管理分野の技術戦略マップ

．導入シナリオ

(1) 化学物質総合評価管理分野の目標と将来実現する社会像

経済産業活動を環境と調和させ安全・安心な国民生活を実現するために、以下のことを目標とする。【添付資料：化学物質総合評価管理の背景と目指す社会像】

これらの目標を達成するためには、研究開発のみならず、実用化するための導入普及促進策、標準化等の関連施策を一体的に推進する必要がある。

- ・行政、企業等で、科学的に評価されたリスクを認識した上での化学物質の使用
- ・行政、企業、国民等間のリスクコミュニケーションを通じた、透明性があり合理的な化学物質管理についての理解促進
- ・化学物質の排出削減が進むことにより、環境負荷の低減に寄与し、国民の健康の保護や生活環境を保全
- ・日本の産業の国際競争力の強化

(2) 研究開発の取組み

2002年の「持続可能な開発に関する世界首脳会議(WSSD)」において、ヨハネスブルグ宣言と共に採択された実施計画の第22項では、「ライフサイクルを考慮に入れた化学物質と有害廃棄物の健全な管理のためのアジェンダ21の約束を新たにするとともに、予防的取組み方法に留意しつつ透明性のある科学的根拠に基づくリスク評価手順とリスク管理手順を用いて、化学物質が、人の健康と環境にもたらす著しい悪影響を最小化する方法で使用、生産されることを2020年までに達成する」との、首脳レベルでの長期的な化学物質管理に関する国際合意(WSSD目標)がなされている。また、2006年2月には、これを具体化するための行動指針として、「国際的な化学物質管理のための戦略的アプローチ(SAICM)」が取りまとめられている。我が国としても、まずはWSSD目標の達成のため、SAICMを参照しつつ、リスク評価・管理に用いられる技術の研究開発に取り組んでいく。

リスク評価については、有害性や暴露量の情報がある物質はリスク評価が可能である一方、異なる物質間におけるリスク比較が困難なために、有害性等のデータが少ない物質への安易な転換が行われる例も出てきている。この状況を解消するために、不足するデータを類推し、リスクを比較する手法の開発が必要とされている。また、リスク評価を実施する上で必要となる有害性評価についても、膨大な数の化学物質について信頼に足るデータが不足しているが、すべての物質に時間と費用をかけ動物実験による有害性評価を行うのは現実的でない。そのため、動物試験によらない、遺伝子組換え技術や遺伝子発現解析技術を活用した有害性評価手法、化学物質の構造情報等から計算機を用いて有害性を予測評価する手法等の開発が求められている。さらに、科学的に未解明なゆえに有害性の不安が生じている工業用ナノ粒子について、リスク評価技術を開発し、リスク管理を行う体制を整備する必要がある。これらは、比較的緊急性の高い課題である。より長期的な視点に立

てば、種差や個人差、複合暴露の影響を定量的に評価できる高精度な有害性評価技術や、実環境中でのモニタリングとそれをフィードバックして高精度化した暴露推定モデルが必要とされる。

一方、化学物質のリスクを管理する一つの方法として不可欠なのが、化学物質のリスクを削減する技術であり、工場から最終的に排出される段階での回収・分解、有害性の高い物質を用いないプロセスへの転換、又はよりリスクの低い物質への代替転換といったものがある。また、過去に環境中に排出された化学物質の回収・無害化といった技術もリスク削減技術として位置付けられている。短期的には、排気施設や排水施設等の最終段階で有害性の高い物質を回収、分解する技術の開発が求められ、より長期的には、製造・使用段階においてリスクの少ない化学物質への代替化技術が中心となっていくべきと考えられる。さらに、リスク評価・管理に係る手法の確立とともに、リスク削減技術の先駆的な開発をもって産業の競争力向上に資するものとする。【参考資料 1：化学物質総合評価管理技術の考え方】

(3) 関連施策の取組み

〔導入補助・支援〕

- ・化学物質の有害性評価、暴露分析、リスク評価等のデータベースの構築を図る。
- ・化学物質の有害性評価、暴露分析、リスク評価等の手法の各種活動（事業者の自主管理活動、事業者、地方自治体等が国民とリスクコミュニケーションを図る活動等）等への導入を図る。
- ・公害防止設備に対する優遇税制等の支援を行う。

〔基準・標準化〕

- ・各プロジェクトで得られた成果のうち、標準化すべきものについては、適切な標準化活動（国際規格（ISO/IEC）、日本工業規格（JIS）、その他国際的に認知された標準の提案等）を実施する。
- ・高機能簡易型有害性評価手法の開発については、開発された簡易有害性評価手法等を2014年度を目途に経済協力開発機構（OECD）にテストガイドラインとして提案することを検討し、国際標準化を推進する。

〔知的基盤整備〕

- ・独立行政法人製品評価技術基盤機構の化学物質管理センターにて事業者・国民・公的機関の化学物質管理に関する冷静な対話（科学的知見の共有）を促進するための知的情報基盤整備を図る。

〔他省庁との連携〕

- ・総合科学技術会議で行われている科学技術連携施策群の環境分野の一つとして「総合的リスク評価による化学物質の安全管理・活用のための開発技術」の中で厚生労働省、国土交通省、農林水産省と情報を共有し連携を保ちつつ事業を推進。

(4) 民間での取組み

民間企業の取組みとしては、有害化学物質の排出によるリスクを低減するため、化学物質関係法令の遵守に止まらず、化学物質の自主的な管理を推進する。具体的には、化学物質審査規制法（以下、化審法）及び化学物質排出把握管理促進法（以下、化管法）に対して適切な対応がなされており、また、2010年までにVOC排出削減に対する自主的な取組みが推進されている。さらに、必要な研究開発を通じて、有害化学物質の自主的な管理を高度化していく。【参考資料2：化学物質総合管理関係法令】

（5）改訂のポイント

- ▶ 添付資料「化学物質総合評価管理の背景と目指す社会像」の追加
化学物質総合評価管理の背景と目指す社会像を明確に示すため、技術戦略マップ 2008の参考資料1の内容を含めて視覚的に分かりやすく解説した。
- ▶ 参考資料1「化学物質総合評価管理技術の考え方」の追加
導入シナリオでは分かりにくいリスク評価とリスク削減のつながりを示し、化学物質総合評価管理技術全体で目指す方向性について整理した。

・技術マップ

（1）技術マップ

（A）化学物質リスク評価・管理技術開発

行政や企業の直面するリスク評価・管理の課題（ニーズ）と、それを解決しうる技術（シーズ）を調査により抽出し、技術開発課題を整理した。

また、リスクを管理するためにはそれを評価する技術が必要であり、リスクを評価するためには暴露を評価する技術及び有害性を評価する技術が必要であることを、階層構造として示している。

（B）化学物質リスク削減技術開発

まず、技術が役立つ場を考慮して、産業、広域、生活に分類し、それぞれに影響を及ぼす環境を「大気」、「水域」、「土壌」、「廃棄物」と分類した。次に、それぞれについて削減すべき化学物質を抽出し物質群としてまとめ、「プロセス転換技術」、「回収・分解技術」、「原料転換技術」等技術分類を行い、その削減に有効な技術開発課題を整理した。

（2）重要技術の考え方

リスク評価・管理に関する委員会とリスク削減技術に関する委員会において重要技術の考え方を整理し、その分野に応じた評価指標を抽出し、それに基づいて重要技術の選定を行った。化学物質リスク評価・管理技術開発は、重要技術開発課題をゴシック体（太字）で示すとともに、化学物質リスク削減技術開発は重要技術とシーズ技術に分類した。【参考資料3：重要技術選定の評価項目と評価方法について】

（A）化学物質リスク評価・管理技術開発

重要技術の選定に当たっては、次の四つの評価指標を設定し、それぞれの指標を3段階で評価した。

化学物質総合評価管理リスクトレードオフに基づく最適管理に資する。

- a. リスク評価に必要な情報を効率的に取得できる。
- b. 情報不足による不確実性を低減、定量化できる。
- c. リスク管理（対策選定）におけるリスク転嫁を回避し、コミュニケーションと適切な意志決定に役立つ。

海外動向に対する日本の影響力発揮に資する。

まず、上記の -a~ -c と の四つの評価指標のうち一つでも 評価となった技術は、重要技術と選定した。また、三つ以上の指標で 評価を得た技術についても、多目的型技術として重要技術として選定した。さらに、我が国の独自の事情を考慮する必要があるものについては、特別に重要技術に加えた。

(B) 化学物質リスク削減技術開発

重要技術の選定に当たっては、次の三つの評価指標を設定し、それぞれ3段階で評価した。

リスク削減効果

- a. ハザードや排出削減量から見たリスク削減ポテンシャル
- b. コスト

産業競争力強化

上記の指標のうち の指標については a、b の二つの指標に分けられ、そのうちどちらかが 評価を得られたもの、又は両方 以上の評価を得られたものであって、かつ の指標についても 以上の評価を満たすものについて重要技術として選定した。

(3) 改訂のポイント

(A) 化学物質リスク評価・管理技術開発

重要技術それぞれに説明を追加。

(B) 化学物質リスク削減技術開発

大分類を見直し、既存の技術マップに GSC 分野のうちリスク削減に寄与する技術を含めた上で掲載技術を再抽出。

・技術ロードマップ

(1) 技術ロードマップ

(A) 化学物質リスク評価・管理技術開発

2010 年頃までに化学物質管理の第 2 世代を構築させるべく化学物質管理関係法令等による規制と企業の自主管理のベストミックスの下、物質ごとにリスクを減らすことを目標にし、開発すべき概ねの時期を期間と共に示した。また、その後 2020 年頃までを化学物質管理の第 3 世代と位置付け、リスクとベネフィットとのバランスを考慮し、リスクコミュニケーションを通じてリスクと向き合う社会を構築することを目標にし、開発すべき概ねの時期を示しロードマップを策定した。将来的には、複数物質間のリスク

を比較したり、感受性の個人差や多様なライフスタイルにも留意したりして、科学的知見に基づく高度な技術により、全体としてのリスクを低減させるような管理を目指すべきであり、安全・安心な国民生活と活力ある産業を実現することが求められている。

リスク評価の一手法として描かれている工業用ナノ粒子のリスク評価については、研究開発が緒に付いたばかりであり、やや他の技術開発とは進展の度合いが異なるので別立てにした。(なお、技術マップについては、リスク評価・管理本体のマップに表した。)

また、各技術開発のつながりを分かりやすく示すため、重要技術開発以外の技術開発についても明朝体で記載するとともに、各技術開発のアウトカムを矢印で示して技術開発との因果関係を示すことによって、本ロードマップで何を目指しているのかを明確にした。【参考資料 4：リスク評価・管理技術開発の関係図】【参考資料 5：リスク評価・管理の技術ロードマップの俯瞰図】

(B) 化学物質リスク削減技術開発

国際競争力のある技術で化学物質によるリスクを抑えて快適な生活を実現するために、2010年にVOCの排出量を2000年に比較して30%削減することや、2020年にWSSD目標である化学物質の人への健康と環境にもたらす影響を最小化にするための技術目標を示すとともに、さらに長期的な視点に立ち2030年までリスク削減をするための技術開発をロードマップ上に展開した。技術の方向性としては、短期的には有害性の高い物質を環境に出さない排出段階で回収や分解を行う技術が、長期的には有害物質を使わない、又は生成しないプロセスへの技術転換が中心となっていくべきと考えられる。【参考資料 6：リスク削減対象物質群と代表的削減技術の俯瞰図】

(2) 改訂のポイント

(A) 化学物質リスク評価・管理技術開発

技術戦略マップ 2007 からの変更はないが、今後の技術開発の方向性（進展）と現在の取組みの位置付けが一目で読み取れるよう、参考資料 4「リスク評価・管理技術開発の関係図」及び参考資料 5「リスク評価・管理の技術ロードマップの俯瞰図」を追加した。

(B) 化学物質リスク削減技術開発

技術マップの改定に伴い、技術マップの大分類に即してロードマップを変更した。削減対象物質の存在領域及び対応する削減技術を分かりやすく示すため、俯瞰図を作成するとともに、それぞれの削減対象物質ごとに背景や発生源などのバックグラウンドが分かるよう、参考資料 6「リスク削減対象物質群と代表的削減技術の俯瞰図」を追加した。

・その他の改訂のポイント

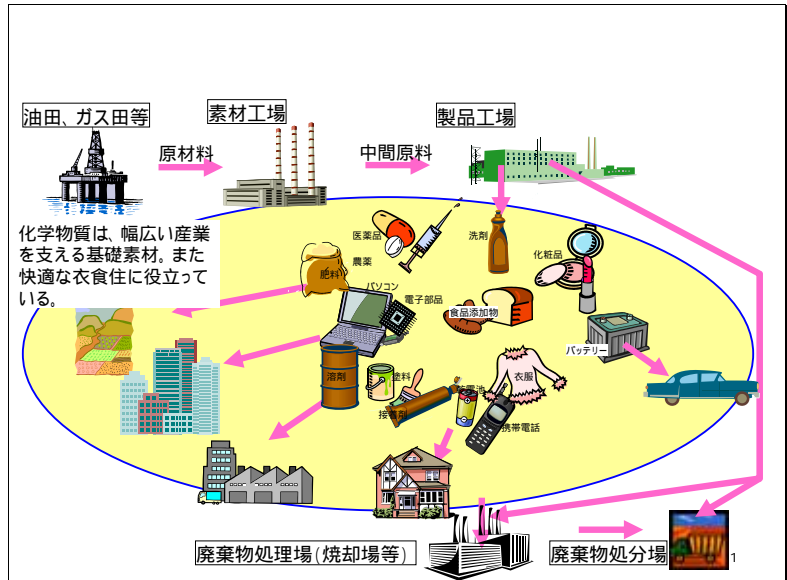
国際競争ポジション（ベンチマーキング）

- ▶ 世界における日本のポジションを貢献度、市場の優位性等の関係からベンチマーキングを行った。【化学物質総合評価管理分野の国際競争ポジション】

化学物質総合評価管理の背景と目指す社会像

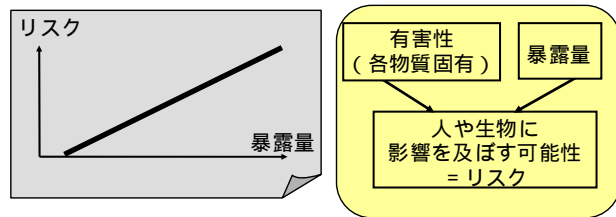
化学物質は、幅広い産業と快適な生活を支えている

現在、世界中で数万種類を超える化学物質が幅広い産業を支える基礎素材として使われ、また、快適な衣食住に役立っている。例えば、化粧品、衣服、携帯電話、自動車、コンピュータ等の様々な製品に使われている。



しかし化学物質を有用に使うためには、リスクの管理が必要である

しかしどのような物質にも固有の有害性があり、人や生物が多量に摂取（暴露）すれば、悪影響を及ぼす可能性（リスク）がある。

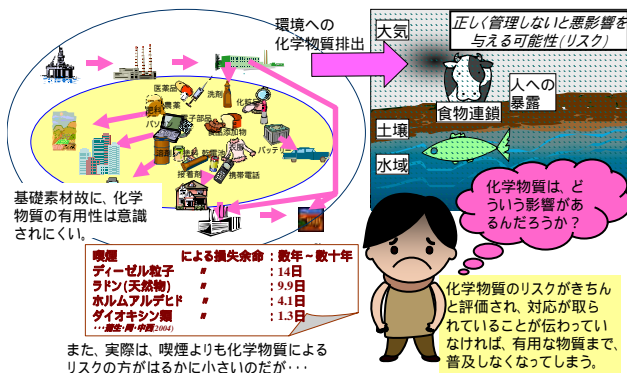


前述のように社会に役立っている化学物質であるが、基礎素材ゆえに、有用性が理解されにくい。

また、実際は喫煙よりも化学物質によるリスクの方がはるかに小さいのだが、そのようなことはあまり知られていない。

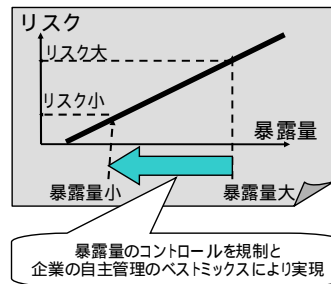
このため、化学物質のリスクを知り正しく管理するとともに、それを国民に伝えていく必要があり、そうでないとリスクも増大し、不安感も発生してしまう。その結果、有用な物質まで普及しなくなってしまう。

化学物質のリスクを知り、正しく使い管理し、国民に伝えていく必要。そうでないと、リスクも増大し、不安感も発生。



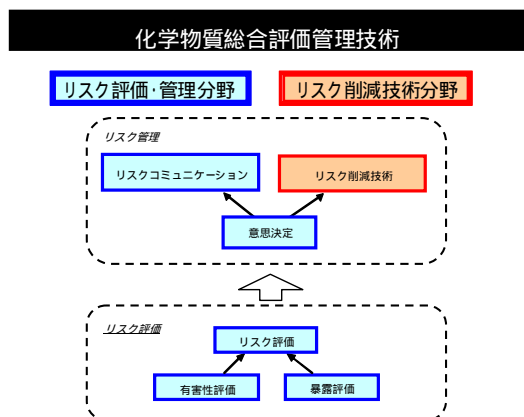
リスクは、有害性と曝露量によって決まる。かつて化学物質は有害性に基づき規制されてきた。しかし、数多くの物質が多様に使われている現在、物質固有の有害性でなく、使い方を工夫して曝露量をコントロールし、リスクを管理していくことが重要である。

このようなリスク管理は、規制と、物質の取り扱いを熟知する企業の自主管理とのベストミックスで実現するのが効果的・効率的である。



またリスク管理では、有害性と曝露量をもとに、科学的にリスクを評価することが必要である。その結果をもとに、意思を決定し、排出物質の回収や物質代替等のリスク削減技術を適用していく。また、リスクコミュニケーションをとっていく。

そのための技術(化学物質総合評価管理技術)が必要である。



化学物質総合評価管理の技術を開発するメリット

化学物質総合評価管理の技術開発により、次のようなメリットがある。

産業界にとっては、リスク評価の結果から、リスク管理の必要な物質・用途・ライフステージがわかる。そこに、排出物質の回収・無害化や、安全な物質への代替等のリスク削減技術を開発・適用していく。そのような技術力で国際競争力を強化していくことができる。

国民にとっても、リスクが抑えられ、またリスクの情報がわかり、安全・安心な生活が実現される。化学物質を賢く使い、曝露を減らしながら、生活を豊かにすることができる。

化学物質総合評価管理分野の導入シナリオ

目標

行政、企業等で、科学的に評価されたリスクを認識した上での化学物質の使用
 行政、企業、国民等間のリスクコミュニケーションを通じた、透明性があり合理的な化学物質管理についての理解促進
 化学物質の排出削減が進むことにより、環境負荷の低減に寄与し、国民の健康の保護や生活環境を保全
 日本の産業の国際競争力の強化

2005 2008 2009 2010 2015 2020

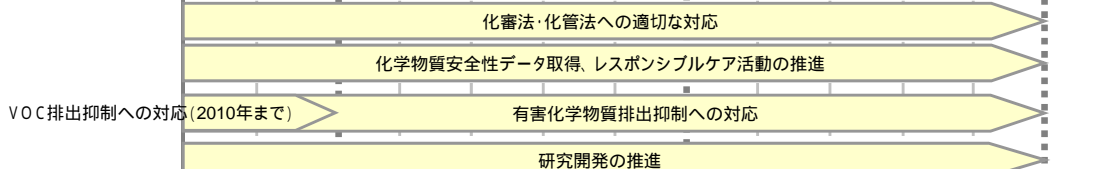
国内外の動き

国内
国外



企業の取り組み

化学物質適正管理



政府の対応

リスク評価管理

化審法規制対象物質のリスク評価及び管理の実施、安全性情報の収集・把握

化審法

化管法に基づく自主管理の促進及び安全性情報の流通促進

化管法

国際的な動向を踏まえた新たな評価法の適用範囲を検証し、OECDへ提案

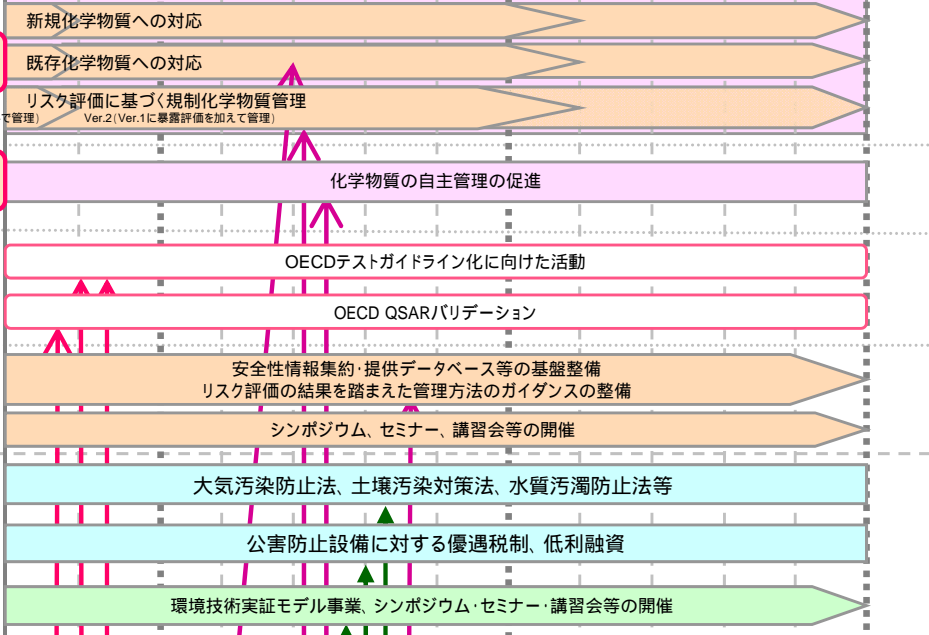
化学物質に係る戦略的情報収集・提供基盤、評価ツール等の整備
 評価手法の活用及び普及、人材育成、アジア協力

リスク削減

法律改正への対応

税・財投制度

技術の普及・標準化推進



研究開発の取り組み

リスク評価管理

有害性評価手法

暴露評価手法

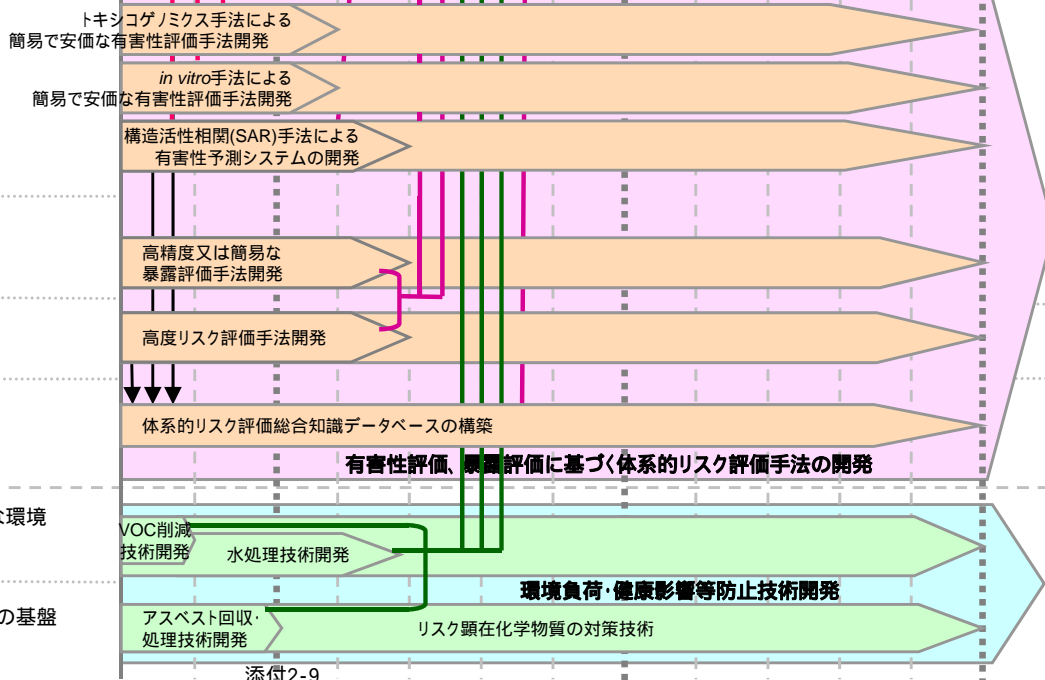
リスク評価手法

知的基盤の整備

リスク削減

有害化学物質の排出削減や革新的な環境調和型生産技術

環境汚染の修復・無害化処理のための基盤技術の確立



		化学物質総合評価管理 (第3世代) リスクトレードオフに基づく最適管理をブレークダウンした評価項目			海外動向への日本の影響力発揮という観点からの評価項目	上位技術No.	下位技術No.	重要技術の説明
技術分類	技術NO.	[a] リスク評価に必要な情報を効率的に取得できる。	[b] 情報不足による不確実性を低減・定量化できる。	[c] リスク管理策選定におけるリスク転換を回避し、コミュニケーションと適切な意思決定に役立つ。	観点からの評価項目	ロードマップでこの技術から出発した「矢印」の先にある技術No.	ロードマップでこの技術へ向かってきた「矢印」の元にある技術No.	
<p>行政が行うリスク管理に必要な手法</p> <p>化審法のリスク管理手法</p> <p>1 費用対効果を考慮した合理的リスク管理手法</p> <p>2 代替物質のリスクなど化学物質間のリスクのトレードオフを考慮したリスク管理手法</p> <p>3 不確実性を考慮して多くの物質をリスク管理する手法</p> <p>監視化学物質のリスク管理手法</p> <p>4 評価の優先順位やTiered Approach*を考慮した効率的リスク管理体系の構築</p> <p>特定化学物質のリスク管理手法</p> <p>5 ストック汚染*のリスク管理手法</p> <p>リスクトレードオフに基づく最適管理手法</p> <p>6 化学物質とそれ以外のリスクとのトレードオフを考慮したリスク管理手法</p> <p>7 複雑なシナリオのリスク(混合物や複合暴露等)や感受性やライフスタイルに留意し管理するための手法</p> <p>8 リスク管理の研究項目の優先順位付け手法</p> <p>地域のリスク管理手法</p> <p>9 地域のリスク管理手法</p> <p>10 費用対効果を考慮した合理的リスク管理手法</p> <p>企業の自主管理を支援するための手法</p> <p>製品単位のリスク管理手法</p> <p>11 サプライチェーン含有物質トレース手法*</p> <p>12 複数物質間・製品間でリスクを比較し、自主管理するための手法</p> <p>環境に配慮した設計(DfE)手法</p> <p>13 製品のリスク管理手法</p> <p>工場単位のリスク管理手法</p> <p>14 地域(工場付近)のリスク管理手法</p> <p>社会ニーズへの対応</p> <p>新規の物質・技術や懸念されているリスクへの対応</p> <p>ナノ粒子のリスク管理手法</p> <p>15 リスクに基づくナノ粒子のリスク管理手法</p> <p>16 新規技術に関する社会受容性や意思決定に関する研究</p> <p>17 ベネフィットの現状把握と予測のための手法</p> <p>18 化学物質以外のリスクなどトレードオフを考慮したナノ粒子のリスク管理手法</p> <p>要素技術</p> <p>19 管理策の効果(回避されたリスク)の経済評価手法</p> <p>20 化学物質のリスクとそれ以外のリスクの統一指標の開発</p> <p>21 データ等の不確実性を前提としたリスク管理技法</p> <p>22 リスク評価結果やリスク管理政策の状況等を分かりやすくまとめ、定期的に国民に提供するための情報整備</p> <p>23 有害性評価書、初期リスク評価書の整備</p> <p>24 リスク評価の表現方法(指標等)の標準化・規格化</p> <p>25 専門家の見解を集約したリスク管理ガイダンスの整備</p> <p>26 リスク評価・管理DBの開発(管理対策・技術の事例やその効果が判定できるツール、国際調整の事例等)</p>		<p>3個以上の技術もしくは1個以上の技術を重要技術とした(知的基盤は除く)。なお、技術名にの付いた技術は、評価項目 日本固有の状況を反映させる観点から加点了。</p> <p>その評価項目に照らし、特に優れた技術</p> <p>その評価項目に照らし、優れた技術</p> <p>技術開発課題 (重要技術は、ゴシック太字で示す)</p>	<p>【a】 リスク評価に必要な情報を効率的に取得できる。</p> <p>【b】 情報不足による不確実性を低減・定量化できる。</p> <p>【c】 リスク管理策選定におけるリスク転換を回避し、コミュニケーションと適切な意思決定に役立つ。</p>	<p>観点からの評価項目</p>	<p>ロードマップでこの技術から出発した「矢印」の先にある技術No.</p>	<p>ロードマップでこの技術へ向かってきた「矢印」の元にある技術No.</p>	<p>重要技術の説明</p>	
		<p>同一コストをかけて減らせる化学物質のリスクは、対象物質や管理策により異なる。このため、費用対効果の高い順を優先していく必要がある。また、規制と自主管理の組み合わせのあり方についても、費用と効果を比較することでヒントを得られる可能性がある。</p> <p>暴露情報や、ヒトや生態系に対する有害性情報が不足している物質に代替すると、代替によるリスクを評価できず、結果としてかえってリスクが高くなってしまったりすることがある。このため、代替の前に、代替物質のリスクを評価・比較して、最もリスクの少ない物質を選ぶ必要がある。</p> <p>各物質のリスク評価結果に差があっても、不確実性についての情報が無ければ、結果の差が有意かどうか不明である。適切な意思決定のためには、不確実性をリスク評価結果とあわせて示していく必要がある。また、たとえ情報が少なくても、その時点で情報を活用して不確実性を考慮してリスクを評価し、早めに管理していくことも重要。</p> <p>全ての既存化学物質について同時に対策を実施することは、現実には困難である。そこで、優先順位をつけて段階的にリスクを評価することにより、重大なリスクに早く対処できるとともに、階層・人・性質の配分を最適化できる。また優先順位の付け方を明確にすることで、透明性を高めることができる。</p> <p>化学物質のリスクを削減すると他種のリスクが増加する(例えば、難燃剤を使用しないことによる火災のリスクの増加)場合があるため、異なる種類のリスクを比較考慮できれば、最適な管理方策を選択することができる。</p> <p>標準的なケースだけでなく、現実を反映した様々なケースを想定して、適切な対策を立てられるようになる。</p>						
		<p>技術1参照</p> <p>現状では、サプライチェーンの川上(化学品メーカー等)では川下(セッターメーカー等)での用途情報が分からず、川下では含有物質の情報が分からないという状況も散見される。そこで、サプライチェーンに沿って、含有物質やそのリスク、用途の情報等が交換できれば、企業は製品の製造から廃棄までのライフサイクルでのリスク管理がしやすくなる。企業秘密に留意しつつ、このようなデータを整備することにより、効率的なリスク管理が実現される。</p> <p>企業が製造プロセス等で使用する物質や原料や製品設計を検討する際、複数候補の中から、最もリスクが低いものを選ぶことができるようになる。</p>						
		<p>ナノ粒子は、同じ物質でもサイズや形状の違いによって物理化学的性質が著しく異なることがあるため、化学物質の従来のリスク評価手法が適用できるが不明の点が多い。リスク管理策についても、新たな考え方が必要かどうか、検討が必要である。</p> <p>新規機能材料としてナノ粒子への期待は大きく、安全性への不安から研究開発を断念するような事態を防ぐためにも、開発と同時進行でリスクを評価し、科学的情報を積極的に発信する必要がある。同時に、ナノ粒子の優先順位についても社会に伝えしていくことも必要である。</p> <p>例えば、規制等を厳しくしたとき、それにより人の健康や環境へのリスクがどれくらい減少したか(例えば、がんを発症する人がどれくらい減ったか)、そのリスク回避の価値を貨幣で換すとどれくらいになるかが分かり、規制のためのコストと比較できるようになる。</p>						
		<p>技術4参照</p>						

リスク評価	社会ニーズへの対応		27	ヒト健康について共通の指標で評価する手法			28	-			
			28	ヒト・生態リスクの統一指標の開発			2	27			
			29	優先順位付け手法			2.4	-			
			30	不確実性を含んだリスク指標の開発			2.3,21	-			
			31	情報量基準等に基づく(データ、モデルの)選択技法			7	-			
			32	ナノ粒子のリスク評価手法			15,18	48-53 79-86			
			33	ナノ粒子のリスク評価手法の体系化、高度化(Tiered Approach、より複雑な暴露シナリオ等)			18	34,48-54 82,87-89			
			34	多種多様なナノ粒子に対するリスク評価の優先順位付け手法			18,33	-			
			35	リスク評価手法のガイドライン作成と標準化・規格化							
			36	ガイドライン改定システムの確立							
暴露評価	社会ニーズへの対応		37	製品からの直接暴露の評価手法			7,13	66,67			
			38	ストック汚染による暴露の評価手法			5	62			
			39	地域別の暴露評価手法			9,14	55,64-70			
			40	感受性の高い集団の暴露評価手法			7	-			
			41	ライフスタイル別の暴露評価手法			7	-			
			42	排出量、環境条件などの最悪ケースも反映されるように暴露シナリオを体系化			4	-			
			43	不確実性を含んだ暴露指標の開発			2,3,21	-			
			44	生態系のリスク評価のための暴露評価手法			7	-			
			45	生態系食物網構造解析手法			7	-			
			46	シックハウス症候群の暴露評価手法			7	-			
			47	自然発生源のある物質の暴露評価手法			7	-			
			48	ナノ粒子の暴露評価手法			15,18,32,33, 53,54	49-53			
			49	暴露シナリオ構築			48	-			
			50	環境・生体中のナノ粒子計測技術、キャラクタリゼーション技術			48	-			
			51	ナノ粒子の環境中挙動モデル			48	-			
	52	ナノ粒子排出シナリオ構築			48	-					
	53	ナノ粒子排出量推定手法			48	-					
	54	ナノ粒子の暴露評価手法の高度化(環境中での反応等の挙動の評価化等)			18,33,6,12	48-53					
	社会ニーズへの対応	新規の物質・技術や懸念されているリスクへの対応		44	生態系のリスク評価のための暴露評価手法			7	-		
				45	生態系食物網構造解析手法			7	-		
				46	シックハウス症候群の暴露評価手法			7	-		
				47	自然発生源のある物質の暴露評価手法			7	-		
				48	ナノ粒子の暴露評価手法			15,18,32,33, 53,54	49-53		
				49	暴露シナリオ構築			48	-		
				50	環境・生体中のナノ粒子計測技術、キャラクタリゼーション技術			48	-		
51				ナノ粒子の環境中挙動モデル			48	-			
52				ナノ粒子排出シナリオ構築			48	-			
53				ナノ粒子排出量推定手法			48	-			
要素技術	環境中や生体中濃度モニタリングとその活用		55	モニタリングデータの暴露評価適用手法			7,39	-			
			56	サンプリングスキーム構築(生物相モニタリングを含む)			7	-			
			57	バイオアッセイモニタリング手法*(環境測定による化学物質の暴露把握手法)			7	105			
			58	人・生態系の暴露検出のためのバイオマーカー迅速検出センサー			7	-			
			59	環境中微量物質マルチセンサー			7	-			
			60	携帯型環境(室・車内等含む)微量物質検出センサー			7	-			
			61	生体中微量物質検出センサー			7	-			
			62	土壌、地下水汚染暴露評価手法			7,38	-			
			63	化学反応(分解、反応生成)を考慮した環境中運命モデル			7	-			
			64	PRTRデータの暴露評価適用手法(届出データ、非届出データ含む)			9,14,39	-			
環境中や生体中濃度センサー			59	環境中微量物質マルチセンサー			7	-			
			60	携帯型環境(室・車内等含む)微量物質検出センサー			7	-			
			61	生体中微量物質検出センサー			7	-			
			62	土壌、地下水汚染暴露評価手法			7,38	-			
			63	化学反応(分解、反応生成)を考慮した環境中運命モデル			7	-			
			64	PRTRデータの暴露評価適用手法(届出データ、非届出データ含む)			9,14,39	-			
			65	モニタリングスキーム構築			9,14,39	-			
			66	ライフサイクルでの用途推定手法			7,9,13,14 27,39	-			
			67	用途ごとの排出推計手法			7,9,13,14 27,39	-			
			68	精度評価を伴ったPRTRデータの推計手法			9,14,39	-			
排出のモニタリング、排出データの活用、最適化			69	PRTRデータ妥当性評価手法			9,14,39	-			
			70	信頼値から排出量を推定する逆解析手法			9,14,39	-			
			71	より高精度なマテリアルフロー分析手法			7	-			
			72	暴露評価に必要なツールやデータ等(暴露シナリオ、食物摂取量、人口、用途別排出係数、地域の気象、海象、水文土壌データ、物質の蒸気圧等の物理化学的性状、物質の環境中半減期等)のDB化							
			73	暴露評価手法のガイドライン作成と標準化・規格化							
			74	個体群への影響の定量化に必要な生活史パラメータ等の整備と推定手法							
			排出量推定手法			66	ライフサイクルでの用途推定手法			7,9,13,14 27,39	-
						67	用途ごとの排出推計手法			7,9,13,14 27,39	-
						68	精度評価を伴ったPRTRデータの推計手法			9,14,39	-
						69	PRTRデータ妥当性評価手法			9,14,39	-
70	信頼値から排出量を推定する逆解析手法						9,14,39	-			
71	より高精度なマテリアルフロー分析手法						7	-			
72	暴露評価に必要なツールやデータ等(暴露シナリオ、食物摂取量、人口、用途別排出係数、地域の気象、海象、水文土壌データ、物質の蒸気圧等の物理化学的性状、物質の環境中半減期等)のDB化										
73	暴露評価手法のガイドライン作成と標準化・規格化										
74	個体群への影響の定量化に必要な生活史パラメータ等の整備と推定手法										

例えば、がんを引き起こす物質とアレルギーを引き起こす物質のリスクを比較できるようにする。このような異なるエンドポイントのリスクを社会共通の物差しで計ることが可能となれば、管理すべきリスクの優先順位を明らかにでき、透明性も高まる。

目的(例えば、地域全体の規制基準を決めるため、個人のリスクを知るため)や環境の質や量(データの精度、カバレッジなど)によって、最適なデータ、使用するモデルを選択できる。また、データの質等を考慮して、モデルを用いた解析結果を的確に解釈することができる。

ナノ粒子は成分、サイズ、形状等が多岐であり、リスク評価を行う優先順位付けやスクリーニングの手法が必要である。

製品から人が直接暴露する化学物質の量を評価するには、製品を使用する時間や頻度などのデータが必要である。それらはライフスタイルに依存するため、国内のデータを用いて、**日本固有の状況に基づくシナリオを設定**することが必要である。また、製品からの化学物質の放出速度などの基礎データも必要である。

地域ごとの環境中濃度や生活パターンを考慮して暴露量を評価することで、地方自治体が環境や人の健康の保護のために、**独自の対策**を立てられるようになる。

ライフサイクルでの用途、環境条件などの様々なケースを、シナリオ(係数係数を含む)としてあらかじめ設定しておくことにより、個別シナリオごとに**詳細に環境シナリオを、典型的なものは最悪ケースにおける暴露量を推定**することができる。また、これらのシナリオやデータは、日本の産業や生活の実態に合わせて作成する必要がある。

ナノ粒子がライフサイクルのどの段階でどの程度環境中に排出されているのか、また**環境中でナノ粒子の性状はどうなっているか**(ナノ材料はすぐに凝集してしまうため、暴露する際の状態はどうなっているか)評価する手法が必要である。また、ナノ粒子の有害性試験においても、暴露する際のナノ粒子の状態(凝集状態、不純物など)を把握・コントロールし、同定(キャラクタリゼーション)することが重要。

暴露量をモデルを用いて推定するためには、多くの仮定を置く必要があり、不確実性を伴う。モデルとモニタリングデータは相互補充の関係にあることから、その不確実性を減少させるため、環境中や生体中の化学物質の濃度等を計画的に調査し、**モデルの精度検証等や改良に役立てることが有益**。

化学物質への暴露を血液や尿中等の何らかの検査値から把握することができれば、**迅速に対策をとることが**できる。

土壌は、大気や水質などと違い、いったん汚染されると希釈されにくく汚染物質が**蓄積しやすい**。たとえ汚染物質の排出を止めても、**将来にわたり影響を及ぼす**可能性があり、汚染状態を評価する手法が必要である。
環境中に排出された化学物質の中には、環境中の物質との**反応**や、微生物による**分解**を受けることにより、**別の物質に変化するものがある**。その場合、生成した変化物の方が毒性が高いこともあり、このような反応等を予測する必要がある。

PRTRデータに基づく排出量を地理的にメッシュに配分することで、空間的に詳細な暴露評価が可能となる。配分においてはメッシュごとの地理的条件や産業活動等を反映させる必要があり、そのような配分手法が必要である。

ライフサイクルにおけるステージごとの状態と排出量を推定する手法を開発することにより、個別にデータ収集等を行わずに、暴露量を評価することができる。

PRTR届出データをもとに算出、推計する排出量の精度を向上させるため、推計結果の妥当性を評価できる手法が必要である。

環境中の濃度分布を解析することにより化学物質の排出源を特定できれば、優先的に排出削減対策をとるべき排出源が分かる。

川下事業者における化学物質の用途を反映した詳細なマテリアルフローを作成することで、優先的に管理策をとるべき段階を把握することができる。

有害性評価 社会ニーズへの対応	新規の物質・技術や懸念されているリスクへの対応	75	シックハウス症候群の有害性評価手法				7	-			
		76	複合暴露の有害性評価手法				7	-			
		77	世代別感受性を考慮した有害性評価手法				7	-			
		78	生態系の有害性評価のための特有用な技術(底質毒性試験法や成長段階別の有害性推定手法)				7	-			
		ナノ粒子の有害性評価手法	79	in vivo試験やスクリーニングのためのin vitro試験によるナノ粒子特有のヒト・生態系の有害性評価手法(試験動物からヒトへの外挿手法含む)				15,32	80-86		
			80	ナノ粒子の体内動態研究				15,18,32,79,82	81		
			81	トレーサー技術				15,18,32,29,80,82	-		
			82	体内動態モデリング手法				15,18,32,33,79,87,89	80,81		
			83	in vitro試験によるナノ粒子特有の生体影響検出手法(バイオマーカーの決定手法等)				15,18,32,79	86		
			84	in vivo試験によるナノ粒子特有の生体影響検出手法(バイオマーカーの決定手法等)				15,18,32,79	85,86		
			85	吸入暴露装置				15,18,32,79,84	-		
			86	in vivo, in vitro試験用の液相・気相でのナノ粒子サンプル作成技術				15,18,32,79,83,84	-		
			87	有害性の体系的試験戦略(Tiered Approach等)の構築				18,33	82,88,89		
			88	カテゴリーアプローチ等相対的な有害性の推定手法				18,33,87	-		
			89	ナノ粒子の有害性評価の高速化、高度化のための手法(in silicoの手法等)				18,33,87	82		
			要素技術	高速(簡易・安価)な手法	90	分解性・蓄積性QSAR(新規物質の試験結果活用等による適用性拡大)				2,4	-
					91	有害性QSAR(操作性・変異原性・生体エンドポイント等)				2,4	-
		92			メカニズムを考慮したQSAR				7	103-105,107	
		93			カテゴリーアプローチ手法				2,4	-	
		94			蓄積性試験のin vitro試験法				2,4	-	
		95			その他in vitroの簡易なスクリーニング手法(ヒト細胞などを用いた)				2,4	-	
		96			マルチエンドポイント型有害性評価手法				2,4	-	
		97			in vitroの簡易でハイスループットに対応可能な評価手法				2,4	-	
		98			in vivoでの高速の評価手法				2,4	-	
		高精度な手法(不確実性因子低減のための手法)			99	in silico人体, in silico生態系				7	-
					100	ヒト培養細胞を用いた種差を回避した有害性評価手法				7	-
					101	遺伝子発現解析技術を用いた種差による感受性差評価技術				7	-
102	遺伝子発現解析技術を用いた個人の有害性評価技術							7	-		
103	単純なPBPK*/TD*モデル (in vitro等の試験結果を適用して改善)					7,92	-				
104	詳細なPBPK / TDモデル (細胞応答や臓器・組織応答のシミュレーション)					7,92	-				
発がん性、生殖毒性、神経毒性等、高コスト・長期を要する毒性の高度な評価手法	105	有害性検出バイオマーカー探索手法				7,57,92	-				
	106	実験室でのミニ生態系(マイクロコスム)				7	-				
	107	タンパク質等の上位階層での網羅的解析技術				7,92	-				
知的基盤	ADME / Tox* のメカニズムの分子レベルでの解明手法(たんぱく質の役割等)	108	有害性情報のD/B化								
		109	有害性評価手法やデータ収集に関するガイドライン化と標準化・規格化								

シックハウス症候群は、その発症のメカニズムに不明点が多く、アレルギーのような客観的な指標が確立していないため、評価手法の開発が必要である。

環境中に存在する**複数の化学物質に暴露**する場合の有害性を評価する手法を開発する。

世代ごと(例えば、乳幼児)に、特にリスクが懸念される化学物質を把握できれば、リスクを低減させるのに役立つ情報を提供できる。

ある種の生物では、特定の成長段階において化学物質に対する感受性が強いことがあるため、このような特性を踏まえた有害性評価の手法が必要である。

ナノ粒子の**生体への作用については不明**点が多い。例えば、ナノ粒子がそのサイズに起因する特有の**体内動態**や、**反応性を持つこと**等が指摘されているが、それが有害性に影響するかどうかも等も含め、現時点では不明である。したがって、ナノ粒子の有害性の評価手法が必要である。

化学物質の有害性を評価するために、in vivoやin vitroの試験を行わず、**構造等の似た物質の有害性をもちに類推(カテゴリーアプローチ)**あるいはその**構造を基に有害性を定量的に推定(QSAR)**できれば、有害性試験の費用、使用する試験動物等を削減できる。QSARは**1次スクリーニング手法**として期待されている。

1回の有害性試験で複数のエンドポイントについて評価することができれば、有害性試験の費用、使用する試験動物等を削減できる。

多数の化学物質の有害性を同時かつ迅速に測定、解析できれば、試験を効率化できる。

ヒトの体内や生態系内での化学物質の動態をコンピュータで(in silico)模擬できれば、動物実験等を行わなくても**作用メカニズムに基づき**有害性評価を実現できる。最終的な理想形と言えるが、まだ相当の研究開発が必要。

動物を用いた有害性試験では、結果をヒトに外挿していたため、「種間の不確実性」が存在する。ヒト由来の細胞を用いれば、この不確実性が解消されて、試験結果の信頼性を高めることができる。

遺伝子発現解析技術により種間の毒性発現メカニズムの違いが分れば、種間の不確実性が軽減されて、**試験結果の信頼性を向上させることができる**。

個人の感受性を考慮した有害性評価手法が開発されれば、個人のリスクを低減させるのに役立つ情報を得ることができる。

化学物質の有害性が発現する際に、遺伝子、タンパク質等の発現量に特有の指標(マーカー)を探索し、このようなマーカーを使うことにより、毒性発現のメカニズムを解明する。また、高精度で安価な有害性評価が期待できる。

実際の生態系を模擬した系において実験を行うことにより、化学物質の生態系への影響評価が可能となる。その際には、当該試験系での実験結果の生態系での再現性が求められる。

ゲノミクス(化学物質暴露後の遺伝子の発現量をmRNAを用いて解析する手法)、プロテオミクス(mRNAに基づいて作られるタンパク質の発現量を解析する手法)及びメタボロミクス(代謝によって作られる物質の発現量を解析する手法)により化学物質の有害性を補足する情報を得られれば、有害性予測の精度を高めることができる。

*Tiered Approach	多くの物質を効率的にかつ合理的に評価するために評価ステップを数段階に分けて行う方法。具体的にはまず初めにスコアリングによって、評価する化学物質の優先順位付けを行ったり、一連の評価の初期のステップで簡単な(かつ安全サイドに立った)評価を行うことで、化学物質を網羅的にふるいにかけ、よりリスクの疑いの高い物質についてのみ詳細なリスク評価を行うような評価の方法。
*ストック汚染	土壌のように、いったん汚染されると拡散による希釈効果はあまり期待できず蓄積するので、汚染物質の排出を止めると、そのままでは長期にわたる汚染状態が改善されにくいような汚染。
*サプライチェーン含有物質トレース手法	製品に含まれる化学物質の情報をサプライチェーンに沿って授受する手法。
*DfE(Design for Environment)	環境に配慮した設計。
*バイオアッセイモニタリング手法	試供生物(バクテリア、細胞、水種生物など)の生物学的応答の度合いに応じて、環境サンプルの毒性の大きさを評価する手法であり、未知の毒性物質の影響評価や複数の化学物質を同時に摂取した場合の総合的な影響を評価することが可能。
*3 R(Replacement, Reduction, Refinement)	動物試験の代替(Replacement)、動物数の削減(Reduction)、苦痛の削減(Refinement)を目指すもの。
*PBTK(physiologically-based toxicokinetics)	化学物質の体内動態を記述したモデル。
*PBTK/ITD(PBPK to itco-dynamics)	化学物質の体内動態に加え、細胞組織内での影響を記述したモデル。
*ADME(Absorption, Distribution, Metabolism, Excretion)	吸収・分布・代謝・排泄。
*ADME/Tox(ADME toxicity)	ADMEを解明する手法。実験系も含む。

大分類: 産業・ 広域・ 生活	環境媒体	削減対象物質群	対策課題(技術)	技術No.	開発目標	開発要素	具体的テーマ例	技術課題例	主な削減対象物質	主な排出産業(技術の適用先)	その技術によって生産される製品	将来的にその技術の必要性	市場規模	評価項目		評価項目				
														リスク削減効果	産業競争力強化		他の業界や分野への波及効果、技術の将来性			
大気	VOC/清浄	分解	分解	E01	完全酸化分解により、排出VOCを大幅に削減する	酸化剤、触媒	オゾン(プラズマ)利用接触分解	・オゾン酸化、プラズマ併用触媒(鉄系、ニッケル系等) ・小型ハニカムローター ・吸着剤濃縮による低温プラズマ分解装置 ・キューリー点制御による高効率回収装置	BTX他	洗浄、接着、印刷、塗装	分解装置	中小企業、技術力確保	大	小:100億円以下 中:100億円-500億円 大:500億円以上	小:100億円以下 中:100億円-500億円 大:500億円以上	高い 中 低い	高い 中 低い			
				E02	プロセス	マイクロオスターピンを用いたVOC分解・除去	プロセス	マイクロオスターピンを用いたVOC分解・除去	・リバーバーン燃焼(超希薄有機ガスの完全燃焼技術)触媒、後段排ガス分解触媒 ・低温、小型熱交換器 ・電力発生への負荷変動対策、系統連携	トルエン、酢酸ブチル等	化学、石油	分解装置	中小企業、技術力確保	小						
				E03	プロセス	マイクロ波プラズマを用いた完全分解プロセス	プロセス	マイクロ波プラズマを用いた完全分解プロセス	・マイクロプラズマ共振器(周波数変換 コスト、出力方法) ・ハニカム分解触媒(高シリカゼオライト、酸化チタン系光触媒、活性炭等)	トルエン、n-ブタン	洗浄、接着、印刷、塗装	分解装置	中小企業、技術力確保	小						
				E04	触媒	低温接触分解プロセス	触媒	低温接触分解プロセス	・非貴金属系触媒(固体酸系触媒(シリカ系、ゼオライト系)、酸化鉄系触媒など) ・希薄燃焼プロセス、低温熱交換 ・酸化物イオン包蔵各種アルミ/ケイ酸塩 ・ゼオライト複合触媒(ゼオライトとPt-アルミナ複合化)	トルエン、n-ブタン等	洗浄、接着、印刷、塗装	分解装置	排ガス、技術開発確保	大						
				E05	装置	熱交換型触媒燃焼	装置	熱交換型触媒燃焼	・コンパクトなフィン型内部熱交換器 ・酸化分解触媒(Pt、Ni、Cu等)	トルエン、n-ブタン等	化学、石油	分解装置	中小企業、技術力確保	中						
				E06	酸化剤、触媒	固体酸触媒による触媒燃焼	酸化剤、触媒	固体酸触媒による触媒燃焼	・酸化物イオン包蔵各種アルミ/ケイ酸塩 ・ゼオライト複合触媒(ゼオライトとPt-アルミナ複合化)	トルエン、n-ブタン等	化学、石油	分解装置	中小企業、技術力確保	中						
		E07	高性能ガス分離膜でVOCを捕集し、排出VOCをゼロにする	膜材料	ガソリンペーパーの回収・分解 ・消毒・滅菌剤の回収・分解	・シリコンゴム中空糸膜と膜モジュール化 ・炭素系水分離膜と組み合わせ	トルエン、エチレングリコール	石油製品、医療用品	分離膜	移動体、技術力確保	大									
		E08	無機・有機ハイブリッド膜、複合酸化物、層状化合物等吸着剤による分離	材料、プロセス	無機・有機ハイブリッド膜、複合酸化物、層状化合物等吸着剤による分離	・生分解性生体高分子材料含有ハイブリッド膜 ・メンブレンリアクター	トルエン、n-ブタン	石油製品	分離膜	VOC削減 技術力優位										
		E09	無溶剤プロセス化によって、溶剤消費量を大幅に削減する	プロセス	無溶剤による合成、分離・抽出	・ポリエステル合成、2分子間縮合、クマリン誘導体等 ・マイク波・高周波加熱、超臨界流体利用	トルエン、キシレン	化成製品、医薬品	薬品、ファイン	GSC、技術力優位	大									
		E10	低環境負荷溶剤を使用する生産プロセスによりVOC排出量を大幅に削減する	溶媒、プロセス	アルコール、炭化水素系溶媒による合成、分離・抽出	・界面活性剤型触媒(環境調和型アゾ化合物類の合成) ・高分子担体によるアルコール・炭化水素/水抽出プロセス	トルエン、キシレン	化成製品、医薬品	薬品、ファイン	GSC、技術力優位	大									
		E11	水溶性触媒、イオン性流体によるグリーン化	溶媒、触媒	水溶性触媒、イオン性流体によるグリーン化	・金属錯体触媒によるオキソ反応、選択水素化、異性化 ・水溶性錯体触媒、相間移動触媒によるシンプレ化反応	トルエン、キシレン	医薬品	キラル化合物、色素	GSC、技術力優位	中									
		E12	VOCフリー加工技術	プロセス	VOCフリー加工技術	・超臨界CO ₂ による塗装、洗浄プロセス ・溶剤混合/ノズル ・ポリオレフィン用高性能接着剤 ・反応型水系ポリウレタン樹脂の合成	トルエン、酢酸ブチル	塗装、印刷	塗料	VOC規制、技術力優位	中									
		E13	環境調和型エマルジョン	材料、プロセス	環境調和型エマルジョン	・有機溶剤代替洗浄 ・超音波利用によるエマルジョンの生成(界面活性剤の不使用)	トルエン、キシレン	化成製品、医薬品	加工、薬品、ファイン	GSC、技術力優位	中									
		E14	多段合成工程をシンプレ化・小型化して、漏れVOC量を大幅に削減する	触媒、プロセス	マイクロリアクターによるシンプレ化及び高速化	・アルデヒド類の高速・高選択合成(多段階突型) ・ベンゼンのフェーラルへの直接酸化	トルエン、キシレン	化成製品、医薬品	医薬原料	GSC、技術開発確保	中									
		E15	複数工程を融合した反応場による工程簡略化	触媒、プロセス	複数工程を融合した反応場による工程簡略化	・超音波、マイクロ波、高周波を利用したナノ材料合成、有害物質の分解、殺菌プロセス ・イオン性流体、超臨界流体による水和、水素化、メチル化、無機有機ハイブリッド材料 ・メンブレンリアクター(ガス分離、水分除去)	トルエン、キシレン(有害副生物削減)	化成製品、医薬品	原材料、ファイン、医薬原体	GSC、技術力優位	中									
		E16	最少量の反応起エネルギーによって有害副生物の発生を抑制する技術を開発する	触媒、プロセス	反応の必要部分のみが選択的に加熱励起されるシンプレ化システム	・マイクロ波によるポリエステル、プロピレン選択的還元 ・高選択加熱による芳香族ポリカーボネートの製造 ・高誘電体(固体スルホン酸系触媒、固体高分子触媒)	トルエン、キシレン(有害副生物削減)	化成製品、医薬品	ファイン	GSC、技術力優位	大									
		E17	低環境負荷溶剤への代替により、VOC排出の原因となる溶剤の使用量を大幅に削減する	溶剤、プロセス	環境調和型リサイクル溶剤	・グリコールエーテル系、乳酸エステル、エタノール誘導体、テルペン系溶剤等のバイオサーファクタント	ジクロロメタン等	金属製品	溶剤等	リサイクル、技術開発確保	大									
		E18	速乾性水性塗料(カルボキシ基含有系塗料組成物)	材料	部品・補修用水系塗料	・速乾性水性塗料(カルボキシ基含有系塗料組成物) ・サブリエマルジョン塗料、硬化剤	トルエン、酢酸ブチル	輸送用機械器具、金属	塗料	VOC規制、技術開発確保	大									
		E19	UV硬化樹脂、粉体樹脂による塗料化	材料	UV硬化樹脂、粉体樹脂による塗料化	・サブリエマルジョン、粉体モノマー ・発色塗料、硬化剤	トルエン、酢酸ブチル	輸送用機械器具、金属	塗料	VOC規制、技術開発確保	大									
		E20	触媒燃焼技術により、希薄濃度での低温燃焼技術を開発し、NOx生成量を大幅に削減する	プロセス	低NOx燃焼システム	・リバーバーン触媒(ジルコニア系複合酸化物、活性炭素繊維等) ・低NOxバーナー	NOx	化成製品、石油製品	排ガス装置	温暖化、技術力優位	大									

産業	微粒子類	分解	E21	NOxを還元無害化する	触媒、プラズマ	触媒とプラズマの組合せによるNOx選択的触媒還元分解	・省エネ型プラズマ発振器 ・NOx還元(還元剤: C3炭化水素)触媒(Ag-アルミナ, 銅系触媒など)	NOx	固定発生源燃焼炉	排ガス装置	温暖化、技術力確保	小				
			E22		触媒	NOxの選択的触媒還元分解	・CO、水素を用いた選択的触媒 ・ Etaノールを用いたAg-アルミナ触媒 ・シリコン系セミアキス-NiO触媒によるNOx浄化用電気化学リアクター	NOx	固定発生源燃焼炉	排ガス装置	温暖化、技術力確保	大				
		原料転換	E23	未利用資源を資源化して、微粒子の発生しにくい燃料資源量を拡大する	触媒、プロセス	低品位炭化水素からのオレフィン、合成ガス製造	・酸化ダイヤモンド・ニッケル触媒による合成ガス製造 ・放電によるメタンからのオレフィン合成	NOx, SOx	化成品、石油製品	機能性化学品	資源確保、技術力確保	大				
			E24		触媒、プロセス	低品位化石資源中の重金属除去と再資源化	・硫化水素による金属水銀の除去技術 ・塩化揮発法による非鉄金属の分離濃縮	Hg, V, S, Ni, As	石油製品	回収装置	国際規制、技術開発確保	大				
			E25		触媒、プロセス	未利用資源の有効原料転換	・超重量留分の脱アルキル化による単純芳香族化合物 ・セルロース系バイオマスからのL-乳酸の合成 ・セルロースの低環境負荷・高効率糖化技術 ・グルコースの発酵・酵素反応による化学品誘導	NOx, SOx	化成品	機能性化学品	資源確保、技術力確保	大				
			E26		触媒、プロセス	CO ₂ 、DME等を利用した化成品製造	・超臨界CO ₂ を使用したホルムアミド誘導体 ・DMEからのプロピレン転換 ・鉄・亜鉛/プロトン置換Y型ゼオライト触媒のオレフィン合成	NOx, SOx	化成品、石油製品	機能性化学品	資源確保、技術力確保	大				
	アスベスト、PCBなど	代替物質	E27	アスベスト代替製品を開発する	材料	シール代替品材	・膨脹黒鉛とマイカ/粘土等複合材料、酸化物セラミックスシール材 ・バックキへの展開、寿命実証	アスベスト	プラント	プラント用材料	負の遺産、技術力優位	中				
		飛散防止技術	E28	無害なアスベスト除去システムを構築する	材料、プロセス	剥離・回収・飛散防止	・飛散防止コーティング材(保水剤、増粘剤等) ・硬化性高分子材料等の劣化防止 ・無人ロボットのマニピュレーター及び制御システム	アスベスト	産廃処分業ビル・住宅	コーティング材、処理システム	負の遺産、技術力確保	大				
	優先22物質	分離・除去	E29	有害金属の分離・隔離技術を開発する	吸着	水銀及び有害金属の分離・除去と最終処分法	・硫化水素法(特に石炭燃焼ガス) ・集塵装置前に活性炭の吹込み ・槽への活性炭又はFCC触媒の吹込み ・活性炭、イオウ担持活性炭など ・(水銀)アマルガム、硫化物等による固定化 ・鉄系吸着剤	Hg, As他	電力会社(火力発電所)	排ガス装置・回収装置	国際規制、技術開発確保	小				
			E30		材料	吸着剤による重金属等の分離・除去	・バイオマス起源炭素系吸着剤、高表面積シリカ ・金属酸化物粒子の浮遊分離・比重分離	Ni, Mn, As, Be, Cr ⁶⁺	化学、電力	回収装置	資源確保、技術開発確保	大				
	陰イオン	分離・除去	E31	新規な高効率有害陰イオン分離技術を開発する	吸着材	排水中からの分離・除去	・無機層状イオン交換体ハイドロタルサイト ・イオン交換型炭素繊維	As, Se	金属、化学	回収装置	環境対応、技術開発確保	中				
			E32		イオン交換	水中の陰イオン交換分離	・吸着剤・ハイドロタルサイト層状化合物 ・合成条件と吸着能力	F, B, P, As, Seなど	金属、非鉄金属	有害物処理システム	環境対応、技術開発確保	大				
			E33		材料	高性能イオン交換膜、多機能吸着材による選択回収・除去	・Mg又はMg合金系吸着材による金属イオン等の除去	F, B, Cd, Pb, Hg, As, Cr	金属、非鉄金属	有害金属回収システム	環境対応、技術開発確保	中				
			E34		吸着材	EP灰溶出液からのほう素・セレンの除去	・N-メチル-ポリヒドロキシシキル-アミノ基を有するキレート樹脂 ・吸着容量の拡大	B, Se	電力会社(火力発電所)	分離システム	分離装置技術力優位	大				
	重金属類	分離・除去	E35	新規な高効率有害金属分離技術を開発する	吸着剤微生物	電気めっき・めっき排水からの金属分離	・高表面積活性炭等吸着剤(2000cm ² /g以上) ・硫酸ジルコニウム吸着剤(ホウ素の吸着) ・金属陰イオン分離材(N-メチルグルカミン型ホウ素選択性陰イオン交換樹脂、多価アルコール導入型ホウ素選択性陰イオン交換樹脂等) ・高選択的鉄酸化細菌を用いるスラリー型反応装置による金属分離 ・鉄粉添加による中和沈殿	B, F, CNなど、重金属	めっき業	めっき製品回収システム	汚泥処理、技術開発確保リサイクル	中				
			E36		溶媒抽出	無電解めっき廃液からの分離・除去・回収	・エマルションフロー溶媒抽出法 ・ホウ酸分離材(N-メチルグルカミン型ホウ素選択性陰イオン交換樹脂)	Ni	めっき業	めっき製品	汚泥処理、技術開発確保	小				
			E37		材料	弱酸性、弱塩基性キレート修飾高分子分離膜	・高分子膜、ポリスルホン膜、酢酸セルロース膜 ・弱酸性、弱塩基性修飾、キレート修飾	Se, Pb, Cr等	金属、非鉄金属	分離膜						
	水域	再生・長寿命化	E38	メッキ廃液の再生システムを開発して、重金属類の排出量を大幅に削減する	プロセス	めっき老廃液の再生、長寿命化	・Na、シュウ酸、亜硝酸イオン等の除去 ・逆浸透膜による脱塩、イオン交換膜によるクロード化	Ni	めっき業	めっき製品	汚泥処理、技術開発確保	中				
		分解	E39	難分解性物質の完全酸化分解技術を開発する	材料	分離濃縮と完全酸化分解	・ハイシリカゼオライト等イオン交換膜、多機能吸着材 ・オゾン酸化分解 ・超音波照射オゾン酸化処理	トリクロロエチレン	化成品、医薬業	分解装置	汚泥処理、技術開発確保	中				
				E40		酸化	マイクログラブルによる直接酸化分解	・オゾン発生装置(コスト、出力効率) ・分解プロセス、後処理工程 ・超音波との併用による分解	フェノール類、ジオキサン	化成品	分解装置	国内規制、排水処理	小			

	難分解性物質等	E41	難分解性物質1,4-ジオキサンの高効率分解技術を開発する		マイクロバブルオゾンを用いた酸化分解の促進	・酸化分解促進条件 ・マイクロバブルオゾン装置の設計	1,4-ジオキサン	洗浄,有機合成反応溶剤など	分解装置	規制技術開発確保						
		E42				超音波と酸化チタン光触媒による分解	・光触媒による酸化分解 ・超音波と紫外線照射との併用	1,4-ジオキサン	洗浄剤,有機合成反応溶剤など	分解装置	規制技術開発確保					
		E43					微生物による1,4-ジオキサンの分解	・カビ菌の分解効果 ・分解菌の探索と分解能の向上	1,4-ジオキサン	洗浄剤,有機合成反応溶剤など	分解装置	規制技術開発確保				
	代替物質	E44	高機能を有する難分解性物質の代替物質を開発する	材料	PFOS, PFOAの代替物質	・非フッ素系界面活性剤	PFOS, PFOA	化成品,繊維	PFOS, PFOAの代替物質	規制技術開発確保	中					
	富栄養化物質	分離	E45	メンテナンスの容易な高性能リ回収システムを開発する	プロセス	抽出	・高選択吸着材(ジルコニウムフェライト, ジルコニウム-メソ構造体) ・高選択性で耐ファウリング性の透過膜 ・リン酸固定化剤(カルシウム塩) ・濃縮, 分離プロセス	P	無機化学, 酸/アルカリ処理施設, 電気めっき	回収装置	資源確保, 技術開発確保	中				
		分解	E46	硝酸性窒素除去高温活性微生物を開発する	微生物	高濃度硝酸性窒素含有排水処理	・アナモックス菌のモジュール化 ・遺伝子組み換えによる高温活性化 ・イオウ酸化細菌の造粒化 ・後段排水処理	N	無機化学工業, 非鉄金属製造業, 表面処理施設	処理システム	健康安全, 技術開発確保	大				
	土壌	分離	E47	有機ハロゲン汚染土壌の浄化	超臨界二酸化炭素	・ハロゲン化合物の分離技術 ・高効率酸化処理技術	・超臨界CO ₂ によるトリクロロエチレン分離 ・フェントン処理と超音波処理の併用	トリクロロエチレン	洗浄施設	処理システム	都市計画, 技術力優位	中				
		分解	E48	PCB汚染土壌の浄化	減圧還元加熱分解	新規還元分解法	・減圧還元加熱法 ・ニッケル触媒による水素化分解	PCB	小型電気機器	処理システム	負の遺産, 技術力優位	中				
	廃棄物	有機化合物	分解	E49	プラスチックの高効率接触分解により原料ナフサ, モノマーを回収する	触媒	・低温接触分解触媒の開発 ・触媒不活性化元素の分離処理技術 ・低コスト収集・精製技術	・炭素 - 炭素結合切断触媒(ニッケル, パラジウム触媒) ・ポリオレフィン系化合物のモノマー分解触媒(メタロシリケート触媒)	添加剤	プラスチック製品製造業	処理システム	資源確保, 技術開発確保	大			
		難分解性物質等	分離・分解	E50	PCBの無害化	真空加熱	・製品からのPCBの分離技術 ・脱塩素技術 ・収集法/処理工場の立地 ・運転管理技術	・真空加熱分離法, 化学溶剤処理 ・アルカリ触媒による脱塩素化分解	PCB	電池製造業	処理システム	負の遺産, 技術力優位	中			
分解			E51	ハロゲン含有プラスチックからのハロゲンの回収・資源化	熱分解	ポリ塩化ビニルからの塩素の回収と有効利用	・塩素分離技術 ・塩化塩発法による非鉄金属の分離への活用	PVC, 塩素	化学工業	処理システム	廃棄物削減, 技術開発確保	大				
重金属類		分離	E52	排水中の重金属類を分離・回収し, 排出量を大幅に削減する	分離材	排水スラッジ中の金属イオン分離・回収	・高選択イオン交換樹脂, 炭素系膜分離 ・金属イオン濃縮プロセス(希硫酸浸出・溶媒抽出) ・水溶性ポリマーと多孔質膜を組合わせた金属イオン濃縮	Zn, Ni	めっき業	めっき製品	リサイクル, 技術開発確保	中				
			E53		プロセス	精錬やリサイクルにおける有害物分解・無害化	・精錬プロセスにおけるAs, Zn分離材, 無害化 ・鋼材のリサイクルにおけるCr, Ni濃縮材	As, Zn等	金属, 非鉄金属	処理システム	健康安全, 技術開発確保	小				
汚泥		分離・資源化・固定化	E54	金属含有スラッジの資源化・減量化・安定化	プロセス	金属含有スラッジの資源化・減量化・安定化	・新規凝集材・分離剤, 選択的フェライト材及びプロセス ・溶剤濃縮・リサイクルによる長寿命化 ・スラッジの安全な再利用法(用途) ・新規酸化物沈殿法, フェライト化処理 ・高分子系希薄金属イオン吸着材	Pb, Sn, Znスラッジ	金属, 非鉄金属, めっき業	回収・処理システム	汚泥処理, 技術開発確保	大				
			E55	廃棄される酸/アルカリ量を大幅に削減する	触媒	固体酸・塩基触媒活用技術	・固体酸触媒によるアルコールー酸化炭素からのカルボン酸合成 ・希土類の長鎖アルキル硫酸塩によるアルドール縮合	塩酸, 硫酸, 水酸化ナトリウム	化成品, 繊維	機能性化学品	GSC, 技術開発確保	大				
廃酸・廃アルカリ		分離	E56	機能性分離膜等による廃酸・廃アルカリの回収・固定化	材料(膜)	機能性分離膜等による廃酸・廃アルカリの回収・固定化	・二級及び三級アミン型置換基を有する硝酸分離膜 ・バイポーラ膜(アニオン交換膜/カチオン交換膜)電気透析による分離	塩酸, 硫酸, 水酸化ナトリウム	化成品, 繊維	硝酸分離膜	GSC, 技術開発確保	中				
			E57	溶剤型と同等以上の塗膜性能を有する水性塗料を開発する	材料	屋外用, 防食製品用水性塗料	・低温硬化性塗料 ・水和反応促進エマルジョン型塗料	トルエン, 酢酸エチル	輸送用機械器具, 金属	塗料	VOC, 技術開発確保	大				
大気		VOC	代替物質	E58	NOx還元無害化する	触媒	NOx直接分解	・Ba(La)Mn(Mg)系, SrFeO3系直接分解触媒 ・アルカリ添加酸化コバルト触媒	NOx	燃焼設備	分解装置	温暖化, 技術力確保	大			
	E59				触媒/還元材	希薄な排ガス中NOxの選択的接触還元分解	・炭化水素還元, メタン還元法 ・ヘテロポリ酸担持Pd触媒 ・メタン還元法 ・ソルボサーマル法によるPt/CeO2触媒(水素還元) ・新規複合酸化物触媒燃焼プロセス	NOx	燃焼設備	分解装置	温暖化, 技術力確保	大				
	微粒子類	E60	排ガス中の微量PMの大幅削減技術を開発する	触媒	非金属触媒燃焼	・貴金属代替触媒(Cu, Co, Mn)担持マイクロ-メソ多孔質体) ・排ガス中の副生物捕集処理プロセス	PM2.5	固定発生源燃焼炉	分解装置	国際動向, 技術開発優位	中					
		E61		触媒	触媒燃焼技術	・BaO-Al2O3, SrO-Al2O3等のヘキサアルミネート系複合酸化物触媒 ・低NOx高負荷燃焼型バーナー	PM2.5	固定発生源燃焼炉	分解装置	国際動向, 技術開発確保	大					
		E62		触媒	酸素イオン伝導材料による触媒燃焼技術	・Mn系ペロブスカイト型酸化物触媒 ・La2GeO5系酸化物およびLaGeO5系酸化物	PM2.5	固定発生源燃焼炉	分解装置	国際動向, 技術開発優位	中					

分野	技術種別	技術ID	技術概要	対象物質	技術内容	対象物質	発生源	処理方法	健康・環境リスク	技術成熟度	開発状況	備考	
													削減
水域	有機化合物	吸着分離	E63	電気集じん法による分離・除去	材料・プロセス	電気集じん法による分離・除去	PM2.5	発電機 回収装置	国際動向 技術開発優位	中			
			E64	新規な高吸着容量を持つ吸着剤による省エネルギー資源回収プロセスを開発する	材料	吸着剤による分離・除去 省エネルギー分離・回収プロセス	PAHs	焼却場 処理システム	環境対応 技術開発確保	中			
	高栄養化合物	分離・除去	E65	微生物による富栄養化物質の一段除去プロセスを開発する	微生物	窒素・リン・BODの同時除去	N, P	下水道業 処理システム	健康安全 技術開発確保	中			
			E66	排水中のアンモニアの窒素化技術の開発	紫外線照射	低濃度アンモニアの高効率硝化技術 脱窒技術	N	下水道 回収装置	国際規制 技術開発確保	中			
			E67	新規な化学的リン除去技術を開発する	吸着材	排水中のリン分離・除去	P	畜産農業、下水道業 処理システム	健康安全 技術開発確保	中			
			E68	生物学的及び化学的濃縮と晶析との併用による分離・回収法	バイオ/晶析	バイオテクノロジー及び晶析法による分離・除去	P	畜産農業、下水道業 処理システム	資源確保 技術開発確保	中			
			E69	微生物及び触媒による富栄養化物質の完全分解プロセスを開発する	バイオ	生物処理とマイクロバブル法との組合せ	N系化合物	下水道業 有害物処理システム	健康安全 技術開発確保	大			
		E70	新規な芳香族系物質の濃縮と分解技術を開発する	吸着材	溶媒抽出と化学的および生物学的分解技術	クロロフェノール類	染料 処理システム	健康安全 技術開発確保	中				
	難分解性物質等	分離・分解	E71	微量ハロゲン系物質の分解技術を開発する	触媒、材料	光触媒及び電気分解による分解技術	トリハロメタン等	上水道、化学品、金属製品 処理システム	健康安全 技術開発確保	小			
			E72	分解細菌による高効率分解技術を開発する	バイオ	シデロフォア(低分子ペプチド)を利用した有機スズ化合物の分解法 シュードモナスフルオレセンス細菌の分泌物ビヨベルディンによる分解	有機スズ(TBT, TPhT, DBTなど)	船底塗料 処理システム	負の遺産 技術力確保	大			
			E73		バイオ	有機スズ分解菌の探索	有機スズ(TBT, TPhT, DBTなど)	船底塗料 処理システム	負の遺産 技術力確保	大			
			E74		バイオ	微生物によるノニールフェノールの分解	ノニールフェノール	界面活性剤原料 処理システム	健康安全 技術開発確保	大			
			E75		バイオ	分解菌(RG株, E1株)抽出と分解	分解微生物の単離(Mycobacterium sp Strain A) 分解効率の向上 より高い分解能力を持つ菌の抽出	DEHP*	プラスチック可塑剤 処理システム	健康安全 技術開発確保	大		
			E76	難分解性物質の高度処理プロセスを開発する	プロセス	高機能担体の生物学的処理 促進酸化による物理化学的処理	ビスフェノールA, 774酸エステル類 ポリカーボネート樹脂, エポキシ樹脂原料 DEHP*等	有害物処理システム	健康安全 技術開発確保	大			
	広域	分離	E77	吸着容量の大きい吸着材を開発し、水質を大幅に浄化する	吸着剤	吸着剤による排水中の難分解性物質の高度分離	ビスフェノールA, 774酸エステル類	公共水域 有害物処理システム	健康安全 技術開発確保	大			
			E78		吸着剤	水中から非イオン界面活性剤を選択的に除去	4-ニールフェノールエチレングリコール	界面活性剤 処理システム	健康安全 技術開発確保	中			
	重金属類	分離	E79	新規な高効率重金属分離技術を開発する	材料	微量有害金属イオンを分離するキレート樹脂吸着剤	Cd, Pb, Hg, As, Cr	金属、非鉄金属 吸着剤	健康安全 技術開発確保	小			
			E80	有害な無機顔料の代替物質を開発する	材料	新規高性能酸化物系無機顔料	Pb, Cd, Cr, Se, V	金属、非鉄金属 顔料	微粒子 技術力優位	大			
広域	代替物質	E81	ハロゲン含有難分解性有機物の安価な処理技術を開発する	プロセス 複合粒子材料(鉄粉)	脱ハロゲン分解技術 分離技術	高周波誘導プラズマと金属触媒 高選択イオン交換型吸着剤 ナノ・Fe3O4複合粒子による脱塩素反応 電気化学的方法による分解 メタンを用いたバイオメタジェーション 特殊還元鉄粉による脱塩素反応 分離、除去プロセス	DXNs, トリクロロエチレンなど有機塩素化合物	下水道、廃棄物処理業 処理システム	健康安全 技術開発確保	大			

土壌	難分解性物質等	分解・除去	E82	汚染土壌を低環境負荷で高速に修復するレメディエーション技術を開発する	バイオ、微生物、複合粒子	有機ハロゲン汚染土壌のバイオレメディエーション技術	・嫌気性集積培養菌の活性強化 ・メタン酸化性細菌による分解 ・電子供与体の利用等による反応条件の最適化 ・原位嫌気性菌の活性強化 ・菌体のモジュール化 ・Ru ₂ -Fe ₃ O ₄ 複合粒子の改良 ・低温熱分解プロセス ・DNA水溶液法 ・機能性たんぱく質による無害化	テトラクロロエチレン、四塩化炭素、DXNs等	土地浄化	処理システム	負の遺産、技術開発確保	中			
			E83		材料	新規ケミカルレメディエーション技術	・乳化油基質 (EOS) の改良 ・鉄粉等還元処理、フェントン反応によるオンサイト処理	クロロホルム、四塩化炭素など	土地浄化	処理システム	負の遺産、技術開発確保	小			
		有機化合物	分離	E84	吸着材	油汚染土壌の吸着分離技術	・結晶化溶融スラグ吸着材 ・油分解バクテリア担持セルロース繊維吸着材 ・天然繊維の油吸着材	油、PAHs	土壌浄化	処理システム	負の遺産、技術開発確保	中			
	分解		E85	バイオ	VOC汚染土壌の微生物による分解技術	・嫌気性菌によるバイオレメディエーション ・酵素、たんぱく質による分解、吸着・回収	VOC	土地浄化	処理システム	負の遺産、技術開発確保	中				
	重金属類	分離	E86	プロセス有機酸	重金属汚染土壌のオンサイト処理	・イオン電極法による重金属除去 ・電解還元による重金属除去 ・マグネシウム合金による吸着 ・有機酸法による分離 ・鉱酸抽出による分離	Pb, As, Hg等の重金属	金属、非鉄金属、土壌浄化	処理システム	負の遺産、技術開発確保	中				
			E87	バイオ	ヒ素及び水銀汚染土壌の分離・濃縮	・モエジマンガによる濃縮分離 ・鉄/バクテリアによる生物酸化 ・ヒ酸還元菌とメタエクター併用による可溶化 ・ファイトレメディエーションによる分離・濃縮 ・水銀揮発化能を有する微生物の探索と活性強化 ・鉄酸化細菌による水銀の還元酸化	As, Hg	土壌浄化	処理システム	負の遺産、技術開発確保	小				
		E88	バイオ	ファイトレメディエーションによる重金属の分離	・遺伝子組み換え植物体の創出 ・重金属高集積植物の活用	Cd, Ni, Pb, Cu等	産業、非鉄、	重金属処理用植物体	負の遺産、技術開発確保	小					
		不溶化	E89	不溶化	土壌中のAs等重金属の不溶化	・高炉スラグによる不溶化技術 ・硫化ソーダ、チオ硫酸ソーダ等による不溶化 ・活性Fe-Al系資材による不溶化 ・シュベルマナイトによる不溶化	As等重金属	土壌浄化	処理システム	負の遺産、技術開発確保	小				
	廃棄物	アスベスト	無害化・計測技術	E90	含有アスベストの迅速で安価な微量分析技術を開発する	検知技術	超微量検出・計測技術開発	・簡易染色法、偏光顕微鏡、バイオ技術による検出、自然放射線を利用した非破壊検知、位相差顕微鏡 (検出感度 0.1%) など ・簡易X線分析装置	アスベスト	ビル・住宅、プラント	検知装置	負の遺産、技術開発確保	大		
E91				アスベスト含有物の無害化・再資源化技術を開発する	プロセス超微粉砕	・低含有アスベスト建材等の変性・分解無害化技術 ・複合材料化	・低温溶融、過熱水蒸気 ・マイクロ波等による無害化、リサイクル技術 ・新規粉砕化 ・メカノケミカル反応による分解・無害化 ・添加材による機能材料化	アスベスト	ビル・住宅、プラント 廃棄物処理場	処理システム	負の遺産、技術開発確保	大			
重金属類		分離	E92	堆積した底泥の低環境負荷・高速現場処理技術の開発	材料	・底泥の生物学的処理 ・底泥の化学的処理	・転炉スラグ還元による分離・固定化 ・硫酸脱窒細菌担持ゼオライトによる還元	N	汚泥処理場、河川等	処理システム	健康安全、技術開発確保	大			
		分離・除去	E93	溶融飛灰、焼却灰中の重金属類の除去効率の高い新技術を開発する	塩化揮発	溶融飛灰中の分離・除去、無害化	・減圧加熱法による多成分塩化物揮発分離 ・酸による抽出分離	重金属塩化物	燃焼飛灰処理	処理システム	健康安全、技術開発確保	小			
			E94		浮選	焼却灰中の分離・除去、無害化	・ASR焼却灰からの浮選・分離 ・PVC添加による塩化揮発分離	重金属	燃焼飛灰処理	処理システム	健康安全、技術開発確保	中			
固定化	E95		薬剤処理	焼却飛灰中の重金属不溶化	・選択的不溶化薬剤 ・二軸混練機プロセス ・キレート吸着による固定化	Cd, Pb, Hg等	燃焼飛灰処理	処理システム	健康安全、技術開発確保	小					
生活	大気	VOC	分解	E96	メンテナンスフリーで高効率なVOC光分解技術を開発する	触媒、プロセス	光触媒材料による分解	・可視光型光触媒 ・TiO ₂ /光触媒フィルタ ・TiO ₂ /光触媒コーティングカーボンナノチューブ	VOC, NOx	接着剤、石油製品	分解装置	環境対応、技術力優位	大		
				E97		材料	光触媒ナノチューブによる分解除去	・酸化タンクステナナノチューブ ・マイクロ-メソ孔シリカ多孔体	アルデヒド	住宅内	住宅部材	健康安全、技術力優位	中		
	代替物質	E98	フェノール樹脂接着剤と同等以上の接着性能と信頼性を有する安価で操作性の良い接着剤を開発する	材料	ホルムアルデヒドを使わない高強度接着剤	・ポリウレタン系接着剤 ・ノンハロゲンエポキシ剤 ・酢酸ビニル樹脂接着剤	ホルムアルデヒド	住宅内、出版・印刷	接着剤	健康安全、技術開発確保	中				
	水域	有機化合物	代替物質	E99	生分解性で洗浄力の高い洗浄剤を開発する	材料	高洗浄力洗浄剤	・生分解界面活性剤 (バイオサーファクタント、酵素洗剤など) ・分解性、使用量、生態毒性、有機物負荷量等	界面活性剤	家庭	洗剤	健康安全、技術力優位	大		
廃棄物	難分解性物質等	代替物質	E100	有害物質を使用せず、材料の再利用が容易な新規難燃化技術を開発する	材料	アンチモン、ハロゲン、リンを使用しない新規高性能難燃化剤	・ノンアンチモン、ノンハロゲン系難燃剤 ・難燃性ポリオレフィン、ポリカーボネート樹脂 ・シリコン、リン変性樹脂による非臭素系難燃材	ポリ臭化ビフェニル	化成品、自動車	難燃材	健康安全、技術開発確保	大			

注1) 評価: 〇:2.5以上, 〇:2.5未満~2.0, 〇:2未満

注2) DEHP*:環境中での分解半減期が比較的長い

注3) 全体:56件(産業) + 39件(広域) + 5件(生活) = 100件 (大気:41件, 水域:33件, 土壌:11件, 廃棄物:15件)

大分類: 産業・ 広域・ 生活	環境 媒体	削減対象物質 群	対策課題 (技術)	技術 NO.	開発目標	開発要素	具体的テーマ例	技術課題例	主な削減 対象物質	主な排出 産業 (技術の 適用先)	その技術 によって 生産される 製品	将来的に その技術 の必要性 (キーワ ード) 技術開発 確保・基 礎力 技術力優 位:チャン ピオン	市場規模		評価項目 リスク削減効果		評価項目 産業競 争力強 他の業界 や分野へ の波及効 果、技術 の将来性
													小:100 億円以下 中:100 ~500 億円 大:500 億円以上	a. ハザード や排出削減量から 見たリスク削減ポ テンシャル :大 :中 :小	b. コスト(純 粋にコストとして評 価) :安い :中くらい :高い	:高い :中くらい :低い	
大気	VOC	分解	E101	酸化分解により、排出VOCを大幅に削減する	光触媒	光触媒材料による燃焼排ガス中のアルデヒドの分解	・酸化チタン光触媒と歯車型拡散スクラパー ・光触媒コーティングナノチューブ	アルデヒド	燃焼設備	スクラパー設備	中小企業技術開発確保	小					
																分離	E102
		微粒子類	分解	E103	NOxを還元無害化する	プラズマ	吸着剤によるNOx濃縮と窒素非熱プラズマによるNOx還元	NO	電力会社(火力発電所)	電力	排ガス装置技術開発確保	中					
																触媒/還元材	貴金属触媒および還元材によるNO選択的接触還元技術
						触媒	酸素イオン伝導体を用いた電気化学的NOx還元	NOx, PM2.5	固定発生源燃焼炉	電力他	排ガス装置技術力優位	大					
																E105	有害金属の分離・隔離技術を開発する
	有機化合物	分解	E107	有機化合物の分解技術を開発する	凝集材	バルブ漂白排水の酸化酵素と凝集剤による処理	漂白酸化酵素(ペロキシターゼ, チロシナーゼ等) ・凝集剤(陽イオン性高分子凝集剤:キサンタン、ポリジアミン、EPA、ポリ重縮合物等)	バルブ漂白排水	紙・バルブ産業	有機汚泥の利用	汚泥処理技術力優位	大					
																E108	コロナ放電
			E109	凝集沈殿、酸化分解	写真廃液の酸化分解と凝集沈殿処理	・オゾン酸化分解 ・鉄による凝集沈殿	亜硫酸イオン、p-メチルアミノフェニル硫酸塩	写真産業	有害物処理システム	分解装置技術力優位	中						
															難分解性物質等	分離	E110
E111	プロセス	吸着剤による分離濃縮と抽出・回収	吸着剤:活性炭 ・超臨界二酸化炭素による抽出・回収	トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン等	洗浄設備	有害物処理システム	回収装置技術力確保	大									
												E112	流動床	流動床によるフェノール含有廃水の分解処理		PVAゲルビーズを担体とする流動床 ・パラニトロフェノール含有廃水の酸化処理	パラニトロフェノール
E113	触媒、電解	電解及び光触媒酸化によるニトロフェノール類含有廃液分解	電気分解:陽極-Ptめっきチタン板、陰極-チタン板 ・光触媒:酸化チタン	ニトロフェノール類	染料合成、化学薬品合成	有害物処理システム	分解装置技術開発確保	中									
												E114	電気分解	電気分解を利用した糖蜜廃液の脱色処理	酸化反応、オゾン酸化 ・電極:カーボングラファイト電極、チタン表面に白金酸化物を焼結した電極	メラニン、カメル、オリフェノール等糖蜜廃液	食品、製糖業

産業	水域	代替物質	E115	高機能を有する難分解性物質の代替物質を開発する	プロセス	PFOS、PFOAの計測、回収・無害化	・ヘテロポリ酸光触媒、過硫酸酸化剤 ・亜臨界水+鉄粉等による分解	PFOS、PFOA	化成品 繊維	PFOS、PFOAの処理システム	規制技術開発確保	中					
			陰イオン	分離	E116	新規な高効率有害陰イオン分離技術を開発する	除去	非平衡反応技術	・非平衡反応を用いたセレン酸イオン含有廃水処理	Se	セレン製造業	循環水の利用	分離装置技術開発確保	小			
		E117			析出		フッ素イオン含有排水の処理	・Ca添加によるCaF ₂ 種結晶表面への反応晶析 ・フッ化カルシウム法による高度処理	F	非鉄金属	陰イオン回収	分離装置技術開発確保	大				
	重金属類	分離	代替物質	E118	メッキ廃液の重金属を分離・再利用してスラッジの発生量を大幅に削減する	材料	電気ニッケルめっき浴のホウ酸の代替材料	・代替材料:クエン酸	B	めっき業	めっき液代替材料	めっき材料	中				
				E119		イオン交換樹脂	めっき廃液中のイオン交換樹脂による金属イオンの分離	・強酸性カチオン交換樹脂 ・弱酸性カチオン交換樹脂(選択性を有するキレート樹脂)	Ni, Zn, Cr	めっき業	Niめっき製品	分離装置技術開発確保	小				
				E120		溶媒抽出	無電解Niめっき高濃度廃液からの重金属分離	・酸性有機リン抽出剤による不純物の除去 ・キレート剤などの抽出液によりニッケル抽出の2段階抽出	Ni	めっき業	Niめっき製品	分離装置技術力優位	中				
				E121		吸着材	プリント基板エッチング廃液からのCu吸着分離	・ジチゾンを経結合したキレート繊維吸着剤 ・イミジ酢酸基を導入したキレート樹脂	Cu	半導体産業	プリント基板	分離装置技術力優位	中				
				E122		電解	電解技術によるプリント基板製造工場廃液中の重金属分離	・陽極:白金酸化物被覆チタン電極 ・陰極:ステンレス304	Cu他	半導体産業	金属回収	分離装置技術力優位	中				
				E123		共沈	めっき廃液中の重金属の共沈分離	・鉄粉添加による還元作用とZn, Ni, Cuなどの共沈	Zn, Cu, Ni	めっき業	Znめっき製品	分離装置技術開発確保	小				
				E124		吸着剤	吸着剤による水溶液中の重金属の分離	・吸着剤:マンガン酸化物Mn ₂ O ₃ ・吸着剤の再生	Cd, Hg	金属	有害物処理システム	分離装置技術力確保	小				
				E125		イオン交換樹脂	めっき排水中の複数重金属のイオン交換樹脂による高度処理	・ZnとCrの陰イオン交換樹脂による高度処理	Zn	めっき業	Znめっき製品	分離装置技術力優位	小				
				E126		電解	電解硫酸によるレジスト剥離	・電解硫酸(ペルオキシ-硫酸H ₂ SO ₅)剥離 ・剥離装置(枚葉処理)	硫酸	半導体産業	金属回収	分離装置技術開発確保	中				
	土壌	重金属類	分離	E127	高効率有害重金属分離技術を開発する	材料	高選択回収材料	・包接化合物等による重金属等のIn-situ回収	Pb, Cd, As, Cr	金属、非鉄金属	重金属処理システム	分離装置技術開発確保	中				
				E128		材料	土壌中の重金属の濃縮・回収	・マイクロカプセル等による回収	Pb, Cd, As, Cr	金属、非鉄金属	重金属処理システム	分離装置技術開発確保	中				
			分離・固定化	E129	亜臨界水	亜臨界水への溶解PbOをSiO ₂ により固定化	・亜臨界水によるPbOの溶出 ・SiO ₂ によるPbOの固定	Pb	土地浄化	浄化土壌	規制技術開発確保	小					
		有機化合物	分離	E130	汚染土壌を低環境負荷で高速に修復するレメディエーション技術を開発する	原位置浄化	油類汚染土壌の原位置浄化技術	・燃料油分解菌、分解能、増殖能、安全性評価 ・バイオレメディエーションのためのシミュレーション	燃料油	土地浄化	浄化土壌	負の遺産技術開発確保	中				
陰イオン				分離		E131	原位置浄化	フッ素汚染土壌の原位置洗浄技術	・リン酸水素カルシウムとフッ素化合物の反応によるフッ素アパタイトの生成	フッ素	土地浄化	浄化土壌	分離装置技術開発確保	大			
難分解性物質等		分解	E132	熱分解により難分解性物質の高効率分解技術を開発する	過熱蒸気法	過熱蒸気法によるダイオキシン分解	・2段式過熱蒸気法 ・第1段階間接加熱(500~700) ・第2段階過熱蒸気	DXNs	土地浄化	浄化土壌	負の遺産技術開発確保	中					
			E133	難分解性物質の濃縮と酸化還元、物理エネルギーによる完全分解技術を開発する	吸着材	有機洗浄溶媒共存下におけるPCB蒸気の分離	・活性炭吸着剤 ・有機洗浄溶媒の吸着	PCB	小型電気機器	無害化	負の遺産技術開発確保	大					
			E134	酸化	塩素化エチレン類の常温酸化分解	・酸化分解:過酸化水素、タングステン酸塩及びアンモニウム塩の併用	トリクロロエチレン等	洗浄設備	有害物処理システム	健康安全技術開発確保	中						
			E135	材料(鉄粉)	塩素化エタンおよびメタンの分解	・鉄粉による還元分解、鉄粉の性質 ・フェントン試薬による分解	塩素化エタン、メタン	洗浄設備	有害物処理システム	健康安全技術開発確保	中						
			E136	塩素及びオゾン	塩素およびオゾンによる難分解物質の分解	・オゾン分解による有機物(フミン酸)の影響 ・塩素による分解のアンモニアの影響	ニルフェノール	繊維、金属加工	非イオン界面活性剤	健康安全技術開発確保	大						
E137	超音波	超音波による有機塩素化合物の分解	・超音波装置の特性 ・低エネルギー消費型	トリクロロエチレン等	洗浄設備	有害物処理システム	健康安全技術開発確保	大									

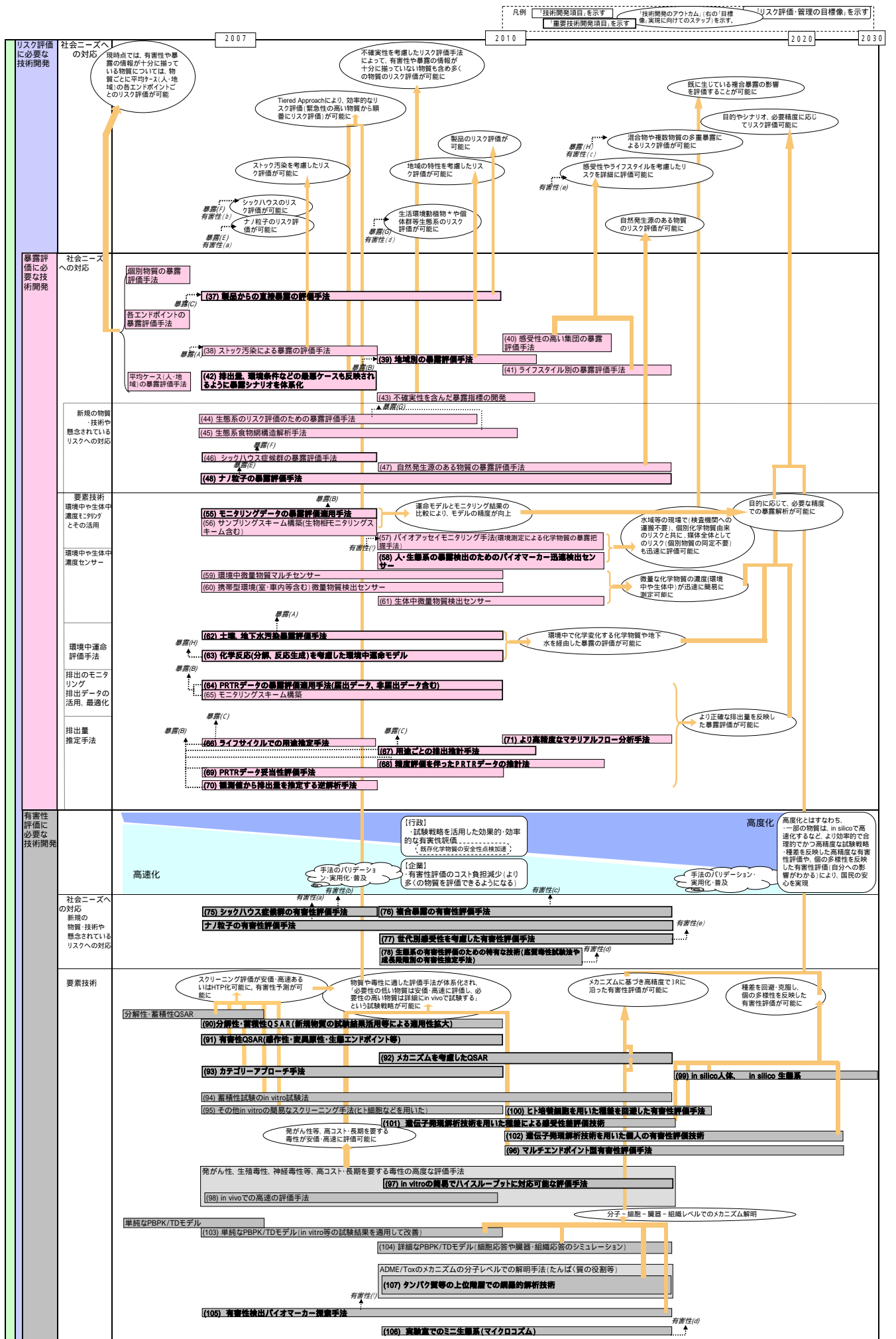
廃棄物	有機化合物	代替物質	E138	低環境負荷材料の開発により難処理性物質排出量を大幅に削減する	材料	生分解性ゴム材料の開発	・生分解性次世代ゴム、エラストマー、及びコンポジット材料の開発	ゴム	ゴム産業	易分解材料	廃棄物削減技術開発確保	大				
			E139	FRPの高効率分解により原料モノマーを回収する	プロセス	FRPの水平リサイクル技術	・垂臨界水によるFRPの高付加価値化・水平リサイクル技術の開発	廃FRP	FRP製造業	FRP	分解回収装置技術力優位	大				
大気	微粒子類	分解	E140	NOxを還元無害化する	触媒	Al2O3担持金属触媒によるNOxの選択的接触還元技術	・還元剤：DME、アセトアルデヒド ・触媒：アルミナ担持コバルト触媒	NOx, PM2.5	燃焼設備	電力他	微粒子削減技術力優位	大				
			有機化合物	分離	E141	多孔質高分子吸着剤による高効率吸着とバイオ、触媒による高効率分解技術を開発する	吸着材	ポリスチレン樹脂製吸着材	・多孔質ポリスチレン樹脂の合成 ・脱離性能と吸着性能	有機化合物	ハルブ、製紙工業	有害物処理システム	分離装置技術開発確保	中		
	分解	E142				バイオ、触媒	酵素、光触媒等による選択酸化・分解	・酸化チタン系光触媒の分解条件 ・アミラーゼによる分解条件 ・分解速度の増大	有機物	化成品	機能性触媒	分解装置技術開発確保	中			
		難分解性物質等	分解	E143	難分解性物質の完全酸化分解および微生物、塩素による完全分解技術を開発する	触媒	紫外線照射による難分解性物質の分解	・光分解触媒：酸化チタン ・難分解性物質：テトラクロロエチレン、ノニルフェノール等	テトラクロロエチレン	地下水	有害物処理システム	分解装置技術力優位	中			
	E144				オゾン酸化	酸化剤による難分解性物質の分解	・酸化剤：オゾン、過酸化水素の単独または併用 ・難分解性物質：ペンタクロロフェノール、ノニルフェニルエトキシレートの分解除去	ペンタクロロフェノール	公共水域	有害物処理システム	分解装置技術開発確保	小				
	E145				酸化	微生物酵素による環境ホルモンの酸化分解	・微生物酵素：リノール酸ヒドロペルオキシドとベルオキシダーゼ ・BPA分解菌による分解条件	ビスフェノールA	公共水域	有害物処理システム	分解装置技術開発確保	小				
	E146				微生物	微生物による難分解性物質の分解	・ノニルフェノール分解菌の培養 ・分解の促進条件	ノニルフェノール	公共水域	有害物処理システム	分解装置技術開発確保	中				
	E147				塩素処理	塩素処理による環境ホルモンの分解	・塩素処理による分解 ・塩素処理副生物のエストロゲン様活性低減	ビスフェノールA	公共水域	有害物処理システム	分解装置技術開発確保	小				
	陰イオン	分離	E148	新規な高効率陰イオン分離技術を開発する	吸着材	樹脂製吸着剤による低濃度陰イオンの吸着分離	・吸着剤：強塩基性陰イオン交換樹脂(スチレン系) ・低濃度フッ素吸着分離(フッ素濃度2mg/l以下)	F	洗浄	有害物処理システム	回収装置技術開発確保	中				
			析出		反応晶析による析出	・石灰を利用 ・CaF2として資源化の条件	F	洗浄	回収	回収装置技術力優位	中					
			吸着材		カチオン系高分子樹脂によるホウ素の吸着分離	・糖導入型ポリアリルアミンの合成条件 ・カラム吸着能力、共存イオンの影響	B	石炭燃焼設備	有害物処理システム	回収装置技術開発確保	大					
	重金属類	分離	E151	新規な高効率重金属分離技術を開発する	材料	高性能吸着材による微量有害金属の回収・無害化	・ゼオライト及び $(PbO)_x(FeO)_y(Fe_2O_3)_{1-x-y} \cdot aH_2O$ よりなる有害金属吸着材	As, Cd, Hg等	金属、非鉄金属	吸着材	回収装置技術開発確保	中				
			微生物		耐塩性鉄酸化細菌による重金属含有排水処理	・耐塩性鉄酸化細菌の分離と馴養 ・電気めっき排水中の重金属分離条件	Cr, Ni, Zn	めっき業	重金属回収	回収装置技術開発確保	中					
			磁気分離		フェリ磁性体による磁気分離	・フェリ磁性体の合成(Fe2+/Fe3+) ・高勾配磁気分離条件と設備	P, 重金属	金属、非鉄金属	磁気凝集	回収装置技術開発確保	小					
			材料		ロックウールによる分離濃縮	・ロックウール(高炉スラグ)によるイオン交換反応 ・金属硫化物微粒子の捕捉担体	Fe	金属、非鉄金属	循環水	回収装置技術開発確保	小					
			材料		繊維化スラグによる吸着	・硫酸塩還元細菌による金属硫化物の形成 ・硫酸還元細菌の付着担体と金属硫化物捕捉担体機能を有するスラグ繊維の活用	重金属類	下水道	有害物処理システム	回収装置技術開発確保	中					

広域	富栄養物質	分解	E156	微生物及び触媒による富栄養物質の完全分解プロセスを開発する	バイオ	生物処理とマイクロバブル法との組合せ	・硝化槽と脱窒槽微でのマイクロバブル使用 ・分解反応の効率化	N	下水道業	有害物処理システム	分解装置技術力優位	大		
			E157		バイオ	微生物の高密度固定化による排水処理プロセス	・石炭焼却灰フライアッシュに微生物を凝集造粒化 ・硝化細菌と脱窒細菌の高密度固定化	N	下水道業	有害物処理システム	分解装置技術力優位	大		
			E158		バイオ	高速脱窒バイオリクター	・多孔質担体に微生物を高密度の固定 ・コンパクトな設備設計、高負荷処理	N	肥料、畜産	有害物処理システム	分解装置技術力優位	中		
			E159		触媒	高性能触媒による空気酸化分解	・酸化チタン光触媒による分解 ・鉄・マンガン系触媒酸化	N	肥料、畜産	有害物処理システム	分解装置技術力優位	中		
		分離	E160	高効率・安価な吸着材を開発する	吸着材	天然ゼオライトによるアンモニウムイオンの吸着分離	・天然ゼオライト中のイオン交換処理による吸着能の増大 ・鉱物中のモルデナイトが吸着能を増大	NH3	肥料、畜産、下水道	有害物処理システム	分解装置技術力優位	中		
			E161	新規な化学的リン除去技術および高度処理技術を開発する	吸着材	ジルコニウムメゾ構造体を有する吸着材	・ジルコニウムメゾ構造体の吸着容量の増大 ・NaOH、クエン酸等による脱着性能	P	肥料、畜産	有害物処理システム	分離装置技術力優位	中		
			E162		吸着材	廃棄物再生炭化物による水中のりん分離	・廃棄物炭化条件 ・化学的賦活条件	P	肥料、畜産	有害物処理システム	分離装置技術力優位	中		
			E163		吸着材	無機層状セラミックス吸着材	・銅導入型および亜鉛導入型ハイドロタルサイト合成 ・リン酸イオンの選択性と交換容量の増大	P	肥料、畜産	有害物処理システム	分離装置技術力優位	中		
	E164	電解	電解法によるリン除去と高度処理技術		・鉄電解法によるリン除去 ・排水処理システムへの鉄電解槽の組み込み	P	肥料、畜産	有害物処理システム	分離装置技術開発確保	小				
	微粒子類	分離回収	E165	新規な高効率微粒子の分離技術	凝集分離	界面活性剤による懸濁粒子の凝集・泡沫分離	・乳製カゼインの捕集および起泡機能の活用 ・鉄塩凝集剤と乳製カゼインの併用効果	懸濁物質	公共水域	高度処理	分離装置技術開発確保	小		
			E166		膜分離	膜による超微粒子の分離	・浸漬型平膜による超微粒子分離条件装置設計条件	超微粒子	公共水域	高度処理	分離装置技術開発確保	小		
	陰イオン	分解	E167	汚染土壌を低環境負荷で高速に修復するレメディエーション技術を開発する	バイオ	シアン汚染土壌の微生物による分解	・シアン浄化菌の単離、硫黄系増殖助剤 ・分解速度の向上	シアン	土地浄化	浄化土壌	負の遺産技術開発確保	小		
			分離	E168	高効率な化学反応による有害重金属の固定化・分離技術を開発する	動電手法	動電学的手法による土壌中の重金属の分離	・EDTAを使用するカドミウムの分離 ・分離速度向上要因(電位変化、電流密度、pHなど)	Cd、Pb、Hg、As、Crなど	土地浄化	浄化土壌	負の遺産技術開発確保	小	
		E169		硫化鉄		硫化鉄を用いた低温加熱処理による水銀の分離	・硫化鉄による酸化還元反応 ・300℃低温加熱処理による硫化水銀として分離	Hg	土地浄化	浄化土壌	負の遺産技術開発確保	小		
		E170		光触媒		光触媒による六価クロムの還元	・水性TiO2懸濁液中の還元(三価Cr) ・紫外光照射条件	Cr ⁶⁺	土地浄化	浄化土壌	負の遺産技術開発確保	小		
		固定化・不溶化		E171		バイオ技術による有害重金属の完全固定化技術を開発する	バイオ	高選択結合酵素、たんぱく質等による無害化・固定化	・非天然重金属固定化用たんぱく質の開発	Pb、Cd、As、Hg	金属、非鉄金属	重金属固定化酵素	負の遺産技術開発確保	中
			E172	バイオ	生物還元による重金属の不溶化	・カドミウム汚染地盤の生物還元 ・硫酸還元菌による重金属の固定化条件	Cd	土地浄化	浄化土壌	負の遺産技術開発確保	小			
		分解・除去・無害化	E173	新規な高効率植物由来の重金属イオン捕捉材を開発する	バイオ	界面活性剤による鉱物油、有害金属の分離・除去	・トチノキ科由来サボニンの抽出 ・金属イオン捕捉性能の向上	Cd、Pb等	金属、非鉄金属	金属イオン捕捉剤	負の遺産技術開発確保	小		
			有機化合物	E174	汚染土壌を低環境負荷で高速に修復するレメディエーション技術を開発する	バイオ	油類汚染土壌の濃縮と分解	・有機汚染物質の吸収植物の探索 ・植物根から分泌される分解酵素と微生物の増殖	油類	土地浄化	浄化土壌	負の遺産技術開発確保	小	
E175	洗浄	材料		界面活性剤による石油等の原位置洗浄技術	・適する界面活性剤の選定 ・現場実証試験による油類回収効率の向上	石油	土地浄化	浄化土壌	負の遺産技術開発確保	小				
E176	分離	バイオ		ファイトレメディエーションによる油類汚染土壌の分離・分解	・トウモロコシ、パミュダグラスなどの高濃度蓄積能をもつ植物の開発 ・植物根が分解菌の成長を促進する植物	PAHs、石油、TCE等	土地浄化	浄化土壌	負の遺産技術開発確保	中				
E177	吸着	活性炭素繊維による土壌ガスの吸着分離		・吸着容量の大きい活性炭素繊維 ・土壌ガスのスパーキングと吸引による地下水浄化	油、PAHs、VOC	土地浄化	浄化土壌	負の遺産技術開発確保	中					

難分解性物質等	分離・分解	E178	汚染土壌を低環境負荷で高速に修復するレメディエーション技術を開発する	多段土壌層法	多段土壌層法による難分解性物質の分離濃縮	・通水性の高いゼオライト層と土壌層をレンガ積載状に配置 ・活性炭の添加による適用汚染物質の拡大 ・吸着土壌の分解処理	シマジン、フェニトロチオン、テトラクロロエチレン等	土地浄化	浄化土壌	負の遺産技術開発確保	中					
		分解	E179	汚染底泥の低環境負荷で高速分解技術を開発する	鉄複合粒子	汚染底泥中の有機ハロゲン分解・無害化	・減圧加熱還元等 ・還元材料：鉄複合粒子粉末の飽和磁化率向上と高比表面積化	DXNs, PCB等	下水道廃棄物処理業	有害物処理システム	負の遺産技術開発確保	中				
		分解	E180	汚染土壌を低環境負荷で高速に修復するレメディエーション技術を開発する	電気修復	鉄粉浄化壁を用いたエレクトロレメディエーション	・還元材鉄粉による有機塩素化合物の還元分解 ・分解速度向上のための要因	トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン	土地浄化	浄化土壌	負の遺産技術開発確保	中				
			酸化		フェントン法による塩素系VOC等汚染土壌の化学的酸化分解	・フェントン試薬の適用条件 ・原位置化学的酸化	トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、油類	土地浄化	浄化土壌	負の遺産技術開発確保	中					
			生物処理		嫌気性バイオレメディエーションおよび有用菌による分解技術	・完全にエチレン、エタンに分解できる嫌気性菌体の確保 ・嫌気性分解菌の分解能の向上 ・MO7株菌による分解能の向上	トリクロロエチレン(塩素化エチレン)	土地浄化	浄化土壌	負の遺産技術開発確保	中					
			間接加熱		間接加熱によるハロゲン系物質の酸化分解	・実証試験でのダイオキシン類の分解促進 ・土壌中有機フッ素化合物の分解	PFOS, PFOA, DXNsなど	土地浄化	浄化土壌	負の遺産技術開発確保	中					
			複合粒子		-Fe・Fe3O4複合粒子による還元分解	・-Fe・Fe3O4複合粒子とイオウ含有量の影響 ・水素還元、塩素とイオウの置換反応による脱塩素反応	トリクロロエチレン	廃棄物処理場	浄化土壌	負の遺産技術開発確保	小					
	有機化合物	分解	E185	プラスチックの高効率分解菌および物理エネルギー分解により原料モノマーを回収する	プロセス	廃PETのケミカルリサイクル	・マイクロ波・塩基触媒(重曹)、反応溶媒(グリセリン)による分解 ・マイクロ波照射条件	廃プラスチック	プラスチック製造業	プラスチック製品	資源確保技術力優位	大				
			プロセス		ポリ-L-乳酸のケミカルリサイクル	・マイクロ波照射と触媒による分解条件 ・分解菌の活用	廃プラスチック	プラスチック製造業	プラスチック製品	資源確保技術力優位	中					
			プロセス		脂肪族ポリエステル系分解菌、真菌の発掘 ・分解速度の向上条件の解明	・脂肪族ポリエステル系分解菌、真菌の発掘 ・分解速度の向上条件の解明	廃プラスチック	プラスチック製造業	プラスチック製品	資源確保技術開発確保	中					
		汚泥	削減	E188	発生汚泥の大幅な削減と高効率資源化技術を開発する	プロセス	余剰汚泥の減量化技術	・返送汚泥の基質化の促進 ・適切な基質化(生物法、化学法、物理法、物理化学法など)法の条件	汚泥・スラッジ	製造業有機汚泥下水道	処理システム	汚泥処理技術開発確保	中			
			無害化	E189		材料	浄化槽汚泥の炭化	・連続炭化パイロットプラントによる炭化の実証条件把握 ・乾燥経由の炭化条件による製品品質の向上	汚泥	製造業有機汚泥下水道	炭化物	汚泥処理技術開発確保	中			
		非鉄金属	分離	E190	焼却灰中の非鉄金属の高効率分離技術を開発する	浮選	ASR焼却灰からの浮選による非鉄金属の分離	・焼却灰の微粉砕および銅、亜鉛の浮選分離条件 ・塩化物の除去	非鉄金属	シュレッダーダスト処理場	回収	資源確保技術力優位	中			
	生活	大気	VOC	分解	E191	安全な高効率小型分解装置を開発する	触媒	小型光触媒浄化装置によるVOCsの分解	・光触媒シートによる酸化分解条件 ・小型光触媒浄化装置の設計条件	VOC	家庭	住居内	健康安全技術開発確保	小		
水域		難分解性物質等	分解	E192	触媒		浄水製造用の触媒繊維	・高強度光触媒チタニア繊維の合成 ・表面傾斜構造 ・水浄化装置の設計	DXNs, PCB, トリハロメタン	めっき業、温浴施設	浄水	健康安全技術開発確保	中			

注1) 評価: :2.5以上, :2.5未満~2.0, :2未満

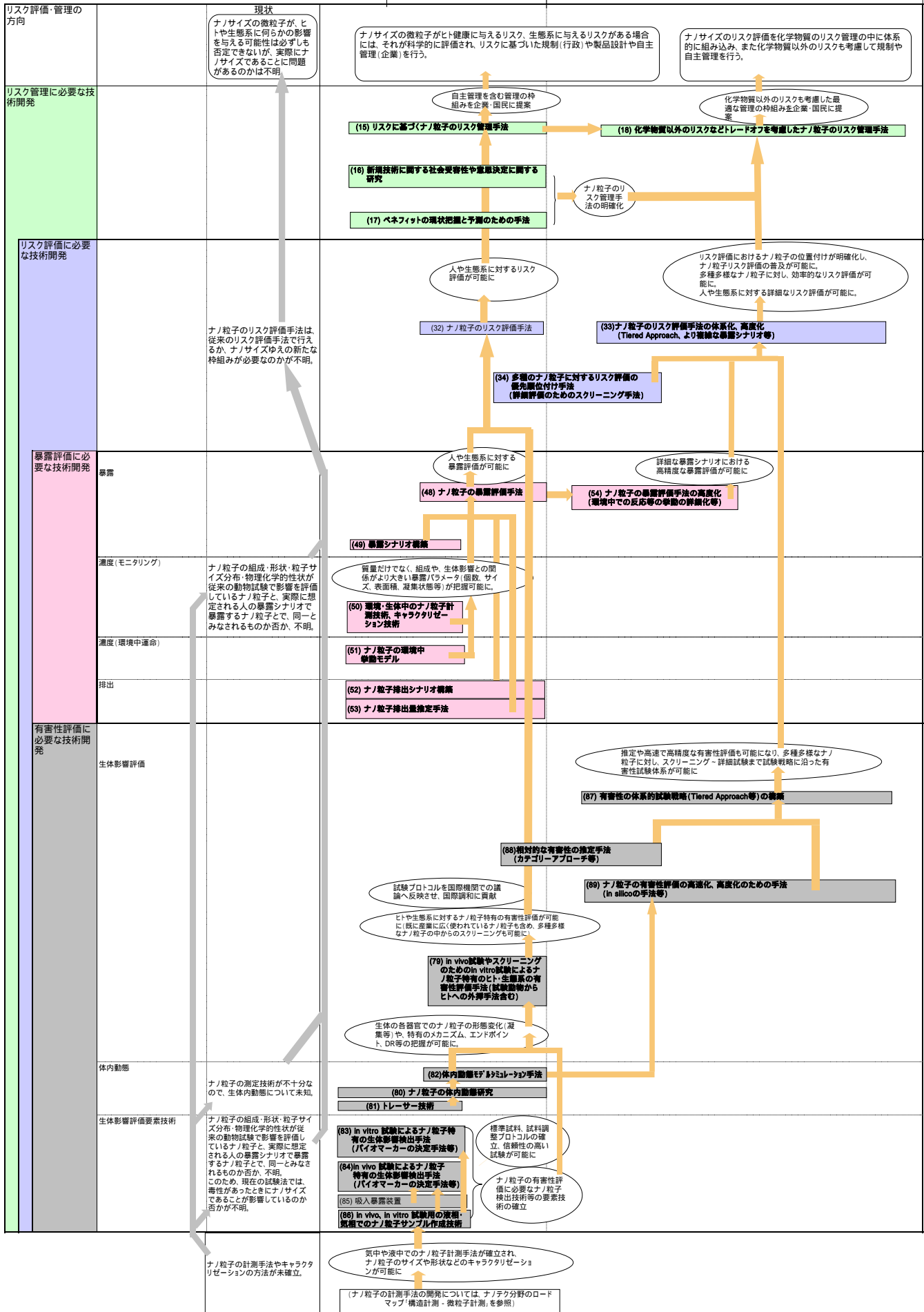
注2) 合計:39件(産業)+51件(広域)+2件(生活)=92件(大気:8件,水域:47件,土壌:24件,廃棄物:13件)



化学物質総合評価管理分野の技術ロードマップ(工業用ナノ粒子のリスク評価・管理技術開発)

凡例 「技術開発項目」を示す 「技術開発のアウトカム」(右の「目標像」実現に向けてのステップ)を示す 「リスク評価・管理の目標像」を示す

2007 2010 2020 2030



			2010年	2015年	2020年	2025年	2030年	
産業	大気	VOC	分解	完全酸化分解	高性能・長寿命触媒による処理対象の拡大			
			分離	分離膜	汎用超高性能分離膜			
			プロセス転換		無溶媒プロセス・合成プロセスのシップル化			
		アスベスト	代替物質	水性塗料、塗装技術	無溶剤塗料、有機溶剤代替、大型塗装			
			代替物質	シール材				
			飛散防止	飛散防止技術(大規模)	飛散防止技術(小規模)			
	微粒子類	分解		希薄濃度での低温触媒酸化/還元技術		高効率分解触媒		
		資源化		分離回収技術		資源化技術		
	優先22物質	分離・隔離		有害金属の分離・隔離				
	水域	富栄養化物質	分離	メテナス容易なリン分離回収システム		資源化技術		
			分解	アンモニアの窒素化技術		アンモニアの回収・再資源化技術		
		陰イオン 重金属類	分離・除去	有害陰イオンの分離技術		資源化技術		
			分離・除去	有害重金属類の分離と汚泥発生量の低減技術				資源化技術
		難分解性物質	再生・長寿命化	メッキ老廃液の再生システム		メッキ液の再生システム		
	分解		完全酸化分解技術				微生物による分解技術	
土壌	難分解性物質	代替物質	分解技術	非フッ素系界面活性剤				
		分離	汚染土壌からの有機ハロゲン分離					
廃棄物	廃酸・廃アルカリ	分解	汚染土壌中難分解性物質の分解					
		分離・プロセス転換	廃棄酸・アルカリ量の大幅削減と分離					
	難分解性物質	分離・分解	PCBの分離と無害化					
		分解	ハロゲン含有プラスチックからのハロゲン回収					
	重金属類	分離	汚泥中重金属類の分離					
		資源化・固定化	汚泥の有効利用・資源化					
有機化合物	分解	プラスチック(熱可塑性、熱硬化性、複合材料)の高効率接触分解・原料回収						
広域	大気	VOC	代替物質	水性塗料				
		有機化合物	分離	高容量吸着剤による分離				
		微粒子類	分解	NOx還元無害化及び微量PMの削減分解				
	水域	富栄養化物質	分解	微生物による富栄養化物質の1段除去プロセス				
			分離・除去	晶析・化学的リン分離回収技術・資源化技術				
		難分解性物質	分離	芳香族系物質の分離濃縮と酸化分解		吸着容量の大きい吸着材の開発		
			分解	微生物による高効率分解				
	重金属類	分離	新規な高効率分離技術					
		代替物質	有害な無機顔料の代替					
	土壌	有機化合物	分離・分解	汚染土壌のメタジェーション技術による無機化分解				
			分離・分解	安価なメタジェーションによる分離・分解技術				
		難分解性物質	分離	汚染土壌のハイオ・ケミカルメタジェーション技術による分離				
			分離	汚染土壌のファイトメタジェーションによる濃縮・分離、ケミカルメタジェーション技術による分離				
	廃棄物	アスベスト	微量検知・計測	簡易・迅速低廉な微量検出技術				
			無害化・資源化	大容量処理の無害化・資源化技術			ロボット利用無害化・資源化技術	
汚泥		分離・分解	汚泥資源化技術		底泥のオンサイト処理技術			
		分離・固定化	溶融飛灰、焼却灰中の重金属類の高効率分離除去および固定化					
生活		大気	VOC	可視光利用高効率光分解技術				
	代替物質		有機溶剤を使用しない高強度接着剤					
	水域	有機化合物	生分解性で洗浄力の高い洗浄剤					
廃棄物	重金属類・ハロゲン	代替物質						

リスク最小化、安心・安全な社会の構築に向けて

産業技術の深掘り、技術基盤の確立、規制への対応を可能にする

海外の規制に対して適用可能技術を具体化する(国際貢献)

資源・原料の転換に対して対応できるリスク削減技術を確立する

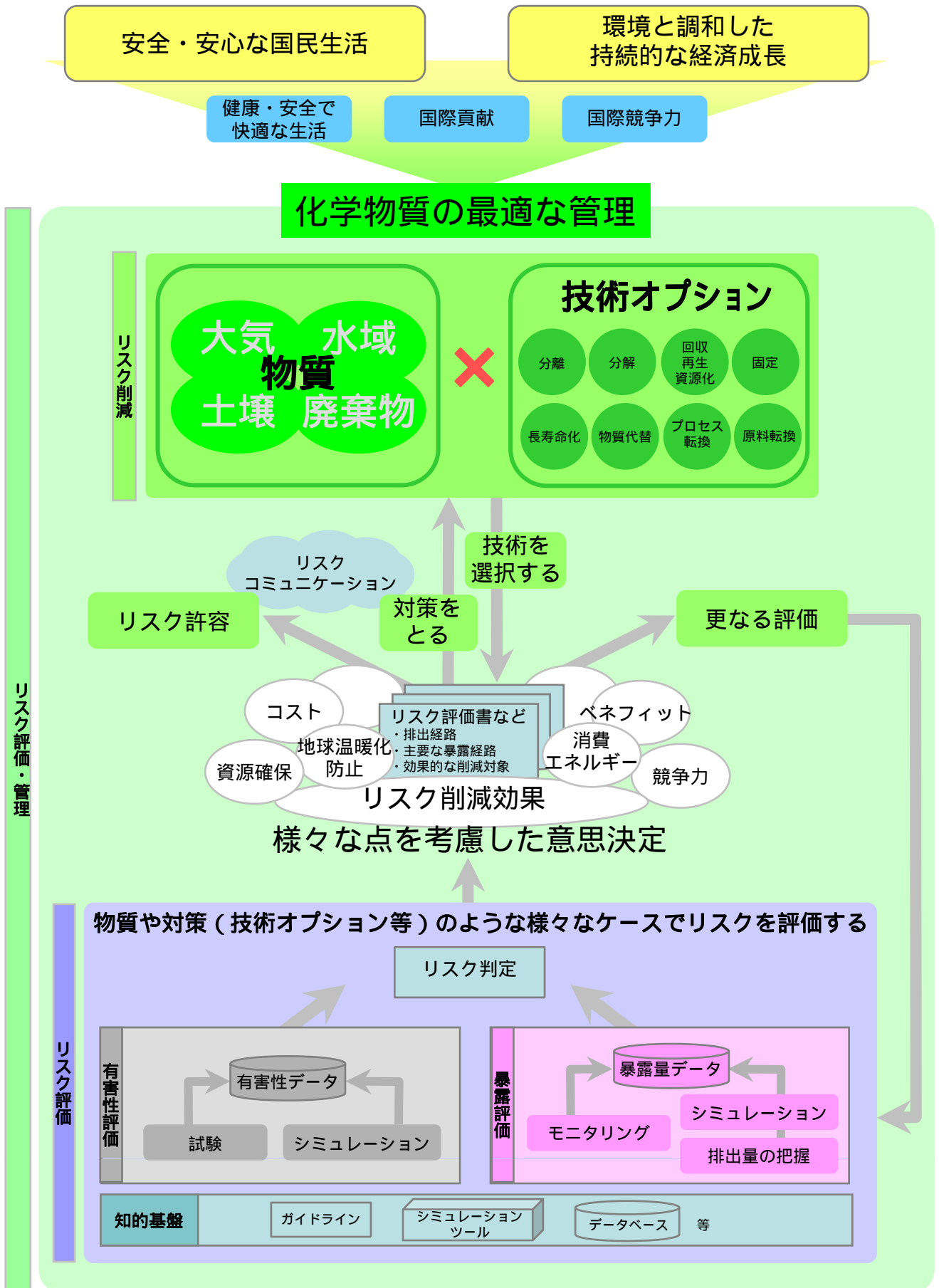
シンプル技術での対応を可能とする

産業技術の広がり
と適用分野の広がり

希薄、大量に拡散したリスク対象物質に適用するリスク削減技術を開発する

ユーザーの目線で
リスク最小の技術・製品を提供

化学物質総合評価管理技術の考え方



化学物質総合管理関係法令

1. 化審法（化学物質の審査および製造等の規制に関する法律）の概要（1973年制定）

（1）新規化学物質の審査

これまで我が国で製造、輸入が行われたことのない新規化学物質については、製造又は輸入に際し、製造・輸入者からの届出に基づき事前にその化学物質が次の性状を有するかどうかを審査し判定を行っている。

- 分解性……………自然的作用による化学的变化を生じにくいものであるかどうか
- 蓄積性……………生物の体内に蓄積されやすいものであるかどうか
- 人への長期毒性…継続的に摂取される場合には、人の健康を損なうおそれがあるものであるかどうか
- 生態毒性……………動植物の生息若しくは生育に支障を及ぼすおそれがあるものであるかどうか

（2）既存化学物質の点検

化審法制定以前より製造又は輸入されていた化学物質（試験研究用及び試薬を除く約2万物質）については、国がその安全性の点検を行うべきとされていた。

平成15年の改正より、今後は国際的な役割分担による有害性評価を促進するとともに、官民の連携による有害性評価の計画的推進を図ることとされた。

2. 化管法（特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律）の概要（1999年制定）

（1）概要

人の健康や生態系に有害なおそれのある化学物質（第一種指定化学物質）について、事業所からの環境（大気、水、土壌）への排出量及び廃棄物に含まれての事業所外への移動量を、事業者が自ら把握し国に届け出るとともに国は届出データや推計に基づき排出量・移動量を集計し公表するもの。

（2）対象化学物質例

ベンゼン、トルエン、キシレン、ダイオキシン類、トリクロロエチレン、鉛及びその化合物、有機スズ化合物、CFC、HCFC 等

（3）対象事業者

次の事業に属する事業を営んでいる事業者

- ・全ての製造業（化学工業、電気機械器具製造業、鉄鋼業 等）
- ・金属鉱業、電気業・ガス業、下水道業、燃料小売業、洗濯業、自動車整備業、産業廃棄物処分業、高等教育機関、自然科学研究所 等

常用雇用者数21人以上の事業者

いずれかの第一種指定化学物質の年間取扱量が1トン以上（特定第一種指定化学物質は0.5トン以上）の事業所を有する事業者 等

重要技術選定の評価項目と評価方法について

化学物質リスク評価・管理分野

化学物質評価・管理分野の評価項目は、2つの観点で評価を行った。
化学物質総合評価管理リスクトレードオフに基づく最適管理に資するもの
海外動向に対する日本の影響力発揮に資するもの

さらに についてはa.b.c.の3つの技術要件を細分化して評価指標とした。

- a. リスク評価に必要な情報を効率的に取得できるもの
- b. 情報不足による不確実性を低減、実用化できるもの
- c. リスク管理選定におけるリスク転嫁を回避し、コミュニケーションと適切な意志決定に役立つもの

の3項目と の1項目の4つの評価指標について3段階評価を行った。特に優れた物 、優れた物 、それ以外は無印とした。

重要技術の選定方法は以下の2つ基準のうち少なくとも1基準を満たすものとした。

- ・ 1項目で特に優れた技術 が有る場合
- ・ 3項目で優れた技術 が有る場合

2つの基準の外に我が国独自の事情を考慮する必要がある物については、特別に加点した。

化学物質リスク削減分野

化学物質リスク削減分野の評価項目は、以下の2つの観点で評価を行った。
リスク削減効果に資するもの
産業競争力に資するもの

リスク削減効果については2つの観点から評価を行った。

- a. ハザードや排出削減量から見たリスク削減ポテンシャル
- b. リスク削減するのに必要なコスト

産業競争力については以下の4つの観点から産業競争力の評価を行った。

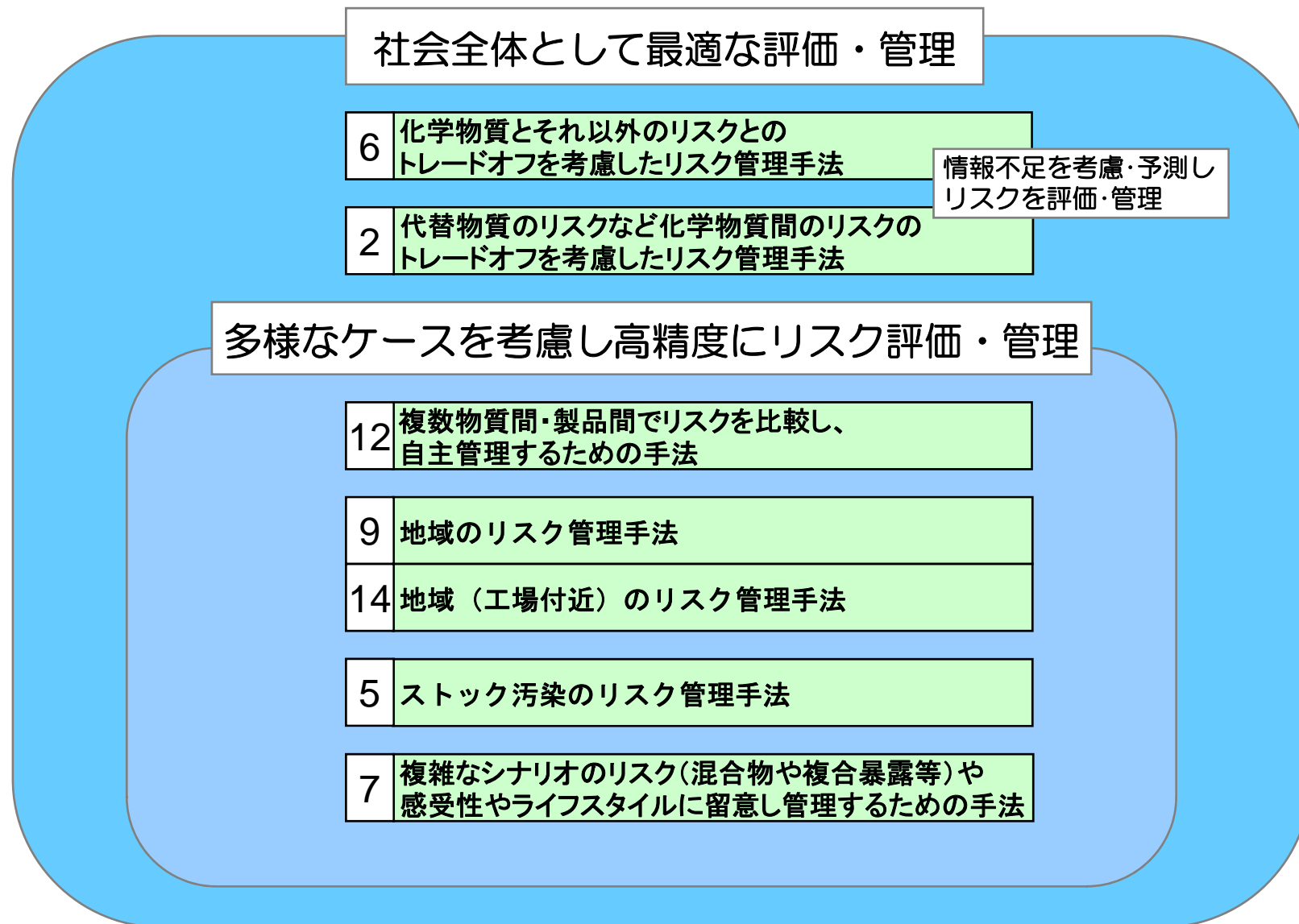
- ・ 将来技術力確保の観点(国内産業保全のために基礎力として開発しておく必要がある技術)
- ・ 将来の成果が期待できる技術(世界トップレベルとなることを期待する技術)
- ・ 期待される技術的波及効果(他の技術に活用可能な広がりをもっている技術)
- ・ 期待される産業的波及効果(広い産業に恩恵を及ぼす技術)

の2項目と の1項目の3つの指標についてそれぞれ 、 、 の3段階評価を行った。

重要技術の選定方法は と の基準を両方満たす物を重要技術とした。

の項目についてa,bのどちらかが の評価を得た物がa,bどちらも の評価を得たものについて 以上の評価を得たもの

リスク評価・管理の技術の関係図 (1/4)

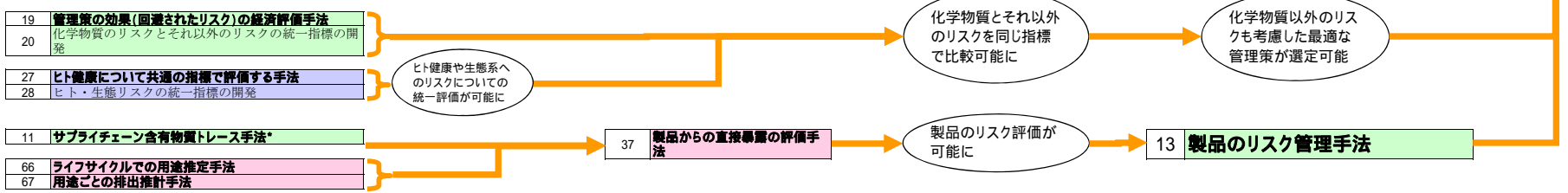


…これら技術と他の技術との関係について、次ページ以降で説明

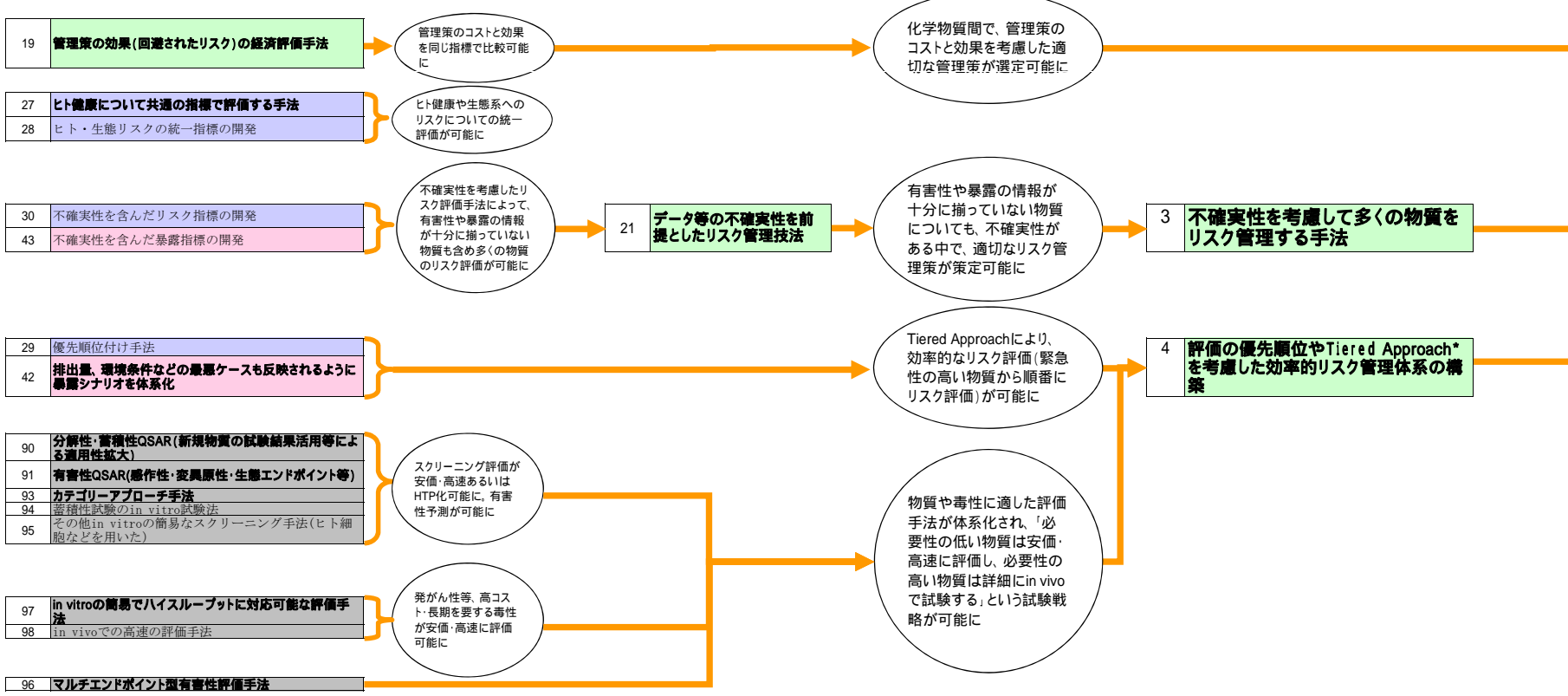
リスク評価・管理の技術の関係図 (2/4)



6 化学物質とそれ以外のリスクとのトレードオフを考慮したリスク管理手法



2 代替物質のリスクなど化学物質間のリスクのトレードオフを考慮したリスク管理手法

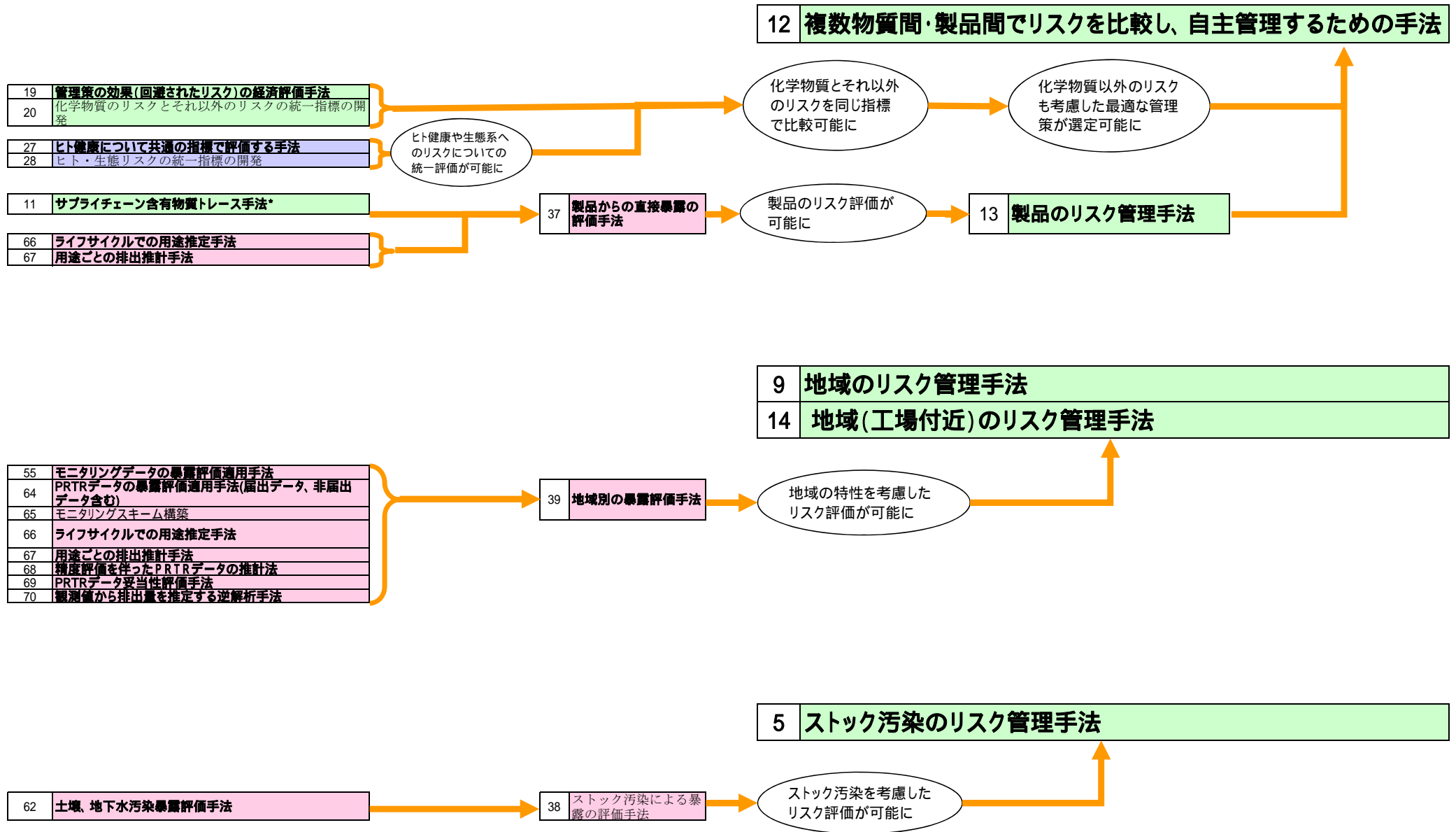


リスク評価・管理の技術の関係図 (3/4)

凡例

No.	リスク管理	
No.	リスク評価	重要技術は、ゴシック太字で示した
No.	暴露評価	
No.	有害性評価	

技術開発の

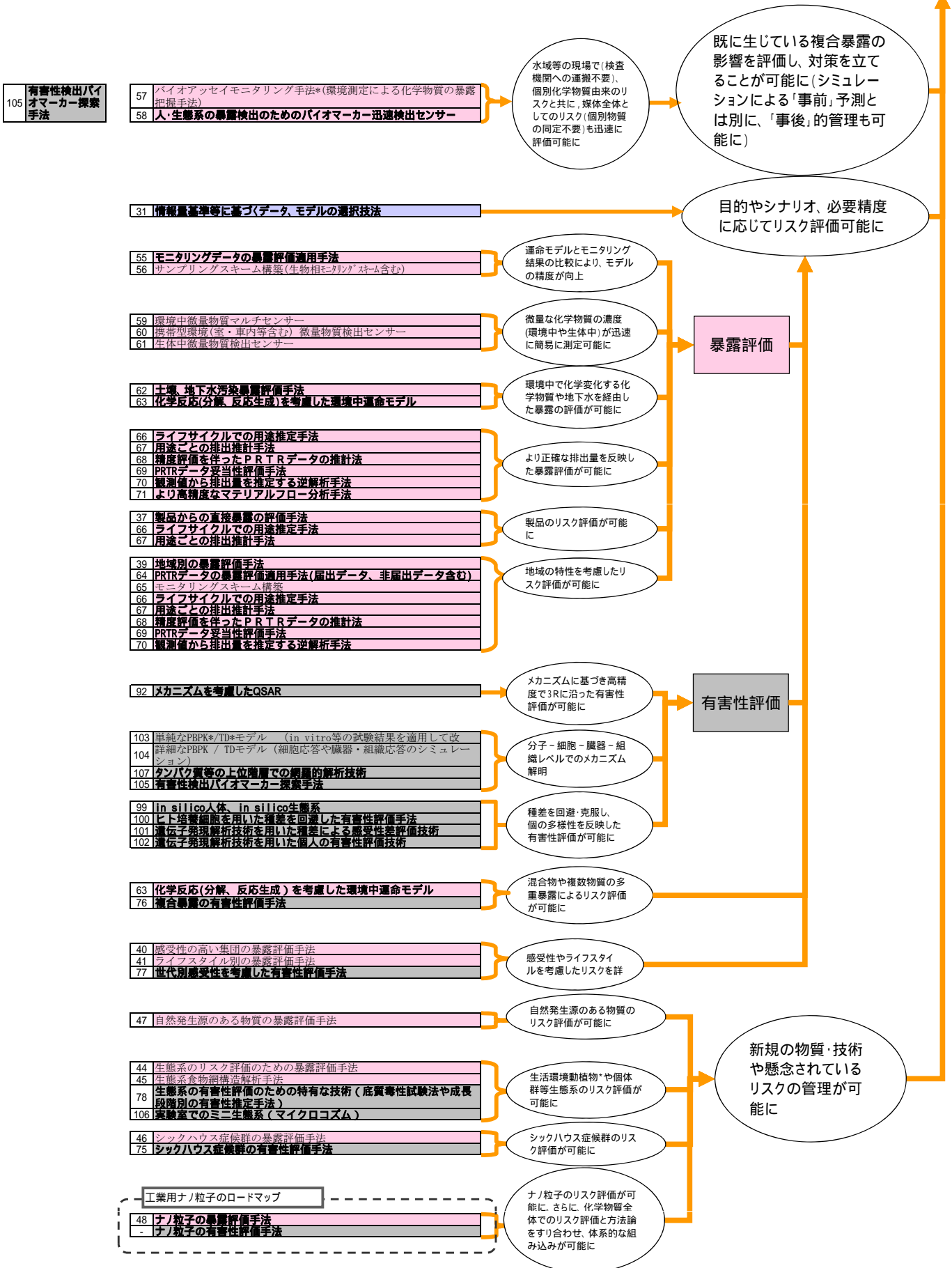


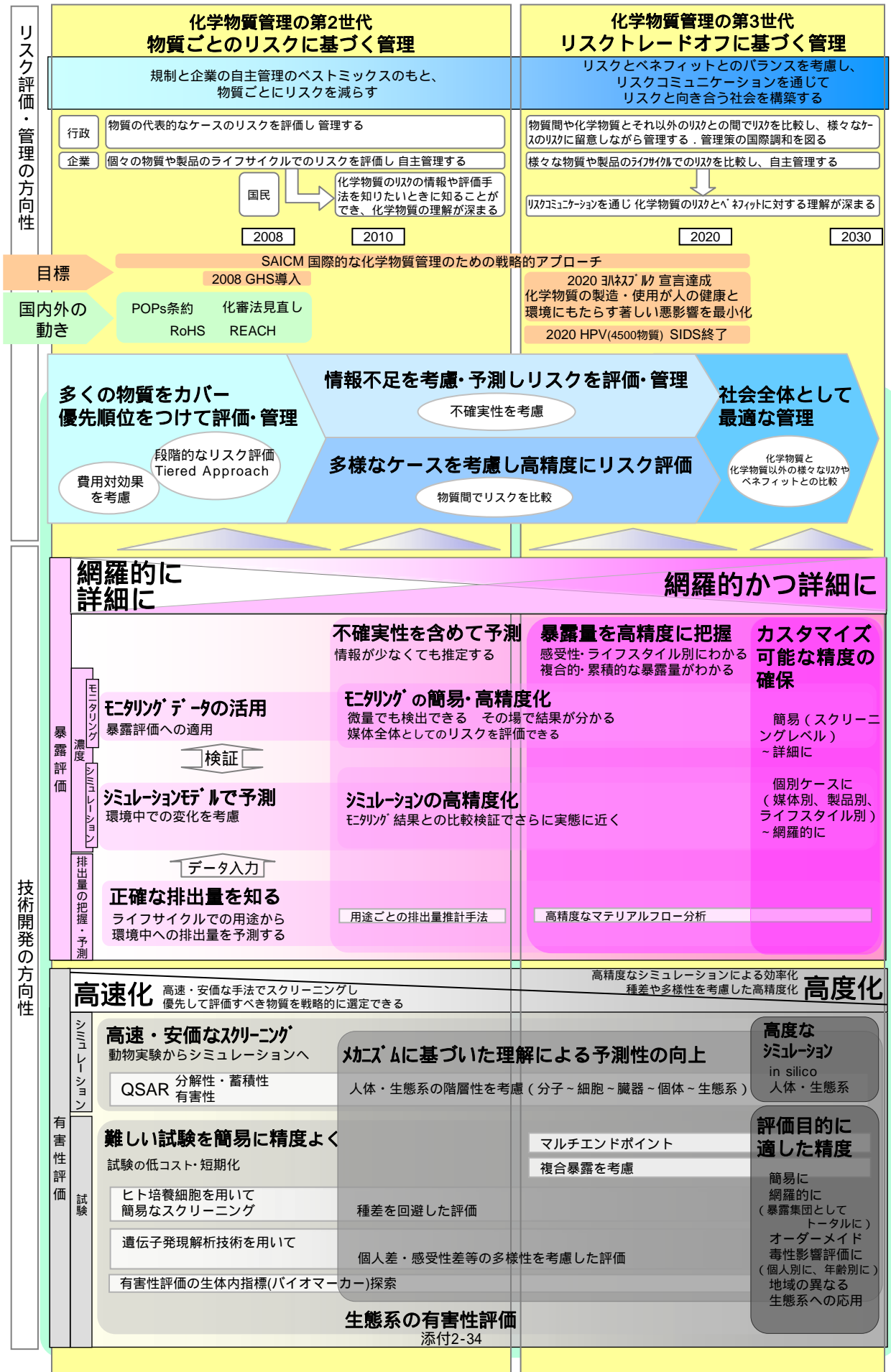
凡例

No.	リスク管理	重要技術は、ゴシック太字で示した
No.	リスク評価	
No.	暴露評価	
No.	有害性評価	

技術開発のアウトカム

7 複雑なシナリオのリスク(混合物や複合暴露等)や感受性やライフスタイルに留意し管理するための手法

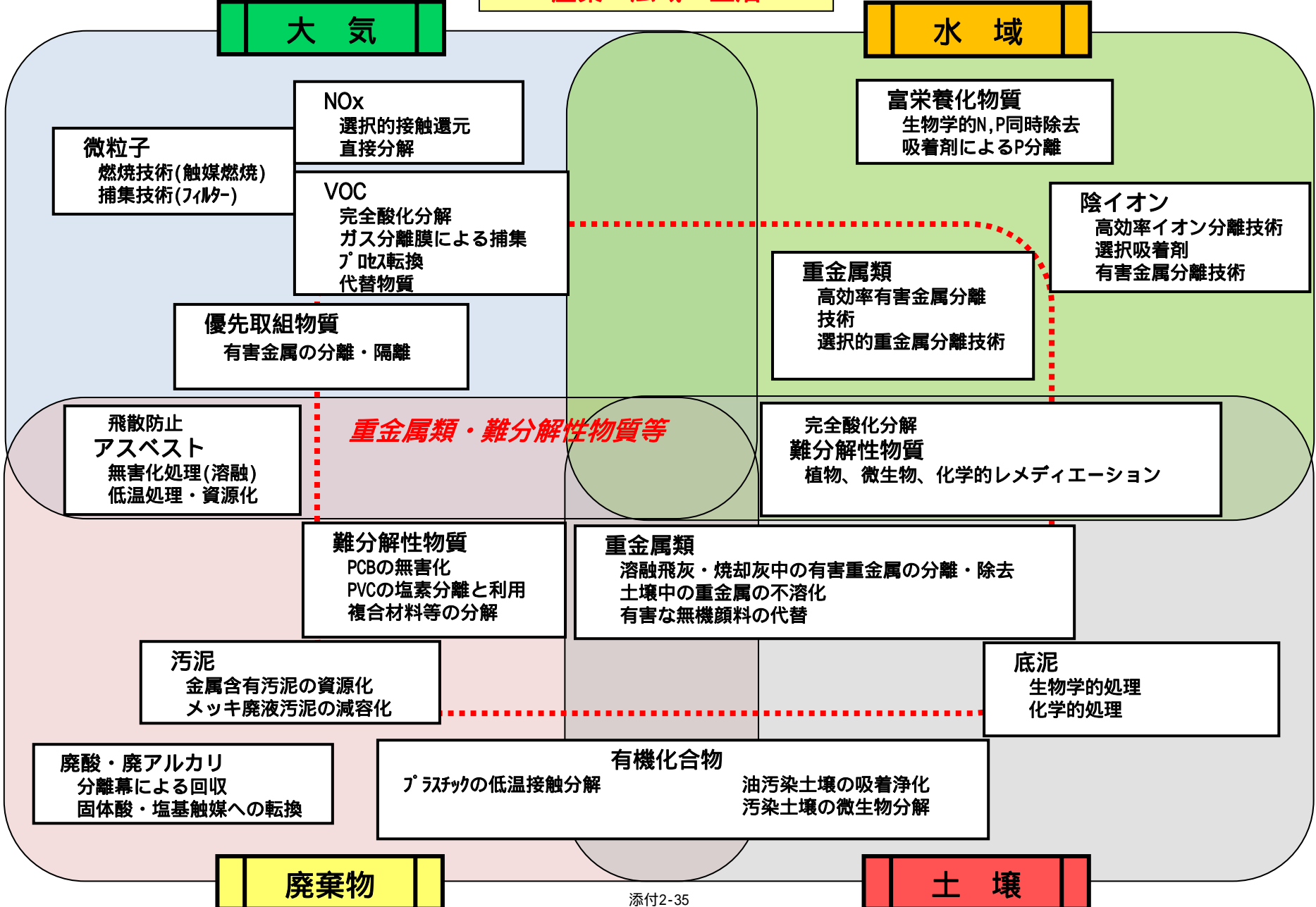




リスク削減対象物質群と代表的削減技術の俯瞰図

参考資料6

産業・広域・生活



化学物質総合評価管理分野の国際競争ポジション(貢献度)

指標1: テストガイドライン策定への貢献

OECDでは、化学物質の有害性評価のための試験の品質を確保するには国際的なガイドラインが有用であること、一国で得られた情報の他国への受入方法の改善が必要なこと、非関税障壁を防ぐ必要があること等から、テストガイドラインプログラムの下、テストガイドライン(TG)を策定している。

シリーズ	分野	TGプログラムでの現在のプロジェクト総数	うち、日本がリード国のもの(他国との共同提案を含む)
TG100	物理化学的性状	1	0
TG200	生物系への影響	23	4
TG300	分解性・蓄積性	7	0
TG400	健康への影響	31	7
TG500	その他	7	1
-	一般的事項	5	0
合計		74	12

指標2: ナノマテリアルスポンサーシッププログラムにおける情報収集への貢献

ナノマテリアルの安全性評価のため、OECDをベースに工業ナノ材料のヒト健康及び環境の安全性に関する国際協力が進められている。このひとつとして、各国が自主的に特定のナノマテリアルのスポンサーとなり、情報の収集や試験計画を策定するプログラムが開始されている。我が国は、代表的な以下の14のナノマテリアルのうち、3物質を担当している。

ナノマテリアルスポンサーシッププログラムの対象物質とスポンサー国

物質名	リードスポンサー
フラーレン(C60)	★日本 ★アメリカ
単層カーボンナノチューブ(SWCNTs)	★日本 ★アメリカ
複層カーボンナノチューブ(MWCNTs)	★日本 ★アメリカ
銀ナノ粒子	韓国 アメリカ
鉄ナノ粒子	中国
カーボンブラック	
二酸化チタン	フランス ドイツ
酸化アルミニウム	
酸化セリウム	アメリカ イギリス/BIAC(NIA)*1
酸化亜鉛	イギリス/BIAC(NIA)
二酸化ケイ素	フランス EC
ポリスチレン	
dendリマー	
ナノクレイ	

(2008年12月3日現在)

*イギリス政府及びOECD 経済産業諮問委員会(Business and Industry Advisory Committee)メンバーであるイギリスナノテクノロジー工業協会(Nanotechnology Industries Association)
(出典:OECDホームページ)

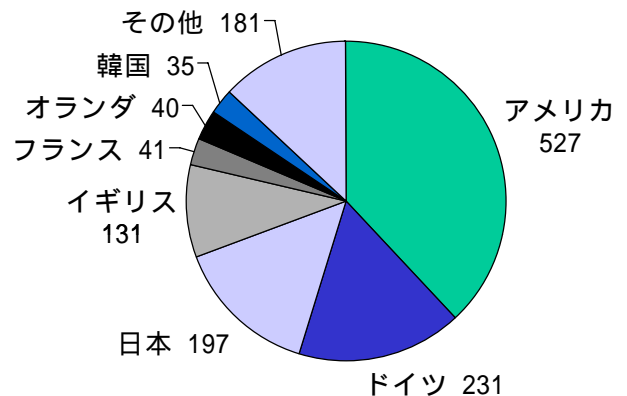
指標3: HPV(高生産量)化学物質点検プログラムにおける情報収集への貢献

OECDでは、いずれかの加盟国で年間1,000トン以上製造・輸入されている化学物質の有害性の初期評価を行うために必要と考えられるデータを加盟国が分担して収集し、評価を行っている。

2008年3月13日時点において、1,307物質にスポンサーがついており、544物質につき評価文書が公表されている。

我が国は、1992年の本プログラム発足当初から一貫して協力しており、これまでに197物質を担当し、約180物質の評価に貢献してきた。

HPV安全性点検プログラムにおける各国の担当物質数 (2009年1月20日現在)



また2010年までに1,000物質についてデータを収集することを目標にした新たな計画において、日本は96物質を担当することとなっている。

指標4: 我が国および海外諸国のリスク評価書の作成実績

化学物質のリスク評価の目的は各国の状況を反映して異なる。ここでは、数や評価内容の詳細さのレベル(初期リスク評価レベル、詳細リスク評価レベル※)を比較する。

各国のリスク評価書のレベルごとの作成・公開数

国・地域	初期リスク評価レベル※	詳細リスク評価レベル※	備考
日本	150 (NEDO) 137(環境省、2008年2月時点)	23 (NEDO, AIST)	NEDOプロジェクト、環境省によってリスク評価書が作成され、公開。うち詳細リスク評価は産総研がNEDOプロジェクトを受託、産業実態を踏まえて排出量等を推定し、物質に応じたモデル(メッシュモデルも含む)で濃度を予測。
米国	45 (HPV Challenge Program, OPPT(農業・有害物質汚染防止局))	50程度 (EPA内各プログラム)	EPA内の各部署の個別プログラムごとに評価を実施。関連する制度として、OPPTの既存化学物質プログラムでは1993年～1996年にRisk Management 1(RM1)で2000以上の物質についてスクリーニング評価を実施。今後Risk Management 2(RM2)、Post-RM2等の段階へ進み詳細なリスク評価が行われるとされる(詳細は非公開)。
EU	97 (EURAR)		既存化学物質のうち優先141物質について評価。濃度予測には、ボックスモデル(EUSES)を適用。
カナダ	69 (優先物質リスト)	-	既存化学物質のうち優先物質リスト(Priority Substance List 1および2)の69物質(または製品)について、評価を実施し規制等の必要性を検討。
オーストラリア	32 (優先既存化学物質)	-	他にPBDE等の14の物質について、既存モニタリングデータに基づく初期リスク評価レベルの評価書が公開。

(特に表記のないものは2009年1月時点)

※初期リスク評価レベル、詳細リスク評価レベルの区分けは、「化学物質のリスク評価およびリスク評価手法の開発、研究成果報告会 講演資料(中西準子, 2007)を参考とした。

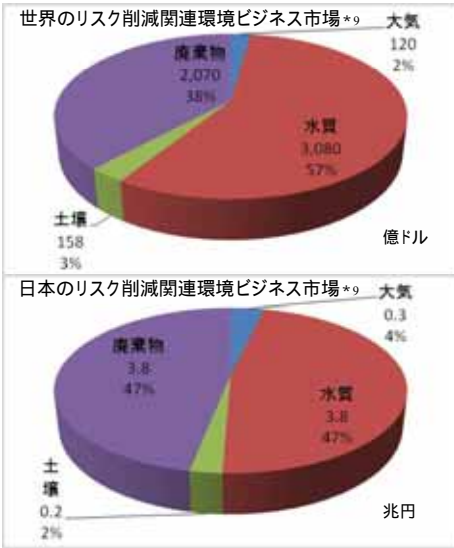
化学物質総合評価管理分野の国際競争ポジション(優位性)

指標5:環境ビジネスの市場規模と分野

環境ビジネスのうち、リスク削減関連分野(大気・水質・土壌・廃棄物)に関連する市場規模においては、日本・世界どちらにもおいても廃棄物と水質の占める割合が大きい。

	世界 億ドル	日本 億円
環境全般	6,287(2004)*1	80,473(2004)*8
大気関連	120(2006)*2	2,772(2004)*6
水質関連	3,080(2004)*3	37,662(2004)*6
土壌関連	158(2006)*4	2,052(2006)*7
廃棄物関連	2,070(2004)*5	37,987(2004)*6

*1:『Global Environment Market: Asia』Environmental Business International Inc. 2006.9
 *2:『Catalyst Players Follow Growth to Asia, Middle East』Chemical Week August 11, 2004
 *3:『The Water industry world wide up to 2010. The convergence of water and energy』World Pumps, November, 2001
 *4: EU報告書『Study of Eco-Industry, its size, employment, perspectives and barriers to growth in an enlarged EU』2006.8より、米国は「土壌ビジネスの現状と展望」住友信託銀行
 *5: 産業調査レポートNo14, 2002.5より現状の市場規模を把握、日米欧市場を合算
 *6:『Overview of waste management industries in selected countries』Warner bulletin, Nov, 2006
 *7:『我が国の環境ビジネスの市場規模及び雇用規模の現状と将来予測にちての推計』環境省 2003.2
 *8:『2007環境事業における最新事業における最新企業戦略と将来の方向』株式会社 富士経済 2007.2
 *9: 環境省の大気、水質、廃棄物のデータに富士経済の土壌のデータを加算したものを

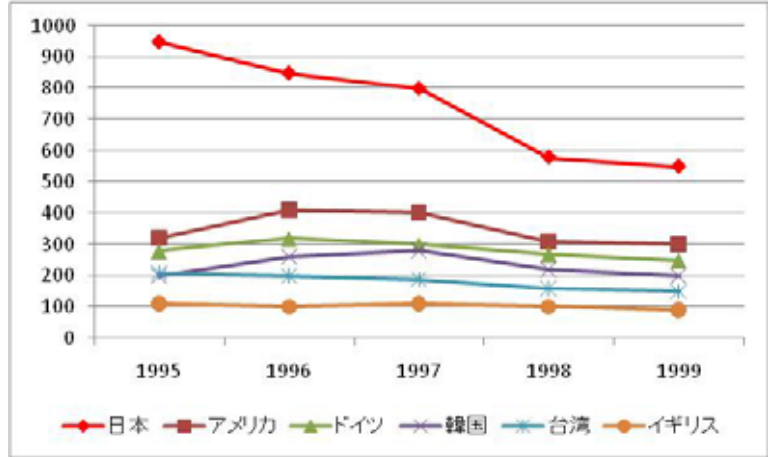


*9: 上部表中の大気・水質・土壌・廃棄物4分野の合計における市場規模の割合

指標7:水質汚染分野市場動向と日本のシェア

アジア各国に対する排水処理分野においては、他国の輸出額が横ばいで推移するなか、日本の輸出額は減少している。

排水処理分野におけるアジア各国への国別輸出額推移 (単位: Mil \$)



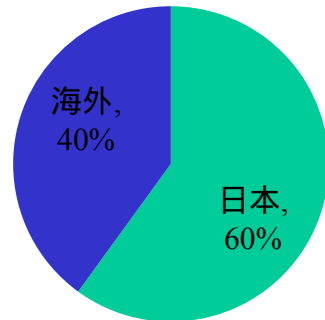
出典: 『United States Environmental Industry Export Competitiveness in Asia』Environmental Business International, Inc. 2001.9

(2006年における水質汚濁防止装置の対アジア輸出額は305億円(産業機械工業会))

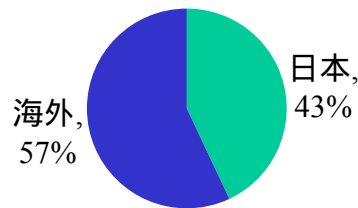
指標8:水質汚染分野における水処理膜のシェア

日本の輸出額が減少している水質関連分野ではあるが、水処理膜市場における日本の割合は大きい。

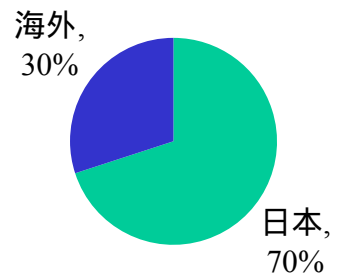
水処理用膜供給における日本の膜メーカー・シェア
水処理膜総計



LP+MF+UF膜



海水淡水化用逆浸透膜



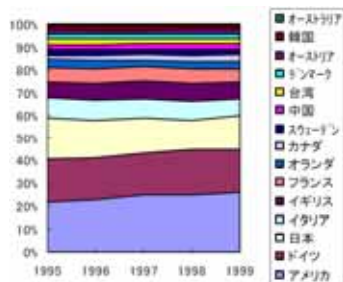
(出典) 産業競争力懇談会(COCN)『水処理と水資源の有効活用技術プロジェクト報告書』2008年3月

指標6:環境装置の輸出シェア

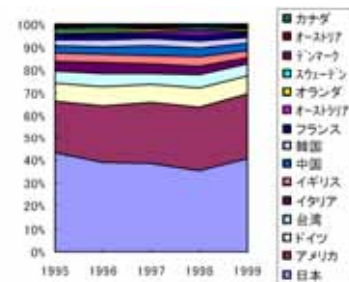
日本の環境装置の輸出シェアは高いが、低下の傾向がみられる。

区分	1位	2位	3位	傾向(1995年との比較)
輸出シェア(全世界)	米国 2.6%	ドイツ 1.9%	日本 1.5%	日本(1.8%→1.5%) 米国(2.2%→2.6%)
輸出シェア(アジア)	日本 3.9%	米国 2.7%	ドイツ 8%	日本(4.3%→3.9%) 米国(2.3%→2.7%)

環境装置輸出シェア(全世界)



環境装置輸出シェア(アジア)



出典: 平成15年度東アジア地域における環境問題・技術移転に関する調査報告書
 (社)日本機械工業連合会、(財)国際環境技術移転研究センター

(環境安心イノベーションプログラム)

「アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発」プロジェクト基本計画

環境技術開発部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

アスベストは、天然に産する繊維状結晶鉱物(白石綿、茶石綿、青石綿等)の総称で、耐熱性、耐酸性、耐摩耗性に優れることから、建築物の吹付け材、壁天井等の建材、発電所、化学プラントの配管シール材、自動車等のブレーキパッド等の工業製品として使用されてきた。アスベストは、戦前から利用されていたが、昭和 25 年ごろからカナダ、ブラジルなどから大量に輸入されるようになり、昭和 50 年頃から平成 2 年頃にかけて年間 35 万トン程度のピークを迎え、これまでに推計蓄積量 970 万トンが輸入されてきた。しかし、昭和 47 年に ILO(国際労働機関)、WHO(世界保健機構)がアスベストに関する癌原性を公表したことから、国内では、昭和 50 年には吹付け作業の禁止、平成 16 年には建材、接着剤、ブレーキパッドなどの製造、使用等が禁止となった。さらに、現在では、既設工場における使用環境の厳しい一部のシール材を除いて製造、使用等が全面的に禁止されている。

一方、平成 18 年 9 月のアスベストに関する規制の見直しに伴い、アスベスト含有製品の定義が含有率 1wt%から 0.1wt%に引き下げられたことから、これまで以上に対処すべき製品の量や種類が格段に増大することになった。具体的には、これまでの 1wt%含有アスベスト製品の処理推定量が 4 千万トン程度であったものが、0.1wt%に引き下げられたことにより、今後アスベスト含有廃棄物として適切に処理しなければならないアスベスト含有建材等は、膨大な量にのぼると推計されている。アスベストは多様な建材や工業製品に使用されてきたことから、今後も廃材や廃棄物からの飛散による健康被害が継続的に発生するおそれが指摘されている。このような状況を踏まえ、関係省庁、各自治体では、急速に対策が進められているところであるが、住宅やビル、学校、事業所の建屋、工場などにおいてアスベストがどこに、どれだけの量や割合で使用されているのかが明確に判断しにくく、解体廃棄の際にアスベスト含有製品として適切な処理をすべき対象物の判別ができず、また、大量のアスベスト含有廃棄物について、不法投棄などの問題の発生が懸念されている。さらに、スレート板やサイディング、乾式の吹き付け等、比較的容易に回収が可能なアスベスト含有製品に比べ、高強度で施工された湿式吹き付けについても、人手によらない、安全性・効率性の高い剥離・回収技術の開発が求められている。

このため、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、「NEDO 技術開発機構」という。)では、~~従来の低濃度アスベストの探知・計測に加え、極低濃度、浮遊状態及び混合物系であっても高い分解能、精度を有するオンサイト式探知・計測技術を開発する。また、今後、~~極低濃度アスベスト製品、大量のアスベスト含有廃棄物を適正処理に対応するた

めに必要な革新的技術として、安全性を確保しつつ作業効率性を高めた回収・除去技術、さらに、例えば高温の燃焼炉やマイクロ波等を活用し、アスベストの結晶構造を破壊する技術を開発することを目的とする。

本技術開発により安全性、信頼性の高い~~探知・計測技術、及び~~無害化・再資源化技術を開発することで、広くアスベストを利用している産業分野における効率的な削減に係る共通基盤技術として大きな寄与が期待できる。

(2) 研究開発の目標

本研究開発では、これまでのアスベスト対策技術に比べて、革新的な技術であり大きな波及効果が見込まれる技術を開発する。具体的な研究開発目標は下記の通り。

【研究開発最終目標】

- ~~① アスベスト含有製品の使用時、解体・回収・廃棄時において、簡易に探知・計測できる技術(開発目標：オンサイト式で検出感度0.1wt%超レベル)~~
- ② ①アスベストを含む建材等の回収・除去現場におけるアスベストの飛散及び暴露を最小化し、回収・除去の安全性及び信頼性等を確保する技術
- ③ ②アスベスト含有廃棄物の無害化処理又は再資源化段階における安全性、効率性に優れた技術(開発目標：処理量5ト/日以上)

なお、採択時に研究開発テーマ毎に回収率、無害化率、汎用性、普及効果、コスト等に関する具体的な数値目標を設けることとする。

(3) 研究開発の内容

本研究開発では、これまでのアスベスト対策では未着手な技術あるいは大きな波及効果が見込まれる技術についての開発を委託により実施する。具体的な研究開発内容は下記の通り。

~~1) アスベスト含有製品の簡易探知・計測技術~~

~~アスベストを含む製品(特に微量な混合物系、浮遊状態)使用時、解体・回収・廃棄時における作業現場で、簡易に高精度探知・計測を可能とする技術(破壊方式、非破壊方式、比色技術、光技術等)。~~

~~2) 1) 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。~~

大量の廃棄が見込まれるアスベスト含有建材のうち、例えば回収が困難な施工法である強固な湿式吹き付け等について、これまでの手作業による作業を減らした、安全性・効率性が高い回収・除去技術(機械化、高速分離・剥離、構造破壊、簡易熔融、固化等)。

➡ 2) アスベスト含有廃棄物の無害化・再資源化技術

大量に発生すると予測されるアスベスト含有廃棄物の適切な処理を確実に行うため、例えば高温の燃焼炉やマイクロ波を活用するなどにより、アスベストの結晶構造を破壊し、低コストで安全に、大量処理が可能な、無害化・再資源化技術。

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、NEDO 技術開発機構が、原則本邦の企業、研究組合、公益法人、大学等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること、ただし、国外企業の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点からの国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない。）から公募によって研究開発実施者を選定後、委託して実施する。

本研究開発を実施する各研究開発者の有する研究開発ポテンシャルを最大限に引き出すことにより効率的な研究開発の実施を図る観点から、NEDO 技術開発機構が指名する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を置き、研究開発を実施する。

(2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO 技術開発機構は、経済産業省及び研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして、適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて設置される技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度プロジェクトリーダー等を通じて、プロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成 19 年度から平成 21 年度までの 3 年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDO 技術開発機構は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の事後評価を平成 22 年度に実施する。なお、評価の時期については、当該研究開発に係わる技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

5. その他の重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

① 共通基盤技術の形成に資する成果の普及

得えられた研究成果のうち、共通基盤技術に係る研究開発成果については、NEDO 技術開発機構、実施者とも普及に努めるものとする。

②知的基盤整備事業又は標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備又は標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、標準情報（TR）制度への提案等を積極的に行う。

~~特に、計測分析技術等においては事業終了後に国際標準化も含めた標準化等を進めることを視野に入れた取り組みを検討する。~~

③知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第 25 条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

④成果の産業化

- a) 受託者は、本研究開発から得られる研究開発成果の産業面での着実な活用を図るため、本研究開発の終了後に実施すべき取り組みのあり方や研究開発成果の産業面での活用のビジネスモデルを立案するとともに、立案した取り組みのあり方とビジネスモデルを立案するとともに、立案した取り組みのあり方とビジネスモデルについて、研究開発の進捗等を考慮して、本研究開発期間中に必要な見直しを行う。
- b) 受託者は、上記 a) で立案した取り組みとビジネスモデルを本研究開発終了後、実行に移し、成果の産業面での活用に努めるものとする。

(2) 基本計画の変更

NEDO 技術開発機構は、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、研究開発動向、産業技術政策動向、第三者による評価結果、研究開発費の状況、当該研究開発の進捗等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第 15 条第 1 項第 2 号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 平成 19 年 3 月制定。
- (2) 平成 20 年 7 月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂。
- (3) 平成 20 年 8 月、バイオテクノロジー・医療技術開発部から環境技術開発部移管により改訂。
- (4) 平成 21 年 7 月、研究開発の一部を削除改訂。



研究テーマ名 アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発

2006年11月 現在

研究目的

背景、目的、必要性(政策的位置付け、市場ニーズ、技術ニーズ)

①背景:アスベストに関する健康被害は深刻な社会問題となっている。そのため、建材等の国民生活の多くの場に使われているアスベスト含有製品を早急に除去し、健康被害のリスクを低減しつつ、喫緊にアスベスト被害の解決を図ることが求められている。

②市場ニーズ(目的):低含量のアスベストを効率よく検出し、安全な作業環境下でアスベスト含有製品を除去・回収し、環境への拡散を回避しつつ無害化、再資源化等の処分が可能なたータルのシステム構築が求められている。

③技術ニーズ:

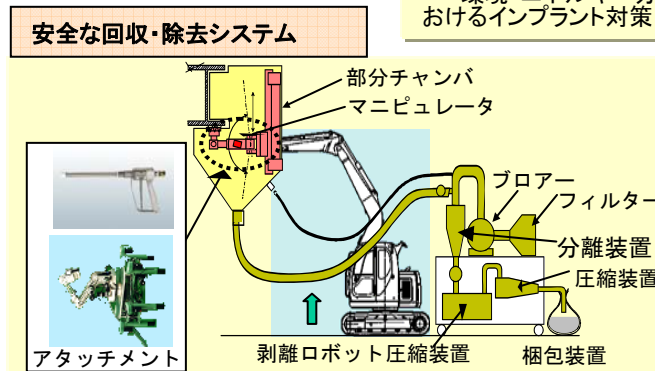
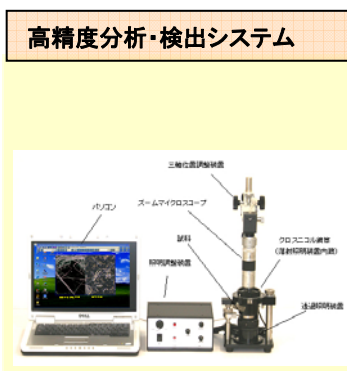
- ・極低濃度(0.1wt%以上)のアスベストに対応した高精度、低コストでアスベストを検出できる分析技術。
- ・アスベストを含む建材等について、安全性、信頼性の高い回収・除去、無害化、及び再資源化技術。

プロジェクトの規模

○事業費と研究開発期間

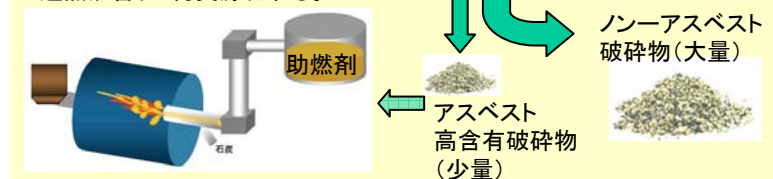
①事業費年間2億円, 研究開発期間3年

その他関連図表



選別・再資源化技術

少量の高含有破砕物を助燃剤を加えて、工業用の窯または炉で過熱無害化・再資源化する。



研究内容

○研究開発課題(目的達成のための技術課題)

- ・建築解体現場等の作業効率化のインセンティブとなる現場において簡易な方法によりアスベストを高精度に探知・計測できる技術
- ・安全性を確保しつつ作業効率性を高めた回収・除去技術、及び廃棄物処分場の負荷の大幅な軽減を可能とする無害化、再資源化技術

○キーテクノロジー、ブレークスルーのポイント、オリジナリティ

- ・偏光顕微鏡の改良(光の導入方法、画像方法等)、新規有機化合物による染色技術による、高精度・高再現性・高処理量を低コストで実現できる分析手法等。
- ・研磨剤を含有する高圧水により強固な湿式吹き付けアスベストを低コスト・安全に剥離・回収できる技術等。
- ・アスベストとそれ以外を高精度で分別し、助燃剤等を活用して、環境に飛散することなく、低コストで、大量のアスベストを無害化、再資源化する技術等。

○目標値(技術水準)とその条件及び設定理由(根拠)

①アスベスト含有製品の簡易探知・計測技術:

開発目標:検出感度0.1wt%超レベル

設定根拠:環境省によるアスベスト含有製品の定義が、アスベスト含有率0.1%以上

②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:

開発目標:作業効率90%以上

設定根拠:既存技術を大幅に上回る処理時間、経済性

③アスベスト含有廃棄物の無害化、再資源化技術:

開発目標:処理量5^{トン}/日以上

設定根拠:環境省によるアスベスト処分の事業認可基準

技術戦略マップ上の位置付け

「環境・エネルギー分野の技術マップ(化学物質総合管理分野)」の「リスク削減技術開発」の分野におけるインプラント対策、エンドオブパイプ対策における重要技術として位置付けられている。

「アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発プロジェクト基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成19年4月20日
NEDO技術開発機構
バイオテクノロジー・医療技術開発部

NEDO POST 3において標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。
お寄せいただきましたご意見を検討し、別添の基本計画に反映させていただきました。
みなさまからのご協力を頂き、ありがとうございました。

1. パブリックコメント募集期間

平成19年2月21日～平成19年3月4日

2. パブリックコメント投稿数＜有効のもの＞

計1件

3. パブリックコメントの内容とそれに対する考え方

ご意見の概要	ご意見に対する考え方	基本計画への反映
全体について		
1. 研究開発の目的		
(1) 研究開発の目的		
(2) 研究開発の目標		
(3) 研究開発の内容		

[意見 1] アスベストの溶融については、計量試験を始め、スラグのアスベスト分析、成分分析等、いずれも問題なく安全であることが証明されています。 これからの課題は、解体作業に於ける形状の全ての状態に対応できる投入方式を開発研究することです。特にこれから排出される非飛散性の廃棄物は1億トン超と予測されている中で、形状がさまざまであり、搬入状態も多岐に亘ることから、安全で尚且つ、簡単な一連の方式を確立することです。	[考え方と対応] ご指摘の観点については本プロジェクトの研究開発の範囲に含まれるものと考えております。	[反映の有無と反映内容] 特になし。
2. 研究開発の実施方式		
(1) 研究開発の実施体制		
(2) 研究開発の運営管理		
3. 研究開発の実施期間		
4. 評価に関する事項		
5. その他重要事項		
その他		

以上

事前評価書

		作成日	平成18年11月15日
1. 事業名称	「アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発」		
2. 推進部署名	バイオテクノロジー・医療技術開発部		
3. 事業概要	<p>(1)概要:</p> <p>本事業では、極低濃度のアスベストに対応した探知・計測に加え、混合物系への対応等など、これまでの偏光顕微鏡や染色法では観測できなかった高い分解能、精度を有する探知・計測技術を開発する。また、今後、極低濃度アスベスト製品、製品群の多様化等に伴う大量のアスベストの適正処理に対応するため、安全性、信頼性の高い回収・除去、無害化、再資源化技術に関する研究開発を行う。</p> <p>(2)平成19年度予算額:200.0(百万円)</p> <p>(3)事業期間:平成19年度～平成21年度(3年間)</p>		
4. 評価の検討状況			
(1)事業の位置付け・必要性			
<p>①事業自体の必要性</p> <p>アスベストに関する健康被害は深刻な社会問題となっており、今後も大量の建材等の廃棄に伴う飛散による被害拡大が懸念されている。そういった観点から、高効率、簡便、低コストな探知・計測技術とともに、安全性、信頼性の高い回収・除去、無害化、再資源化技術の開発が求められている。そのため、これらの技術については、「環境・エネルギー分野の技術マップ(化学物質総合管理分野)」の「リスク削減技術開発」の分野における大気、土壌のインプラント対策、エンドオブパイプ対策として重要技術に位置付けられている。</p> <p>②上位政策との関係から見た位置付け</p> <p>世界的にアスベスト全廃が進められてきている中、今後、アスベストを効率的に削減、無害化するためには、極微量のアスベストに対応した探知・計測技術、大量に排出される建材等の安全な回収、無害化技術を確立することが肝要である。これらの技術開発は、今後、アスベストの処理に係る処理費の大幅な削減に繋がり、安全性確保と産業競争力の強化が期待され、ひいては国際競争力の強化に貢献する。</p>			
(2)研究開発目標の妥当性			
<p>昨年9月のアスベストに関する規制の見直しに伴い、アスベスト含有製品の定義が「含有率1%以上」から「含有率0.1%以上」に変更されたことから、対処すべき製品の量や種類が増大することとなった。アスベストは、多様な建材や工業製品に使用されてきたことから、今後も廃材</p>			

や廃棄物からの飛散による健康被害が継続的に発生する恐れが指摘されている。

関係省庁、各自治体では、アスベストの安全対策が急速に進められているところであるが、住宅や学校、事業所の建屋、工場などにおいて、アスベストがどの箇所に、どれだけの量を使用しているのかが明確に判断できず、また大量のアスベスト含有廃棄物の処分について不法投棄などの問題の発生が懸念されている。したがって、建築解体現場等の作業効率化のインセンティブとなる現場において簡易な方法によりアスベストを高精度に探知・計測できる技術、安全性を確保しつつ作業効率性を高めた回収・除去技術、及び廃棄物処分場の負荷の大幅な軽減を可能とする無害化、再資源化技術の開発が求められている。

そのため、本事業では、高効率、簡便、低コストをも念頭に入れ、下記の研究開発課題と目標を設定する。

【研究開発課題と目標】

- ① アスベスト含有製品の使用時、解体・回収・廃棄時において、アスベストを簡易に探知・計測できる技術(開発目標:検出感度 0.1wt%超レベル)
- ② アスベストを含む建材等の回収・除去現場におけるアスベストの飛散及び暴露を最小化し、回収・除去の安全性及び信頼性を確保する技術(開発目標:作業効率 90%以上)
- ③ アスベスト含有廃棄物の無害化処理又は再資源化段階における安全性、高効率に優れた技術(開発目標:処理量 5 トン/日以上)

(3) 研究開発マネジメント

① 事前評価におけるマネジメント

平成 17 年度には、アスベストに関する国内外の法規制、最新技術の動向調査を行った。さらに、平成 18 年度には「緊急アスベスト削減実用化基盤技術開発」を立ち上げ、吹付けアスベスト(乾式)の剥離、代替材料、探知・計測技術(1wt%)にテーマを絞り、単年度事業として目覚ましい研究成果を上げている。さらに、「有害アスベストの蓄積フロー解析による革新的削減ツールに関する調査研究」、「有害アスベスト削減に係る技術体系と技術戦略ロードマップに関する調査」に関する最新動向調査を行い、今後、NEDO 技術開発機構が積極的に開発すべき技術とロードマップを作成している。そのため、調査委託先に、国、大学、研究機関、関係団体、民間企業等の学識経験者からなる研究会を設置し、取り纏めを行っている。早期の実用化を実現するために必要な優れた技術開発スキームを構築するため、当該関連技術に関する調査結果を基本計画の策定及び事業の実施に反映させるものとする。

② 研究開発におけるマネジメント

本事業では、公募を実施して、優れた提案を採択し、研究開発体制を構築する。各研究開発テーマにプロジェクトリーダーを設置し、研究開発の責任の所在を明確にする。

なお、NEDO は別途定められた技術評価に係わる指針及び技術評価実施要領に基づき、技術的及び産業技術政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義

<p>並びに将来の産業への波及効果等について外部有識者による事後評価を平成22年度に実施する。なお、評価の時期については、当該研究開発に係わる技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しすることも含めて、適宜見直すものとする。</p>
<p>(4) 研究開発成果</p> <p>極微量(0.1wt%超)のアスベストが、どのような場所で、どの程度の量が使用されているかが判定できる簡易、高精度な探知・計測技術や安全性を確保しつつ作業効率性を高める回収・除去技術、廃棄物処分場の負荷の大幅な軽減を可能とする無害化、再資源化技術の確立によって、安全、安心な社会が実現できることになり、環境保全、産業競争力を確保することが期待できる。</p>
<p>(5) 実用化・事業化の見込み</p> <p>本年9月のアスベストに関する規制の見直しに伴い、アスベスト含有製品の定義が「含有率1%以上」から「含有率0.1%以上」に変更されたことに伴い、見直し以前のアスベスト含有製品の処理推定量が4千万トンの程度であったところ、1億トン超のアスベスト含有建材等の処理を要するものと推定される。本事業の成果を適用することによって期待される波及効果は、今後、30年に亘り、探知・計測技術においては3200～3300億円、回収、無害化、埋め立て処理には、吹付けアスベストで2.7兆円程度(80万トン)、建材等では14.8兆円以上に寄与(寄与率:20%以上)することが期待できる。</p>
<p>(6) その他特記事項</p> <p>本プロジェクトは、環境省、国土交通省、厚生労働省、東京都等が実施しているアスベスト対策事業の推移に留意し、適宜関係者間との連携を図りつつ、効率的なプロジェクト運営に努める。</p>
<p>5. 総合評価</p> <p>NEDOの実施する事業として適切であると判断する。</p>

特許、論文等リスト

(プロジェクト全体)

	H 1 9	H 2 0	H 2 1	H 2 2	計
特許出願	2	5	8	0	15
論文	5	10	10	9	34
研究発表・講演	8	15	13	10	46
受賞実績	1	1	1	1	4
新聞・雑誌への掲載	28	21	33	19	101
展示会への出展	4	5	7	6	22

※平成22年10月31日現在

(1) アスベストの安全回収・除去技術開発

	H 1 9	H 2 0	H 2 1	H 2 2	計
特許出願	0	2	1	0	3
論文	5	4	3	3	15
研究発表・講演	6	6	3	3	18
受賞実績	1	1	1	0	3
新聞・雑誌への掲載	14	9	13	6	42
展示会への出展	1	2	3	2	8

(2) アスベストの無害化・資源化技術開発

	H 1 9	H 2 0	H 2 1	H 2 2	計
特許出願	2	3	7	0	12
論文	0	6	7	6	19
研究発表・講演	2	9	10	7	28
受賞実績	0	0	0	1	1
新聞・雑誌への掲載	14	12	20	13	59
展示会への出展	3	3	4	4	14

(1)アスベストの安全回収・除去技術開発

(1)－①遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発(大成建設)

A)特許

No.	出願日	出願番号	発明の名称	出願人
1	2008年 10月3日	特願 2008-258911	アスベスト含有建材剥離装置	大成建設株式会社
2	2009年 8月7日	特願 2009-183975	アスベスト含有建材除去装置	大成建設株式会社

B)論文

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2007年4月	日本建築学会	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)	森 直樹 他
2	2007年4月	日本建築学会	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)	大山能永 他
3	2007年8月	日本建設機械化協会	建物解体時の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	森 直樹 他
4	2008年2月	日本建築学会建築生産自動化小委員会	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	森 直樹 他
5	2008年4月	日本建築学会大会論文集	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	森 直樹 他
6	2008年6月	日本建築学会技術報告集	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	森 直樹 他
7	2008年6月	日本建設機械化協会	乾式系吹付けアスベスト除去ロボットの開発・実証	森 直樹 他
8	2009年4月	日本建築学会	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)	森 直樹 他
9	2009年4月	日本建築学会	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)	大山能永 他
10	2009年12月	日本建築学会小委員会	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	森 直樹 他
11	2010年4月	日本建築学会	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4)	森 直樹 他
12	2010年4月	日本ロボット学会他	遠隔操作によるアスベスト除去ロボットの開発	森 直樹 他

C)研究発表・講演

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2007年 8月31日	日本建築学会	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)	森直樹
2	2007年 8月31日	日本建築学会	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)	大山能永
3	2008年 2月2日	日本大学桜建会 第218回定例会	建物の安全解体技術:乾式系吹付けアスベスト除去・回収システムの開発	長瀬公一
4	2008年 3月13日	日本建築学会	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	森直樹
5	2008年 9月18日	日本建築学会	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	森 直樹
6	2008年 10月17日	日本建設機械化協会	乾式系吹付けアスベスト除去ロボットの開発実証	森 直樹
7	2009年 2月4日	第4回エコケミカルシンポジウム	遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発	家田高好

8	2009年 2月23日	日本建設機械化 協会九州支部	乾式系吹付けアスベスト除去ロボットの 開発実証	森 直樹
9	2009年 8月29日	日本建築学会	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)	森 直樹
10	2009年 8月29日	日本建築学会	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)	大山能永
11	2010年 1月28日	日本建築学会小 委員会	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	森 直樹
12	2010年 9月7日	日本ロボット学会 他	遠隔操作によるアスベスト除去ロボット の開発	森 直樹
13	2010年 9月10日	日本建築学会	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4)	森 直樹

D)受賞等

なし

E)新聞・雑誌等への掲載

No.	発表年月日	発表媒体	発表内容
1	2007年 4月2日	産経新聞	アスベスト除去ロボ
2	2007年 4月19日	日刊建設産業新聞	遠隔操作で石綿除去・回収
3	2007年 8月29日	日経産業新聞	遠隔操作で効率良く
4	2007年 9月23日	朝日新聞	石綿除去するロボット開発
5	2007年 10月12日	建通新聞	NEDO アスベスト対策開発プロジェクト
6	2007年 10月29日	日刊建設工業新聞	遠隔操作でアスベスト除去
7	2007年 10月29日	日刊建設通信新聞	遠隔操作ロボで乾式石綿除去
8	2007年 10月31日	化学工業日報	アスベスト無人化除去・回収システム
9	2007年 11月28日	日刊工業新聞	ロボット最前線:ゼネコンの石綿除去関連ロボ
10	2008年 1月11日	日経産業新聞	アスベスト除去ロボット(日経アーキテクチャ)
11	2009年 3月17日	日本経済新聞 (夕刊)	アスベスト除去 「爆弾」触れずに速く
12	2009年 5月29日	日経産業新聞	日本のロボット産業
13	2009年 9月8日	日経産業新聞	エレベータシャフト内アスベスト除去ロボットの開発
14	2010年 2月19日	建設通信新聞	エレベータシャフト内の石綿ロボット使い安全除去
15	2010年 2月19日	化学工業日報	アスベスト除去ロボット開発
16	2010年 2月19日	鉄鋼新聞	エレベータシャフト内アスベスト除去ロボット
17	2010年 2月22日	日刊工業新聞	エレベータシャフト内アスベストを自動除去
18	2010年 2月24日	電気新聞	エレベータシャフト内アスベスト除去ロボット

19	2010年 2月26日	建設産業新聞	エレベータシャフト内アスベスト除去作業 知能ロボット で無人化
20	2010年 2月26日	建設工業新聞	エレベータシャフト内のアスベスト除去 知的ロボットで 完全無人化
21	2010年 3月2日	建設通信新聞	エレベータシャフト内石綿除去ロボ 作業効率は3倍
22	2010年 3月12日	日本経済新聞 (夕刊)	アスベスト ロボが除去
23	2010年 4月8日	日経産業新聞	エレベータシャフトの石綿除去ロボ
24	2010年 10月11日	日刊工業新聞	ロボ利用のアスベスト除去システムを実用化
①	2007年6月	大成建設「CSR 報告書」	アスベスト無人化除去・回収システム
②	2007年9月号	月刊「地球環境」	遠隔操作で無人化施工を実現 乾式系吹付けアスベ スト除去ロボット開発
③	2007年12月	大成建設技術センター 報第40号	ロボットを使った乾式系吹付けアスベスト除去・回収
④	2008年1月号	月刊「コンクリート工学」	建物の安全解体技術:アスベスト自動化除去技術
⑤	2008年11月号	月刊「資源環境対策」	吹付けアスベスト無人化除去・回収システム
⑥	2009年9月号	月刊「地球環境」	遠隔操作による湿式系吹付けアスベスト除去
⑦	2009年秋号	季刊「建築施工単価」	アスベスト処理・対策の現況と課題
⑧	2010年8月号	建設の施工企画	ロボット・無人化施工 特集
⑨	2010年11月号	建築設備と配管工事	遠隔操作による解体時アスベスト除去ロボット

その他メディア発表等

No.	発表年月日	発表媒体	発表内容
1	2007年10月27日	NHK全国ニュース	アスベスト除去ロボット
2	2009年10月5日	NHK国際ラジオ放送 18ヶ国語配信	アスベスト除去ロボット関連

F)展示会への出展

No.	年月	発表先	題目
1	2008年 10月8～10日	アスベスト対策環境 展08	開発成果の報告(小セミナー)、システム模型等
2	2009年 10月21～23日	アスベスト対策環境 展09	開発成果の報告(小セミナー)、システム模型等
3	2009年 12月10～12日	エコプロダクツ展	システム模型等、技術説明
4	2010年 10月6～8日	アスベスト&環境リ スク対策展	開発成果の報告(小セミナー)、システム模型等

(1)－②高性能アスベスト剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボットの開発(竹中工務店)

A)特許

No.	出願日	出願番号	発明の名称	出願人
1	2009年 3月10日	特願 009-56254	クローズ型除去処理システムの除 去装置	株式会社竹中工務店

B) 論文

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2008年 3月13日	第17回建築施工ロボットシンポジウム予稿集	吹付けアスベストのクローズ型除去ロボットシステムの開発	星野、高橋、竹内
2	2008年 9月2日	第11回建設ロボットシンポジウム論文集	吹付けアスベストの高機能クローズ型処理ロボットの開発	星野、嘉本、菅田、竹内
3	2010年 9月7日	第12回建設ロボットシンポジウム論文集	鉄骨吹付けアスベストの剥離・回収クローズ型ロボットシステムの開発	洗、星野、菅田、田澤、林田

C) 研究発表・講演

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2007年 10月10日	第19回アーバンインフラテクノロジー技術研究発表会	吹付けアスベストのクローズ型処理ロボットシステムの開発	星野春夫
2	2008年 3月13日	第17回建築施工ロボットシンポジウム	吹付けアスベストのクローズ型除去ロボットシステムの開発	星野春夫
3	2008年 9月2日	第11回建設ロボットシンポジウム	吹付けアスベストの高機能クローズ型処理ロボットの開発	星野春夫
4	2009年 2月4日	第4回エコケミカルシンポジウム	高性能アスベスト剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボットの開発	林田英俊
5	2010年 9月7日	第12回建設ロボットシンポジウム	鉄骨吹付けアスベストの剥離・回収クローズ型ロボットシステムの開発	洗 光範

D) 受賞等

No.	年月	主催者	受賞題目	受賞者
1	2007年 11月5日	アーバンインフラテクノロジー推進会議	第19回アーバンインフラテクノロジー技術研究発表会奨励賞	星野、高橋、竹内
2	2008年 9月2日	土木学会、日本建築学会他、6団体共催	第11回建設ロボットシンポジウム優秀論文賞	星野、嘉本、菅田、竹内
3	2009年 5月27日	日本建設機械化協会	日本建設機械化協会奨励賞	竹中工務店

E) 新聞・雑誌等への掲載

No.	発表年月日	発表媒体	発表内容
1	2008年 11月29日	日本経済新聞	アスベスト自動除去ロボット
2	2008年 12月2日	日刊工業新聞	剥離ロボで遠隔除去
3	2008年 12月2日	建設工業新聞	石綿を安全効率除去
4	2008年 12月2日	建設通信新聞	遠隔操作で効率4倍
5	2008年 12月2日	建設産業新聞	遠隔操作で安全剥離ロボで遠隔除去・高効率
6	2010年 10月11日	日刊工業新聞	ロボでアスベスト自動除去
①	2008年 11月号	資源環境対策	吹付けアスベストの剥離・圧縮・梱包クローズ型処理ロボット
②	2009年 2月号	建築技術	遠隔操作により密閉環境でアスベストを処理する技術
③	2010年 11月号	建築設備と配管工事	リニューアルに適したアスベスト除去ロボット

F) 展示会への出展

No.	年月	発表先	題目
1	2007年 10月17～19日	アスベスト対策環境 展07	開発成果の報告(小セミナー)、パネル展示等
2	2008年 10月8～10日	アスベスト対策環境 展08	開発成果の報告(小セミナー)、パネル展示等
3	2009年 10月21～23日	アスベスト対策環境 展09	開発成果の報告(小セミナー)、パネル展示等
4	2010年 10月6～8日	アスベスト&環境リ スク対策展	開発成果の報告(小セミナー)、パネル展示等

(2) アスベストの無害化・資源化技術開発

(2) - ① オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発(北陸電力)

A) 特許

No.	出願日	出願番号	発明の名称	出願人
1 ～ 4	2009年 7月7日	特願 2009-161257 2009-161258 2009-161259 2009-161260	廃アスベスト無害化装置	北陸電力株式会社 富士電機サーモシステムズ株式会社

B) 論文

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2009年3月	平成20年度火力原子 力発電大会論文集	「アスベスト含有保温材の溶融・無 害化処理システムの開発」	山田、別森 岡山、山本(富士電 機サーモシステムズ) 谷口(東北大学)
2	2010年3月	平成21年度火力原子 力発電大会論文集	「オンサイト式アスベスト溶融・無 害化処理システムの開発」	山田、別森 岡山、山本(富士電 機サーモシステムズ)

C) 研究発表・講演

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2007年 11月29日	第2回エレクトヒートシ ンポジウム論文発表会	高周波誘導加熱炉を用いたアスベ スト無害化・資源化装置の開発	山田
2	2009年 2月4日	第4回エコケミカルシ ンポジウム	オンサイト・移動式アスベスト無 害化・資源化装置の開発	綿貫
3	2009年 10月8日	平成21年度火力原 子力発電大会	オンサイト式アスベスト溶融・無 害化処理システムの開発	山田

D) 受賞等 なし

E) 新聞・雑誌等への掲載

No.	発表年月日	発表媒体	発表内容
1	2008年 1月23日	電気新聞	北陸電力、移動式処理車開発へ
2	2008年 1月31日	電気新聞	北陸電力、技術開発特集

3	2009年 2月21日	北日本新聞	北陸電力、移動式処理車の開発
4 ～ 10	2009年 7月9日	日経新聞、日経産業新聞、朝日新聞、 読売新聞、北陸中日新聞、北日本新 聞、電気新聞	北陸電力、現地で石綿無害化処理
11 ～ 16	2010年 10月15日	日経新聞、北日本新聞、富山新聞、北 国新聞、福井新聞、電気新聞	北陸電力を石綿無害化で大臣認定
①	2008年1月号	電気評論	オンサイト式アスベスト溶融・無害化処理 システムの研究開発
②	2008年7月号	エレクトヒート	高周波誘導加熱炉を用いたアスベスト無 害化・資源化装置の開発
③	2009年1月号	電気評論	オンサイト式アスベスト溶融・無害化処理 システムの研究開発
④	2009年12月号	電気現場技術	オンサイト式アスベスト溶融・無害化処理 システムの開発
⑤	2010年1月号	電気評論	オンサイト式アスベスト溶融・無害化処理 システムの開発と連続運転試験
⑥	2010年11月号	建築設備と配管工事	アスベスト含有保温材溶融・無害化処理 システムの開発

F) 展示会への出展

No.	年月	発表先	題目
1	2007年 10月17～19日	アスベスト対策環境 展07	開発成果の報告(小セミナー)、パネル展示等
2	2008年 10月8～10日	アスベスト対策環境 展08	開発成果の報告(小セミナー)、パネル展示等
3	2009年 10月21～23日	アスベスト対策環境 展09	開発成果の報告(小セミナー)、パネル展示等
4	2010年 10月6～8日	アスベスト & 環境リ スク対策展	開発成果の報告(小セミナー)、パネル展示等

(2)－②低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発(大旺新洋、戸田建設)

A) 特許

No.	出願日	出願番号	発明の名称	出願人
1	2007年 9月21日	特願 2007-244797	アスベスト含有廃棄物の再 生処理方法	戸田建設株式会社、西松建設株 式会社、大旺建設株式会社
2	2007年 11月12日	特願 2007-293061	アスベスト含有廃棄物の加 熱処理システム	戸田建設株式会社、西松建設株 式会社、大旺建設株式会社
3	2008年 9月10日	特願 2008-231929	アスベスト含有建材の無害 化装置	戸田建設株式会社、西松建設株 式会社、大旺新洋株式会社
4	2010年 3月26日	特願 2010-72519	アスベスト含有建材の加熱 処理システム	戸田建設株式会社、西松建設株 式会社、大旺新洋株式会社

B) 論文

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2008年4月	日本建築学会	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資 源化装置の開発(その1. 全体概要)	三浦、千葉、半 田、高浪
2	2008年4月	日本建築学会	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資 源化装置の開発(その2. パイロット試験結 果および処理物の再資源化の検討)	高浪、千葉、三 浦、半田

3	2008年5月	土木学会年次学術講演会	過熱蒸気を用いたアスベスト含有建材の無害化と再資源化	稲葉、石渡、前、百代、高浪
4	2008年5月	土木学会年次学術講演会	過熱蒸気を用いたパイロット規模のアスベスト含有建材の無害化技術	前、百代、高浪、稲葉、石渡、
5	2008年6月	廃棄物資源循環学会研究発表会	過熱蒸気を用いたアスベスト無害化技術の開発	稲葉、石渡、百代、高浪、前、三浦、半田
6	2009年4月	日本建築学会	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発(その3. アスベスト含有建材の無害化処理条件の最適化)	三浦、千葉、半田、澤田、高浪
7	2009年5月	土木学会年次学術講演会	過熱蒸気を用いたアスベスト6種類の非石綿化実験	石渡、稲葉、百代、高浪、
8	2009年5月	土木学会年次学術講演会	過熱蒸気を用いてアスベスト含有建材を非石綿化できる境界温度に関する実験	稲葉、石渡、百代、高浪、
9	2009年5月	土木学会年次学術講演会	過熱蒸気を用いたアスベスト含有建材の最適処理条件に関する研究	百代、高浪、石渡、稲葉
10	2009年5月	日本衛生学会誌	石綿無害化処理物における生体影響について	森本、東、千葉、石渡、高浪
11	2009年6月	廃棄物資源循環学会研究発表会	過熱蒸気によるアスベスト含有建材無害化物の無害性評価	稲葉、石渡、百代、高浪、前、千葉、澤田
12	2010年4月	日本建築学会	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発(その4. 過熱蒸気の触媒効果と電磁波効果)	三浦、千葉、半田、澤田、高浪
13	2010年4月	日本建築学会	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発(その5. TEMによる分析とセメント原料化)	澤田、千葉、三浦、半田、高浪
14	2010年6月	土木学会年次学術講演会	アスベスト含有建材の無害化とセメント原料化実験	稲葉、石渡、百代、高浪
15	2010年6月	廃棄物資源循環学会研究発表会	過熱蒸気を用いたアスベスト含有建材の無害化・再資源化技術の開発(その1. 過熱蒸気の効果)	百代、高浪、澤田、千葉、石渡
16	2010年6月	廃棄物資源循環学会研究発表会	過熱蒸気を用いたアスベスト含有建材の無害化・再資源化技術の開発(その2. アスベスト含有建材の処理物の透過型電子顕微鏡による評価)	石渡、高浪、澤田、千葉
17	2010年6月	廃棄物資源循環学会研究発表会	過熱蒸気を用いたアスベスト含有建材の無害化・再資源化技術の開発(その3. パイロット装置による連続実験とセメント原料化)	澤田、千葉、高浪、石渡、

C) 研究発表・講演

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2007年 11月14日	アスベスト対策 ビジネス研究会	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発	百代 淳一
2	2008年 7月31日	京大環境工学シ ンポジウム	過熱蒸気によるアスベスト含有建材の無害化と再資源化	高浪 哲郎
3	2008年 9月10日	土木学会第63回 年次学術講演会	過熱蒸気を用いたアスベスト含有建材の無害化と再資源化	稲葉 力
4	2008年 9月10日	土木学会第63回 年次学術講演会	過熱蒸気を用いたパイロット規模のアスベスト含有建材の無害化技術	前 直樹
5	2008年 9月19日	日本建築学会大 会2008	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・再資源化に関する研究開発(その1. 全体概要)	三浦 勇雄

6	2008年 9月19日	日本建築学会大会 2008	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・再資源化に関する研究開発(その 2. パイロット試験結果および処理物の再資源化の検討)	高浪 哲郎
7	2008年 11月19日	廃棄物学会大会 2008	過熱蒸気を用いたアスベスト無害化技術の開発	稲葉 力
8	2009年 2月4日	第4回エコケミカルシンポジウム	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化と再資源化装置の開発(パネルディスカッション)	高浪 哲郎 千葉 脩
9	2009年 7月31日	京大環境工学シンポジウム	過熱蒸気を用いたアスベスト含有建材無害化技術の連続実験	稲葉 力
10	2009年 8月26 ~29日	日本建築学会大会 2009	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・再資源化に関する研究開発(その 3. アスベスト含有建材の無害化処理条件の最適化)	三浦 勇雄
11	2009年 9月2~4日	土木学会第63回 年次学術講演会	過熱蒸気を用いたアスベスト6種類の非石綿化実験	石渡 寛之
12	2009年 9月2~4日	土木学会第63回 年次学術講演会	過熱蒸気を用いてアスベスト含有建材を非石綿化できる境界温度に関する実験	稲葉 力
13	2009年 9月2~4日	土木学会第63回 年次学術講演会	過熱蒸気を用いたアスベスト含有建材の最適処理条件に関する研究	百代 淳一
14	2009年 9月17~19日	廃棄物資源循環学会研究発表会 2009	過熱蒸気によるアスベスト含有建材無害化物の無害性評価	稲葉 力
15	2010年 9月1~3日	土木学会第64回 年次学術講演会	アスベスト含有建材の無害化とセメント原料化実験	稲葉 力
16	2010年 9月9~11日	日本建築学会大会 2010	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・再資源化に関する研究開発(その 4. 過熱蒸気の触媒効果と電磁波効果)	三浦 勇雄
17	2010年 9月9 ~11日	日本建築学会大会 2010	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・再資源化に関する研究開発(その 5. TEMIによる分析とセメント原料化)	澤田 晃也
18	2010年 10月20日	2010建設リサイクル技術発表会	過熱蒸気を用いたアスベスト含有建材の無害化・再資源化技術 -アスベストのゼロ社会を目指して-	石渡 寛之 小林 正典
19	2010年 11月5日	廃棄物資源循環学会研究発表会 2010	過熱蒸気を用いたアスベスト含有建材の無害化・再資源化技術の開発(その 1. 過熱蒸気の効果)	百代 淳一
20	2010年 11月5日	廃棄物資源循環学会研究発表会 2010	過熱蒸気を用いたアスベスト含有建材の無害化・再資源化技術の開発(その 2. アスベスト含有建材の処理物の透過型電子顕微鏡による評価)	石渡 寛之
21	2010年 11月5日	廃棄物資源循環学会研究発表会 2010	過熱蒸気を用いたアスベスト含有建材の無害化・再資源化技術の開発(その 3. パイロット装置による連続実験とセメント原料化)	澤田 晃也

D)受賞等

No.	年月	主催者	受賞題目	受賞者
1	2010年 7月 22日	社団法人 エンジニアリング振興協会	エンジニアリング奨励特別賞	戸田建設株式会社、西松建設株式会社、大旺新洋株式会社

E)新聞・雑誌等への掲載

No.	発表年月日	発表媒体	発表内容
1～3	2007年 11月22日	日経新聞四国版、日経産業新聞、高知新聞	アスベストを含む建材 無害化し、再利用
4～8	2007年 12月11日	日刊工業新聞、建設産業新聞、建設工業新聞、建設通信新聞、セメント新聞	アスベストを無害化 低温過熱蒸気で石綿無害化
9	2009年 1月14日	環境新聞	過熱蒸気でアスベスト含有建材無害化 破砕せず 低温処理可能
10	2009年 2月24日	日経産業新聞	石綿含有建材をセメント原料に
11～13	2010年 3月4日	建設産業新聞、建設工業新聞、建設通信新聞	アスベスト低温で無害化
14～15	2010年 3月13日	日経新聞四国版、高知新聞	過熱蒸気で廃材無害化
16	2010年 3月15日	日経産業新聞	建材の石綿無害化 950℃蒸気で
17	2010年 10月7日	日刊工業新聞	アスベスト含有建材無害化 建材原料ヘリサイクル
①	2008年11月 号	資源環境対策 vol.44、No.4	低温過熱蒸気によるアスベスト含有建材の無害化・資源化装置
②	2008年7月	戸田建設技術研究報告	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・再資源化に関する研究開発
③	2009年7月	戸田建設技術研究報告	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・再資源化に関する研究開発(その2. アスベスト含有建材の無害化処理条件の最適化と連続実験)
④	2009年7月	西松建設技報	低温過熱蒸気を用いたアスベスト含有建材の無害化技術の開発
⑤	2010年6月 号	環境浄化技術 vol.9、No.6	過熱蒸気によるアスベスト含有建材の無害化技術
⑥	2010年11月 号	建築設備と配管工事 vol.48、No.13	低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化

F)展示会への出展

No.	年月	発表先	題目
1	2007年 10月17～19日	アスベスト対策環境展07	開発成果の報告(小セミナー)、パネル展示等
2	2008年 10月8～10日	アスベスト対策環境展08	開発成果の報告(小セミナー)、パネル展示等
3	2009年 10月21～23日	アスベスト対策環境展09	開発成果の報告(小セミナー)、パネル展示等
4	2010年 10月6～8日	アスベスト&環境リスク対策展	開発成果の報告(小セミナー)、パネル展示等

(2)－③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(ケイミュー)

A)特許

No.	出願日	出願番号	発明の名称	出願人
1	2008年 12月26日	特願 2008-332230	石綿含有建材の無害化処理方法	クボタ松下電工外装株式会社
2	2009年 1月20日	特願 2009-9893	石綿含有建材の無害化処理法	クボタ松下電工外装株式会社、大学共同利用機関法人自然科学研究機構

B)論文 なし

C)研究発表・講演

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2009/2/4	第4回エコケミカルシンポジウム	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	小泉

D)受賞等 なし

E)新聞・雑誌等への掲載

No.	発表年月日	発表媒体	発表内容
1	2007/5/14	化学工業日報	クボタ松下電工外装 マイクロ波でのアスベスト無害化処理にめど
2	2007/8/29	環境新聞	スレート瓦を低温加熱 KMEW が北九州で実証
3	2007/9/26	セメント新聞	KMEW2007 環境報告書 石綿含有建材を無害化
4	2008/10/1	建設通信新聞	クボタ松下電工外装 マイクロ波で石綿無害化
5	2009/8/17	日本経済新聞(夕刊)	石綿建材マイクロ波で無害化 埋め立て不要に
6	2009/8/31	循環経済新聞	石綿無害化技術を開発 マイクロ波を使用
①	2008年7月号	環境浄化技術	マイクロ波によるアスベスト含有建材の無害化
②	2008年11月号	資源環境対策	マイクロ波加熱によるアスベスト建材無害化技術
③	2010年3号	金属	アスベスト含有建材のマイクロ波加熱による無害化
④	2010年11月号	建築設備と配管工事	マイクロ波加熱による石綿含有建材の無害化

その他メディア発表等

No.	発表年月日	発表媒体	発表内容
1,2	2009/8/17	TV 東京 ニュースファイン、ワールドビジネスサテライト	マイクロ波で石綿無害化

F)展示会への出展

No.	年月	発表先	題目
1	2007年 10月17～19日	アスベスト対策環境展07	開発成果の報告(小セミナー)、パネル展示等
2	2008年 10月8～10日	アスベスト対策環境展08	開発成果の報告(小セミナー)、パネル展示等

(2)－④アスベスト低温溶融無害化・再資源化処理システムの開発(ストリートデザイン)

A)特許

No.	出願日	出願番号	発明の名称	出願人
1	2009年 11月6日	特願 2009-255215	アスベストの飛散防止処理法	株式会社ストリートデザイン、独立行政法人産業技術総合研究所
2	2010年 3月2日	特願 2010-045835	アスベストの飛散防止処理方法	株式会社ストリートデザイン

B)論文 なし

C)研究発表・講演

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2009年 8月	8th World Congress of Chemical Engineering (カナダ・モントリオール)	THE TREATMENT OF ASBESTOS-ALIKE CERAMIC FIBER BY USING ATMOSPHERIC MICROWAVE AIR PLASMA	Aulia Averroes, H. Sekiguchi and K. SaKamoto
2	2009年 9月	化学工学会第41回秋季大 会研究発表講演要旨集 (CD-ROM), Y319	大気圧マイクロ波空気プラズマを 用いた飛散性アスベストの処理	関口 秀俊, Aulia Averroes, 坂本 佳次 郎, 坂本 竜二
3	2010年 3月	化学工学会第75回年会研 究発表講演要旨集 (CD-ROM), O106	大気圧マイクロ波空気プラズマを 用いた繊維状微粒子の処理	関口 秀俊, Aulia Averroes., 坂本 佳 次郎

D)受賞等 なし

E)新聞・雑誌等への掲載

No.	発表年月日	発表媒体	発表内容
1	2009年8月	建設新聞	アスベストエコプレミアムシステム開発
2	2009年8月	環境新聞	廃棄物を無害化
①	2010年9月号	イーコンテクチャー	廃プラスチック由来の燃料ガスによるアスベスト溶融 無害化プロセスの開発
②	2010年11月号	建築設備と配管工事	アスベスト低温溶融無害化再資源化

F)展示会への出展

No.	年月	発表先	題目
1	2009年 10月21～23日	アスベスト対策環境 展09	開発成果の報告(小セミナー)、パネル展示等
2	2010年 2月～5日	川崎国際環境展	開発成果パネル展示等
3	2010年6月30日 ～7月2日	新エネルギー世界展	開発成果パネル展示(産総研ブース)
3	2010年 10月6～8日	アスベスト&環境リ スク対策展	開発成果の報告(小セミナー)、パネル展示等

以上



アスベスト問題に関する関係閣僚による会合

アスベスト(石綿)問題について、新たな被害の拡大防止等に取り組むため、平成17年7月29日、アスベスト問題に関する関係閣僚による会合を開催し、「アスベスト問題への当面の対応」を取りまとめています。

□ 開催状況

- 平成18年9月8日 [議事次第](#)
- 平成17年12月27日 [議事次第](#)
- 平成17年11月29日 [議事次第](#)
- 平成17年9月29日 [議事次第](#)
- 平成17年8月26日 [議事次第](#)
- 平成17年7月29日 [議事次第](#)

□ 決定等

- 平成21年2月 [「アスベスト対策関係予算一覧\(平成21年度予算案額\)」](#)
- 平成20年1月 [「アスベスト対策関係予算一覧\(平成20年度予算案額\)」](#)
- 平成18年12月 [「アスベスト対策関係予算一覧\(平成19年度予算案額\)」](#)
- 平成17年12月27日 [「アスベスト問題に係る総合対策の概要」](#)
[「アスベスト問題に係る総合対策」](#)
[「石綿による健康被害の救済に関する法律案\(仮称\)」](#)
[「石綿による健康被害の救済に関する制度案の概要」](#)
- 平成17年11月29日 [石綿による健康被害の救済に関する法律\(仮称\)案大綱](#)
- 平成17年9月29日 [アスベスト問題への当面の対応\(再改訂\)\(概要\)](#)
[アスベスト問題への当面の対応\(再改訂\)\(本体\)](#)
[アスベストによる健康被害に関する実態把握について\(概要\)](#)
[石綿による健康被害の救済に関する基本的枠組み](#)
[政府の過去の対応の検証について\(補足\)](#)
[\(別添1\)アスベスト問題に関する厚生労働省の過去の対応の検証\(追加\)](#)
[\(別添2\)石綿\(アスベスト\)問題に関する環境省の過去の対応について](#)
[\(別添3\)有害化学物質からの安全性確保のための仕組み](#)

参考資料 [アスベスト対策関係予算要求一覧](#)

- 平成17年8月26日 [アスベスト問題への当面の対応\(改訂案\)](#) ([概要](#) / [本文](#))
[アスベスト問題に関する政府の過去の対応の検証について\(総括\)](#)
(各省庁ごとの検証([厚生労働省](#) / [環境省](#) / [防衛庁](#) / [消防庁](#) / [文部科学省](#) / [経済産業省](#) / [国土交通省](#)))
- 平成17年7月29日 [アスベスト問題への当面の対応](#) ([概要](#) / [本文](#) / [参考資料](#))
[アスベスト\(石綿\)についてQ&A](#)

□ その他

○アスベスト問題に係る情報の関係省庁の主なリンク先

環境省 <http://www.env.go.jp/air/asbestos/index.html>

厚生労働省 <http://www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/roudou/sekimen/index.html>

総務省 http://www.soumu.go.jp/menu_04/asbest/index.html

文部科学省 <http://www.mext.go.jp/submenu/05101301.htm>

農林水産省 <http://www.maff.go.jp/kankyo/asbest.html>

国土交通省 <http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/asubesuto/top.html>

【連絡先】 内閣官房副長官補室
〒100-8968 東京都千代田区永田町1-6-1

国土交通省同時発表

平成20年3月31日
経済産業省**石綿（アスベスト）含有建材データベース（平成20年3月版）の公表について**

石綿（アスベスト）含有建材データベースについては、平成18年12月に平成18年12月版を、平成19年4月に平成19年3月版（石綿含有建材：1,791製品）を公表したところです。

今般、平成20年3月までに新たに判明した石綿含有建材132製品を加え、併せてデータベースの形式をダウンロード形式からWeb検索形式に変更し、平成20年3月版として公表いたしましたので、お知らせいたします。

1. 主な改定内容**(1) 新たに石綿含有が判明した建材の追加**

業界団体等に確認いただき新たに判明した石綿含有建材132製品を、本データベースに追加いたしました（合計1,923製品）。

本データベースには、トレモライト、アクチノライト、アンソフィライトの使用が判明した石綿含有建材についても掲載しております。

(2) ダウンロード形式からWeb検索形式への変更

今回の公表する石綿（アスベスト）含有建材データベース（平成20年3月版）から、これまでのダウンロード形式からWeb検索形式に、データベースの形式を変更いたしました。これに伴い、以前のようなデータベースのダウンロードは、不要になりました。

掲載ホームページ：

- ・経済産業省 <http://www.meti.go.jp/policy/jyutaku/index.html>
- ・国土交通省 http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha08/07/070331_.html
- ・建材試験センター <http://www.asbestos-database.jp>

2. 今後の予定

今後も、さらに石綿含有建材が判明した場合には、その内容を本データベースに追加し、公表することとします。

（問い合わせ先）

製造産業局住宅産業窯業建材課

担当者：沼倉、横手

電話：03-3501-1511（内線 3761）

03-3501-9255（直通）

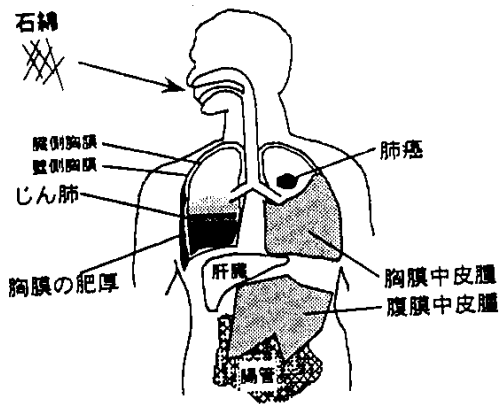
私たちの環境とアスベスト

石綿（アスベスト）とは？

石綿（アスベスト）は、天然にできた鉱物繊維です。熱に強く、摩擦に強く切れにくい、酸やアルカリにも強いなど、丈夫で変化しにくいという特性を持っています。

石綿の特性

- ・ 繊維状の構造
- ・ 熱に強い（耐熱性）
- ・ 摩擦に強い
- ・ 切れにくい（可撓性）
- ・ 酸やアルカリに強い（耐薬品性）など



石綿によって起こる病気とその部位
(出典:せきめん読本(平成8年3月))

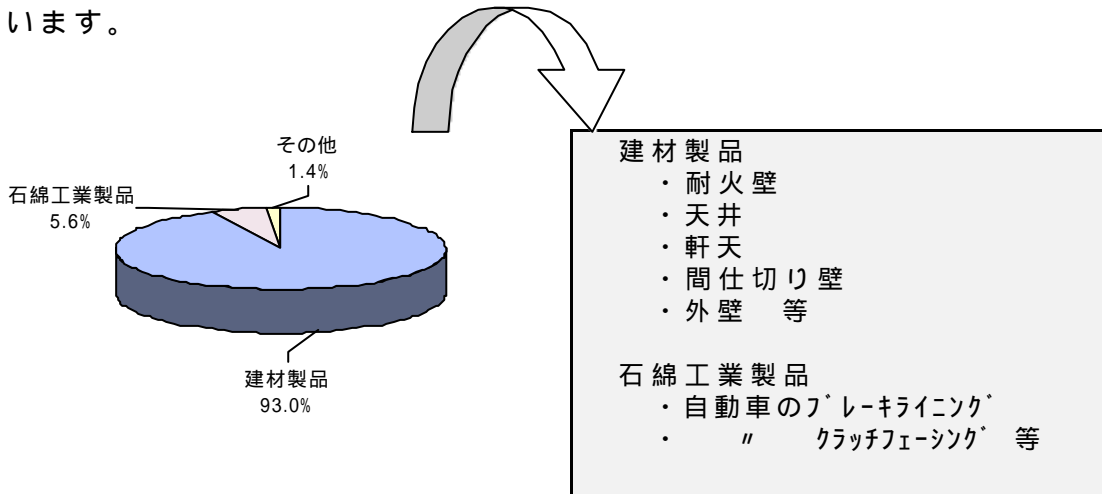
なぜ危険？

石綿は、丈夫で変化しにくいので、吸い込んで肺の中に入ると組織に刺さり、15～40年の潜伏期間を経て、肺がん、悪性中皮腫（悪性の腫瘍）などの病気を引き起こすおそれがあります。目に見えないくらい細かい繊維のために、気づかないうちに吸い込んでしまう可能性があります。

どこに使用されている？

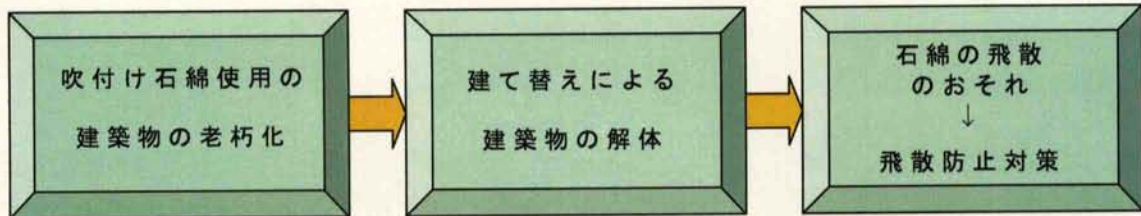
石綿の用途は3,000種と言われるほどに多いのですが、大きくは石綿工業製品と建材製品に分けられ、約20万トン(平成6年)使われており、その約9割は建材製品です。

昭和30年頃から使われ始め、ビルの高層化や鉄骨構造化にともない、鉄骨造建築物などの軽量耐火被覆材として昭和40年代の高度成長期に多く使用されています。



飛散を防止するためには？

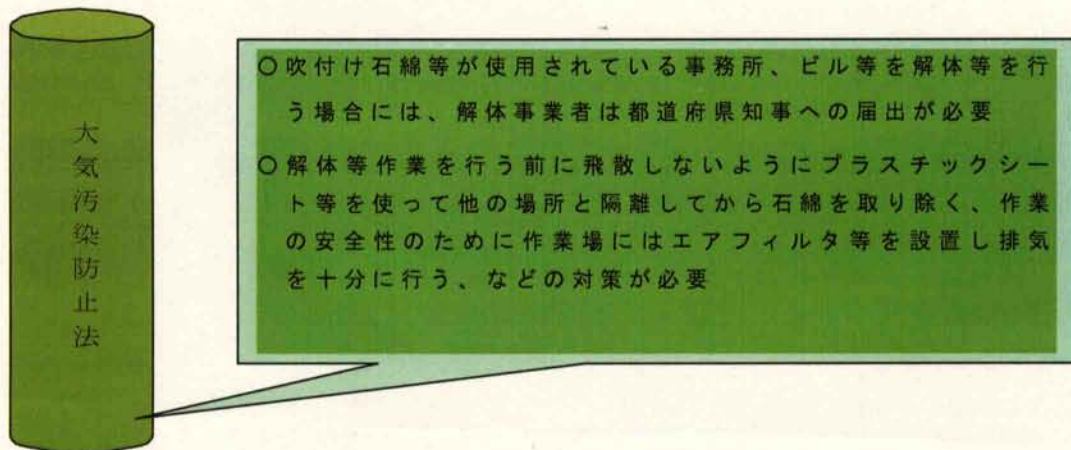
吹付け石綿等が使用されている建築物を、解体、改造又は補修する場合、所要の措置を施さずに解体等を行うと石綿が飛散するおそれがあるため、対策が必要となります。



法律でも対策がとられています。

下図に示すような要件に該当する場合、大気汚染防止法に基づき事業者は作業の場所、作業期間、作業の方法などを都道府県知事へ届け出ることが必要になります。解体等作業にあたっては、吹付け石綿等を除去する場所を隔離したり、集じん・排気装置を設置したりするなど、作業基準を遵守することが求められ、違反した場合は処罰の対象となります。

また、「労働安全衛生法」、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」等においても作業基準等が定められています。こうした措置を講ずることによって、周辺環境への飛散防止が図られます。

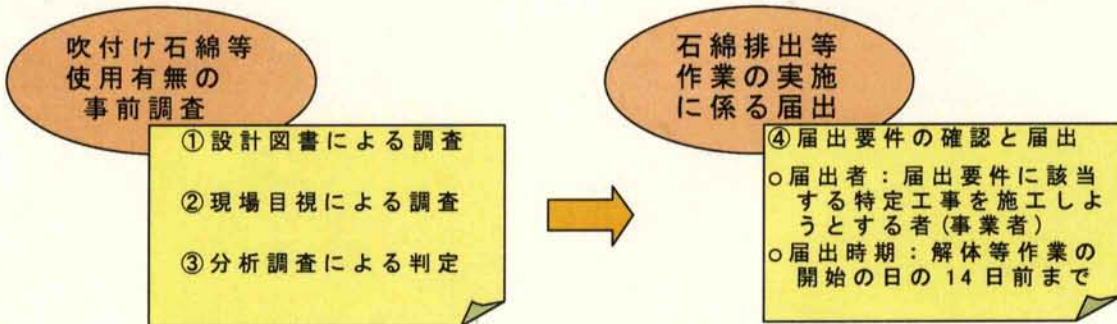


吹付け石綿等とは

- 石綿含有吹付け材 (吹付け石綿、石綿含有吹付けロックウール 等)
- 石綿含有保温材 (石綿保温材、石綿含有パーライト保温材 等)
- 石綿含有耐火被覆材 (石綿含有耐火被覆材、石綿含有けい酸カルシウム板第二種 等)
- 石綿含有断熱材 (屋根用折版裏断熱材、煙突用断熱材 等)

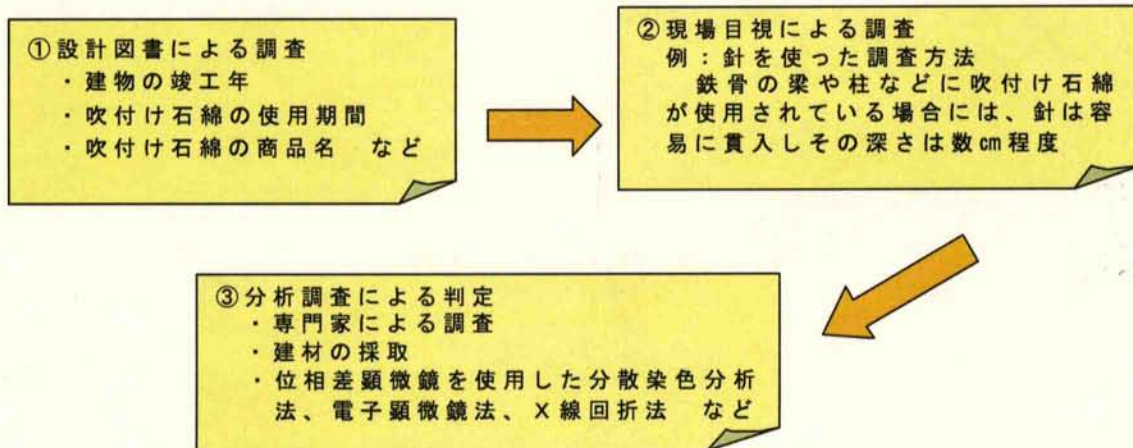
具体的には何を行えば？

吹付け石綿等が使用されている可能性のある建築物の解体等を行う時は、建築物の所有者（あるいは工事者）は、建築物の解体等の前に吹付け石綿等が使用されているか否かの事前調査を行う必要があります。所有者は、届出要件に該当する使用が確認されたら解体事業者に対して都道府県知事（政令により委任されている市については市長）への届出の要請を行うとともに、現場を確認することが望まれます。



石綿使用の確認方法は？

事前調査において、吹付け石綿等の使用の有無は、まず、建物の設計図書で調査します。建物の竣工年、吹付け石綿等が使用された期間、建物に使用されている吹付け石綿等の商品名などから調査することができます。設計図書で確認できない場合は、現場での目視調査を行うこととなりますが、設計図書による調査、現場目視による調査は、あくまでも特定のための目安となる手法であり、また、施工から年数が経過している場合などは簡単に判定することは難しいため、専門の分析機関に依頼し、分析調査による判定を行うことが望まれます。



石綿を実際に見ると？

石綿が、耐火被覆材として柱・梁に、吸音・断熱材として機械室の天井や壁に、実際に吹き付けられている様子です。

〔耐火被覆材〕

（耐火被覆材として柱や梁に吹付けられた石綿です）

耐火被覆（梁）



〔吸音・断熱材〕

（吸音・断熱材として壁や天井に吹付けられた石綿です）

吸音・断熱（機械室 壁・天井）

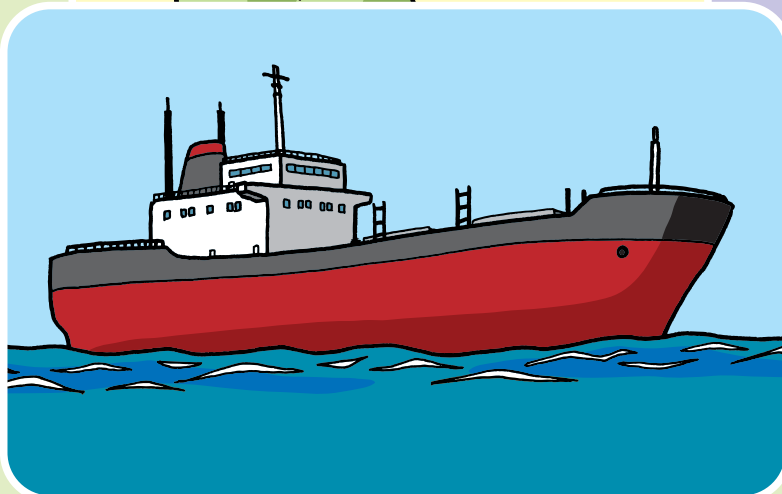


建築物の 解体等の作業における石綿対策

改正石綿障害予防規則の概要

石綿の事前調査の結果の掲示や負圧除じん装置の設置等の内容が新たに盛り込まれた改正石綿障害予防規則が**平成21年4月1日**より施行されます。

また、一部の**船舶の解体等作業**についても規制が強化され、**平成21年7月1日**より施行されます。



○ 石綿障害予防規則の改正

① 事前調査の結果の掲示

建築物等の解体等の作業を行う際に、石綿則第3条に基づき行われた石綿等の使用の有無に関する事前調査の結果の概要等を、労働者が見やすい箇所に掲示することが必要になりました。

② 石綿等の切断等の作業を伴う保温材、耐火被覆材等の除去の作業に係る措置

石綿等の切断等の作業を伴う保温材、耐火被覆材等の除去の作業についても、吹付け石綿の除去の作業と同様に隔離の措置を行うことが必要になりました。

③ 負圧除じん装置（集じん・排気装置）の設置等

吹付け石綿の除去等の作業を行うに当たっては、隔離の措置の他、作業場所の排気に集じん・排気装置を使用すること、作業場所を負圧に保つこと、作業場所の出入口に前室を設置することが必要になりました。

④ 隔離の措置の解除に当たり講ずべき措置

隔離の措置を行ったときは、石綿等の粉じんの飛散を抑制するため、隔離した作業場所内の石綿等の粉じんの処理等を行った後でなければ、隔離を解いてはいけません。

⑤ 電動ファン付き呼吸用保護具等の使用の義務付け

隔離の措置を講じた作業場所における、吹き付けられた石綿等の除去の作業に労働者を従事させる場合には、電動ファン付き呼吸用保護具又はこれと同等以上の性能を有する空気呼吸器、酸素呼吸器若しくは送気マスクを使用させることが必要になりました。

⑥ 鋼製の船舶の解体等の作業に係る措置

鋼製の船舶の解体等の作業について、建築物等の解体等の業務に準じた措置を行わなければなりません。

○ 石綿使用建築物等解体等業務特別教育規程の改正

① 教育を行うべき範囲に、新たに、喫煙の影響及び船舶（鋼製の船舶に限る。）の解体等の作業の方法が追加されました。

② 保護具の使用方法について、教育を行うべき最低限の時間が1時間になりました。

○ 石綿とは

石綿は、アスベストとも呼ばれているもので、天然に産出する鉱物の一種です。石綿は、熱や摩擦に強い等の性質から、これまでさまざまな用途に使用されてきましたが、特に建築材料として多量に使用されてきました。

石綿の有害性としては、石綿の粉じんを吸入することにより、主に次のような健康障害を発生させるおそれがあります。

① 石綿肺（じん肺の一種）

肺が線維化するもので、せき等の症状を認め、重症化すると呼吸機能が低下することがあります。

② 肺がん

肺にできる悪性の腫瘍です。

③ 胸膜、腹膜等の中皮腫（がんの一種）

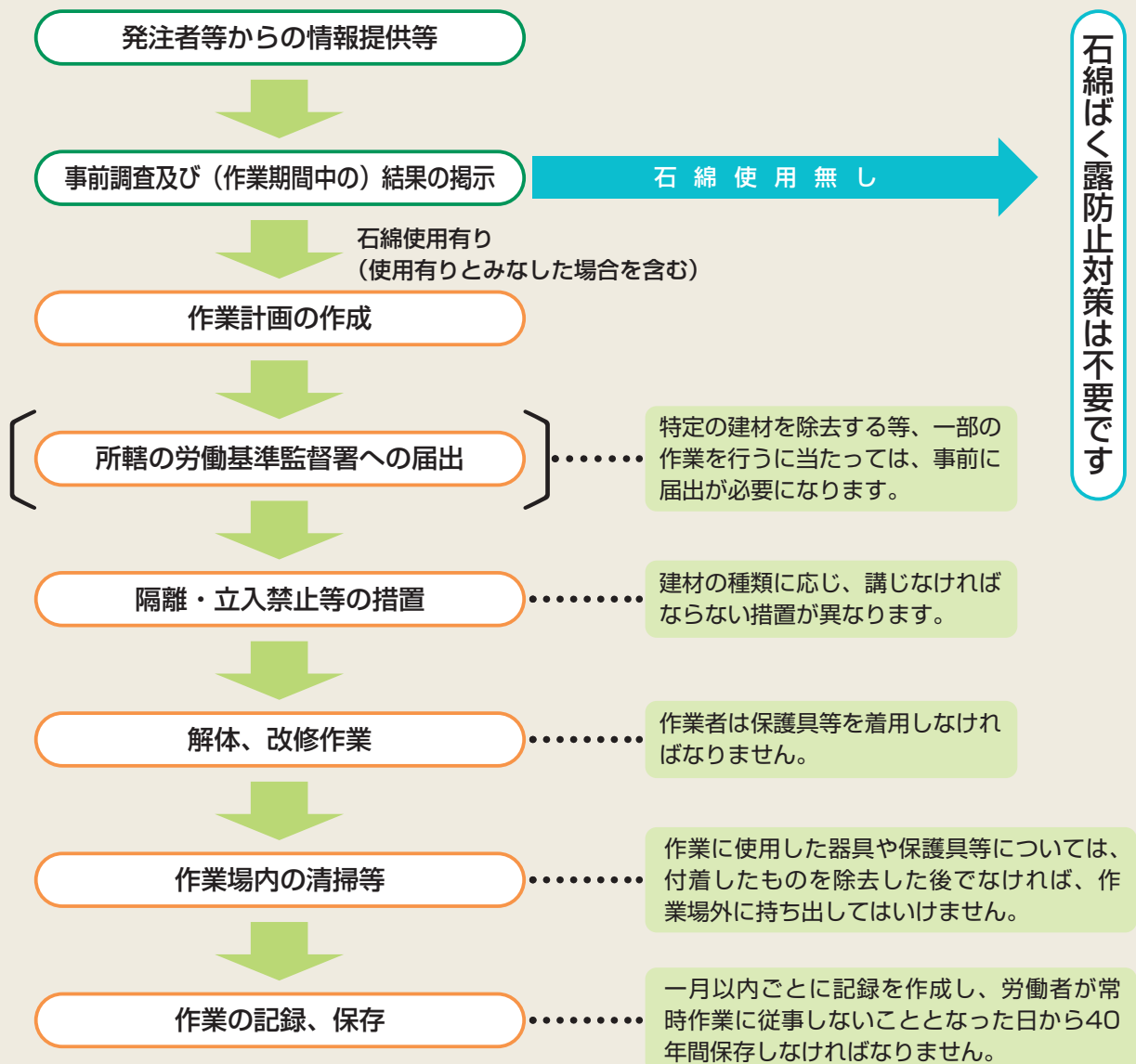
肺を取り囲む胸膜等にできる悪性の腫瘍です。

何をしなければならないか

事業者は、建築物、工作物、鋼製の船舶の解体・改修等の作業を行うに当たっては、事前に当該建築物等に石綿が使用されているか調査する必要があります。調査の結果、石綿が使用されていることが判明した場合は、労働者の石綿粉じんへのばく露防止対策のため、石綿障害予防規則等に定めるさまざまな措置を講じる必要があります。

また、事業者は、労働者を使用している建築物の壁・天井等に吹き付けられた石綿が、損傷・劣化等により、粉じんを飛散させ、労働者がばく露するおそれがあるときは、除去・封じ込め・囲い込み等の措置を講じる必要があります。臨時の作業に労働者を従事させる場合にあつては、保護具等の着用を命じる必要があります。

建築物の解体等の作業の流れ



※ 作業に従事する労働者に対し、特別の教育を行う必要があります。

※ 作業主任者を選任し、作業に従事する労働者の指揮等を行わせる必要があります。

1 建築物等の解体工事等の発注時における措置 石綿則第8条、第9条関係

建築物、工作物又は鋼製の船舶の解体、改修等の工事を発注する場合は、直接工事を行う事業者はその労働者への石綿のばく露を防止するための措置を講ずることが義務付けられていますが、工事の発注者、注文者も次のことに配慮しなければなりません。

① 情報の提供（石綿則第8条関係）

建築物等の解体工事等、封じ込め又は囲い込みの作業の発注者は、工事の請負人に対し、当該建築物等における石綿含有建材の使用状況等（設計図書等）を通知するよう努めなければなりません。

② 注文者の配慮（石綿則第9条関係）

建築物等の解体工事等、封じ込め又は囲い込みの作業の注文者は、作業を請け負った事業者が、契約条件等により石綿による健康障害防止のため必要な措置を講ずることができなくなることをないよう、解体方法、費用等について、労働安全衛生法及びこれに基づく命令の遵守を妨げないよう配慮しなければなりません。

2 事前調査、揭示 石綿則第3条関係

事業者は、建築物等（鋼製の船舶を含む）の解体等の作業、封じ込め又は囲い込みの作業を行うときは、あらかじめ、石綿の使用の有無を目視、設計図書等により調査し、その結果を記録しておかなければなりません。調査の結果、石綿の使用の有無が明らかとならなかったときは、分析調査し、その結果を記録しておかなければなりません。また、これらの調査を終了した日、調査の方法及び結果の概要について、労働者が見やすい箇所に揭示しなければなりません。

ただし、石綿等が吹き付けられていないことが明らかで、石綿が使用されているとみなして対策を講ずる場合、分析調査の必要はありません。



3 特別の教育 安衛則第36条、石綿則第27条関係

事業者は、石綿が使用されている建築物等（鋼製の船舶を含む）の解体等の作業、封じ込め又は囲い込みの作業に従事する労働者に次の科目について、それぞれカッコ内の時間以上、教育を行わなくてはなりません。

- ① 石綿の有害性（30分）
- ② 石綿等の使用状況（1時間）
- ③ 石綿等の粉じんの発散を抑制するための措置（1時間）
- ④ 保護具の使用方法（1時間）
- ⑤ その他石綿等のばく露の防止に関し必要な事項（1時間）



4 作業主任者の選任 石綿則第19条、第20条関係

事業者は、必要な技能講習を修了した者のうちから、石綿作業主任者を選任し、次の事項を行わせなければなりません。

- ① 作業に従事する労働者が石綿粉じんにより汚染され、又はこれらを吸入しないように、作業の方法を決定し、労働者を指揮すること。
- ② 保護具の使用状況を監視すること。

5 作業計画の策定 石綿則第4条関係

事業者は、石綿が使用されている建築物等（鋼製の船舶を含む）の解体等、封じ込め又は囲い込み作業を行うときは、あらかじめ次の事項が示された作業計画を定め、当該作業計画により作業を行わなければなりません。

- ① 作業の方法及び順序
- ② 石綿粉じんの発散を防止し、又は抑制する方法
- ③ 労働者への石綿粉じんのばく露を防止する方法



6 届出 安衛則第90条、石綿則第5条関係

- (1) 耐火建築物又は準耐火建築物における吹付け石綿の除去作業については、工事開始の14日前までに所轄労働基準監督署長に届け出なければなりません。
- (2) 建築物又は工作物の解体等の作業のうち、次の作業については、工事開始前までに所轄労働基準監督署長に届け出なければなりません。
 - ① 石綿含有保温材、石綿含有耐火被覆材、石綿含有断熱材の解体等の作業
 - ② 封じ込め又は囲い込みの作業
 - ③ (1)以外の吹付け石綿の除去作業

7 隔離・立入禁止等 石綿則第6条、第7条、第15条関係

- (1) 建築物又は工作物の解体等の作業における、吹付け石綿の除去、封じ込め又は吊りボルトを取り付ける等の囲い込みの作業、**石綿等の切断等の作業を伴う石綿含有の保温材、耐火被覆材、断熱材の解体等の作業を行うときは、次の措置を講じなければなりません。ただし、同等以上の効果を有する措置を講じたときは、この限りではありません。**
 - ① 当該作業場所をそれ以外の作業場所から隔離すること。
 - ② 作業場所の排気に、集じん・排気装置を使用すること。
 - ③ 作業場所を負圧に保つこと。
 - ④ 作業場所の出入口に前室を設置すること。



- (2) 建築物又は工作物の解体等の作業における、石綿等の切断等の作業を伴わない石綿含有の保温材、耐火被覆材、断熱材の解体等の作業、(1)以外の囲い込みの作業を行うときは、当該作業に従事する労働者以外の者が立ち入ることを禁止し、その旨を表示しなければなりません。

また、特定元方事業者は、関係請負人への通知、作業の時間帯の調整等必要な措置を講じなければなりません。
- (3) その他の石綿を使用した建築物等（**鋼製の船舶を含む**）の解体等の作業においても、関係者以外の者が立ち入ることを禁止し、その旨を表示しなければなりません。

8 保護具の着用 石綿則第14条、第44条、第45条関係

石綿が使用されている建築物等（**鋼製の船舶を含む**）の解体等の作業、封じ込め又は囲い込みの作業を行うときは、労働者に呼吸用保護具（防じんマスク又は送気マスク等）、作業衣又は保護衣を使用させなければなりません。また、**隔離した作業場所における吹き付けられた石綿等の除去の作業にあつては、呼吸用保護具は、電動ファン付き呼吸用保護具又はこれと同等以上の性能を有する送気マスク等に限定します。**

9 湿潤化 石綿則第13条関係

石綿が使用されている建築物等（**鋼製の船舶を含む**）の解体等の作業、封じ込め又は囲い込みの作業を行うときは、それらを湿潤なものとしなければなりません。



10 付着物の除去、隔離の措置の解除について 石綿則第6条、第32条の2、第46条関係

- (1) 保護具等は、他の衣服から隔離して保管し、廃棄のために容器等に梱包したとき以外は、付着した物を除去した後でなければ作業場外に持ち出してはなりません。
- (2) 足場、器具、工具等について、廃棄のために容器等に梱包したとき以外は、付着したものを除去した後でなければ作業場外に持ち出してはなりません。
- (3) **作業場所の隔離の措置を講じたときは、隔離を行った作業場所内の石綿等の粉じんを処理するとともに、吹き付けられた石綿等の除去の作業又は石綿含有の保温材、耐火被覆材、断熱材の解体等の作業を行った場合にあつては、当該建材を除去した部分を薬液等により湿潤化した後でなければ隔離の措置を解いてはいけません。**

建築物等の解体等における石綿等の除去等に対する規制の体系

	石綿等が使用されている建築物又は工作物の解体等の作業							石綿等が使用されている鋼製の船舶の解体等の作業
	① 石綿等が吹き付けられた建築物等における当該吹き付けられた石綿等に係る作業				② 耐火被覆材等 ^{注1} （粉じんを著しく飛散するおそれのあるもの）の除去の作業		③ ①、②以外の建材の除去の作業	
	耐火建築物又は準耐火建築物における除去の作業	その他の除去の作業	封じ込め・吊りボルトを取り付ける等石綿等の切断等を伴う囲い込みの作業	切断等を伴わない囲い込みの作業	切断等を伴う除去の作業	切断等を伴わない除去の作業		
事前調査	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
作業計画	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14日前までの計画の届出	<input type="radio"/>							
あらかじめの作業の届出		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
特別教育	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
作業主任者の選任	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
保護具の着用	<input checked="" type="radio"/> 注2	<input checked="" type="radio"/> 注2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
湿潤化	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
隔離等の措置	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>			
作業者以外立入禁止				<input type="radio"/>		<input type="radio"/>		
関係者以外立入禁止	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
注文者の配慮	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

注1 ②の耐火被覆材等とは、石綿含有保温材、石綿含有耐火被覆材、石綿含有断熱材が含まれます。

注2 ◎印の呼吸用保護具については、電動ファン付き呼吸用保護具等に限りません。

建築物に吹き付けられた石綿の管理 石綿則第10条関係

- (1) 事業者は、その労働者を就業させる建築物の壁等に吹き付けられた石綿等が損傷、劣化等によりその粉じんを発散させ、労働者がその粉じんにばく露するおそれがあるときは、当該吹き付けられた石綿等の除去、封じ込め、囲い込み等の措置を講じなければなりません。
- (2) 事務所又は工場の用に供される建築物の貸与者は、当該建築物の貸与を受けた2以上の事業者が共用する廊下の壁等に吹き付けられた石綿等が損傷、劣化等によりその粉じんを発散させ、労働者がその粉じんにばく露するおそれがあるときは、(1)と同様の措置を講じなければなりません。
- (3) 臨時に就業させる建築物の壁等に吹き付けられた石綿等が損傷、劣化等によりその粉じんを発散させ、労働者がその粉じんにばく露するおそれがあるときは、呼吸用保護具及び保護衣又は作業衣を使用させなければなりません。

▼毛羽立ち



▼繊維のくずれ



▼たれ下がり



▼局部的損傷・欠損



(引用：「既存建築物の吹付けアスベスト粉じん飛散防止処理技術指針・同解説」、日本建築センター)

建築物における施工部位の例

施工部位	石綿含有建築材料の種類
天井／壁 内装材	スレートボード③、けい酸カルシウム板第一種③、パルプセメント板③
天井／床 吸音断熱材	石綿含有ロックウール吸音天井板③、石綿含有吹付け材①
天井結露防止材	屋根折版用断熱材②、石綿含有吹付け材①
床材	ビニル床タイル③、フロア材③
外壁／軒天 外装材	窯業系サイディング③、スラグせっこう板③、押出成形セメント板③、スレートボード③、スレート波板③、けい酸カルシウム板第一種③
耐火被覆材	吹付け石綿①、石綿含有吹付けロックウール①、石綿含有耐火被覆板②、けい酸カルシウム板第二種②
屋根材	スレート波板③、住宅屋根用化粧スレート③
煙突材	石綿セメント円筒③、石綿含有煙突断熱材②

※ ①、②、③は、左頁の表の①、②、③に対応するものです。

罰則について

石綿障害予防規則は、労働安全衛生法に基づく省令であり、一部の規定を除きこれらの規定に違反した場合は、労働安全衛生法に基づく罰則の適用があります。 添付6-4-7

石綿障害予防規則に定める措置事項（抜粋）

1 事前調査

①建築物、工作物又は鋼製の船舶の解体、破砕等の作業、②石綿等の封じ込め又は囲い込みの作業、を行うときは、あらかじめ、当該建築物等について、石綿等の使用の有無を視視、設計図書等により調査し、その結果、石綿等の使用の有無が明らかとならなかったときは、さらに分析調査し、これらの調査結果を記録し、また、これらの調査結果の概要等について掲示しなければなりません。

ただし、石綿等が吹き付けられていないことが明らかで、石綿等が使用されているものとみなし、法令に定める措置を講ずるときは、分析調査についてはこの限りではありません。

2 作業計画

①建築物、工作物又は鋼製の船舶の解体、破砕等の作業、②封じ込め又は囲い込みの作業、を行うときは、あらかじめ、以下の事項を示した作業計画を定め、その計画により作業を行うとともに、労働者に周知させなければなりません。

- ① 作業の方法及び順序
- ② 石綿等の粉じんの発散を防止し、又は抑制する方法
- ③ 作業を行う労働者への石綿等の粉じんのばく露を防止する方法

3 作業の届出

建築物又は工作物の解体等の作業のうち、①石綿等が使用されている保温材、耐火被覆材等の除去作業、②吹き付けられた石綿等の封じ込め又は囲い込みの作業、を行うときは、あらかじめ、労働基準監督署長に届書等を提出しなければなりません。

4 吹き付けられた石綿等の除去等に係る措置

①石綿等が吹き付けられた建築物の解体等の作業における当該吹き付けられた石綿等を除去する作業、②切断等を伴う石綿等が使用されている保温材、耐火被覆材等の除去作業、③吹き付けられた石綿等の封じ込め又は切断等を伴う囲い込みの作業、を行う場合には、それらの作業を行う場所をそれ以外の作業を行う作業場所から隔離しなければなりません。

5 保温材、耐火被覆材等の除去等に係る措置

①切断等を伴わない石綿等が使用されている保温材、耐火被覆材等の除去作業、②切断等を伴わない囲い込みの作業、に労働者を従事させるときは、原則として作業場所に作業従事労働者以外の者が立ち入ることを禁止し、その旨を見やすい箇所に表示しなければなりません。

特定元方事業者は、他の作業が保温材等の除去作業と同一の場所で行われるときは、除去作業の開始前までに、関係請負人に当該作業の実施について通知するとともに、作業時間帯の調整等の措置を講じなければなりません。

6 石綿等の使用の状況の通知

①建築物等の解体等の作業、②封じ込め又は囲い込み作業、を行う仕事の発注者は、当該仕事の請負人に対し、当該仕事に係る建築物等における石綿等の使用状況等を通知するよう努めなければなりません。

7 建築物の解体工事等の条件

①建築物等の解体等の作業、②封じ込め又は囲い込み作業、を行う仕事の注文者は、石綿等の使用の有無の調査、建築物等の解体等の作業等の方法、費用、工期等について、法及びこれに基づく命令の遵守を妨げるおそれのある条件を付さないよう配慮しなければなりません。

8 建築物に吹き付けられた石綿の管理

事業者は、その労働者を就業させる建築物に吹き付けられた石綿が損傷、劣化等によりその粉じんを発生させ、労働者がその粉じんにばく露するおそれがあるときは、当該吹き付け石綿の除去、封じ込め、囲い込み等の措置を講じなければなりません。

当該建築物の貸与を受けた2以上の事業者が共用する廊下の壁等に吹き付けられた石綿については、事業所又は工場の用に供される建築物の貸与者が同様の措置を講じなければなりません。

9 労働者を臨時に就業させる建築物における措置

労働者を臨時に就業させる建築物の壁等に吹き付けられた石綿等が損傷、劣化等によりその粉じんを発生させ、及び労働者がその粉じんにばく露するおそれがあるときは、呼吸用保護具及び保護衣又は作業衣を使用させなければなりません。

10 石綿等の切断等の作業に係る措置

以下のいずれかの作業に労働者を従事させるときは、原則石綿等を湿潤な状態のものとするともに、石綿等の切りくず等を入れるためのふたのある容器を備えなければなりません。また、呼吸用保護具、作業衣（又は保護衣）を使用させなければなりません。

- ① 石綿等の切断、穿孔、研磨等の作業
- ② 石綿等を塗布し、注入し、又は張り付けた物の解体等の作業
- ③ 石綿等の封じ込め又は囲い込みの作業
- ④ 粉状の石綿等を容器に入れ、又は容器から取り出す作業
- ⑤ 粉状の石綿等を混合する作業
- ⑥ ①～⑤の作業において発散した石綿等の粉じんの掃除の作業

11 立入禁止措置

石綿等を取り扱う作業場には、関係者以外の者が立ち入ることを禁止し、かつ、その旨を見やすい箇所に表示しなければなりません。

12 石綿作業主任者の選任

石綿等を取り扱う作業については、必要な技能講習を修了した者のうちから、石綿作業主任者を選任し、以下の事項を行わせなければなりません。

- ① 作業に従事する労働者が石綿等の粉じんにより汚染され、又はこれらを吸入しないように、作業の方法を決定し、労働者を指揮すること。
- ② 局所排気装置、プッシュプル型換気装置、除じん装置その他労働者が健康障害を受けることを予防するための装置を一月を超えない期間ごとに点検すること。
- ③ 保護具の使用状況を点検すること。

13 特別の教育

①石綿等が使用されている建築物等の解体等の作業、②封じ込め又は囲い込みの作業、に係る業務に労働者を就かせるときは、当該労働者に対し、所定の科目について、当該業務に関する衛生のための特別の教育を行わなければなりません。

14 掃除の実施

作業場の床等については、水洗する等粉じんの飛散しない方法によって、毎日一回以上、掃除を行わなければなりません。

15 洗浄設備

石綿等を取り扱う作業に従事させるときは、洗眼、洗身又はうがいの設備、更衣設備及び洗濯のための設備を設けなければなりません。

16 容器等

石綿等を運搬し、又は貯蔵するときは、当該石綿等の粉じんが発散するおそれがないように、堅固な容器を使用し、又は確実な包装をし、見やすい箇所に石綿等が入っていること及びその取扱い上の注意事項を表示するとともに、石綿等の保管については、一定の場所を定めなければなりません。

石綿等の運搬、貯蔵等のために使用した容器又は包装については、当該石綿等の粉じんが発散しないような措置を講じ、保管するときは、一定の場所を定めて集積しておかなければなりません。

17 使用された工具等の付着物の除去

石綿等を取り扱うために使用した足場、器具、工具等について、付着したものを除去した後でなければ作業場外に持ち出してはなりません。ただし、廃棄のため、容器等に梱包したときは、この限りではありません。

18 喫煙等の禁止

石綿等を取り扱う作業場で労働者が喫煙し、又は飲食することを禁止し、かつ、その旨を当該作業場の見やすい箇所に表示しなければなりません。

19 掲示

石綿等を取り扱う作業場には、以下の事項を、作業に従事する労働者が見やすい箇所に掲示しなければなりません。

- ① 石綿等を取り扱う作業場である旨
- ② 石綿等の人体に及ぼす作用
- ③ 石綿等の取扱い上の注意事項
- ④ 使用すべき保護具

20 作業の記録

石綿等の取扱い等に伴い石綿の粉じんを発生する場所において常時作業に従事する労働者について、一月を超えない期間ごとに次の事項を記録し、これを当該労働者が当該事業場において常時当該作業に従事しないこととなった日から40年間保存するものとします。

- ① 労働者の氏名
- ② 従事した作業の概要及び当該作業に従事した期間（直接石綿等を取り扱わない者にあつては、当該場所において他の労働者が従事した石綿等を取り扱う作業の概要及び作業に従事した期間）
- ③ 石綿等の粉じんにより著しく汚染された事態が生じたときは、その概要及び事業者が講じた応急の措置の概要

21 健康診断の実施

石綿等の取扱い等に伴い石綿の粉じんを発生する場所における業務に常時従事する労働者に対し、雇入れ又は当該業務への配置換えの際及びその後六月以内ごとに一回、常時従事させたことのある労働者で、現に使用しているものに対し、六月以内ごとに一回、それぞれ定期的に、石綿に関する特殊健康診断を行わせなければなりません。

健康診断（定期のものに限る。）を行ったときは、遅滞なく、石綿健康診断結果報告書（様式第三号）を労働基準監督署長に提出しなければなりません。

22 保護具等の管理

保護具等が使用された場合には、他の衣服等から隔離して保管し、また、保護具等に付着した物を除去した後でなければ作業場外に持ち出してはなりません。ただし、廃棄のため、容器等に梱包したときはこの限りではありません。

建築物の

アスベスト対策

アスベスト対策で
安全・安心な建築物に!!



国土交通省

アスベスト対策の必要性

全国における吹付けアスベスト等使用建築物の実態

現在では、建築物にアスベストの飛散のおそれのある建築材料を使用することは禁止されていますが、過去に建てられた建築物においては、吹付け材にアスベストが含まれている建築物があり、露出したままで放置しているとアスベストが飛散するおそれがあります。

調査対象：昭和31年～平成元年までに施工された民間の建築物のうち
大規模（概ね1,000m²以上）な建築物
調査建材：吹付けアスベスト及びアスベスト含有吹付けロックウール

	平成19.9.14現在
調査対象の建築物数	253,132棟
調査報告のあった建築物数	214,050棟
調査の結果、露出した吹付けがされている建築物数	14,774棟
指導により対応済みの建築物数	7,734棟
指導により対応予定の建築物数	1,191棟

調査：都道府県 集計：国土交通省

こんなにたくさんの建物が、危険な状態にあるんだね。



アスベスト対策の流れをご覧ください

アスベストとは？

アスベストは、天然の鉱物で石綿（せきめん、いしわた）と呼ばれ、熱や摩擦等に強い特性があるので、これまで建築資材としてさまざまな形で使われてきました。現在では原則として、製造も使用も禁止されています。

アスベストは天然に存在する繊維状鉱物です。空気中に浮遊するアスベスト繊維を吸入し長期間経てから健康被害が発生しています。



白石綿(クリソタイル)



青石綿(クロシドライト)



茶石綿(アモサイト)

写真提供：(社)日本石綿協会

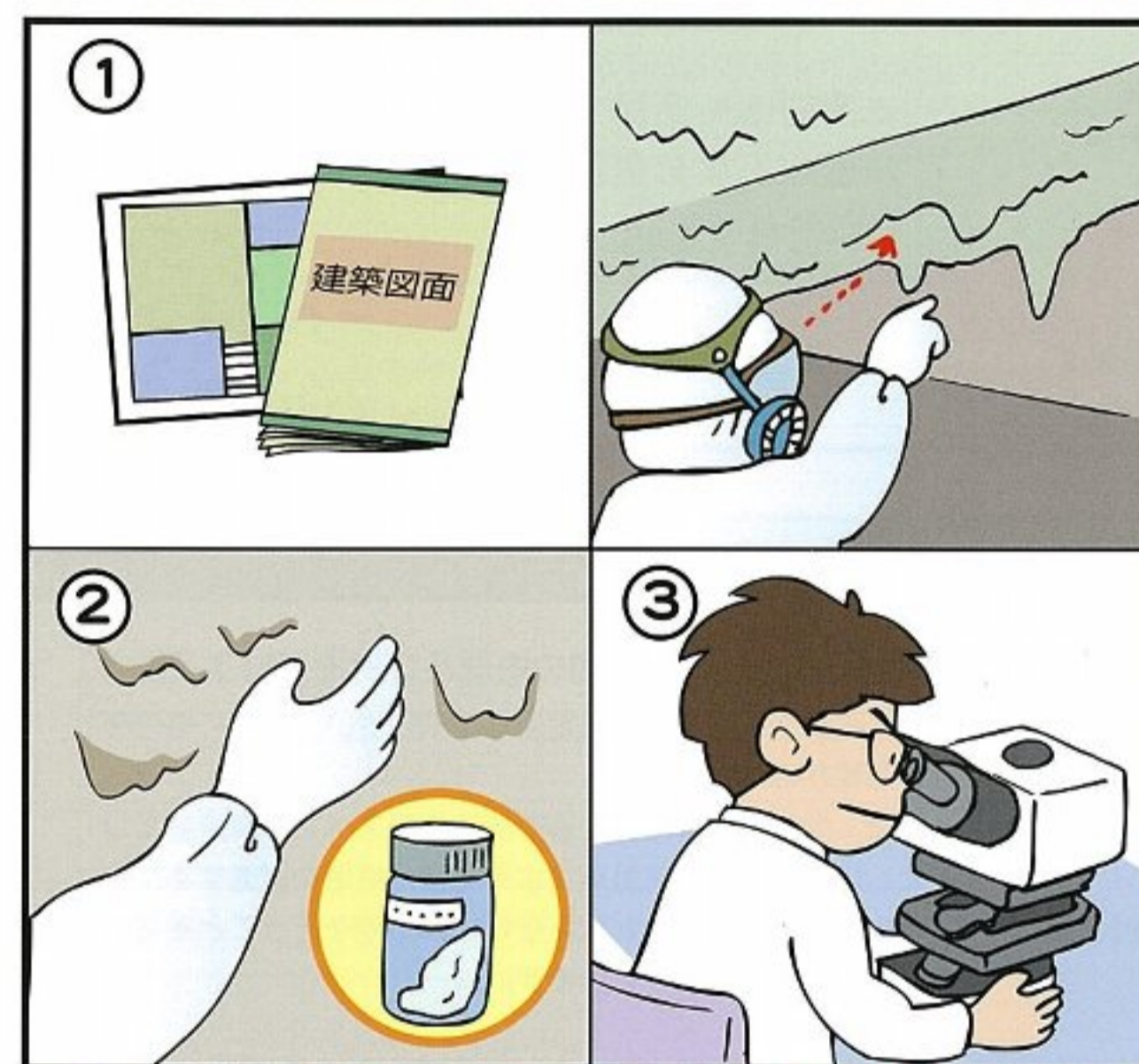
上記のほか、アクチノライト、アンソフィライト、トレモライトが検出された事案があることが判明しています。このため、写真の3種類に限定せず、トレモライト等を含む6種類すべてのアスベストを対象として分析調査を行う必要があります。

アスベスト対策の流れ



吹付けアスベスト等の使用が疑わしい箇所が見つかったら、本当にアスベストが含まれているか、早期の診断を行いましょう！もし、アスベストが含まれていると判明した場合は、健康被害の防止のために除去等の工事をお考えください！

まずは、アスベストの含有の有無を調査しましょう！



①吹付けアスベスト等の発見

露出して施工されている吹付けアスベスト等の有無について、建物を建設した業者への「問い合わせ」や「図面・資料による確認」「目視」等により調査します。

②サンプリング

「アスベストの有無」や「含有率」について不明な場合は、現物をサンプリングし、分析機関に調査を依頼する必要があります。サンプリング時に、アスベストが飛散することもあるので分析機関等に依頼すると安全です。

③成分分析

分析機関では、サンプリングした試料の「アスベストの有無」や「含有率」を調べます。

■分析機関の紹介
(社)日本作業環境測定協会ホームページ
(<http://www.jawe.or.jp/>)を参照。

室内空気中のアスベスト繊維の濃度を測定したい方は、住宅性能表示制度における測定方法を参考に、専門機関に依頼して下さい。

■住宅性能表示制度の紹介
住宅性能評価機関等連絡協議会ホームページ
(<http://www.hyokka.gr.jp/seido/kizon/10-6.html>)を参照。

※アスベスト含有の調査には、国と地方公共団体の補助制度（優良建築物等整備事業等）が活用できます。

調査結果から…

飛散するおそれのあるアスベストが

ない

(または、アスベストの含有率が0.1%以下)

引き続き建物の使用が可能です。

ある

早急に対策工事を実施しましょう。

工事の詳細は次ページです。

アスベストの飛散防止のための工事を行いましょ！

○それぞれの工法の特徴を踏まえて、工法を選択をしましょ。

① 除去工法

② 封じ込め工法

③ 囲い込み工法



吹付けアスベスト等を下地から取り除く方法。アスベスト含有建材が完全に除去されるので、大地震の際にも剥落するおそれはなく、最も確実に建物を安全にする工法です。

吹付けアスベスト等の層を残したまま、薬剤等を含浸したり、造膜材を散布し、吹付けアスベスト等を固定することで飛散を防止する工法。
除去工法より安価ですが、建物の取壊し時には、除去工事が必要になります。

吹付けアスベスト等の層を残したまま、板状材料等で覆うことで、粉じんの飛散や損傷防止等を図る工法。
除去工法より安価ですが、建物の取壊し時には、除去工事が必要になります。

※工事にも、国と地方公共団体の補助制度（優良建築物等整備事業等）が活用できます。

法律上では、石綿作業や廃棄物処理について、石綿作業主任者の選任や特別管理産業廃棄物管理責任者の配置が必要とされています。

なお、(財)日本建築センターでは、安全で確実な処理を行うためのアスベスト除去等の工法・技術の審査・証明事業を行っており、事業者名を公表しています。

■ (財) 日本建築センターアスベスト情報のホームページ
トップページ (<http://www.bcj.or.jp/>)
> 業務のご案内 > 調査研究 > アスベスト情報

■吹付けアスベストの除去に関する費用（処理費の目安）等については、国土交通省ホームページで紹介していますのでご参照ください。
(<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/asubesuto/top.html>)

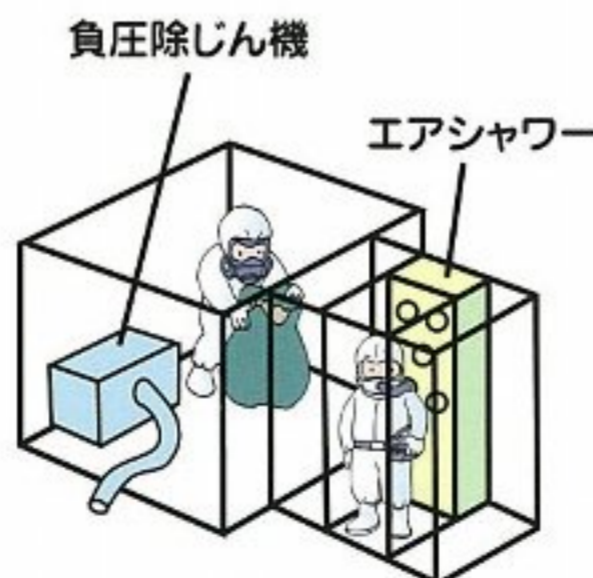
安全で確実な技術を持った事業者に依頼し、工事を実施しましょ！



アスベスト除去工事に関する規制



・工事従事者の健康被害防止
(労働安全衛生法・石綿障害予防規則)



・周辺環境への石綿粉じんの飛散防止
(大気汚染防止法)



・適切な処理（廃棄物処理法）

■除去工事の際の飛散防止対策マニュアル等が、環境省ホームページで紹介されていますのでご参照ください。(<http://www.env.go.jp/air/asbestos/index.html>)

アスベストの危険は身のまわりに存在する！

建築物における吹付けアスベスト等の使用例

○吹付けアスベストとは？

アスベストにセメント等の結合材を重量で30～40%混入し、水を加え吹付け施工されたものです。

○アスベスト含有吹付けロックウールとは？

工場で製造された人造鉱物繊維であるロックウールにセメント等の結合材を重量で30～40%混入するほか、アスベストを含んで吹付け施工されたものです。

吹付けアスベストは昭和50年に原則禁止となり、アスベスト含有吹付けロックウールは平成元年までに使用が中止されました。現在では、建築物にアスベストの飛散のおそれのある建築材料を使用することは全面的に禁止されています。

平成元年以前に建てられた建物に吹付け材が使用されている場合には、その吹付け材にアスベストが含有しているおそれがあるといわれています。

天井断熱材



鉄骨耐火被覆



※アスベスト含有建材には、吹付けアスベスト等のほかに、アスベストを含有した成形板等もあります。成形板は通常の使用状態のもとでは、アスベストの飛散性が低いとされています。



建物内に写真のような事例が見つかったら、吹付けアスベスト等の有無や飛散のおそれがあるかを診断・検査しましょう！

アスベスト対策はなぜ必要か？

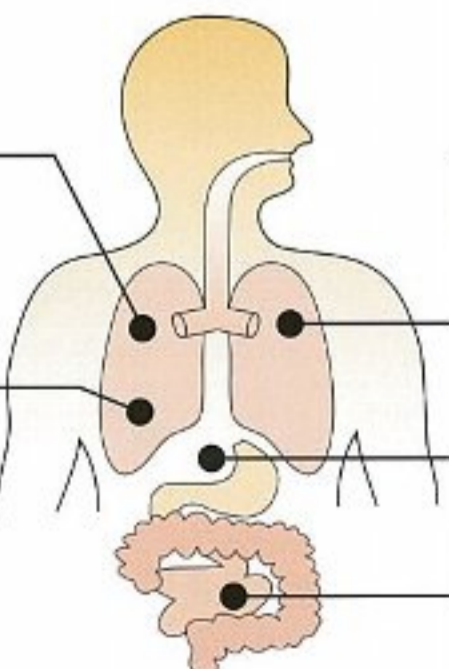
■アスベストが原因の主な病気

□肺がん

気管支や肺胞を覆う上皮に発生する悪性の腫瘍です。

□アスベスト肺

大量にアスベストを吸いこむことによって、肺が線維化してしまう「じん肺」という病気のひとつです。



□中皮腫

肺を取り囲む胸膜、肝臓や胃などの臓器を取り囲む腹膜などのできる悪性の腫瘍です。ほとんどの中皮腫が、アスベストのばく露が関与しているといわれています。

アスベストの繊維は、極めて細く軽いので、空気中に浮遊しやすく、人が吸入しやすいという特徴があります。アスベストを吸入すると肺の中に長期間残留するので、肺がんやアスベスト肺、悪性中皮腫等の原因となるおそれがあります。また、症状が進行するまで病気に気づかないという特徴があります。このため、速やかな対策が必要です。

支援制度・関係法規

アスベスト調査、除去等工事に対する支援制度

■優良建築物等整備事業（アスベスト改修型）

（国と地方公共団体の補助、制度の詳細な内容は地方公共団体により異なります。）

対象者：民間建物所有者、地方公共団体

①対象建築物

・多数の者が共同で利用する建築物で、露出して吹付けアスベスト等が施工されているもの

②補助内容

・アスベストの含有の有無を調べるための調査に要する費用
・吹付けアスベストの除去、封じ込め、囲い込みに要する費用

③補助率

・民間建物所有者への補助 地方公共団体1/3、国1/3
・地方公共団体への補助 国1/3

その他、地域住宅交付金、まちづくり交付金による支援もあります。

■日本政策投資銀行（融資）

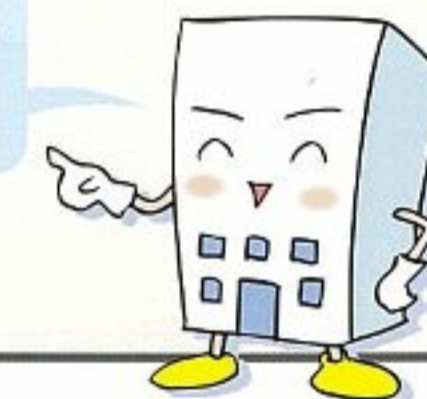
吹付けアスベスト使用建物体等

■国民生活金融公庫、中小企業金融公庫（低利融資）

（平成20年10月1日からは日本政策金融公庫）

吹付けアスベスト等の除去、アスベスト除去設備等

支援制度を活用すると、調査・工事の費用負担が軽減されます。



法によるアスベスト規制

■建築基準法

アスベストによる健康被害を防止するため、吹付けアスベスト、アスベスト含有吹付けロックウール等飛散のおそれのあるものの使用等を規制しています。

- ① 増改築時における除去等を義務づけ
- ② アスベストの飛散のおそれのある場合に催告・命令等を実施
- ③ 報告聴取・立入検査を実施
- ④ 定期報告制度による閲覧の実施

■大気汚染防止法

アスベストを使用している建築物（オフィスビル、集合住宅等）、工作物（工場のプラント等）について、解体等の作業時における都道府県知事への事前届出、飛散防止対策の実施を義務づけています。

■廃棄物処理法（廃棄物の処理及び清掃に関する法律）

アスベスト廃棄物は法で定める基準に従い、適正に処理をする必要があります。

また、今後大量に発生するであろうアスベスト廃棄物について、溶融などの高度処理による無害化処理を促進するため、個々の事業について国が認定を行い、処理を行うことを可能とする特例制度を設けています。

※石綿の飛散等による人の健康又は生活環境に係る被害を防止するため、4法律（上記3法と地方財政法）について改正を行うことが盛り込まれた「石綿による健康等に係る被害の防止のための大気汚染防止法等の一部を改正する法律」が平成18年10月1日に施行されました。

わからないことがあったら、最寄りの地方公共団体のアスベスト対策窓口等にご相談ください。



発行：国土交通省 住宅局 (<http://www.mlit.go.jp/>)
〒100-8918 東京都千代田区霞が関2-1-3
TEL：03-5253-8111（代表）

資料提供：財団法人 日本建築センター
編集協力：社団法人 全国市街地再開発協会

2. 分科会における説明資料

次ページより、プロジェクト推進・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

環境安心イノベーションプログラム

「アスベスト含有建材等安全回収・処理等 技術開発」(事後評価)

(2007年度～2009年度 3年間)

プロジェクトの概要 (公開)

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構

環境部

2010年 12月 9日

1/42

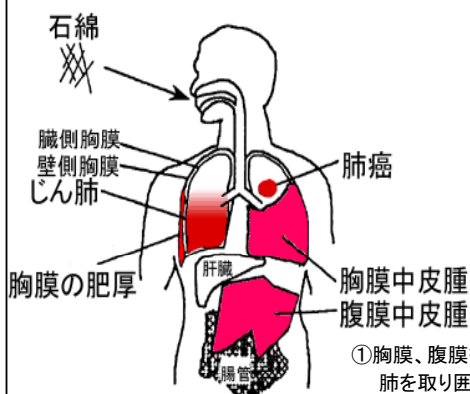
1. 事業の位置付け・必要性について (1)NEDOの事業としての妥当性

公開

社会的背景

✓アスベストによる健康被害問題が顕在化

✓アスベスト含有建材等が大量に残存



- ①胸膜、腹膜等の中皮腫(がんの一種)
肺を取り囲む胸膜等にできる悪性の腫瘍。
- ②肺癌
肺にできる悪性の腫瘍。
- ③石綿肺(じん肺の一種)
肺が線維化するもので、せき等の症状を認め、
重症化すると呼吸機能が低下することがある。

吹付けアスベスト



保温材



成形板

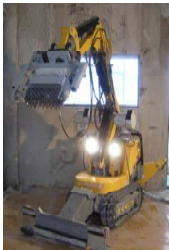


事業の目的

- ✓アスベストによる新たな健康被害の防止
- ✓安全・適切な回収、無害化処理技術確立

事業の内容

- ✓安全性の高い回収、除去技術の実用化
- ✓低コストで安全な無害化、資源化技術の実用化



事業原簿 I - 1

背景 1

「アスベスト問題に係る総合対策」の概要 (12月27日)

1 隙間のない健康被害者の救済 17年度補正予算案額：388億円
18年度予算案額：93億円

救済新法の制定

- 「石綿による健康被害の救済に関する法律案」(仮称)を18年通常国会冒頭に提出

労災制度の周知徹底等

- 労災認定基準の改正
- 労災制度の周知徹底

研究の推進等

- 中皮腫抗がん剤「ベムトレキセド」の早期承認等

実態把握・国民への情報提供

- 解体現場周辺の大気中濃度測定
- 室内アスベスト濃度指標設定に資する調査研究
- 健康被害者の実態調査

2 今後の被害を未然に防止するための対応 17年度補正予算案額：1,417億円
18年度予算案額：29億円

既存施設での除去等

- 地方自治体の取組への支援 (地方財政法改正※)
- 国の建築物等について除去等実施
- 民間建築物における取組への支援 (助成措置の新設+中小企業等を対象とした低利融資制度の創設)
- 吹付けアスベスト等の使用規制 (建築基準法改正※)

解体時等の飛散・ばく露防止

- 飛散防止のための規制の拡充 (大気汚染防止法改正※)
- 石綿障害予防規則等の周知・指導

アスベスト廃棄物の適正処理

- アスベスト廃棄物の無害化処理推進 (廃棄物処理法改正※+税制上の措置の新設)
- 廃アスベスト適正処理の規制強化

健康相談等の対応

- 国民の健康相談への対応
- 健康管理手帳の交付要件等の見直し
- アスベスト関連の作業に従事した退職者への健康診断の実施
- 一般住民の健康管理の促進

アスベスト早期全面禁止

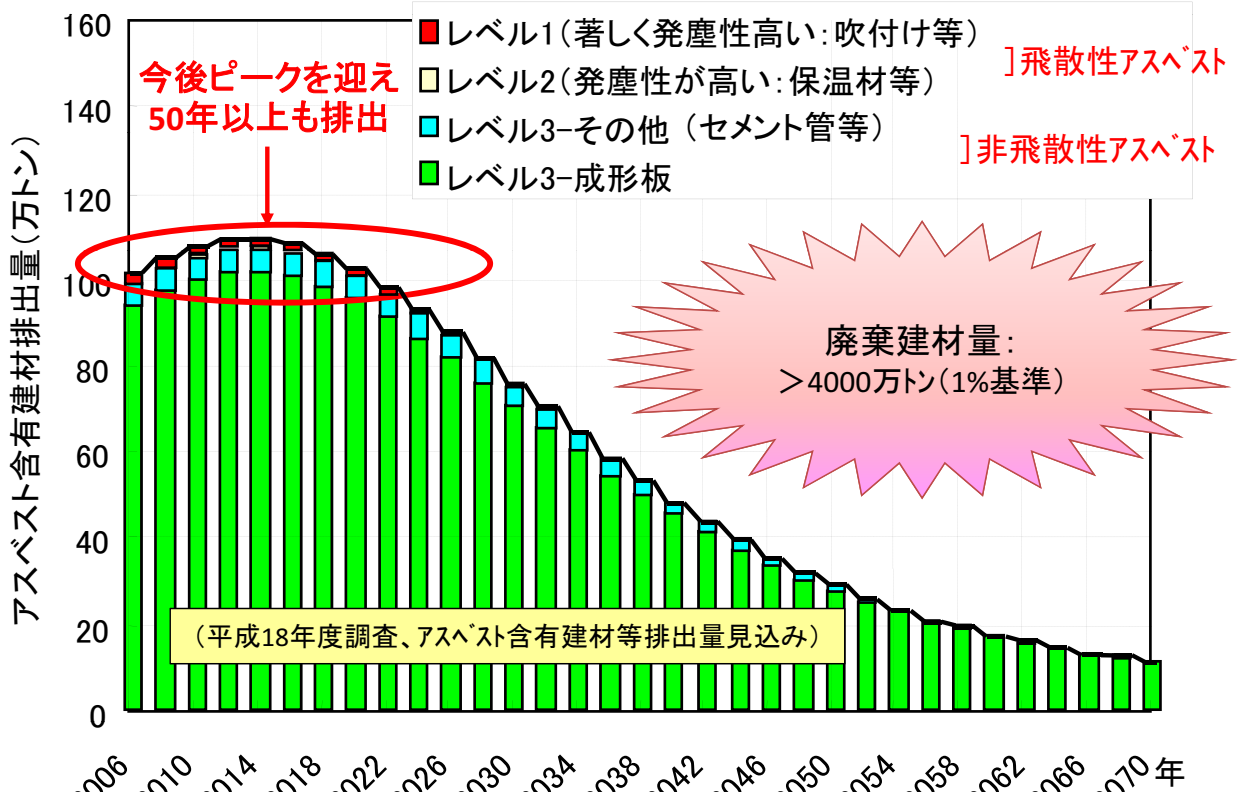
- 代替化を促進し18年度中に全面禁止措置

※アスベスト問題に関する関係閣僚による会合
アスベスト問題について、新たな被害の拡大防止等に取り組むため、関係閣僚による会合を開催
・平成17年7月29日から平成18年9月8日まで計6回開催
本資料は第5回会合(平成17年12月27開催)の参考資料より

事業原簿 I - 2

背景2

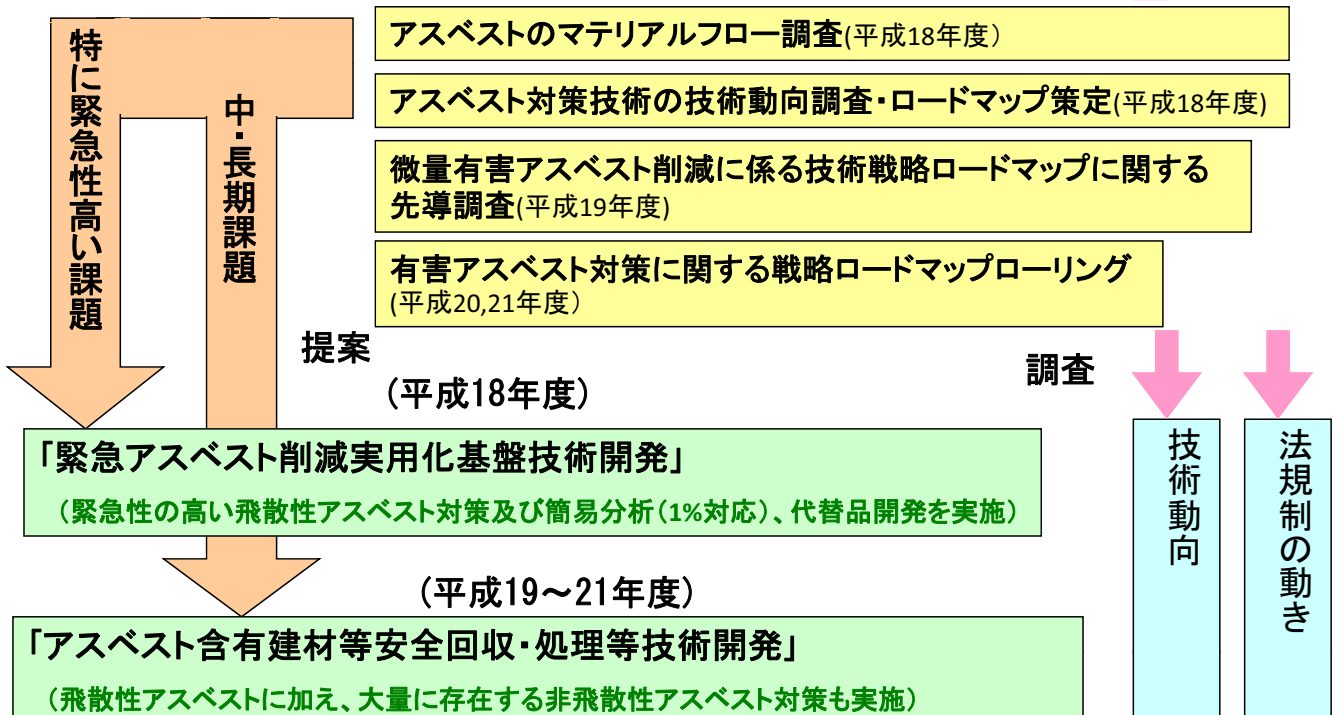
新たな製造・使用は禁止されたが蓄積したアスベスト廃棄物の処理は終わっていない



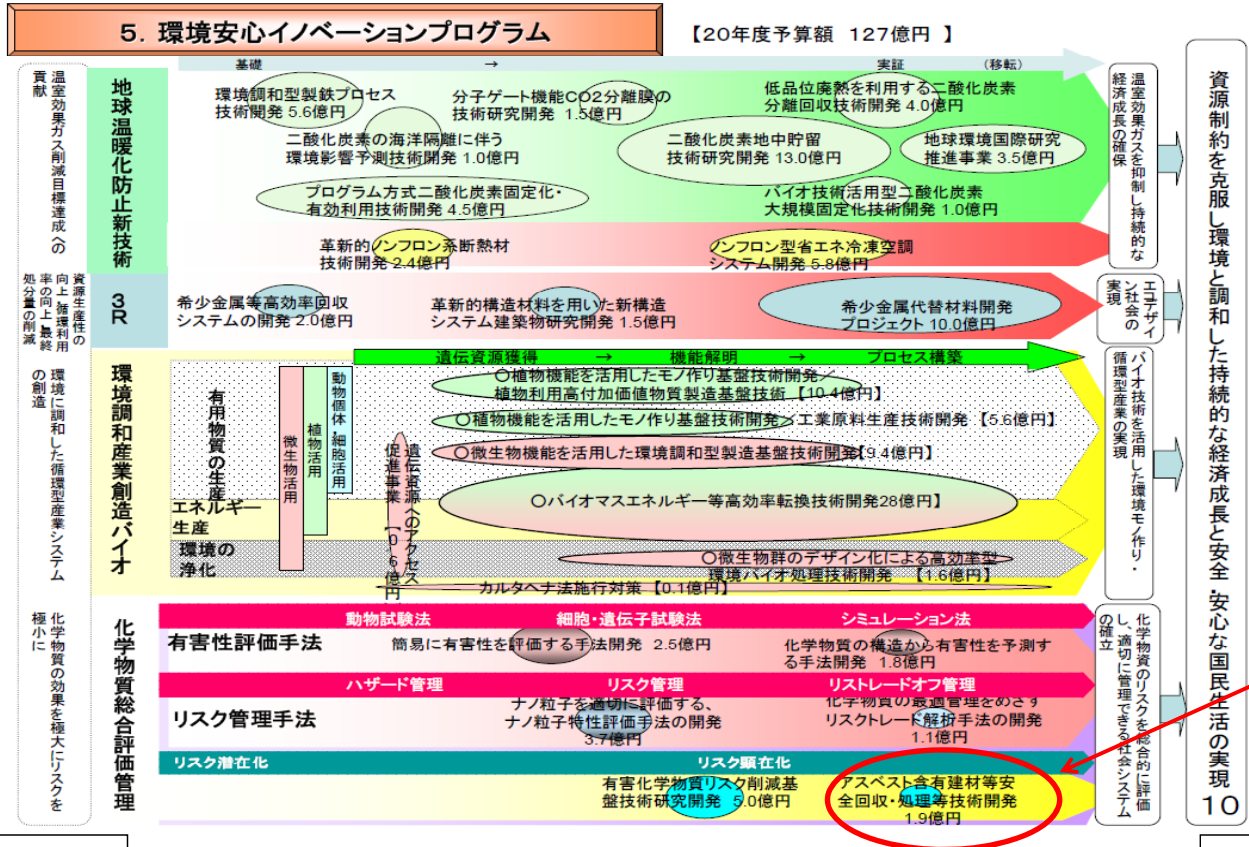
アスベスト対策へのNEDOの取り組み

※調査により情勢変化等をプロジェクトへ反映

アスベスト製品
存在量



位置付け



意義

NEDOが関与する意義

国民の抵抗感の高いアスベストを扱うため、企業単独では風評被害の恐れもあり取り組み難く、国のアスベスト対策の一環として、NEDOが本プロジェクトを実施することが重要。また、以下の点からもNEDOが産学官連携体制で推進すべき事業と考えられる。

- 規制強化による法改正等の状況変化に応じ、技術開発の見直しが必要
- 関係する各省庁等及び外部有識者との連携が重要
- 投資に対する技術的リスクが大きい

効果

実施の効果 (費用対効果)

○費用の総額 5億円(3年間)

○効果

- ・回収、除去 : 作業者のリスク低減、作業の効率化
- ・無害化、資源化 : 処分場逼迫対応、省エネ、リサイクル化

○市場効果(事業開始～2015年頃を想定)

・回収、除去工事費 4億円/年 (1~3万㎡/年 × 1~3万円/㎡)

※処理対象は全体で2~4千万㎡、
2万円/㎡とすると市場規模は4~8千億円

・無害化処理費 12億円/年 (2~3万トン/年 × 4~6万円/トン)

※処理対象は全体で4千万トン~1億トン、
5万円/トンとすると市場規模は2~5兆円

事業の妥当性

除去:ロボットにより省人化・省コスト化

無害化:埋立てに代わる処理法の確立が必要

(1)劣悪・危険を伴う人手による除去作業を低減させたい

(1)埋立て処分場は何れ逼迫するその時アスベストは何処へ?

(2)アスベスト処理に占める除去工事のコストは大きく低減が望まれる

アスベスト処理費用試算例

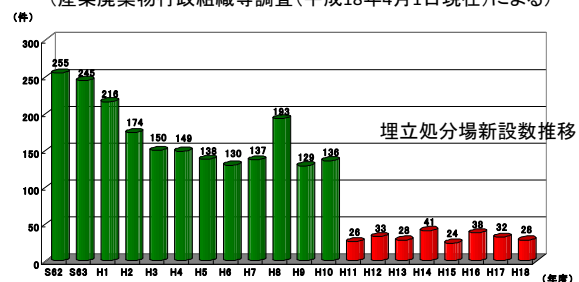
分類	500m ² 吹付け材		
	コスト (千円)	(%)	
事前調査	63	1.5	
分析	68		
除去	仮設・養生	2,400	
	安全衛生設備機器	303	70.0
	レベル1	3,226	
粉塵測定	62	0.7	
廃棄物	積込み(13.3t)	267	27.8
	処理(5万円/m ³)	2,085	
合計	8,475	100	

(2006年度「季刊 建設施工単価」に基づき整理)

埋立処分場残余年数

区分	最終処分量 (万t)	残容量 (万m ³)	残余年数 (年)
全国	2,423	18,625	7.7
首都圏	659	2,229	3.4
近畿圏	422	2,612	6.2

(産業廃棄物行政組織等調査(平成18年4月1日現在)による)

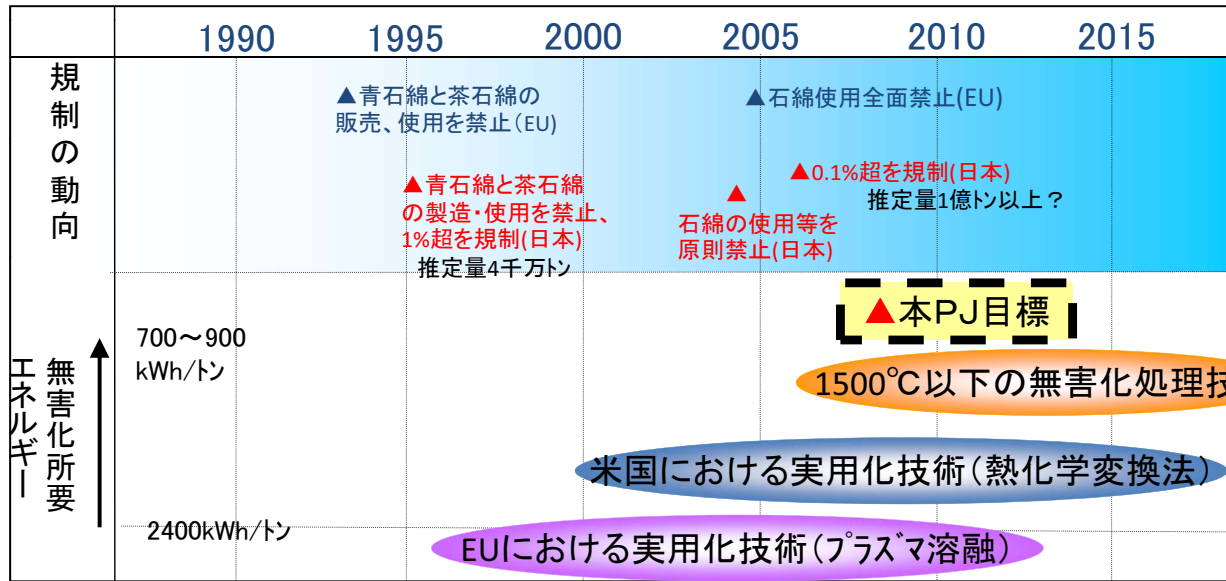


(2)埋立てのみではアスベストは無害化されておらず、将来問題が発生するリスク(掘返し等)も

内外動向

規制に対応し処理を進める際、省エネルギー・コスト低減は社会の要求

国内外の規制の動向及び処理エネルギー等



所要エネルギー比較

プロジェクト目標	700~900kWh/トン
熱化学変換法	1600kWh/トン
プラズマ溶融法	2400kWh/トン

処理温度比較(設備コストへの影響大)

プロジェクト目標	700~1100°C
従来溶融法	1500°C以上
他認定法(国内)	1350°C程度

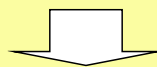
事業の目標(2009年度 最終目標)

これまでのアスベスト対策技術に比べて、革新的な技術であり大きな波及効果が見込まれる技術を開発

(1)アスベストを含む建材等の回収・除去現場におけるアスベストの飛散及び暴露を最小化し、回収・除去の安全性及び信頼性等を確保する技術を確立

(2)アスベスト含有廃棄物の無害化処理又は再資源化における安全性、効率性に優れた技術を確立(環境省の無害化認定制度の適用を想定)

飛散性(レベル1、2)から非飛散性(レベル3)まで全てに対応



(1),(2)によりアスベストを安全に回収・無害化する技術を確立し、事業化・実用化を推進する

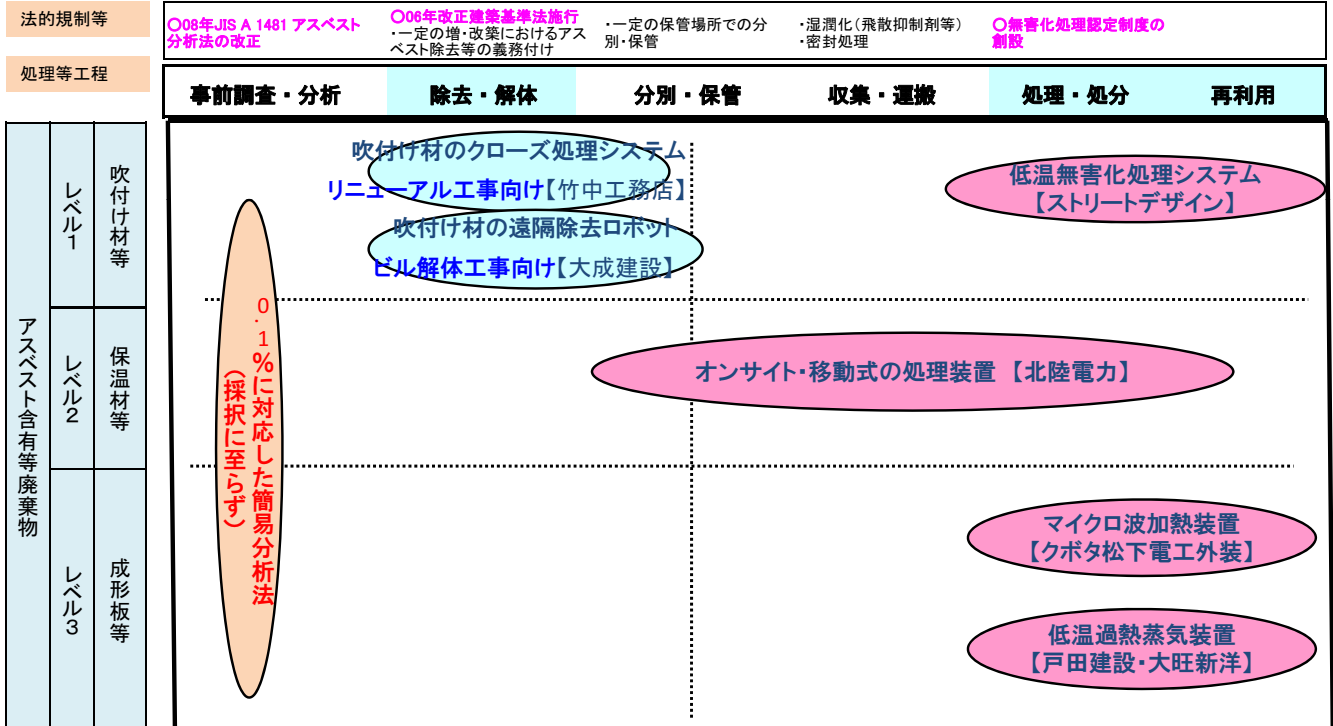
開発内容

平成19~21年度 アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発

1) 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		
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 18 ~21年度	大成建設
高性能アスベスト剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボットの開発	平成 18 ~20年度	竹中工務店
2) 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 18 ~21年度	北陸電力
低温過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	戸田建設・大旺新洋
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	株式会社松下電工外装 (現:ケイミュ)
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

※18年度は、緊急アスベスト削減実用化基盤技術開発として実施。

アスベスト含有廃棄物の種類及び処理工程に対する各研究開発項目の位置付け



平成19年度及び21年度に公募を実施し、レベル1~レベル3全てのアスベストへの対応を目指した

目標・根拠

研究開発項目(個別テーマ)	研究開発目標	根拠
(1)-①遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発	主に解体工事対象の除去ロボットの 実用化 除去性能 フロア部 人手の5倍 エレベータシャフト部 人手の6倍	人手のみによる除去工事と比較し、低コスト・短工期化の達成
(1)-②高性能アスベスト剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボットの開発	主にリニューアル工事対象の除去ロボットの 実用化 除去性能 人手の4倍	人手のみによる除去工事と比較し、同等以下のコスト・工期の達成
(2)-①オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発	主にレベル2の保温材対象とした実用化 1100℃程度での溶融無害化システム の確立、 処理能力 5トン/日以上	環境省の無害化認定制度の基準は5トン/日以上
(2)-②低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発	主にレベル3の建材を対象とした実用化 900℃程度での無害化処理技術 の確立と処理物の 資源化 検討、パイロット装置による処理能力 5トン/日以上 の達成	処理量30～50トン/日での事業開始を目指しており、その1/10以上での実証試験が必要
(2)-③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	主にレベル3の建材を対象とした実用化 850℃程度での無害化処理技術 と処理物の リサイクル 技術の確立、パイロット装置による処理能力 5トン/日以上 の達成	処理量30～50トン/日での事業開始を目指しており、その1/10以上での実証試験が必要
(2)-④アスベスト低温溶融無害化・再資源化処理システムの開発	主にレベル1の廃棄物を対象とした実用化 700℃台での無害化処理技術 の確立とプラスチック分からの 燃料回収 、パイロット装置による処理能力 1トン/日以上 の達成	処理量10トン/日程度での事業開始を目指しており、その1/10以上での実証試験が必要

開発スケジュール

●: 基本技術確立(特許出願)

	2007	2008	2009	最終目標値
(1)-①遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発				<ul style="list-style-type: none"> ・フロア用ロボット開発 ・エレベータシャフト用ロボット開発
(1)-②高性能アスベスト剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボットの開発				<ul style="list-style-type: none"> ・リニューアル工事用クローズ型処理ロボット開発
(2)-①オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発				<ul style="list-style-type: none"> ・1100℃程度での溶融無害化技術の確立
(2)-②低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発				<ul style="list-style-type: none"> ・900℃程度での無害化技術の確立及び処理物の資源化
(2)-③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				<ul style="list-style-type: none"> ・850℃程度での無害化技術の確立及び処理物のリサイクル
(2)-④アスベスト低温溶融無害化・再資源化処理システムの開発				<ul style="list-style-type: none"> ・700℃台での無害化技術の確立及び燃料回収

予算

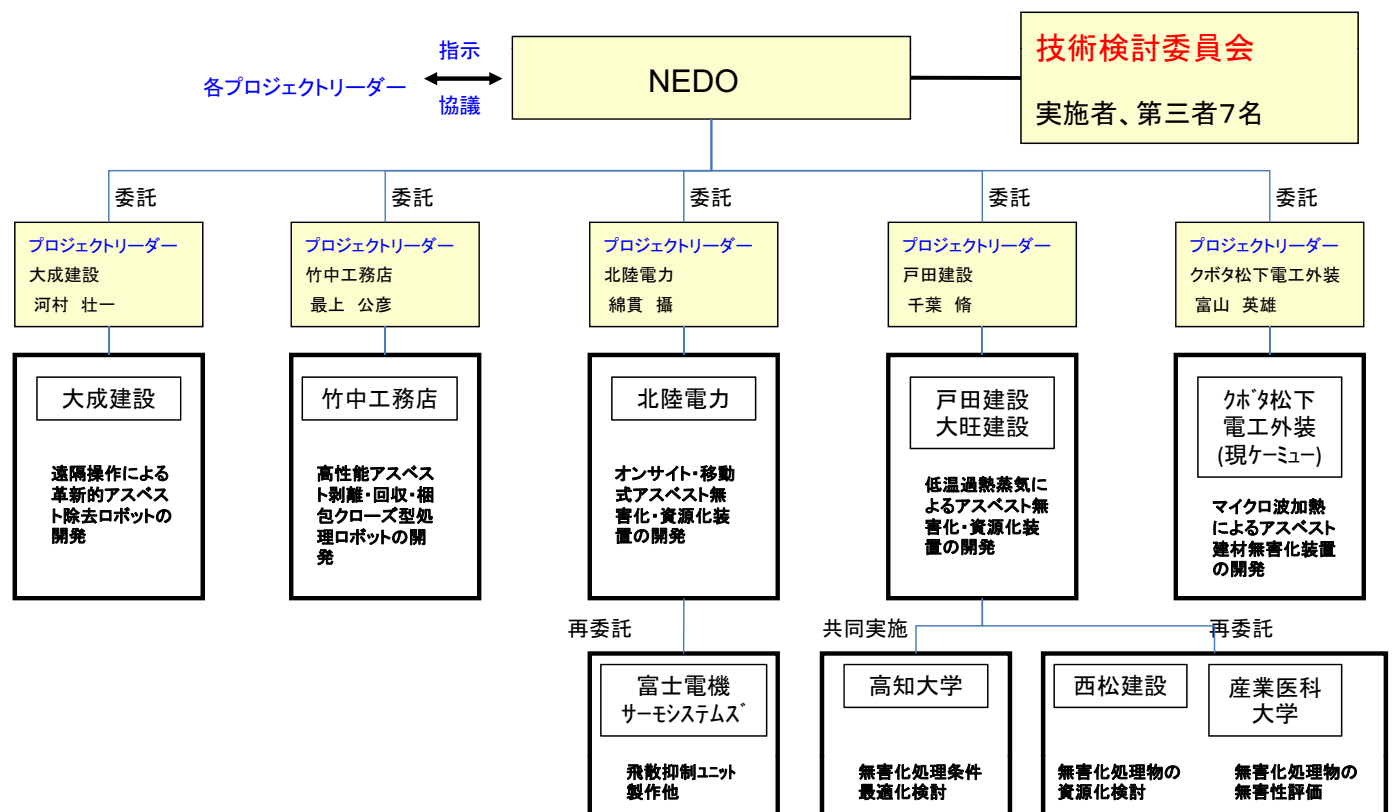
(単位:百万円)

年度	H19	H20	H21	合計
(1)-①遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発	32	32	28	92
(1)-②高性能アスベスト剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボットの開発	32	32	—	64
(2)-①オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発	42	62	34	138
(2)-②低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発	42	41	44	127
(2)-③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	40	36	—	76
(2)-④アスベスト低温熔融無害化・再資源化処理システムの開発	—	—	40	40
合計	188	203	146	537

3年間で約5.4億円の費用を投入

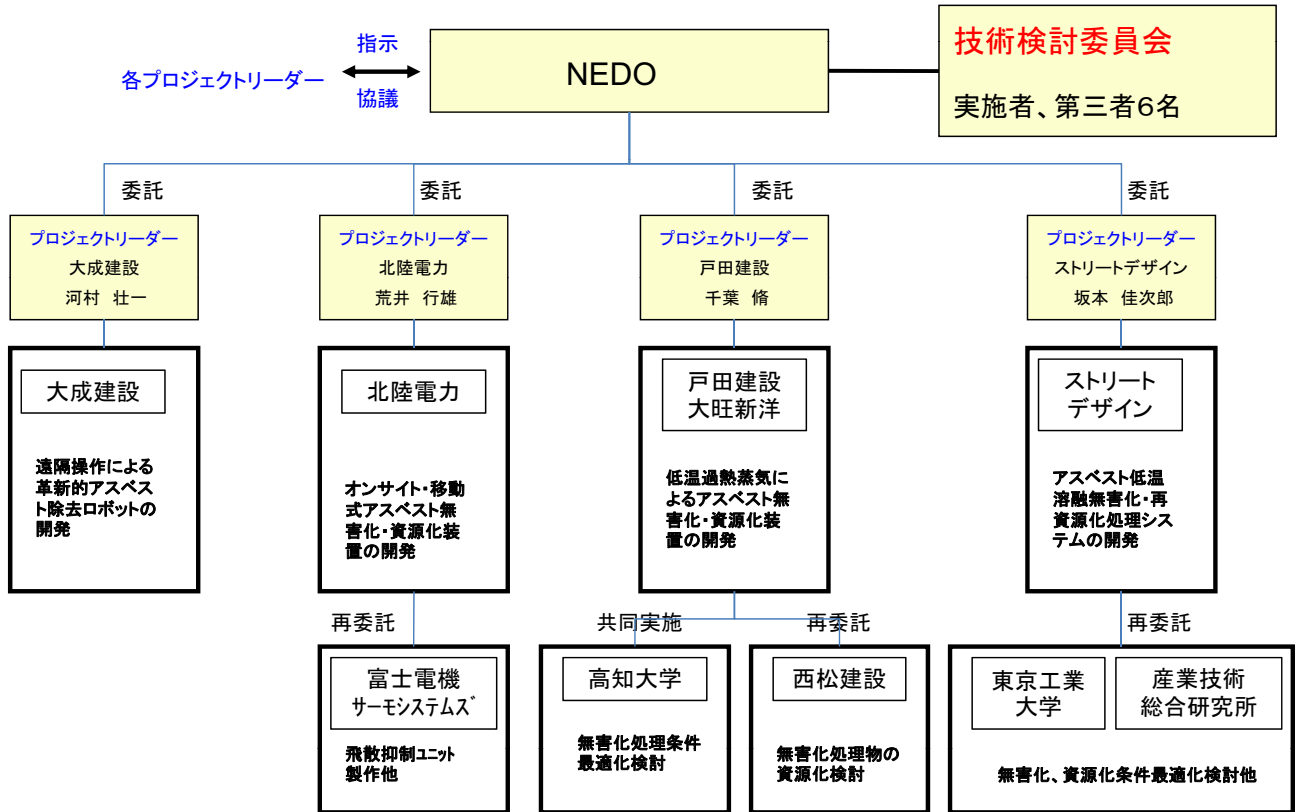
体制(1)

研究開発の実施体制(H19-20)



体制(2)

研究開発の実施体制(H21)



ONEDO主催「技術検討委員会(年2回)」を開催

外部有識者(下記)の意見を運営管理に反映

	委員長	委員
平成19~20年度	中杉修身教授(上智大学)	藤澤敏治教授(名古屋大学)、清家剛准教授(東京大学)、今西信之特別研究員(神鋼リサーチ)、幾原雄一教授(東京大学)、森田一樹教授(東京大学)、沼口徹事業所長(日本ホール)
平成21年度	神山宣彦教授(東洋大学)	藤澤敏治教授(名古屋大学)、清家剛准教授(東京大学)、今西信之特別研究員(神鋼リサーチ)、名古屋俊士教授(早稲田大学)、小暮幸雄理事長(AMCアスベスト処理推進協議会)

- ・平成19~20年度は、主に基盤技術開発上の課題を中心に委員会で議論し開発へ反映
 - ・平成21年度は、事業化上の課題をより多角的に議論すべく、一部委員を追加し開発へ反映
- 個別テーマへの助言・提言以外の主な運営管理への反映内容

- (1)H21年度実施テーマの見直し(H20) (2)加速の実施(H20及びH21)

○プロジェクトの進捗状況、外的な状況変化への対応等、適宜打合せを実施

○平成21年度の調査事業において、事業化の課題検討及び関係省庁(環境省、国交省、厚労省、経産省)、業界団体((社)日本石綿協会、(社)全国解体工事業団体連合会)及び学識者との意見交換を実施(委員会形式で計4回開催)し、事業化を支援

状況変化

規制範囲拡大、分析プロトコル改訂への対応

状 況	対 応
<ul style="list-style-type: none"> ・H19年度に、トレモライト等の3種類のアスベストが新たに規制対象として追加された。(注1) ・H20年度に建材中のアスベストの分析方法が改訂された。(注2) ・H21年度に無害化処理生成物に係わる電子顕微鏡を用いた石綿の測定方法が示された。(注3) 	<ul style="list-style-type: none"> ・追加の3種含めたアスベスト全6種への対応をプロジェクトの対象とした ・改定後のプロトコルに従って評価することとした ・無害化の判定には、従来法に加えて同方法で確認することを指示

プロジェクト期間中も分析法の改正等が相次ぎ、特に期間終了間近での無害化判定方法の提示は大きな影響もあったが、速やかに対処することができた。

注1: 厚生労働省 基安化発第0206003

注2: JIS A1481:2008

注3: 環境省 環廃対発第091225001、環廃産発第091225001

加速財源投入実績

時期	件 名	金額 (百万 円)	目 的	成 果
平成20年 12月	高含水率の処理物対応のための予備乾燥ユニットの能力向上	20	処理物の予備乾燥能力を強化することにより 運転安定化 を図る	高温溶融物の廃熱とシースヒータを用いて予備乾燥ユニットの乾燥能力を向上させることにより、炉の運転安定化を実現した。
平成21年 9月	地震・停電時のアスベスト飛散防止の緊急対応システムの構築	13	無害化認定に不可欠な安全対策として、 緊急時もアスベストを飛散させないシステム を構築する	地震及び停電時にも、アスベストを飛散させることなく設備を安定に維持できるシステムを構築し、安全性が向上した。
平成21年 9月	過熱蒸気循環装置の設置等による熱効率向上対策及び無害化確認分析の追加	14	排気工程での熱損失の抑制等による 熱効率向上 の効果を検証し、実用化時の設計へ反映。また、新たな無害化判定基準となる電子顕微鏡での分析を実施	検証した効果は実用化時の設計へ反映される見込み。電子顕微鏡の分析結果を無害化処理条件の確認・見直しに反映させた。
平成21年 9月	エレベータシャフト内アスベスト除去ロボットの自律制御化	8	当初遠隔操作を想定したロボットに立体センサー及び力センサーを追加して自律制御化し 除去効率向上 を図る	自律制御化により人手の5倍の除去能力は目処、目標の6倍達成に向け検討継続中。

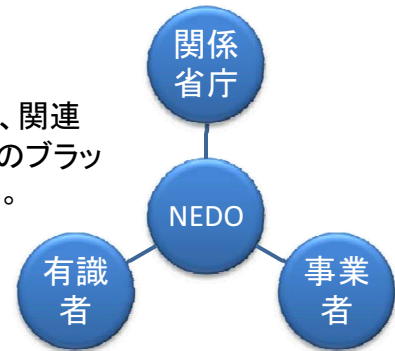
本研究開発におけるNEDOのマネジメントとは

○情勢の変化に対応した開発の実施

調査事業により、最新の情勢・状況及び重要課題をブラッシュアップ。
 ・公募テーマ設定への反映

○連携のハブとなり事業化支援

関係省庁(経産省、環境省、国交省、厚労省)や 有識者(学識者、関連業界団体等)と事業者間の意見交換の場を設けることにより、事業のブラッシュアップ・早期実用化を図った。また、事業者間の連携も支援した。
 ・無害化認定制度(環境省)に関する情報交換
 ・ビジネスモデルの検討



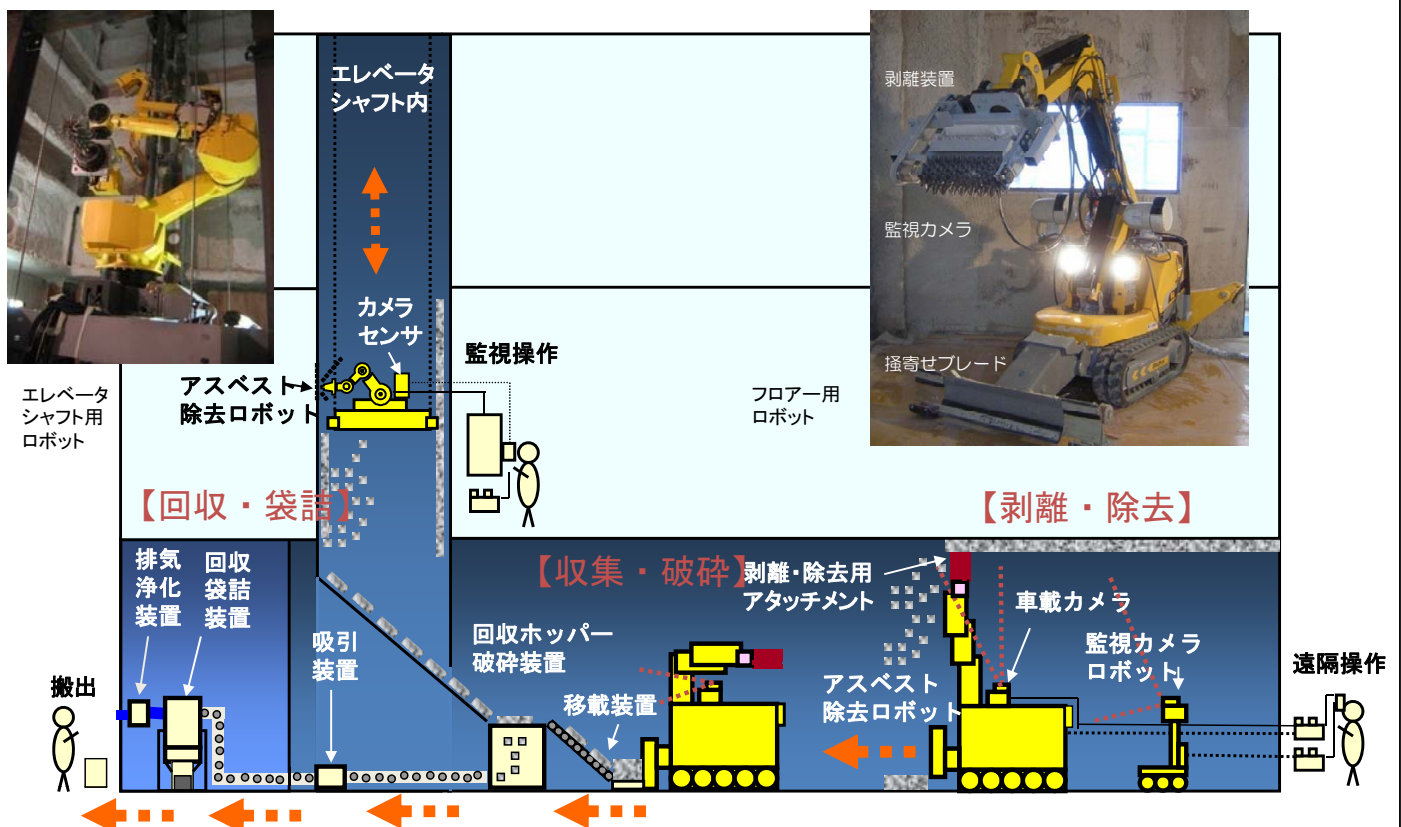
○効率的な資金投入による開発加速

大きな成果の出ているプロジェクトに対して、さらなる資金の投入を行うことにより、開発の加速・適用範囲の拡大を目指した。
 ・加速資金の投入(有識者の技術検討会による、効率的な投入判断)

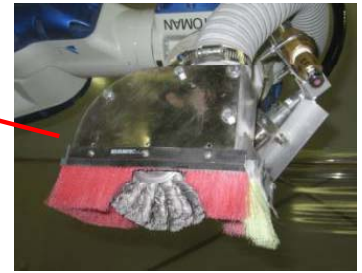
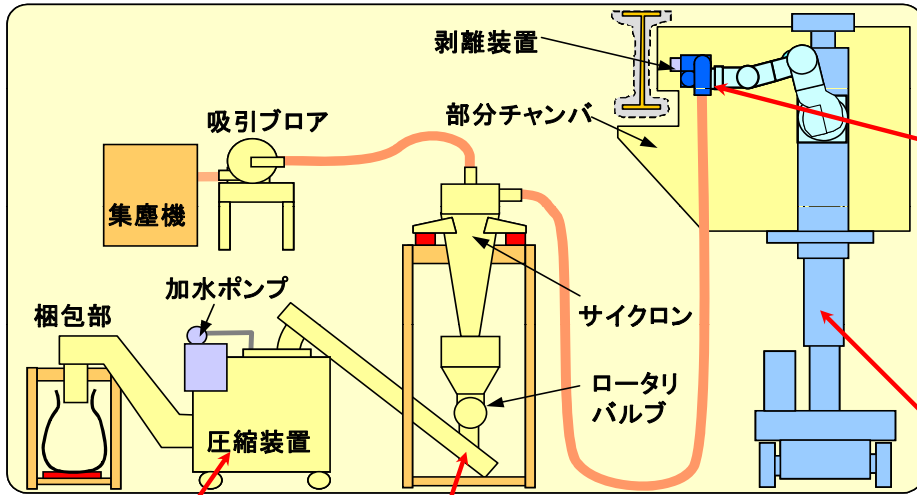
○成果の普及に向けた広報活動

展示会、事業者との共同の新聞発表を行い、アスベスト問題の啓蒙及び成果の普及活動を実施。
 ・アスベスト対策展でのブース設置、小セミナー開催及び講演など
 ・プレスリリース及び雑誌等への投稿など

(1)-①遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発(大成建設)



(1)-②高性能アスベスト剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボットの開発(竹中工務店)



回転ブラシ型剥離装置



7軸マニピュレータ

自走式
昇降台車

剥離ロボット



圧縮装置

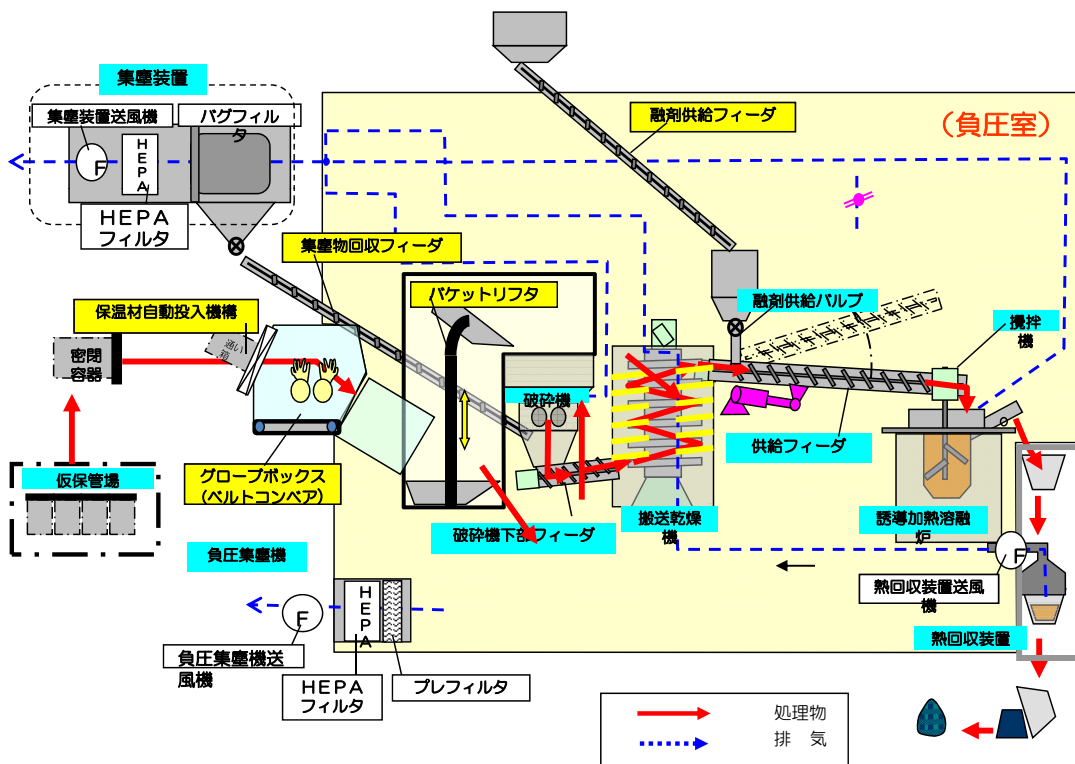


回収装置



制御装置

(2)-①オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発(北陸電力)

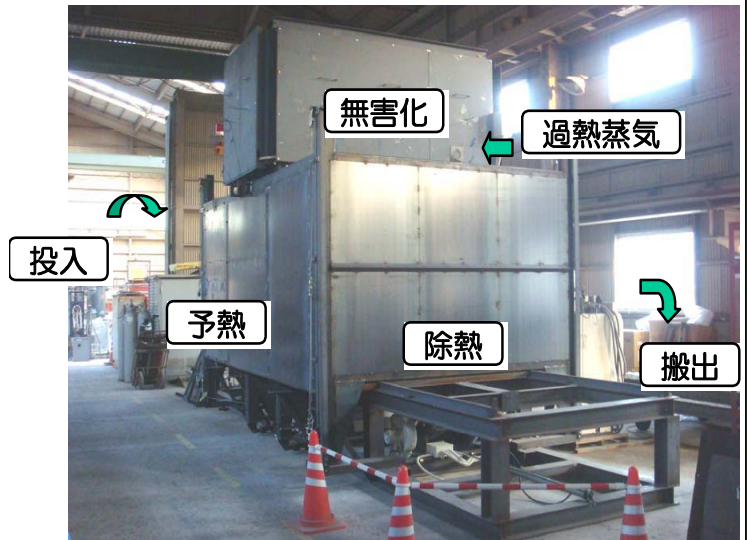
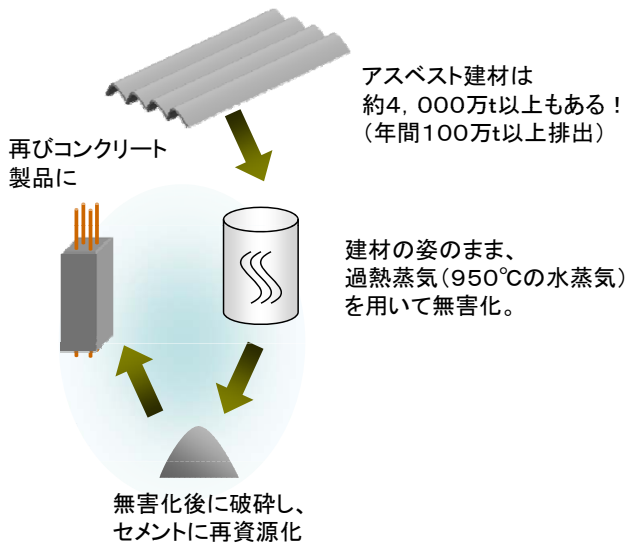


無害化装置を搭載したトレーラ



150kw誘導加熱装置

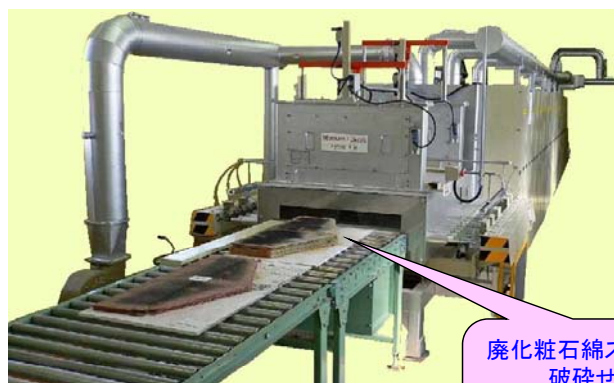
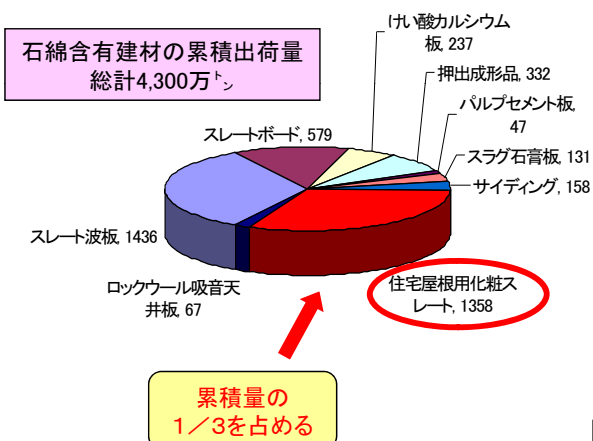
(2)-②低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発(大旺新洋、戸田建設)



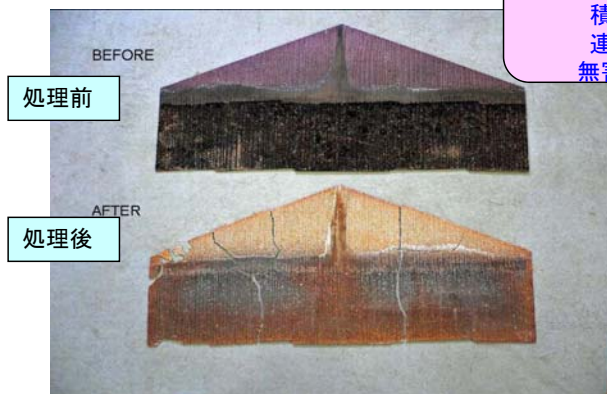
炉の内部

除熱後の処理建材パレット

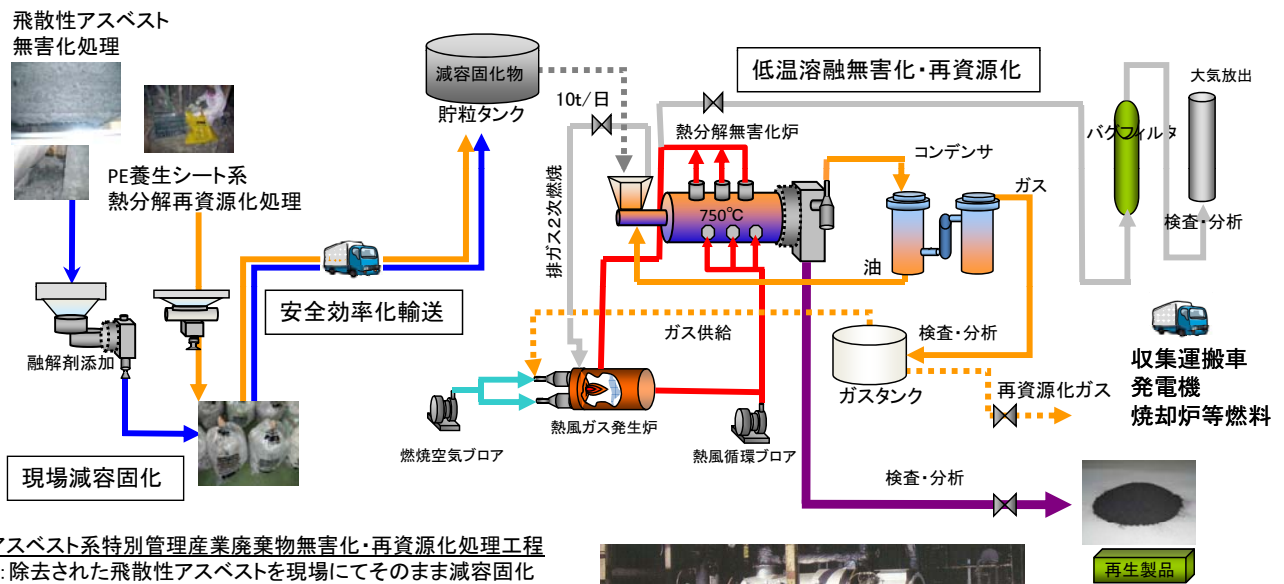
(2)-③マイクロ波加熱によるアスベスト建材無害化装置の開発(ケイミュー)



廃化粒石綿スレートを破碎せず積重ねて連続的に無害化処理



(2)-④アスベスト低温溶融無害化・再資源化処理システムの開発(ストリートデザイン)



アスベスト系特別管理産業廃棄物無害化・再資源化処理工程

- 1: 除去された飛散性アスベストを現場にてそのまま減容固化
- 2: アスベスト低温溶融融解剤Aと混入(自動定量)、
続けて固化剤を混入(自動定量)し機械内攪拌され減容固化
- 3: 減容固化後専用指定袋へ袋詰めし搬出
(非飛散性固化物となるが、取り扱いには法律上レベル1)
- 4: プラスチック系廃棄物は、飛散防止処理後圧縮加熱減容固化、
収集運搬社で無害化処理再資源化工場へ
- 5: 減容固化成型物を熱分解炉の中へ投入750°Cの熱分解炉の
中でプラスチック成分は気化しガス化再資源化
- 6: 気化しない無機アスベスト成分等は、熱分解炉の中で融解剤と反応し無害化され排出・再資源化



熱分解無害化炉

プロジェクト全体の目標の達成状況

開発テーマ	目標	達成状況	達成度
(1) アスベストの安全回収・除去技術開発	アスベストを含む建材等の回収・除去現場におけるアスベストの飛散及び暴露を最小化し、回収・除去の安全性及び信頼性等を確保する技術を確立	<ul style="list-style-type: none"> ・2つの委託先ともロボットによる除去・回収の基本技術を確立 ・複雑な形状部等の除去について、技術的には一部対応も可能であるが、コスト面から10~20%程度の未除去部を残すこととした ・現場実証試験は、施主の了解を得ることに苦勞しており、当初想定ほど進んでいないが、数ヶ所で実施の目処 	◎
(2) アスベストの無害化・資源化技術開発	アスベスト含有廃棄物の無害化処理又は再資源化における安全性、効率性に優れた技術を確立(開発目標:処理量5トン/日以上)	<ul style="list-style-type: none"> ・4つの各委託先何れも無害化処理の実証試験を実施し、周辺環境への影響含めて問題ないことを確認 ・特に北陸電力は本年10月に環境省の大臣認定を受けた ・その他の委託先は昨年12月に示された新たな無害化判定基準に対して運転条件の最適化を検討しており、無害化の大臣認定取得を目指している 	◎

達成度(◎:達成、○:概ね達成、△:課題あるも1年内に達成見込み、×:問題あり)

(1)個別研究開発項目の目標と達成状況

-アスベストの安全回収・除去技術開発-

個別開発項目	目標	達成状況	達成度
① 遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発	主に解体工事対象とした除去ロボットの実用化 除去性能 フロア一部 人手の5倍 エレベータ部(H21年度追加項目) 人手の6倍	・模擬試験でフロア一部、エレベータ部共に 除去性能人手の5倍 を達成 ・現場試験で 減容化1/3 確認 ・現場実証を積み重ね実用化を目指す	◎
② 高性能アスベスト剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボットの開発	主にリニューアル工事対象とした除去ロボットの実用化 除去性能 人手の4倍	・現場実証試験で 除去性能人手の4倍相当 を確認 ・ 減容化1/3 達成 ・現場実証を積み重ね実用化を目指す	◎

達成度(◎:達成、○:概ね達成、△:課題あるも1年内に達成見込み、×:問題あり)

(1)個別研究開発項目の目標と達成状況

-アスベストの無害化・資源化技術開発-

個別開発項目	目標	達成状況	達成度
① オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発	主にレベル2の保温材対象とした実用化、1100℃程度での溶融無害化システムの確立、処理能力5トン/日以上	・処理システムを確立し環境大臣の 無害化認定 を受け、自社の発電所内で 処理開始 へ ・実績を積んだ上で、自社以外への展開を図る	◎◎
② 低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発	主にレベル3の建材を対象とした実用化、900℃程度での無害化処理技術の確立と処理物の資源化の検討、パイロット装置による処理能力5トン/日以上での達成	・新たな無害化判定基準に対する安全率を考慮し、 950℃での無害化処理条件 を確立 ・処理物のセメント原料化確認 ・事業化に向け検討推進中	◎
③ 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	主にレベル3の建材を対象とした実用化、850℃程度での無害化処理技術と処理物のリサイクル技術の確立、パイロット装置による処理能力5トン/日以上での達成	・ 850℃での無害化処理条件 確立済み、コスト最適化検討中 ・自社建材への再利用確認 ・事業化に向け検討推進中	◎
④ アスベスト低温溶融無害化・再資源化処理システムの開発	主にレベル1の廃棄物を対象とした実用化、700℃台での無害化処理技術の確立とプラスチックからの燃料回収、パイロット装置による処理能力1トン/日以上での達成	・ 実証設備にて750℃での無害化を検証 ・プラスチック分ガス化、回収確認 ・事業体制構築含め事業化検討推進中	◎

各個別テーマの成果

(1) アスベストの安全回収・除去技術開発

- 解体工事、リニューアル工事に適したロボットによる吹付けアスベストの除去技術を開発(より劣悪な環境のエレベータシャフトへも開発を拡大)
- ・ 人手に比べて4～6倍の除去能力を達成、コスト低減化へ目処
- ・ 除去物も1/3への減容化が図れ、輸送及び埋立てコスト低減
- ・ コスト面も考慮し、10～20%程度は人手による仕上げ作業を検討
- ・ 現場実証試験により調整・最適化を進め、早期事業化を目指す

(2) アスベストの無害化・資源化技術開発

- 飛散性のレベル1の吹付け材、レベル2の保温材から非飛散性のレベル3の建材までの各廃棄物に応じた無害化・資源化の技術を開発
- ・ 環境省の無害化認定制度適用による1500℃以下(700～1100℃)での処理とすることにより、ランニングコスト・設備コストが低減
- ・ 北陸電力は、無害化の大臣認定を受け、自社での処理を開始
- ・ その他の委託先も無害化認定申請準備中で、平成23～24年度頃の事業開始を目指す

(3) 知的財産権、成果の普及

年度	H19	H20	H21	H22	計
出願特許	2	5	8		15件
論文投稿	5	10	10	9	34件
研究発表・講演	8	15	13	10	46件
受賞実績	1	1	1	1	4件
新聞・雑誌等への掲載	28	21	33	19	101件
展示会への出展	4	5	7	6	22件

※ 平成22年10月末現在

15件の特許を出願

- 特願2008-258911 アスベスト含有建材剥離装置
- 特願2009-183975 アスベスト含有建材除去装置
- 特願2009-56254 クローズ型除去処理システムの除去装置
- 特願2009-161257、-161258、-161259、-161260 廃アスベスト無害化装置
- 特願2007-244797 アスベスト含有廃棄物の再生処理方法
- 特願2007-293061 アスベスト含有廃棄物の加熱処理システム
- 特願2008-231929 アスベスト含有建材の無害化装置
- 特願2010-72519 アスベスト含有建材の加熱処理システム
- 特願2008-332230 石綿含有建材の無害化処理方法
- 特願2009-9893 石綿含有建材の無害化処理法
- 特願2009-255215 アスベストの飛散防止処理法
- 特願2010-45835 アスベストの飛散防止処理方法

主な新聞・雑誌等の掲載

- エレベータシャフト内の石綿 ロボット使い安全除去(他)、建設通信新聞、化学工業日報、鉄鋼新聞、2010/2/19(他に2/22～2/26に類似タイトルで4紙に掲載)
- 石綿を安全効率除去(他)、建設工業新聞、建設産業新聞、建設通信新聞、日刊工業新聞、2008/12/2
- 現地で石綿無害化処理(他)、日本経済新聞、日経産業新聞、朝日新聞、読売新聞、北陸中日新聞、北日本新聞、電気新聞、2009/7/9,10
- 北陸電力を石綿無害化で大臣認定、化学工業日報、2010/10/15
- 過熱蒸気で廃材無害化、高知新聞、日本経済新聞四国版、2010/3/13
- 石綿建材マイクロ波で無害化 埋め立て不要に、日本経済新聞、2009/8/17
- 遠隔操作による湿式系吹付けアスベスト除去、地球環境、2009年9月号
- 吹付けアスベストの剥離・圧縮・梱包クローズ型処理ロボット、資源環境対策、2008年11月号
- オンサイト式アスベスト溶融・無害化処理システムの開発と連続運転試験、電気評論、2010年1月号
- 過熱蒸気によるアスベスト含有建材の無害化技術、環境浄化技術、2010年6月号
- マイクロ波加熱によるアスベスト建材無害化技術、資源環境対策、2008年11月号
- 廃プラスチック由来の燃料ガスによるアスベスト溶融無害化プロセスの開発、イー・コンテンツチャー、2010年9月号
- 特集「設備におけるアスベスト対策」、建築設備と配管工事、2010年11月号

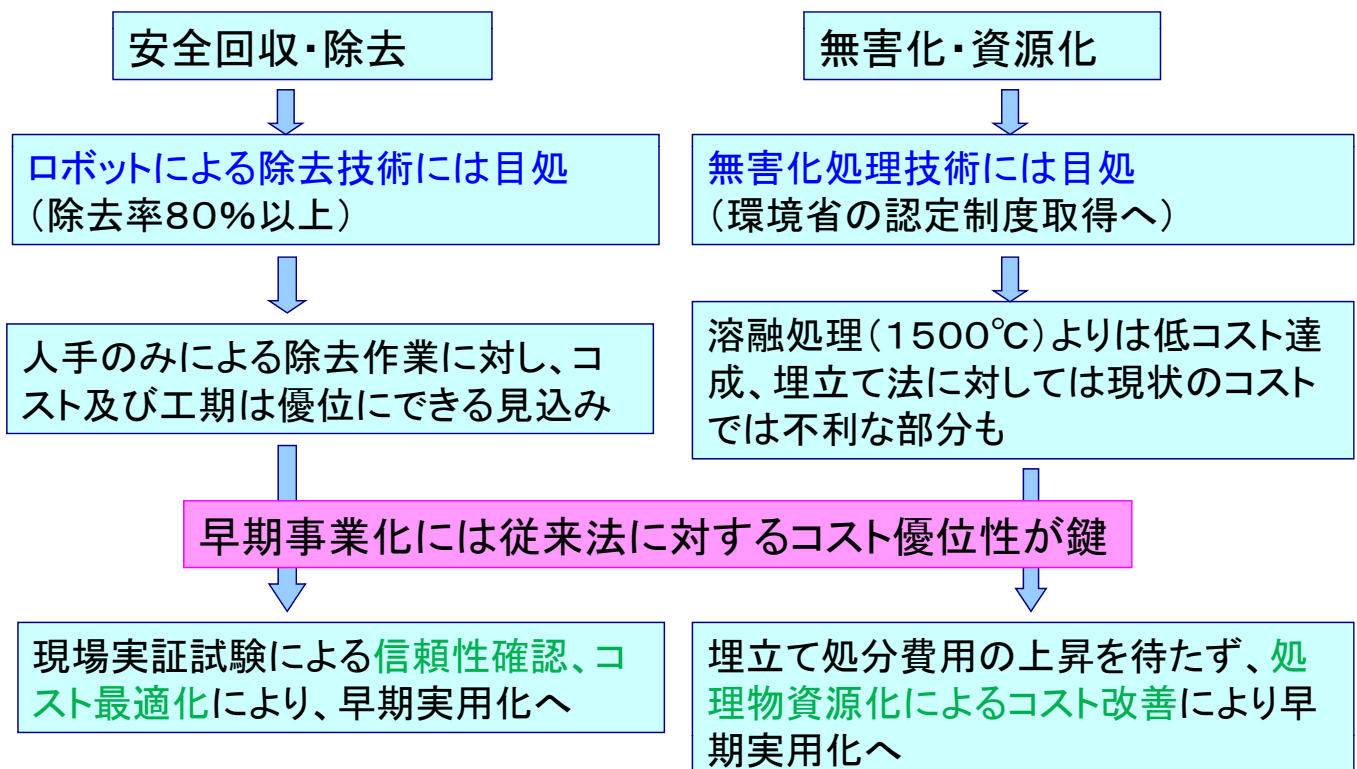
その他普及活動(展示会、プレスリリース等)

- **アスベスト対策環境展**(2007年～2009年)、**アスベスト&環境リスク対策展**(2010年)
委託先延べ20社、ブース展示及び小セミナー等実施
テクニカルセミナーにてアスベスト問題へのNEDOの取り組み等について講演
- **エコケミカルシンポジウム**(NEDO主催)
第2回(2007年2月)、第4回(2009年2月)にアスベスト問題をテーマとして開催
- アスベスト問題へのNEDOの取り組みに関するブリーフィング実施(2009年6月)
- オンサイト・移動式のアスベスト低温溶融・無害化処理システムの実証試験に係わるプレスリリースを北陸電力と共同で実施(2009年7月)
- エレベータシャフト内アスベスト除去ロボット開発に係わるプレスリリースを大成建設と共同で実施(2010年2月)
- 低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発に係わるプレスリリースを大旺新洋、戸田建設、西松建設と共同で実施(2010年3月)

受賞等

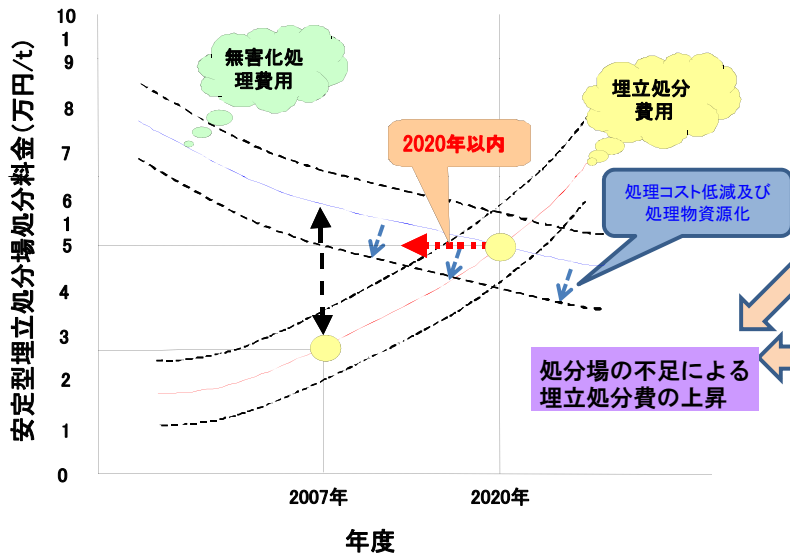
- 「第11回建設ロボットシンポジウム論文集」**優秀論文賞**受賞 竹中工務店
- 2009年「**日本建設機械化協会奨励賞**」受賞 竹中工務店
- (財)エンジニアリング振興協会「**第2回エンジニアリング奨励特別賞**」受賞
大旺新洋、戸田建設、西松建設

本プロジェクトの実用化とは実際にアスベストの処理を進めること



実用化可能性

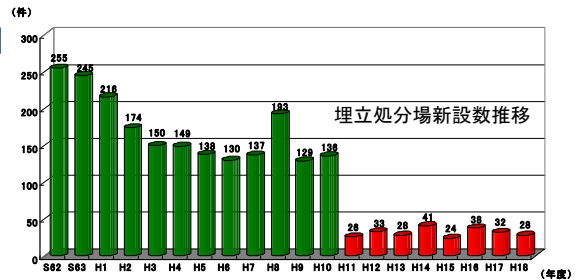
現状のコスト競争力は厳しいが、処理物の資源化(リサイクル)、埋立処分費上昇により、処理事業は拡大へ



埋立処分場残余年数

区分	最終処分量 (万 t)	残存容量 (万 m ³)	残余年数 (年)
全国	2,423	18,625	7.7
首都圏	659	2,229	3.4
近畿圏	422	2,612	6.2

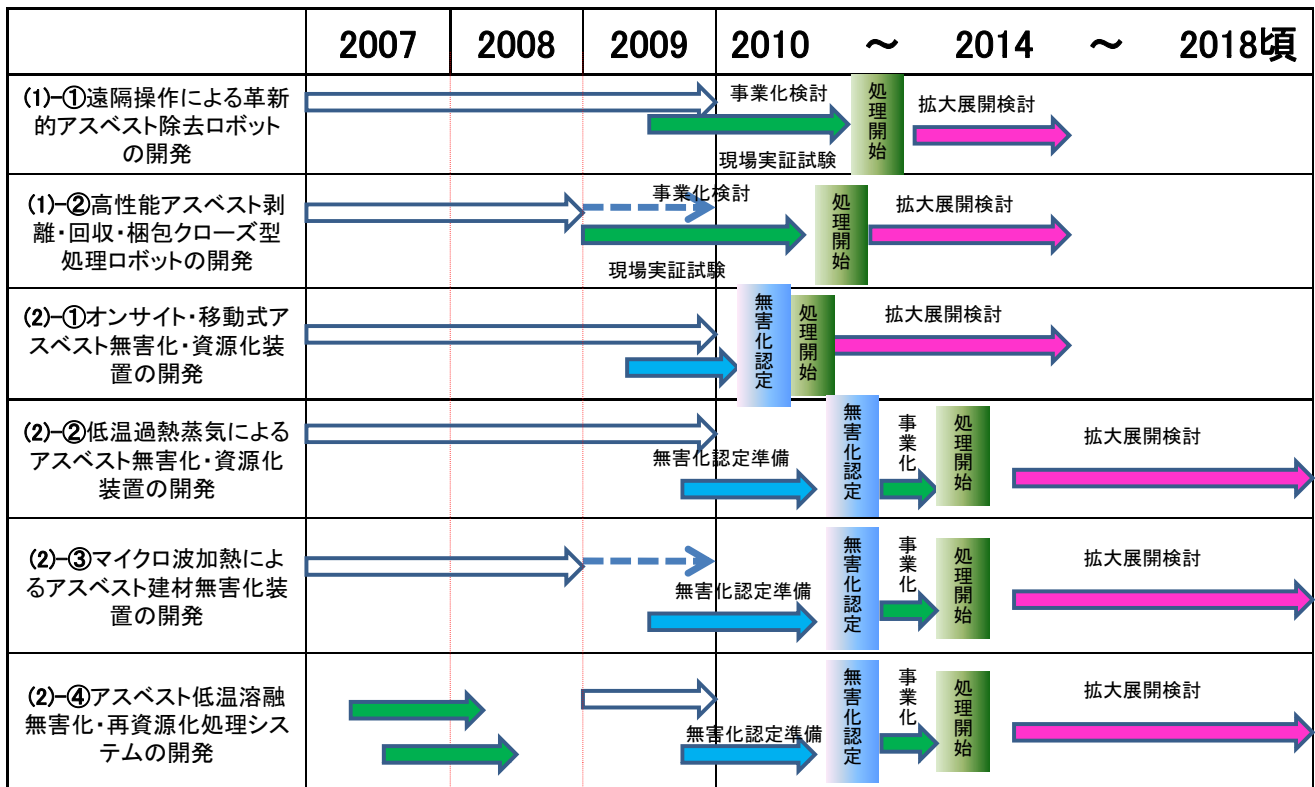
(産業廃棄物行政組織等調査(平成18年4月1日現在)による)



(出典: 環境省「H21年版 環境・循環型社会・生物多様性白書」)

埋立に代わる大量処理技術が確立されていないと、適切な処理が行われないリスクも

事業化スケジュール



(1) アスベストの安全回収・除去技術開発

・過酷で危険である吹付け材の除去作業の一部をロボット化することによる暴露リスク低減効果に加え、低コスト化を進めることにより、アスベストの処理が加速されることが期待される

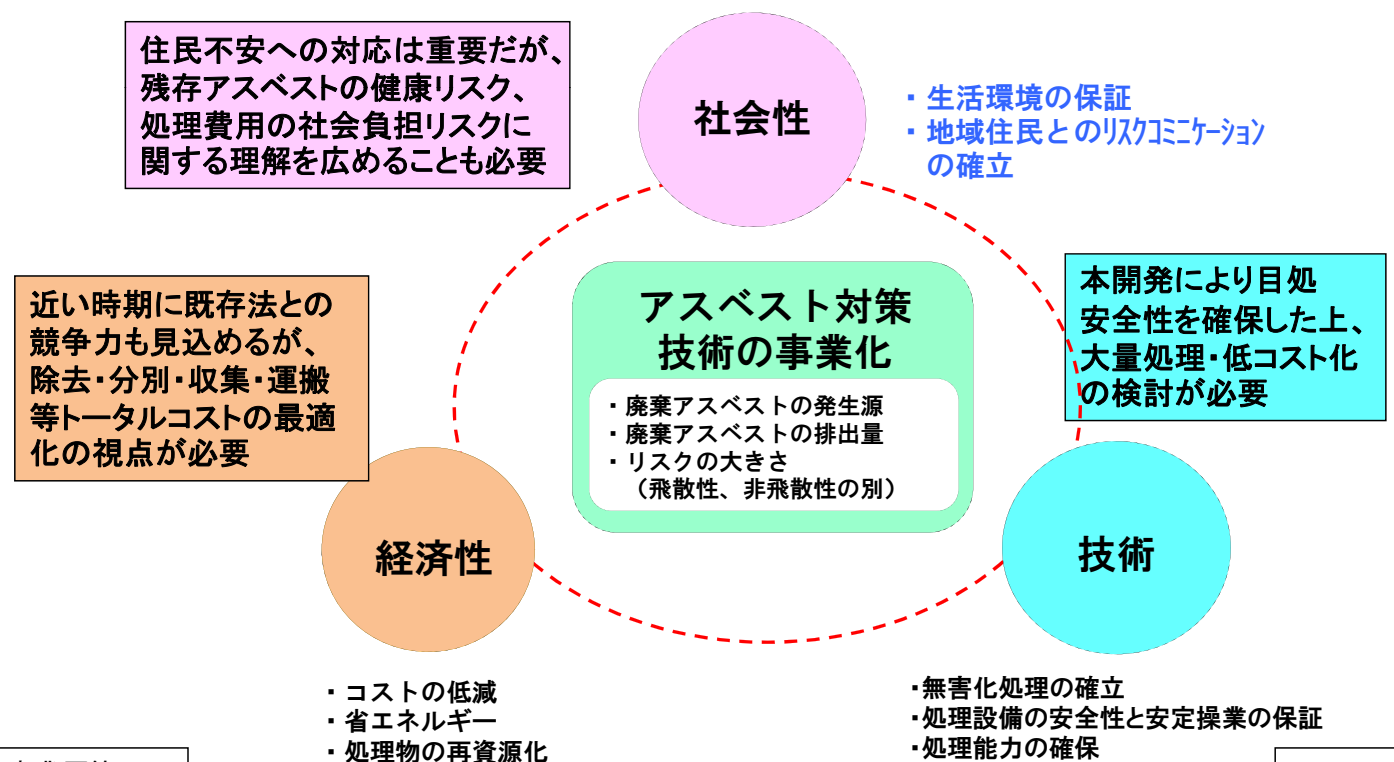
(2) アスベストの無害化・資源化技術開発

・レベル1～3全てに対応した、従来より低温での無害化技術を開発。溶融以外の無害化処理は先例が無く、資源としての再利用化は世の中の流れに合致している
 ・埋立て処分場の逼迫前に大量処理法を確立することは不法投棄等の防止に繋がる
 ・無害化認定の取得により、溶融、埋立てに代わる今後のアスベスト処理の指針となり、NEDO以外の技術開発含めて広く検討が進むことも期待される

(3) 課題

・負の遺産である残存アスベストの処理を速やかに進めるため、分別・回収ルートの確立、処理物の資源化・再利用ルートの確立を含めた全体コスト最適化のためのネットワークの構築が必要
 ・アスベストに対する住民不安への対応、処理ネットワークの構築には、NEDOを含めた「官」も役割を担っていくことが重要

実際にアスベスト処理を進めるための課題



「アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発」

5.1 アスベストを含む建材等の回収・除去の安全性及び信頼性等を確保する技術

5.1.1

遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発 (公開)

平成22年12月9日

大成建設株式会社

プロジェクトの位置付け

公開

平成19～21年度 アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発

1) 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

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 18 ～21年度	大成建設
高性能アスベスト剥離・回収・梱包 クローズ型処理ロボットの開発	平成 18 ～20年度	竹中工務店

2) 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 18 ～21年度	北陸電力
低温過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	戸田建設・大旺新洋
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	ケイミュー
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

※18年度は、緊急アスベスト削減実用化基盤技術開発として実施。

開発背景

公開

健康被害をもたらす吹付けアスベストの除去、および回収を安全、効率的にできる技術の開発が急務！

乾式系吹付け
アスベスト対象



高圧水噴射ノズル
(乾式系除去)

湿式系吹付け
アスベスト対象



TVモニターによる
遠隔操作



平成18年度
開発成果

乾式系吹付けアスベスト
除去ロボット

平成19～21年度

遠隔操作による革新的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の開発

3/26

開発目標

公開

○湿式系吹付けアスベスト除去ロボットの除去性能

【フロア対応】

従来の作業員の手作業に比べ、**5倍以上**

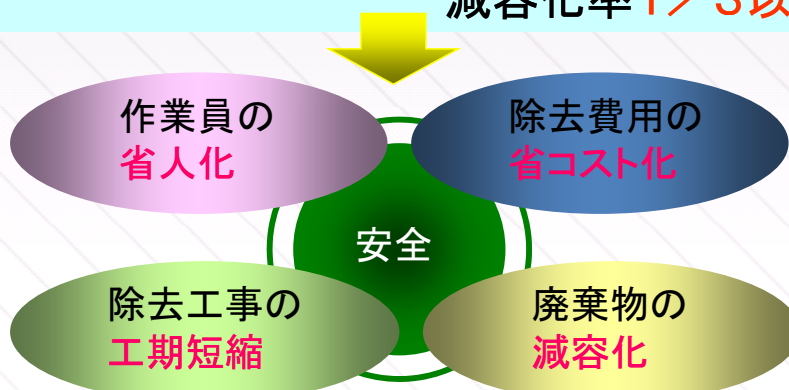
遠隔操作システムの高度化

【エレベータシャフト対応】

従来の作業員の手作業に比べ、**6倍以上**

○湿式系吹付けアスベスト回収システムの回収性能

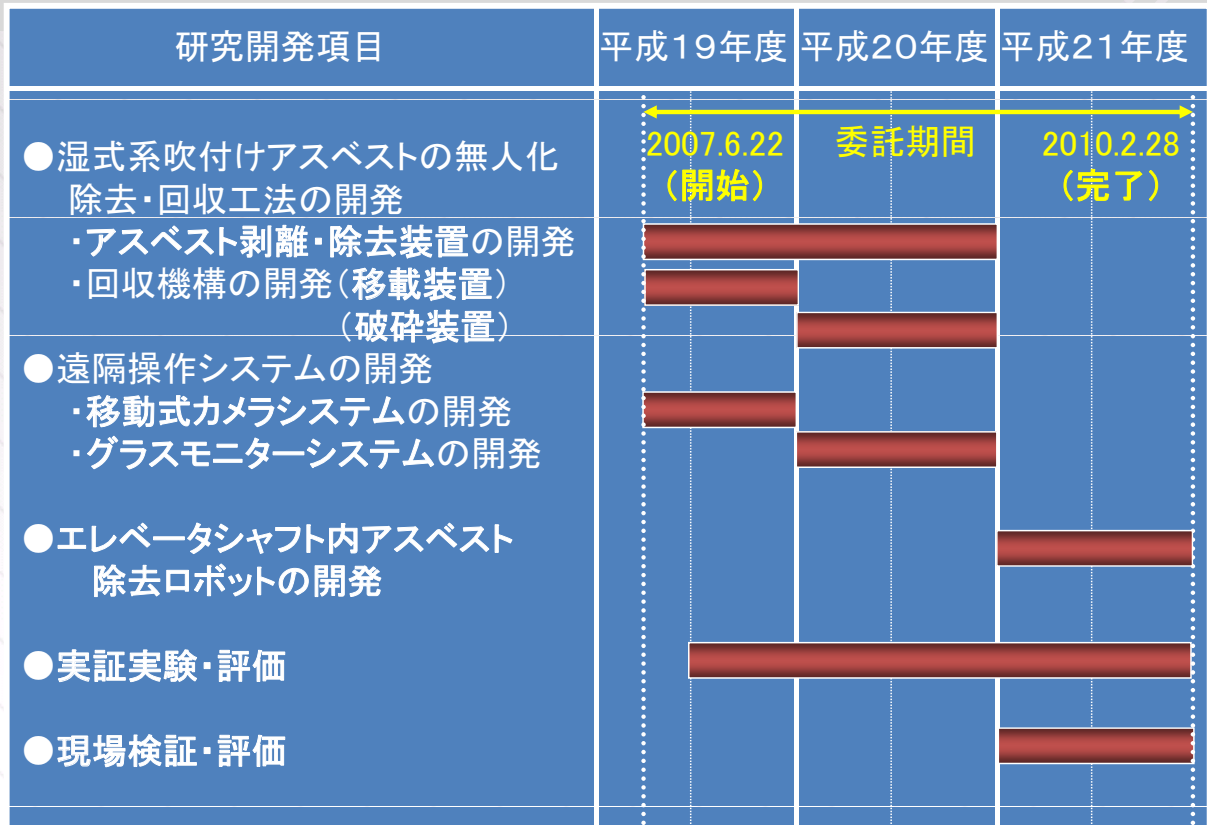
減容化率**1/3以上**



4/26

開発工程

公開



5/26

開発成果の達成度

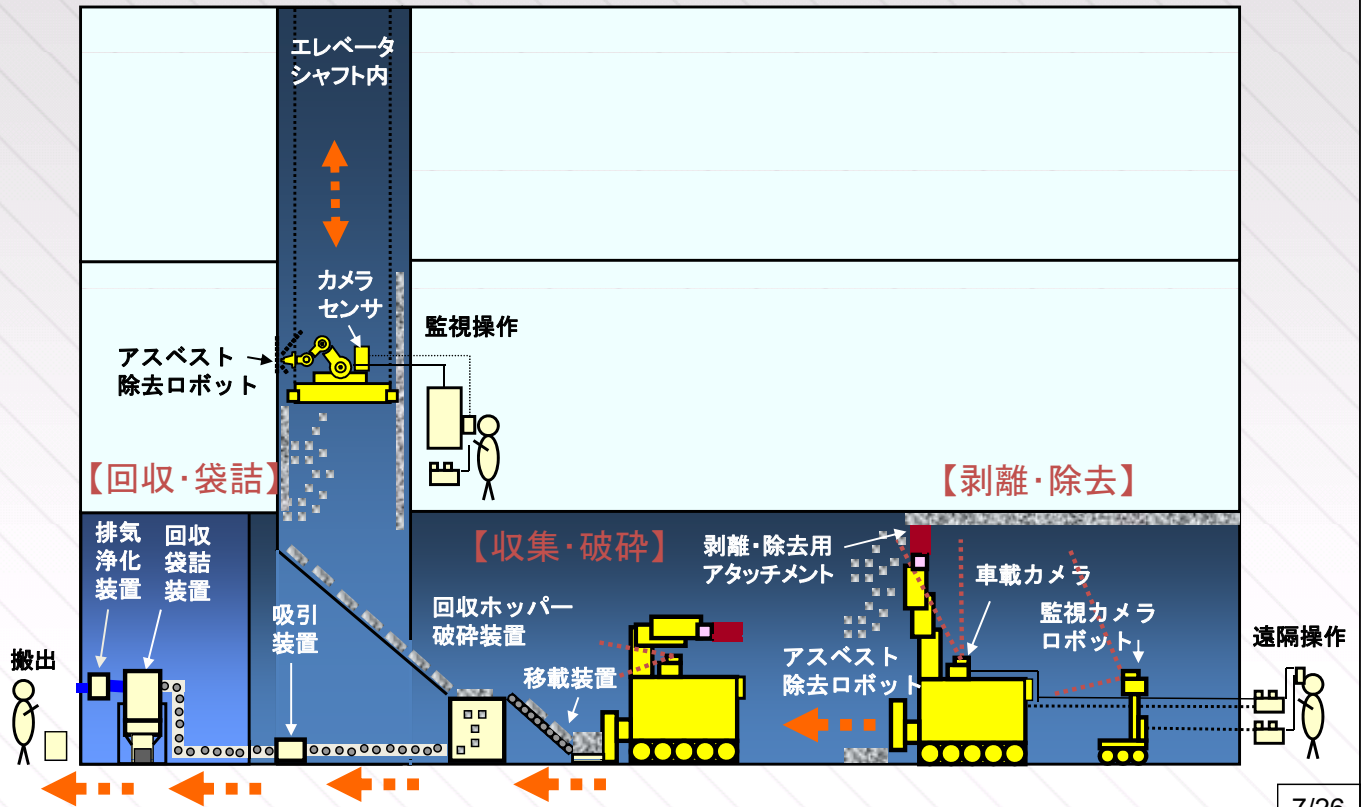
公開

研究開発目標	開発目標に対する達成度	最終目標に対する達成度
●湿式系吹付けアスベストの無人化 除去・回収工法の開発 ・アスベスト除去速度(手作業の5倍以上) ・回収機構の開発(移載装置) (破碎装置)(減容化:1/3以上)	○ ◎	●省人化 ○
●遠隔操作システムの開発 ・移動式カメラシステムの開発 ・グラスモニターシステムの開発 (遠隔操作の高度化)	○	●廃棄物減容化 ◎
●エレベータシャフト内アスベスト除去ロボットの開発 ・アスベスト除去速度(手作業の6倍以上)	△~○	●省コスト化 △ ~ ○
●実証実験・評価 ●現場検証・評価	○	●工期短縮 △ ~ ○

6/26

開発システムの基本構成

公開



事業原簿 Ⅲ-2-1-1

TAISEI CORPORATION

7/26

開発成果: アスベスト剥離・除去装置 アスベスト除去ロボット(フロア用)

公開

ロボットアーム先端部に装着した剥離装置によって、フロア大空間の壁・天井・柱・梁等に吹付けられたアスベストの剥離・除去を行います。落下したアスベストはブレードで掻き寄せて、所定の場所に集積します。ロボット制御は無線式監視カメラロボットを併用しながら、専用のコントローラで遠隔操作します。

●剥離方式



円筒形状

●剥離刃形状



剥離装置の最適化検討

粗取り・仕上げ一体型



剥離装置



剥離装置

監視カメラ

ロボットベースマシン (Brokk社製)

掻寄せブレード



遠隔操作

8/26

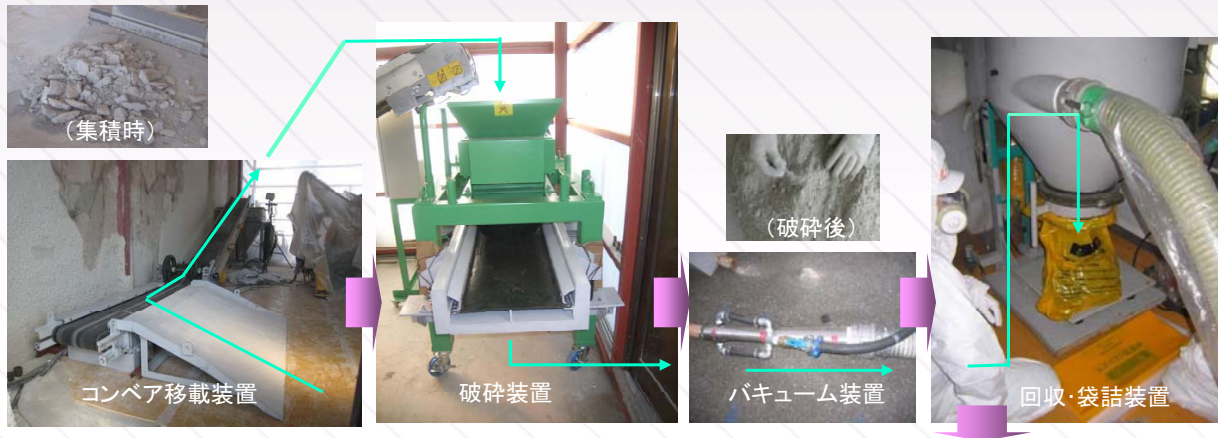
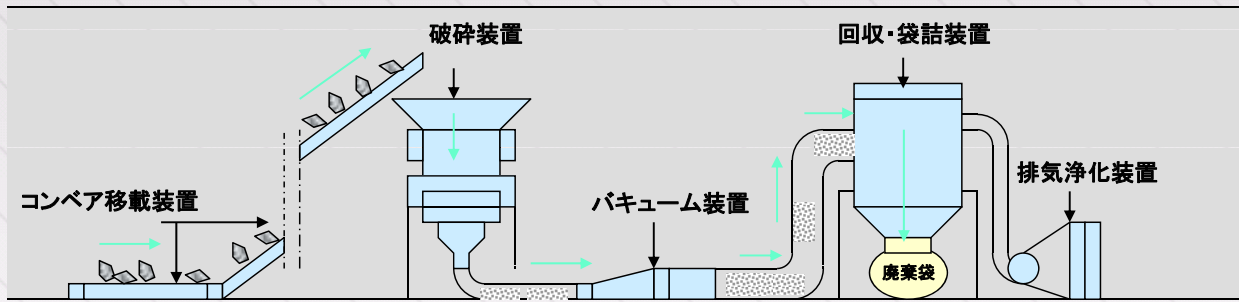
事業原簿 Ⅲ-2-1-1

TAISEI CORPORATION

開発成果: アスベスト回収機構

アスベスト回収システム

公開



9/26

事業原簿 Ⅲ-2-1-1

TAISEI CORPORATION

開発成果: 遠隔操作システム

公開

無線式監視カメラロボット(フロア用)



本体外観



グラスモニターシステム



解像度: 640 × 480
仮想サイズ: 62inch (2.7m)



没入型HMDの使用状況

10/26

事業原簿 Ⅲ-2-1-1

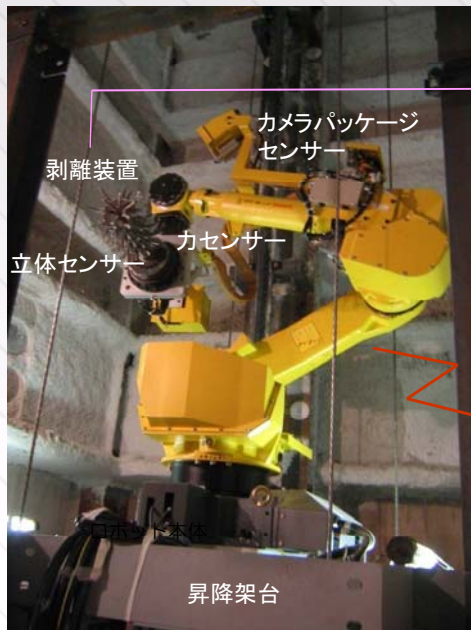
TAISEI CORPORATION

開発成果: エレベータシャフト内ロボット

アスベスト除去ロボット(ELVシャフト用)

公開

ロボットアーム先端部に装着した剥離装置によって、エレベータシャフト内の梁・壁・柱などに吹付けられたアスベストの除去を行います。除去したアスベストは最下階にて回収します。また、ロボット制御は、図面情報や現地調査結果をもとにして、予め動作プログラムを教え込ませ、自動運転により行ないます。



6軸多関節型の知能ロボットを採用
(FANUC社製)

知能ロボットに自己認識させて監視操作

11/26

事業原簿 Ⅲ-2-1-1

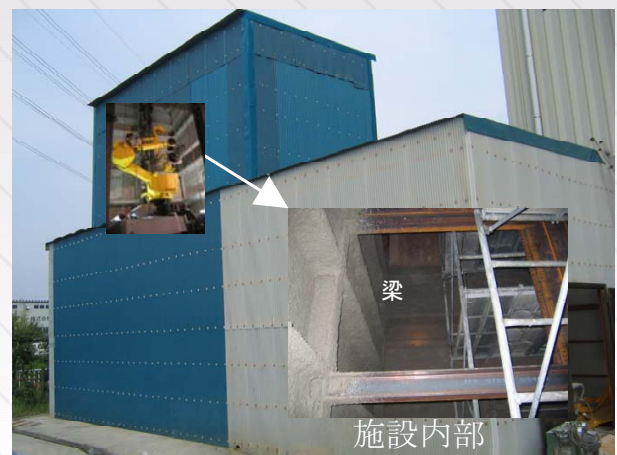
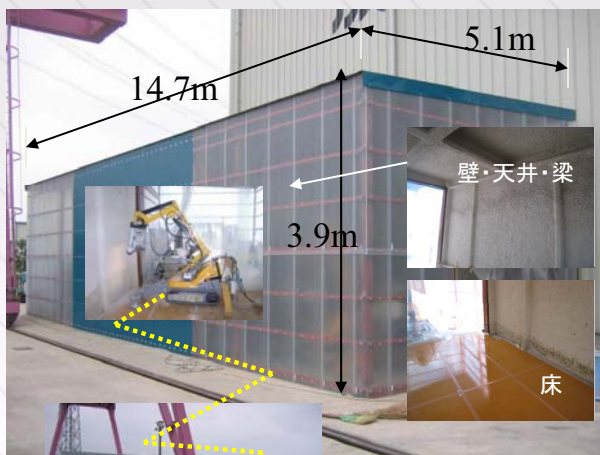
TAISEI CORPORATION

実証実験: 実証実験施設

公開

模擬フロア用

模擬エレベータシャフト用



アスベスト除去実験室



遠隔操作室

12/26

事業原簿 Ⅲ-2-1-1

TAISEI CORPORATION

実証実験：フロア用ロボットの除去性能

公開

【湿式系模擬吹付けアスベスト除去性能】

試行回数	除去面積 (縦×横) ^{*1}	所要時間	換算除去速度 ^{*2}	推定除去速度 ^{*3}
(回)	(m ²)	(秒)	(m ² /h)	(m ² /h)
1	0.25(0.5×0.5)	25	36.0	18.0
2	0.72(1.2×0.6)	75	34.6	17.3
3	0.60(1.5×0.4)	75	28.8	14.4
4	0.40(1.0×0.4)	40	36.0	18.0
	平均		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)を考慮した場合



* アスベスト除去速度: 約15m²/hを確保できることが判明(粗取り時)
(移動時間等を考慮した推定値)

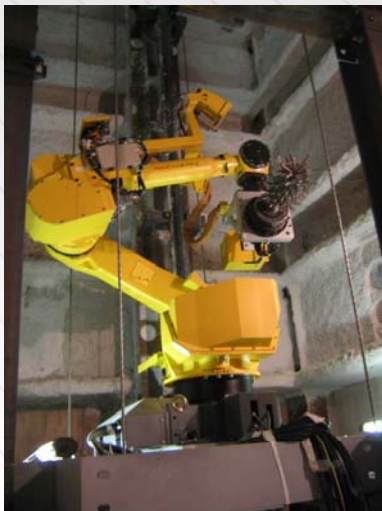
13/26

実証実験：エレベータ用ロボットの除去性能

公開

【湿式系模擬吹付けアスベスト除去性能】

動画



ワイヤ4本吊り時



模擬エレベータシャフト内(自動除去運転)

6.6m²/13min(厚20mm×3回 繰返し運転時)


* アスベスト除去速度: 約10m²/hを確保(粗取り時)

14/26

実証実験: アスベスト回収システムの減容化

公開

湿式系模擬吹付けアスベスト減容化率

試行回数 (回)	Before crushing	After crushing	Capacity rate 減容化率 (換算値)
	破碎前	破碎後	
	同一容器内での重量(g)	同一容器内での重量(g)	
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			

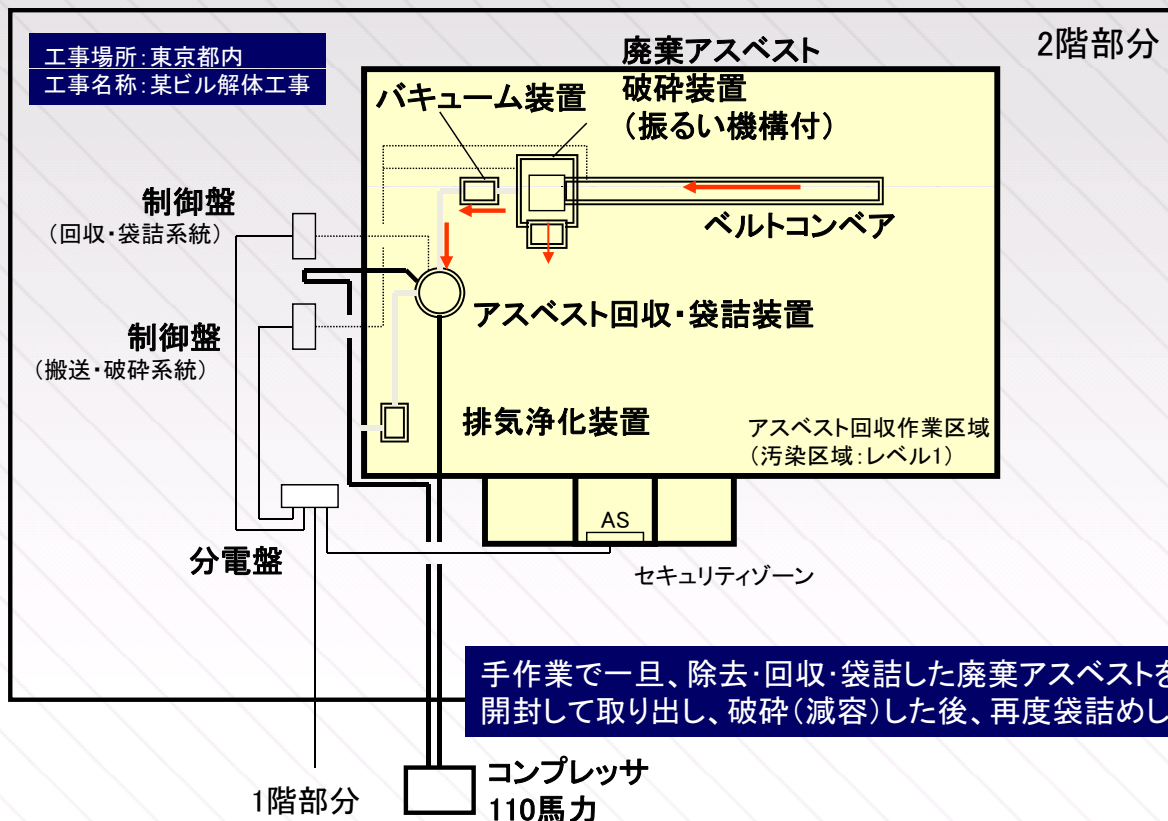
* 同一容器内での水重量(測定値): 6136g

* 除去したアスベストを約1/3に減容化できることを確認

15/26

現場検証: アスベスト回収システム-1

公開



16/26

現場検証: アスベスト回収システム-2

公開



破碎装置(ラス網裁断可能)

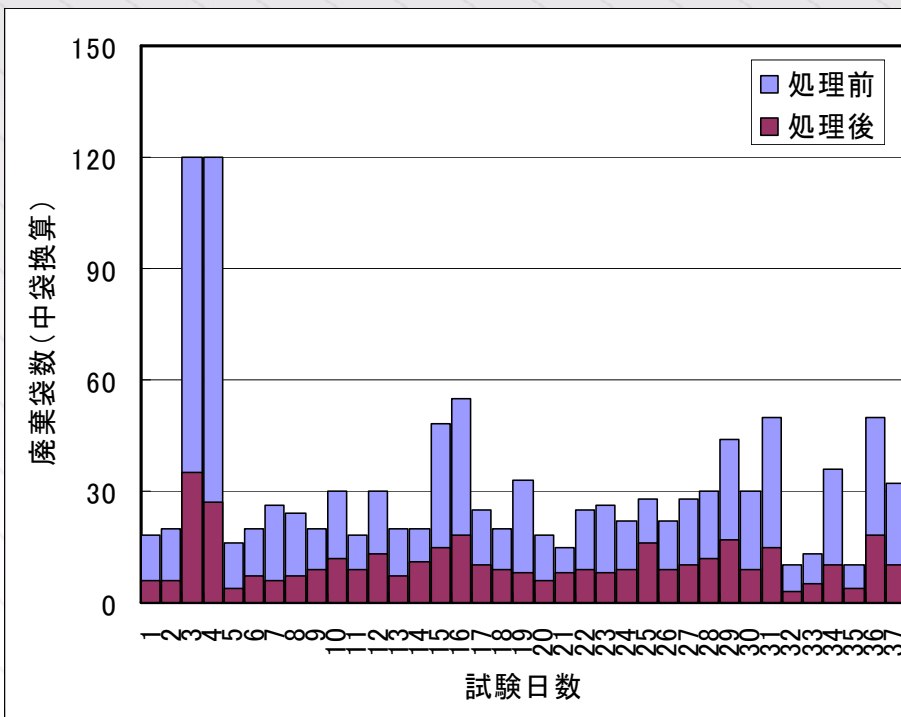
回収・袋詰装置

17/26

現場検証: アスベスト回収システム-3

公開

■現場実証試験結果(アスベスト廃棄物の減容化率)



ラス網廃棄物の場合
 ・処理前
 1172体(中袋換算)
 ↓
 ・処理後
 397体(中袋換算)
 *減容率 63.8%
 (約1/3の減容化を実証)



18/26

【フロア用アスベスト除去ロボットの開発】

- ロボットベースマシンは、**遠隔操作の標準装備**された、信頼性の高いロボットを採用
(原子力分野での解体実績を考慮)
- ロボットアーム先端部に、**粗取り／仕上げ一体型**の剥離装置を装備
- アスベスト除去速度は、**人力の約5倍**をクリア

【エレベータシャフト用アスベスト除去ロボットの開発】

- ロボットベースマシンは、高度な制御技術を駆使した**知能ロボット**を採用
(連続的・規則的な建物内シャフト形状を考慮)
- 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、**ロボットの自己認識制御により自動運転**でアスベストを除去
- アスベスト除去速度は、**人力の約5倍**まで達成

【アスベスト回収・減容システムの開発・実証】

- ラス網等の金属物も裁断可能な破砕装置を装備
- 実際のアスベスト廃棄物(ラス網等含む)を**約1／3に減容化**できることを現場検証。

19/26

開発成果の情報発信-1

【平成19～21年度集計】

- (1) 研究発表・講演
 - 学会・シンポジウム・セミナー・フォーラム発表 **11件**
- (2) 特許出願等
 - 特許出願 **2件**
- (3) その他特記事項
 - 新聞発表 **23件**
 - TVラジオメディア発表 **2件**
 - 論文投稿 **10件**
 - 雑誌・書籍投稿 **13件**
 - 展示会等 **3件**

【平成22年度(経過報告)】

- 第12回建設ロボットシンポジウム発表 (2010年9月7日)
- 日本建築学会大会学術講演会での論文発表 (2010年9月10日)
- アスベスト対策環境展'10 (2010年10月6-8日)
- 日刊工業新聞 掲載 (2010年10月11日)
- 雑誌「建設の施工と企画」8月号
- 雑誌「建築設備と配管工事」11月号
- 雑誌「ロボット」198号(2011年1月号)(予定)

20/26

開発成果の情報発信-2

公開

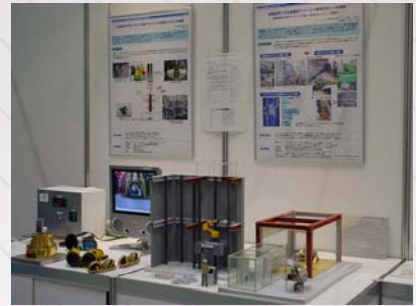
(平成21～22年度)



報道機関の見学



社内見学会(会議場)



展示会:09アスベスト展にて



社内見学会(実験場)



展示会:09エコプロダクツ展にて



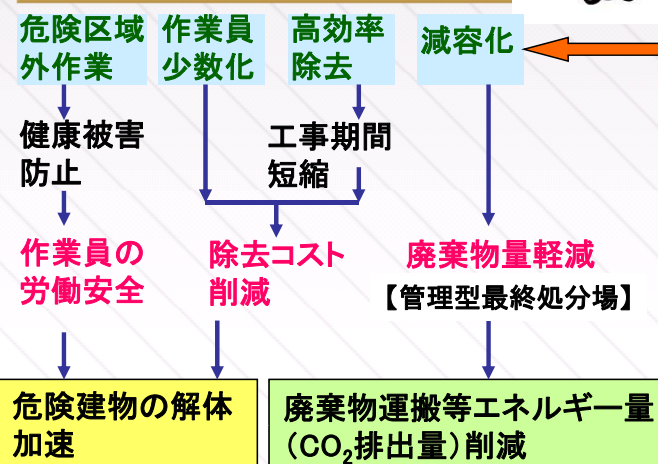
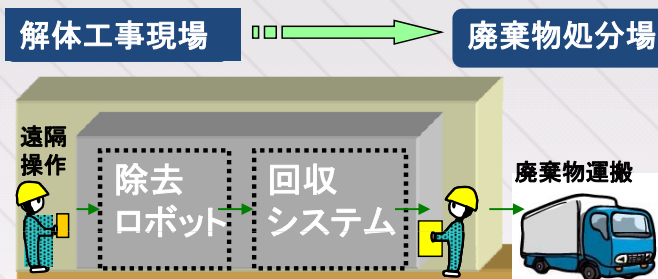
展示会:10アスベスト展にて

実用化・事業化の見通し-1

公開

開発技術の導入による波及効果

実施体制

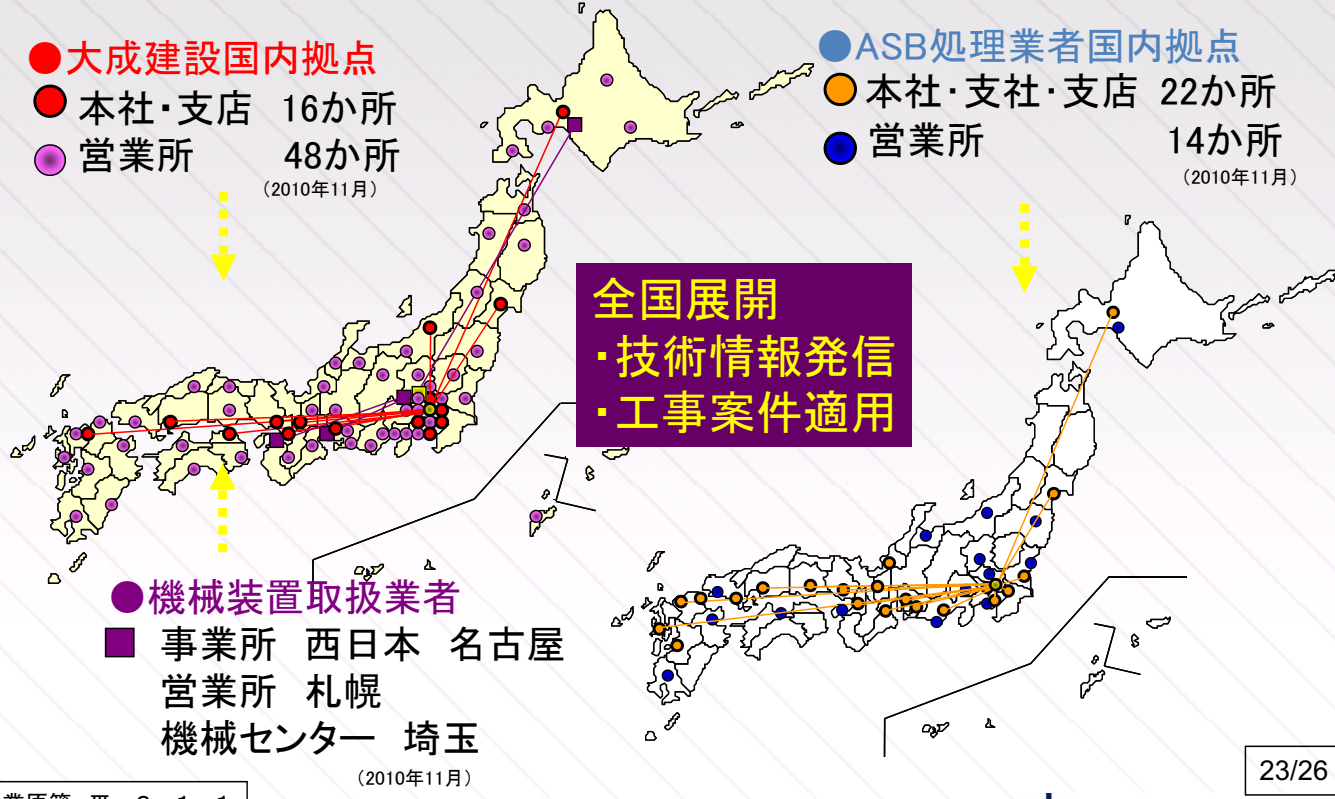


非アスベスト化システムとの融合(検討中)

実用化・事業化の見通し-2

公開

●実用化展開に向けた技術情報の発信

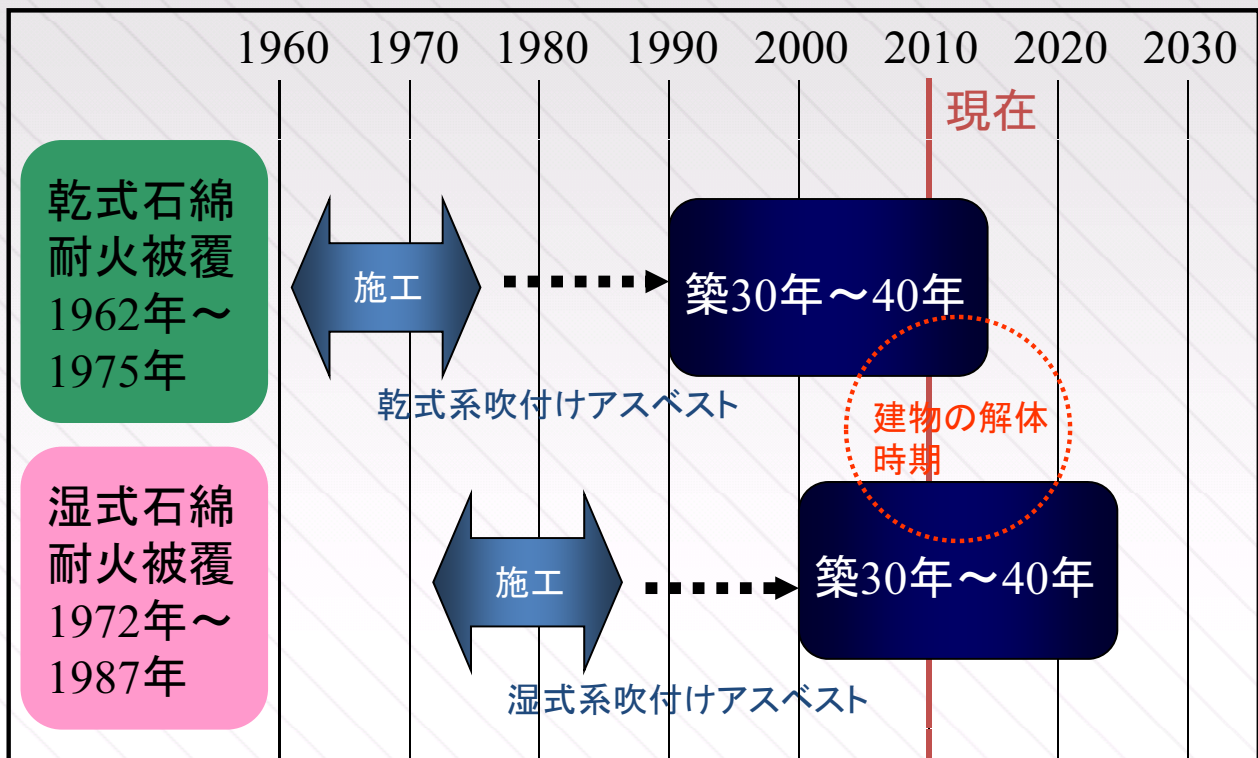


23/26

実用化・事業化の見通し-3

公開

アスベスト施工時期と建物解体時期の見通し



24/26

実用化スケジュール(予定)

	平成22年度	平成23年度	平成24年度
フロア用 アスベスト除去 ロボット	 NEDO継続研究 現場実証・性能改善	 NEDO継続研究 現場実証・性能改善	 NEDO継続研究 現場実証・性能改善
エレベータ シャフト用 アスベスト除去 ロボット			拡大展開検討
アスベスト 回収・減容 システム			拡大展開検討

25/26

おわりに

平成22～23年度にかけて、現場での実証試験、機械装置類の性能改善、並びにビジネスモデルの具現化に取り組み、その後、ロボット除去・回収工法の本格的な実用化を目指してまいります。

NEDO継続研究 実施中
(2010年6月～2012年3月)

ご清聴有難うございました。

26/26

「アスベスト含有建材等安全回収・処理等
技術開発プロジェクト」
(事後評価)第1回分科会
資料7-2

「高性能アスベスト剥離・回収・梱包 クローズ型処理ロボットの開発」

(株)竹中工務店
2010年12月9日

平成19～21年度 アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発

1) 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

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 18 ～21年度	大成建設
高性能アスベスト剥離・回収・梱包 クローズ型処理ロボットの開発	平成 18 ～20年度	竹中工務店

2) 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 18 ～21年度	北陸電力
低温過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	戸田建設・大旺新洋
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	ケイミュー
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

※18年度は、緊急アスベスト削減実用化基盤技術開発として実施。

■ ロボット開発の目的



【現状】

- 密閉した作業場内で防護服を着けた過酷で危険を伴う作業
- アスベスト粉塵飛散のリスク

【ロボット化の目的】

- 省人化、危険作業の削減
- 粉塵飛散がない高い安全性
- コストダウン、工期短縮
- アスベスト廃棄物の減容化
- リニューアル工事への適用



求められている3つのニーズ

① 安全・安心

- 劣悪な環境下での人手による作業の低減
- アスベストの飛散防止による作業環境の改善および周辺環境へのリスク低減

② ローコスト・短工期

- 事業として成立するために従来手法と同等以下のコストと工期

③ リニューアル工事への対応

- 新築工事の減少、リニューアル工事の増加という市場変化への対応

実現のための要求性能

要求性能	作業項目
複雑な形状にも対応	① 剥離
狭い場所でも作業できる	
高い作業効率	
構造物へ損傷を与えない	
十分な作業範囲	② 回収・梱包
粉塵の発生が少ない	
人手に頼らない	
粉塵の発生が少ない	③ 操作
後処理が容易	
簡単に操作できる	
操作の手間が少ない	④ 準備・片付け
遠隔操作	
搬入・搬出が容易	
清掃が容易	

システムの要求性能と開発方針

ロボット

高い自由度
障害物回避
高速な動作
長時間連続
正確な動作

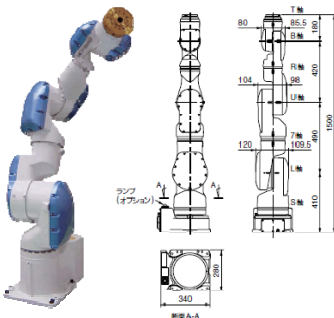
要求性能

複雑な形状にも対応
狭い場所でも作業できる
高い作業効率
構造物へ損傷を与えない
十分な作業範囲
粉塵の発生が少ない

剥離工具

小型の剥離刃物
剥離回数の低減
工具交換無しで作業
下地への食い込みが無い

7自由度の工業用ロボットの活用



回収装置

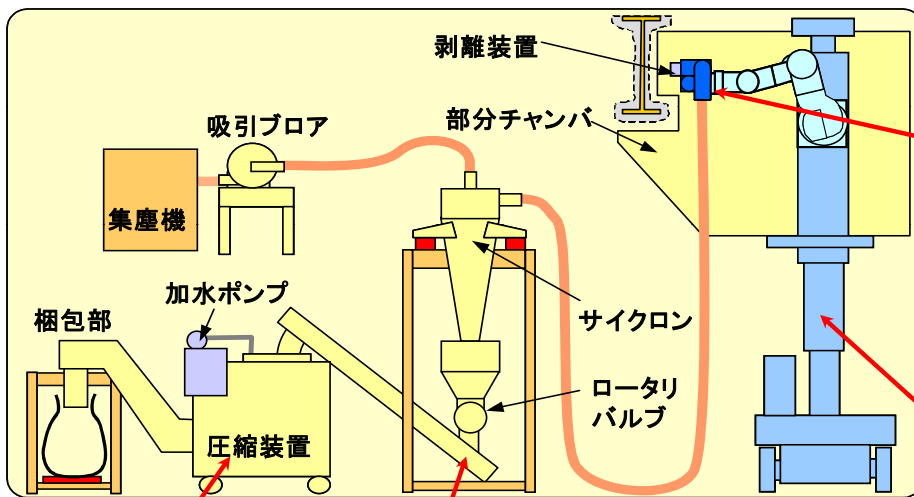
評価項目	回収方法	
	掻き落とし	切削吸引
飛散	×	○
安全性	×	○
作業効率	×	○
評価	×	○

切削+吸引+空気搬送によるクローズシステム

評価項目	回転ブラシ		回転刃	スクレーパ
	縦	横		
効率	○	○	○	△
仕上げ	○	○	△	×
吸引	○	△	△	×
飛散	△	△	△	○
乗り越え	○	×	×	×
食い込み	○	○	×	○
評価	○	△	×	×

縦回転のブラシによる切削・剥離・粉砕

全体システム構成



回転ブラシ型剥離装置



7軸マニピュレータ

自走式昇降台車



圧縮装置



回収装置



制御装置

剥離ロボット

■ 目標値と達成状況

目標値	達成レベル	達成度	適用技術
作業効率：人手作業の 4倍	・梁部 4.5m ² /h 人手の 4.5倍 (天井部 18m ² /h)	◎	・7軸マニピュレータ ・力制御 ・遠隔自動制御
ロボットによる剥離残し： 対象面積の 5%以下	・手動操作の付加で 剥離残し面積 5%	◎	・回転ワイヤブラシ ・フレキシブルシャフト 駆動
飛散防止： ファイバ数 0.1本/cm³以下	・ミスト噴霧併用で 0.08本/cm³	◎	・空気吸引・圧送・梱包 ・サイクロン分離装置
廃棄アスベストの減容化： 体積比 1/3以下	・圧縮装置により 体積比 1/3.1 (剥離粉碎により1/1.9)	◎	・回転ブラシによる粉碎 ・1軸圧縮による減容化

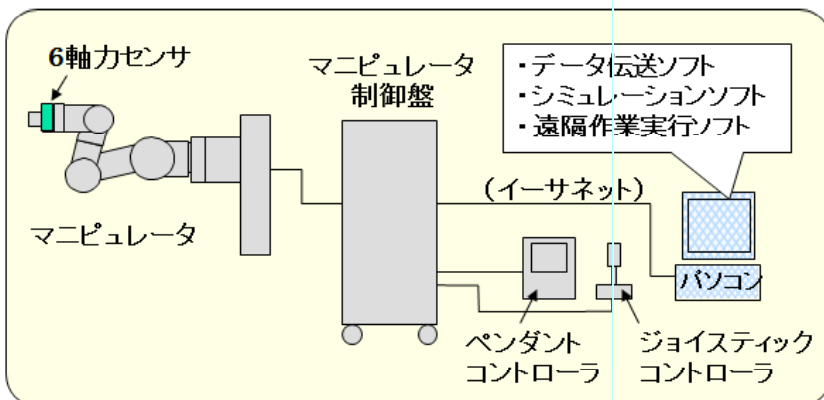
達成度(◎:達成、○:概ね達成、△:課題あるも1年内に達成見込み、×:問題あり)

■ 7軸多関節マニピュレータの適用

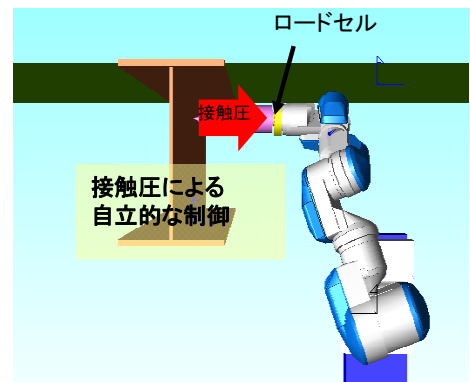
- 堅牢で信頼性の高い産業用ロボット
- 狭い場所で複雑な剥離作業が可能
- 力制御による移動位置誤差の吸収、スムーズな剥離

マニピュレータ仕様

項目	仕様
構造	7自由度多関節型
可搬質量	20kg
稼働半径	約1m



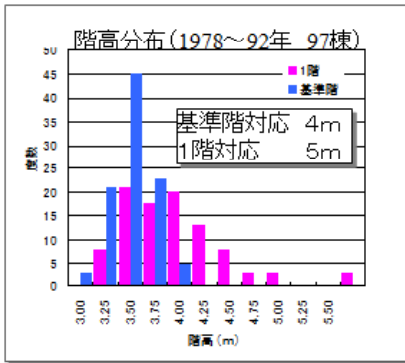
マニピュレータ制御システム概要



力制御の概要

■昇降台車

十分な作業範囲



搬入、搬出が容易

EVでの搬入が可能

15人乗り
積載荷重 1,000kg
内寸 1,600×1,500
入り口 幅: 900 高さ: 2,100



走行用カメラ
主な仕様

項目	仕様
幅	770mm
長さ	1830mm
作業高さ	5500mm
質量	820mm
走行速度	高速 0.8km/h 低速 0.6km/h
固定方法	天井に固定版を押付け

■ロボット操作に対する要求性能と開発方針

要求性能

- 簡単に操作できる
- 操作の手間が少ない
- 遠隔操作

手動遠隔操作の問題点

- オペレータの技術に依存
- 2次元情報を用いるために効率が低下

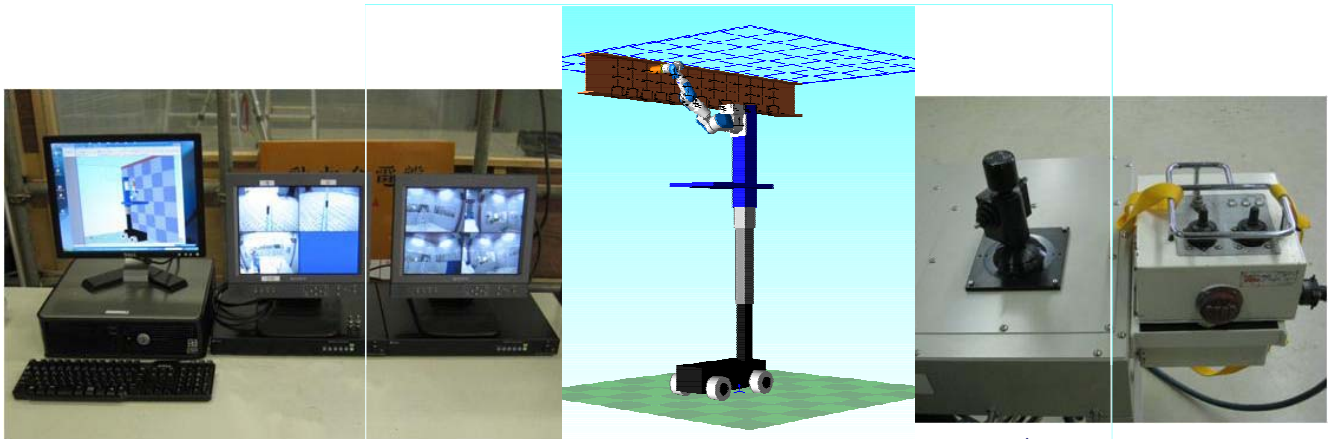
ロボットの特性を生かした自動化システムの開発

自動化システムの特徴

操作形式	特徴	操作方法			操作性	
		動作指示	指示内容	位置確認	難易度	疲労度
<p>手動遠隔操作システム</p>	<ul style="list-style-type: none"> 目視またはカメラ画像を見ながら操作を行う オペレータの能力に依存 カメラシステムへの負荷が大きく、効率の低下が懸念される 	ジョイスティックによる直接操作	個々の動作を指示	直接目視またはカメラ映像による2次元画像	十分な習熟が必要	すべての動作を操作するため疲労も大きい
<p>自動化操作システム</p>	<ul style="list-style-type: none"> 動作を事前にプログラミングすることで自動化が可能 簡単に操作できる PC上で自由に視点を変えて干渉および動作の確認が可能 	PCを用いた操作	一連のプログラムされた動作	PC上の3次元データ上で確認	基本操作の習得のみで操作可能	動作中は操作の必要が無いため、疲労は少ない

■ ロボット操作装置

- パソコンによるオフラインティーチングおよび自動剥離
- バーチャル画像確認によるロボット動作の確認
- カメラ画像による剥離動作監視および台車の遠隔操作
- 6軸ジョイスティックとカメラ画像による手動操作



パソコンモニタおよび監視カメラ画像

ジョイスティック
および台車操作盤

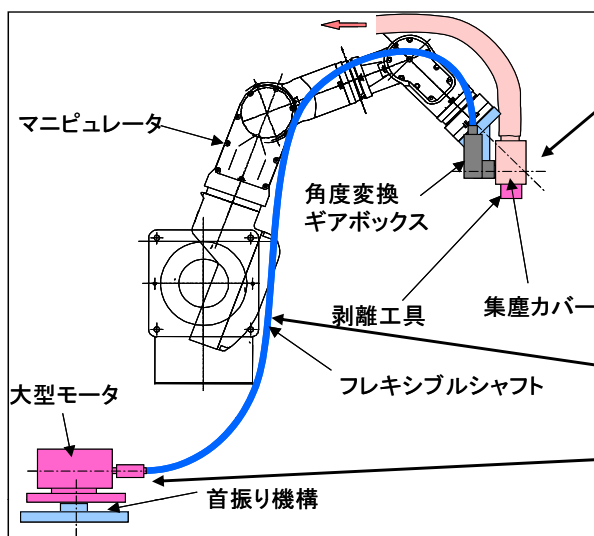
■ 剥離装置の開発

- ① 粉塵飛散のないこと
- ② 高速剥離が可能なこと
- ③ 工具交換無しに仕上げまで可能なこと
- ④ 鉄骨下地への食い込み損傷がないこと
- ⑤ 小さな不陸を乗り越えられること



種々の工具を試作検討

縦回転ワイヤブラシ
および集塵カバー



ワイヤホイール: 径125、幅50mm
各種の実験検討を経て独自の仕様を設定したワイヤブラシを製作。

- ・ 狭小な場所でも、小回りが効く形状寸法
- ・ 粗剥離から仕上げまで可能
- ・ 下地(鉄骨)への損傷が無い
- ・ 高速回転に耐える事 5000rpm～

フレキシブルシャフトを用いることで高速の大型・高速モーターの搭載を可能とした

大型・高速の駆動モータ

■ 回収・梱包装置の開発

要求性能

- ・人手に頼らない
- ・粉塵の発生が少ない
- ・後処理が容易

必要な技術

- ・計量、コンパクトな装置
- ・クローズなシステムで連続的に分離が可能
- ・計量機能、加水機能

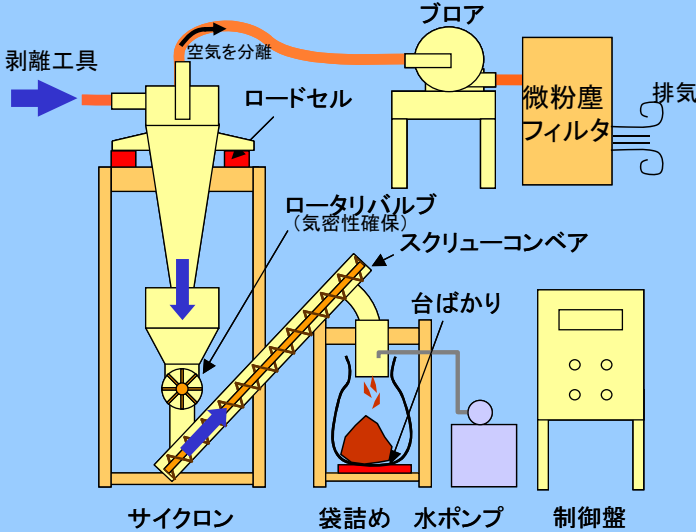
採用技術

空気吸引・圧送
サイクロン分離方式

【特長】

- ・サイクロンで98%分離回収
- ・粉塵飛散がない
- ・剥離作業と同時に袋詰め

システムを全て隔離領域内に設置



回収・梱包装置

■ 圧縮装置による減容化と処分方法



紛体状の剥離物
従来比体積1/1.9



従来(ブロック状)



体積比
2/3



圧縮固化物

従来比体積1/3.1

➤ 様々な処分方法に最適化

乾燥状態で袋詰め(2重袋)

加熱等の無害化処理工場

加水して袋詰め(2重袋)

埋め立て処分
- 限られた受入先

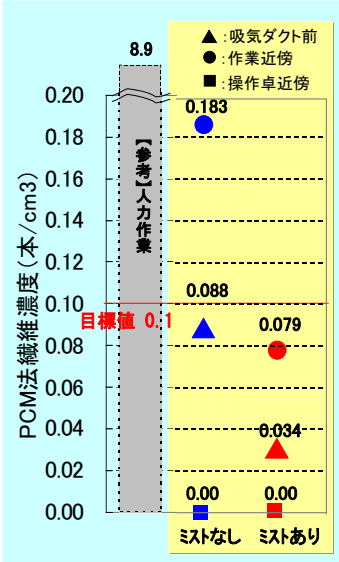
セメント固化袋詰め(2重袋)

埋め立て処分
- 東京都等でも受入可能

■実大モックアップ剥離実験

【実験結果】

- ・遠隔ティーチングプログラムによりスムーズに剥離できた
- ・剥離速度 100mm/sec (吹付厚20~25mm)
- ・繊維濃度 0.08本/cm³ (ミスト噴霧併用時)



* 圧縮装置は別途実験



天井部 (t20~25mm) 剥離実験



梁部 (t40~50mm) 剥離実験



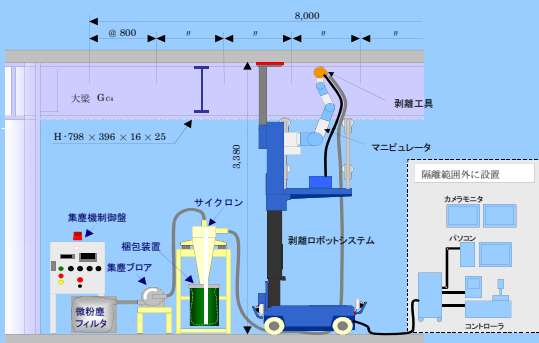
剥離後の状況

環境測定結果

(部分チャンバは省略)

■実現場における実証実験

- ・S造25階建てビル解体工事
- ・吹付け厚さ: 50mm



【ビデオ】

剥離ロボット



制御室



回収梱包装置



回収状況



ウェブ剥離



剥離後の状況



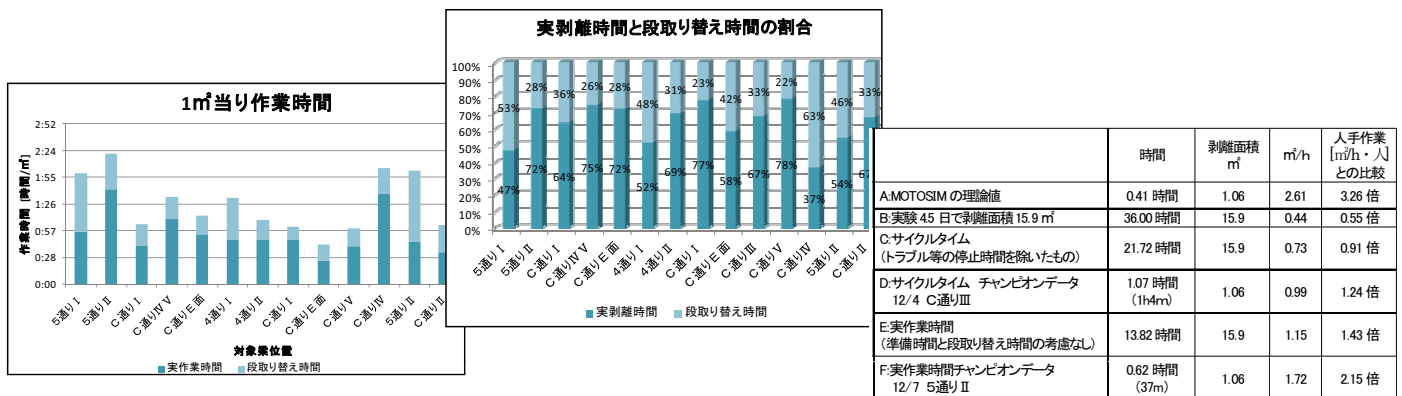
鉄骨全体概要

■ 実現場における実証実験結果

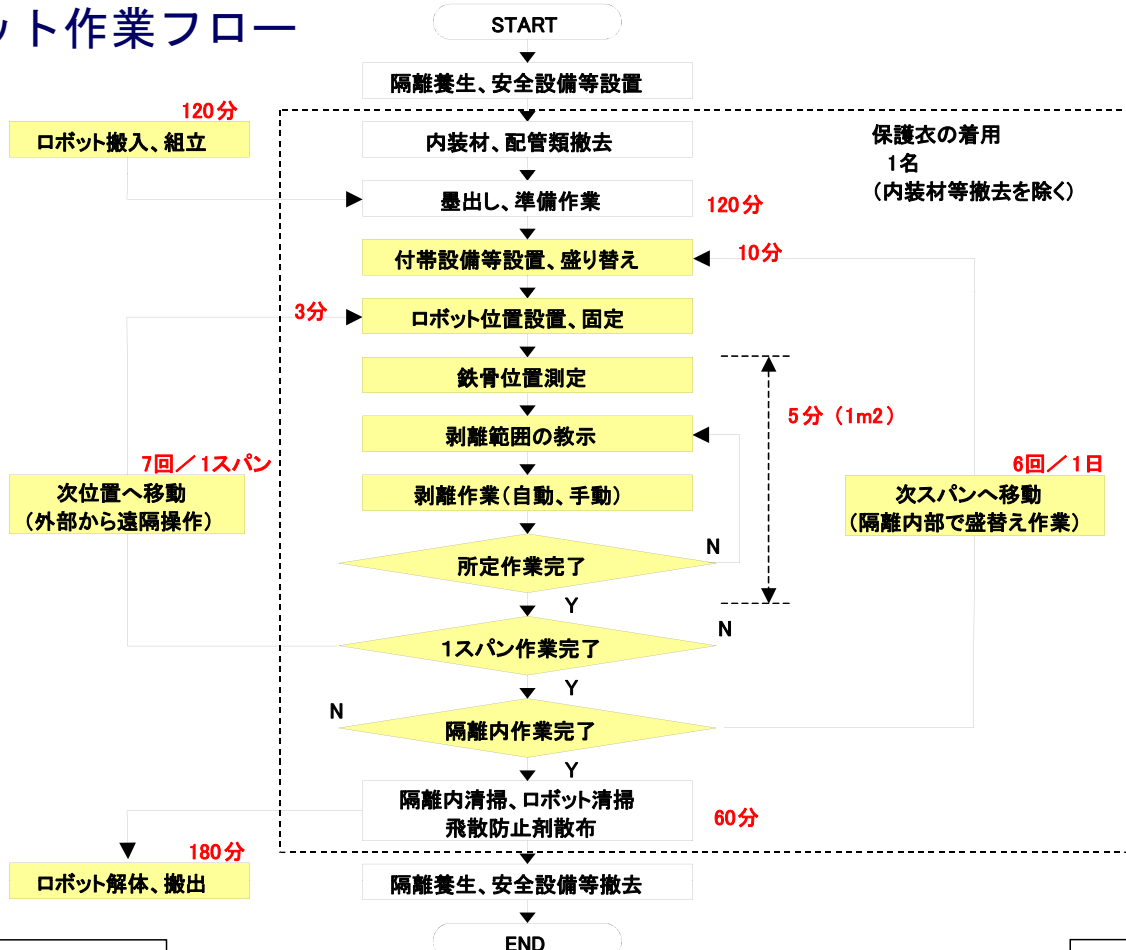
押付力不足や部品の破損等のいくつかのトラブルが発生したが、その都度対処することで大きな問題や粉塵等を生じることなく、ほぼ予定通り実施できた

- ・ 剥離効率: サイクルタイム最大で人手の1.24倍 (0.99m³/h)
- ・ 作業時間内訳: 実剥離時間66%、移動等34%
- ・ 実剥離効率: 2.38m²/h (ほぼ計画通り)
- ・ 剥離速度の向上、剥離手順、作業プログラム改良による効率向上が可能

【実験結果の分析】

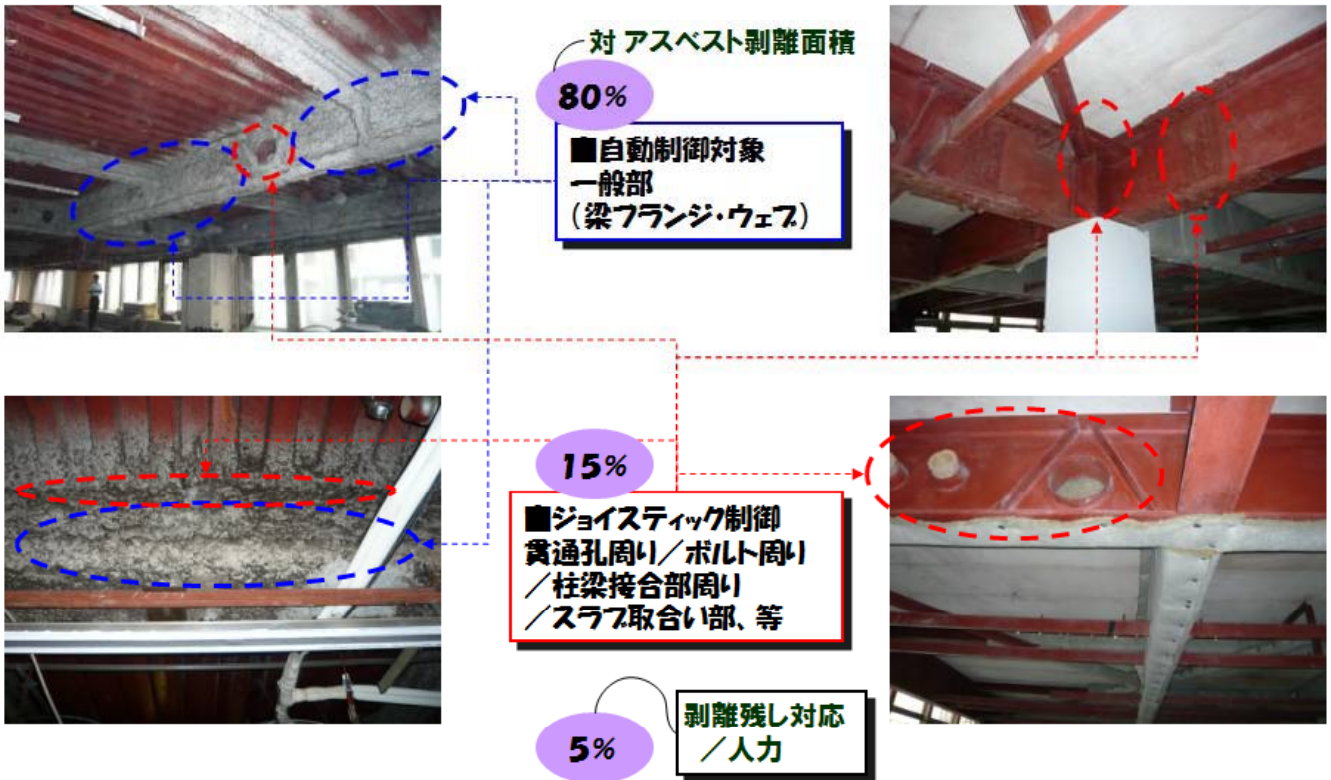


■ ロボット作業フロー



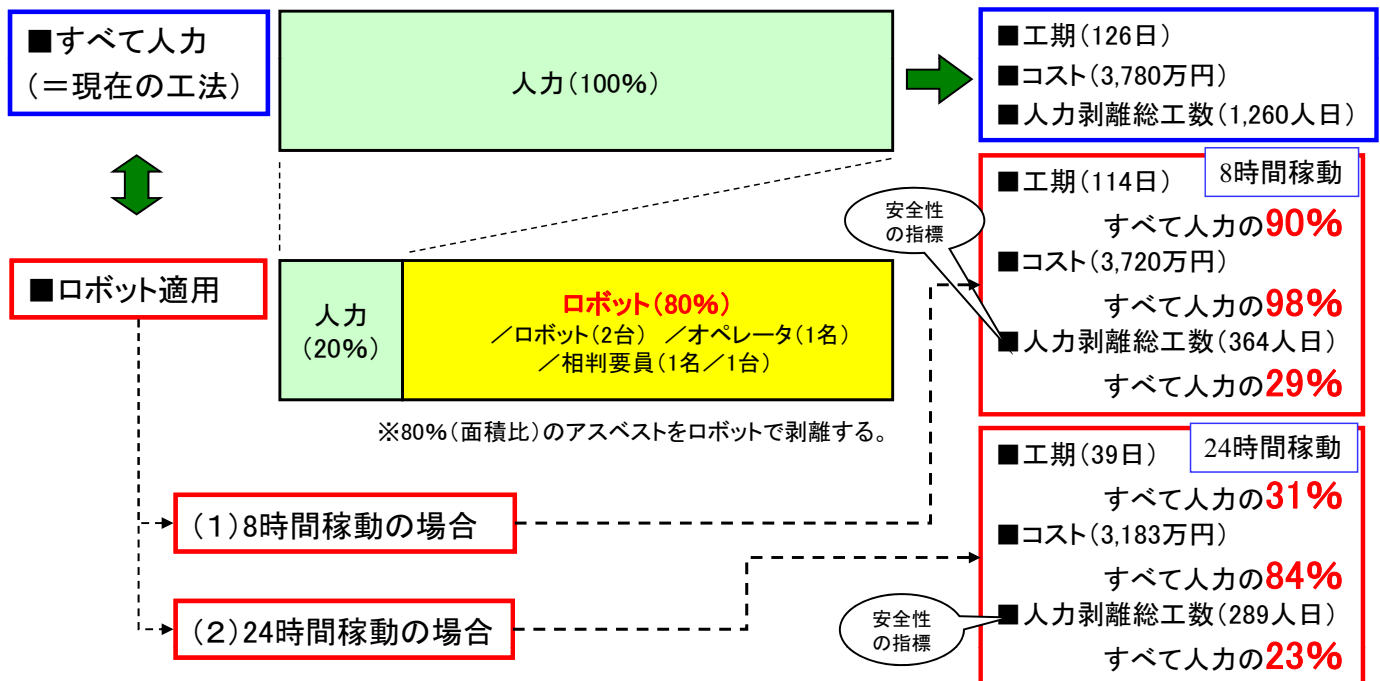
剥離対象部位

ロボットシステムの剥離対象 → 鉄骨梁の吹付けアスベスト



ロボットの適用によるパフォーマンス向上 (試算結果)

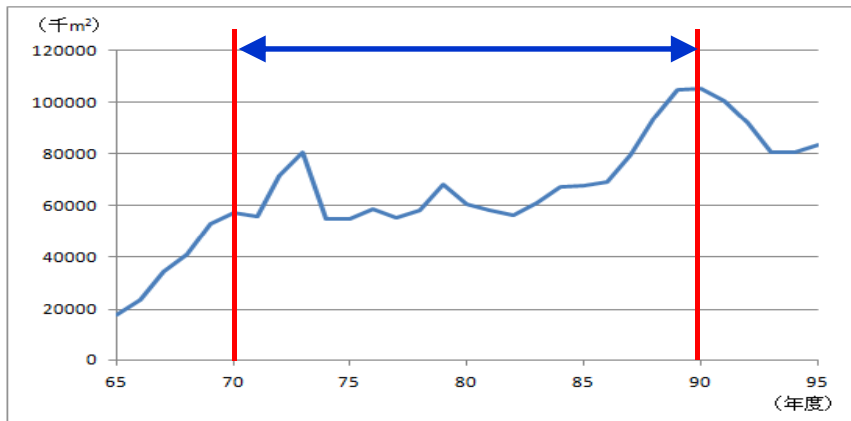
■モデル現場の設定 延べ床 約15,000㎡ 階数/階高 地上6階 アスベスト被覆面積 約12,600㎡(鉄骨梁)	■剥離効率の設定 人力: 10㎡/人・日 ロボット(通常): 45㎡/台・日 ロボット(24時間稼働): 135㎡/台・日	■単価の設定 人件費(昼間): 3万円/人・日 人件費(夜間): 6万円/人・日 ロボット(通常): 10万円/台・日 ロボット(24時間): 25万円/台・日
---	---	---



■アスベスト除去工事の需要予測

- ・2010年頃からアスベスト除去工事が増加
- ・対象となる除去工事: **平均70万m²/年**が20年程度続く
- ・市場規模: $70\text{万m}^2 \times 1.25^* \times 2\text{万円/m}^2 = \mathbf{175\text{億円/年}}$

* 耐火被覆施工面積換算係数



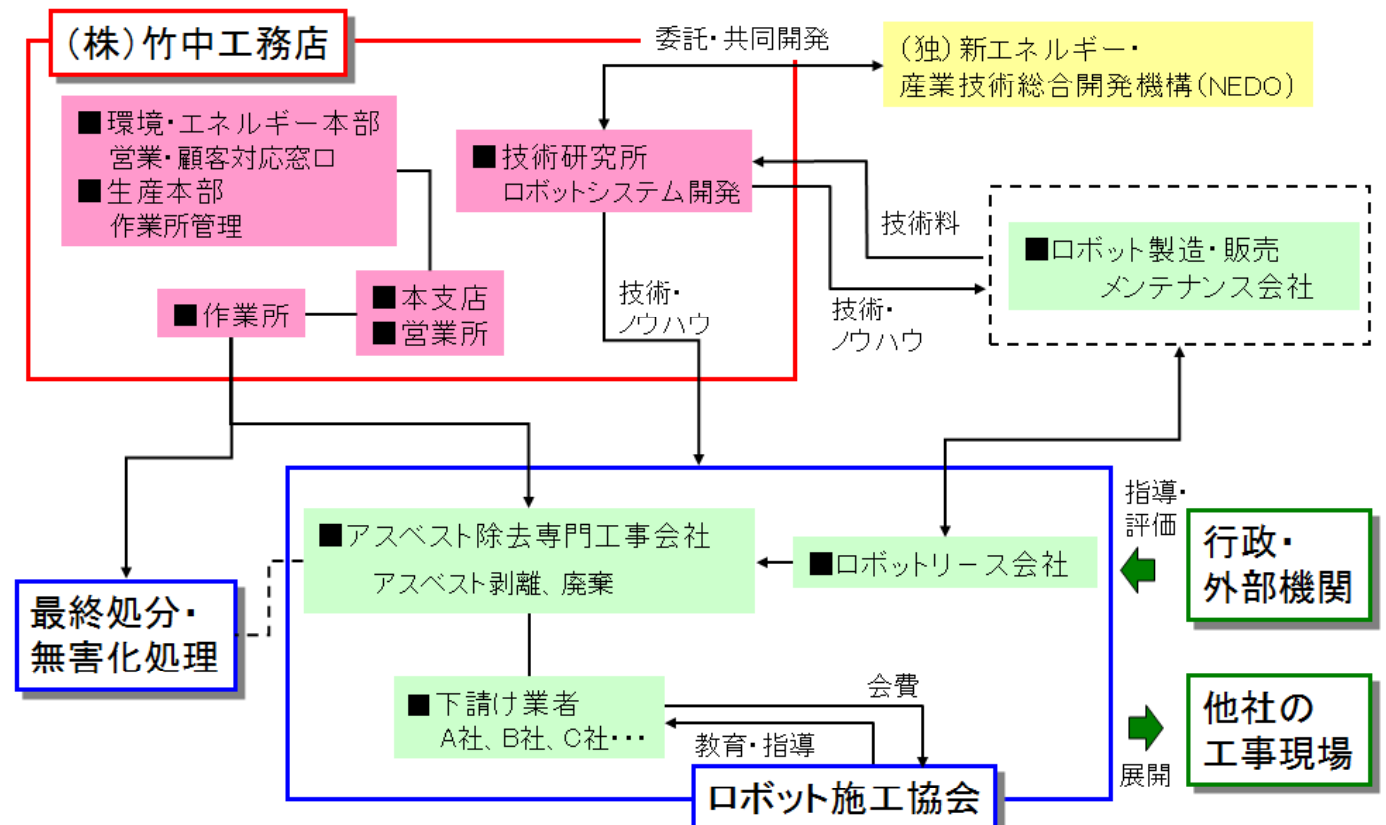
鉄骨造建物着工延床面積

1970～1990
鉄骨着工延床面積
7,000万m²/年

【推定】

- ・アスベスト使用率 **30%**
- ・建物の **1/3** が現存
- ・対象となる中高層 **10%**

■事業化体制の推進(案)



■まとめと今後の展開

- 7自由度マニピュレータを利用したロボットシステムを開発
- マニピュレータ力制御、オフラインティーチング等の有効性を確認
- アスベスト除去物の体積比1/2～1/3 の減容化を実現
- 実現場における剥離作業の可能性を確認、手順、仕様を把握
- 作業フローの確立、作業マニュアル整備等を実施中
- 現状では景気低迷の影響もあり需要増加が予測より少ない
- 今後はアスベスト除去ニーズに即して早期に展開を図る
 - 事業体制案に沿って関連各社と個別検討を実施中
 - 当面は自社工事へ適用、工事量の増加に従い事業展開を推進
 - 適用促進のためのコストダウン検討、試験施工等を実施の予定

■成果の普及

項目	内容
特許	<ul style="list-style-type: none"> ・ 吹付け耐火被覆のクローズ型剥離処理システムおよび剥離処理工法 ・ クローズ型除去処理システムの除去装置
プレス発表	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日経新聞（2008年11月29日） ・ 建設工業新聞、建設通信新聞、建設産業新聞（2008年12月2日） ・ 日刊工業新聞（2008年12月2日、2010年10月11日）
シンポジウム等発表	<ul style="list-style-type: none"> ・ 建設ロボットフォーラム（2007年） ・ 建築施工ロボットシンポジウム（2008年） ・ 建設ロボットシンポジウム（2008年、2010年）
雑誌投稿	<ul style="list-style-type: none"> ・ 資源環境対策（2008年11月号） ・ 建築技術（2009年2月号） ・ 建築設備と配管工事（2010年11月号）
受賞	<ul style="list-style-type: none"> ・ 第11回建設ロボットシンポジウム 優秀論文賞（2008） ・ 日本建設機械化協会奨励賞（2009）

オンサイト式・移動式 アスベスト無害化・資源化装置の開発



平成22年12月9日
北陸電力株式会社

公開

平成19～21年度 アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発

1) 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		
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 18 ～21年度	大成建設
高性能アスベスト剥離・回収・梱包 クローズ型処理ロボットの開発	平成 18 ～20年度	竹中工務店
2) 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 18 ～21年度	北陸電力
低温過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	戸田建設・大旺新洋
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	ケイミュー
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

※18年度は、緊急アスベスト削減実用化基盤技術開発として実施。

背景・経緯

火力・原子力発電所の定期検査などで解体・除去される石綿含有保温材は、電力大だけで20～30万m³で全て埋立処分されている現状。
将来、処理費の高騰、受入忌避に伴いアスベスト廃棄物が不適正処理される懸念があり、無害化処理技術の早期開発が喫緊の課題。



平成18年10月に、高度な技術を用いてアスベストを無害化処理するものを環境大臣が直接認定する制度が施行。



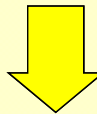
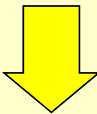
石炭灰溶融技術の研究実績をもとに、融点を降下させるアルカリ融剤を併用し、誘導加熱溶融炉でアスベスト含有保温材を溶融・無害化するトレーラ搭載型の処理システムを平成18年3月に提案。



平成18年度に（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託を受けプロジェクトに着手し、21年度に開発を終了。

研究開発のコンセプト

- アスベストの埋立処分および収集運搬に伴う環境リスクの低減（次世代に先送りしない）
- 無害化処理施設建設に対する住民の不安解消
- 省エネルギー・省CO₂となる溶融・無害化処理



解体現場ですぐ無害化する
オンサイト処理

アルカリ融剤を併用する
低温溶融技術

研究開発実施体制

NEDO

プロジェクトリーダー
北陸電力(株)常務執行役員 綿貫 摂

【委託】

北陸電力

平成18年度

「緊急アスベスト削減実用化基盤技術開発」受託

【再委託先】

e-Front runners
富士電機サーモシステムズ株式会社

東北大学
TOHOKU UNIVERSITY

平成19～21年度

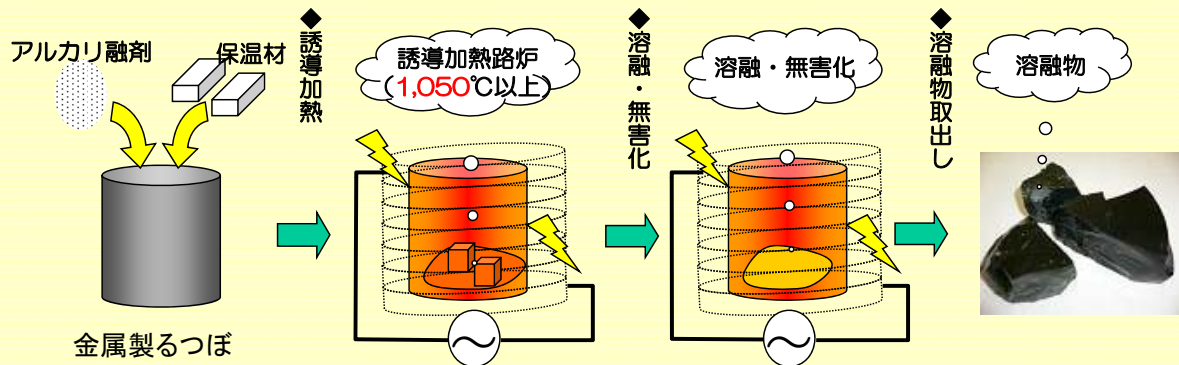
「アスベスト含有建材等安全回収処理等技術開発」受託

【再委託先】

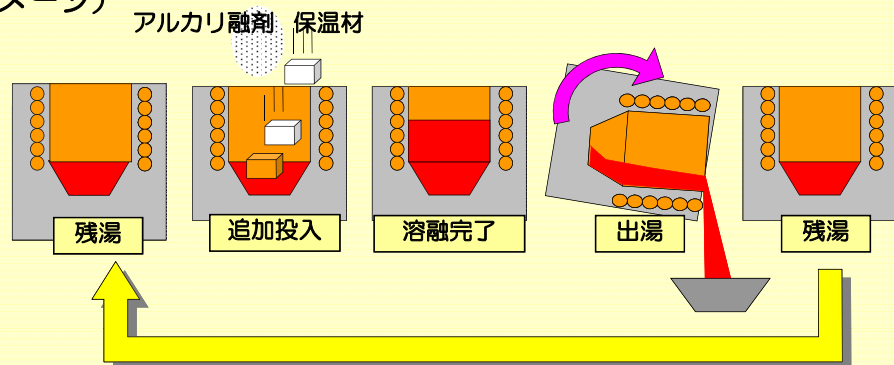
e-Front runners
富士電機サーモシステムズ株式会社

処理技術の概要

(無害化処理のイメージ)



(バッチ式処理のイメージ)



研究開発内容

公開

開発テーマ

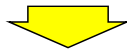
処理対象：アスベスト含有保温材

オンサイト式アスベスト溶融・無害化処理システムの開発

【STEP 1】誘導加熱溶融炉の開発

平成18年度

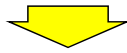
溶融・無害化処理システムのコア技術となる**実用規模の150kW級誘導加熱溶融炉**の開発



【STEP 2】処理システムの開発

平成19年度

処理効率、エネルギー効率向上と飛散抑制を目指した**アスベスト溶融・無害化処理システム**の開発



【STEP 3】オンサイト式処理システムの開発

平成20年度～21年度

システムをトレーラに搭載した**オンサイト式アスベスト溶融・無害化処理システムと緊急時対応システム**の開発

【STEP1】150kW誘導加熱溶融炉の開発 ①

公開

主な開発目標

アスベスト溶融無害化
温度：1100℃以下

トレーラ搭載可能な
誘導加熱溶融炉の開発

実用機での実証試験
省エネ率：20～30%

スケールアップ試験の実施

北陸電力

最適溶融条件の見極め
(分析用試験装置：3kW)



東北大学
TOHOKU UNIVERSITY

溶融加熱方式の決定等
(予備試験装置：20kW)



e-Front runners

スケールアップ用のデータ採取
(実用前試験装置：60kW)



【STEP1】 150kW誘導加熱溶融炉の開発 ②

成果

アルカリ融剤の併用により、**1050℃**でアスベスト溶融無害化が可能



省エネ率25%
(1500℃溶融との比較)

3段階にスケールアップして試験を行い、**150kW誘導加熱溶融炉を開発**

JIS法（分散染色法及びX線回折法）により**アスベストの無害化を確認**



150kW誘導加熱溶融炉

【STEP2】 アスベスト溶融・無害化処理システムの開発 ①

主な開発目標

処理能力
208kg/時（5t/日）以上

アスベストの飛散抑制
周辺アスベスト濃度：10本/ℓ以下

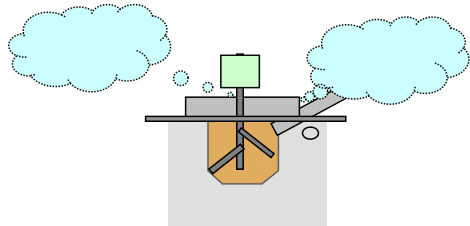
開発にあたり苦労した点

不具合発生への対応



ダクト閉塞状況

粉体材料による誘導加熱溶融炉集塵用ダクトの閉塞



蒸気噴出

高含水保温材による誘導加熱溶融炉からの蒸気噴出

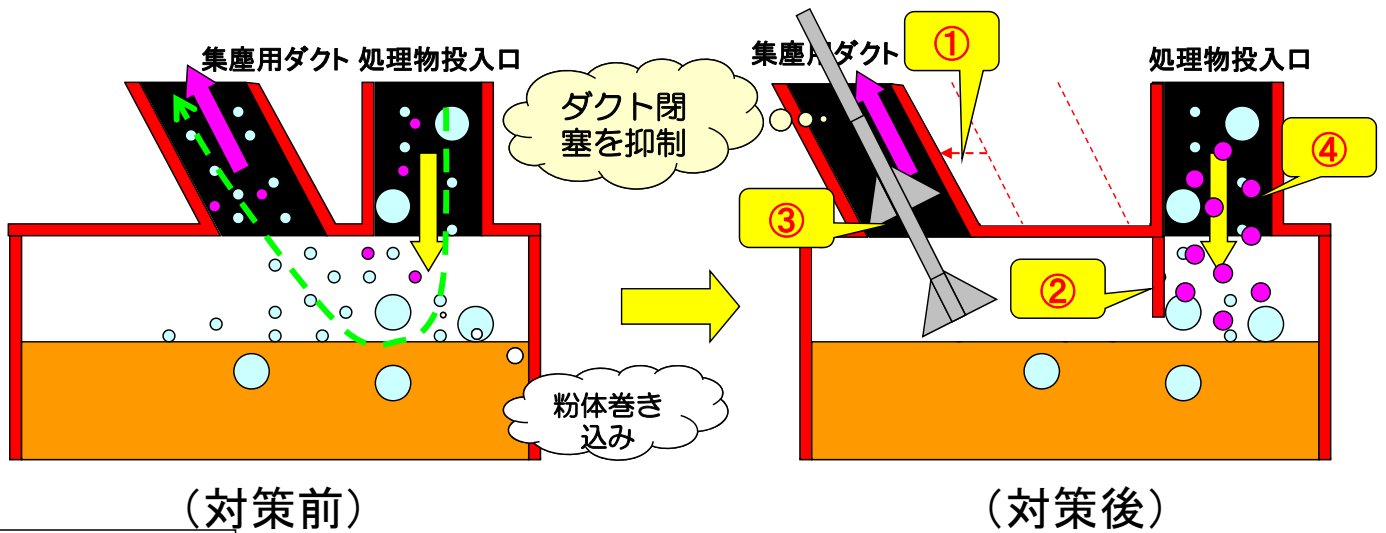
集塵用ダクトの閉塞への対応

誘導加熱溶融炉の改造

- ①ダクト位置を変更し、粉体の巻き込み抑制
- ②処理物投入口にフードを新設し、粉体のショートカットを防止
- ③ダストスレーパを新設し、付着したダストを掻き落とし

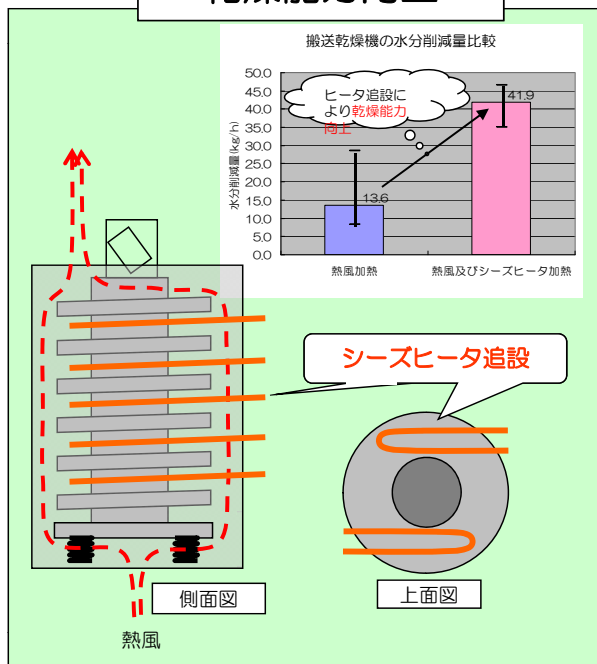
アルカリ融剤仕様の変更

- ④融剤の粒度を粗くし、ダクトへの巻き込み量を減少

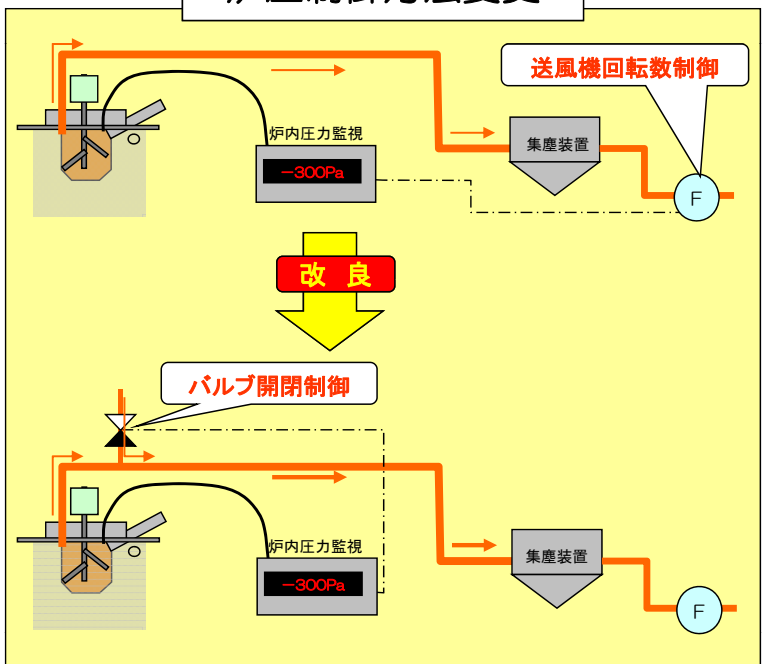


高含水保温材への対策

乾燥能力向上



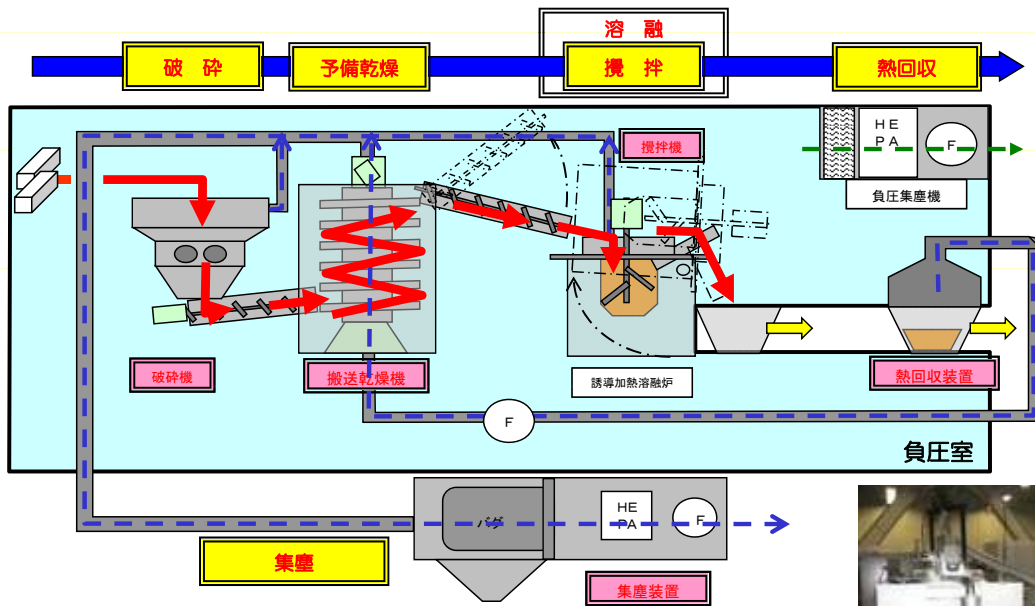
炉圧制御方法変更



【STEP2】アスベスト溶融・無害化処理システムの開発②

成果

公開



アスベスト溶融・無害化処理システムを開発



【STEP3】オンサイト式アスベスト溶融・無害化処理システムの開発

主な開発目標

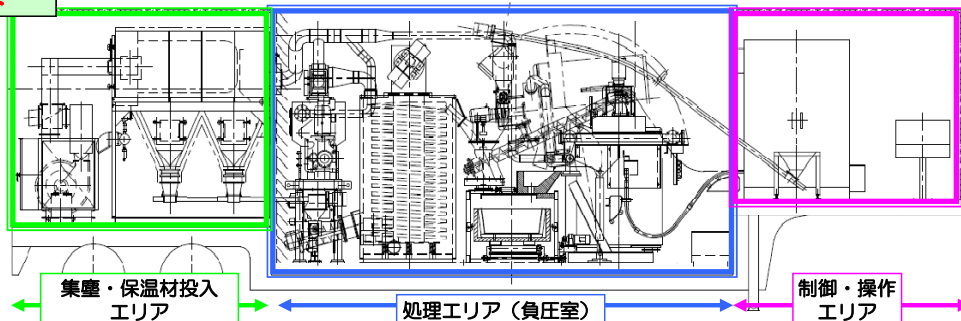
公開

処理能力
5t/日以上

連続安定運転
5日以上

溶融物のTEM分析
アスベスト不検出

成果



トレーラ機器搭載レイアウト

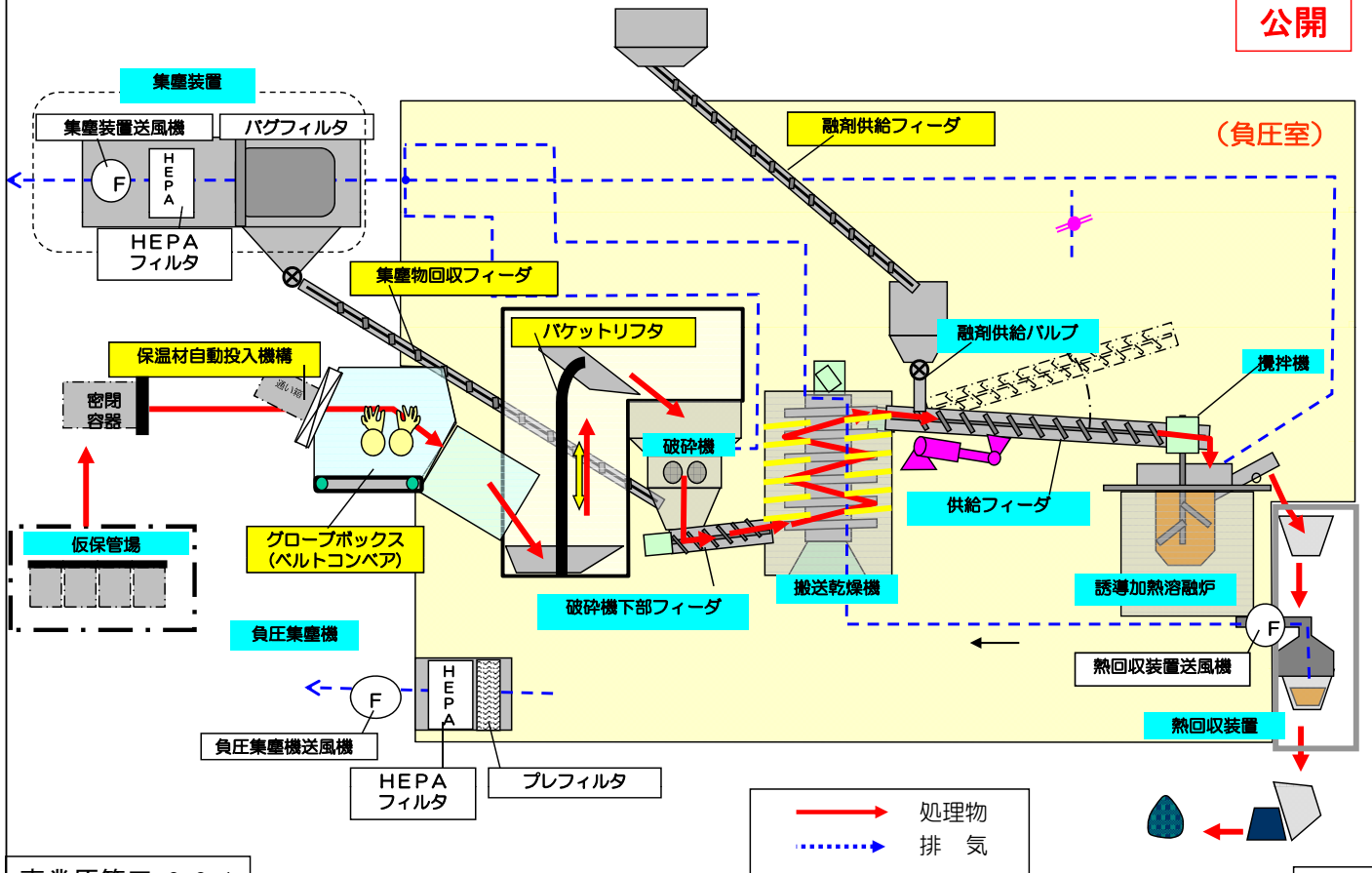


(スペック)

- ・ 処理能力 : 5t/日以上(環境大臣認定基準)
- ・ 処理対象物 : アスベスト含有保温材
- ・ 基準内寸法 : L13m×W2.5m×H3.8m 転倒角25度以上
- ・ 安全対策 : 装置を密閉型にしてバグ・HEPAフィルターで集塵するとともに、装置を設置した処理エリアを別置き集塵機で負圧にするフェールセーフ

オンサイト式アスベスト溶融・無害化処理システムフロー図

公開



火力発電所での屋外実証試験状況

公開



火力発電所での実証試験結果

公開

目 標

排ガス、大気ともアスベスト不検出

溶融物アスベスト不検出 (JIS・TEM法)

成 果

【排ガス】

分析項目	採取場所	分析方法	分析結果	定量下限
石綿濃度 (単位：本/L)	① 集塵装置排気口 (HEPA 出口)	石綿を含む廃棄物における 無害化処理認定制度申請の 手引き(第1版) 別添1 廃棄物処理施設に係る石綿 のサンプリング・分析方法 の概要[暫定版]	不検出	0.3
	② トレーラ負圧室排気口 (HEPA 出口)		不検出	



大気サンプル採取

【環境大

気】

分析項目	採取場所	分析方法	分析結果	定量下限
石綿濃度 (単位：本/L)	③ 敷地境界 1	石綿に係る特定粉じんの濃度 の測定方法(平成元年環境庁告 示第93号)	不検出	0.3
	④ 敷地境界 2		不検出	
	⑤ 敷地境界 3		不検出	
	⑥ 敷地境界 4		不検出	



溶融物採取

【溶融物】

分析項目	試 料	分析方法	分析結果	定量下限
石綿含有量	溶融固化体	JIS A1481	不検出	0.1%
		TEM法	不検出	1.0Mf/g

緊急時対応システムの構築

公開



トレーラ室内に設置可能なコンパクトな可搬式UPS開発

無停電電源装置
(UPS)

ディーゼル発電機

開発目標	動作試験結果	備 考
停電時電源バックアップ	作動良好	<ul style="list-style-type: none"> ・排気系運転継続 ・機器停止異常なし ・1分50秒でディーゼル負荷移行
地震時停止インターロック	作動良好	<ul style="list-style-type: none"> ・機器停止異常なし ・排気系運転継続

開発目標と達成度（再掲）

公開

開発項目	開発目標	達成度
①150kW誘導加熱溶融炉の開発 （参考：18年度分）	<ul style="list-style-type: none"> アスベスト溶融無害化温度：1100℃以下 トレーラ搭載可能な誘導加熱溶融炉の開発 実用機での実証試験省エネ率：20～30% 	◎
②アスベスト溶融・無害化処理システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> 処理能力：208kg/時（5t/日）以上 装置周辺アスベスト濃度：10本/ℓ以下 負圧室空間容積：100m³以下 	◎
③オンサイト式アスベスト溶融・無害化処理システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> 処理能力：208kg/時（5t/日）以上 装置周辺アスベスト濃度：10本/ℓ以下 連続安定運転：5日間以上 溶融物のTEM分析：アスベスト不検出 受電システムの構築：高調波抑制 同システムによるアスベスト廃棄物処理コスト 40,000～60,000円/m³ 	◎
④緊急時対応システムの構築	<ul style="list-style-type: none"> 停電時電源バックアップ 地震時停止インターロック 	◎

事業原簿Ⅲ-2-2-1

達成度(◎:達成、○:概ね達成、△:課題あるも1年内に達成見込み、×:問題あり)

19/24

ビジネスモデル検討委員会の開催

公開

構成メンバー

【ユーザー側】

・住友金属 ・新日本石油 ・日本曹達 ・東京電力

【事業展開側】

・大成建設 ・伊藤忠商事 ・日本海環境サービス（グループ会社）

検討内容と成果

【オペレーションリスク評価】

- 処理工程毎の潜在リスクを洗い出して点数化しリスクマップに落とし込み
- マップの回避ゾーンから保有ゾーンに改善すべき項目を装置開発に反映

【ニーズ把握】

- アスベスト含有保温材を保有する業界の代表へのアンケートをもとに、オンサイト処理のニーズと課題等を把握

【投資リスク評価】

- 収支見込から正味現在価値と内部収益率を算出し投資リスクを評価
- 事業の損益分岐を処理量と単価でシミュレーション

事業原簿Ⅲ-2-2-1

20/24

研究発表・講演、文献、特許等の状況

公開

1. 研究発表・講演（口頭発表も含む）

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
平成19年11月29日	第2回エレクトヒートシンポジウム論文発表会	「高周波誘導加熱炉を用いたアスベスト無害化・資源化装置の開発」	北陸電力株式会社 山田 真一
平成21年10月8日	平成21年度 火力原子力発電大会	「オンサイト式アスベスト溶融・無害化処理システムの開発」	同上

2. 文献

年月日	出典先
平成20年1月10日	月刊誌「電気評論」
平成20年7月15日	月刊誌「エレクトヒート」
平成21年3月10日	平成20年度 火力原子力発電大会 論文集
平成21年1月10日	月刊誌「電気評論」
平成22年3月3日	平成21年度 火力原子力発電大会 論文集
平成22年12月10日	月刊誌「電気現場技術」
平成22年1月10日	月刊誌「電気評論」

事業原簿Ⅲ-2-2-1

21/24

3. 特許等

公開

発明等の名称	出願日（審査請求日）	出願番号
高周波誘導炉および固体溶融方法	2007年4月23日 (2010年4月5日)	特願2007-113427
誘導加熱装置	2007年10月12日 (2010年9月4日)	特願2007-266920
「廃アスベスト無害化装置」	2009年7月7日	特願2009-161257 特願2009-161258 特願2009-161259 特願2009-161260

4. その他公表（プレス発表等）

掲載年月日	発表媒体
平成20年1月23日	電気新聞
平成20年1月31日	電気新聞
平成21年2月21日	北日本新聞
平成22年7月9日	日経新聞、日経産業新聞、朝日新聞、読売新聞、北陸中日新聞、北日本新聞、電気新聞
平成22年10月15日	日経新聞、北日本新聞、富山新聞、北国新聞、福井新聞、電気新聞

事業原簿Ⅲ-2-2-1

22/24

環境大臣認定の取得

【審査・認定スケジュール】

- 平成22年2月22日 中部地方環境事務所へ環境大臣認定申請書を提出
- 同年1月21日～8月2日 環境省技術等審査委員会で5回の審査
- 同年4月8日～5月7日 環境大臣認定申請書の告示・縦覧
- 同年10月14日 環境大臣認定を取得

【認定実績と特徴】

- 認定は3例目。オンサイト式は国内初
- 最も低い溶融温度（他は1,350と1,500℃）
- NEDOプロジェクトで初の認定取得

【大臣認定の内容】

- 施設設置箇所は北陸電力の3火力発電所
- 処理対象はアスベスト含有保温材
- システムをその都度搬入・設置して自ら無害化处理



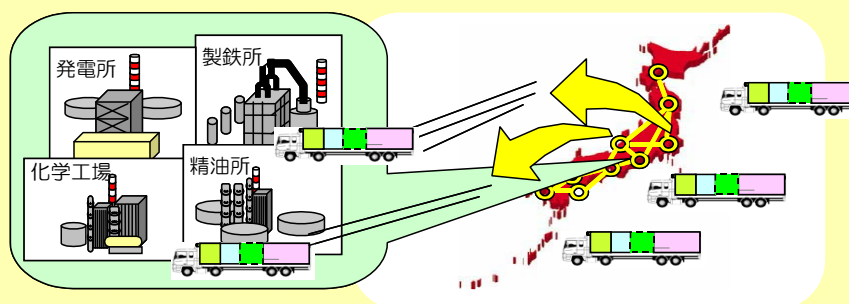
今後の取り組み

平成22～23年度

当社の3火力発電所6プラントにおいて、安全安定運転の処理実績を積み重ね

技術普及に向けた今後の展望

- ・ 解体から無害化まで現場で一貫処理するオンサイト処理システム
- ・ 短期間で無害化处理が可能なることから、解体現場周辺の住民不安を軽減
- ・ 現状と同等以下の処理コストで無害化・再資源化を提案できることから、適正処理、ゼロエミッションを目指す排出事業者をサポート



- ・ 平成22～23年度の処理実績を踏まえ、国内の排出事業者を対象にオンサイト式の特徴を活かし水平展開を図るとともに、同システムを国内に普及・拡大

5.2.2

低温過熱蒸気による アスベスト無害化・資源化 装置の開発

2007年度～2009年度

2010年12月9日

大旺新洋株式会社、戸田建設株式会社

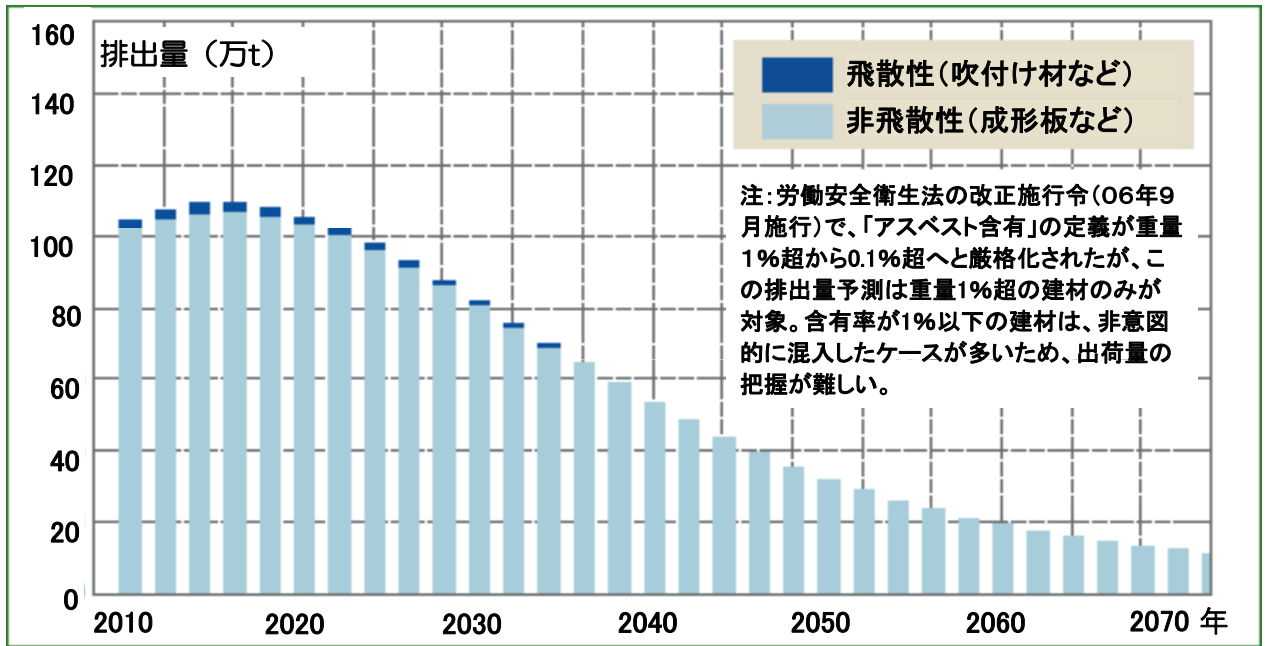
公開

平成19～21年度 アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発

1) 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		
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18～21年度	大成建設
高性能アスベスト剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボットの開発	平成18～20年度	竹中工務店
2) 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18～21年度	北陸電力
低温過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	戸田建設・大旺新洋
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	ケイミュー
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

社会的背景

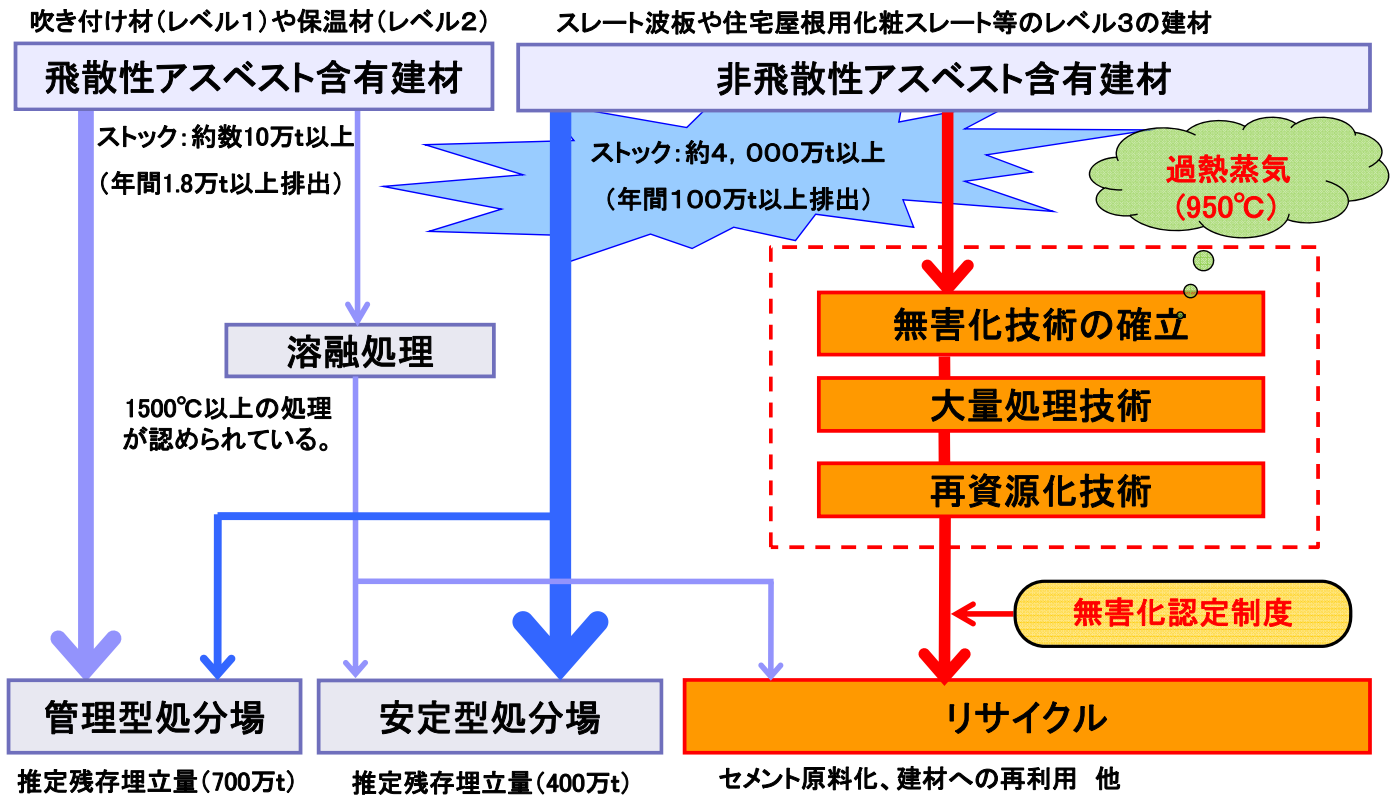
非飛散性アスベスト含有建材の蓄積量4000万t、年間排出量は約100万t
 →埋立処分地は年々許容量の減少
 →無害化技術の開発が急務



アスベスト含有建材の排出量予測(日経エコロジー)

アスベスト含有建材の処分状況

→ 現状のルート → 本研究のルート



アスベスト含有建材の処理ルート

開発技術の概要

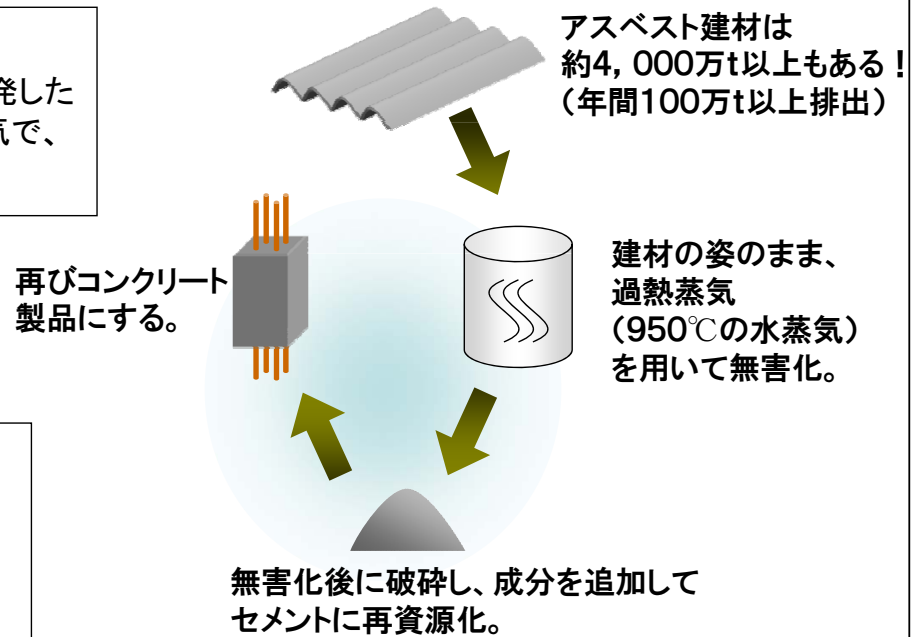
- ・非飛散性アスベスト含有建材を過熱蒸気を用いて950℃で加熱し、無害化処理
- ・処理した建材は破碎し、再びセメントの原料としてリサイクル

過熱蒸気とは

大気圧（常圧）下で、100℃で蒸発した飽和水蒸気をさらに加熱した蒸気で、無色透明な熱放射性H₂Oガス

本技術のメリット

- ・低温（950℃）で処理できる
- ・エネルギー消費量が少ない
- ・破碎をしないため安全性が高い



アスベスト無害化・再資源化のサイクル

研究開発テーマ

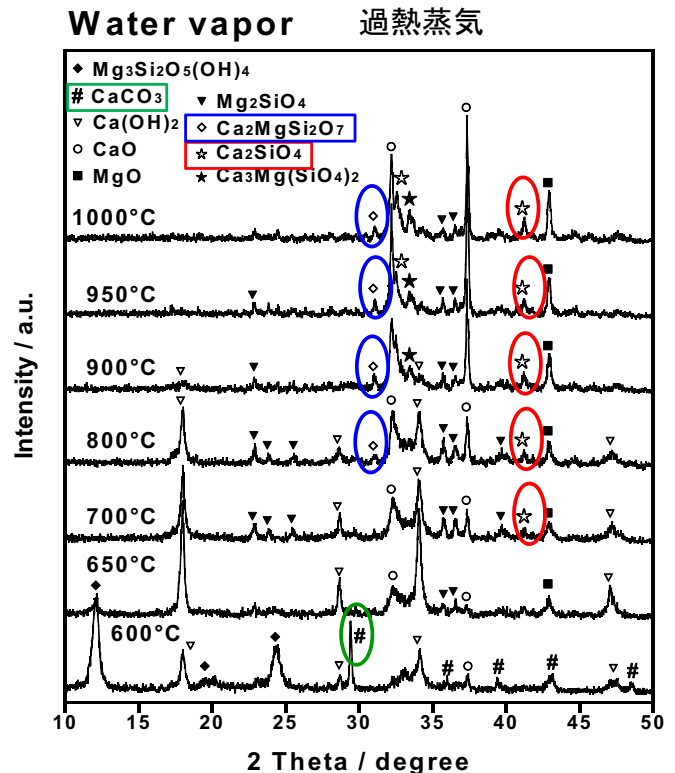
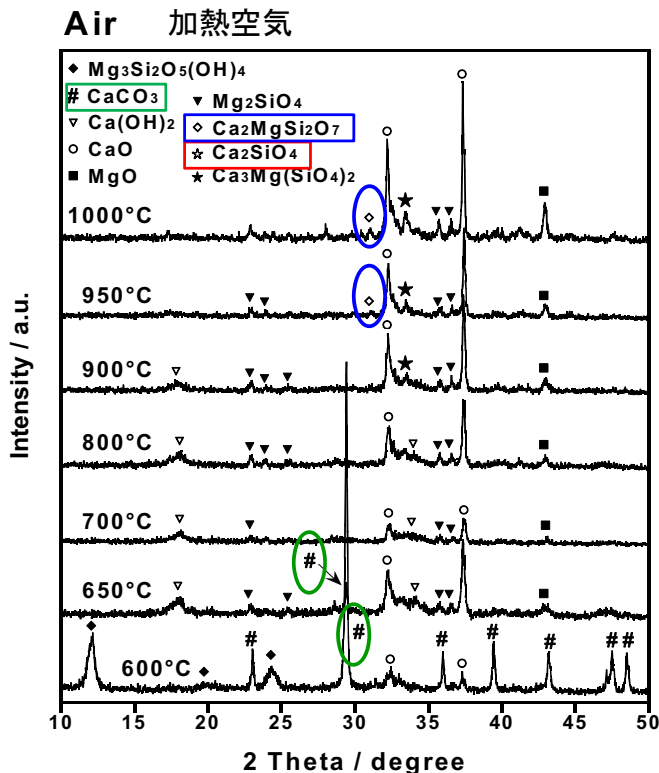
委託先	テーマ	内容	再委託先
大旺新洋（株）	テーマ①	低温過熱蒸気によるアスベストの無害化処理技術の開発	
	①-a)	パイロット規模装置による無害化処理条件の決定	高知大学
	①-b)	アスベスト無害化物のセメント材料としての有効性確認	
	①-c)	アスベスト無害化物のセメント原料への転換技術	
	①-d)	アスベスト無害化処理物の無害性評価	産業医科大
戸田建設（株）	テーマ②	アスベストの大量・無害化処理技術と資源化に関する研究	
	②-a)	連続運転による装置の最適化および実機の検討	
	②-b)	アスベスト無害化物による大量セメント生産プロセスの開発	西松建設（株）
	テーマ③	実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定	

研究開発の経過

	2006年度		2007年度		2008年度		2009年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期	上期	下期
	企業研究		← NEDO委託期間		→		→	
無害化技術	基礎試験 ・クリソタイル純品、吹付け材、住宅屋根		基礎試験 ・6種建材		基礎実験(1) ・無害化処理条件(JIS)		基礎実験(2) ・無害化処理条件(TEM)	
			無害性評価(産業医大)		科学的立証実験(高知大)			
			バッチ式実験		連続実験		改造	
					連続実験		連続実験	
大量処理技術と資源化			無害化物の成分分析		破碎機の検討		セメント化実験	
					実機・無害化施設の検討			
ビジネスモデル			事業化検討WG				事業化検討WG	
国内の施策動向	▼ 石綿含有率(1%→0.1%) ▼ 無害化認定制度創設				▼ JISの改定		▼ TEM分析方法	
					▼ アスベスト6種の無害化			

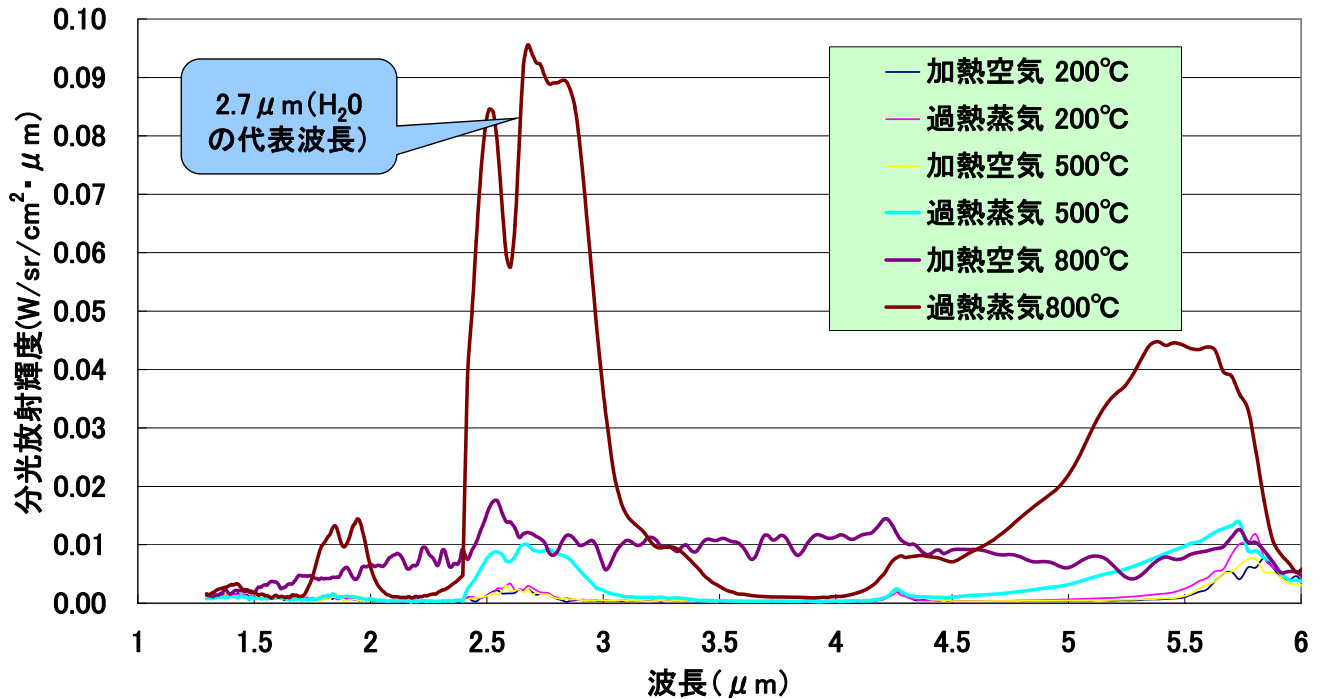
過熱蒸気の固相反応促進効果

水蒸気中ではCaO-MgO-SiO₂系化合物、CaO-SiO₂系化合物の生成が促進される。



過熱蒸気の電磁波効果

過熱蒸気の電磁波がアスベストのOH基を共振し、脱水が促進する。
過熱蒸気の共振効果がどの波長領域で放射輝度をもっているか確認した。



事業原簿 Ⅲ-2-2-2-17

蒸気と空気の温度別波長分布および分光放射輝度

8/26

無害化実験の概要

実験名	装置	試験体	分析
基礎実験	①	アスベスト含有建材(予備実験)	JIS A 1481
	①	住宅屋根化粧スレート(本実験)	JIS A 1481
	①	住宅屋根化粧スレート(TEM実験)	透過型電子顕微鏡
バッチ式実験	②	スレート波板、住宅屋根化粧スレート	JIS A 1481
連続式実験	③	スレート波板、住宅屋根化粧スレート	透過型電子顕微鏡



①基礎試験装置バッチ式



②パイロット装置バッチ式

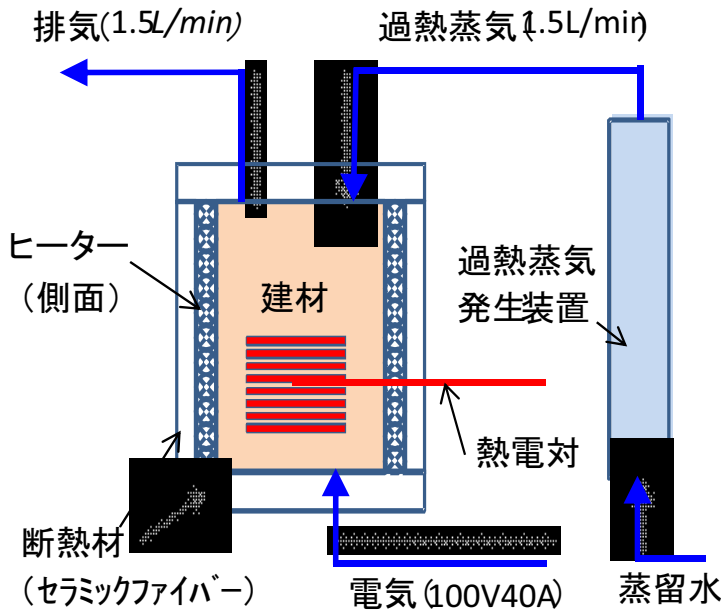


③パイロット装置連続式

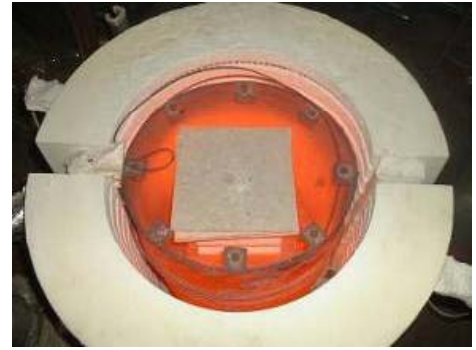
9/26

基礎試験装置の概要

基礎試験装置（能力500kg／日）にて、処理温度、保持時間を変化させ、無害化処理条件を検証した。



半円筒加熱炉 F400 × h500



加熱状況



処理前(左)と処理後の建材

基礎実験（予備実験）

最適な無害化処理条件の確認実験

予備実験の因子と水準

因子	水準1	水準2	水準3
A 荷姿	A-1 袋なし	A-2 袋あり	A-3 袋なし
B アスベスト含有量	B-1 1%	B-2 5%	B-3 10%
C アスベストの種類	C-1 クリソタイル	C-2 加トライト	C-3 トレモライト
D 雰囲気	D-1 空気一定量	D-2 密閉雰囲気	D-3 蒸気一定量
E 建材の厚み	E-1 5cm	E-2 10cm	E-3 5cm
F 建材の大きさ	F-1 10cm角	F-2 20cm角	F-3 10cm角
G 保持温度	G-1 950℃	G-2 1000℃	G-3 1050℃
H 保持時間	H-1 5分	H-2 30分	H-3 60分
R 試料採取位置	R-1 上側	R-2 中央	R-3 下側

雰囲気（過熱蒸気の有意性）、保持時間及び保持温度の寄与率が高く、影響が強いことが判明

予備実験の実験結果

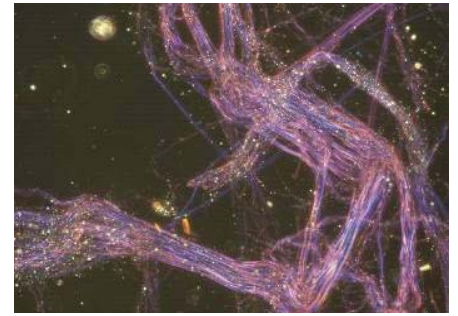
実験No.	保持温度(℃)	保持時間(分)	厚さ(cm)	幅(cm)	雰囲気	アスベスト	アスベスト濃度	袋	試料位置	繊維本数(本)
1	950	5	5	10	空気	クリソ	1	袋無	上	0
2					密閉	クロシ	5	袋有	中	0
3					蒸気	トレモ	10	袋無	下	10
4	950	30	10	20	空気	クリソ	10	袋無	下	0
5					密閉	トレモ	1	袋無	上	1
6					蒸気	クリソ	5	袋有	中	1
7	950	60	5	10	空気	トレモ	5	袋有	中	2
8					密閉	クリソ	10	袋無	下	0
9					蒸気	クロシ	1	袋無	上	0
10	1000	5	10	10	空気	クリソ	1	袋有	下	8
11					密閉	クロシ	5	袋無	上	0
12					蒸気	トレモ	10	袋無	中	0
13	1000	30	5	10	空気	クリソ	10	袋無	中	0
14					密閉	トレモ	1	袋有	下	0
15					蒸気	クリソ	5	袋無	上	0
16	1000	60	5	20	空気	トレモ	5	袋無	上	0
17					密閉	クリソ	10	袋無	中	1
18					蒸気	クロシ	1	袋有	下	0
19	1050	5	5	20	空気	クリソ	1	袋無	中	1
20					密閉	クロシ	5	袋無	下	0
21					蒸気	トレモ	10	袋有	上	2
22	1050	30	5	10	空気	クリソ	10	袋有	上	0
23					密閉	トレモ	1	袋無	中	0
24					蒸気	クリソ	5	袋無	下	0
25	1050	60	10	10	空気	トレモ	5	袋無	下	0
26					密閉	クリソ	10	袋有	上	0
27					蒸気	クロシ	1	袋無	中	0

基礎実験（本実験）

予備実験の結果から因子を3項目に絞って本実験を実施
本実験の因子と水準

因子	水準1		水準2		水準3	
A 保持温度	A-1	700℃	A-2	800℃	A-3	900℃
B 雰囲気	B-1	空気一定量	B-2	密閉雰囲気	B-3	蒸気一定量
C 保持時間	C-1	5分	C-2	30分	C-3	60分

建材:住宅屋根用スレート 形状:20cm角、3枚重ね



処理前のアスベスト(400倍)



本実験の実験結果(分散染色法)

残繊維本数

実験 No.	保持温度(℃)	保持時間(分)	雰囲気		
			空気	密閉	蒸気
1	700	5	8	1	1
2		30	3	0	5
3		60	2	3	0
4	800	5	4	1	0
5		30	2	1	2
6		60	0	0	0
7	900	5	1	0	0
8		30	1	0	0
9		60	1	1	0



処理後(400倍)

900℃(保持温度)、5分(保持時間)での無害化を確認

基礎実験（TEMによる無害化処理条件の確認）

処理温度900℃および950℃で保持時間を変化させ、無害化処理条件を確認

無害化処理物の繊維数濃度

処理条件	実験装置	基礎試験装置 (500kg/day)					単位
	建材	住宅屋根用化粧スレート					
	処理温度	900℃			950℃		
	保持時間	5分	15分	30分	5分	30分	
アスベスト繊維数濃度	計測繊維	4	<2(1.3)	<2(1.3)	<2(0)	<2(0)	Mf/g
	うちPCM相当繊維	<2(0)	<2(0)	<2(0)	<2(0)	<2(0)	
アスベストの可能性 がある繊維数濃度	計測繊維	45	82	30	<2(0.67)	<2(0.67)	
	うちPCM相当繊維	2.7	6.7	2.0	<2(0)	<2(0)	
総繊維数濃度	計測繊維	80	130	75	32	26	
	うちPCM相当繊維	3.3	7.3	2.7	1.3	1.3	
アスベスト重量濃度		150	220	17	(0.037)	(0.027)	μg/g
		0.015	0.022	0	0	0	%

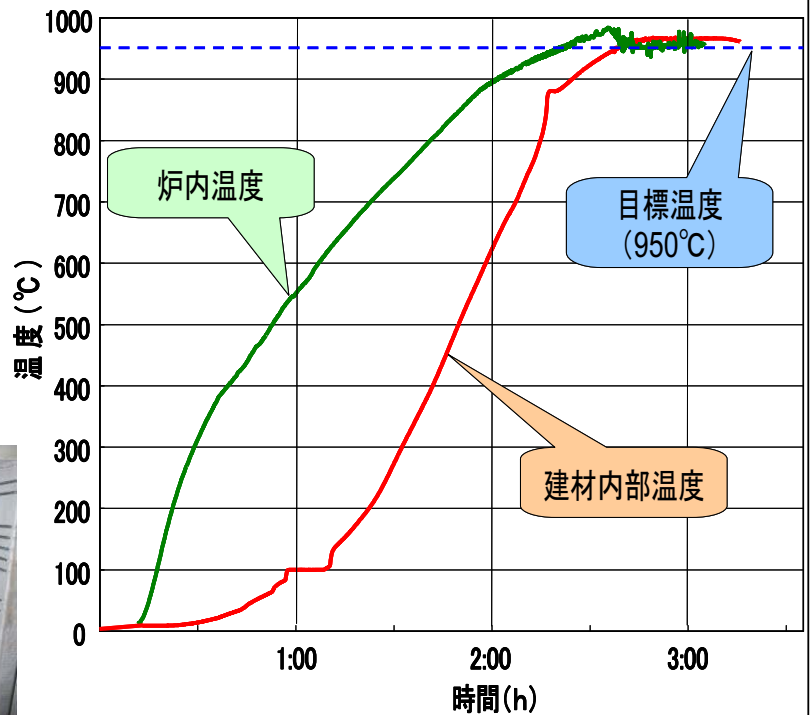
分析感度:0.67Mf/g
定量下限値:2Mf/g

計測繊維:長さ0.5μm、幅0.05μm以上、アスペクト比3以上
PCM相当繊維:長さ5μm以上、幅0.2μm以上、3μm以下

パイロット装置によるバッチ式実験

供試体と蒸気量

試験 No.	供試体	蒸気量 (kg/h)
1	住宅屋根スレート	2
2	住宅屋根スレート	2
3	住宅屋根スレート	2
4	住宅屋根スレート	0
5	住宅屋根スレート	7
6	波板他	7
7	住宅屋根スレート	7



処理温度トレンド(200kg/h処理)



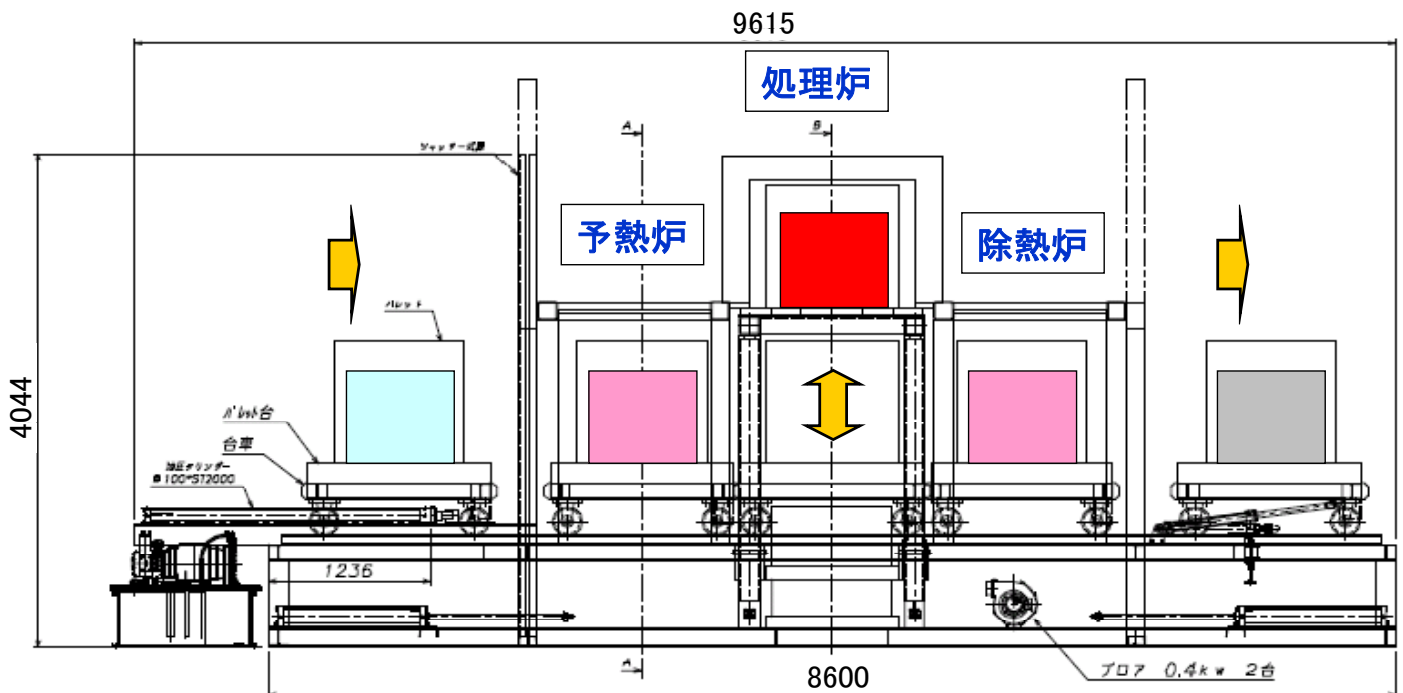
バッチ式炉の外部



バッチ式炉の内部

パイロット装置による連続実験概要

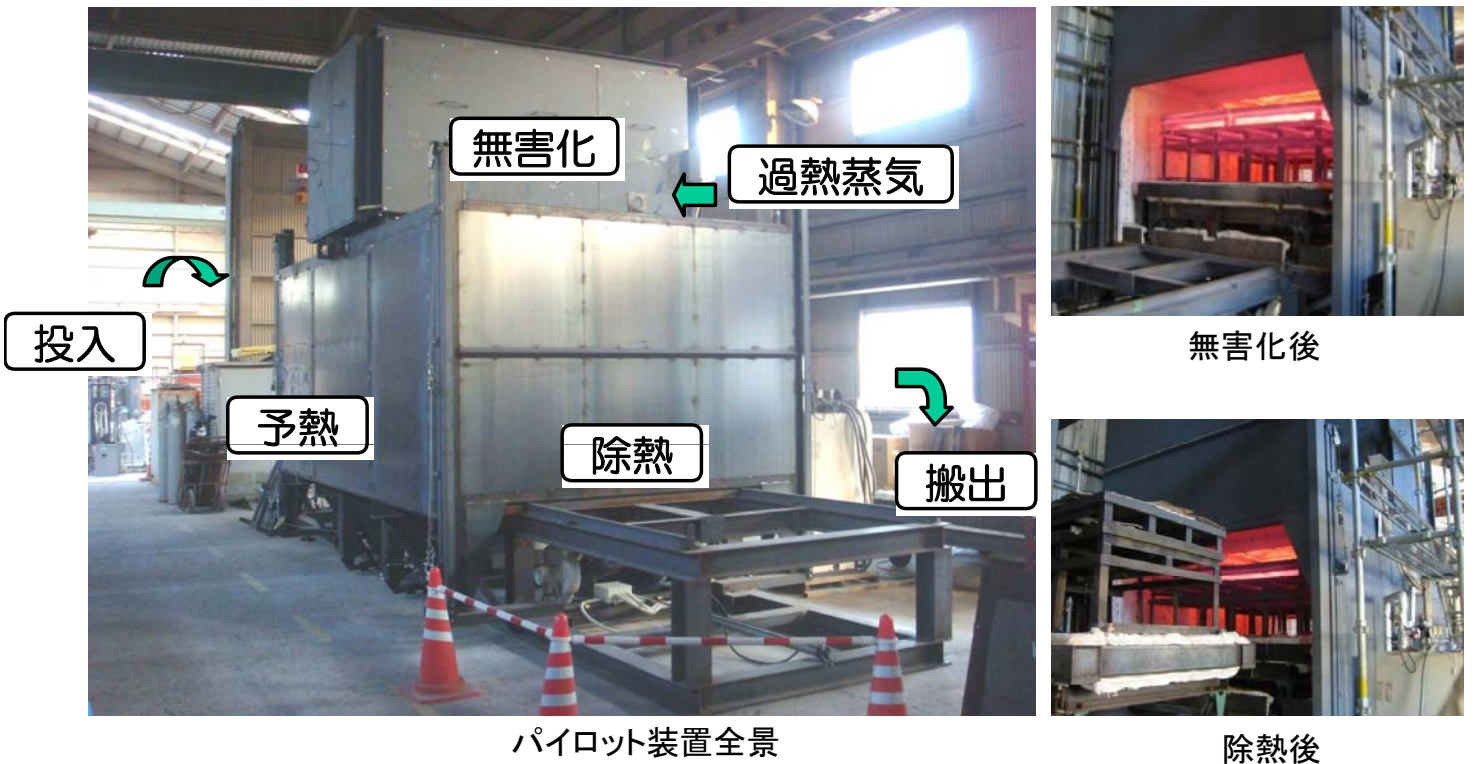
予熱炉に搬入後、リフトアップし処理炉で過熱蒸気による処理を行う。建材束の中心温度が950°Cに達してから5分保持した後リフトダウンし、炉内で除熱後搬出。



パイロット装置断面図

パイロット装置による連続実験状況

連続式パイロット装置(能力5t/日)による実験



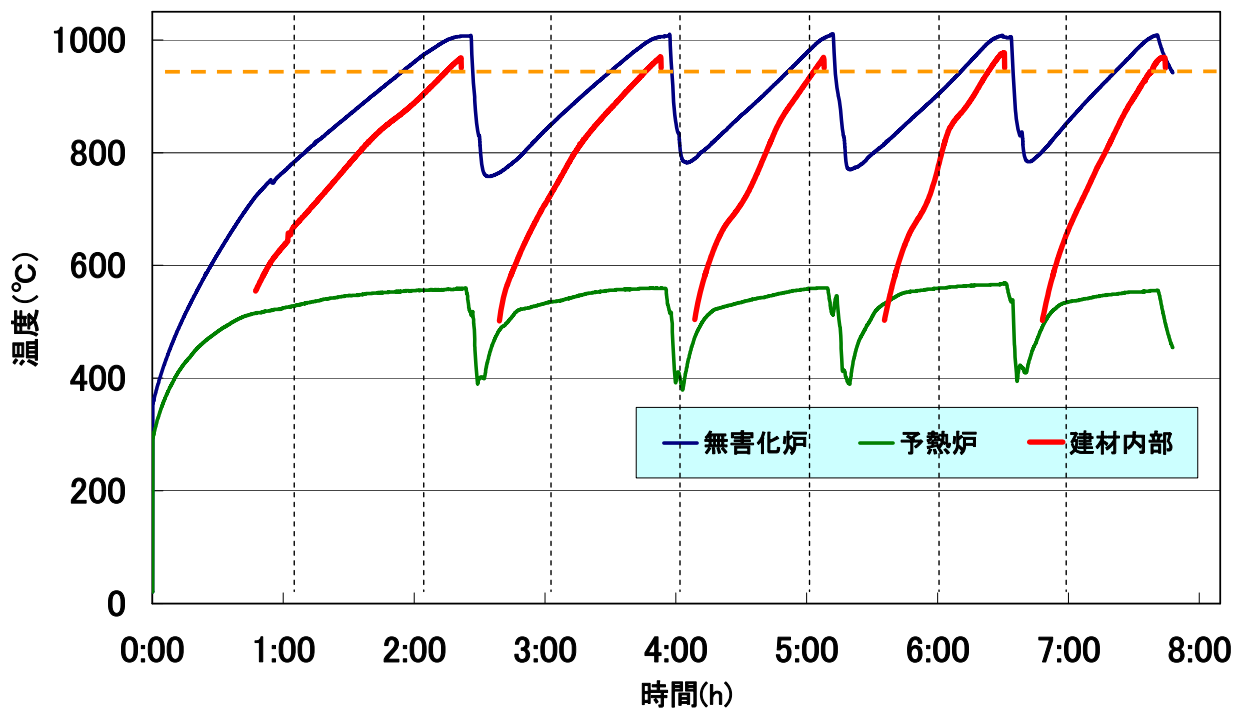
パイロット装置全景

事業原簿 Ⅲ-2-2-2-23

16/26

パイロット装置による連続実験結果

8時間連続運転を実施し、1バッチあたり1時間で所定の温度以上に達することを確認
→5t/日



連続試験中の炉内温度と建材温度

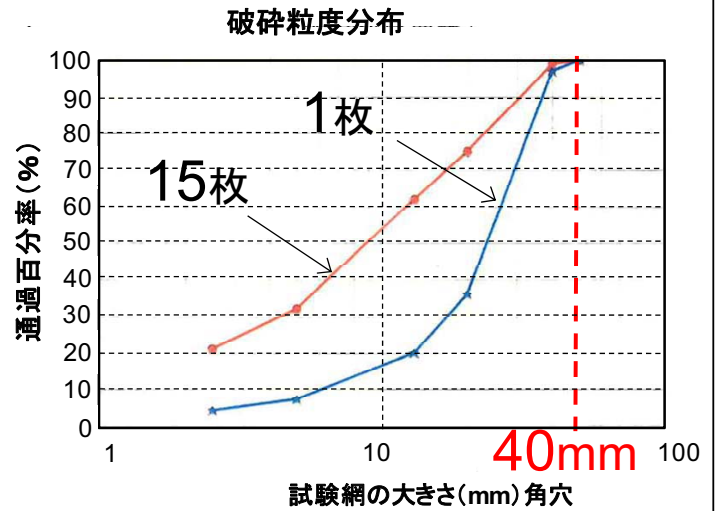
事業原簿 Ⅲ-2-2-2-24

17/26

無害化建材の破碎実験

処理済みの建材にて破碎実験を実施
セメントメーカー要望→40mmアンダー

- ①破碎枚数により、粒度分布は異なる。
15枚でも、40mmアンダーに破碎可能
- ②枚数が多い場合は粉塵が多く、対策要
- ③小さい力で簡単に破碎できることを確認



破碎機の全景



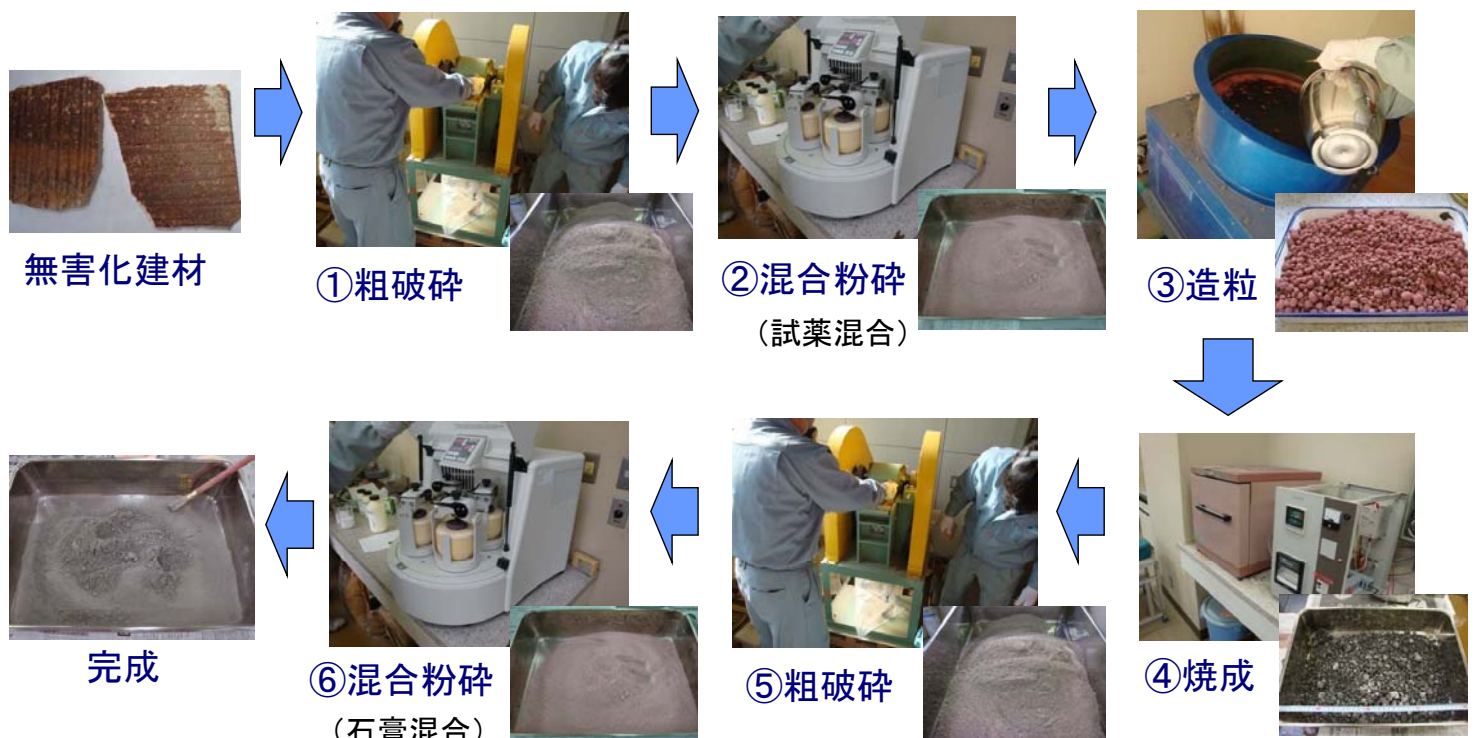
15枚まとめていれた状況



破碎後の状況

セメント化実験状況

無害化処理物(スレート波板、住宅屋根用化粧スレート)10%を原料としたセメントを製造



セメント実験結果

製造したセメントの成分分析および物理試験を実施し、JIS基準を満たすことを確認

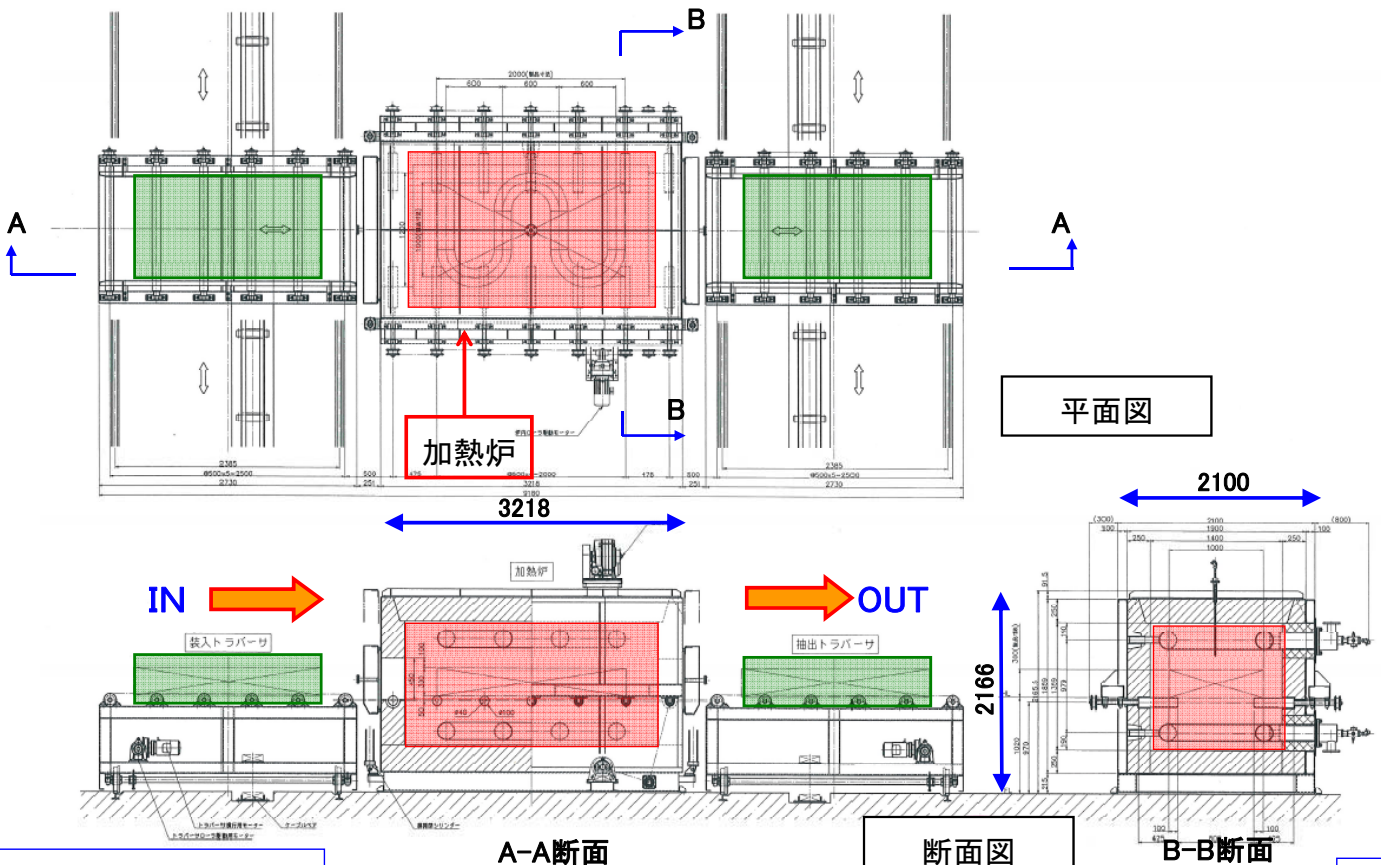
化学成分分析結果

セメントの種類	強熱減量 (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Cl (%)
スレート波板含有セメント	0.92	21.9	5.56	2.88	65.2	2.05	1.82	0.021
住宅屋根用化粧スレート含有セメント	0.93	21.8	5.49	2.67	65.5	1.99	1.64	0.021
JIS基準	<3	20~23	3.8~5.8	2.5~3.6	63~65	<5	<3.5	<0.035

物理試験結果

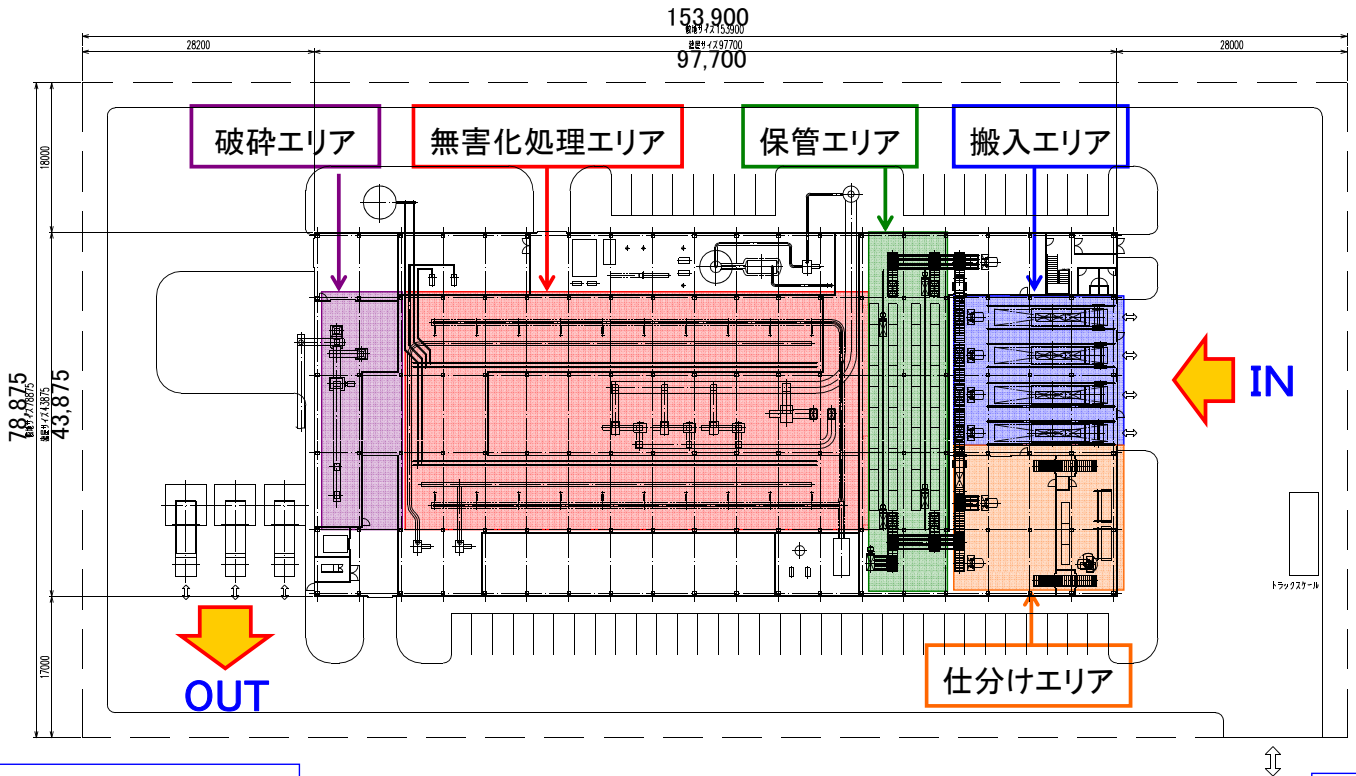
セメントの種類	密度 g/cm ³	比表面積 cm ² /g	安定性試験	凝結		圧縮強度 N/mm ²		
				始発 min	終結 h	3日	7日	28日
スレート波板含有セメント	3.19	4000	良	146	3.1	37.7	48.8	66.2
JIS基準	—	2500以上	良	60以上	10以下	12.5以上	22.5以上	42.5以上

実機の検討 (バッチ式)



無害化処理施設（配置図）

加熱炉（処理能力5t/日）を20台設置した場合 年間処理量：22,500t（常時運転台数18台、年間250日稼働）



導入シナリオ（案）

	2009年度		2010年度		2011年度		2012年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期	上期	下期
研究開発	パイロット試験、実機検討 科学的立証実験 TEM確認		▼NEDO委託業務終了					
含有建材の回収 (IN)	回収業者ヒアリング選定			建設会社（排出元）への営業				
処理物の資源化 (OUT)	セメント会社ヒアリング選定			セメント会社との契約交渉				契約
事業	事業スキーム・ビジネスモデル			事前技術審査	生活環境影響調査		事業開始予定	
			場所の選定		施設建設			
国内の施策動向	認可基準の明確化		建設リサイクル法集計	分別回収の周知	回収量の増加			
	安定型埋立処分場の逼迫							
	地域グリーンニューディール基金(3年間)							

事業化に向けた課題

	ヒアリング調査	事業化の課題
含有建材の回収 (IN)	<ul style="list-style-type: none"> 一般の解体業者のアスベストの認識は低く、石綿含有建材が区別されずに、一般の産業廃棄物(ガラスくず、コンクリートくず、陶磁器くず)として処分されている可能性がある。 	排出量の実態が不明
	<ul style="list-style-type: none"> 現在、ゴミの収集量が減少しており、単価が高かったアスベストの埋立費用は低下傾向にある。 公共関与の処分場では、低い処分料金でアスベスト建材を受け入れている。 	埋立処分費用の値下がり化への対応
処理物の資源化 (OUT)	<ul style="list-style-type: none"> セメント原料としての受け入れには安全性の担保が必要。 他の建材等に再利用する場合も無害化は大前提。 	受入には無害化の認定が必要
	<ul style="list-style-type: none"> セメントメーカーに、処理物を引き渡す際には、費用が発生する。 	セメント以外の建材への利用検討

事業原簿 Ⅲ-2-2-2-48

24/26

開発目標と達成状況

	目標	成果	達成度
過熱蒸気によるアスベスト無害化技術の開発	無害化処理温度と最適処理時間の決定	無害化処理温度950℃、最適処理時間5分を決定	◎
	過熱蒸気によるアスベストの無害化原理の科学的立証	過熱蒸気を持つ電磁波効果および触媒効果によることを立証	○
	無害化物のセメント原料としての品質・性能要件の確認	無害化処理物10%混入セメントがJIS基準に適合することを確認	◎
	動物実験による処理物の無害性の確認(安全、安心を立証)	急性期において、肺器官の炎症が低下することを確認	○
大量無害化処理と資源化技術に関する研究	パイロット装置での連続試験による実証(8時間、3回以上)	確実に無害化処理できることを実証し、5t/日の処理能力を確認	◎
	実機(処理量:30t/日)の設計(建材の投入、無害化、破碎を含む)	連続方式およびバッチ方式の2種類の実機を設計	◎
	大量無害化処理およびセメント生産プロセスの構築	無害化工場の設計に資するプロセスフローダイアグラムを作成	◎
実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定	無害化装置の適用先業種や市場規模等の調査を行い、アスベスト削減効果、波及効果および事業性を検討	環境省の事前技術評価、収集ルートと資源化用途開拓、事業化FSを踏まえた導入シナリオ(案)を策定	○

事業原簿 Ⅲ-2-2-2-45

評価基準: ◎達成、○概ね達成、△課題あるも1年内に達成見込み、×問題あり

25/26

知的財産権、成果の普及

	成果	件数
特許	・アスベスト含有廃棄物の再生処理方法(2007.9.21) 他	4件
査読付き論文	・日本建築学会学術講演会 2008、2009、2010年度 (計5編) ・土木学会年次学術講演会 2008、2009、2010年度 (計3編) ・廃棄物資源循環学会研究発表会 2008、2009、2010年度 (計6編)	14件
プレス発表	・日経四国版、日経産業、高知新聞(2007.11.21) ・日刊工業、建設産業、建設工業、建設通信、セメント新聞(2007.12.11) ・環境新聞(2009.1.14) ・日経産業新聞(2009.2.24) ・建設産業、建設工業、建設通信(2010.3.3) ・日経四国版、高知新聞(2010.3.13) ・日経産業新聞(2010.3.15) ・日刊工業新聞(2010.10.7)	17件
雑誌他	・資源環境対策vol.44 No.14(2008) ・環境浄化技術vol.9 No.6(2010) ・建築設備と配管工事特集「設備におけるアスベスト対策」(2010.11)	3件
受賞	・エンジニアリング振興協会エンジニアリング奨励特別賞(2010.8)	1件
展示会	・アスベスト対策環境展 2008、2009、2010年度	3件

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

KMEW

ケイミュー株式会社

2010.10.1に
クボタ松下電工外装(株)は
社名変更いたしました

1/22

公開

事業の位置付け

平成19～21年度 アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発

1) 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

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 18 ～21年度	大成建設
高性能アスベスト剥離・回収・梱包 クローズ型処理ロボットの開発	平成 18 ～20年度	竹中工務店

2) 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 18 ～21年度	北陸電力
低温過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	戸田建設・大旺新洋
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	ケイミュー
アスベスト低温熔融無害化・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

研究の目的

● 社会的要請

石綿による健康被害が顕在化する中、石綿含有建材廃棄物を適正且つ安全に処理する方法の確立が強く望まれている

● 弊社の使命

過去クボタとパナソニック電工(旧松下電工)が販売した石綿含有屋根材は、年間およそ100万トン発生するとされる石綿含有廃棄物量の3分の1に及び、その適切な処理を提案することは社会的使命と言える

● マイクロ波を使って低コストで加熱無害化する技術を実用化

- 核融合研究所が開発した、セメント中のカルシウム成分にマイクロ波を吸収させ加熱する特許技術の実用化を実証試験により確立
- 850℃で石綿(クリソタイル)は結晶構造が破壊される

電子レンジ！



無害化したものは、
自社建材に
リサイクル

研究体制



委託

KMEW
ケイミュー株式会社

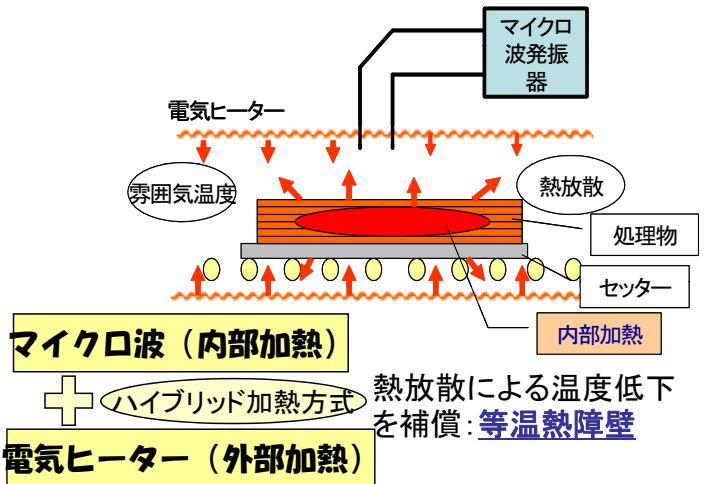


指導・助言

マイクロ波加熱無害化の原理と特徴

原理

- 建材中のカルシウム成分がマイクロ波を選択的に吸収し、局所加熱
- カルシウム成分と隣接するアスベストとの間に局所的な温度差を発生
- 高温によるアスベスト繊維の崩壊
- 非熱平衡(温度差)による結晶転移



特徴

破碎不要

予備粉碎しなくてもそのままの大きさで均一に内部まで加熱できる

迅速加熱

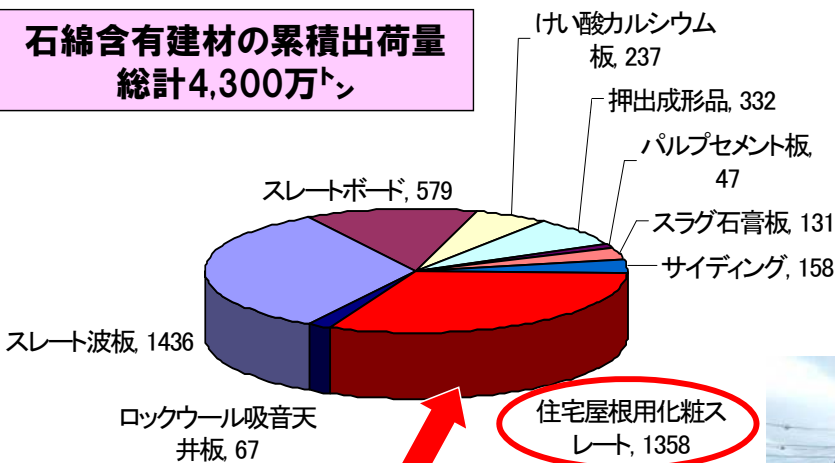
マイクロ波が直接材料に吸収し、エネルギーのムダがなく効率的に加熱できる

安価で安全な無害化

CO₂ 排出量が1,500℃以上での溶融よりも大幅に削減できる

無害化処理対象物

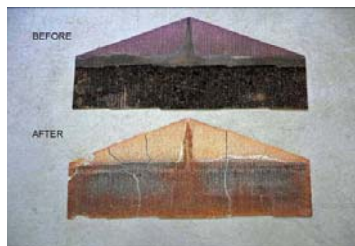
石綿含有建材の累積出荷量 総計4,300万トン



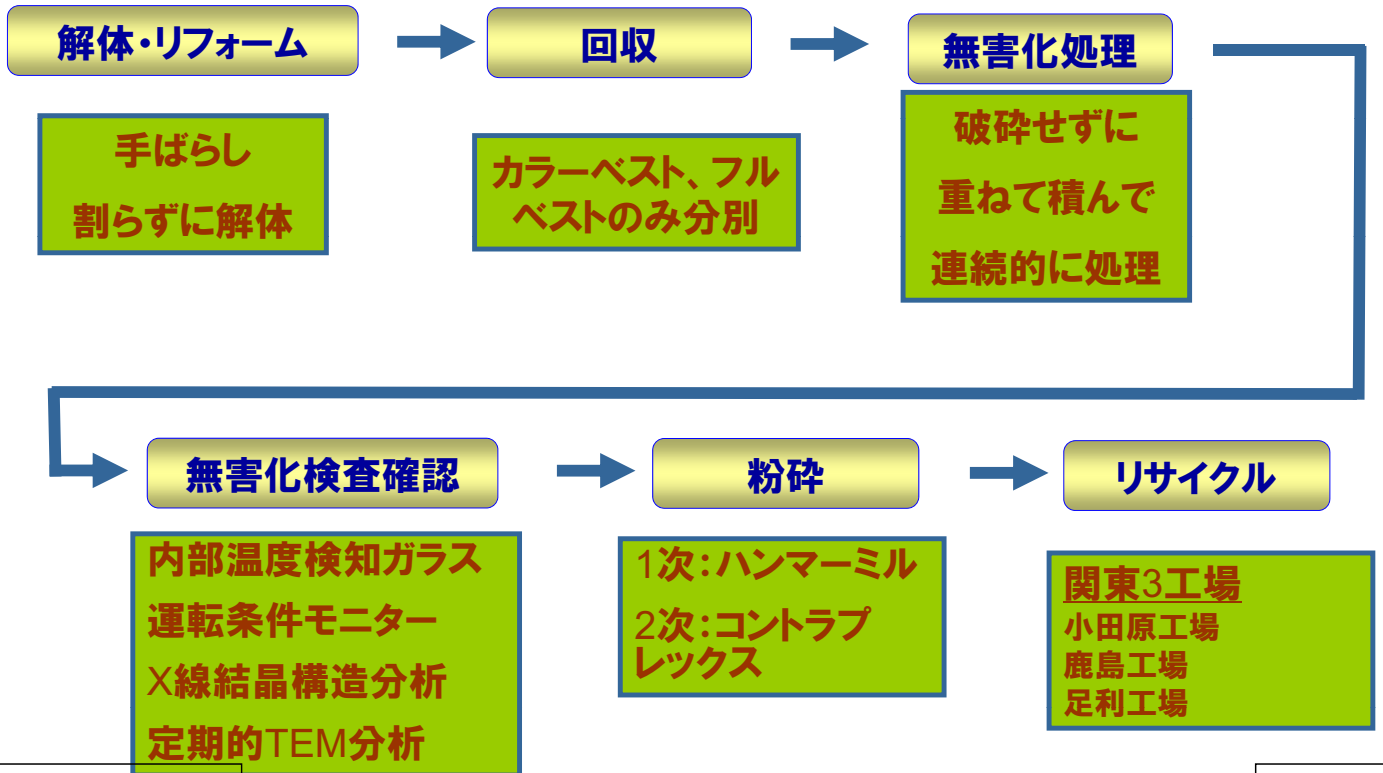
累積量の1/3を占める

- ・外観形状から容易に分別回収できる
- ・クリソタイルだけを使用している

手ばらし 割らずに解体



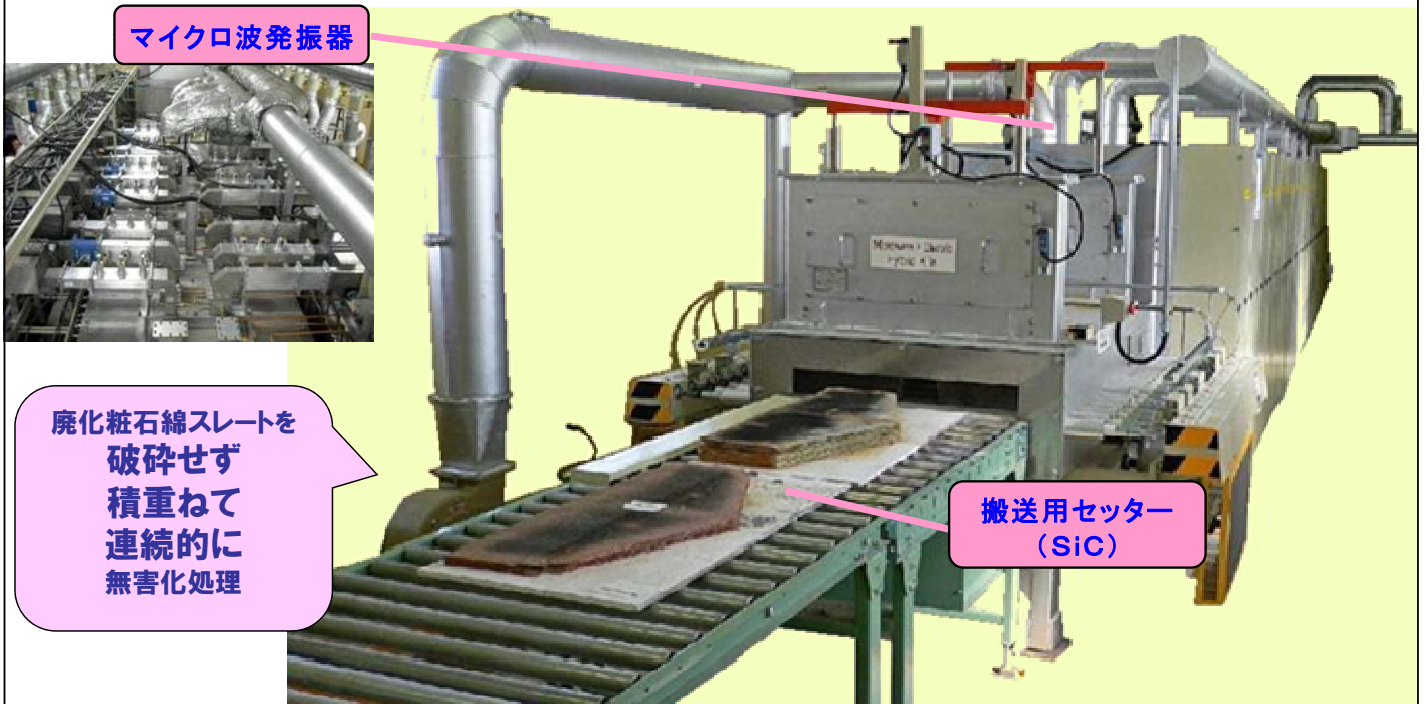
無害化システム構想



マイクロ波加熱無害化技術開発 基本計画

項目	内容	H18年	H19年	H20年	H21年
		環境省委託	NEDO委託		継続研究
①マイクロ波無害化システム技術確立	基礎テスト及び先導的実証試験 実証試験炉での高効率化 ・マイクロ波照射・加熱方法の最適化 ・搬送セッター、積載方法による効率向上 スケールアップ要素技術確立 ・実用炉設計のための処理仕様確立 ・マイクロ波出力の最大引出、有効幅確定 装置性能の高度化(熱効率向上) ・熱解析による理論的、効率的加熱方策 ・長時間連続運転確認、安全性確認 ・廃熱利用、省エネ(冷却ゾーン有効利用)	→	→	→	→
②リサイクル	無害化品の建材へのリサイクル		→	→	→
③ビジネスモデル策定	市場調査、事業枠組み、回収ネットワーク構築等の検討		→	→	→
④環境省無害化認定取得⇒事業化	事業プラン・施設設計⇒アセス⇒認定申請～取得⇒事業立上(2013)				→

実証試験装置



マイクロ波ハイブリッドローラーハースキルン

事業原簿 Ⅲ-2-2-3

9/22

最適無害化処理条件を決定するために 実証試験で検証した主なパラメータ

検証パラメーター	備考
マイクロ波の出力	発振器2.5kW/台×台数 電気ヒーターとの最適バランス 費用対効果（電力料金対処理量）がベスト
マイクロ波照射域	
搬送速度	実証試験炉の長さ：12.6m
温度プロファイル	昇温速度、最高温度、保持時間
積重ねる住宅屋根用化粧石綿スレートの枚数	1枚の厚さ：5mm
セッターの材質	搬送時に処理物を載せる板
ラッキング方法	横積み又は縦積み等
インピーダンスチューニングの効果	マイクロ波出力の最大引出し

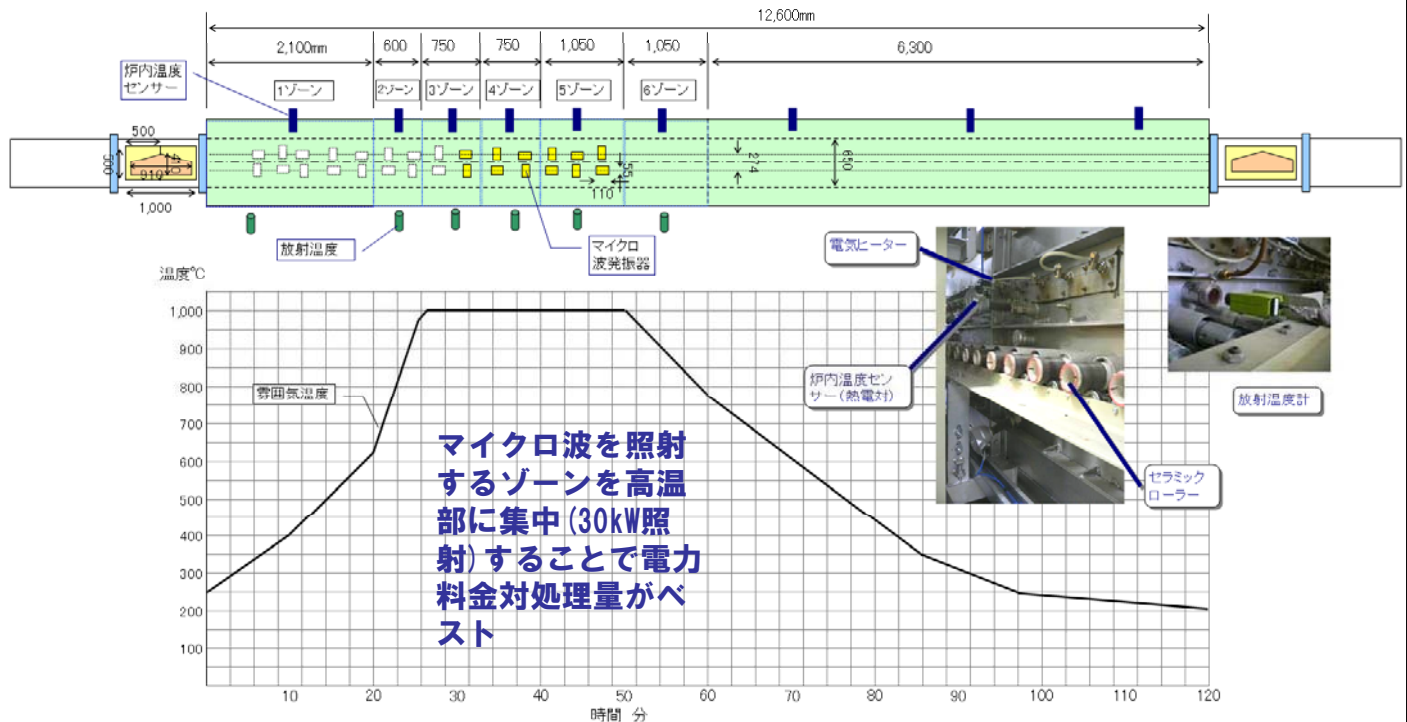
事業原簿 Ⅲ-2-2-3

10/22

無害化処理条件

検証パラメーター	最適条件
マイクロ波の出力	30kW
マイクロ波照射域	最高温度域（図参照）
搬送速度	6.3 m/h（1時間当り6セット投入）
温度プロファイル （無害化達成温度）	<ul style="list-style-type: none"> ● 表面温度：1,000℃ ● 内部温度（中心温度）：850℃
積重ねる住宅屋根用化粧石綿スレートの枚数	7枚
セッターの材質	<ul style="list-style-type: none"> ● 酸化物結合炭化珪素製で500×500×厚さ10mmを使用。 ● 2枚を並べて上に910×410mmの住宅屋根用化粧石綿スレートを置くことで連結する。

無害化処理条件

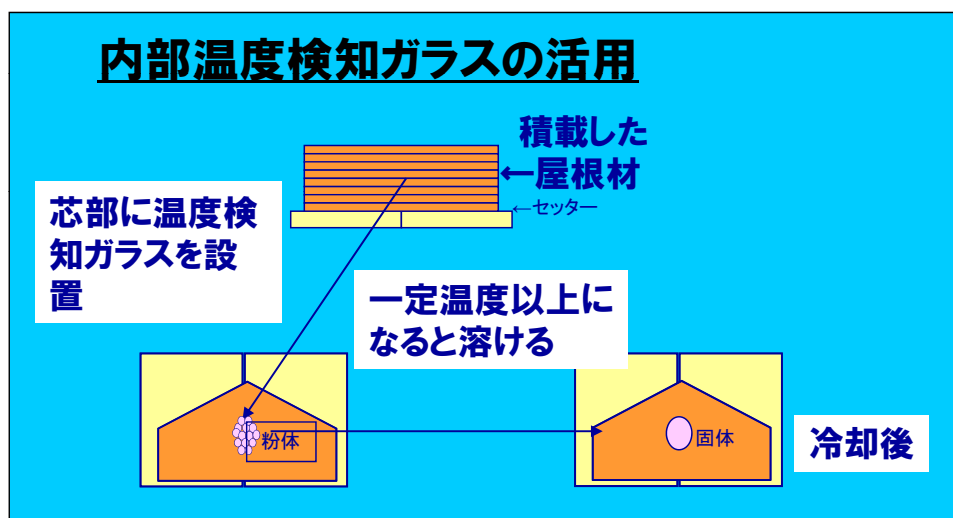


無害化担保方法

測定項目	頻度	備考
内部温度検知ガラス	30分に1回	
X線回折*	8時間に1回	
炉内温度測定(20ヶ所)	常時モニタリング	
処理物表面温度測定(6ヶ所)	常時モニタリング	
消費電力モニター	常時モニタリング	
JIS A 1481 (位相差顕微鏡、X線回折)	当初3ヶ月に1回以上 安定化後6ヶ月に1回以上	法定計測
透過型電子顕微鏡	当初6ヶ月に1回以上 安定化後1年に1回以上	法定計測

*クリソタイトのピークが認められないことだけでなく、オケルマナイトのピーク強度が一定値以上であることを確認(温度とピーク強度の関係より)

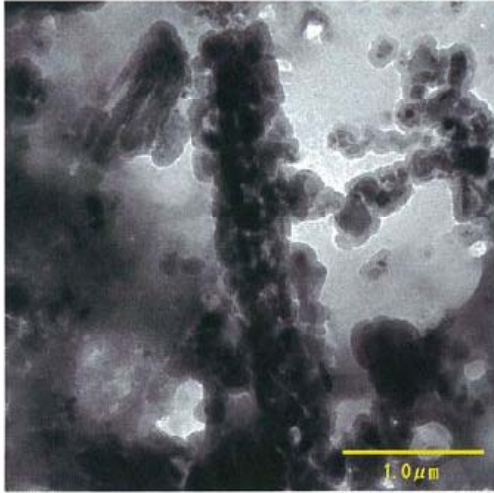
内部温度の計測方法



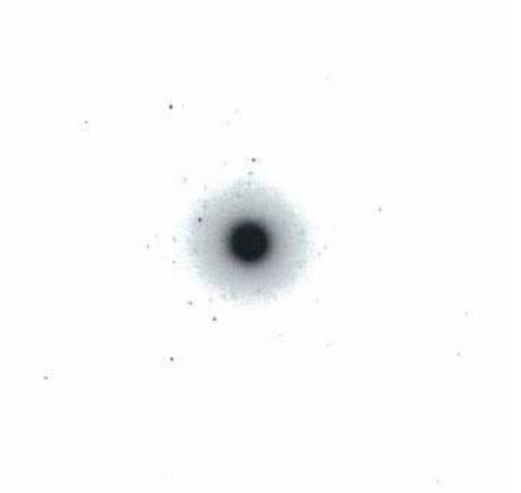
無害化を達成した温度になったことを確認

無害化確認方法

JIS A 1481に加え、TEMでも認められなかった



形態観察



電子線回折(ED)

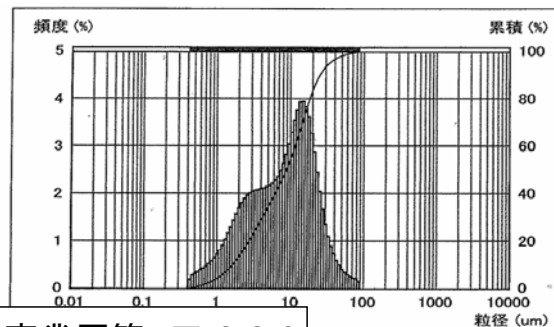
無害化後 粉碎⇒リサイクル

無害化
(加熱により20%減量
酸や添加物なし)
粉碎

自社製品(屋根材、外壁材)に
リサイクル:5~10%添加

無害化後の処理物はSiO₂約50%とCaO約30%が主成分で比較的一定しており、ケイ酸カルシウム反応の原料としてリサイクルできる

酸処理などをすると
リサイクルできない



達成評価まとめ

研究開発項目	目標	成果	達成度	備考
処理能力	5トン以上/日	4.5トン/日	○	小型実用化装置
	30トン/日	30トン/日(但し、10~15トン/日・機を2~3機設置する方が効率的)	◎	事業規模実用化装置の設計上の仕様
環境安全性	2次飛散させず処理できること(事前粉碎処理ゼロ)	可能	◎	
非アスベスト化	残存石綿量ゼロ	認められない	◎	JIS A 1481の分析方法でアスベストが認められないこと(TEM追加)

達成度:◎達成、○概ね達成、△課題あるも1年以内に達成見込み、×問題あり

知財出願状況

出願 平成20年度:2件

- ・ 特願2008-332230 石綿含有建材の無害化処理方法
- ・ 特願2009-9893 石綿含有建材の無害化処理法

参考(NEDO委託以前)

- ・ WO2007/034816 アスベストの変性方法
(米、EPC)

成果の普及

【論文発表（査読なし）】4件

08.7月号 環境浄化技術誌
 08.11月号 資源環境対策誌
 10.3号 (Vol.80) 金属誌
 10.11月号 建設設備と配管工事誌

【新聞、雑誌記事掲載】(11件)

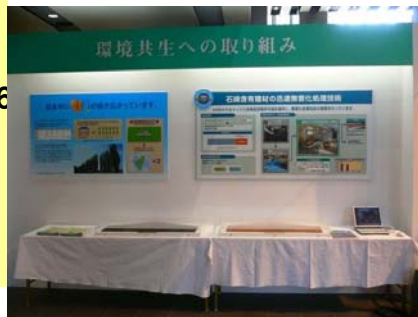
06.10.21 西日本新聞(夕刊)
 06.10.23 日経産業新聞
 06.10.25 日刊工業新聞
 06.10.28 日本屋根経済新聞
 07.3月号 日経エコロジー
 07.5.14 化学工業日報
 07.8.29 環境新聞
 07.9.26 セメント新聞
 08.10.1 建設通信新聞
 09.8.17 日本経済新聞(夕刊)
 09.8.31 循環経済新聞

【テレビ番組紹介】(2件)

09.8.17 TV東京(日経CNBC) ニュースファイブ16
 09.8.17 TV東京ワールドビジネスサテライト23:00

【展示会】(2件)

2007,8年度アスベスト対策環境展 出展(NEDOブース)
 2006～ 自社お客様向け内覧会(多数)



事業原簿 添付資料

19/22

今後の予定

環境省の無害化認定を取得し、事業化を推進する
 <2013年事業開始計画>

- **無害化認定取得のための技術開発**
- TEM(電子顕微鏡)法で無害化確認(済:従来法よりも厳しい)
- 事業採算性(処理能力、料金、コスト)の検討
- 実用化炉、無害化施設の設計
- リサイクルのライン試作による確認
- **無害化認定申請要件の推進**
- 事業骨格(組織体制)策定:パートナーを組める廃棄物事業ノウハウ所有者
- 事業推進(施設立地、回収ネットワーク、割らずに解体啓蒙)
- 工場建設予定地周辺の環境アセスメント

事業原簿 IV-2

20/22

事業化計画

事業エリア	<ul style="list-style-type: none"> ・住宅ストック数も多く、自社屋根材のシェアが高い関東首都圏から展開を計画 ・順次エリアを拡大し、最終的には全国をカバー
収益	<ul style="list-style-type: none"> ・埋立てと比較して、適正かつ採算可能な処理単価を設定し、事業化を図る
課題	<ul style="list-style-type: none"> ・回収ルートの構築 住宅屋根用化粧石綿スレートを目的量回収する廃棄物の収集・運搬業者とのタイアップ ・廃棄物処理・運搬の事業運営 自前では専門外の領域のため、適当なパートナーの選定 ・設備投資の圧縮 施設詳細設計

事業化までのスケジュール

		2009年		2010年				2011年				2012年				2013年					
		III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV		
技術の確立	無害化条件確定(TEM合格)	→						TEMで合格する処理条件の決定													
	リサイクル技術確立	→		→				→				→				→					
	採算性向上対策	→		→				→				→				→					
事業骨格 (組織体制)	具体案提案	→		→				→				→				→					
	比較検討⇒意思決定	→		→				→				→				→					
	アライアンス先選定	→		→				→				→				→					
事業推進	土地選定	→		→				→				→				→					
	回収システム(回収可能量)	→		→				→				→				→					
	収益性確認	→		→				→				→				→					
無害化申請	事前申請	→		→				→				→				→					
	アセスメント	→		→				→				→				→					
	本申請	→		→				→				→				→					
施設設置	基本設計	→		→				→				→				→					
	詳細設計	→		→				→				→				→					
	施設建設、試運転	→		→				→				→				→					
	稼動	→		→				→				→				→					

I : 4~6月 II : 7~9月 III : 10~12月 IV : 1~3月

「アスベスト含有建材等回収・処理等技術開発」

平成21年度単年度 NEDO委託事業

『アスベスト低温溶融無害化・ 再資源化処理システムの開発』

株式会社 ストリートデザイン

平成22年12月9日

平成19～21年度 アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発

1) 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


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 18 ～21年度	大成建設
高性能アスベスト剥離・回収・梱包 クローズ型処理ロボットの開発	平成 18 ～20年度	竹中工務店

2) 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 18 ～21年度	北陸電力
低温過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	戸田建設・大旺新洋
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	ケイミュー
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

※18年度は、緊急アスベスト削減実用化基盤技術開発として実施。

ターゲットアスベストの国内残存量

処 理 タ ー ゲ ッ ト	
分 類	飛 散 性 ア ス ベ ス ト(レベル1・2) 
定 義	吹付け石綿・石綿保温材・石綿除去事業で使用された養生材等・工事現場より排出され集められた排石綿等
国内 残存量	約300万トン (+ 約300万トン) (約1.8万t/年)
処理分類	特別管理産業廃棄物(管理型)

Point !

アスベスト処理工事に発生する養生シート・防護服フィルターなどのプラスチック系廃棄物は、公表発生量に含まれていない。アスベスト処理時に発生するこれらの廃棄物は、アスベスト付着の可能性が高い為、特別管理廃棄物で廃石綿等として処理するよう安全衛生労働法・石綿則にて定められている。

国の方針

溶融による無害化を促進(廃棄物処理法改正 2006年8月)

事業原簿 Ⅲ-2-2-4

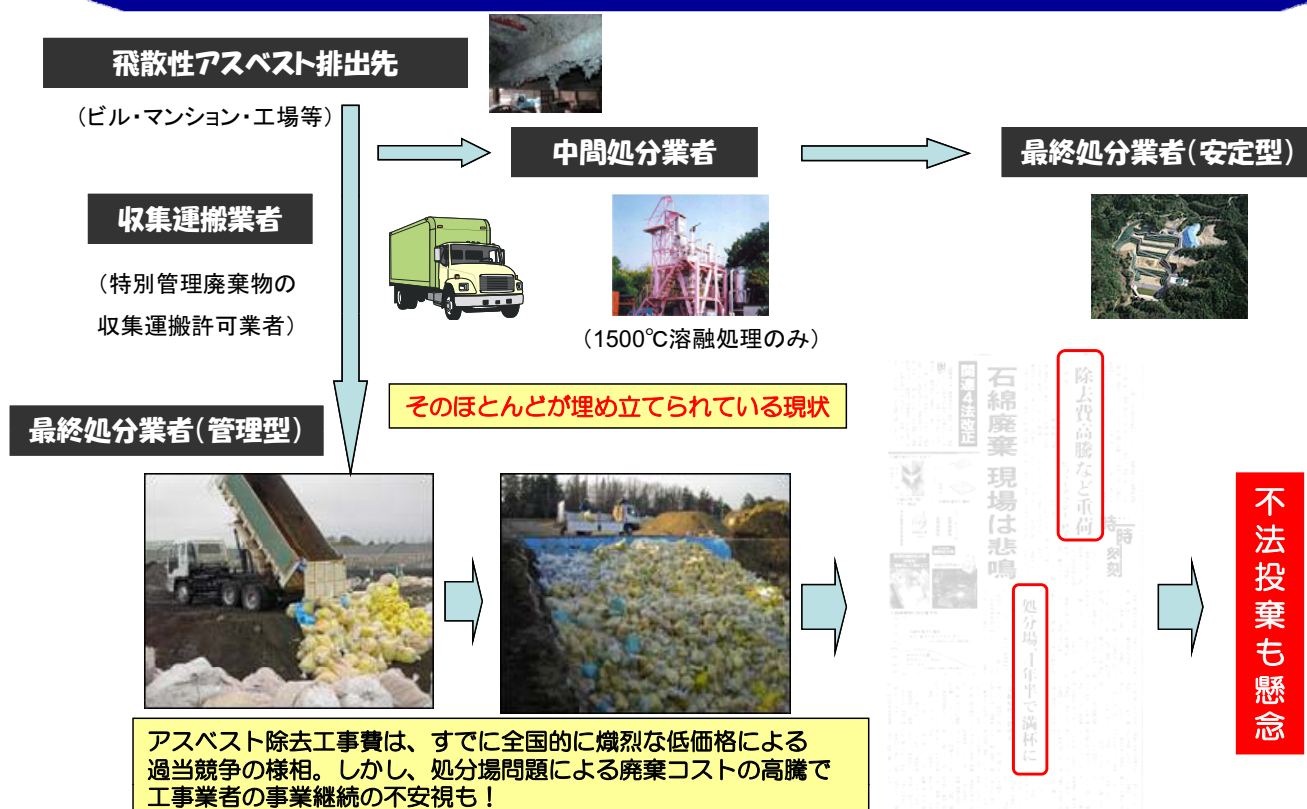
AEPS (Asbestos Eco Premium System)

All right reserved copyright (C) Street Design Corp.

株式会社ストリートデザイン

P.3/23

ターゲットアスベスト廃棄物処理の現状



事業原簿 Ⅲ-2-2-4

AEPS (Asbestos Eco Premium System)

All right reserved copyright (C) Street Design Corp.

株式会社ストリートデザイン

P.4/23

中間処分業者溶融炉の現状と市場規模



- ・現状の溶融無害化処理技術では、
1, 500℃もの熱エネルギーが必要
- ・現在、日本中で溶融処理(中間処理)
受入業者数は、わずか数社のみ

アスベスト溶融処理ビジネスとしての期待大！！

アスベスト溶融ビジネス市場

廃石綿等	処理すべきアスベスト系廃棄物量	処理費(溶融は埋立の4倍強)	市場規模
飛散性	約300万t+約300万t	約20万円前後/t(埋立)	約1兆2千億円※1

(*1)600万トンを一度にトンあたり20万円で処理した場合

ただし、現在の1500度超高温溶融炉への開発設備投資は約20億円で参入障壁が高く採算性も悪い →→
アスベストの低価格処理溶融技術が望まれている (低温無害化・熱分解炉:約6億円)

事業原簿 Ⅲ-2-2-4

AEPS (Asbestos Eco Premium System)

株式会社ストリートデザイン

All right reserved copyright (C) Street Design Corp.

P.5/23

研究開発体制・役割

(1) 研究開発体制スキーム

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
NEDO

【委託先】

株式会社ストリートデザイン

【再委託先】

独立行政法人 産業技術総合研究所
(熱分解最適化・再資源化)

【再委託先】

国立大学法人 東京工業大学大学院
(無害化最適化・再資源化・排ガス処理)

事業原簿 Ⅲ-2-2-4

AEPS (Asbestos Eco Premium System)

株式会社ストリートデザイン

All right reserved copyright (C) Street Design Corp.

P.6/23

研究開発課題

(2) 研究開発事業内容及び役割

①低温溶融処理によるアスベスト無害化技術の開発

(実施体制: (株)ストリートデザイン・(国)東京工業大学)

- － 1. 無害化装置の処理条件最適化

②熱分解条件の最適化 (実施体制: (株)ストリートデザイン・(独)産業技術総合研究所)

- － 1. 熱分解条件の最適化
- － 2. 回収油分へのアスベスト混入防止

③排ガス中へのアスベスト及び有害ガスの混入防止

(実施体制: (株)ストリートデザイン・(国)東京工業大学)

- － 1. 排ガス中へのアスベスト及びPCBの混入防止

④無害化処理物の再資源化

(実施体制: (株)ストリートデザイン・(独)産業技術総合研究所・(国)東京工業大学)

- － 1. 無害化処理後の残渣分の再資源化検討

⑤実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定 (実施体制: (株)ストリートデザイン)

- － 1. ①～④で開発した技術を元に、コスト及び効果を検討し、実用化に関する導入シナリオとビジネスモデルの策定

事業原簿 Ⅲ-2-2-4

AEPS (Asbestos Eco Premium System)

株式会社ストリートデザイン

All right reserved copyright (C) Street Design Corp.

P.7/23

研究開発課題・目標・成果

①低温溶融処理によるアスベスト無害化技術の開発

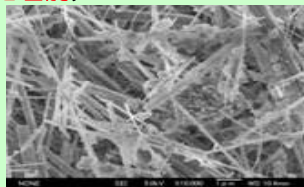
- － 1. 無害化装置の処理条件最適化 (実施体制: (株)ストリートデザイン・(国)東京工業大学)

開発目標値 : 無害化・分析においてアスベストとして検出されないこと

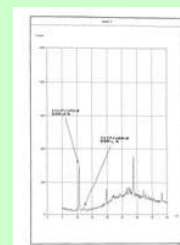
アスベスト含有吹付け材 (処理前)



処理前100倍



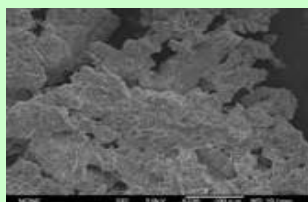
処理前10000倍



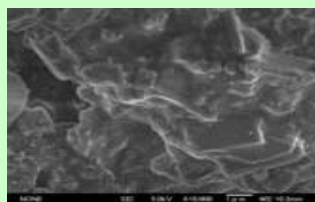
アスベスト含有量

クリソタイル3% ; クロシドライト2.4%含有

アスベスト含有吹付け材 (弊社薬剤添加処理 750℃ 加熱後)



処理後200倍



処理後10000倍

溶融による非繊維化を確認
 フォルステライトではない事も確認

アスベスト含有分析結果 **不検出**

事業原簿 Ⅲ-2-2-4

AEPS (Asbestos Eco Premium System)

株式会社ストリートデザイン

All right reserved copyright (C) Street Design Corp.

P.8/23

研究開発課題・目標・成果

②熱分解条件の最適化 (実施体制: (株)ストリートデザイン・(独)産業技術総合研究所)

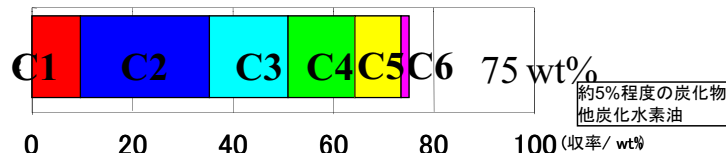
-1. 熱分解条件の最適化

開発目標値 : 熱分解率 90%、熱分解生成物の性状 LPガスないし灯油・ガソリン相当

-2. 回収生成ガスへのアスベスト混入防止

開発目標値 : 大気汚染防止法に準じ10本/L以下とする。

—プラスチック分(PE)分解生成ガス(LPガス相当)の収率・組成—



■ C1: メタン、■ C2: エチレン、エタン、■ C3: プロピレン、プロパン、■ C4: ブタン異性体、■ C5: ペンタン異性体、■ C6: ヘキサン異性体

熱分解条件最適化後生成ガス分析結果

- 熱分解率100%・生成ガス収率約95% (25%の生成油を再熱分解後)
- アスベスト含有無し 不検出 (<0.3f/L) 位相差・分散顕微鏡分析

研究開発課題・目標・成果

③排ガス中へのアスベスト及び有害ガスの混入防止

(実施体制: (株)ストリートデザイン・(国)東京工業大学)

-1. 排ガス中へのアスベスト及びPCB等有毒ガスの混入防止

開発目標値 : 大気汚染防止法に準じ10本/L 環境基準値のクリアー

熱風炉燃焼排ガス分析結果

JIS Z 8808 (排ガス中のダスト濃度の測定方法)等に準拠し排出ガス測定結果

- アスベスト含有無し 不検出 (<0.3f/L) 位相差・分散顕微鏡分析
- 排ガス組成 CO₂0.5%、O₂20.37%、N₂79.3%、CO9.7ppm
- 規制物質濃度 So_x <0.5ppm、No_x 11ppm、O₂18%、ダスト<0.01mg/m³N
- 環境基準値クリアー

研究開発課題・目標・成果

④無害化処理物の再資源化

(実施体制: ㈱ストリートデザイン・(独)産業技術総合研究所・(国)東京工業大学)

-1. 無害化処理後の残渣分の再資源化検討

開発目標値 : 再生率90%(炭化物・想定外混入物等を除く)

生成物成分分析(TEM、SEM、ICP定性)、XRD: 結晶構造分析、EXD: 半定量分析、ICP: 元素判定定性分析、土壌環境溶出試験(カドミウム、鉛、六価クロム、水銀、砒素、セレン、シアン)を実行

生成残渣: **危険成分不検出 再生率100%**

建材や精錬時に使用される低融点化添加剤など再利用(再資源化)可

生成ガス: **LPガスとして再生率約95%**

実証試験機では、その実証炉において熱分解生成ガスをエネルギーとして使用し、熱源とする熱風炉で27h稼働させ実証試験に使用。再資源ガスとして100%再利用(再資源化)可能 実用機においても供給エネルギーは、100%自給エネルギーで稼働できることを実証(点火時エネルギーを除く)

事業原簿 Ⅲ-2-2-4

AEPS (Asbestos Eco Premium System)

株式会社ストリートデザイン

All right reserved copyright (C) Street Design Corp.

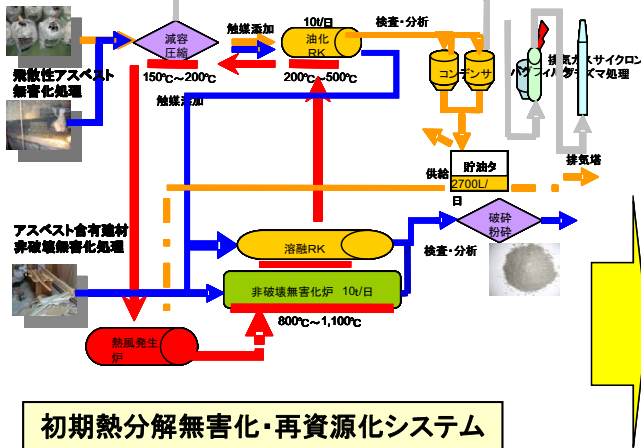
P.11/23

研究開発課題・目標・成果システムフィードバック

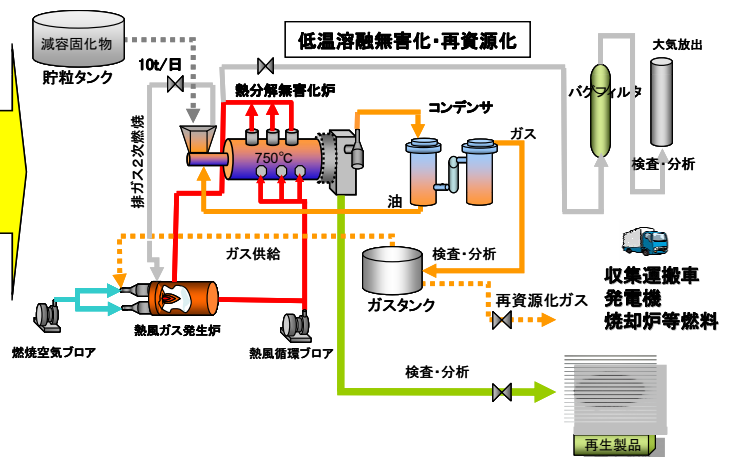
⑤実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定 (実施体制: ㈱ストリートデザイン)

-1. ①~④で開発した技術を元に、コスト及び効果を検討し、実用化に関する導入シナリオとビジネスモデルの策定

レベル1-2対応 0.1%以上含有品

PE、PP 養生シート系
油化再資源化処理

最適化後最終熱分解無害化・再資源化システム



事業原簿 Ⅲ-2-2-4

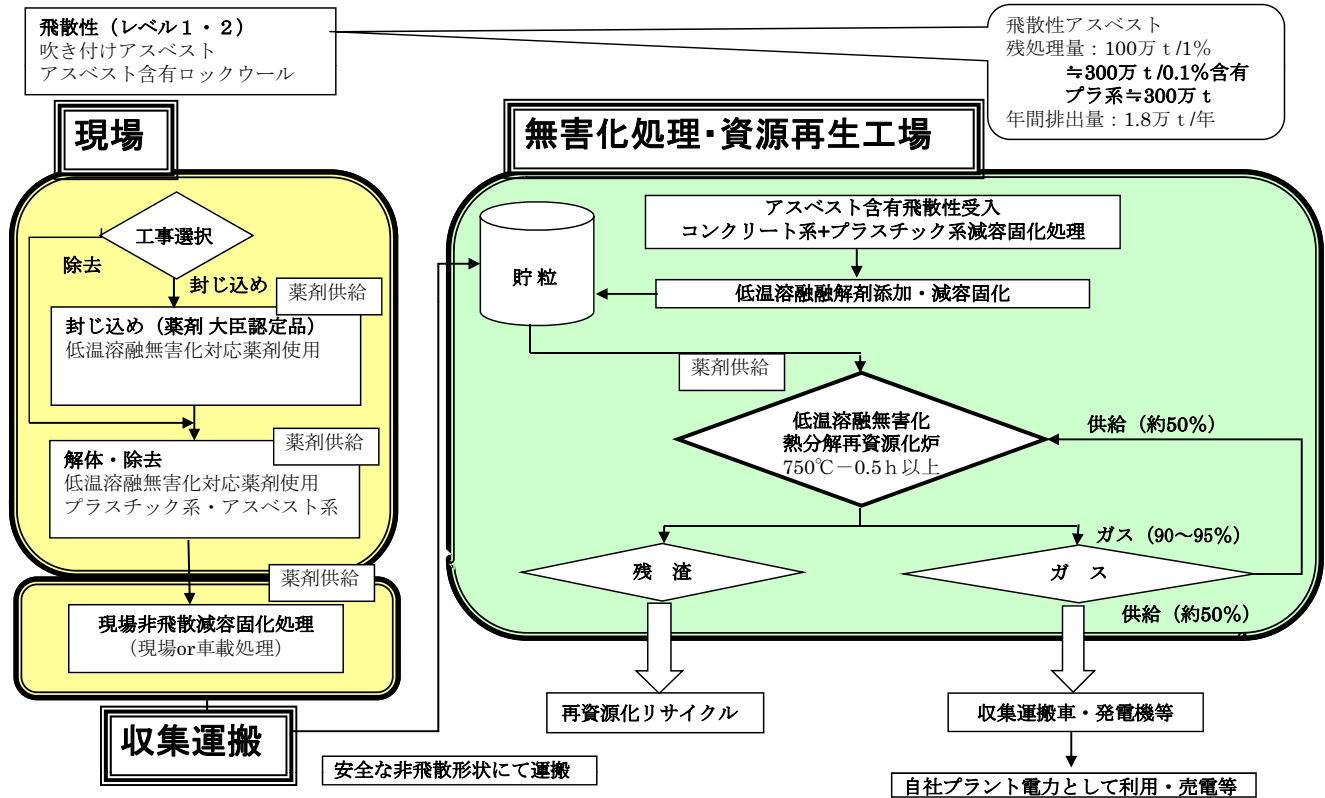
AEPS (Asbestos Eco Premium System)

株式会社ストリートデザイン

All right reserved copyright (C) Street Design Corp.

P.12/23

研究開発課題・目標・成果 ■ ビジネスモデルフロー



事業原簿 Ⅲ-2-2-4

AEPS (Asbestos Eco Premium System)

株式会社ストリートデザイン

All right reserved copyright (C) Street Design Corp.

P.13/23

研究開発課題・目標・成果・達成度

研究開発課題に対する達成度一覧

研究開発課題	開発目標	研究開発成果	達成度
①低温溶融処理によるアスベスト無害化技術の開発	無害化装置の処理条件最適化	無害化・分析でアスベストとして検出されないこと	◎
②熱分解条件の最適化	熱分解条件の最適化	熱分解率 90%、熱分解生成物の性状 LPガス相当	◎
	回収生成ガスへのアスベスト混入防止	大気汚染防止法に準じ 10本/L以下	◎
③排ガス中へのアスベスト及び有害ガスの混入防止	排ガス中へのアスベスト及びPCB等有毒ガスの混入防止	大気汚染防止法に準じ 10本/L 環境基準値のクリアー	◎
④無害化処理物の再資源化	無害化処理後残渣分の再資源化検討	再生率90%(炭化物・想定外混入物等を除く)	◎
⑤実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定	①~④で開発した技術を中心に、コスト及び効果を検討	実用化に関する導入シナリオとビジネスモデルの策定	◎
		低温無害化、省エネルギー稼働、再資源化、低コスト高収益事業の確立	◎

達成度(◎:達成、○:概ね達成、△:課題あるも1年内に達成見込み、×:問題あり)

事業原簿 Ⅲ-2-2-4

AEPS (Asbestos Eco Premium System)

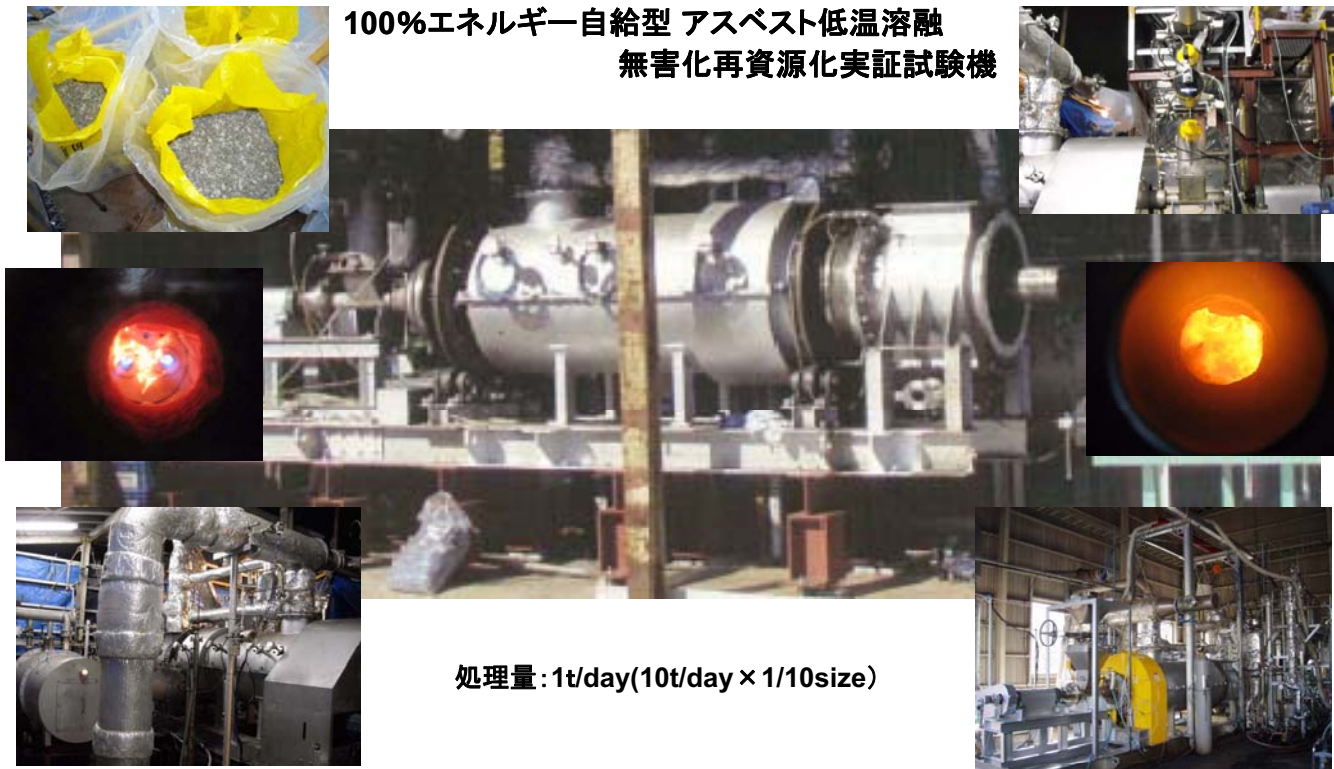
株式会社ストリートデザイン

All right reserved copyright (C) Street Design Corp.

P.14/23

■循環型熱処理プラントによる実証実験【環境省無害化認定実証試験】

100%エネルギー自給型 アスベスト低温溶融
無害化再資源化実証試験機



処理量: 1t/day(10t/day × 1/10size)

事業原簿 Ⅲ-2-2-4

AEPS (Asbestos **Eco** Premium System)

All right reserved copyright (C) Street Design Corp.

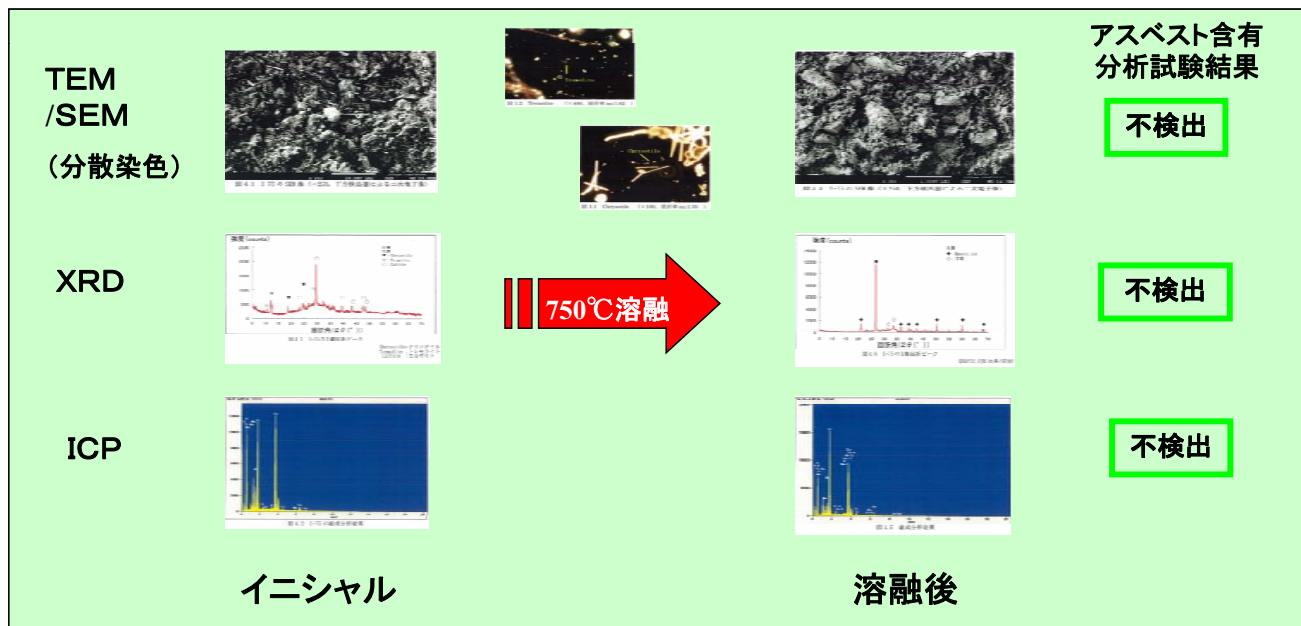
株式会社ストリートデザイン

P.15/23

【環境省無害化認定実証試験】アスベスト低温溶融無害化確認

無害化処理後残渣 アスベスト無害化確認分析結果

「環境省無害化認定公定法による」



事業原簿 Ⅲ-2-2-4

AEPS (Asbestos **Eco** Premium System)

All right reserved copyright (C) Street Design Corp.

株式会社ストリートデザイン

P.16/23

【環境省無害化認定実証試験】熱分解生成ガス・排ガス安全性確認

無害化分析結果

測定対象	項目	分析判定結果
燃焼排ガス (大気放出)	流速	19.0 m/s
	温度	174 ° C
	水分	2.0 %
	SOx	0.2 ppm
	NOx	2.0 ppm
	ダスト	<0.01mg/m ³ N
	酸素濃度	20 体積%
	石綿粉塵	不検出
生成再資源ガス	石綿粉塵	不検出

熱分解ガス生成量: 平均10.9m³N/h

生成ガス熱量: 平均373 MJ/h、

安全・再利用可能を確認

生成ガスの組成

成分名	分子式	含有率 (体積%)
水素	H ₂	26.0
メタン	CH ₄	25.4
一酸化炭素	CO	5.70
二酸化炭素	CO ₂	4.71
エチレン	C ₂ H ₄	21.4
エタン	C ₂ H ₆	3.30
アセチレン	C ₂ H ₂	0.30
プロピレン	C ₃ H ₆	3.13
プロパン	C ₃ H ₈	0.17
ノルマルブタン	n-C ₄ H ₁₀	0.02
ブテン+ブタジエン	C ₄ H ₈ , C ₄ H ₆	1.20
ベンゼン	C ₆ H ₆	1.82
トルエン	C ₇ H ₈	0.14
窒素	N ₂	0.36
その他炭化水素等	O ₂ , H ₂ O, C ₅	6.40

事業原簿 Ⅲ-2-2-4

AEPS (Asbestos Eco Premium System)

株式会社ストリートデザイン

All right reserved copyright (C) Street Design Corp.

P.17/23

【環境省廃石綿等無害化認定申請】

本データをまとめ2010年6月環境省無害化認定事前評価に提出
現在、環境省評価委員会にて評価中

現在、事業予定地(関東首都圏より100km圏内)環境アセス生活環境調査(4季)調査を終え
事業化準備中 1号機2012年稼働予定、2号機以降については、パートナー(協業)展開

海外展開も含めての展開を計画中

事業原簿 Ⅲ-2-2-4

AEPS (Asbestos Eco Premium System)

株式会社ストリートデザイン

All right reserved copyright (C) Street Design Corp.

P.18/23

■事業化の背景とポイント

これまでの飛散性アスベスト(レベル1・2)無害化処理対策

アスベスト含有建材 無害化: 1500℃以上の高温で燃焼または溶融の必要

アスベストを溶かすほどの高温にも耐えうる炉の製造・維持費は高く、環境負荷も大。

プラスチック製養生シート・防護服

廃棄物全体の約50%

アスベスト同様特別管理産業廃棄物

化石燃料消費量の削減、燃料コストおよびランニングコスト、受入れ価格および処理価格の削減、CO₂排出量の削減、メンテナンスコストの削減など問題点や課題。

アスベスト溶融無害化処理が可能な燃焼・溶融炉の数は全国でも少なく、必然的にアスベスト溶融無害化処理費が年々高くなり **事業としては採算が合わなくなっている現状。**

現在のアスベスト溶融無害化処理の問題点・解決課題

	埋立処理(現在の処理の約98%)	溶融処理(1500℃以上の処理)
処理費用	≒35,000円/m ³ (≒140,000円/t)	≒200,000円/m ³ (≒500,000円/t)
問題点	養生材が重量比で約半数を占める埋立処分場の容量の限界	既存技術では1,500℃以上の高温で溶融養生材は埋立処理
環境	アスベストの危険性は次世代に残る	CO ₂ 排出、化石燃料消費等環境への影響大

事業原簿 Ⅲ-2-2-4

AEPS (Asbestos Eco Premium System)

株式会社ストリートデザイン

All right reserved copyright (C) Street Design Corp.

P.19/23

■開発処理システムの特徴

省エネルギー・低コスト処理型のアスベスト無害化処理・再資源化システム

特徴 1: 低温溶融で無害化

特徴 2: プラスチック分を再エネルギー化

特徴 3: 自給燃料100%で稼働

飛散性アスベスト含有建材廃棄物と廃プラスチックを共処理。低温750℃という低温省エネルギーでアスベストを溶融無害化する技術とプラスチック熱分解ガス化技術でプラスチック分をLPガス相当に約95%再資源化。

1500℃溶融法と比較: 所要エネルギー 100%削減実現

750℃の低温溶融処理による非石綿化

+

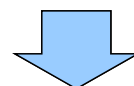
プラスチック分は熱分解によりガス燃料化

+

新たな化石燃料不要 さらに残燃料を

他エネルギーとして供給可能

省エネルギー&低コスト処理の
再資源化システムを構築



3R(リデュース・リユース・リサイクル)にもマッチ

事業原簿 Ⅲ-2-2-4

AEPS (Asbestos Eco Premium System)

株式会社ストリートデザイン

All right reserved copyright (C) Street Design Corp.

P.20/23

経済性試算例(当システム導入アスベスト無害化処理再資源化事業会社)

必要資金(概算)

土地建物造成等費用	200百万円
環境アセスメント	15百万円
設備製造費用	600百万円
運転資金等	50百万円
合計	865百万円

収支計算

溶融売上(埋立同金額)	420百万円
(+生成ガス資源収入)	222百万円
売上合計	642百万円
費用合計	256百万円
営業利益	193百万円
キャッシュ・フロー (税引後)	230百万円

キャッシュ・フローベースで約27%の収益性 投下資金は約3.8年で回収可能

※1:設備1システム(10t/日×25日/月×12ヶ月=3000t/年処理)

※2:溶融売上は、35,000円/m³(比重0.25で計算重量換算¥140,000/tで受入)

※3:生成ガスは、投入量×50%(プラ分)×収率95%×50%(自己使用燃料分除く)×312,722円/t(LPG料金)

※4:土地建物は、参考概算前提条件での採算性試算

事業原簿 Ⅲ-2-2-4

AEPS(Asbestos Eco Premium System)

株式会社ストリートデザイン

All right reserved copyright (C) Street Design Corp.

P.21/23

■事業化社会導入効果および波及効果

環境・安全

×

特許技術

=

社会貢献

・アスベスト・プラスチック同時低温溶融
無害化再資源化処理で埋立量削減

・限られた埋立て処分地の有効利用

・プラスチック分解生成ガスで自己燃料を

・100%自給エネルギーコスト“0”(リユース)

・新たな化石燃料使用抑制 (リデュース)

・投入プラの約95%を熱分解資源還元
(リサイクル)

特許・国際特許出願済

特願2006-025057

特願2006-134554

特願2007-061291

特願2009-82864

特願2009-255215

特願2010-45835

WO02008/111512A1(PCT)

論文 2007.11【土木学会論文集G】Vol63No.4,263-277

世界初/業界初 高収益事業型アスベスト無害化・再資源化システム

・CO2排出量の大幅削減

・低環境負荷3Rの実現
+省エネルギーで無害化処理

・低コスト無害化処理実現
(高付加価値事業性)

・安全、安心、低価格での
無害化処理実現

・次世代に害を残さず確実に
無害化処理

新聞雑誌記事掲載

建設通信新聞 建通新聞 環境新聞 イーコンテクチャー 建築設備と配管設備ほか

展示会

2007~2010APEXアスベスト展 2008~2010川崎国際環境展ほか

事業原簿 Ⅲ-2-2-4

AEPS(Asbestos Eco Premium System)

株式会社ストリートデザイン

All right reserved copyright (C) Street Design Corp.

P.22/23

■事業パートナーシップ

アスベスト低温溶融無害化再資源化

+

アスベスト処理ターゲット世界各国

形態	内容	利益	リスク負担
処理事業者	弊社より溶融設備を導入し、アスベスト無害化・再資源化処理事業	アスベスト等の処理による利益を獲得	処理事業者としての事業上のリスクを負担
共同事業	共同で事業遂行の資源を提供し、溶融設備を所有しアスベスト無害化・再資源化処理事業	アスベスト等の処理による利益を弊社と分配	処置事業者としての事業上のリスクを弊社と分担
資本参加	弊社に事業遂行に必要な資金を出資 無害化・再資源化事業は弊社	株主としての利益(配当、キャピタルゲイン)を獲得	株価の下落リスクを負担
M&A (子会社化)	弊社を子会社化、無害化・再資源化事業は直接弊社	連結会社としての利益を獲得 グループとしては事業主体	直接のリスクは弊社が負担するが、 グループとして事業上のリスクを負担
事業譲受	特許権、ノウハウ等を含む一切の権利を移管し、事業主体	当事業から生じる全ての利益を獲得 自由な事業展開が可能	当事業に伴う全てのリスクを負担

事業基盤

パートナー
民間企業
第3セクターなど
公的機関

×

ストリート
デザイン

アスベスト処理
関連技術

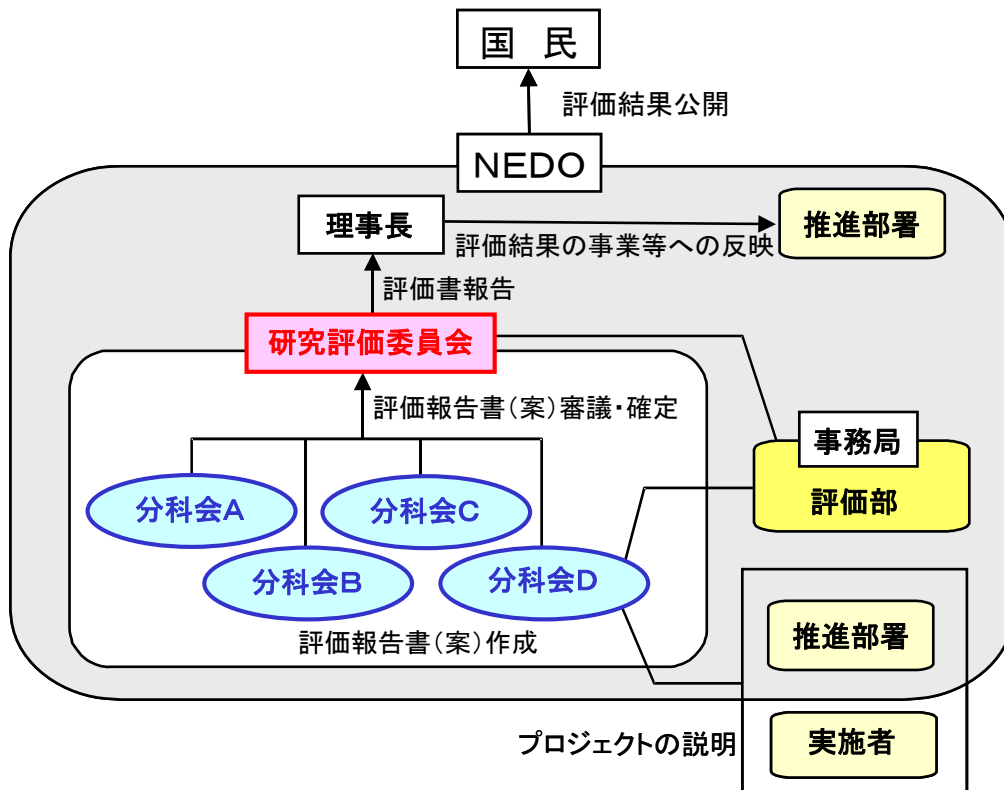
世界のアスベスト無害化再資源化処理事業へ

参考資料 1 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて研究評価を実施する。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）における研究評価の手順は、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において。

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
- 社会に対する説明責任を履行するとともに、
経済・社会ニーズを取り込む
- 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を
促進する

としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員選定に当たっては以下の事項に配慮して行う。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者
- ジャーナリスト

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、分科会委員名簿にある7名を選任した。

なお、本分科会の事務局については、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構研究評価広報部が担当した。

3. 評価対象

平成19年度に開始された「アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発」プロジェクトを評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び研究実施者からのヒアリングと、それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価及び実施者側等との議論等により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、研究実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、研究評価委員会による『各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格、中間・事後評価の別等に応じて、各分科会において判断すべきものである。』との考え方に従い、第1回分科会において、事務局が、研究評価委員会により示された「標準的評価項目・評価基準」（参考資料1-7頁参照）をもとに改定案を提示し、承認されたものである。

プロジェクト全体に係わる評価においては、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義や実用化への見通し等について評価した。各個別テーマに係る評価については、主にその目標に対する達成度等について評価した。

評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 「環境安心イノベーションプログラム」の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

(2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。

- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(4)研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化、事業化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化、事業化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

(5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。

(4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

4. 実用化、事業化の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。

(2)事業化までのシナリオ

- ・ コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

(3)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

標準的評価項目・評価基準（事後評価）

2010. 3. 26

【事後評価 標準的評価項目・評価基準の位置付け（基本的考え方）】

標準的評価項目・評価基準は、第25回研究評価委員会（平成22年3月26日付）において以下のとおり定められている。（本文中の記載例による1…、2…、3…、4…が標準的評価項目、それぞれの項目中の(1)…、(2)…が標準的評価基準、それぞれの基準中の…が視点）

ただし、これらの標準的評価項目・評価基準は、研究開発プロジェクトの事後評価における標準的な評価の視点であり、各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格等に応じて、各分科会において判断すべきものである。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 特定の施策（プログラム）、制度の下で実施する事業の場合、当該施策・制度の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

(2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法人を經由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(4) 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化、事業化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化、事業化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

(5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確

になっているか。

(2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

4. 実用化、事業化の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

(2)事業化までのシナリオ

- ・ NEDO後継プロジェクト、NEDO実用化助成、企業内研究等、プロジェクト終了後の事業化までの道筋は明確か。
- ・ 市場の規模や成長性、コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っている

か。

(3)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

※基礎的・基盤的研究及び知的基盤・標準整備等の研究開発の場合は、以下の項目・基準による。

*基礎的・基盤的研究開発の場合

2. 研究開発マネジメントについて

(1)研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2)研究開発計画の妥当性

- ・目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(4)研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

(5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。（※）
（※事後評価前倒し実施の場合は、「成果は目標値をクリアする見込みか。」）
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

4. 実用化の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 実用化イメージ・出口イメージが明確になっているか。
- ・ 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

(2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

* 知的基盤・標準整備等の研究開発の場合

2. 研究開発マネジメントについて

(1)研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。

- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(4)研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

(5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。（※）
（※事後評価前倒し実施の場合は、「成果は目標値をクリアする見込みか。」）
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は公開性が確保されているか。

(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 研究内容に新規性がある場合、知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。

- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

4. 実用化の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 整備した知的基盤についての利用は実際にあるか、その見通しが得られているか。
- ・ 公共財として知的基盤を供給、維持するための体制は整備されているか、その見込みはあるか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。
- ・ J I S化、標準整備に向けた見通しが得られているか。注) 国内標準に限る
- ・ 一般向け広報は積極的になされているか。

(2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

参考資料 2 評価に係る被評価者意見

研究評価委員会（分科会）は、評価結果を確定するにあたり、あらかじめ当該実施者に対して評価結果を示し、その内容が、事実関係から正確性を欠くなどの意見がある場合に、補足説明、反論などの意見を求めた。研究評価委員会（分科会）では、意見があったものに対し、必要に応じて評価結果を修正の上、最終的な評価結果を確定した。

評価結果に対する被評価者意見は全て反映された。

本研究評価委員会報告は、独立行政法人新エネルギー・産業技術
総合開発機構（NEDO 技術開発機構）評価部が委員会の事務局
として編集しています。

平成23年3月

NEDO 技術開発機構

評価部

部長 竹下 満

主幹 寺門 守

担当 梶田 保之

* 研究評価委員会に関する情報は NEDO 技術開発機構のホームページに
掲載しています。

(<http://www.nedo.go.jp/iinkai/kenkyuu/index.html>)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミュージア川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5161 FAX 044-520-5162