

排煙施設のリニューアルへの取り組み — 遠隔操作による解体と調査診断 —

丸山宣男¹・古長達廣²

¹正会員 新日本製鐵株式会社 八幡製鐵所 設備部（〒804-8501 北九州市戸畑区飛幡町1番1号）

²株式会社奥村組 九州支店 土木部（〒805-8531 北九州市八幡東区山王二丁目19-1）

製鉄所をはじめとする各種プラントにおいては、生産機能の維持・向上を図るために、保有施設のリニューアルが絶えず行われている。中でも、煙突に代表される塔状の排煙施設では、高所での解体や調査診断を行う必要があり、このような作業を安全かつ効率よく行うための対策が求められてきた。

これに対応する形で、クレーンを用いて遠隔操作により塔状の排煙施設を解体する技術を開発し、実用に供してきた。また、調査診断について、稼動中の高温下の排煙施設に適用できる「煙突内部撮影装置」を開発し、内壁を直接テレビカメラで目視する高精度の調査診断を可能にした。

キーワード：排煙施設，煙突，解体，遠隔操作，調査診断，内部撮影

1. はじめに

製鉄所をはじめとする各種プラント設備では、生産機能の維持補修・能力向上を図るため保有施設のリニューアルが絶えず行われている。中でも、煙突に代表される塔状の排煙施設においては、高所での解体作業や調査（劣化）診断作業を行う必要があり、これらの作業を安全かつ効率よく行うための技術的な対応が求められてきた。

このため、筆者らは排煙施設専用のクレーン懸垂型の簡便な解体工法（NOCC工法）、および塔状の排煙施設解体作業のみならず、さらに広範囲の高所構造物解体作業を可能とする操作自由度の高いクレーン装着型の解体工法（スカイクラッシャー工法）を開発し、実用に供してきた。この2工法はいずれも、クレーンを用いた遠隔操作により解体作業を行うもので、高所作業の安全性に特に優れている。また、調査診断についても稼動中の高温下の排煙施設に適用できる「煙突内部撮影装置」を開発し、内壁を直接テレビカメラで目視する高精度の調査診断を可能にしている。

本報文では、これら2つの解体工法と煙突内部撮影装置の概要、および解体した構造物のリサイクルや周辺環境へ配慮した技術的な特徴について報告する。

2. 解体工法の概要

(1) NOCC工法の概要

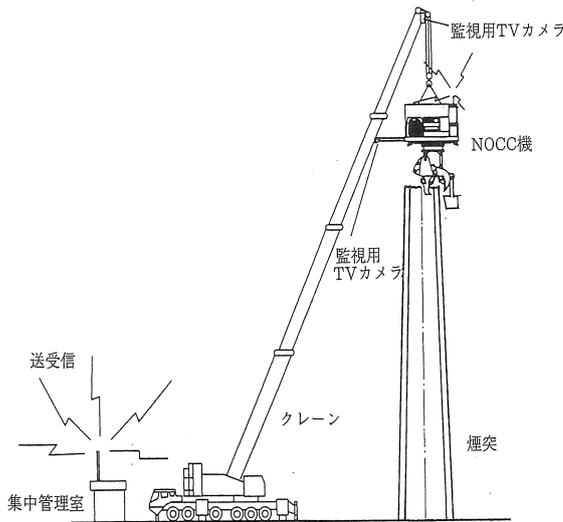
NOCC工法は、地上からの動力供給に拠らず独立して駆動する専用の解体ロボット（NOCC機）をクレーンにより吊下げ、下方へ向けて圧砕により煙突の解体を行うものである（写真-1）。



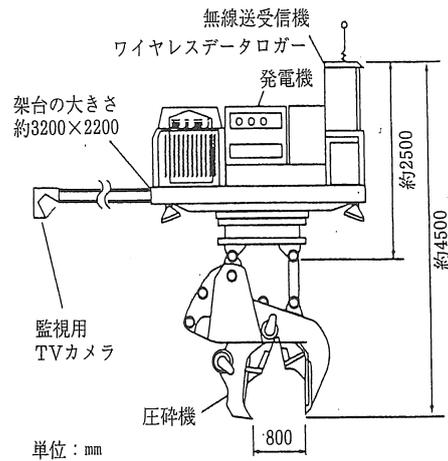
NOCC機

施工状況

写真-1 NOCC工法



全体概要



NOCC機詳細

図-1 NOCC工法の概要図

NOCC機は、①作業の監視用TVカメラが設けられた架台、②架台下部に回転可能に取り付けられた圧砕機、③架台上部に設けられた圧砕機の駆動部（油圧ユニット、発電機）、④無線送受信機を基本的な構成としており、給水タンク、粉塵発生抑制装置、破砕屑受けバケットなども搭載されている（図-1右のNOCC機詳細）。

地上には、監視用TVカメラによるNOCC機からの撮影画像とクレーンブーム先端からの撮影画像を表示する2台のモニターテレビや遠隔制御無線送受信装置等を備えた集中管理室が設けられ、この集中管理室のオペレータからの無線遠隔操作により煙突等の対象物を圧砕する（図-1左の全体概要）。

クレーンの運転室にも地上の集中管理室のものと同じ2台のモニターテレビが設置されており、NOCC機のオペレータとクレーンオペレータは、監視用TVカメラ情報を共有し、破砕箇所の状況を監視しながら、無線を介して連携して作業を進める（写真-2）。監視用TVカメラ情報はデータロガーに連続して保存され、その後の施工に活かされることになる。

本工法の施工実績は表-1のとおりである。種々の施設の煙突を対象に、その施工本数は69本に及び、施工延べ長さは3kmを超えている。

(2) スカイクラッシャー工法の概要

本工法は、塔状の排煙施設等にも適用されるNOCC工法と異なり、より広範囲の高所構造物の解



写真-2 モニターテレビ画面
(クレーンブーム先端から撮影)

表-1 NOCC工法の施工実績

施設名	本数	施工延べ長さ(m)
製鉄所	27	1466
化学工場	18	441
セメント工場	11	470
ごみ焼却場	9	415
発電所	1	100
給水塔	3	130
合計	69	3022

(2011年6月現在)

体を可能とするため、伸縮式の大型油圧クレーンをベースマシンとし、クレーンのブーム先端に油圧破碎機付の「ロボットアーム」を装着し、任意の方向から構造物を破碎して解体を行う工法である（写真-3）。

ロボットアームとしてバックホウの多関節ブームを使用して、伏仰3箇所自由度を持たせた。油圧破碎機はロボットアームに対し正反180度回転するよう構成している。ロボットアームはクレーンのブーム先端に取り付けられた「接合ベース」に対して装着される（図-2）。接合ベースの取り付けに際しては、クレーンのブーム先端部のワイヤーシーブやフック等を取り外しておく。

ロボットアームおよび油圧破碎機の駆動はすべて油圧により行い、接合ベース上に破碎刃の開閉を含む計5系統の油圧の分配装置を装備したため、地上からクレーンブームへの油圧配管は1系統となる。

ロボットアームの左後方位置の接合ベース上には破碎箇所を監視するテレビカメラが配置されており、オペレータは汎用機械である「バックホウと同じ視界」で遠隔操作を行うことができ、リモートコントローラーもバックホウの運転操作盤を模したジョイスティック方式としたため、作業性や操作性に優れている。

地上の集中管理室およびクレーン運転室の装備はNOCC工法と同様であり、油圧破碎機を含むロボットアームのオペレータとクレーンのオペレータは、作業監視用のTVカメラ情報を共有し、破碎箇所の状況を監視しながら、無線を介して連携して作業を進める。ベースマシンには、クレーンの安全確保と機器損傷防止のためにACS（全自動過負荷防止装置）を搭載しており、この装置を用いて作業時の負荷・外力の監視、異常検出、警報、保護装置の作動を行い、常に安全な範囲内での解体作業を行うことができる。

本工法の施工実績は、表-2のとおりである。ロボットアームの操作により任意の方向から破碎ができることから、煙突のみならず、スラブを有する鉄筋コンクリート造や鉄骨造の各種排煙施設の解体にも適用している。NOCC工法と比べ破碎部近辺の装備が簡素となり、ロボットアームの採用により高所作業の施工性が向上し、特に、クレーンの伸縮ブームとの相乗効果で油圧破碎機の到達可能距離が延びたことから、より広範囲の解体作業へのさらなる適用が期待できる。

次章では、本工法およびNOCC工法のリサイクル、周辺環境配慮への取り組みについて述べる。



写真-3 スカイクラッシャー工法

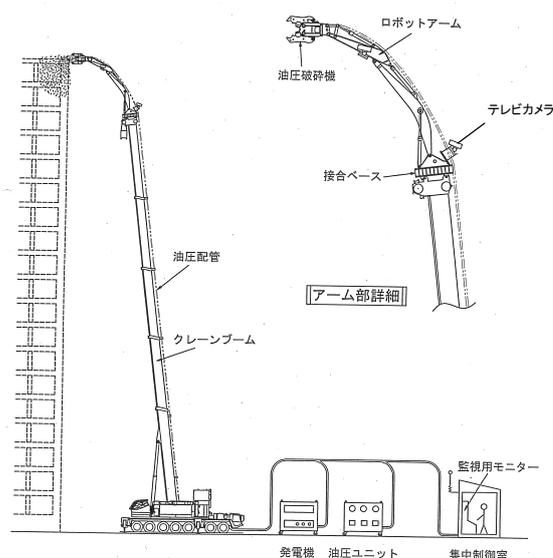


図-2 スカイクラッシャー工法の概要図

表-2 スカイクラッシャー工法の施工実績

施設名	件数
煙 突 (RC造)	3
コークス焼結工場 (S造, SRC造)	2
コークス工場挿入炭槽 (RC造)	1
コークス消火塔 (RC造)	1
海水冷却塔 (RC造)	1
合 計	8

(2011年6月現在)

3. リサイクル、周辺環境配慮への取り組み

(1) 耐火レンガの分別回収

a) 従来の耐火レンガの処分状況

一般に鉄筋コンクリート造の煙突内部には、耐火レンガが内張りされており、この耐火レンガ層により外壁のコンクリートへの熱の伝達を遮断し、劣化を防止する構造となっている。

従来は、内壁の耐火レンガ層と外壁のコンクリートとを一体に解体していた。このため、再利用可能な耐火レンガをコンクリートと混在した屑化廃棄物として処分する方法や、混在物の中から再分別して耐火レンガを回収する方法がとられていた。後者の場合、分別に必要なスペースの確保が必要で、分別作業も非効率であった。

b) レンガ解体機の開発

従来の煙突解体物の分別作業の効率化対策として、専用のレンガ解体機を開発・実用化した(図-3)。この解体機は、下部にツースフレームを、上部に楔フレームを備え、クレーンにより吊下げて使用する。積上げられた耐火レンガ層の目地をツースフレームで突き崩したのち、楔フレームを耐火レンガ層と外壁との間に差込み、一度に多くのレンガブロックを煙突下部に落とすことにより、レンガの解体を短期に効率よく行うことができる。

煙突下部に落とされたレンガブロックは、コンクリート壁の解体の前に、煙突下部の側壁に設けた開口より外部に掻き出して回収し、再利用する。

(2) 周辺環境への配慮

a) 解体屑の飛散抑制対策

排煙施設解体の場合、圧砕機で把持し解体した岩塊状の解体屑をなるべく煙突内に落下させるよう操作し、煙突外へ落下する解体屑は破碎部より屑受けバケットを垂下させ捕集する方式としている(前出写真-1右の煙突側方に位置する部分)。

しかし、これらの対策のみでは、粉じん状に破碎された屑の飛散を完全に防止することはできず、実施工では次項に示す綿密な対策を講じている。

b) 破碎時の粉じん飛散抑制対策

- ① 破碎作業位置の全体に散水(全体散水)
- ② 刃先より高圧水を噴射して破碎箇所へ散水(局所散水, 写真-4)
- ③ 煙突基部の煙道に集じん機を設置し、吸引して煙突内部を負圧に保つ(負圧集じん, 写真-5)
- ④ 飛散抑制シートで煙突周囲を囲う(写真-6)

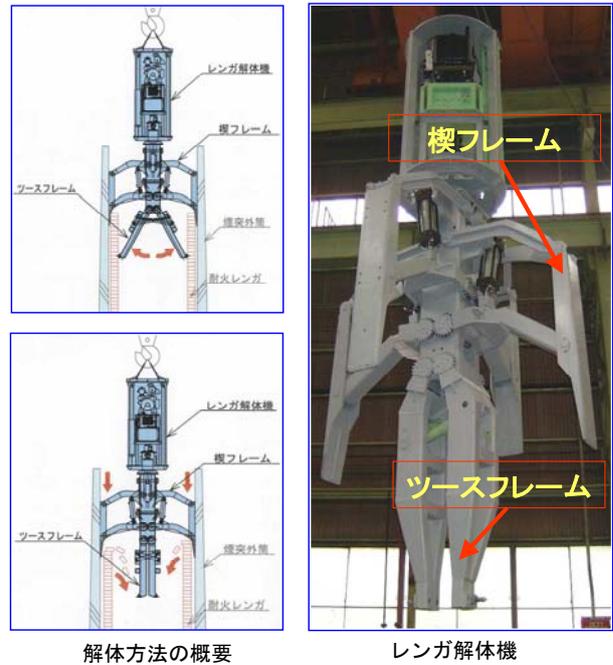


図-3 レンガ解体機



写真-4 局所散水



吸引配管

集じん機

写真-5 負圧集じん



写真-6 飛散抑制シート

これら対策のうち、②③④についての粉じん低減効果は図-4のとおりであり、いずれも一定の粉じん低減効果を有している¹⁾。これらの各対策は、要求される粉じんレベルや現地での施工状況に応じて、単独も若しくは適宜の組み合わせにより実施される。

c) 排煙施設内の有害粉じん飛散抑制対策

ごみ焼却場の煙突解体では、ダイオキシン類や石綿などの有害物質による作業従事者や周辺への影響が問題となる場合がある。前章で述べた2つの解体工法の遠隔操作によれば、作業従事者の悪環境下での直接作業は回避できる。周辺への飛散抑制対策としては、前項に示した③④の対策に加え、集じん機に活性炭フィルターを設置し、有害粉じんを確実に捕集することとしている。

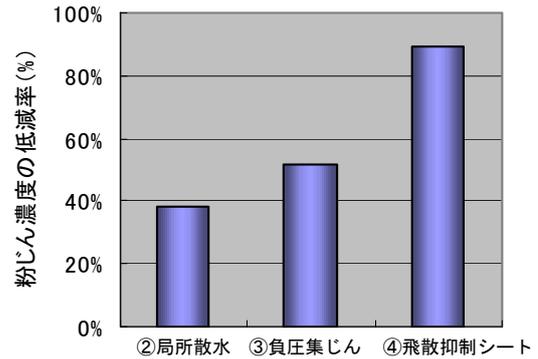


図-4 各対策の粉じん低減効果

4. 煙突内部撮影装置の開発

(1) 開発の経緯

鉄筋コンクリート造の煙突内側の耐火レンガ層は、150℃～250℃の熱風に直接接触するため目地の亀裂やレンガの剥脱等の損傷を受けやすい。そのまま放置すればコンクリートが直接熱風に晒されて、強度の低下やひび割れ、鉄筋の腐食により地震や台風時には大きな被害が発生することが考えられる。このため、定期的に耐火レンガ層の劣化状況を診断し、必要と判断されれば適宜、改修を行う必要がある。

この診断には、耐火レンガ層を直接観察することが最も効果的な手段となる。従来この観察は、対象となる煙突の稼働を停止し、煙突内部の温度が下がった時点でテレビカメラを挿入して耐火レンガ層の内壁面を撮影することにより行っていた。しかし、施設の稼働を一旦停止しなければならず非効率であるばかりではなく、停止できない施設においては外側から間接的に診断する方法の選択を余儀なくされていた。

このため、煙突の稼働を停止させることなく、高温状態の煙突の内部診断を正確にかつ能率よく行える煙突内部撮影装置を開発した。

(2) 装置の概要

今回開発した煙突内部撮影装置(写真-7)は、真空二重筒構造の耐熱ケース内にテレビカメラ、パソコン、無線通信装置、温度センサー、方位計、バッテリー、冷却剤を内蔵している(図-5右)。耐熱ケースには煙突内の全周を視認できるよう6ヶ所に耐熱ガラス製の撮影窓を設けている。以上の構成とす



装置の吊り込み状況

装置外観

写真-7 煙突内部撮影装置

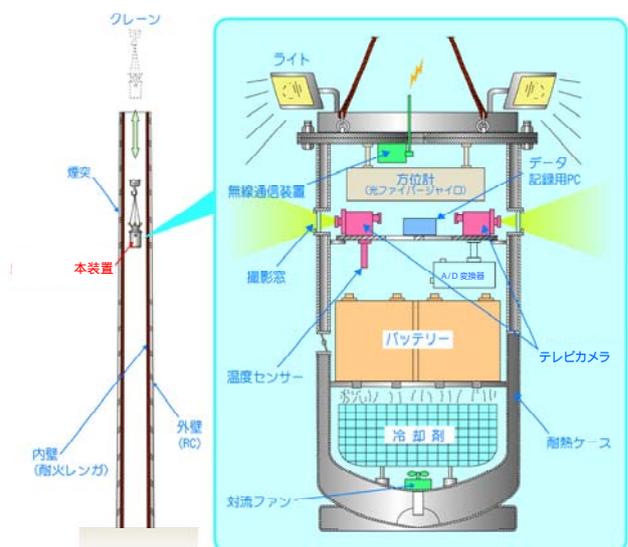


図-5 煙突内部撮影装置の概要図

ることで、高温領域での全方向の撮影を可能としている。

本装置（重量約200kg）をクレーンで煙突頂部から吊り込み、煙突内を昇降させながら煙突内壁の状態を撮影記録する（図-5左）。テレビカメラによる撮影に合わせ、その撮影方向と撮影高さのデータも連続して記録する。なお、テレビカメラの撮影方向を検知する方位計として、信頼性の高い光ファイバージャイロを採用している。

この装置は、鉄筋コンクリート造煙突のみならず、内部に防蝕材がライニングされている鋼製煙突の内部撮影にも適用可能である。適用実績は表-3のとおりである。

現在まで6本の鉄筋コンクリート造煙突と2本の鋼製煙突に適用した。そのうちの3本は、稼動中の煙突に適用したものであり、いずれの実適用においても、テレビカメラは長時間、正常に作動し、煙突内部を鮮明に撮影することができた（写真-8, 9）。

(3) 今後の展開

本装置によれば何時でも必要なときに稼動中の煙突内部の診断ができる。本装置の鮮明な映像を基にした詳細な診断により効果的な対策を施すことで、排煙設備の維持更新に要する費用（ライフサイクルコスト）の低減を図ることが可能となる。長期的には設備の長寿命化により、廃棄物（スクラップ）の発生総量を抑制して環境負荷の低減効果を期待できと考えている。

5. おわりに

排煙施設のリニューアルへの取り組みについて、保有する2つの解体工法と調査診断技術の概要を述べ、解体工法の施工におけるリサイクルや周辺環境への配慮事例を紹介した。

これらの技術は、排煙施設などの高所構造物を遠隔操作により安全かつ効率的に解体することができ、また、煙突内部撮影装置についても、遠隔操作により稼動中の煙突内の高温環境下で撮影を行うことが可能としている。

震災復旧の最中にある現在、作業者が直接近づけない、あるいは作業できない条件下での被災構造物の調査診断や解体にも応用展開できる可能性もあり、

表-3 煙突内部撮影装置の適用実績

No.	煙突の種類	煙突の高さ
1	コークス炉煙突	64m
2	コークス炉煙突	67m
3	コークス炉煙突	81.5m
4	線材加熱炉煙突	70m
5	エネルギーボイラ煙突	50m
6	コークス炉煙突	81.5m
7	ボイラ用集合煙突	120m
8	熱風炉煙突	80m

(2011年6月現在)



写真-8 煙突内部の撮影状況 I（頂部付近）



写真-9 煙突内部の撮影状況 II（底部付近）

今後益々の改良・改善と普及展開を図り、多くの場面での活用を目指す所存である。

参考文献

- 1) 岡崎浩一，西口公二，鳥越正美：粉塵飛散抑制とレンガの分別解体－煙突解体工事での性能検証－，奥村組技術研究年報，No. 34，pp. 83-88，2008。