

自動クリンカ除去装置

クボタ株式会社クボタ

水環境カンパニー
環境事業部 資源循環事業ユニット
焼却溶融プラント部
〒661-8567 兵庫県尼崎市浜1丁目1番1号
TEL 06-6470-5100
FAX 06-6411-1148

1. はじめに

現在の廃棄物処理において、環境負荷低減に加え限りある資源の有効活用のために、廃棄物の発生抑制だけでなく再使用や再利用といった循環利用が求められている。さらに経済の安全保障の観点から、廃棄物に含まれる希少鉱物資源の回収がより強く求められている。

クボタ回転式表面溶融炉は資源回収効率に優れ、下水汚泥からは肥料に用いられるリンを回収でき、資源循環プロセスから生じたリサイクル残渣などの廃棄物からは有価金属を回収できる。

また、近年の新しい案件の発注形態は概ね20年間の維持管理を含めたDBO方式が主流となっている。そのため主要技術の差別化だけでなく、施設のLCC低減は重要な課題であり、維持管理業務の効率化（定期整備などの時間短縮、人的作業低減等）の追求と安全・安心に関するハード、ソフト面での高度化が求められている。

2. 解決すべき課題

溶融炉内では、低沸点成分であるNa、Kといった塩類、PbやCd、Znといった重金属類（有害物質）は気化し、高沸点成分であるSiやCa、Pといった鉱物元素やAu、Ag、Cuといった貴金属類はスラグやメタルという無害化物質として分離し、再生利用される。気化した塩

類や重金属類はバグフィルタに至るまでの排ガス温度の低下した領域内で再び固形化し、一部は時間経過と共に炉内壁面に付着して成長する。また、高沸点物質も排ガス経路の高温部で壁面への衝突などにより付着して成長する場合がある。以上のようなメカニズムで各部に生成する焼成物を「クリンカ」と呼ぶ。一例として、溶融炉二次室内でのクリンカ付着状況を図1に示す。

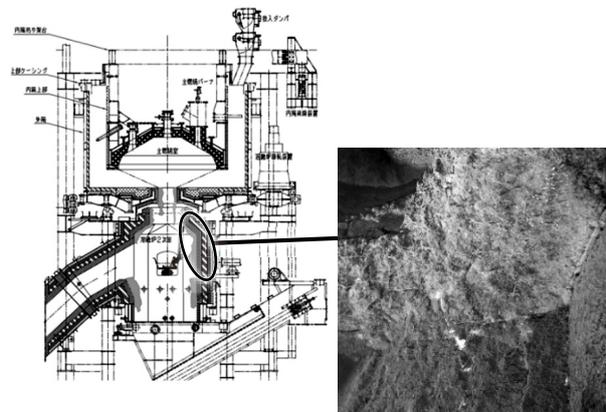


図1 溶融二次室内で成長したクリンカ

クリンカが成長し巨大化すると排ガスの流れが阻害される。このため、炉の運転停止時には定期的にクリンカ除去作業が実施されるが、この作業には剥離したクリンカが落下することによる人身事故のリスクを伴うことが危惧される。

3. 自動クリンカ除去装置

3.1 装置のコンセプト

当社では溶融炉内のクリンカ除去に焦点を置き、2. に示した課題を解決すべく、人力に代わる自動クリンカ除去装置（図2）の開発を行った。

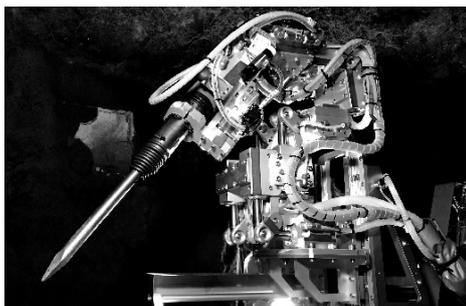


図2 自動クリンカ除去装置炉内設置の状況

以下に装置のコンセプトを記す。

1) 汎用性

プラント各所の炉内で使用できるよう各所の点検口から挿入可能で軽量、コンパクトな可搬型装置とする。

2) 全自動化

無人で清掃できるよう全自動化する。

3.2 装置の概要

自動クリンカ除去装置は、5つの屈曲軸と1つの伸縮軸の合計6つの駆動部品で構成されている。これらを総称してアーム（人での腕の動作を行う部分）と呼ぶ（図3）。

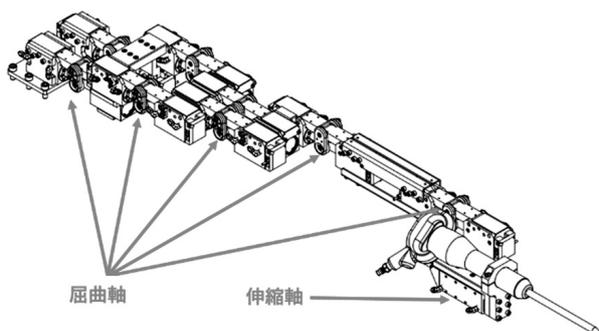


図3 アームの構成図

アームは人間の腕と同様の動きをする種々の駆動部品で構成されており、駆動部品の組み合わせは作業環境、作業状況に応じて組立順序、組立方向などを考慮してカスタマイズすることができる。また、アームを支える台座にはアームを水平移動、上下移動、水平旋回させる機構が組み込まれている。

1) 駆動方式の選定

本装置の駆動方式には水圧式を採用した。これは、パワーおよび軽量化の観点から電動式を除外し、さらに油圧経路の破損による油漏れが引き起こす二次汚染の防止を考慮した結果である。

図4に装置の駆動システムを示す。この装置の駆動は、加圧ポンプから各シリンダに送られる駆動水量を電磁弁と流量調整弁を組み合わせることで制御することによって行われる。送水された駆動水はシリンダを伸縮させることで、各駆動軸がそれぞれの動き（伸縮、屈曲、鉛直、水平、旋回）を実現しており、その原理は油圧シリンダの作動と同様である。

2) 装置の特徴

- ・アームを構成する各駆動部への電源供給は不要である。（補機類は除く）
- ・アームに電気（電動機）部品がないため耐水性がある。
- ・駆動水は固形不純物が含まれない程度の水質でよく、井水や再利用水が使用できる。
- ・駆動水は循環利用するため使用水量はバケツ10L程度である。
- ・炉内や装置内でアームが破損しても漏洩物が駆動水のみで周辺を汚染することがない。
- ・駆動部品を作業環境や状況にあわせて組み換えができるため適応性が高い。
- ・駆動部品の組み換えや交換が短時間（1ヶあたり15分程度）で行うことができる。

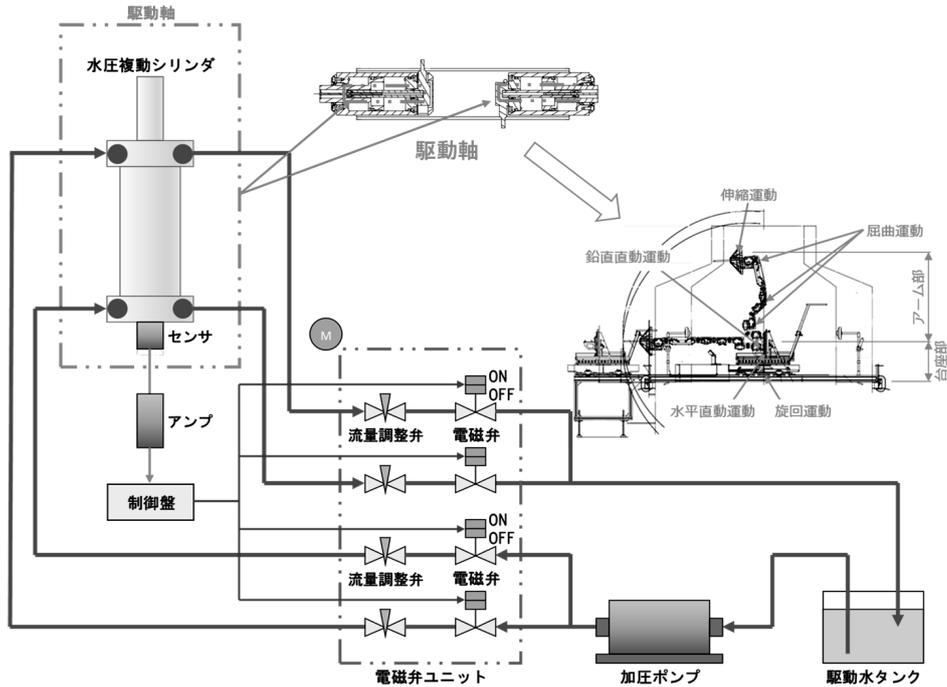


図4 装置の駆動システム

- ・装置のほぼ全ての部材は高強度アルミニウム（ジュラルミン）製で重量が軽く、人力での運搬・設置が可能である。

3.3 全自動化機能

本装置には、ロボットアームが目標位置まで移動し、その後研り作業を含む全ての動作を自動で行う全自動運転機能を搭載している。全自動運転の一連の動作は、手動操作によって形成されたロボットの姿勢をタッチパネル操作盤に記憶（ティーチング）させることで、自動運転プログラムとして構築されている。

図5は、仮想メッシュ割りを施した溶融二次室と装置本体をパソコン上で3Dモデルとして表示している。溶融二次室を垂直方向にA～G、水平方向に1～8の範囲を仮想メッシュ割りすることで、装置は選択された範囲まで自動運転で移動し、その範囲を自動で研る動作を実現する。この機能は、操作ミスによる耐火物の損傷を低減する効果を有しており、さらにクリンカを研る必要のない範囲にはロボットアームの移動回数を減らすことで、研り作業の効率化にも寄与することが可能である。



図5 溶融炉二次室仮想メッシュ割り

ムの移動回数を減らすことで、研り作業の効率化にも寄与することが可能である。

4. 実プラントでの装置の稼働評価

本装置の有効性を確認するため、某灰溶融施設において炉壁に付着、成長したクリンカの除去作業に、開発中の自動クリンカ除去装置を使用して炉内付着物やクリンカの除去に対する装置の稼働状況を確認し評価をした（図6）。

結果として装置は、一連の自動動作に誤作動

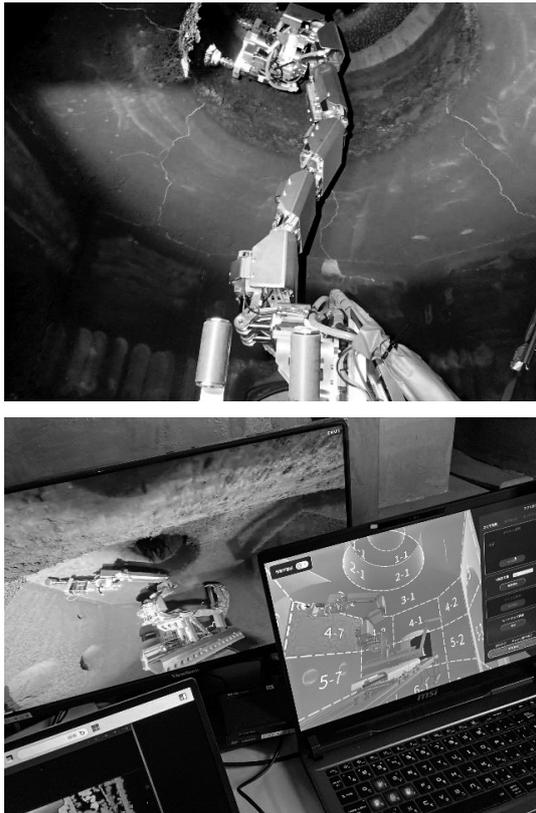


図6 実プラントでの装置の稼動状況

はなくパソコン上で選択した範囲のクリンカを研ることができた。

図7にクリンカ研り前後の炉内付着状況を示す。研り前の状態では、耐火物表面全体に小さなクリンカやスラグポートから垂れ下がった氷柱状のクリンカがぼつぼつと付着していた。一方、研り後は耐火物の表面素地が明瞭に見える状態となり、付着物が効果的に除去されたことが確認できた。

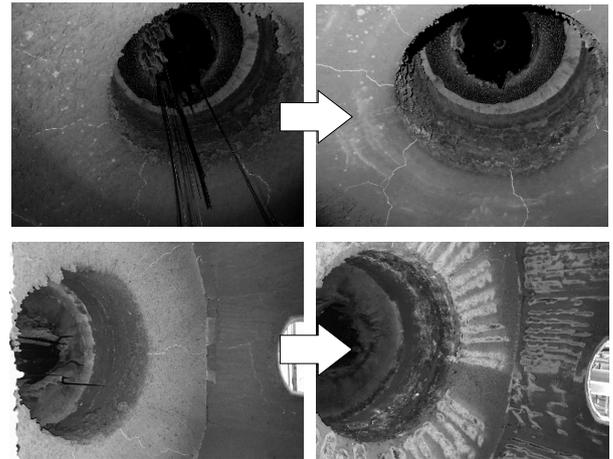


図7 クリンカ研り前(左)と研り後(右)の状況

5. おわりに

今後は実証試験で得られた知見を基に、溶融炉内での実運用に関する実績を積み上げていく。

自動装置によるクリンカ除去は、作業員の安全を確保するだけでなく省人化のメリットがあり、今後プラントを安全安心に運営管理することに重要な要素である。

本技術を転用することにより、溶融炉の二次室に限らず、クリンカ除去装置が必要な炉内の他の箇所や焼却炉への応用も見込まれる。さらに、装置の汎用性を実現することで、維持管理業務の効率化も期待できる。加えて、センサ類の検討を含め、水中作業での運用も可能であるため、水処理施設等における装置の活躍も期待される。

【参考文献】

- 1) 平野 克彦, 黒澤 孝一: 筋肉ロボット日本ロボット学会誌 2018年 36巻 6号 p.408-411
リンク: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrsj/36/6/36_36_408/_article/-char/ja/
- 2) 中村 勇氣: 機関誌「フルードパワー」2022 Vol36 No3