

「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

実現のための要求性能

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

要求性能

作業項目

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	
後処理が容易	③ 操作
簡単に操作できる	
操作の手間が少ない	
遠隔操作	④ 準備・片付け
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

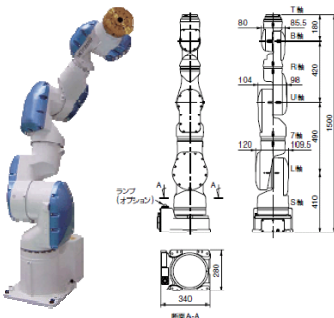
要求性能

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

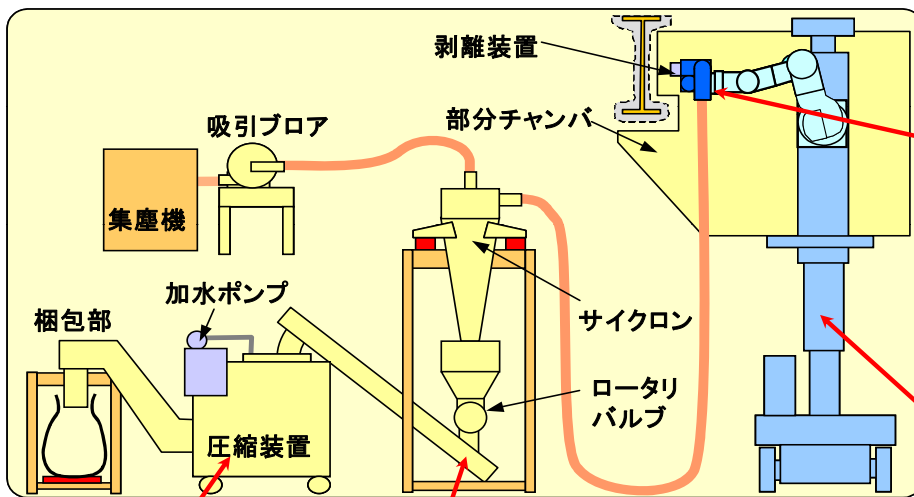
評価項目	回収方法	
	掻き落とし	切削吸引
飛散	×	○
安全性	×	○
作業効率	×	○
評価	×	○

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

■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

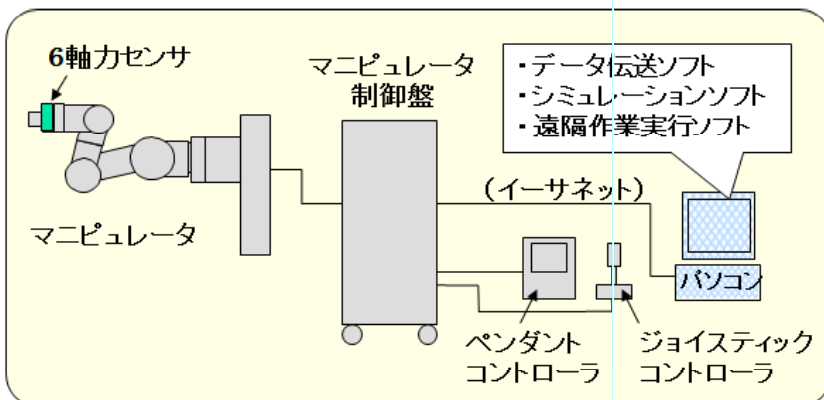
達成度(◎:達成、○:概ね達成、△:課題あるも1年内に達成見込み、×:問題あり)

■7軸多関節マニピュレータの適用

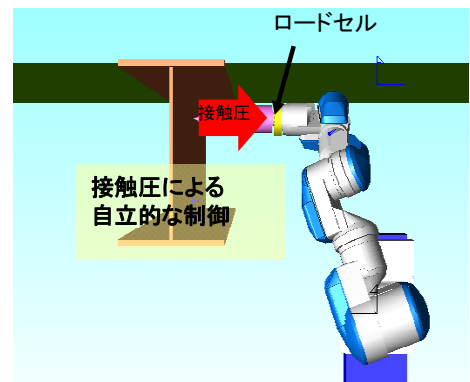
- 堅牢で信頼性の高い産業用ロボット
- 狭い場所で複雑な剥離作業が可能
- 力制御による移動位置誤差の吸収、スムーズな剥離

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



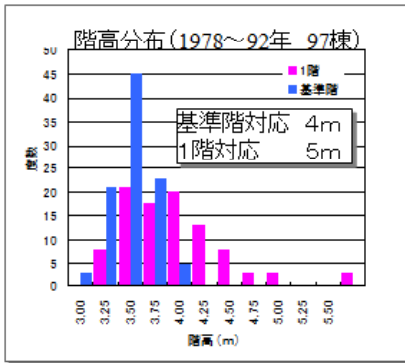
マニピュレータ制御システム概要



力制御の概要

■昇降台車

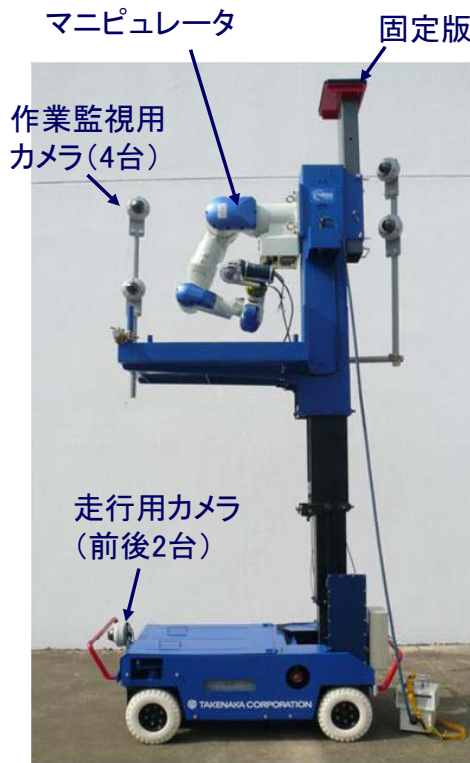
十分な作業範囲



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

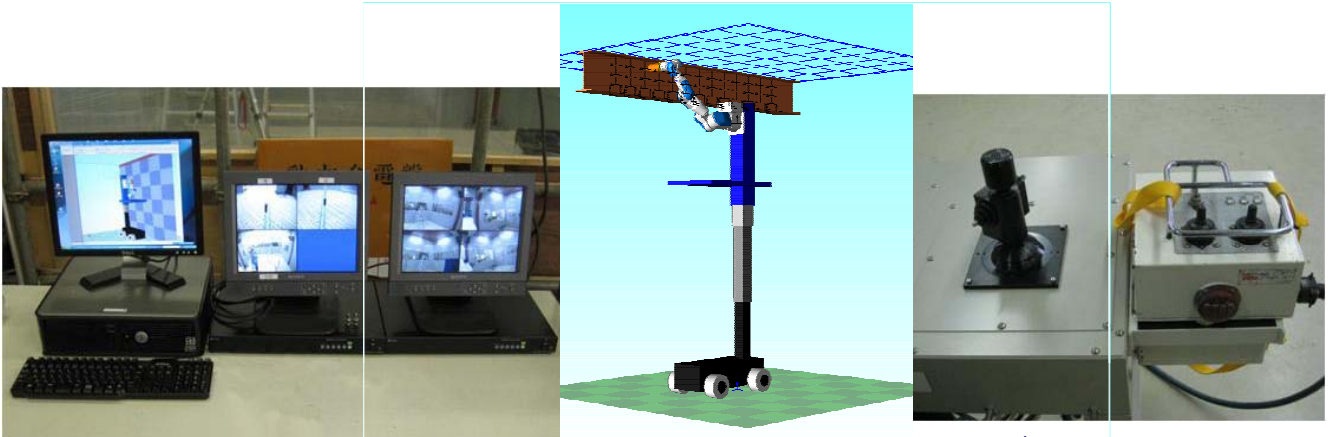
ロボットの特性を生かした自動化システムの開発

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

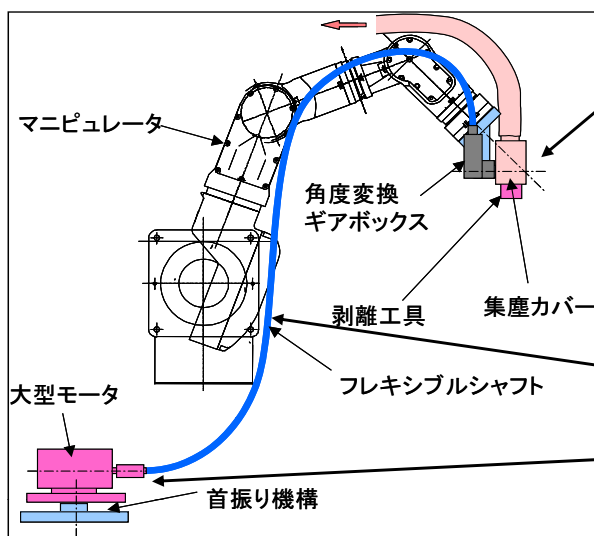
■ 剥離装置の開発

- 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

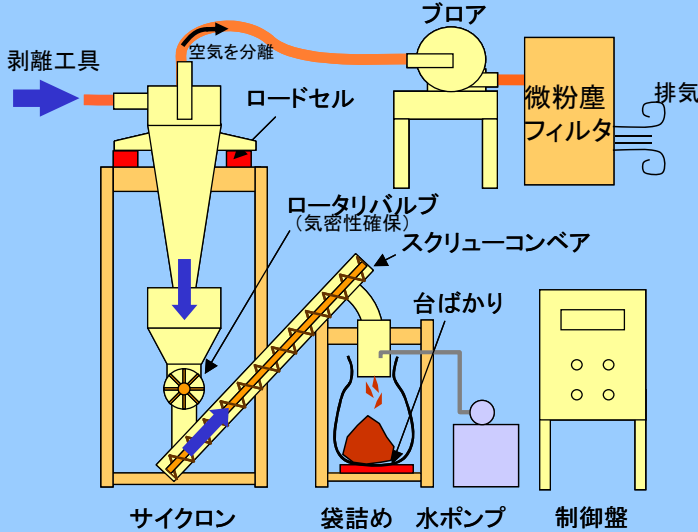
採用技術

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

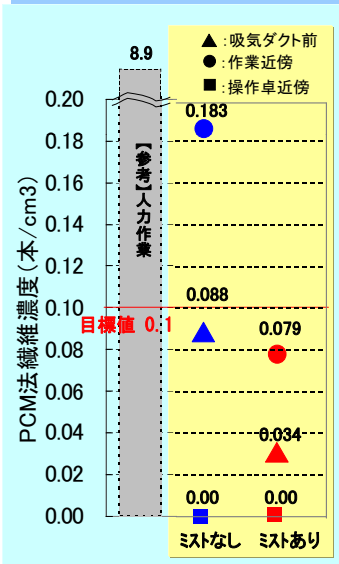
セメント固化袋詰め(2重袋)

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



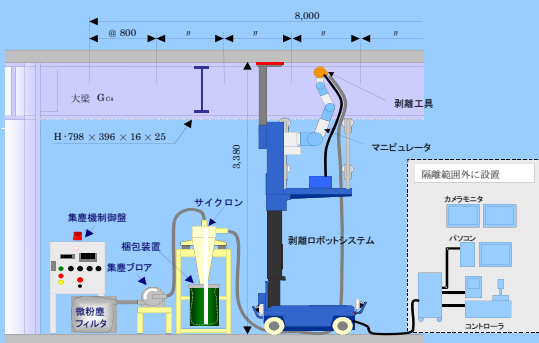
剥離後の状況

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



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



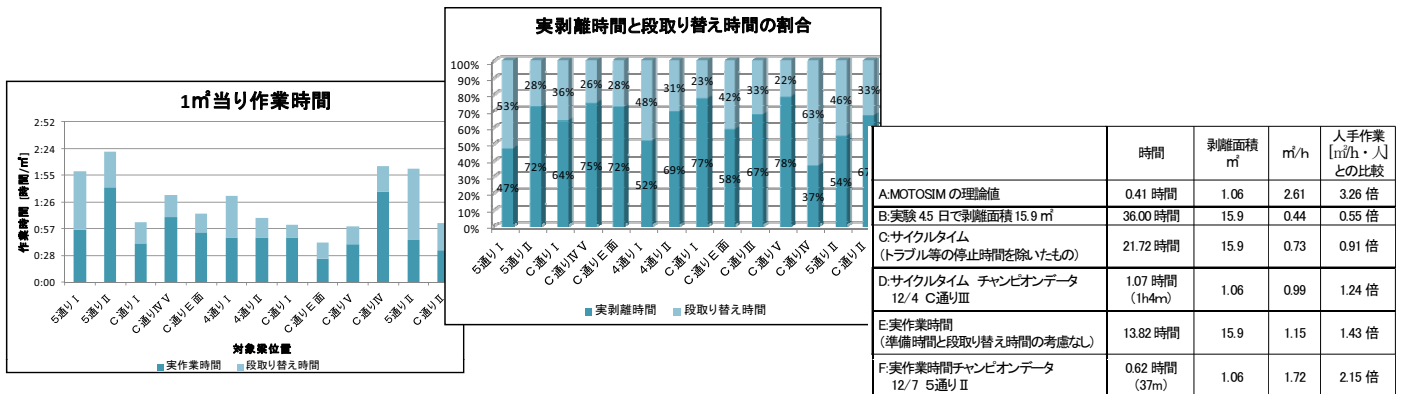
鉄骨全体概要

■ 実現場における実証実験結果

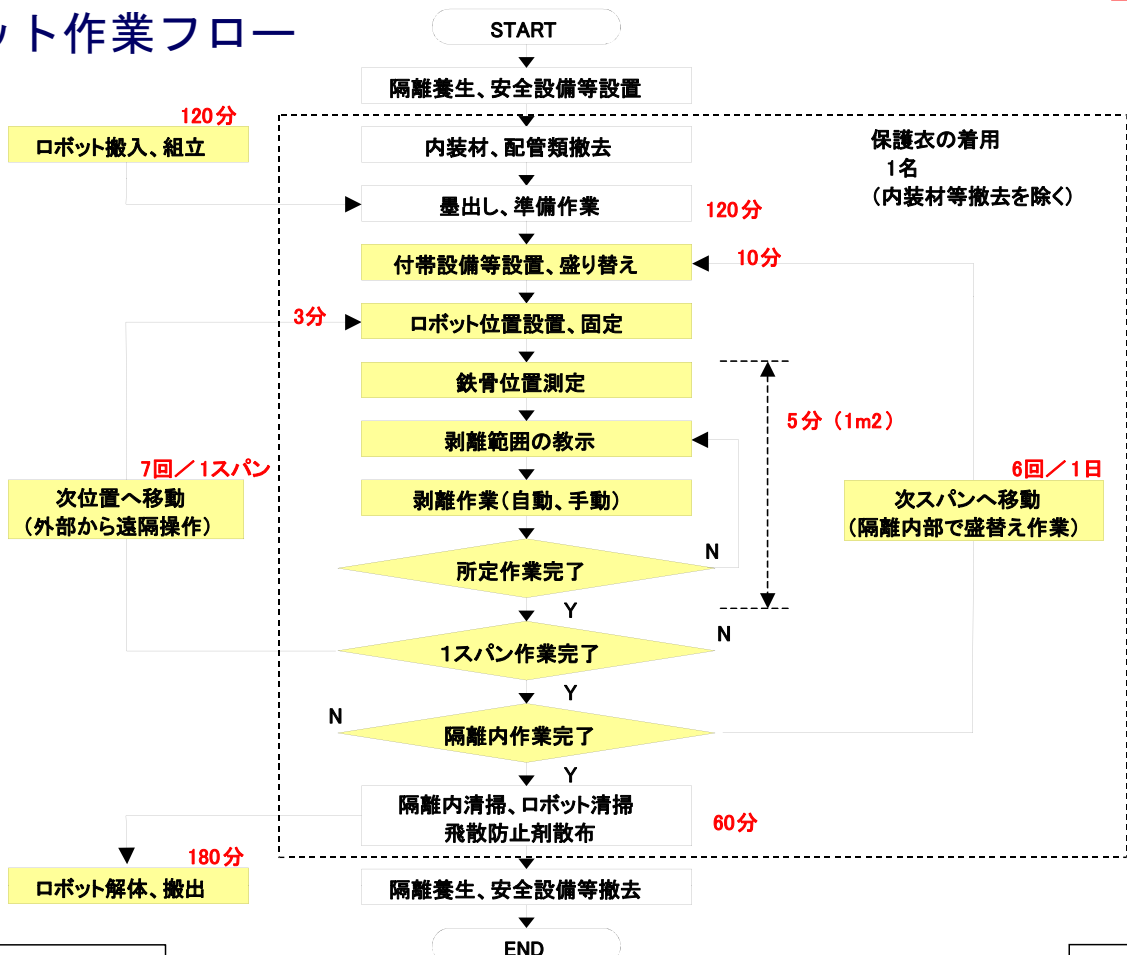
押付力不足や部品の破損等のいくつかのトラブルが発生したが、その都度対処することで大きな問題や粉塵等を生じることなく、ほぼ予定通り実施できた

- ・ 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】

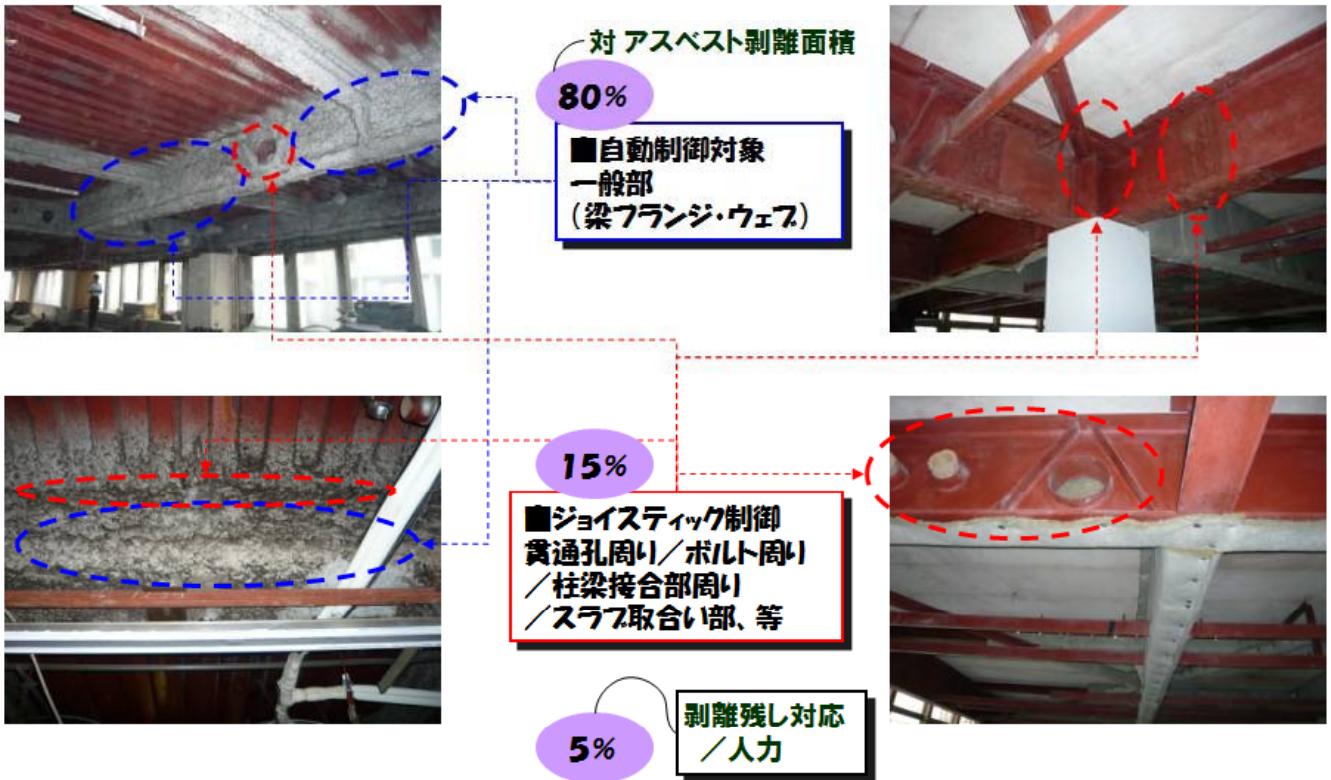


■ ロボット作業フロー



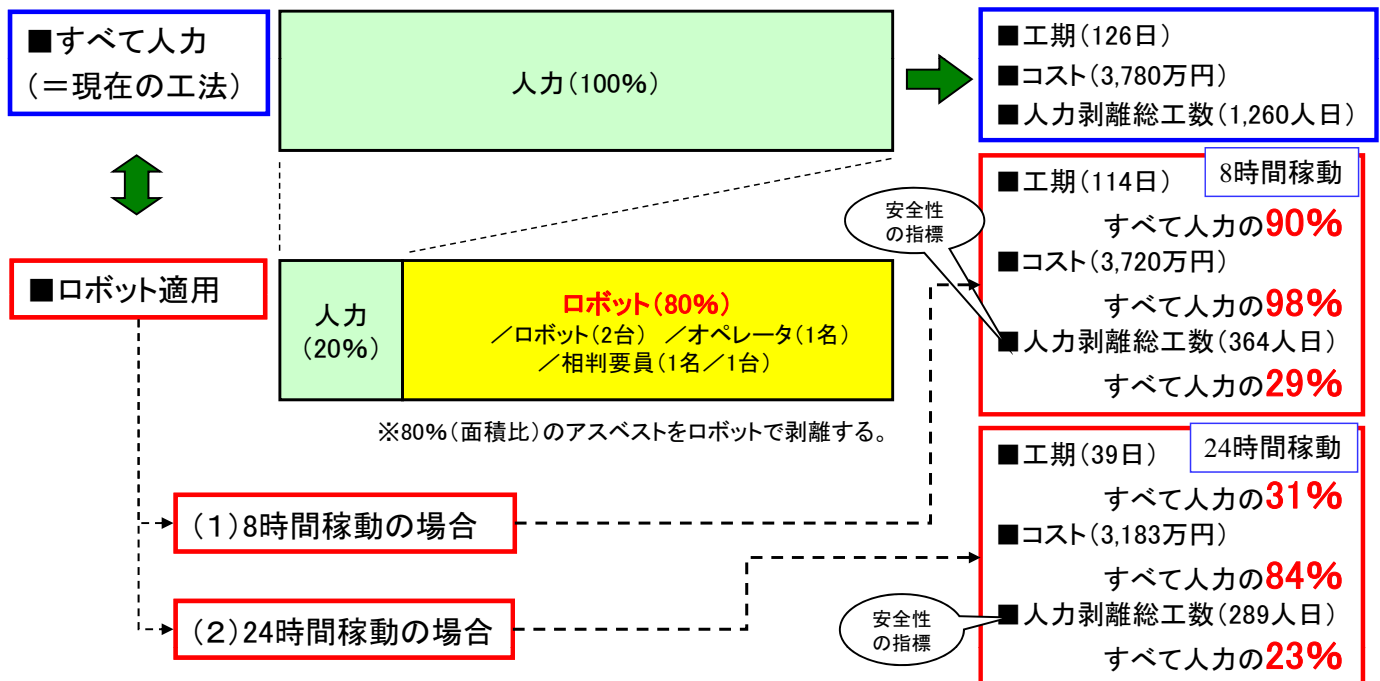
剥離対象部位

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)

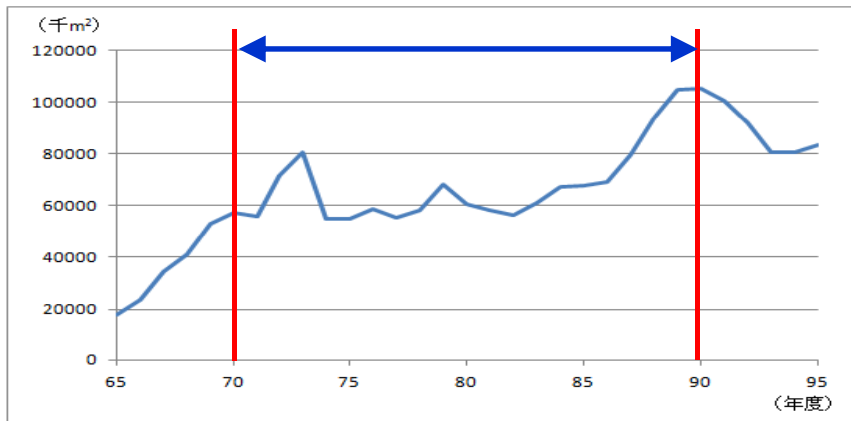
■モデル現場の設定 延べ床 約15,000 m ² 階数/階高 地上6階 アスベスト被覆面積 約 12,600m ² (鉄骨梁)	■剥離効率の設定 人力: 10m ² /人・日 ロボット(通常): 45m ² /台・日 ロボット(24時間稼働): 135m ² /台・日	■単価の設定 人件費(昼間): 3万円/人・日 人件費(夜間): 6万円/人・日 ロボット(通常): 10万円/台・日 ロボット(24時間): 25万円/台・日
--	---	---



■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: $70万m^2 \times 1.25^* \times 2万円/m^2 =$ **175億円/年**

* 耐火被覆施工面積換算係数



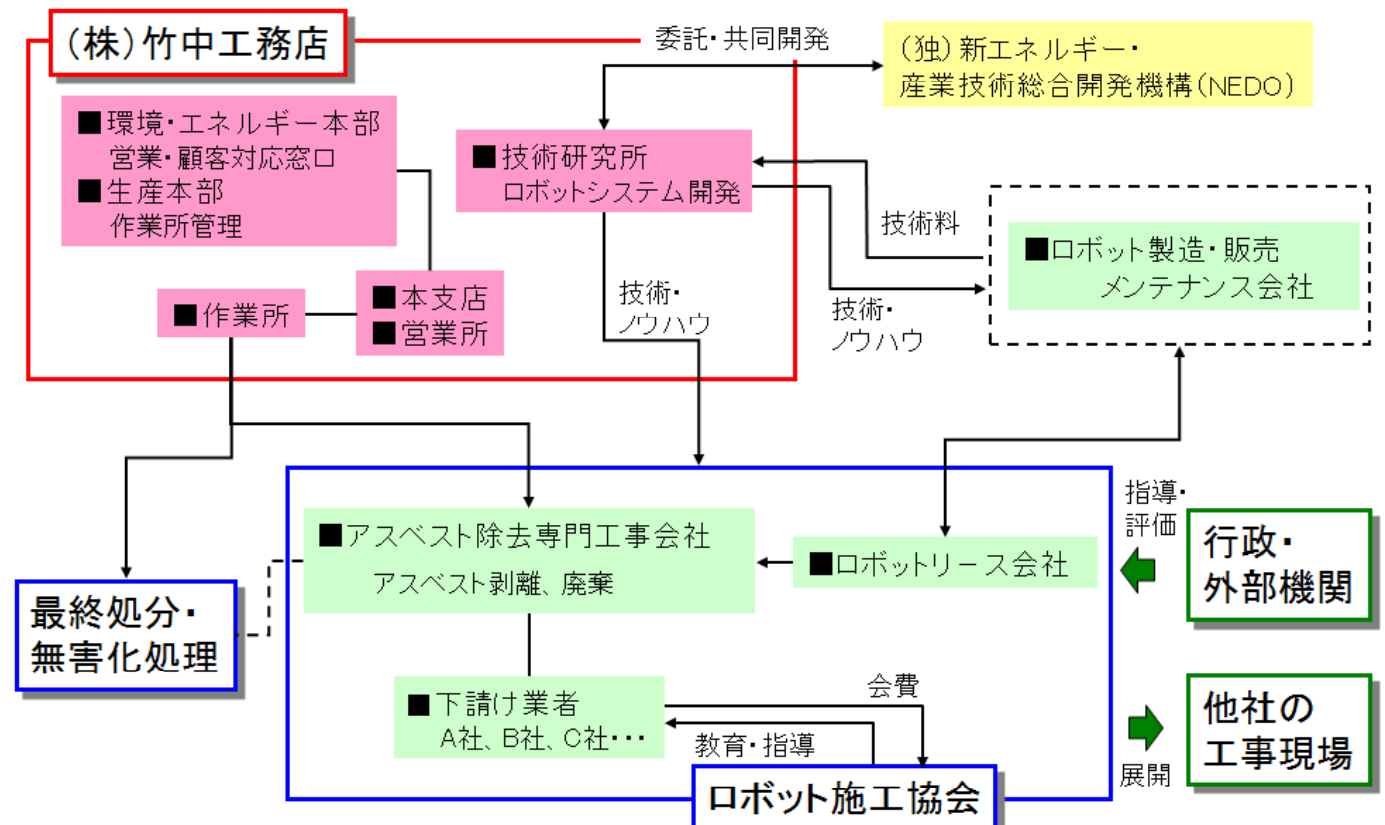
鉄骨造建物着工延床面積

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）