

運転業務省力化を可能にする AI搭載クレーン自動運転システム



荏原環境プラント株式会社

共通基盤本部 基盤技術部
〒144-0042 東京都大田区羽田旭町11-1
TEL 03-6275-8600
FAX 03-5736-3137

1. はじめに

ごみ焼却施設では、燃焼を安定化させるため、ごみピット（以下、ピット）内のごみ性状を均一化する攪拌等のクレーン操作が重要な役割を担っている。そのため、運転員が視覚的にごみ性状を認識して、均質化されたごみを手動操作あるいは半自動にて焼却炉に投入しているのが実態である。

当社では、「運転員の眼」を代替した機能を持つクレーン自動運転システムを構築すれば、運転業務の省力化が可能と考えた。

そこで当社は、まず「運転員の眼」の代替として、ディープラーニングを用いたごみ性状を把握するAIを開発した。そして、AIの出力をクレーン制御へ組み込むことで、クレーン自動運転システムを構築した。

本稿では、このAIを搭載したクレーン自動運転システムの実用性や省力化への寄与について、AIの精度検証や実証実験の結果を交えて紹介する。

2. クレーン自動運転の概要

本AIを活用したクレーン自動制御システムのコンセプトを図1に示す。本システムのコンセプトは、AIでピットのごみ性状を認識し、その結果を受けて高度制御装置でピット内のどの番地のごみを投入、攪拌するかといったクレーン操作の判断を行い、クレーン装置へ指令す

るものである。運営に係る他のデータも利用し、これまでクレーン運転員の視覚的なピット状況の認識に基づいて判断がなされていた業務（表1）を、昼夜問わず自動運転可能なシステムとしている。

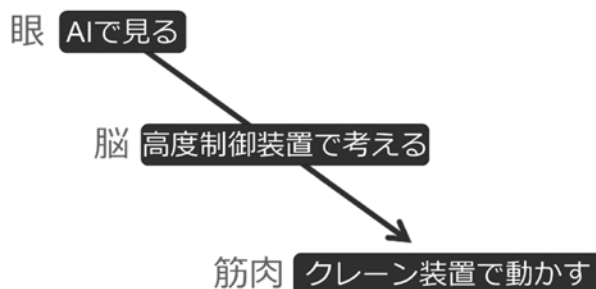


図1 クレーン自動運転システムコンセプト

表1 クレーン業務内容

時間帯	作業内容	目的
共通	ごみの投入	ごみの定容量処理
昼間	ごみの受入	搬入されるごみの円滑な受入
	掘込	翌朝ごみ受入に備えた受入容量の確保
夜間	投入ごみ作成	安定燃焼のための投入ごみの均質化
	投入ごみ積み上げ	ごみ受入時間帯の投入ごみ量確保

3. ごみ質推定AIの評価

3.1 精度

開発したAIの解析結果が運転員の眼を再現できているか検証した。図2のようなピットの俯瞰写真をAIの解析にかけ、図3のようなごみ種別の推定結果を出力した（実際の出力結果にはごみ袋はピンク、剪定枝は緑といった色分けが表示されている）。また開発したAIの精

度検証のために、**図3**と同様の画像を熟練運転員の協力のもと人の手で作成した。

AIの推定に関する評価指標として、一般的に再現率（実際に正しいものをAIが正しいと推定できた割合）と適合率（AIが正しいと推定したうち、実際に正しいものである割合）がある。しかし、両者はトレードオフとなる場合があるため、両者の精度を加味した総合指標として両者の調和平均（以下、F1スコア）を用いることとした。F1スコアは、再現率・適合率ともに1であれば1となるが、例えば再現率が0.9と高くても適合率が0.3と低ければF1スコアは0.45となるため、AIの推定結果を適切に評価できる。各評価用画像のごみ種類ごとに評価したF1スコアの結果を**表2**に示す。本AIではF1スコアの中央値が0.66~0.94とな

っており、燃焼や機器へ影響のあるごみを安定して高い精度で識別できている。

表2 ごみ種別 F1 スコア

ごみ種	F1スコア (中央値)
未破袋ごみ袋	0.66
汚泥	0.94
剪定枝	0.74
布団	0.73

3.2 ごみの投入可否基準の定量化

AIが投入可能なおみか否かを判断するためには、運転員がそれぞれ暗黙知として持っている投入基準を定量化する必要がある。そこで、熟練運転員がごみ袋の破れ具合(以下、破袋度)の観点からピット画像に投入可否のラベルを付与したものと、本AIによるごみの破袋度の推定結果とを、番地単位で比較した。両者を比較することで、熟練運転員が投入可能と判断しているごみの破袋度 (= 1番地中に存在する破袋されたごみの割合) の基準を調べた。比較結果を**図4**に示す。投入可否の境界となる破袋度が明確に表れ、熟練運転員のごみの投入可否基準を、AIを用いて定量化することができた。

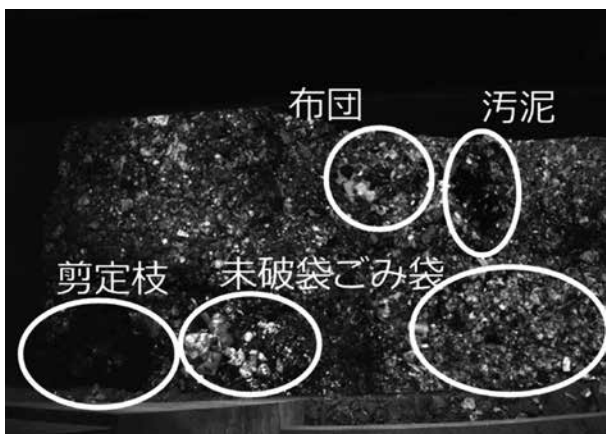


図2 ごみピット画像

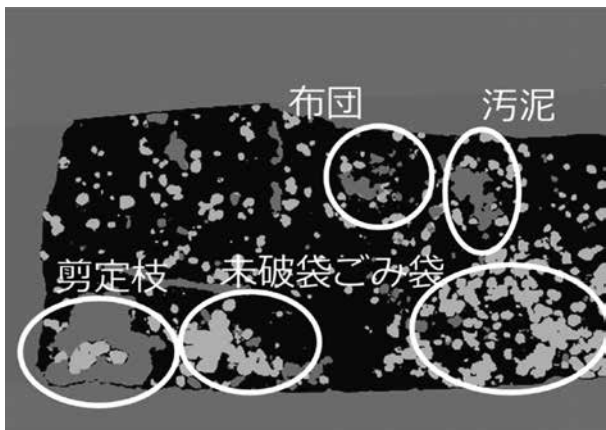


図3 AI ごみ種別推定結果

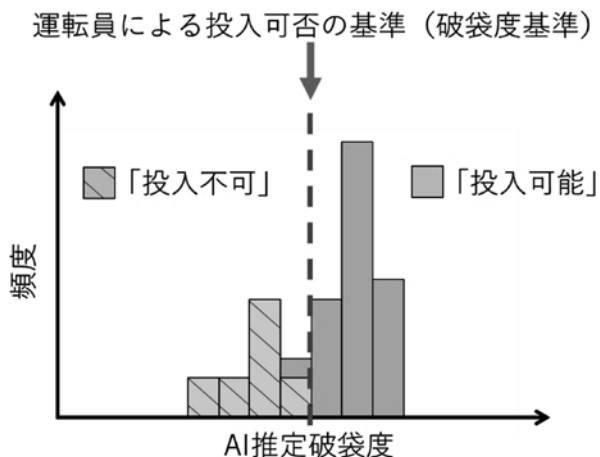


図4 AI 破袋度推定と熟練運転員投入可否判断

4. 実証実験

本システムによって、クレーン業務を実用上問題なく自動で実施できることを確認するために、6日間の自動運転実証実験を行った。

4.1 実験概要

実証実験では以下の4項目を検証した。

- ① 手動操作時と比較し、燃焼結果に差がないこと
- ② 必要量の投入ごみを自動運転で作成できること
- ③ 繁忙時間帯のごみ受入を自動運転で行えること
- ④ 剪定枝等の特殊ごみを自動運転で退避できること

4.2 実験結果

約6日間(8850分)の実証実験のうち、自動操作した時間は7570分(88.5%)だった。この間、ごみの受入は円滑に行われ、ごみ処理量は定格値を維持できた。また、手動操作も主に退避しておいた特殊ごみのばらまき等、緊急を要さないものであった。この結果から、クレーン自動運転システムは実用上問題なく使用できることが確認された。

また、**表3**に運転員による手動運転と、自動運転の燃焼結果を示した。両者の蒸気量変動、CO濃度、NO_x濃度に差異は見られなかった。クレーンの自動運転は燃焼状態に影響を及ぼす

ことなく、自動燃焼制御(ACC)にて、安定運転できた。

5. おわりに

実証場において、昼夜通しての連続6日間運転を実施し、自動運転率は約90%を達成した。また、自動運転にて選定・投入したごみは、燃焼に悪影響を与えなかった。このことから、自動運転システムはクレーン業務の省力化に大きく貢献できることが確認された。

当社では、すべての事象に対して自動で対処できるごみ焼却施設高度自動運転化を目指している。その実現のために本システムをACCと組み合わせることでさらなる燃焼安定化を図るとともに、実証施設以外の施設への円滑な展開に向けて取り組んでいく所存である。

最後に本システムの開発並びに実証実験実施にあたり、多大なるご協力を頂きました関係自治体殿、共同開発会社殿、その他ご協力いただいた関係者の方々に深く感謝申し上げます。

表3 燃焼結果

データ期間	運転員手動操作		AI-クレーンシステム	
	6日間		6日間	
	中央値	標準偏差	中央値	標準偏差
蒸気量変動[%]	0.8	3.8	0.6	3.9
CO濃度[ppm] (1時間平均)	5.5	1.5	5.5	1.4
NO _x 濃度[ppm] (1時間平均)	36.7	1.2	36.9	1.3