

煙突除染ロボット「ペンタクロス」による煙突解体工法

谷 雄一・百瀬泰彦・杉野孝行

焼却施設の煙突解体工事において環境汚染がなく作業者に安全な煙突解体工法の開発に取り組んだ結果、遠隔操作ロボットによる煙突除染工法を開発し、施工を行った。

煙突除染ロボット「ペンタクロス」とは、ダイオキシン類に汚染された煙突内の耐火れんがや煙突躯体内壁の汚染部を除去し、れんがライニングを解体除去する遠隔操作ロボットである。ロボットは煙突の規模に応じ2機種を製作し施工に適用した。本報ではロボットの機能、施工適用状況、工法の効果などについて述べる。

キーワード：焼却施設、煙突、除染、解体、遠隔操作、ロボット、ダイオキシン

1. はじめに

1999年7月公布の「ダイオキシン類対策特別措置法」などを契機として、廃棄物焼却施設等の解体工事は厳しい管理のもとで施工することが必要となってきた。このような中、ダイオキシン類に汚染された環境において、作業従事者に安全で周辺環境に影響の少ない施工方法として、筆者らは煙突の解体工事にむけた遠隔操作ロボットによる煙突除染工法を開発し、実工事への適用を行った。

以下、施工システムおよびロボットの概要、施工事例などについて報告する。

2. 施工システムの概要

(1) 煙突解体フロー

本煙突解体工法は、汚染部を先行して除去した後、煙突躯体を在来の工法で解体するという作業フローである。このなかで、汚染の著しい煙突内面の汚染部除去を遠隔操作ロボットにて行う事とした(図-1)。

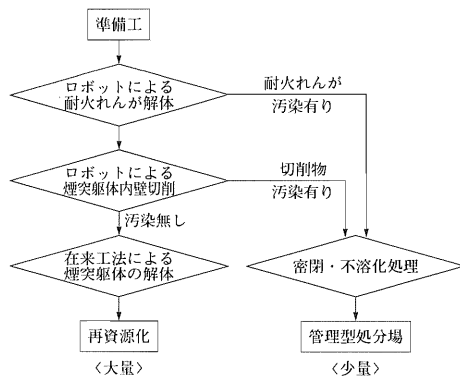


図-1 煙突解体作業フロー

(2) 適用煙突の規模

解体が計画されている焼却施設の煙突規模を調査し

た結果、煙突頂部内径は千差万別であると共に、通常RC造の煙突は頂部内径に対し底部内径は2倍前後であることがわかった。したがって適用する頂部内径に幅をもたせた場合、ロボットの作業適用範囲の最小と最大の比は数倍となる。

これらを勘案し、比較的件数が多いと考えられる頂部内径800mmから1,800mm程度の範囲に対し、2機種の大きさのロボットを計画した。写真-1に1号機を示す。



写真-1 煙突除染ロボット(1号機)

3. 施工方法

ロボット1号機と2号機では除染方式が違うため、施工方法をそれぞれについて述べる。

(1) 1号機(切削方式)の施工方法

頂部内径の範囲の中で大きい方を対象とした1号機では、最初に煙突内のれんが解体を行う。解体したれんがは煙突底部に落下、集積され、適宜小型重機にて

搬出する。

次に煙突駆体内壁汚染部の切削除去作業を行う。

施工中は粉塵抑制のため煙突内部に散水するとともに、煙突外部への粉塵飛散を防ぐために、集塵機により煙突内部の吸引排気を行っている（図-2）。

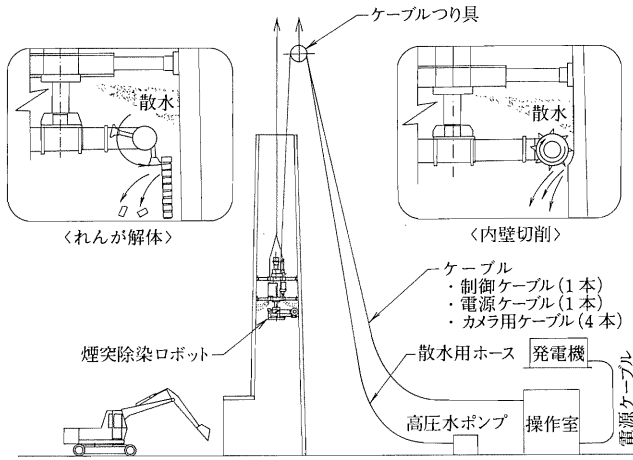


図-2 1号機施工概念（切削方式）

(2) 2号機（プラスト方式）の施工方法

小口径を対象とした2号機の施工手順も基本的に同様であるが、れんが解体に先立ち、れんが表面の除染を行う。

除染方法としてバキュームプラスト方式を応用した場合の2号機施工概念を図-3に示す。

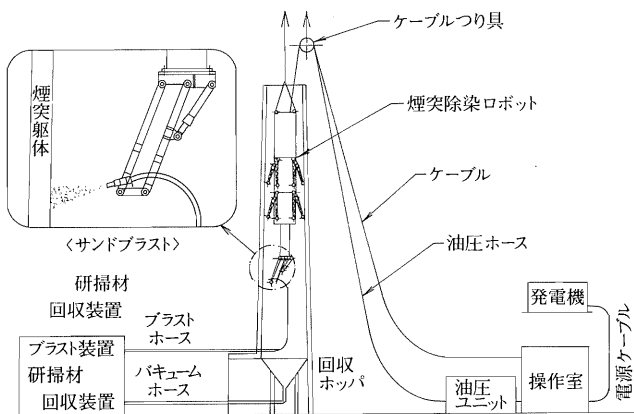


図-3 2号機施工概念（バキュームプラスト方式）

このプラスト方式では煙突底部にホップを設け、研掃材と除去汚染物の吸引回収を行う。さらにバキュームプラスト装置にて汚染物と研掃材に分別し、研掃材を再利用するため廃棄物の発生が少ない。

(3) 運転操作方法

煙突除染ロボットは1号機、2号機とも有線方式にて遠隔操作される。

ロボットの作業状態は直接見ることができないため、必要な管理計器と4台のテレビカメラにて監視しながら運転操作を行っている。

図-4に2号機の運転操作系統図を示す。

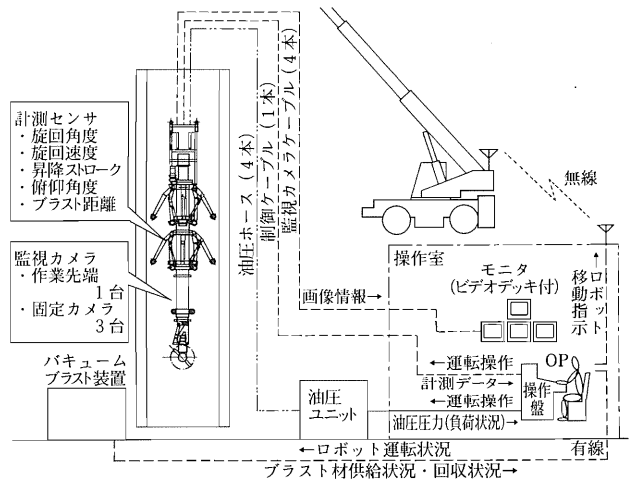


図-4 運転操作系統図（2号機）

4. ロボットの機能

ロボットは煙突内の汚染除去（除染）とれんが解体を行うため、3つの主要な機能を有する。以下これらの機能について説明する。

(1) れんが解体機能

RC造の煙突ではほとんどの場合内壁にれんががライニングされているが、この解体については適当な既存装置の例がなく、実験により方式を決めた。

選定した方式は、打撃による衝撃をロボット本体に伝えないために回転する円盤に自由に振れるハンマアームを2本取付けたものであり、上方からのハンマ振降しと、れんが側面への打撃との併用により、能率よくれんが解体を行う事ができる。

図-5に選定したハンマ形状を示す。

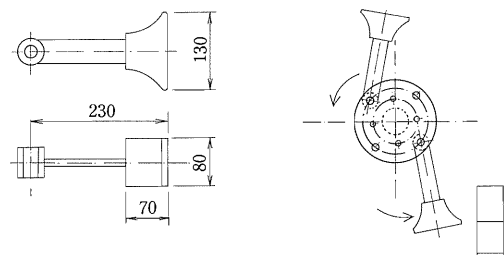


図-5 選定ハンマの形状

(2) 汚染除去機能

前述のように除染方式は1号機と2号機では別の方法となっている。以下それぞれの方式について述べる。

大径化・高速化対応型の 深層混合処理工法の開発

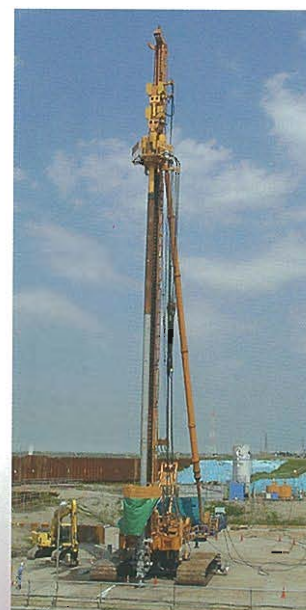
—進化したCI-CMC工法—



↑高さ制限下・狭隘地用小型機械
(翼径1.2m、貫入深度11m伸縮式)



↑大量施工用機械
(翼径1.6m×2軸、
貫入深度28m)



↑長尺施工用機械
(翼径1.6m、貫入深度48m継打)



攪拌翼(翼径1.2m×2軸、エジェクター吐出方式) ↑



↑改良体出来形(翼径1.6m×2軸)

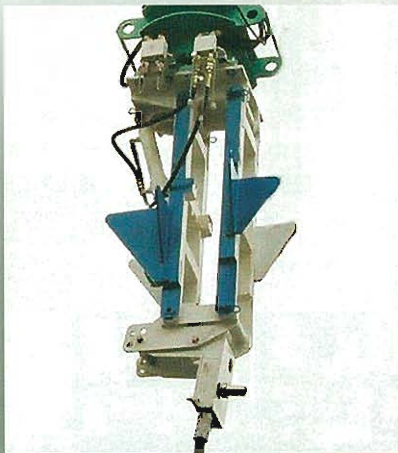
煙突除染ロボット 「ペンタクローズ」による 煙突解体工法



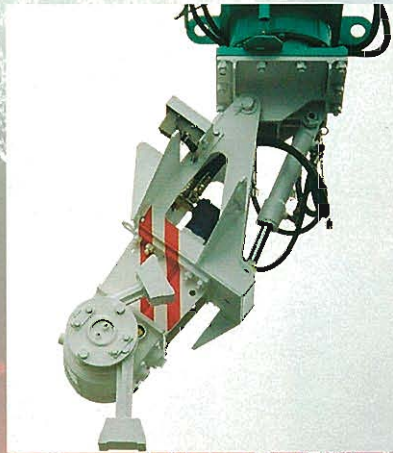
↑1号機による頂部施工状況



⇩切削方式除染装置(1号機)



⇩ブラスト方式除染装置(2号機)



⇩れんが解体装置(2号機)



⇩施工全景(2号機)

↓施工状況(1号機操作室)



⇩頂部ロボット投入状況(2号機)

(a) 切削方式 (1号機)

1号機の除染方式は、大阪府能勢町のダイオキシンばく露事故直後緊急対策として策定された厚生労働省「基発 561 の 2」¹⁾などに準じて計画し、切削方式とした。

機構は、左右いずれの水平旋回方向でも切削が可能で切削反力が水平旋回に影響しにくい垂直回転ツインヘッドカッタを採用した。

(b) ブラスト方式 (2号機)

2号機では、「対策要綱 (基発 401 の 2)」²⁾などにより解体作業に対する指導が徐々に明確化したこともあり、小型化に適したブラスト方式を採用した。

また煙突内部は縦に長い単純形状の閉鎖空間のため、煙突底部で汚染物とブラスト材 (研掃材) の回収がしやすい。このため2号機は研掃材の再利用が図れるバキュームブラスト方式を除染方式として使用した。

除染方式はこの他に、施工条件に応じ高圧水洗浄や各種のブラスト方式も採用可能である。また1号機もブラスト方式への改造を計画中である。

(c) 位置保持 (固定) 機能

1号機および2号機ともロボットを煙突内壁に固定するグリッパを上下2段装備しており、れんが解体および除染作業時の反力を確保し、ロボットの位置を保持する。

ただし、煙突内の作業においては作業反力を煙突内壁から得られるが、頂部の作業の際はこれが出来ない。

表-1 1号機の仕様

寸法	φ1,250 mm×h 4,500 mm (グリッパ縮時)	
重量	約 4,000 kg	
把持装置 (グリッパ)	適用範囲 設置数	φ1,250 mm~φ2,650 mm 上下2段×3アーム
作業装置		
・切削ドラム	ドラム外形 カッタ 切削能力 切削深さ	φ350 mm×幅 480 mm 9列-16ビット×2ヘッド 80 rpm (max.)×280 kg·m 0~30 mm
・打撃ハンマ	最大打撃軌跡 ハンマ重量 ハンマ数 ハンマ形状	φ640 mm 5 kg (先端) 2本×2列 フリースイング
・旋回装置	旋回速度 駆動方式	0.5~1.5 rpm 油圧駆動
・伸縮装置	伸縮ストローク 伸縮速度	720 mm 0~1,100 mm/min
・昇降装置	昇降ストローク 昇降速度	500 mm 0~500 mm/min
付属装置	油圧ユニット 監視用 TV カメラ 散水ノズル	1式 4基 4箇所
操作方式	有線遠隔操作	

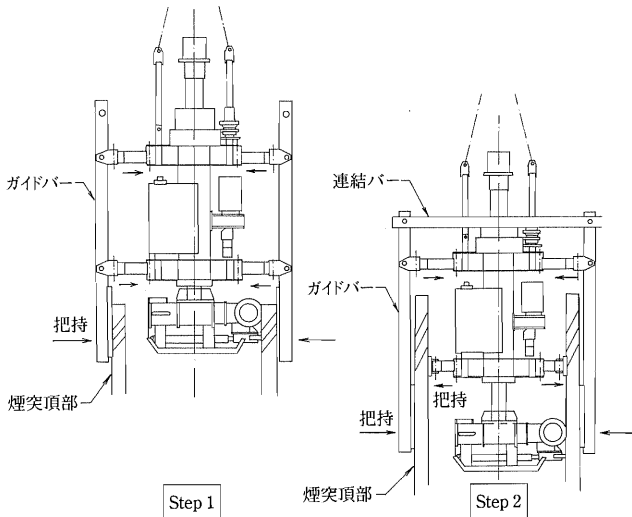


図-6 頂部作業の方法 (1号機)



写真-2 頂部作業用バー取付け状態 (2号機)

表-2 2号機の仕様

寸法	φ800 mm×h 6,400 mm (グリッパ縮時)	
重量	約 2,500 kg	
把持装置 (グリッパ)	適用範囲 設置数	φ800 mm~φ2,500 mm 上下2段×4アーム
作業装置		
・ブラスト装置	ノズル取付け数	2ノズル
・打撃ハンマ	最大打撃軌跡 ハンマ重量 ハンマ数 ハンマ形状	φ640 mm 5 kg (先端) 2本×1列 フリースイング
・旋回装置	旋回速度 駆動方式	0.6~1.5 rpm 油圧駆動
・俯仰装置	俯仰角度 駆動方式	約 60° 油圧駆動
・昇降装置	伸縮ストローク 昇降速度 駆動方式	500 mm max. 500 mm/min 油圧駆動
付属装置 (本体装備)	監視用 TV カメラ 監視用照明装置 超音波距離計	4基 4個 1式
油圧ユニット	別途地上設置	7.5 kW
操作方式	有線遠隔操作	

このためグリッパ先端にガイドバーを取付け、煙突頂部を外から把持する方法を採用した。図-6に1号機における作業方法を示す。

これにより、煙突上端からすべての作業が可能となった。写真-2にこの装置を取付けた2号機を示す。

5. ロボット仕様

ロボット1号機および2号機の仕様を表-1及び

表-2に、ロボット外形図を図-7および図-8に示す。

6. 施工状況

(1) 1号機

ロボット1号機は平成13年2月、広島県呉市においてごみ処理施設解体工事に適用した。以下施工状況を述べる。

(a) 工事概要

RC造で高さ36mおよび37mの2基の煙突を解体した。

頂部躯体内径は1号が1,350mm、2号が1,650mm、底部れんが部内径は1号が2,030mm、2号が2,000mmであり、地上から高さ12m程度までれんがライニングがあった。

また、煙突の除染から解体まで無足場で施工した。

(b) 施工設備

ロボット工法の主要設備を表-3に、図-9に1号

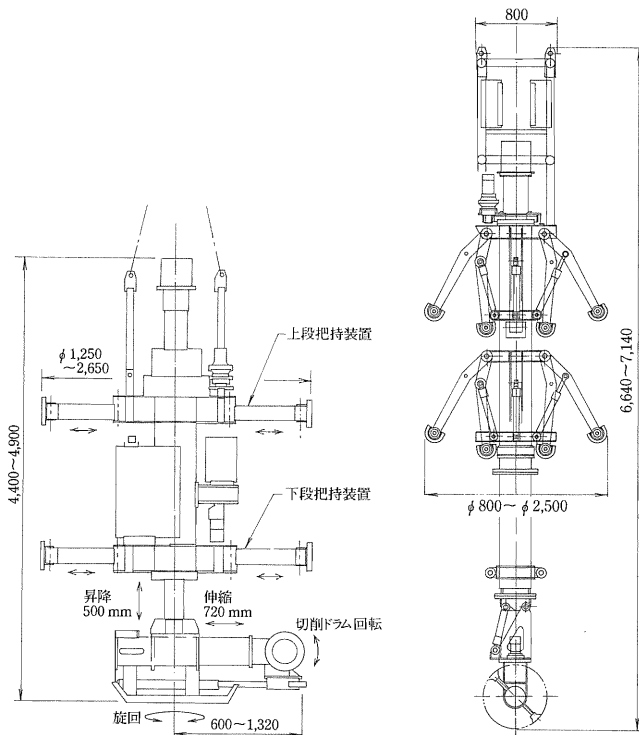


図-7 1号機外形図

図-8 2号機外形図

表-3 施工設備

設備名称	仕様・能力	台数	用途、その他
除染ロボット	φ1,250~2,650mm	1	遠隔操作盤、ケーブルガイド等一式
監視装置	ITV	4	ロボットに装備
移動式クレーン	100tレッカ	1	ロボット本体吊上げ
高所作業車	40m級(代用) 45tラフタ	1	ロボット誘導・監視、 段取替え補助
エンジン発電機	75kVA, 200V	1	作業動力源
高圧洗浄機	40kg/cm ² ×80L/min, 3.7kW	1	作業部散水、ロボット 洗浄
コンテナハウス	5.4m×2.5m	1	操作室

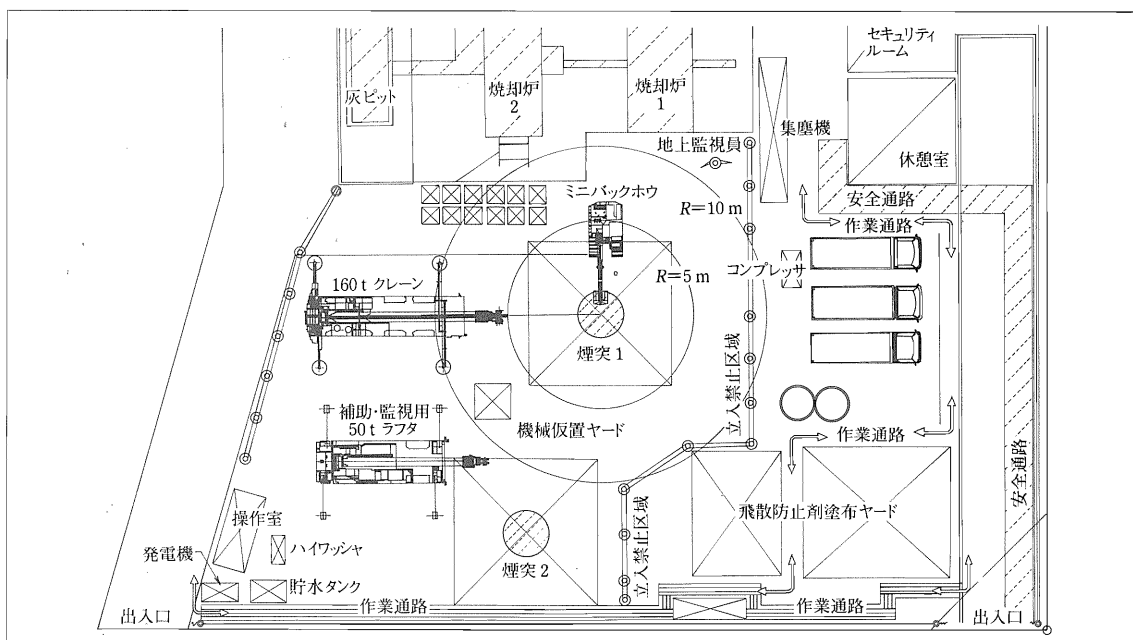


図-9 施工設備配置

煙突施工時の設備配置を示す。ただし除染後の躯体の解体を行う破碎機などの設備は割愛した。

(c) 施工結果

施工の結果、ロボット搬入から煙突除染、ロボット搬出までの工程は正味14日間であった。

除染後施工した重機および破碎機による解体を合わせ、煙突2本の解体の全工程は22日となった。

(2) 2号機

2号機は平成14年12月、兵庫県東浦町ごみ処理施設解体撤去工事に導入した。

(a) 工事概要

煙突の規模はRC造で高さ30m、内径は頂部躯体内径約1,200mm、底部れんが内径約1,450mmで下から15mまでれんがライニングがあった。

(b) 施工概要

本工事は現在煙突以外の施設解体を施工中であり、詳しい施工状況は割愛する。

施工は、全面足場を組んだ後、50tラフタにてロボットを吊り、れんがの除染、れんがの解体、RC躯体の除染、躯体の解体という手順にて行った。

また除染方式はバキュームブラスト方式を使用した。

7. 本工法の適用効果

本工法の施工における効果をまとめる。

- ① ロボットは遠隔操作にて無人で作業をするため、作業者は汚染度の高い環境へ入る必要が無い。
- ② 作業者は煙突頂部など高所で作業する必要が無い。
- ③ ロボット施工の場合、操作室を保護具の着用が不要な管理区域外に置くことができ、ロボットオペレータは管理区域出入りの時間的ロス、及び身体的負担を削減出来る。

また本工法は、建設廃棄物の縮減とリサイクルに関し、以下のような特徴がある。

- ① 汚染の高い耐火れんがを分別して回収できる。
- ② 煙突内壁の汚染部だけを除去するため、高汚染度廃棄物の発生は少量であり、無害化処理等を行う場合の処理コストも抑えられる。
- ③ 除染後のコンクリート躯体は多量であるが汚染が基準値以下であり、リサイクルが可能である。実際に施工した2工事における廃棄物の処理について表-4に示す。

て表-4に示す。

表-4 廃棄物の処理

品目	具工事	東浦工事
切削残渣、プラスト粉塵・研掃材	固定化薬剤処理後セメント固化 →管理型処分場	産廃として業者渡し(セメント固化後管理型処分場)
れんが	不溶化浸析処理 →管理型処分場	分析(基準値以下) →管理型処分場
躯体コンクリート	分析(基準値以下)→リサイクル	

8. おわりに

周辺環境への汚染が無く、作業者にも安全性の高い煙突解体工法として、遠隔操作ロボットによる除染工法を開発し、施工においてその有効性を確認できた。

今後、遠隔操作技術の洗練化、適用範囲の拡大などを進め、より安全確実な工法への確立を計る所存である。

なお除染ロボットについては株式会社三井三池製作所との共同開発である。



《参考文献》

- 1) 「廃棄物焼却施設解体工事におけるダイオキシン類による健康障害防止について」厚生労働省基発第561の2、平成12年9月7日
- 2) 「廃棄物焼却施設内作業におけるダイオキシン類ばく露防止対策について」厚生労働省基発第401号の2、平成13年4月25日
- 3) 弓山憲二ほか：「ダイオキシン類曝露防止対策を実施した廃棄物焼却施設解体工事事例」、都市清掃、vol.55, No.247, pp.11-15 (2002.5)
- 4) 厚生労働省労働基準局安全衛生部化学物質調査課編：「廃棄物焼却施設解体作業マニュアル」平成13年6月27日発行

【筆者紹介】



谷 雄一 (たに ゆういち)
五洋建設株式会社
技術研究所
部長



百瀬 泰彦 (ももせ やすひこ)
五洋建設株式会社
土木本部
機械部
主任



杉野 孝行 (すぎの たかゆき)
株式会社三井三池製作所
環境事業本部
エンジニアリンググループ
専任課長